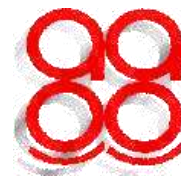


XXV REUNIÓN CIENTÍFICA
ASOCIACIÓN ARGENTINA DE GEOFÍSICOS Y GEODESTAS
Provincia de Córdoba
2 al 5 noviembre de 2010
TRABAJOS EXTENSOS
ÍNDICE GENERAL
ISBN: 978-987-25291-2-3

	Páginas
CARTOGRAFIA	
<i>"LA CARTOGRAFÍA, SU DIVULGACIÓN Y EL PARADIGMA DIGITAL"</i> Zirulnikoff, Néstor	1 – 5
<i>"EVOLUÇÃO DO USO E COBERTURA DA TERRA NA REGIÃO DOS CAMPOS DE CIMA DA SERRA, RS, BRASIL. Evolution of land use and cover at the Campos de Cima da Serra region, Rio Grande do Sul state, Brasil"</i> Eduardo Vélez ; Bruno Deprá; Tatiana Mora Kuplich; Aline Trentin; Andreise Moreira: Rosana Corazza	6 – 12
GEODESIA	
<i>"EL SISTEMA GEODÉSICO DE COSTA RICA CR05: GESTACIÓN Y ACTUALIZACIÓN"</i> Jorge Moya Zamora	13 – 19
<i>"ESTACIÓN SATELLITE LASER RANGING ILRS 7406 DE SAN JUAN. PERFORMANCE DE LAS OBSERVACIONES Y FUTUROS PROYECTOS PARA LA ESTACIÓN"</i> Ana Maria Pacheco; Ricardo Podestá; Han Yanben; Liu Weidong; Eloy Actis; Yin Zhi Qiang; Ester Alonso; Huang Dongpin; Wang Rui; Hernán Alvis Rojas	20 – 24
<i>"ESTUDIOS GEODINÁMICOS MEDIANTE LA TÉCNICA ESPACIAL SATELLITE LASER RANGING (SLR)"</i> Ricardo Podestá; Ana Maria Pacheco; Raúl Márquez; Han Yanben; Eloy Actis; Liu Weidong; Hernán Alvis Rojas; Yin ZhiQiang; Darío Terluk; Mauricio Morales; Rodolfo Carrizo; Jessica Nievas; Diego Brizuela; Matías Flores	25 – 28
<i>"EVALUACIÓN DE LOS MODELOS SRTM 90 ver4.1 Y ASTER GDEM ver1 CON DATOS TERRESTRES PARA LA PROVINCIA DE SANTIAGO DEL ESTERO."</i> Lucrecia Galván; Claudia Infante; Iber Goitea; Javier Duro; Marcelo Pirola	29 – 33
<i>"MODELO REGIONAL DE ONDULACIONES GEOIDALES EN EL CENTRO-NORTE DE SANTIAGO DEL ESTERO"</i> José E. Goldar; Pablo D. Ciappino; Carlos A. Gutierrez; Juan J. Frias	34 – 38
GEOMAGNETISMO	
<i>"RESPUESTA DE LA REGIÓN DEL PLASMA AL SISMO DEL MAULE (M8.8)"</i> Sallago, P. A; Quaglino; I. R. Cabassi; J. C. Gianibelli	39 – 42
<i>"ANÁLISIS DE LAS VARIACIONES DEL CAMPO GEOMAGNÉTICO MODELADAS POR EL IGRF"</i> Julio César Gianibelli	43 – 47
<i>"LOS DÍAS CALMOS EN LA REGIÓN DE LA ANOMALÍA MAGNÉTICA DEL ATLÁNTICO SUR (AMAS)"</i> Julio César Gianibelli; Nicolás Quaglino; Jorge Esteban Cabrera; Eric Marderwald	48 – 52
<i>"RELACIÓN ENTRE PARÁMETROS DEL VIENTO SOLAR Y LA ACTIVIDAD GEOMAGNÉTICA REGISTRADA EN EL OBSERVATORIO DE TRELEW."</i> Julio César Gianibelli; Nicolás Quaglino	53 – 57
<i>"EL ROL DE LOS OBSERVATORIOS DIGITALES EN EL ANÁLISIS DE TORMENTAS MAGNÉTICAS."</i> Julio César Gianibelli; Ricardo Ezequiel García; Guillermo Rodríguez; Nicolás Quaglino; Emilio Pincirolli; Sebastián Pelliciuoli	58 – 62
<i>"ANÁLISIS DE LAS VARIACIONES DIURNAS REGISTRADAS EN ESTACIONES BASE DE RELEVAMIENTOS MAGNÉTICOS"</i> Julio César Gianibelli; Nicolás Quaglino; Daniel Vargas; Gustavo Ramé	63 – 67
<i>"LOS SISTEMAS DE PROVISIÓN BIBLIOGRÁFICOS EN GEOMAGNETISMO Y AERONOMÍA"</i> Julio C. Gianibelli; Monica E. Mac William; Daniel Gargano	68 – 70
<i>"DISEÑO Y APLICACIÓN DE UNA RED PERMANENTE DE ESTACIONES DE REPETICIÓN EN LA REPUBLICA ARGENTINA"</i> Julio C. Gianibelli; Mónica Marino; Ernesto Faccini; Ricardo E. García; Guillermo Rodríguez; Esteban Cabrera; Nicolás Quaglino; Roberto Guzmán; Jorge Paez	71 – 75
<i>"DETECCIÓN DE LARGOS PERIODOS EN LOS ELEMENTOS MAGNÉTICOS DEL OBSERVATORIO DE PILAR CÓRDOBA"</i> Julio C. Gianibelli; Esteban Cabrera	76 – 80
<i>"POSIBLES EFECTOS DE LA SUBDUCCIÓN DE LA PLACA DE NAZCA EN LA VARIACIÓN SECULAR RESIDUAL (VSR) DEL OBSERVATORIO MAGNÉTICO DE PILAR."</i> Julio César Gianibelli	81 – 85



HIDROLOGÍA

"PATRONES DE ANOMALÍAS DEL RÉGIMEN ANUAL PARA EL RÍO BERMEJO"

Marina Fernández; Rosa Compagnucci; Gabriel Silvestri

86 - 90

"INFLUENCIA DE LA ACTIVIDAD SOLAR EN LOS CAUDALES DE LOS RÍOS PARANÁ Y ATUEL"

Gabriel Silvestri; Rosa Compagnucci; Víctor Velasco

91 - 93

METEOROLOGÍA

"EVALUACIÓN DEL ERROR GENERADO, POR LA INTERPOLACIÓN DE LA TEMPERATURA, EN EL CÁLCULO DEL BALANCE HÍDRICO OPERATIVO EN EL SERVICIO METEOROLÓGICA NACIONAL"

Liliana Núñez; Carolina González Morinigo; Vanina Ferrero; Gerardo Ogdon

94 - 98

"MAPAS ISOCERAUNICOS DE LA REPUBLICA ARGENTINA, UTILIZANDO LA RED WWLLN"

M. Gabriela Nicora; Rodrigo E. Bürgesser; Jacobo O. Salvador; Elian A. Wolfram; Marcelo M. Raponi; Lidia A. Otero; Pablo R. Ristori; Edgardo E. Avila; Eduardo J. Quel

99 - 103

"ANÁLISIS DE TRAYECTORIAS APLICADO A LA IDENTIFICACIÓN DE REGIONES FUENTE DE CONTAMINANTES EN BUENOS AIRES"

Ana Graciela Ulke; Sergio Jalfin

104 - 108

"AEROSOL EN EL AIRE DE BUENOS AIRES ASOCIADOS A LA QUEMA DE BIOMASA Y SU TRANSPORTE DE LARGA DISTANCIA"

Ulke Ana Graciela; Claus Federico; Castañeda María Elizabeth

109 - 114

"ESTUDIO DE LA SENSIBILIDAD DEL MODELO WRF-ARW VERSIÓN SMN EMPLEANDO LOS CAMPOS DE HUMEDAD DE SUELO PROVENIENTES DE MODELOS GLOBALES Y DE SENSORES REMOTOS"

Collini Estela; Dillon María Eugenia; Ferreira Lorena; Pujol Gloria

115 - 120

"DETECCIÓN DE SALTOS CLIMÁTICOS EN SERIES DE ANOMALÍAS MENSUALES SOBRE EL SUR DE SUDAMÉRICA"

Adrián E. Yuchechen

121 - 125

"COMPARACIÓN ENTRE DOS MÉTODOS DE DETECCIÓN DE SALTOS CLIMÁTICOS EN SERIES TEMPORALES"

Adrián E. Yuchechen

126 - 130

"ESTIMACIÓN DE LA TASA DE EVAPOTRANSPIRACIÓN A PARTIR DE DATOS SATELITALES MODIS"

C. Mulleady; D. Barrera

131 - 136

"LA TEMPERATURA DIARIA Y LA CIRCULACIÓN TROPOSFÉRICA: SUS EFECTOS SOBRE LA FECHA DE BROTE DE LA VID (Vitis vinifera L.) EN EL ESTE DE MENDOZA"

Agosta E.A ; Cagnano, M

137 - 142

"LOW SUMMER TEMPERATURES AT SOME NORTHERNMOST ANTARTIC PENINSULA STATIONS, SOUTH PACIFIC QUASI-STATIONARY WAVES PROPAGATION AND THE COLD SUMMER OF 2010"

Alfredo Costa; Eduardo Agosta

143 - 149

OCEANOGRAFÍA

"TELECONEXIONES EN LA TEMPERATURA SUPERFICIAL DE MAR DEL OCEANO PACIFICO"

Ana Laura Berman; Gabriel Silvestri; Rosa Compagnucci

150 - 153

"VARIABILIDAD TEMPORAL DE LA INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR EN LA PRECIPITACION DEL SUR DE PATAGONIA"

Ana Laura Berman; Gabriel Silvestri; Rosa Compagnucci

154 - 157

SISMOLOGÍA

"STUDY OF DEEP SEISMIC REFLECTIONS FROM THE CRUST IN CENTRAL NEUQUEN BASIN"

A. H. Comínguez; J. R. Franzese;

158 - 163

"INVERSIÓN SPARSE-SPIKE DE DATOS SÍSMICOS PRESTACK"

Daniel Pérez; Danilo Velis

164 - 169

"EL CONTENIDO DE FRECUENCIAS Y LA CURVA 2% DEL ESPECTRO DE RESPUESTA DEL ACELEROGRAMA CAPTADO EN LA PLATA POR EFECTO DEL GRAN SISMO DE CHILE DEL 2010"

Nora C. SABBIONE; Juan S. CARMONA

170 - 172

LA CARTOGRAFIA, SU DIVULGACION Y EL PARADIGMA DIGITAL

Néstor Zirulnikoff

Instituto Provincial para la Administración Pública, Provincia de Buenos Aires

geoespacio@gmail.com

Palabras Clave: Desarrollo, Geoespaciales, Cartografía, Homologable, Interrogantes, Ubicuidad, Secular.

RESUMEN

El incipiente desarrollo alcanzado en la República Argentina con su infraestructura de datos geoespaciales, acorde a las recomendaciones internacionales, propicia una mejora cualitativa en la producción cartográfica nacional. Al sancionarse la Ley de la Carta, en el año 1941, la oferta tecnológica del presente era una quimera. La normativa se concibió por necesidades políticas internacionales y locales, reuniendo antecedentes jurídicos con el acervo científico y tecnológico acumulado desde 1879. Con aquella impronta la representación cartográfica nacional incorporó al imaginario colectivo un logotipo territorial de la República Argentina, con influencia crucial en la identidad cultural. El advenimiento y proliferación de las TICs (Tecnologías de la Información y las Comunicaciones) propone métodos innovadores para producir cartografía, con efectos significativos en la IG (Información Geográfica) disponible, aprovechable y homologable, originando también dilemas, interrogantes y hasta polémicas, sobre sus cualidades y limitaciones. ¿La noción de escala es la misma para productos impresos y digitales? ¿Hoy se modela la topografía como antaño? ¿La generalización cartográfica habitual es una práctica asimilable a las facilidades instrumentales y a las precisiones disponibles hoy? ¿Representar la ubicuidad de los datos en el terreno se ciñe a las reglas del Siglo XX? El paradigma digital impone la reformulación y adecuación de la Ley de la Carta, con sus postulados, al sesgo del Siglo XXI. La evolución cartográfica secular se aborda y expone a su consideración, despejando algunos interrogantes.

ABSTRACT

The incipient development reached by Argentina with its geospatial data infrastructure, according international recommendations, propitious a quality improvement in the cartographical production of the country. With the sanctioned of the Charter Act, in the year 1941, the technological offer of the present was a chimera. The legislation was conceived by international and local policy needs, bringing together legal background with the scientific and technological acquits accumulated since 1879. With that mark national mapping incorporated to the collective imaginary a territorial logo of the Argentine Republic, with crucial influence on cultural identity. The advent and spread of ICTs offers innovative methods to produce maps, with significant effects on the GI (geographic information) available and approved, also causing dilemmas and even controversy, over their strengths and weaknesses. Does the notion of scale is the same for print and digital products? Today is modelled topography as in the past? Does the usual cartographic generalization is a practice akin to instrumental facilities and accuracy available today? Representing the ubiquity of field data is limited to the rules of the twentieth century? The digital paradigm requires the reformulation and adaptation of the Charter Act, with its postulates, to the XXI Century bias. The secular map evolution addresses and exposes to its consideration, clearing some questions.

INTRODUCCION

Hace un siglo la III División del Estado Mayor del Ejército iniciaba un ambicioso proyecto cartográfico que dos años después impulsaba el plan nacional pionero en la especialidad, proponiéndose la representación sistemática del territorio argentino. El Plan de la Carta (1912) del Instituto Geográfico Militar procuraría publicar hojas topográficas en distintas escalas realizando levantamientos generales a la escala de 1:100000 y algunos particulares a 1:25000, aunque con esta escala la III División ya había cubierto la Ciudad de Buenos Aires y sus alrededores. Con los levantamientos locales realizados en Salta, Mendoza, Córdoba, Entre Ríos y Corrientes se representaba, a 1:25000, el 0.26 % del territorio. El objetivo requería distribuir una red de puntos altimétricos y planimétricos, pero en la década siguiente se lo abandonó pues con las técnicas empleadas, completar más de un kilómetro cuadrado por día de trabajo era una epopeya. Asumidas las limitaciones se adoptó la escala de 1:50000, para abarcar mayor superficie, aunque relevando menos detalles. En el año 1926 el IGM abordaba un nuevo proyecto, el de la Carta Militar Provisional a la escala 1:500000.

Sus modestas pretensiones de detalle y precisión eran más útiles para abarcar todo el territorio nacional, postergando la escasa y compleja producción cartográfica detallada. Tres lustros más tarde se promulgaba la Ley de la Carta. Los avatares de la producción cartográfica nacional durante la primera mitad del Siglo XX involucraron al devenir político, con sus requerimientos, y a las consecuencias del desarrollo científico. En 1948 se determinó la referencia altimétrica y se alentaba la formación intensiva de recursos humanos nativos.

OBJETIVO

Este trabajo compara los métodos, con sus resultados, entre los protocolos vigentes para producir cartografía durante el siglo pasado y las innovaciones originadas por el paradigma digital, transcurrida una década del Siglo XXI, planteando indicadores, patrones y tendencias, que aspiran a despejar algunos interrogantes.

RESEÑA

La deliberación entre la política y el desarrollo científico, condicionaba la producción cartográfica porque la empresa era ardua para los exiguos recursos materiales y humanos disponibles. Las campañas de levantamiento expeditivo del IGM relevaban el territorio, inspiradas en la metodología desarrollada entonces por los países que cumplieron sus metas cartográficas decidiendo al efecto cual era la escala más conveniente participando en el proyecto del Mapa Millonésimo Mundial.¹ El contexto político internacional en el que se presentó el Plan de la Carta ambicionaba la inclusión de nuestro país entre los considerados modernos, protagonizando aquel proyecto de alcance planetario. Considerar como indicador solo la extensión territorial, desdeñando la capacidad financiera y humana disponible en la República Argentina, dificultaba concretar los planes cartográficos, en los tiempos previstos y con una calidad semejante a la de aquellas potencias. Además se aspiraba a obtener tal resultado, preservando el ideal científico con la ecuación de “precisión cartográfica”.² Ello propiciaba otro dilema para la cartografía nacional porque el método expeditivo y de recopilación, sin base geodésica, requeriría una red trigonométrica topográfica medida con alambres de Invar y orientada a la Polar.³ Así se obtendría una carta topográfica expeditiva a la escala 1:100000, aunque ya al final del Siglo XIX se la consideraba una técnica perimida, por el tiempo que insumía y la escasa precisión obtenida en el mapa final. Emulando a Europa, donde ya se explotaban las redes geodésicas para realizar los levantamientos topográficos, se había elaborado el Plan de la Carta intentando acompañar tal tendencia, para equiparar los mapas locales con los de los países europeos que obtenían así gran precisión en sus productos. Dos perspectivas pugnaban por prevalecer, polemizando sobre las escalas adecuadas y el consecuente apoyo geodésico. Estas cuestiones, resueltas a mediados del Siglo XX, jalonaron en su segunda mitad la producción cartográfica nacional. Esta había experimentado un cambio notorio desde los productos de autor, cuyos antecedentes nacionales se originaban en la satisfacción de necesidades locales emprendidas por especialistas extranjeros, a los mapas oficiales del Estado Nacional Argentino tutelando la producción cartográfica para garantizar su verosimilitud y precisión. En forma muy general la cartografía suele ser clasificada en dos categorías: cartografía general y cartografía temática. La general apunta a la producción de mapas bases con una variedad importante de características. Suelen mostrar elementos naturales del territorio como así también elementos artificiales, humanos o culturales, como las localidades, las fronteras políticas, redes de transporte, entre otros. Por su parte, la cartografía temática representa aspectos que no surgen inmediatamente visibles en el territorio, dando cuenta de características socio-espaciales de interés, es decir, que resalta gráficamente sobre el plano objetos y fenómenos territoriales específicos que caracterizan a una determinada rama de la ciencia.⁴ Como disciplina sistémica la cartografía reúne aspectos cognoscitivos, comunicativos y tecnológicos, simbolizando y representando al espacio geográfico real para expresar la distribución sintética y precisa de los datos de interés.⁵ Desarrollar la cartografía de base insumió dos tercios del Siglo XX, condicionando la evolución de la vertiente temática. Al normalizar la referencia altimétrica, determinar el Datum Campo Inchauspe, y completar la Red Fundamental, con las de segundo y tercer orden, se materializó una referencia geométrica que abarcaba todo el territorio nacional, pero vincularla con la cartografía global implicaría emprender nuevos proyectos y desarrollar nuevas capacidades.

TRANSICION

Una década antes del Centenario del IGM⁶ se instalaba en nuestro país la primer planta receptora de señales satelitales, revolucionando las telecomunicaciones. El 20 de Julio de 1969 el hombre pisaba la Luna ante millones de televidentes y contemporáneamente con estos sucesos se concretaba el postulado inicial del Plan de la Carta, al abarcar todo el territorio nacional y representarlo adoptando protocolos internacionales.

La carrera espacial, con su enorme impacto en la Ciencia, aportó efectos positivos en la producción cartográfica mundial. Los sensores remotos, especialmente los de recursos naturales y los meteorológicos con sus productos, comenzaban a utilizarse para editar cartografía digital. Cuando el IGM cumplió un siglo se formaban los primeros especialistas nacionales en teledetección y al crearse la CoNAE (Comisión Nacional de Actividades Espaciales) en el año 1991, se experimentaban las aplicaciones informáticas para la cartografía. El dibujo asistido por computadoras facilita la edición de productos gráficos con los atributos que distinguen a la cartografía como arte y ciencia.⁷ El modelo de Ratajski⁸ establece la relación entre el mensaje emitido por el autor del mapa y sus observadores, ya que el operador o editor aplica técnicas que simbolizan la realidad, procesando la información disponible, y los receptores interpretan el resultado como un ideograma. Con la edición digital se normaliza la producción, independizándola de las habilidades y subjetividades del trabajo artesanal. Los operadores y las prestaciones informáticas garantizan una excelente calidad en los originales, para obtener las películas y las chapas fotoquímicas que embebidas en tinta imprimen el producto final; el aporte digital optimiza, con el final del Siglo XX, la producción cartográfica.

DISPONIBILIDADES

Durante la primera década del Siglo XXI el inexorable avance científico y tecnológico impacta en diversas disciplinas. En las Geociencias los sensores remotos, los dispositivos de posicionamiento y el instrumental de medición, expanden las posibilidades de explotación de la IG. El GPS (Sistema de Posicionamiento Global) facilita el desenvolvimiento científico aunque al eliminar la disponibilidad selectiva también se masifica el acceso a usuarios que solo necesitan ubicarse en el terreno con una aproximación aceptable. Ellos explotan los resultados y no se interesan ni en los fundamentos teóricos ni en las precisiones, el instrumental les resulta útil cuando obtienen un servicio de localización expeditivo. Sucede algo similar con los productos geográficos accesibles en Internet porque los profanos interpretan que consultan mapas. Transcurrida una centuria desde los trabajos de la III División del Estado Mayor del Ejército Argentino, ese puñado de hombres tiene millares de discípulos produciendo y explotando cartografía digital nacional.⁹ Hoy relacionando las BBDD (bases de datos) de los SIG (Sistemas de Información Geográfica) y las capturas de los sensores remotos con sus productos, se facilita la representación terrena. Un punto abstracto adquiere atributos de posición cuando está referenciado en un sistema convenido que lo relaciona con otros elementos inmersos en el mismo espacio. Georreferenciar los datos consiste en referirlos geográficamente estableciendo relaciones espaciales que los representan o los materializan, en su caso, en el globo terrestre. Las coordenadas de un ínfimo punto son únicas pero los sucesos, efectos, eventos, relaciones y funciones de los datos que allí concurren son infinitos. El espacio geográfico es el dominio y la posición precisa en él un indicador común unívoco, agregando valor a esa ubicuidad singular si coinciden la realidad y su representación cartográfica convencional, convirtiéndola en el distintivo donde convergen las magnitudes temporales, de escala y de posición atribuibles a los datos.¹⁰ Instrumentar una infraestructura nacional de datos geoespaciales propone una plataforma de adquisición, intercambio, normalización, administración, tratamiento, vinculación, distribución, publicación y almacenamiento de la información georreferenciada. Cuando el esquema mental planteado por Ratajski restituye la realidad representada, aún con un error relativo pero aceptable, se logra el objetivo al abstraer el mundo real y sintetizarlo como una analogía gráfica o, en el Siglo XXI, un mapa digital, que solo expresan con su imagen a los datos utilizados en su edición, con independencia del soporte físico. Científicos, académicos y expertos en representar el territorio pueden reducir la incertidumbre, despejando y respondiendo a los interrogantes planteados en el resumen.

PARADIGMA

Las celdas de los monitores de las computadoras varían en sus dimensiones, las de mejor resolución coinciden con la mínima magnitud apreciable por el ojo humano, 0.2mm. La noción escalar detallada con el soporte digital es definible por la expresión numérica de las coordenadas, mientras su valor coincida con la realidad material. Las coordenadas geográficas resultan más precisas si representan a las mínimas fracciones infinitesimales; la noción escalar, en todo su rango, impone alguna normalización a la edición de la cartografía digital. Los mapas oficiales de la República Argentina grafican su territorio desde una escala pequeña que abarca tres grados de longitud por dos de latitud, 1:500.000, hasta la escala media 1:25.000 que representa siete minutos con treinta segundos de longitud por cinco minutos de latitud. Estas normas legales se pergeñaron para el soporte papel y sus sucedáneos. En el soporte digital imperan las celdas y el pixel, simbolizando aquél punto inmaterial y abstracto en el que convergen las magnitudes de todo orden y rango atribuibles a los datos y el soporte físico que reúne la información para la gestión territorial.

Las determinaciones geodésicas también evolucionaron y con ellas la representación terrena. En el presente siglo feneció el concepto del nivel medio del mar; la topografía marina, relevada desde hace más de tres lustros por la misión Topex Poseidón, es una variable geofísica compleja aunque muy útil en la práctica. La constelación artificial del GNSS,¹¹ con sus recursos altimétricos, podrá minimizar la incertidumbre ante dos incógnitas. La dimensión temporal hasta de las intersecciones entre paralelos y meridianos, la cuarta dimensión o velocidad del punto, originada en el movimiento de las placas tectónicas con la consecuente deriva de los continentes, y una mejor aproximación a la forma y dimensiones del Planeta Tierra, la utopía eterna de los geodestas. Determinar una posición vinculada hasta a la verdadera forma de la tierra, a la vertical del lugar y a efectos físicos tan relevantes como las anomalías de gravedad o el movimiento de las placas tectónicas, hoy es una tarea propia de la geofísica con finalidad científica pero compleja y engorrosa para el uso cotidiano, aunque los receptores del GNSS se aproximarán a esos resultados, y accesiblemente.¹² El modelo digital de elevaciones global, SRTM,¹³ está disponible en Internet desde hace más de un lustro, es gratuito y se lo actualiza mejorando su calidad y resolución espacial. Descontando que en poco tiempo se lo correlacionará con los productos del GNSS, relevar la topografía en parajes remotos requerirá, a lo sumo, campañas para ajustar datos teledetectados. El levantamiento topográfico urbano se ejecutará como hasta hoy, y con mejor instrumental. Ello solo resolvería la cuestión geométrica en el terreno, aproximando la orientación y precisión relativa con la absoluta. Las treintaicinco estaciones GPS permanentes que componen la RAMSAC,¹⁴ aportan un creciente servicio local de ubicuidad cuya precisión impulsa y promueve la explotación de la IG con las TICs y simultáneamente definen la Red Oficial GNSS en el territorio nacional como en el continental, vinculando expeditivamente la planimetría y el relieve.¹⁵ Accediendo a servidores normalizados, públicos, gratuitos y con referencias almacenadas, alcanza con superponer los mapas digitales a evaluar, determinando su coincidencia geométrica. Magnificando sectores superpuestos suelen surgir los eventuales errores posicionales o se confirman los atributos cualitativos de la IG procesada, editada y homologable. Las infraestructuras de datos geoespaciales proponen normalizar la representación terrena unificando y publicando el producto gráfico en repositorios materiales o virtuales, y accesibles, desde fuentes, usos y operadores múltiples, disponibilizando información para la gestión pública, vinculando los accesos a catálogos para intercambiar, adquirir y procesar los datos y sus metadatos. En un proceso inverso al de generalización cartográfica, que facilita la lectura del producto, ya se puede particularizar y detallar sin deteriorar la calidad de la información, preservando su precisión y legibilidad. Los equipos y programas informáticos, gratuitos o comerciales, aplicables a la explotación de la IG evolucionan permanentemente, incorporando utilidades, facilidades, conectividad con las infraestructuras de datos geoespaciales y otros recursos, para editar cartografía digital desde un escritorio elemental.

CONCLUSIONES

Si en la explotación de la IG digital disponible se aplicara la ecuación de “precisión cartográfica” el proveedor del producto, el servidor en el que el usuario formula una petición, garantiza su calidad con algunas salvaguardas respecto a la ubicuidad de los datos. Las coordenadas geográficas expresadas en grados, minutos y segundos, son asimilables a la escala media de las artes gráficas. En el Ecuador un grado equivale a 111 Km así que un segundo son casi 31 metros y cada décima de segundo tres metros. En el último lustro todos los receptores GPS proveen una precisión que media entre un segundo y su décima parte, mientras sintonicen cuatro o más satélites. Con cierta experticia ese segundo de incertidumbre posicional es reconocible a la escala de 1:50000 en las pantallas de mejor calidad. En los monitores obsoletos, de escasa resolución, el correlato escalar empeora. Considerando que la ponderación del error contribuye a su disminución, homologar la cartografía digital a la escala de 1:50000 resultaría tan efectivo como recomendable. Medir es solo una convención humana, pero al comparar los recursos digitales con un Canevás de papel milimetrado y un lápiz de 0.5mm, aun apelando a la mayor destreza del mejor artesano, se deduce porque los utilitarios informáticos representan a las mejores mediciones con una excelente precisión complementando a las artes gráficas.¹⁶ Comparando los resultados alcanzables, el SRTM aporta una solución expeditiva, aceptando sus limitaciones, al generarse con una grilla cuyos errores son visibles a una escala de 1:100000 y es aún menos preciso en áreas urbanas.¹⁷ Un levantamiento topográfico minucioso aún lo supera, procesando digitalmente los datos. En un lustro la interacción con el GNSS proveerá precisiones significativas, similares a las planimétricas obtenidas en el presente. El 15 de Mayo del año 2009 ha sido adoptado el nuevo “Marco de Referencia Geodésico Nacional” POSGAR 07, que reemplaza al hasta entonces vigente POSGAR 94. Utiliza como red de orden cero al conjunto de estaciones permanentes GNSS de la RAMSAC, permite aprovechar íntegramente los datos colectados por ellas aplicados a la nueva realización, incluye como cuarta dimensión al campo de velocidades y define el marco regional SIRGAS.¹⁸

La CoNAE desarrolla, entre muchas otras, actividades intensivas de capacitación para docentes primarios y medios. El Plan Espacial Nacional, incluye al Programa de Entrenamiento Satelital para Niños y Jóvenes 2Mp para que en siete años dos millones de ellos, de entre ocho y dieciséis años de edad, accedan y utilicen la información de origen satelital aplicada al desarrollo de su vida cotidiana, habituándolos a explotar los productos derivados de la tecnología espacial. La iniciativa propone una estrategia ante las aplicaciones y oportunidades que ofrecen las TICs, aprovechándolas para formar a los recursos humanos con las capacidades académicas y tecnológicas disponibles en la República Argentina. Transcurrida la primera década del Siglo XXI el quehacer cartográfico se difunde y expande con escasa correlación en el aspecto institucional nacional para la dinámica del acontecimiento, frente a la sostenida evolución del conocimiento. Hace un siglo los precursores de la Geodesia Nacional procuraban representar sistemáticamente al territorio argentino, aunque escasearan los recursos humanos y materiales, emprendiendo sus primeros trabajos mientras se debatía el marco institucional, tanto local como internacional, para la representación de la continuidad geográfica global; hoy las disponibilidades, tanto humanas como materiales, consuman y actualizan aquella gesta en todo el territorio nacional. Ante este panorama innovar en el modelo de gestión de la información geoespacial es una prioridad. Normalizar la cartografía digital disponible, y la creciente producción sobrevenida con su divulgación, es un requisito ineludible. Las infraestructuras de datos geoespaciales que se están desarrollando en numerosas reparticiones nacionales, provinciales, municipales y en las instituciones académicas, los imperativos legales de la Ley Federal de Catastro, la creciente demanda de los usuarios masivos y la oferta tecnológica que se incrementa permanentemente, aseveran que el Paradigma Digital está entre nosotros, imponiéndose su normalización para aprovecharlo mejor.

BIBLIOGRAFIA

Curso de actualización en el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), hacia el Sistema Global de Navegación Satelital (GNSS) Instituto de Geodesia, Facultad de Ingeniería, UBA, Diciembre de 2006.

Malena Mazzitelli Mastricchio, Quinto Congreso de la Ciencia Cartográfica, Sante Fe, 28 de junio al 2 de julio del año 2010, “Los aspectos políticos y científicos de la cartografía argentina (1912-1941)”.

REFERENCIAS

- ¹ Rusia y Estados Unidos, pese a su enorme extensión, se propusieron ese objetivo y lo concretaron. Disponían de los recursos humanos y materiales.
- ² Resultante del producto entre el denominador de escala y 0,2 mm, el mínimo segmento apreciable por el ojo humano. ($PC = 0,2 \times \text{denominador}$).
- ³ Con el método trigonométrico topográfico para el levantamiento debe optarse por las coordenadas Cartesianas o las Polares. Las primeras se determinan en gabinete y las restantes en el trabajo de campo; las cintas de Invar aseguraban la precisión de las mediciones, requerida en esa época.
- ⁴ La cita textual es de la Asociación Centro Argentino de Cartografía <http://www.centroargentinodecartografia.org/>
- ⁵ Yoel Cuzán Fajardo, et al “Cartografía digital y sistemas de información geográfica” III Congreso Internacional de Geomática, 18 al 23 Febrero del año 2002, La Habana, República de Cuba. <http://espejos.unesco.org.uy/simplac2002/Ponencias/Geom%Eltica%202002/GE036.doc>
- ⁶ En 1879 se creó la Oficina Topográfica Militar, que el IGM considera como su precursora y también se fundó el Instituto Geográfico Argentino.
- ⁷ Con este objetivo, en la cartografía temática se utilizan determinadas variables visuales para representar aquellos objetos o fenómenos que deben reflejarse en el mapa: dimensiones del plano (x,y), tamaño, valor, grano, color, orientación y forma. <http://www.centroargentinodecartografia.org/>
- ⁸ Ratajski, I. (1973) The Research Structure of Theoretical Cartography International Yearbook of Cartography. Vol. 13 Kirschbaum, pp. 217-227.
- ⁹ Mapear es una comunidad de usuarios de GPS que reportan su navegación territorial expeditiva a un portal de Internet, para compartir, intercambiar, representar y validar datos ubicuos, cuya incertidumbre posicional se aproxima a los diez metros y abarcan todo el territorio nacional continental.
- ¹⁰ Néstor Zirulnikoff “Geomática aplicada para la gestión censal”, Boletín N° 43 del Centro Argentino de Cartografía.
- ¹¹ Por sus siglas en inglés: Sistema Global de Navegación Satelital. Esta constelación artificial ya está reemplazando gradualmente a la del GPS y completará el ciclo de relevo tecnológico antes del año 2015; actualmente, en la transición, los receptores acceden a treinta y cinco satélites.
- ¹² Computadoras portátiles, instrumentos y teléfonos celulares incorporan la tecnología receptora, que representará mejor a la incertidumbre altimétrica, pero solo reducirá la aproximación entre la orientación relativa provista por el instrumental, con la ubicación absoluta en el terreno.
- ¹³ Shuttle Radar Topographic Mission, <http://srtm.csi.cgiar.org/index.asp>
- ¹⁴ Red Argentina de Monitoreo Satelital Continuo, <http://www.ign.gob.ar/ramsac/introduccion>
- ¹⁵ Hasta ahora la ubicación en la superficie terrestre se determina referida a la intersección entre paralelos y meridianos, cuya proyección convencional define la planimetría. A la topografía se la referencia determinando la vertical local. Con el GNSS se determinarán simultáneamente.
- ¹⁶ El lápiz, y el correlato escalar de los recursos digitales obsoletos, exceden la mínima magnitud distinguible para el ojo humano de 0.2mm, limitando así su precisión nominal, que al representar el territorio propagando errores incrementan la incertidumbre posicional.
- ¹⁷ Por las características físicas del sensor activo, con un ángulo variable de visada y otros efectos distorsivos de su señal, los productos obtenidos por este método poseen un error relativo que le atribuye a la infraestructura edilicia la topografía del terreno, magnificando el relieve urbano.
- ¹⁸ Al Sistema de Información y Referencia Geodésica para las Américas se lo está desarrollando como marco de referencia regional planialtimétrico para ambos hemisferios del continente. Para obtener más información consulte en <http://www.ign.gob.ar/proyectos/posgar2007/introduccion>

EVOLUÇÃO DO USO E COBERTURA DA TERRA NA REGIÃO DOS CAMPOS DE CIMA DA SERRA, RS, BRASIL

Evolution of land use and cover at the Campos de Cima da Serra region, Rio Grande do Sul state, Brasil

Eduardo Vélez ²

Bruno Depra ³

Tatiana Mora Kuplich ¹

Aline Trentin ¹

Andreise Moreira ¹

Rosana Corazza ¹

¹ Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/INPE

² Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

³ Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

Prédio do INPE – Laboratório de Sensoriamento Remoto da Vegetação – Campus Universitário
– Camobi, CEP 97105-900 Santa Maria - RS, Brasil

tmk@dsr.inpe.br; velezedu@portoweb.com.br; bruno_depra@hotmail.com;

abtrentin@yahoo.com.br; andreisemoreira@yahoo.com.br; corazza_ro@yahoo.com.br

RESUMEN

La región de los Campos de Cima da Serra se caracteriza por la presencia de grandes extensiones de campos alternos con mosaicos de bosques de formación natural de Araucaria. Se encuentra al noreste de Rio Grande do Sul en el sur de Brasil Meseta y parte del bioma Bosque Atlántico. Este estudio tiene como objetivo identificar y cuantificar los principales tipos de usos y coberturas del suelo en esta región con la aplicación de datos de teledetección. Fueron utilizadas imágenes del sensor Landsat TM (bandas 3 (R), 4 (B) y 5 (G)) correspondientes a las fechas de 1984 y 2008; se realizó una clasificación supervisada de máxima verosimilitud en sistema de Spring versión 4.3.3. Los resultados mostraron un predominio de las zonas del campo. Sin embargo, hubo una reducción en las áreas de los campos durante este periodo, de 81,53% a 47,37%, sustituida por la agricultura y la silvicultura. La teledetección permitió obtener información rápida y confiable para el monitoreo de la vegetación. La continuidad de este estudio se concentra en producir información para la gestión sostenible y el desarrollo de estrategias para la conservación de los Campos de Cima da Serra.

Palabras claves: Teledetección, Uso de la tierra, Campos de cima da serra.

ABSTRACT

The Campos de Cima da Serra region is characterized by grasslands in a mosaic with Araucaria forest patches. It is located in northeastern Rio Grande do Sul in South Brazilian Plateau and part of the Atlantic Forest biome. The overall objective of the study was to identify and quantify the major types of land use and land cover in the region with the use of remote sensing data. For that, Landsat 5 Thematic Mapper (bands TM3, TM4 and TM5) images for 1984 and 2008 were acquired and classified with supervised Maximum Likelihood algorithm. The results demonstrated the predominance of grassland areas, although many areas were converted to crops and reforestation. Remote sensing data in a classification approach were effective for mapping land use and land use change, denoting its adequacy for vegetation cover monitoring. Further work are in progress, aiming at providing information for helping to design sustainable management and conservation strategies for the Campos de Cima da Serra.

Keywords: Geoprocessing, Land use, Campos de Cima da Serra.

1. INTRODUÇÃO

O Rio Grande do Sul concentra aproximadamente 75% da vegetação campestre da região sul do Brasil (OVERBECK et al., 2007). Esta fisionomia vegetal regional recebe a denominação de Campos Sulinos e integra dois biomas distintos: a Mata Atlântica e o Pampa. Os campos do bioma Mata Atlântica situam-se sobre o Planalto Sul-Brasileiro formando mosaicos com a Floresta Ombrófila Mista (Floresta com Araucária) que ocorrem ao norte do estado do Rio Grande do Sul, no estado de Santa Catarina e no Paraná. Os campos do bioma Pampa ocorrem na Depressão Central Gaúcha, Planalto Sul-Riograndense, Planalto da Campanha e Planalto das Missões e mantêm semelhança com os pampas do Uruguai e da Argentina (BEHLING et al., 2009).

Apesar da aparente uniformidade, os campos sulinos possuem grande biodiversidade e espécies vegetais de valor forrageiro, sendo a base da produção pecuária. A estimativa da diversidade florística campestre (gramíneas, compostas, leguminosas, ciperáceas, etc.) é de 2.200 espécies (BOLDRINI, 2009). Os fatores que determinam a atual fisionomia dos campos e a distribuição florística e espacial das diferentes comunidades campestres ainda não são suficientemente conhecidos (OVERBECK et al., 2007). A manutenção de um determinado regime de distúrbios como o pastoreio e o fogo, parecem ser essenciais para a manutenção da diversidade florística e fisionômica dos campos (QUADROS & PILLAR, 2002).

Nos últimos anos os campos têm sofrido um incremento na redução da sua área original por conta da agricultura e, mais recentemente, da silvicultura com espécies exóticas. Este processo tem consequências negativas para a conservação da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos a ela associados, como ciclagem de nutrientes, sequestro de carbono, polinização, entre outros. Cabe destacar que muitas espécies da flora e da fauna encontram-se ameaçadas de extinção por conta da redução das áreas de campo (BOLDRINI, 2009; BENCKE, 2009).

As realizações de diagnósticos sobre as áreas naturais remanescentes e sobre os usos antrópicos que são os agentes causadores da perda de habitat são de grande relevância para o planejamento ambiental e para definir estratégias de conservação. A avaliação do uso e cobertura da terra e as suas variações numa determinada escala de tempo, permite identificar e quantificar quais são os diferentes tipos de uso, avaliar o grau de degradação e identificar a distribuição espacial das áreas naturais remanescentes. Além disso, é de grande relevância na realização de zoneamentos ambientais, na elaboração de prognósticos e na construção de indicadores ambientais. Também, auxilia na avaliação da capacidade de suporte ambiental, diante dos diferentes manejos empregados na produção, servindo como subsídio para a proposição de alternativas promotoras do desenvolvimento sustentável (IBGE, 2006).

Uma ferramenta fundamental neste tipo de avaliação é a análise e classificação de imagens geradas por sistemas sensores. A visão de conjunto e a multitemporalidade das imagens de satélite permite o acompanhamento das transformações do espaço ao longo do tempo, de forma rápida e confiável. Através da interpretação das imagens é possível elaborar diversos tipos de mapas temáticos, em especial, os de uso e cobertura da terra. Este produto cartográfico, resultado da análise integrada das variáveis hipsometria, declividade, orientação de vertentes, solos, pluviometria, hidrografia e outros, torna-se uma poderosa fonte de informação para a gestão territorial.

Na produção dos mapas temáticos de uso e cobertura considera-se mais adequado empregar o termo “terra” ao invés de “solo” por ser o primeiro mais abrangente. Segundo a FAO (1976) o conceito de “terra” compreende o ambiente físico, clima, relevo, solo, vegetação e hidrologia que, juntamente com a atividade humana acumulada do passado e do presente, influenciam o seu potencial de uso. Segundo LEPSCH (2002), o conceito de uso do “solo” pode ser considerado como “[...] *sinônimo de qualquer parte da superfície da Terra e mesmo de outros planetas*”, analisado e entendido de variadas formas, de acordo com a sua utilização e especificidade de estudo. Na maior parte das vezes, sendo utilizado no “[...] *desenvolvimento da produção de alimentos, por ser esta uma das principais funções do solo*”. Assim, o termo terra

engloba, além, do solo “[...] outros atributos como relevo, clima, vegetação, localização, cuja utilização do espaço pelas atividades agrícolas, por exemplo, dependem também de condições de infra-estrutura social e econômica”.

Observa-se, assim, que estudos de uso e ocupação da terra envolvem fundamentalmente o ambiente natural, incluindo a caracterização da vegetação, sua distribuição e dinâmica, e o ambiente antropizado nas suas diferentes manifestações.

O objetivo deste trabalho consiste em avaliar o uso e cobertura da terra, com auxílio de imagens de satélite, na região dos Campos de Cima da Serra, Rio Grande do Sul e sua dinâmica temporal num intervalo que compreende os anos de 1984 e 2008.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo avaliada situa-se na região dos Campos de Cima da Serra, no nordeste do Rio Grande do Sul, sobre o Planalto Sul-Brasileiro. BOLDRINI (1997) considera que os campos nessa região constituem “encraves” no domínio da floresta com *Araucaria angustifolia*, com dominância de espécies cespitosas eretas e de ciclo estival e muitas espécies hibernais endêmicas e/ou raras.

A área considerada neste estudo compreende um total de 11.960,34 Km², delimitada pelas coordenadas geográficas 28°00’ e 29°26’ S e 49°54’ e 51°28’O (**Fig. 1.**)

Para a realização da classificação do uso da terra utilizou-se imagens do satélite Landsat/Thematic Mapper (TM), bandas 3, 4 e 5, para os anos de 1984 e 2008, processadas por meio do sistema Spring 4.3.3. A seleção das datas citadas considerou um intervalo de tempo suficiente para detectar mudanças na paisagem.

A primeira fase do processamento digital das imagens envolveu a correção geométrica das imagens Landsat TM utilizando como referência o mosaico GeoCover Landsat de 2000 fornecido pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*). Para este georreferenciamento definiu-se como pontos de referência as confluências da rede de drenagem e da rede viária.

As imagens foram adquiridas junto ao catálogo de imagens disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e encontram-se praticamente sem cobertura de nuvens. A composição colorida falsa-cor 3 (R), 4 (B) e 5 (G) permitiu discriminar de maneira clara os limites entre as classes, facilitando a classificação.

A classificação digital das cenas foi realizada de modo supervisionado e utilizou parâmetros estatísticos de máxima verossimilhança com classificação “*pixel a pixel*”. As amostras foram divididas em treinamento e teste. Os resultados obtidos com a classificação foram avaliados por meio de uma matriz de confusão e pela análise visual.

As classes de uso foram estabelecidas visando identificar os principais usos e a cobertura da terra para os anos de 1984 e 2008. No ano de 2008 realizou-se uma expedição a campo para obtenção de testemunhos sobre as principais fisionomias vegetais. Foram definidas cinco classes de uso da terra: campo nativo – compreende áreas de campo ainda não modificadas; cultura agrícola – áreas utilizadas para o cultivo de produtos da lavoura temporária; floresta nativa – compreende o conjunto de estruturas florestais originais; silvicultura – áreas florestais implantadas e corpos d’água – rios e açudes.

A aplicação dos procedimentos descritos permitiu realizar a classificação do uso e cobertura da terra para os diferentes períodos, avaliando quantitativa e também, qualitativamente as condições e a dinâmica de uso identificados na área de estudo.

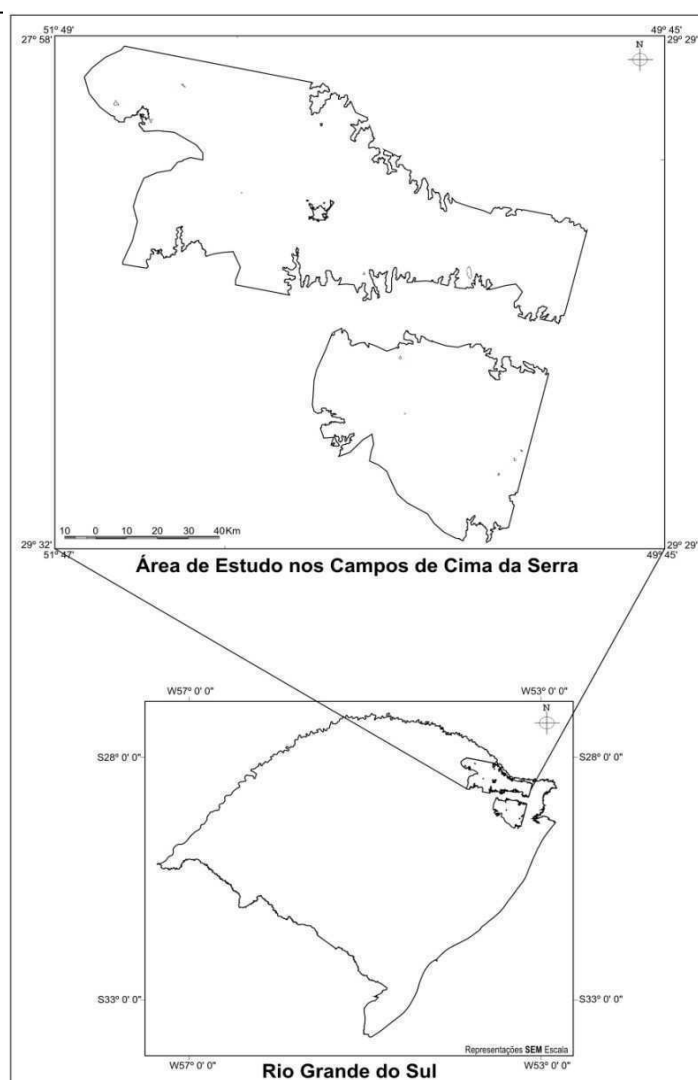


Fig. 1 – Mapa de localização da área de estudo.

3. RESULTADOS

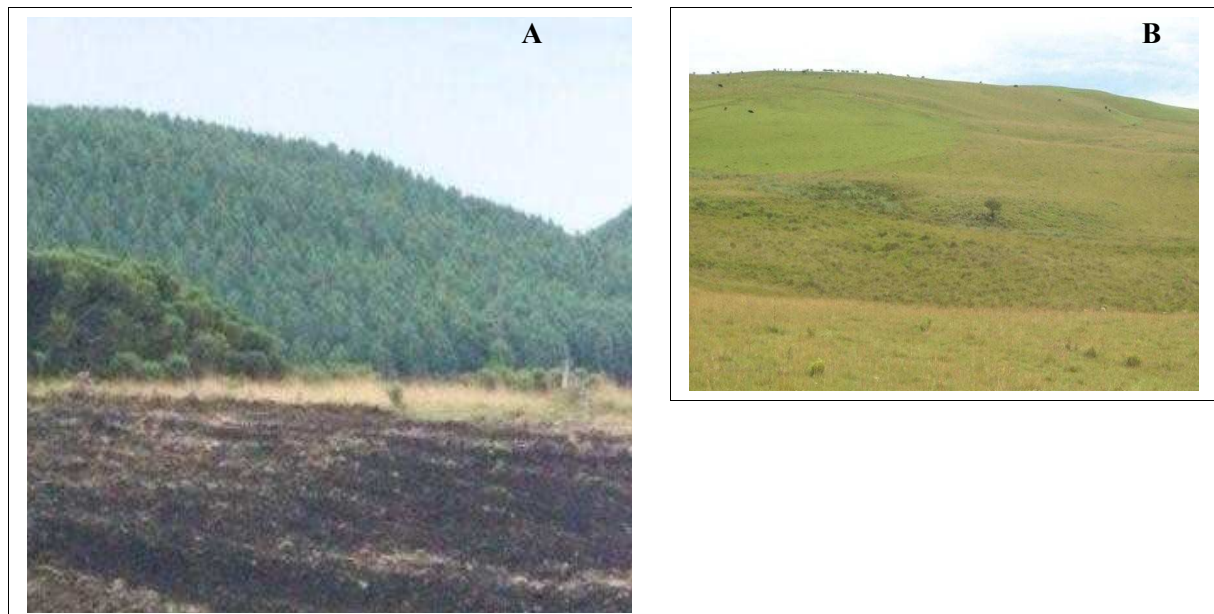
A análise das imagens TM permitiu identificar e quantificar os principais usos da terra na região dos Campos de Cima da Serra para os anos de 1984 e 2008. Na área de estudo há predomínio de campos, contudo observa-se que estes vêm sendo substituídos em grande escala pela agricultura, e em seguida pela silvicultura (**Fig. 2**).

A partir da análise dos dados presentes na **Tabela 1** para o ano de 1984 e do mapa resultante deste mesmo ano (**Fig. 3**) pode-se observar que há um predomínio da classe temática campo, com 81,53% da área total. Trata-se da vegetação nativa que caracteriza a região. Dentro desta classe estão incluídas várias fisionomias incluindo os campos usados para produção animal (pastagens naturais), campos úmidos, campos queimados e campos sujos. O restante da área no ano de 1984 era composta por vegetação florestal (12,32%), agricultura (4,96%) e em menor proporção, o início da implantação da silvicultura ocupando somente 1% da região.

Comparando-se os resultados obtidos para o ano de 1984 com a classificação do uso e cobertura da terra no ano de 2008 (**Fig. 4**), observa-se grande diferença na distribuição das áreas correspondentes a cada classe (**Tab.1**). A área correspondente a classe de campo apresentou uma redução expressiva de área (47,37%) em relação à área ocupada em 1984. Esta diminuição ocorreu por conta do avanço da agricultura (33,04%) e a implantação crescente da silvicultura (4,14%).

Tabela 1: Área correspondente as classes de uso e cobertura da terra na Região dos Campos de Cima da Serra.

Classes de Uso e Cobertura da Terra	1984		2008	
	ha	%	ha	%
Agricultura	59.289,22	4,96	395.102,30	33,04
Floresta	147.385,92	12,32	180.400,58	15,08
Campo	975.146,60	81,53	566.522,00	47,37
Corpos d'água	2.187,12	0,18	4.451,86	0,37
Silvicultura	11.991,49	1,00	49.523,60	4,14
Área total das classes	1.196.000,34	100	1.196.000,34	100

**Fig. 2** – Fotografias representando uso e cobertura da terra na região dos Campos de Cima da Serra: **A** – silvicultura e campo queimado e **B** – campo nativo.

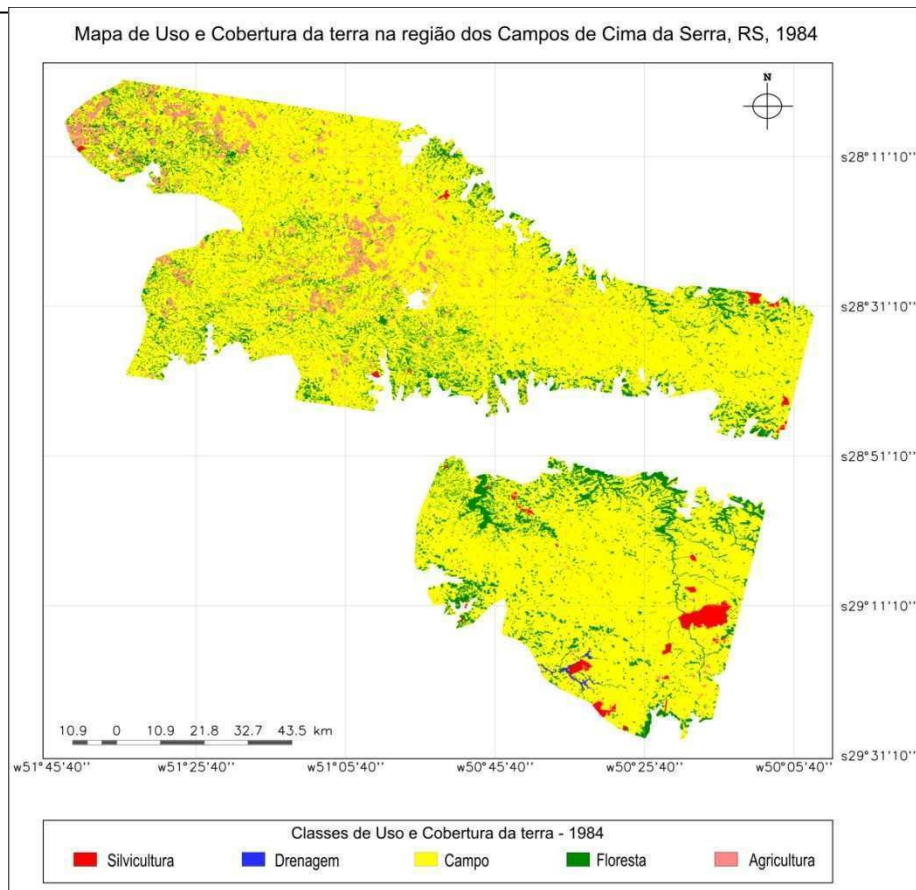


Fig. 3 – Mapa de Uso e Cobertura da terra – 1984.

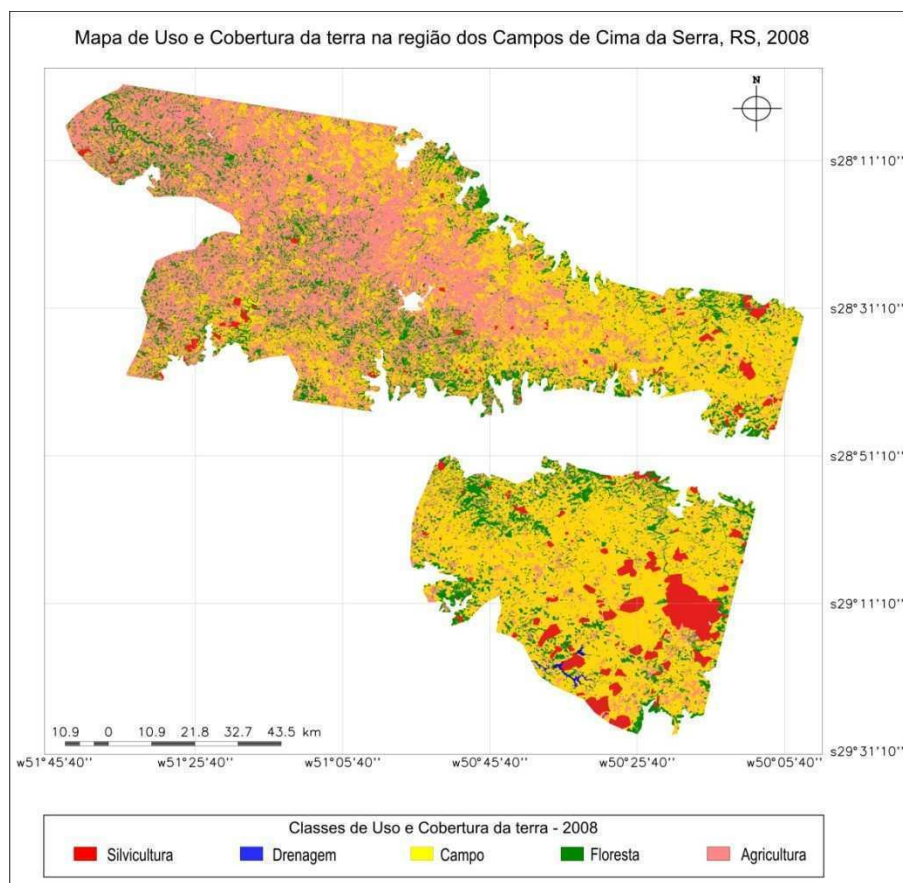


Fig. 4 – Mapa de Uso e Cobertura da terra – 2008.

4. CONSIDERAÇÕES

A análise temporal das imagens interpretadas na forma de classes de uso e cobertura da terra permite quantificar o processo de transformação da paisagem na dimensão espacial e temporal. Além disso, possibilita a identificação dos vetores de mudança na paisagem e as regiões em que tiveram maior ou menor expressão. Percebe-se que as áreas naturais, em especial, os campos nativos estão sendo eliminados de forma intensiva e num período bastante recente. A agricultura figura como o principal agente de transformação das áreas campestres. Percebe-se que a ausência de um zoneamento ecológico-econômico tem resultado na conversão das áreas de campo nativo, o que resulta em impactos negativos para a biodiversidade e para os serviços ecossistêmicos. Caso estas tendências não sejam revertidas, além dos impactos ambientais, poderá haver impactos econômicos em função da perda do valor turístico da paisagem regional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BEHLING, H. et al. Dinâmica dos campos no sul do Brasil durante o Quaternário Tardio. In: **Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**, Ministério do Meio Ambiente, Brasília, p. 13-25. 2009.
- BENCKE, G. A. Diversidade e conservação da fauna dos Campos do Sul do Brasil. In: **Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**, Ministério do Meio Ambiente, Brasília, p. 101-121. 2009.
- BOLDRINI, I. I. Campos do Rio Grande do Sul: caracterização fisionômica e problemática ocupacional. **Boletim do Instituto de Biociências da Universidade do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, n. 56, p. 1-39. 1997.
- BOLDRINI I. I. A flora dos Campos do Rio Grande do Sul. In: **Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**, Ministério do Meio Ambiente, Brasília, p. 63-77. 2009.
- FAO. A framework for land evaluation. **Soils Bulletin 32**, Rome, 1976. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/X5310E/X5310E00.htm>>. Acesso em: 21 jun. 2010.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Manual Técnico de Uso da Terra. **Manuais Técnicos em Geociências**. n. 7, 2. ed., 2006. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais/usodaterra/.shtm>>. Acesso em: 11 jun. 2010.
- LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.
- OVERBECK, G. E. et al. Brazil's neglected biome: The South Brazilian Campos. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, n 9, p. 101-116. 2007.
- QUADROS, F. L. F.; V. PILLAR. Transições floresta-campo no Rio Grande do Sul. **Ciência e Ambiente**, n. 24, p. 109-118. 2002.

EL SISTEMA GEODÉSICO DE COSTA RICA CR05: GESTACIÓN Y ACTUALIZACIÓN

Ing. Jorge Moya Zamora
Ingeniero Topógrafo y Geodesta
Escuela de Topografía, Catastro y Geodesia
Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica

RESUMEN

El nuevo sistema geodésico oficial de Costa Rica denominado como CR05 está materializado por una red geodésica de primer orden de 34 vértices, más una red de segundo orden de 68 vértices, vinculados al ITRF2000, época 2005,83. Este sistema, diseñado, medido y ajustado en el año 2005 corresponde con la nueva referencia de uso obligatorio para los diferentes trabajos vinculados con la topografía, el catastro, la geodesia, la cartografía y la geomática que se desarrollen en el país. Corresponde con la base de la nueva cartografía oficial del país, denominada como CRTM05, basada en una proyección Gauss-Krueger adecuada a la situación geográfica del país. Por medio de mediciones realizadas tiempo después se ha podido realizar una actualización no oficial del datum CR05 por medio de un nuevo vínculo a estaciones GNSS internacionales, resultados que han permitido a su vez estimar vectores de desplazamiento en la zona continental del país. Actualmente, se ha instalado una nueva red de ocho estaciones continuas que será la base de la próxima actualización de datum costarricense.

ABSTRACT

The new official geodetic system of Costa Rica known as CR05 is evidenced by a first order geodetic network of 34 vertices, plus a second-order network of 68 vertices, linked to the ITRF2000, epoch 2005.83. This system, designed, measured and adjusted in 2005 reflect the new reference mandatory for use for various work related to surveying, cadastre, geodesy, cartography and geomatics for the development in the country. This system is the basis of the new mapping of the country, known as CRTM05, based on a Gauss-Krueger projection appropriate to the location of the country. By measurements made after it has been the unofficial upgrade CR05 datum through a new link to GNSS stations admissions, results that have led in turn to estimate displacement vectors in the mainland. Currently, we have installed a new network of eight stations continued to be the basis for the next update of datum Costa Rica.

INTRODUCCIÓN

El sistema geodésico convencional de Costa Rica estuvo conformado por las viejas cadenas de triangulación cuyas mediciones se desarrollaron a mediados del siglo XX con ayuda del antiguo Servicio Geodésico Interamericano de los Estados Unidos (IAGS). Este sistema geodésico tomaba como referencia el punto fundamental Ocotepeque, ubicado en Honduras y el elipsoide de Clarke 1866. Constituía la base cartográfica del país mediante la aplicación de una doble proyección de Lambert con dos paralelos equidistantes cada una, originando los conocidos sistemas de coordenadas planas denominados Lambert Costa Rica Norte (LCRN) y Lambert Costa Rica Sur (LCRS). En la figura 1 se muestra la red clásica convencional de Costa Rica.

Posteriormente al inicio de la década de 1990 el Catastro Nacional de Costa Rica implementó un proyecto de catastro multifinlatario dentro del cual se midió una de las primeras redes con técnicas satelitales del país. Esta red estuvo conformada por 34 puntos pero en la determinación de las coordenadas ajustadas de los vértices se usó la posición absoluta del vértice central, ubicado en la azotea del edificio del Catastro Nacional, en San José, Costa Rica.

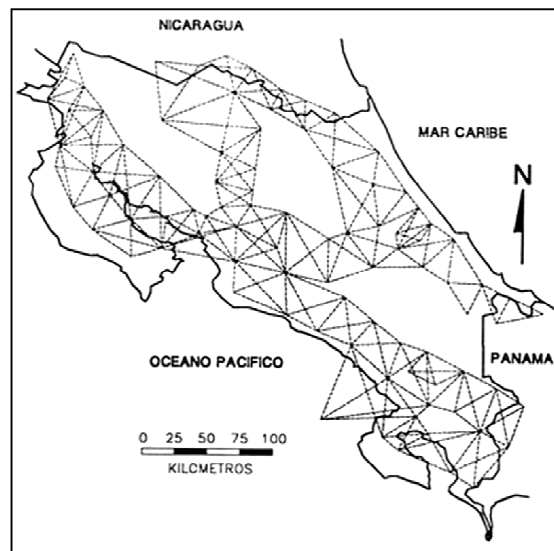


Figura 1. Antigua red geodésica de Costa Rica, base del sistema cartográfico LCRN y LCRS.

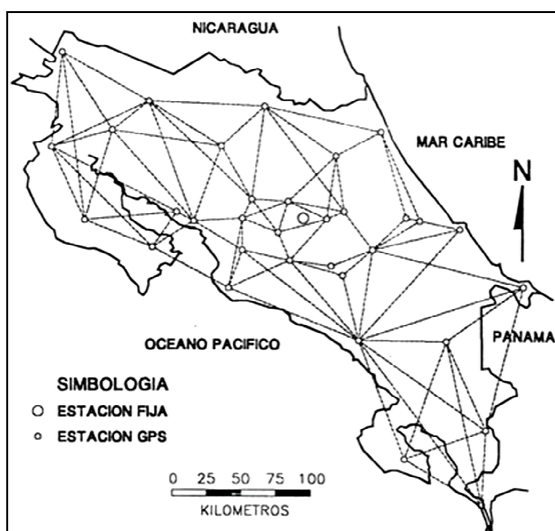


Figura 2. Red geodésica del sistema CR90, base para la proyección CRTM90.

Con los resultados de esta red se implementó un sistema cartográfico diferente al dual Lambert, denominado como CRTM por las siglas de Costa Rica Transversa Mercator, el cual es una modificación del sistema UTM en cuanto a la ubicación del meridiano central y el cambio de elipsoide de referencia de Hayford a WGS84. En la figura 2 se presenta la distribución de los vértices de esta red que generó el denominado datum CR90.

Al finalizar la década de 1990, la Escuela de Topografía, Catastro y Geodesia (ETCG) de la Universidad Nacional, desarrolló un proyecto de investigación en el área de la geodesia, cuyo objetivo fundamental consistió en generar una propuesta para un nuevo sistema de referencia moderno, basado en mediciones GPS con vínculo a la red mundial de coordenadas. Uno de los objetivos fundamentales de este proyecto consistió en la determinación de los parámetros de transformación entre el sistema clásico convencional, el CR90 y la nueva propuesta.

En la figura 3 se presenta la distribución de esta red determinada con base en las mediciones realizadas por varios proyectos de investigación en los años 1990, 1991, 1993 y 1998. Esta red se ajustó dentro del sistema mundial de coordenadas ITRF94, época 1998,35 y es la base el denominado datum CR98.

De acuerdo con Dörries y Roldán (1998 y 2004), los 7 parámetros de transformación entre los sistemas CR98-WGS84 y el convencional Ocatepeque-Clarke 1866 tienen valores de: -213,12 m, -9,36 m y +74,95 m para las tres traslaciones XYZ con una desviación estándar similar de $\pm 0,43$ m. Las rotaciones con valores de $-2,35'' \pm 16,08''$, $+0,06'' \pm 0,07''$ y de $-6,36'' \pm 1,11''$ en XYZ respectivamente y un factor de escala general de $+5,20 \text{ ppm} \pm 3,4 \text{ ppm}$.

Entre los años 2004 y 2005 y como parte del Proyecto de Regularización de Catastro y Registro, se ejecutó el diseño, la medición y el ajuste de otra red geodésica nacional, la cual vendría a sustituir la clásica red de triangulación de los años 1940 y 1950.

La nueva red geodésica de primer orden base del sistema CR05 consta de 34 vértices distribuidos por todo el país y sus mediciones permitieron hacer un ajuste dentro de la red mundial de coordenadas ITRF2000, época 2005,83, sin embargo esta referencia está ya superada pues actualmente en el mundo se trabaja con base en el sistema de referencia ITRF2008. Este nuevo sistema geodésico es la base de la nueva proyección cartográfica oficial del país CRTM05, que al igual que la CRTM90, mantiene la longitud del meridiano central en 84° W, pero con un cambio en su factor de escala a 0,9999. En la figura 4 se presenta la distribución del sistema CR05.

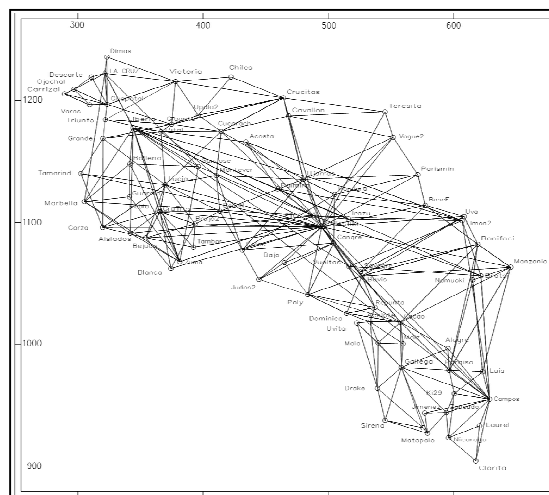


Figura 3. Red geodésica del sistema CR98, vinculada al ITRF94, época 1998,50.

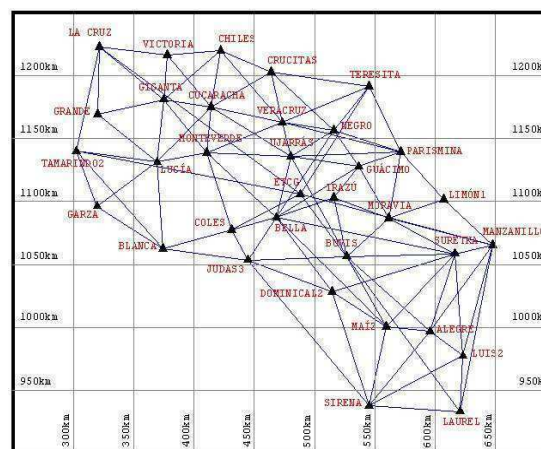


Figura 4. Configuración de la red geodésica oficial de Costa Rica, vinculada al ITRF2000, para la época 2005,83 y base del sistema cartográfico CRTM05.

Tabla 2. Coordenadas ajustadas de los 13 puntos en el datum ITRF2005, época 2009,26.

Punto	X [m]	Y [m]	Z [m]
COLE	588749,490	-6259202,439	1072573,849
CRUC	619014,878	-6233727,121	1195629,131
DOM2	672534,672	-6259180,655	1023920,662
ETCG	645208,295	-6249842,327	1100399,494
GARZ	477350,280	-6265433,205	1090540,906
GUA3	692545,758	-6239813,165	1121952,320
CRUZ	476657,062	-6242658,759	1214949,664
LAUR	779339,461	-6261249,023	929834,404
LIM1	762799,629	-6236131,298	1096131,116
LUCI	526386,495	-6255432,423	1125231,136
MAN2	803869,400	-6237196,786	1060367,454
MORA	718078,787	-6245148,224	1081574,953
VICT	533021,299	-6239091,019	1208725,873

Tabla 3. Estimación de los parámetros de transformación del datum CR05, ITRF00, época 2005,83 al datum ITRF05, época 2009,26

Parámetro	Valor / Exactitud
Traslación en X	0.0698 m ±0.0140 m
Traslación en Y	-0.0588 m ±0.0140 m
Traslación en Z	0.0874 m ±0.0140 m
Rotación en X	-0.1014 " ±0.0486 "
Rotación en Y	0.0417 " ±0.0220 "
Rotación en Z	-0.0623 " ±0.0338 "
Factor de escala	-0.2826 ppm ±0.1062 ppm

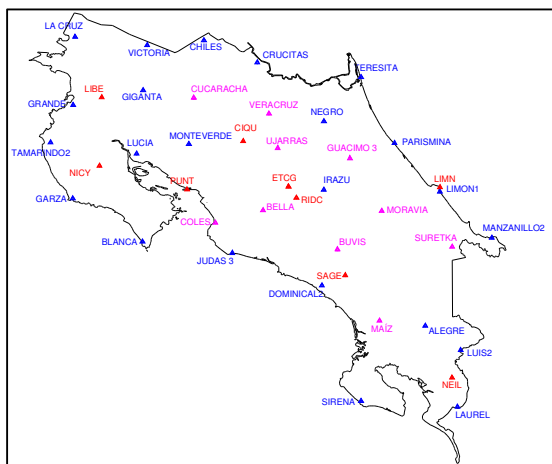


Figura 7. Ubicación de las estaciones de la Red de Orden Cero de Costa Rica

El proceso de ajuste consideró las coordenadas de estos puntos como fijas y como puntos nuevos los 13 de la red CR05 cuyas coordenadas ajustadas se tienen en la tabla 2. Los nombres de los puntos de la red CR05 se identifican con la nomenclatura clásica de 4 caracteres. Las coordenadas de la tabla 2 corresponden con la posición ajustada de los 13 vértices CR05 dentro del ITRF2005, época 2009,26.

CÁLCULO DE LOS 7 PARÁMETROS

El cálculo de los 7 parámetros entre el datum CR05 determinado en ITRF2000, época 2005,83 y la correspondiente determinación en ITRF2005, época 2009,26 requiere por lo tanto de los dos juegos de coordenadas tridimensionales XYZ. Si denotamos con el subíndice 00 a las coordenadas originales y oficiales de la CR05 y con 05 a las coordenadas ajustadas en ITRF2005, podemos escribir la ecuación matricial general de la transformación como:

$$\begin{bmatrix} X_{05} \\ Y_{05} \\ Z_{05} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_o \\ Y_o \\ Z_o \end{bmatrix} + (1 + m)R \begin{bmatrix} X_{00} - X_o \\ Y_{00} - Y_o \\ Z_{00} - Z_o \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}$$

La determinación por medio de ajuste geodésico de los 7 parámetros de transformación se hizo con el programa CR00H7CR05.m, escrito en código de MatLab 7.0. En la tabla 3 se presentan los 7 parámetros de transformación y su correspondiente desviación estándar.

LA RED DE ORDEN CERO DE COSTA RICA

Como parte de objetivos que se dejaron para ejecutar en una etapa posterior al desarrollo del CR05, estaba la puesta en marcha de una red de estaciones GNSS de operación continua. Este conjunto de estaciones es denominado internamente como la Red de Orden Cero.

En la figura 8 se presenta la ubicación de estos ocho vértices en color rojo, los vértices de color magenta representan los puntos escogidos para el vínculo de esta red al sistema CR05 y los restantes vértices en color azul corresponden con la ubicación de los vértices de la red de primer orden. La determinación de las coordenadas de estos ocho vértices se efectuó con base en elaboraciones en línea mediante procesamiento PPP. Una posterior determinación de parámetros de transformación entre el datum oficial CR05 y las posiciones ajustadas de la Red 0 en la época 2010,35 se hizo como parte de los trabajos encargados a efectos de oficialización de las posiciones. Esta determinación es un paso intermedio en la actualización de datum CR05 ya que la idea es integrar de manera oficial las estaciones de la Red 0 dentro de la red de SIRGAS-CON, de manera de contar con un datum

actualizado prácticamente cada semana a efectos de investigación científica y a su vez con un datum más confiable al ser determinado con técnicas especiales y software científico y vinculado a ITRF2008.

Tabla 4. Velocidades en [mm/año] en XYZ, determinación datum CR05, ITRF2000

Punto	v_x	v_y	v_z
COLE	33.18	-56.67	36.31
CRUC	21.73	-33.31	10.98
DOM2	29.84	-70.31	49.37
ETCG	18.02	-53.46	22.71
GARZ	35.21	-19.00	44.15
GUA3	29.07	-68.83	23.26
CRUZ	17.52	-37.64	22.29
LAUR	-36.58	-102.55	17.42
LIM1	-1.61	-52.65	29.15
LUCI	53.62	-61.58	18.07
MAN2	21.81	-60.71	14.06
MORA	24.53	-61.64	31.55
VICT	49.32	-29.35	17.72

RESULTADOS

Los resultados de esta investigación sirvieron fundamentalmente para dos propósitos: el primero ya expuesto anteriormente el cual consistió en la estimación de los 7 parámetros de transformación que permitan el traslado de las posiciones del datum oficial de Costa Rica ITRF2000 a la referencia ITRF2005. El segundo producto contribuye con una de las principales aplicaciones de las redes GNSS de estaciones permanentes la cual es el estudio de la cinemática terrestre. En este caso particular se hizo una estimación de los vectores de velocidad en XYZ de cada uno de los puntos idénticos, ya que se cuenta con dos épocas de medición. El intervalo de tiempo considerado es de 3,46 años y la determinación se hizo con base en el cálculo de las coordenadas de los puntos idénticos en el datum CR05, ITRF2000, época 2009,26, mediante la actualización de las coordenadas de los puntos ITRF, de acuerdo con los datos de velocidad publicados para ITRF2000. Los valores de los vectores velocidad se presentan en la tabla 4. En la tabla 5 se presentan los valores de las componentes horizontales y la resultante de los vectores desplazamiento.

Para dar una mejor idea de la situación en cuanto a la ubicación relativa, se calcularon los vectores desplazamiento con base en las coordenadas de los puntos en la proyección oficial CRTM05. Con triángulos de color rojo se representan la posición oficial de los 13 puntos (ITRF2000) y con triángulos de color azul la posición en CR05, ITRF2000, época 2009.26. Las flechas de color rojo representan los vectores desplazamiento de los puntos.

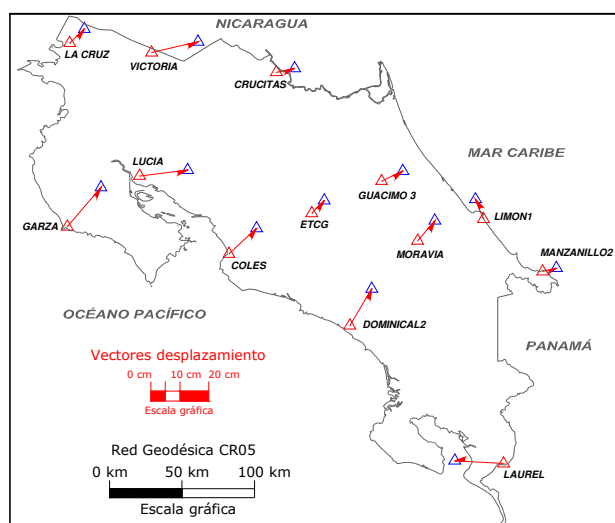


Figura 8. Vectores desplazamiento de los 13 puntos idénticos

Tabla 5. Componentes y resultante de los desplazamientos de los 13 puntos

Punto	dn [m]	de [m]	dr [m]
COLE	0.095	0.088	0.130
CRUC	0.063	0.014	0.064
DOM2	0.076	0.127	0.148
ETCG	0.043	0.044	0.061
GARZ	0.116	0.136	0.179
GUA3	0.073	0.035	0.081
CRUZ	0.050	0.049	0.070
LAUR	-0.168	0.010	0.168
LIM1	-0.028	0.068	0.073
LUCI	0.166	0.020	0.167
MAN2	0.048	0.012	0.049
MORA	0.059	0.069	0.091
VICT	0.160	0.037	0.164

De acuerdo con la figura 8, se nota una tendencia de movimiento al noreste, exceptuando los puntos Laurel y Limón1 que presentaron un movimiento al noroeste. La representación de las curvas de igual desplazamiento de la figura 9, permite solamente brindar una idea de las regiones del país en donde potencialmente se tendrían esta magnitud de movimiento. De este gráfico se puede apreciar que los valores mayores de desplazamiento superiores a los 13 cm se dan en la costa del Pacífico costarricense (zona de la confluencia de las Placas Cocos y Caribe), lo que supone que la alta actividad tectónica daría como resultado desplazamientos importantes.

Es evidente que el comportamiento de las curvas y de sus valores es primario siendo el resultado de toda la elaboración descrita anteriormente. Analizando el comportamiento de las curvas en función de la distancia se aprecia que el conjunto de curvas de iso-desplazamiento de la zona norte central y que continúan por el centro del país y terminan en la zona sur este de Costa Rica presentan valores entre los 9 cm y los 12 cm en un rango de distancia de 100 km.

En la parte caribeña, las curvas tienen valores inferiores a los 8 cm llegando inclusive a valores 6 cm en un rango de algo más de 100 km. Los datos expuestos no se deben tomar como definitivos, necesitan de un complemento mayor en cuanto a densidad de puntos y en cuanto a la forma de realizar las mediciones dentro de una configuración más regular y geodésica. Lo ideal es contar por lo menos con mediciones en todos los restantes puntos de la red de primer de Costa Rica para tener una mejor precepción tanto del valor del desplazamiento como de su dirección.

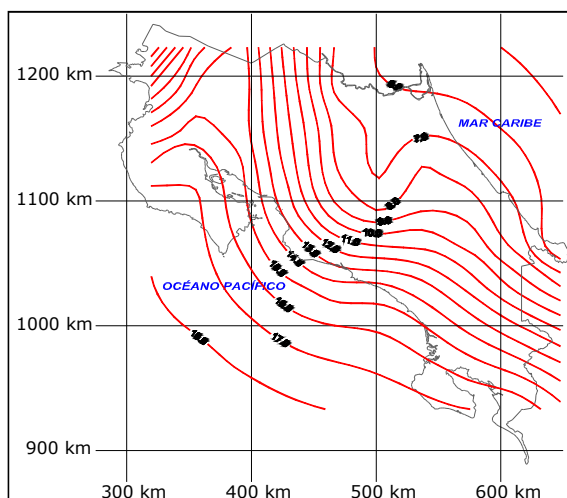


Figura 11. Curvas de iso-desplazamientos en [cm] obtenidas con base en los resultados de los ajustes en ITRF2000.

CONCLUSIONES

- La elaboración de las nuevas mediciones se hizo con un software comercial, tratando, hasta donde lo permite el mismo programa, de realizar los cálculos considerando los aspectos clásicos de elaboraciones GNSS, sin embargo en muchas de sus aplicaciones es rígido y no permite una edición fácil de algunos de los parámetros de cálculo. La exactitud lograda en las coordenadas ajustadas de los 13 puntos en esta nueva determinación es más baja que la lograda en 2005,83. La relativa baja exactitud de las coordenadas en comparación con el CR05 original, se puede deber a que no se tiene una configuración adecuada en las mediciones, ya que los 13 puntos fueron intersecados desde el vértice ETCG en el centro del país y desde cada uno de los tres puntos ITRF.
- Los parámetros de transformación determinados en este trabajo no se deben tomar como definitivos. Como se mencionó la exactitud de las coordenadas en los dos datum no es semejante y esa dispersión afecta directamente el cálculo de los siete parámetros. Sin embargo y en aras de tener una idea del comportamiento local entre los dos sistemas y sus definiciones en Costa Rica se calcularon los parámetros cuyos resultados significativos se resumen en tabla 3. Los siete parámetros de transformación del sistema CR05, ITRF2000 al ITRF2005 determinados en este proyecto son significativos y ofrecen simplemente una primera aproximación. Estos parámetros de transformación no se deben considerar como definitivos y mucho menos asumirse como oficiales.
- Los valores de los vectores presentan un promedio de 11 cm que representan un desplazamiento aproximado de 3,2 cm por año. La dirección de los vectores desplazamiento es al noreste. La magnitud del desplazamiento promedio, como es obvio, difiere si se hace una comparación con valores dados para puntos ubicados en la Placa Caribe De Mets et al (2007). Sin embargo la dirección de los vectores coincide con una tendencia generalizada en la zona, según De Mets et al (2007) y De Mets (2001).
- Por otra parte contar con una nueva red de estaciones GNSS de medición continua (red de orden cero) y su posterior integración a la red SIRGAS-CON, permitirá contar con un sistema geodésico moderno y actualizado el cual podrá suplir las necesidades de la parte profesional aplicada a los diferentes proyectos vinculados con la topografía, catastro, geodesia y cartografía del país, así como también las tareas de investigación científica.

BIBLIOGRAFÍA

- Dörries, E., y J. Roldán (2004). El datum geodésico de Ocotepeque y datum satelitario del sistema WGS84. Revista Uniciencia. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. Vol. 21, No. 1 y 2. p. 117-127.
- Dörries, E., Moya, J., Roldán, J. y Araya, J. (2005). Resultados del ajuste global de la Red de Primer Orden. Informe Técnico No. 11. Programa de Regularización de Catastro y Registro. San José, Costa Rica. P. 109
- Canadian Space Reference System. CSRS-PPP. Recuperado en mayo de 2009 de a dirección: <http://www.geod.nrcan.gc.ca/>
- De Mets, C., Mattoli, G., Rogers, R., Tenorio, C., Turner, H. (2007). Present motion and deformation of the Caribbean Plate: Constraints from new GPS geodetic measurements from Honduras and Nicaragua. The Geological Society of America. Special Paper p. 21-36.
- De Mets, C. (2001). A new estimate for present-day Cocos-Caribbean plate motion: Implications for slip along the Central American volcanic arc. Geophysical Research Letters. Vol. 28, No. 21, p. 4043-4046.

ESTACIÓN SATELLITE LASER RANGING ILRS 7406 DE SAN JUAN. PERFORMANCE DE LAS OBSERVACIONES Y FUTUROS PROYECTOS PARA LA ESTACIÓN

Ana Maria Pacheco¹, Ricardo Podestá¹, Han Yanben², Liu Weidong², Eloy Actis¹, Yin Zhi Qiang², Ester Alonso¹, Huang Dongpin², Wang Rui² & Hernán Alvis Rojas³

¹- Observatorio Astronómico "Félix Aguilar". Universidad Nacional de San Juan

²- National Astronomical Observatory of China, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China

³- Departamento de Ingeniería en Agrimensura. Universidad Nacional de San Juan

RESÚMEN

Durante los primeros meses del año 2006 fue instalado un Satellite Laser Ranging System (SLR) en el Observatorio Astronómico "Félix Aguilar" de San Juan (OFA), de acuerdo a un Convenio de Cooperación Internacional entre la Universidad Nacional de San Juan y la Academia China de Ciencias. El International Laser Ranging System (ILRS) le otorgó a la estación del OFA el código de identificación 7406 dentro de una red global con casi 80 observatorios.

El sistema SLR emplea potentes pulsos de luz láser (532 nanómetros) para iluminar satélites artificiales provistos de espejos retrorreflectores, midiendo sus distancias para derivar estudios astronómicos, geodésicos y geofísicos.

En este trabajo se muestra la instalación del telescopio, las observaciones realizadas hasta el presente y los futuros proyectos para la estación.

San Juan es la primera estación SLR fija en Sudamérica. En los pocos años que lleva trabajando ha aportado a la comunidad científica mundial valiosos datos, convirtiéndose en una de las primeras estaciones líderes de la red mundial ILRS. Esto es debido a un serio trabajo por parte del equipo de científicos chinos y argentinos, a la alta calidad instrumental y al excelente cielo sanjuanino.

Para un futuro próximo se renovarán partes importantes del hardware y del software que permitirán el rastreo continuo diurno y nocturno a los satélites, aumentando también el número de pulsos emitidos por el telescopio al orden de los kilohertz. Además se llevará cabo la instalación de una estación permanente GPS con el objeto de Co-localizarla con el SLR y obtener un punto ITRF de primer orden.

ABSTRACT

During the first months of the year 2006 was installed a Satellite Laser Ranging System (SLR) in the Astronomical Observatory "Felix Aguilar" of San Juan (OFA), thanks to an Agreement of International Cooperation between the San Juan National University and the Chinese Academy of Sciences. The International Laser Ranging System (ILRS) gave to the station of the OFA the identification code 7406 in a global network with almost 80 observatories.

The system SLR uses powerful pulses of light laser (532 nanometers) to illuminate artificial satellites provided with retro-reflectors mirrors, measuring distances to derive astronomic, geodesic and geophysical studies.

In this work we present the installation of the telescope, the observations realized until the present and the future projects for the station.

San Juan is the first fixed SLR station in South America. In a few years working had contributed to the scientific world community with valuable information, turning into one of the lider stations of the world network ILRS. This is due to a serious work on the part of the equipment of Chinese and Argentine scientists, to the high instrumental quality and to the excellent San Juan sky.

For a near future will be renewed important parts of the hardware and of the software that will allow the constant diurnal and night tracking the satellites, increasing also the number of pulses issued by the telescope to the order of the kilohertz. In addition will set up a permanent station GPS in order to Colocalization with the SLR and to obtain a first order point ITRF.

INSTALACIÓN Y PUESTA A PUNTO

El sistema Láser Satelital SLR, instalado en el Observatorio Astronómico “Félix Aguilar” (OAFA) de la Universidad Nacional de San Juan (UNSJ), fue instalado de acuerdo a un Convenio Internacional entre la UNSJ y el Observatorio Astronómico Nacional (NAOC) de la Academia China de Ciencias.



El OAFA provee el edificio albergue para el telescopio, infraestructura para el funcionamiento, servicios, personal y alojamiento para dos científicos chinos que se renuevan cada año y medio de estadía. Por otro lado el NAOC provee el instrumental, repuestos, toda la tecnología necesaria para el funcionamiento y el upgrade instrumental.

El telescopio comenzó su viaje en Septiembre de 2005 vía marítima desde el puerto de Shanghai hasta Buenos Aires; luego fue transportado vía terrestre hasta su locación definitiva en la provincia de San Juan, la cual está situada a 1100 kilómetros de Buenos Aires al oeste de Argentina. La montura está fijada sobre un sólido pilar de hormigón armado ($\phi = 1\text{m}$), cuya estructura está bien anclada al terreno, **[Foto 1]**.

La instalación del equipo fue completada por especialistas chinos a fines de 2005.

La puesta a punto y las primeras pruebas a los satélites Lageos se iniciaron a principios de 2006, obteniendo muy buenos resultados. Esto permitió que el nuevo SLR comenzara oficialmente a funcionar en Febrero de 2006. El ILRS le otorgó el código de identificación 7406, dentro de una Red Global con casi 80 observatorios repartidos, en su mayoría, en el Hemisferio Norte

Foto 1: Estación SLR 7406 del OAFA

San Juan es una provincia cordillerana de clima semidesértico con escasa humedad y precipitaciones. Posee un cielo límpido y tiene más de 300 noches despejadas al año. Estas condiciones nos convierten en una región privilegiada para observaciones de tipo astronómicas.

El corazón del sistema es el **Oscilador Láser** tipo Nd-YAG, instalado en una mesa óptica en un recinto ubicado bajo el telescopio. Consiste en una serie de barras cilíndricas de Neodimio en un medio cristalino de Itrio, Aluminio y Germanio. Estas barras son iluminadas con unos flashes intensos de luz blanca de Xenón, que producen el bombeo de energía a las barras.

Los trenes de pulsos son filtrados y limpiados mediante dispositivos electrónicos y ópticos, de manera tal de emitir hacia el satélite pulsos iguales, coherentes, intensos y de muy corta duración

La longitud de onda del haz láser emitido, de 0.532 micrómetros, corresponde a la luz verde. La elección de este color se basa en la capacidad de los detectores y en los factores atmosféricos. La luz verde del telescopio es fácilmente detectable por los dispositivos sensores y además se propaga por la atmósfera con poca absorción.

La potencia de salida se obtiene dividiendo la energía en el ancho temporal del pulso de salida. La energía se puede hacer variar de acuerdo a la altura del satélite en valores que van desde 1 Gigawatts para satélites bajos hasta 10 Gigawatts para los satélites altos.

El haz de luz tiene una frecuencia seleccionable de hasta 10 disparos por segundo. Una vez que los pulsos dejan el oscilador, son dirigidos hacia un prisma en el centro del pilar hueco, que los envía hacia el piso superior donde está el telescopio y finalmente salen por un sistema óptico emisor adosado paralelamente al tubo del telescopio.

Para la determinación de la distancia al Satélite, se dispone de un buen reloj atómico con una estabilidad mejor que 1×10^{-10} segundos por día. El patrón de tiempo empleado es un reloj atómico de rubidio controlado por GPS.

Cada pulso emitido al satélite tiene una duración de 30 picosegundos como mínimo y 50 picosegundos como máximo, dependiendo de la estabilidad del oscilador. El ancho de pulso es crucial para la precisión, mientras

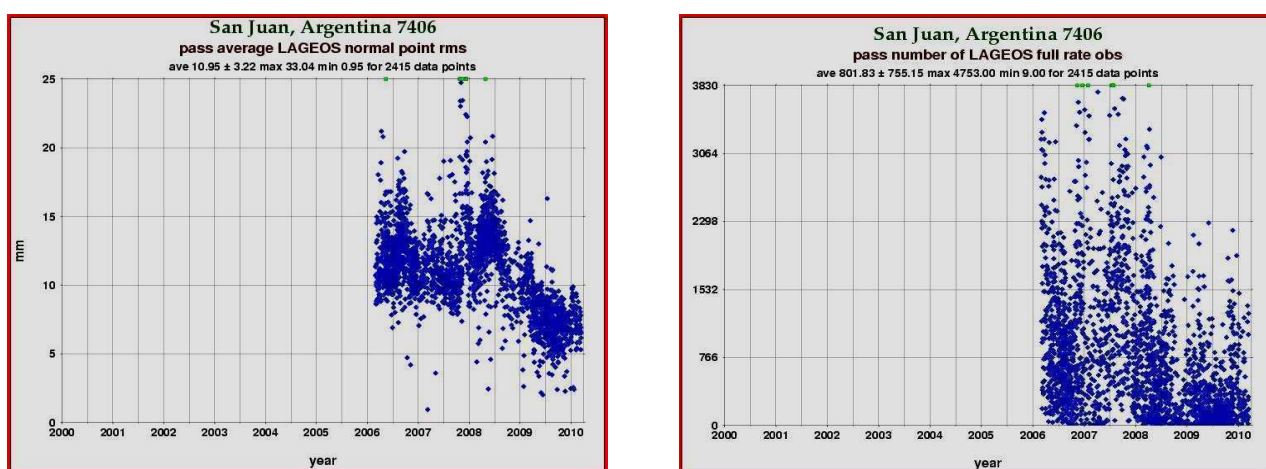
menor duración posea mejor será la exactitud lograda. Esta es la parte electrónica más difícil de lograr y la que está más expuesta a inestabilidades intrínsecas en la generación del haz láser.

Un sensible sensor de fotones SPAD (Single Photon Avalanche Diode) montado en la óptica secundaria del tubo detecta el pulso de retorno y lo convierte en una señal digital que luego es traducida a tiempo de vuelo y distancia al satélite.

Según la altura a la que pasa el satélite, es el tiempo que dura la observación. Como los satélites bajos, a 400 o 500 kilómetros de altura, tienen pasajes rápidos, su observación demora sólo algunos minutos, pero en satélites altos, casi 30000 kilómetros, la duración de la observación puede sumar horas.

PERFORMANCE DE LAS OBSERVACIONES

Como se dijo anteriormente, San Juan goza de excelente clima y cielo diáfano para operar este tipo de aparatos. Sumado al buen equipamiento provisto por China, el SLR cumple eficientemente su tarea noche tras noche, logrando muy buena performance y calidad en las observaciones. Esto es así con solamente el funcionamiento nocturno; se pretende reemplazar en el año 2011 el oscilador láser para comenzar las observaciones diurnas y disponer de 24 horas continuadas de trabajo. En las figuras de abajo se muestra la precisión alcanzada y el número de pasajes para Lageos [Figuras 2].



Figuras 2: Gráficos con la Precisión y Número de Pasajes alcanzados

A continuación se establece una comparación entre las distintas estaciones SLR pertenecientes a la red mundial ILRS. La [Figura 3] muestra los datos de observaciones para los satélites en órbitas elevadas HEO (High Earth Orbit).

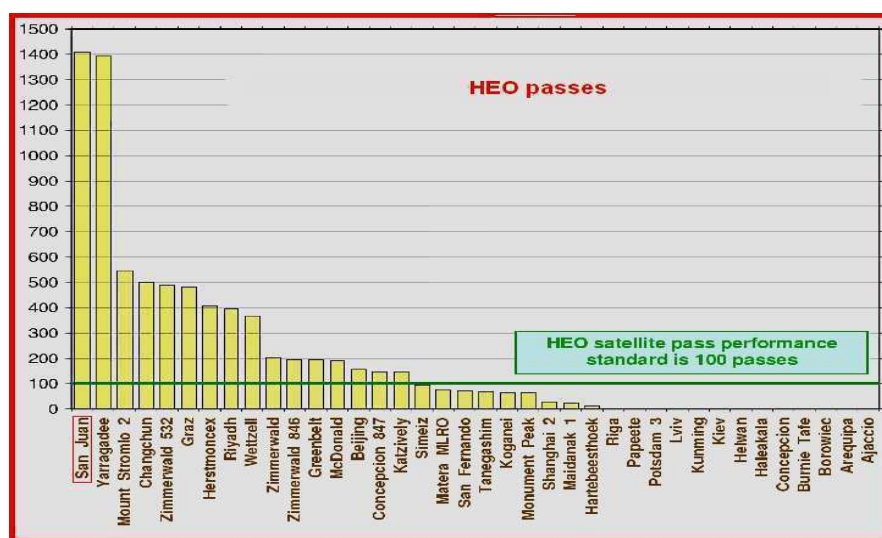


Figura 3: Total de pasajes para satélites altos

La [Figura 4] muestra un gráfico comparativo de la producción anual de observaciones realizadas a la constelación satelital (entre los que se encuentran los LAGEOS). Se obtuvo en base a valores publicados por el ILRS para las estaciones más significativas de la Red Mundial. San Juan está siempre presente en este ranking, compitiendo y alternando los primeros lugares con las estaciones más importantes

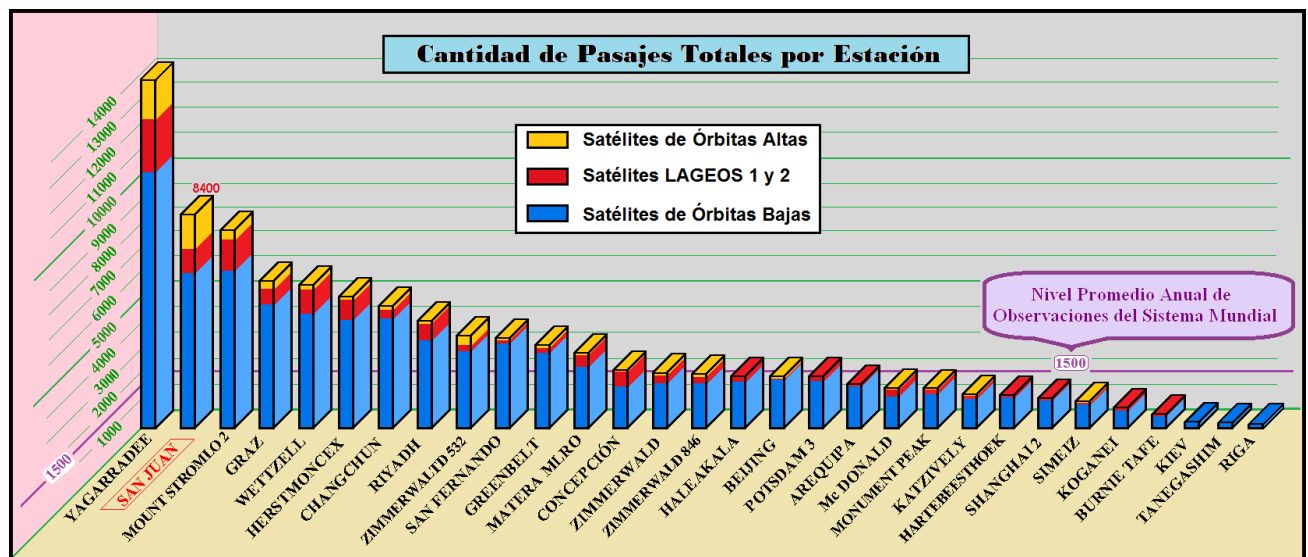


Figura 4: Producción anual del SLR de San Juan comparada con el resto del mundo

CONCLUSIONES

En las [Figuras 2] podemos ver que la calidad en las observaciones se ha incrementado notablemente desde fines del año 2008 en adelante, lográndose precisiones por debajo del centímetro. La cantidad de datos recopilados es alta.

De las últimas dos figuras comparativas mostradas, [Figura 3] y [Figura 4], se desprende que la Estación San Juan 7406 posee una de las más altas performances de la red global, muy por encima de la línea estándar (línea horizontal violeta). La cantidad de datos aportados a los centros de procesamiento internacionales ha convertido a San Juan en una de las más fructíferas estaciones del mundo.

Ya que a fines del 2009 llegó al OIFA una estación permanente GPS desde Beijing, la siguiente tarea será la de establecer los parámetros de vinculación (también llamados Local Ties -LT-) entre las técnicas SLR y GPS, logrando el status de "Estación Colocalizada". De esta manera, la estación ILRS7406 adquirirá jerarquía de "Primer Orden" dentro del nuevo Marco de Referencia Terrestre Internacional (ITRF), desde el ITRF2008 en adelante.

La importancia de este trabajo reside principalmente en que existen pocas estaciones de colocalización en el mundo y la mayoría están en el hemisferio Norte. Resulta obvia la trascendencia de una nueva estación colocalizada en el Sur, otorgando mayor consistencia a la red global ITRF.

Bibliografía

- Altamini, Z., P. Sillard and C. Boucher (2002):** ITRF2000 A new release of the International Terrestrial Reference Frame for Earth science applications. J. Geophysics, Res. 107, No B10, 2214
- J. Kovalevsky, Atrometrie Moderne,** Lecture Notes in Physics 358, Springer Verlag
- Kovalesky J. (2002):** Comparison of "Old" and "New" Concepts Reference Systems. IERS Technical Note N°29, pp31-34
- Lambert, S. and C. Bizoaurd (2002):** Positioning the Terrestrial Ephemeris Origin in the International Terrestrial Reference Frame. Astronomy and Astrophysics 394, pp317-321
- Thaller Daniela,** Inter-Technique combination based on homogeneous normal equation systems including station coordinates Earth orientation and troposphere parameters. Scientific Report SRT08/15. Helmholtz. Postdam 2008
- Wolfgang Schluter, Hayo Hase et al IERS Technical Note(2004):** Local Ties Between the Reference Points at the Transportable Integrated Geodetic Observatory (TIGO) in Concepción, Chile.

ESTUDIOS GEODINÁMICOS MEDIANTE LA TÉCNICA ESPACIAL SATELLITE LASER RANGING (SLR)

Ricardo Podestá¹, Ana Maria Pacheco^{1,2}, Raúl Márquez², Han Yanben³, Eloy Actis¹, Liu Weidong³,
Hernán Alvis Rojas², Yin ZhiQiang³, Darío Terluk², Mauricio Morales², Rodolfo Carrizo²,
Jesica Nievas², Diego Brizuela⁴ & Matías Flores⁴

¹- Observatorio Astronómico “Félix Aguilar”. Universidad Nacional de San Juan

²- Departamento de Ingeniería en Agrimensura. Universidad Nacional de San Juan

³- National Astronomical Observatory of China, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China

⁴- Departamento de Geofísica y Astronomía. Universidad Nacional de San Juan

RESÚMEN

El objetivo primero de la Astronomía de Posición y de la Geodesia es el establecimiento de Sistemas de Referencias (SR). En los últimos años se ha producido una revisión de la definición y realización de los SR que está íntimamente asociada con la aplicación de las técnicas observacionales espaciales a la astrometría de alta precisión y a la geodesia.

Es bien conocido que el IERS tiene la responsabilidad de definir y mantener a los SR Terrestres y Celestes para la rotación de la Tierra y de asegurar la coherencia entre ellos a partir de las series de Parámetros de Orientación de la Tierra (EOP). En el IERS contribuyen las técnicas espaciales de observación VLBI, LLR, SLR, GPS y DORIS.

La materialización del SR Terrestre Internacional es realizada por el IERS a través del Internacional Terrestrial Reference Frame (ITRF), que es una red formada por distintas estaciones ubicadas en todo el mundo por medio de sus coordenadas estimadas, así como de sus respectivas velocidades. El Observatorio Astronómico “Félix Aguilar” cuenta con un sistema SLR de última generación, producto de un convenio entre la Universidad Nacional de San Juan y la Academia China de Ciencias. Esta estación colabora con las realizaciones del ITRF.

En este trabajo se muestran los resultados obtenidos de las observaciones con el SLR de San Juan (Estación ILRS 7406) y la Estación TIGO SLR de Concepción, Chile (ILRS 7405), para diversas investigaciones geodinámicas que involucran variaciones del vector San Juan-Concepción “antes” y “después” del terremoto acontecido el 27/02/2010 en Chile. El procesamiento de los datos en coordenadas rectangulares X,Y,Z de las dos estaciones dentro del marco ITRF 2005, muestra que la diferencia entre los vectores en épocas anteriores y posteriores al sismo, superan los dos metros.

ABSTRACT

The first aim of the Astronomy of Position and of the Geodesy is the establishment of References Systems (RS). In the last years there has taken place a review of the definition and accomplishment of the RS that is intimately associated with the application of the spatial observational technologies with the high precision astrometry and with the geodesy.

It is well-known that the IERS has the responsibility of defining and supporting the Terrestrial and Celestial RS for the Earth's rotation and to assure the coherence between them from the series of the Earth Orientation Parameters (EOP). To the IERS contribute the spatial observational technologies denominated VLBI, LLR, SLR, GPS and DORIS.

The materialization of Terrestrial International RS. is realized by the IERS across the International Terrestrial Reference Frame (ITRF), which is a network formed by different stations located in the whole world by means of his estimated coordinates, as well as of his respective speeds. The Astronomical Observatory "Felix Aguilar" has a new system SLR of last generation, product of an agreement between the National University of San Juan and the Chinese Academy of Sciences. This station contributes with the accomplishments of the ITRF.

In this work we present the results obtained of the observations with the SLR of San Juan (Station ILRS 7406) and the Station TIGO SLR of Concepcion, Chile (ILRS 7405), for diverse geodynamic investigations that involve variations of the San Juan-Concepción vector "before" and "later" of the happened earthquake 27/02/2010 in Chile. The processing of the information in rectangular coordinates X, Y, Z of both stations inside the frame ITRF 2005, sample that the difference between the vectors in epochs previous and later to the earthquake, are more than two meters.

INTRODUCCIÓN

Los grandes avances en precisión logrados con las modernas técnicas de observación Very Long Baseline Interferometry (VLBI), Lunar Laser Ranging (LLR), Satellite Laser Ranging (SLR) y Global Positioning Satellite (GPS) para el estudio de la rotación de la Tierra, han hecho que durante la Asamblea del año 2000 la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica (IUGG) y la Unión Astronómica Internacional (UAI) modifiquen las tradicionales y ancestrales definiciones de los Sistemas de Referencia Celeste y Terrestre y las técnicas de transformación entre ellos.

El análisis de los resultados con SLR contribuyen en forma imprescindible a la elaboración de los modelos de "Precesión y Nutación", la determinación del "Ángulo de Rotación de la Tierra (ERA)" y su relación con el "Tiempo Universal".

A fines de la década del cincuenta el comienzo del uso de los satélites artificiales y, más tarde, la disponibilidad de relojes muy precisos marcaron un punto de inflexión en la historia de los sistemas de referencia. Las órbitas de los satélites materializan naturalmente el Centro de Masa de la Tierra como uno de los focos de sus órbitas. Los relojes atómicos permiten la medición del tiempo de propagación de ondas electromagnéticas entre dichos vehículos y la Tierra con precisión diaria de 1×10^{-13} segundos. Estas herramientas sumadas al gran avance de la electrónica dieron lugar a la construcción de una nueva generación de Sistemas de Referencias en la Astronomía y la Geodesia.

En particular ya no puede hablarse de Astronomía y Geodesia como disciplinas separadas siendo que cada una necesita de la otra para lograr la exactitud que las técnicas espaciales de medición actuales exigen.

CÁLCULO DEL VECTOR SAN JUAN - CONCEPCIÓN

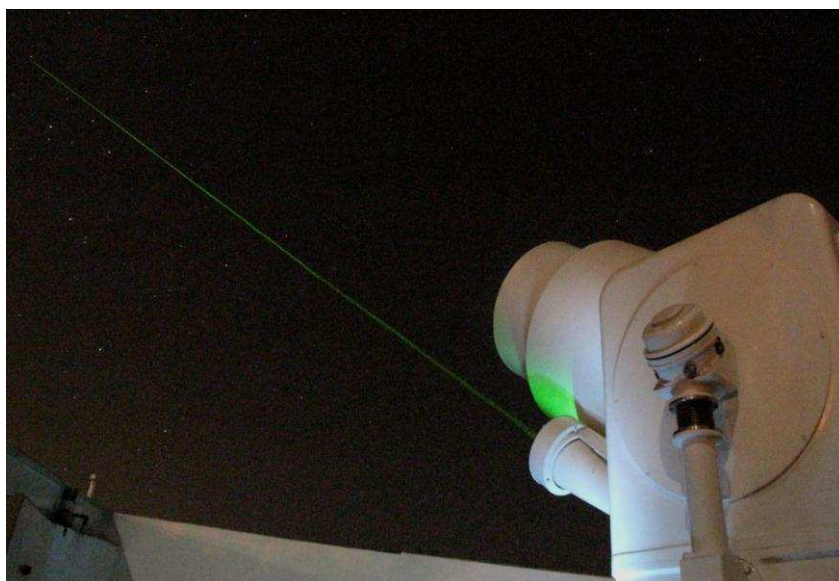
En Geodinámica las técnicas espaciales modernas permiten medir con altísima precisión las deformaciones horizontales y verticales de la superficie terrestre. Para el posicionamiento absoluto se alcanzan precisiones mejores que un centímetro, y para el posicionamiento relativo se logran exactitudes de pocos milímetros, en distancias que van de algunos kilómetros a miles de kilómetros tales como las líneas base entre las estaciones SLR de la red global ILRS.

El International Láser Ranging System (ILRS) colecciona, une, archiva y distribuye datos de observaciones SLR con suficiente exactitud para satisfacer los objetivos de una amplia gama de investigaciones, diseños, aplicaciones y experimentación científica. El ILRS logra su misión a través de varios centros mundiales de datos y análisis, entre ellos el Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut (DGFI), Deutsches Geoforschung Zentrum (GFZ), Agencia Spaciale Italiana (ASI), etc.

El telescopio empleado en este trabajo es el sistema SLR instalado en el OAFA [Figura 1], de acuerdo al Convenio Internacional de Cooperación entre la UNSJ y la Academia China de Ciencias.

Este instrumento de última generación funciona desde el año 2006 en forma continuada con excelentes resultados en cuanto a precisión y performance, logrando que la Estación sea una de las principales en la red global ILRS.

En los estudios geodinámicos se analizan los datos ajustados observacionales SLR para investigar las variaciones temporales y espaciales de las coordenadas geodésicas rectangulares X, Y, Z de las estaciones SLR del OAFA y de TIGO

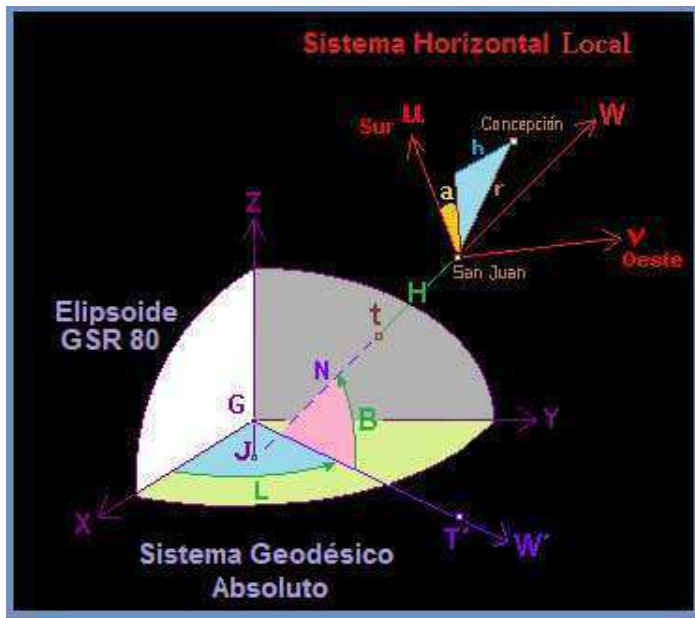


[Figura 1] : Estación SLR de San Juan en funcionamiento nocturno. La imagen muestra el telescopio disparando pulsos láser hacia satélites en órbita.

El proceso de cálculo exige realizar una transformación de coordenadas del Sistema Geodésico Absoluto (basado en el elipsoide GSR80) al Sistema Horizontal Local con origen en el centro óptico del telescopio SLR de San Juan (DATUM):

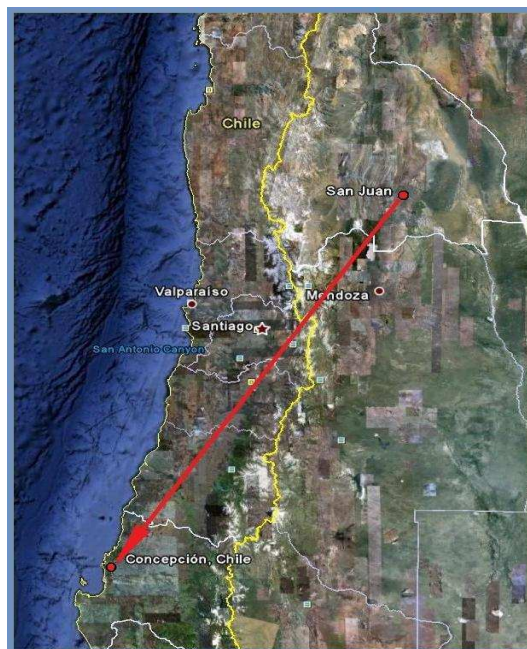
$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix}_{\text{TIGO}} = \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix}_{\text{San Juan}} + [R] * \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}$$

Donde [R] es la matriz de rotación involucrada para la transformación de coordenadas.



[Figura 2]: Transformación de coordenadas entre el Sistema Geodésico Absoluto y el Sistema Horizontal Local centrado en la Estación SLR de San Juan.

Posteriormente en este sistema, calculamos el vector que une San Juan con Concepción para una época anterior y otra posterior al terremoto acontecido el 27 de Febrero de 2010 (magnitud 8.8 en la escala de Richter), [Figura 2] y [Figura 3].



[Figura 3]:

Vector de posición entre las Estaciones SLR de San Juan (Argentina) y TIGO (Chile).

En la tabla contigua se muestran los resultados semanales obtenidos y compensados de las observaciones SLR de San Juan (ILRS 7406) y la Estación TIGO SLR de Concepción, Chile (ILRS 7405).

El procesamiento de los datos geodésicos dentro del marco ITRF 2005 en coordenadas horizontales evidencia una sorprendente variación del Vector San Juan – Tigo “antes” y “después” del terremoto del 27/02/2010 en Chile.

Datos semanales ITRF 2005 provistos por el DEUTSCHES GEODATISCHES FORSCHUNGS INSTITUT (DGFI)							
Fecha	San Juan 7406			Concepción 7405			Vector (Distancia)
	Coordenada X [m]	Coordenada Y [m]	Coordenada Z [m]	Coordenada X [m]	Coordenada Y [m]	Coordenada Z [m]	
Año 2009							
5 de Diciembre	1984104,9347	-5068868,2965	-3314480,4974	1492033,8877	-4887947,2531	-3803564,0094	
12 de Diciembre	1984104,8253	-5068867,5355	-3314481,7491	1492033,6321	-4887946,4519	-3803565,1472	
19 de Diciembre	1984104,7945	-5068867,6967	-3314481,4760	1492033,6590	-4887946,6237	-3803564,9190	
26 de Diciembre	1984104,6039	-5068867,4713	-3314481,9497	1492033,4982	-4887946,3289	-3803565,3479	
Año 2010							
02 de Enero	1984104,6766	-5068867,6517	-3314481,6163	1492033,5818	-4887946,5232	-3803565,0358	
09 de Enero	1984104,5217	-5068867,7393	-3314481,6887	1492033,3667	-4887946,6691	-3803564,9758	
16 de Enero	1984104,7230	-5068867,7256	-3314481,4459	1492033,6272	-4887946,6670	-3803564,8645	
23 de Enero	1984104,0899	-5068868,1918	-3314481,1408	1492032,9212	-4887947,1606	-3803564,5227	
30 de Enero	1984104,3892	-5068867,4519	-3314481,9905	1492033,3833	-4887946,3240	-3803565,4222	
06 de Febrero	1984104,6680	-5068867,7976	-3314481,4099	1492033,5775	-4887946,6996	-3803564,8540	
13 de Febrero	sin valores	-5068867,8075	-3314481,4641	1492033,4828	-4887946,7217	-3803564,8858	
20 de Febrero	1984104,7604	-5068867,3873	-3314482,0300	1492033,6620	-4887946,2341	-3803565,4163	
27 de Febrero	1984104,7536	-5068867,7192	-3314481,8288	1492033,5306	-4887946,3581	-3803565,3153	716986,1039
06 de Marzo	1984104,6918	-5068867,1910	-3314482,3585	sin valores	sin valores	sin valores	
13 de Marzo	1984104,4994	-5068867,4904	-3314482,0184	sin valores	sin valores	sin valores	
20 de Marzo	1984104,6246	-5068867,4317	-3314482,1019	sin valores	sin valores	sin valores	
27 de Marzo	sin valores	sin valores	sin valores	sin valores	sin valores	sin valores	
03 de Abril	sin valores	sin valores	sin valores	sin valores	sin valores	sin valores	
10 de Abril	sin valores	sin valores	sin valores	sin valores	sin valores	sin valores	
24 de Abril	1984104,4386	-5068867,4821	-3314482,0704	sin valores	sin valores	sin valores	
01 de Mayo	sin valores	sin valores	sin valores	1492030,4531	-4887947,2150	-3803565,3501	
08 de Mayo	1984105,2129	-5068866,8569	-3314482,5361	1492031,0340	-4887946,2280	-3803566,4039	
15 de Mayo	1984104,7559	-5068867,7486	-3314481,4436	1492030,6241	-4887947,1602	-3803565,3442	
22 de Mayo	1984104,5174	-5068866,9433	-3314482,8541	sin valores	sin valores	sin valores	
29 de Mayo							e = ± 0.0297

Vector : San Juan - Concepción (antes del terremoto) = 716986.1039 metros
San Juan - Concepción (después del terremoto) = 716988.3449 metros

Diferencia entre las épocas = - 2.2410 metros \pm 0.0297

Acimutes del Vector : San Juan – Concepción (antes del terremoto) : $a = 33^{\circ} 13' 49''.4420$
San Juan – Concepción (después del terremoto) : $a = 33^{\circ} 13' 50''.0472$

La falta de valores en los meses de Marzo y Abril de la Estación TIGO se debió a que el sistema quedó fuera de servicio por falta de energía eléctrica y por algunas roturas que sufrió el instrumental durante el terremoto. Por lo tanto hemos tenido que emplear los datos obtenidos en el mes de Mayo, una vez que se solucionaron los inconvenientes y el instrumental volvió a funcionar.

CONCLUSIONES

Dentro del marco de referencia terrestre ITRF2005, contrastando los resultados en coordenadas Geodésicas Absolutas del vector que une las dos Estaciones Láser en épocas inmediatamente anteriores y posteriores al terremoto, queda en evidencia que la corteza terrestre se ha desplazado una enorme cantidad (2.2410 ± 0.0297 metros). Este es un valor importante teniendo en cuenta que tanto San Juan como Concepción se encuentran sobre la misma placa geológica (Placa Sudamericana) y el desplazamiento se produjo en un lapso de tiempo muy corto, considerando el sismo principal y sus réplicas.

Al realizar las transformaciones a un Sistema Horizontal Local centrado en San Juan, la diferencia de los acimutes indica que el movimiento sísmico produjo un estiramiento del vector en dirección sudoeste.

A fin de monitorear la estabilidad o inestabilidad del vector que une las dos estaciones SLR sudamericanas, será necesario continuar con este tipo de análisis incorporando nuevas observaciones semanales.

Bibliografía

- Arias E. F., Feissel M., Lestrade,** 1983, An Extragalactic Celestial Reference Frame consistent with BIH terrestrial System. BIH Annual Report 1988.
- Altamini, Z., P. Sillard and C. Boucher (2002):** ITRF2000 A new release of the International Terrestrial Reference Frame for Earth science applications. J. Geophysics, Res. 107, No B10, 2214
- Dong, D., T. Yunck and M. Heflin (2003):** Origin of the International Terrestrial Reference Frame. J. Geophysics Res. 108 (B4), 2200
- Guinot, B. (2002):** Comparison of "Old" and "New" concepts, Celestial Ephemeris Origin (CEO), Terrestrial Ephemeris Origin (TEO), Earth Rotation Angle (ERA). IERS Technical Note N°29, pp45-50
- IERS (2002):** Technical Note 29, <http://www.iers.org/iers/publications/tn/tn29/>
- IERS (2003):** Iers Conventions (2000). Iers Technical Note 32. <http://maia.usno.navy.mil/conv2000.html>
- J. Kovalevsky, Atrometrie Moderne,** Lecture Notes in Physics 358, Springer Verlag
- Kovalesky J. (2002):** Comparison of "Old" and "New" Concepts Reference Systems. IERS Technical Note N°29, pp31-34
- Lambert, S. and C. Bizoard (2002):** Positioning the Terrestrial Ephemeris Origin in the International Terrestrial Reference Frame. Astronomy and Astrophysics 394, pp317-321
- Thaller Daniela,** Inter-Technique combination based on homogeneous normal equation systems including station coordinates, Earth orientation and troposphere parameters. Scientific Report SRT08/15. Helmholtz. Postdam 2008
- UAI 2006 Resolutions:**
<http://syrtel.obspm.fr/IAUresolutions/Resol-IAU.htm>
SOFA Software: <http://iau-sofa.hmnao.com/>

EVALUACIÓN DE LOS MODELOS SRTM 90 ver4.1 Y ASTER GDEM ver1 CON DATOS TERRESTRES PARA LA PROVINCIA DE SANTIAGO DEL ESTERO.

Lucrecia Galván¹, Claudia Infante¹, Iber Goitea¹, Javier Duro², Marcelo Pirola²

(1) (UNSE) Universidad Nacional de Santiago del Estero. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías. Departamento de Agrimensura. E-mail: lgalvan@unse.edu.ar; cinfante@unse.edu.ar.

(2) DGC. Dirección General de Catastro, Urquiza 228. Santiago del Estero. E-mail: javaduro@gmail.com

RESUMEN

Durante los días 11 al 22 de Febrero del año 2000 se llevaron a cabo las mediciones de la Misión Topográfica de Radar del Transbordador Espacial Endeavour de la NASA (SRTM). El Modelo SRTM 90m ver4.1 ha sido liberado en el año 2008. Esta misión ha proporcionado datos de elevación para un 80% de la superficie terrestre, con una resolución espacial de 90 m. Por otro lado en Diciembre del año 1999 se lanza el satélite Terra portando el instrumento de investigación ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) en un esfuerzo cooperativo entre la NASA y el Ministerio japonés de Economía, Comercio e Industria (METI). El modelo ASTER GDEM ver1 fue liberado en Julio del 2009. Esta misión ha proporcionado datos de elevación para un 99% de la superficie terrestre, con una resolución espacial de 30 m. Asimismo se disponen de datos terrestres de nivelación sobre puntos de la red altimétrica de precisión y datos de la red POSGAR 07, medidas por el Instituto Geográfico Nacional Argentino (IGN). Las alturas elipsoidales de la red POSGAR 07 se han transformado a alturas físicas con el Modelo Geopotencial EGM96. Se comparan los datos provenientes de ambos modelos en los puntos terrestres IGN y en los puntos POSGAR 2007 para la provincia de Santiago del Estero. Se muestran los resultados estadísticos y las conclusiones generales para la provincia. Se puede establecer como consecuencia de este trabajo que los Modelos presentan un RMS para el modelo SRTM 90 de 19.194 m y de 19.223 m para el modelo ASTER GDEM. Las mayores dispersiones se presentan sobre los puntos de nivelación ubicados en las zonas más elevadas del territorio provincial. Asimismo de la comparación de los modelos con los datos POSGAR 07 surge un RMS de 2.606 m para el SRTM 90 y 6.905 m para el ASTER GDEM.

PALABRAS CLAVES: Modelos digitales de elevación (MDE), Líneas de nivelación, Modelo SRTM 90, Modelo ASTER GDEM.

ABSTRACT

During from 11 to 22 February 2000 was carried out measurements Radar Topography Mission of Space Shuttle Endeavour from NASA (SRTM). The Model SRTM 90m ver4.1 has been released in 2008. This mission has provided elevation data for 80% of the land surface with a spatial resolution of 90 m. On the other hand, in December 1999 the Terra satellite was launched carrying the research instrument ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) in a cooperative effort between NASA and the Japanese Ministry of Economy, Trade and Industry (METI). The ASTER GDEM ver1 Model was released in July 2009. This mission has provided elevation data for 99% of the land surface with a spatial resolution of 30 m. Also it has precise land leveling data and network data POSGAR 07, measured by the National Geographic Institute (IGN). The ellipsoidal heights of POSGAR 07 will have transformed to physical height from Geopotential Model EGM96. It compares the data from both models on the IGN levelling network and POSGAR 2007 for the province of Santiago del Estero. It shows the statistical results and the general conclusions for the province. It can observed as a result of this work that Models have a RMS of 19,194 m for SRTM 90 model and 19,223 m for ASTER GDEM model. The largest dispersions of the leveling points are located in higher areas of the province. The comparison between of POSGAR 07 and DEMs gives a RMS 2,606m for SRTM 90m and 6,905m for ASTER GDEM.

KEYWORDS: Digital Elevation Models (DEM), Levelling Networks, SRTM 90 DEM, ASTER GDEM Model.

INTRODUCCION

Los modelos digitales de elevación (MDE) proporcionan información de alturas de la superficie de la Tierra y las características sobre ella [Hirt, C et al, 2009]. Los MDE se han convertido en una importante fuente de datos para una amplia gama de aplicaciones en las ciencias de la Tierra y del medio ambiente.

En la última década, se han realizado importantes avances en la modelización de la elevación global con la liberación de datos de alturas provenientes de la Misión Topográfica de Radar del transbordador espacial

SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) y del ASTER (radiómetro de reflexión y emisión térmica espacial avanzado; METI / NASA 2009).

Estos nuevos datos de alta resolución mejoran considerablemente el conocimiento de la superficie de la Tierra en regiones en desarrollo con poca infraestructura de datos geospaciales, como es el caso de la provincia de Santiago del Estero.

Es importante evaluar la calidad de los modelos globales de elevación ya que se usan en una serie de aplicaciones, tales como, el modelado del campo de gravedad, estudios hidrológicos, la cartografía topográfica, la ortorectificación de imágenes aéreas, la simulación de inundaciones y muchos más. El presente trabajo aborda el estudio de los modelos SRTM 90m ver. 4.1 y ASTER GDEM ver. 1 para la provincia de Santiago del Estero debido a los avances significativos, en términos de resolución espacial y cobertura de los mismos.

La calidad de los datos de elevación se expresan comúnmente en términos de precisión vertical. Entre los métodos de evaluación de los MDE se selecciona la determinación de la precisión vertical por medio del uso de datos terrestres. La validación se ha llevado a cabo sobre la base de dos conjuntos de puntos de control terrestre (PCT), la red de nivelación de alta precisión y la red POSGAR 07 para la provincia.

DESCRIPCION DE LOS DEM

SRTM 90m DEM ver 4.1

El modelo SRTM tiene una cobertura entre 60° latitud Norte y 56° latitud Sur. Fue la primera misión de mapeo espacial que produjo un conjunto de datos de elevación de alta resolución global. El sensor utilizado para la adquisición de los datos es un InSAR banda C.

Las posiciones horizontales SRTM están referidas al elipsoide WGS84 y la posición vertical está referida al modelo geopotencial (Heiskanen *et al*, 1967) EGM96 (Lemoine *et al*. 1998). La versión 4.1 del SRTM de 3" de resolución espacial se distribuye en mosaicos de 5° x 5° que contienen 6.001 x 6001 celdas con valores de elevación media.

La calidad de las elevaciones SRTM han sido analizadas por Reuter et al, 2007; Hirt et al, 2009; Bolten et al, 2010 en términos de errores medios (EM), desviación estándar (DESV EST.) y error cuadrático medio (RMS). El CGIAR informa que los errores verticales de los datos SRTM 90m DEM son menores a 16m. (<http://www.cgiar-csi.org/data/elevation/item/45-srtm-90m-digital-elevation-database-v41>).

ASTER GDEM ver1

ASTER GDEM Ver1 es un nuevo conjunto de datos de elevación global de 1" (aproximadamente 30m) de resolución espacial que fue liberado en junio de 2009 por el METI (Ministerio de Economía, Comercio e Industria) del Japón y la NASA. El ASTER GDEM se basa en imágenes ópticas obtenidas desde el espacio con un dispositivo de imágenes ASTER METI que fue operado desde el satélite Terra de la NASA. El enfoque utilizado para la construcción del GDEM es una correlación de pares de imágenes estereoscópicas.

El ASTER GDEM completo cubre la superficie de la tierra entre los 83° de latitud Norte y los 83° de latitud Sur, el cual es una mejora con respecto a la cobertura del SRTM. Los datos han sido recogidos durante un período de observación de más de 7 años (2000-2007), un total de 1.260.000 escenas de datos DEM estereoscópicas en áreas terrestres de 60 km x 60km. El modelo ASTER GDEM se basa en mosaicos de 1° x 1° que contienen 3.601 x 3.601 celdas con valores de elevación media.

La precisión vertical global de las elevaciones ASTER se especifica de 20 m. ASTER se refiere a WGS84 para el posicionamiento horizontal y las alturas están referidas al EGM96. Es importante señalar que ASTER GDEM ver1 se considera en grado de investigación (<http://www.ersdac.or.jp/GDEM/E/4.html>).

DESCRIPCION DE LOS DATOS TERRESTRES

RED DE NIVELACION DE PRECISION IGN

La Red Altimétrica de I Orden Nacional está referida al nivel medio del mar (Datum Vertical Local). La red está desarrollada a lo largo de rutas y caminos. Para la provincia se cuenta aproximadamente con 700 puntos fijos altimétricos distribuidos en 18 líneas de nivelación. (IGN, 1979, IGN 1983; Galván *et al*, 2006) (Ver Figura 1). La georreferenciación de los puntos altimétricos está en el Sistema WGS84 con exactitudes variables.

RED POSGAR 2007 IGN

POSGAR 07 es el nuevo Marco de Referencia Geodésico Nacional Argentino. Está basado en ITRF 05 Época 2006.632. Para el territorio de la provincia se cuenta con 49 puntos fijos espacialmente bien distribuidos y con una precisión de $\pm 0.005\text{m}$ (<http://ign.gob.ar/posgar2007/redposgar>) (Ver Figura 1).

Las alturas elipsoidales se transformaron a alturas físicas usando el modelo EGM96 (Lemoine *et al.* 1998) para hacerlos compatibles con los modelos SRTM90 V.4.1 y ASTER GDEM V.1 que utilizan como superficie de referencia para las alturas al EGM96. Se estima que EGM96 ajusta a las alturas físicas en puntos de nivelación GPS con una desviación estándar de ± 0.61 m para la República Argentina (Tocho *et al.*, 2009).

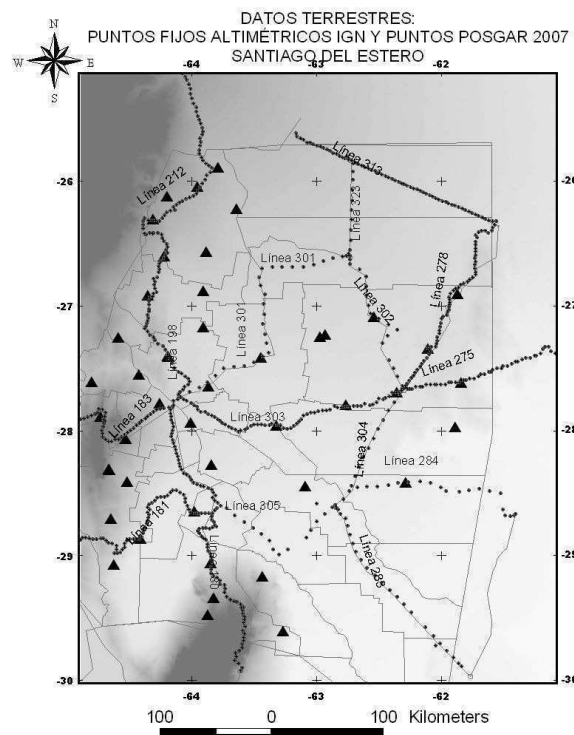


FIGURA 1: Datos Terrestres. ▲ Puntos POSGAR07. ● Puntos Nivelación IGN.

VALIDACION DE LOS MODELOS CON DATOS TERRESTRES

La validación de los MDE, con alturas de datos terrestres, proporciona una estimación razonable de la precisión, ya que las mismas son independientes del modelo. La comparación se realiza sobre puntos terrestres cuya posición debe estar referida al mismo sistema y tener una exactitud dentro de la resolución espacial del modelo. De igual modo la componente de altura debe estar referida a la misma superficie. La red de nivelación fue seleccionada como puntos de control (PCT), debido a su precisión de orden superior de la componente de altura. La posición horizontal de los puntos de nivelación es de exactitud variable, en consecuencia se adopta como segundo conjunto de datos terrestres para la validación a la red POSGAR 07 debido a la exactitud de sus posiciones y de la altura elipsoidal.

La evaluación de los modelos se realizó mediante el cálculo de los residuales usando la ecuación (1):

$$Z_{\text{RES}} = Z_{\text{DAT}} - Z_{\text{MDE}} \quad (1)$$

Z_{RES} : Residuos o errores; Z_{DAT} : Alturas de los puntos terrestres; Z_{MDE} : Alturas de los MDE.

RESULTADOS

La estadística descriptiva de los residuos calculados con la ec. (1) para los 716 puntos de la red de nivelación IGN se presenta en la Tabla 1. Se usan el RMS y la DESV EST como medidas estadísticas para la evaluación de los modelos (Hirt *et al.*, 2009; Felicísimo, 1994). Se advierte que el mejor ajuste para la provincia es el SRTM con un RMS de 19,194 m (Tabla 1), mientras que el ASTER presenta un RMS de 19,223 m.

MDE \ ESTAD	MINIMO	MAXIMO	RANGO	ERROR MEDIO	MODA	RMS	DESV EST
SRTM 90	-194,085	57,000	251,086	-6,566	-3.786	19,194	18,049
ASTER GDEM	-189,654	61,624	251,278	-0,549	5.555	19,223	19,229

TABLA 1: Estadísticos de la comparación con los 716 puntos de nivelación. Unidades en metros.

Se observa en la Figura 2 que el 29 % de los datos evaluados con el SRTM presenta un RMS menor que 5 m, mientras que el ASTER presenta solo el 9%. Son 8 líneas de nivelación las comprendidas en el 29% sobre

un total de 18 líneas analizadas. Las mismas se encuentran ubicadas en zonas de escasa pendiente. Ver Figura 1.

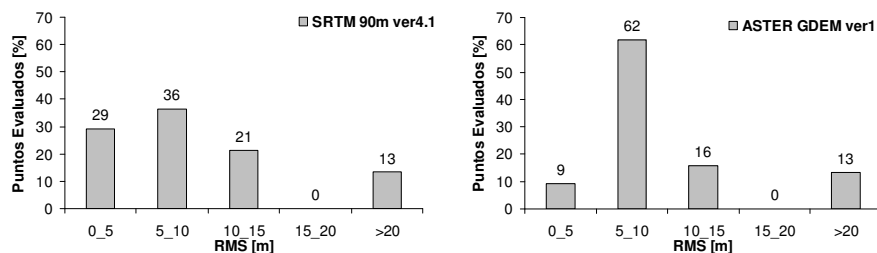


FIGURA 2: Porcentaje de puntos evaluados según RMS para los modelos SRTM y ASTER.

Las gráficas de frecuencia de la Figura 3 muestran una mayor curtosis en el SRTM que el ASTER. Ambas distribuciones presentan sesgo negativo. La moda para el SRTM es de -3.786m y para el ASTER es de 5.555m lo que queda en evidencia en la primera gráfica de frecuencias y que muestra el desplazamiento de los centros de la distribución de los errores.

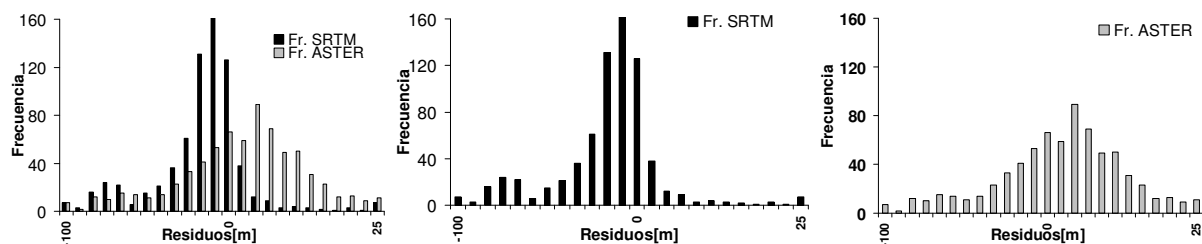


FIGURA 3: Distribución de las diferencias entre los puntos de nivelación y los MDE SRTM y ASTER.

La estadística descriptiva de los residuos calculados con la Ec. (1) para los 46 puntos POSGAR 07 figura en la Tabla 2. Es evidente el mejor ajuste del SRTM con un RMS de 2.606m en comparación con un RMS de 6.905 del ASTER.

MDE \ ESTAD	MINIMO	MAXIMO	RANGO	ERROR MEDIO	RMS	DESV EST
SRTM 90	-5,286	6,204	11,490	-1,873	2,606	1,832
ASTER GDEM	-19,112	14,767	33,879	3,0267	6,905	6,275

TABLA 2: Estadísticos de la comparación con los 46 puntos POSGAR 07. Unidades en metros.

Las gráficas de frecuencia de la Figura 4 muestran un comportamiento similar en cuanto a curtosis y sesgo que con las frecuencias de la Figura 3. Análogamente las gráficas de frecuencia evidencian un desplazamiento de los centros de distribución de ambos modelos.

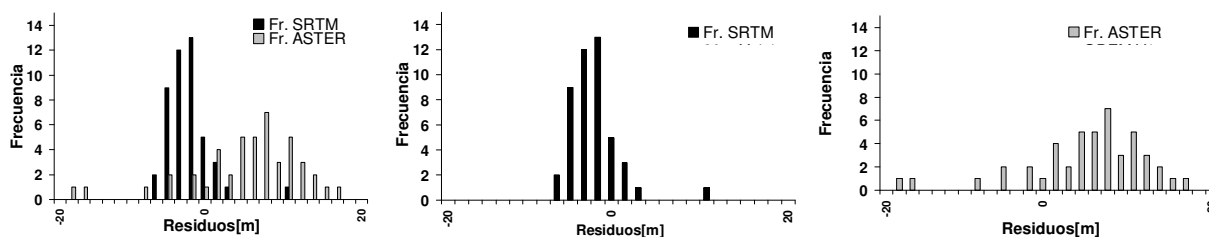


FIGURA 4: Distribución de las diferencias entre los puntos POSGAR 07 y los MDE SRTM y ASTER.

El RMS de los puntos POSGAR 2007 presenta un mejor ajuste para ambos modelos, siendo mejor el RMS correspondiente al SRTM con un valor de 2.606m contra un RMS de 19,194 para el mismo modelo analizado en los puntos de nivelación.

CONCLUSIONES

El RMS de los MDE en los puntos POSGAR 07 (2.606 para SRTM y 6.905 para ASTER) es mejor que en los puntos de nivelación (19,194m y 19,223m respectivamente). Esto se explicaría por la inexactitud en las

posiciones horizontales de los puntos de nivelación. En zonas de escasa pendiente los modelos ajustan razonablemente bien para ambos conjuntos de datos terrestres. Los mayores RMS obtenidos para los puntos de nivelación se ubican en zonas con mayor pendiente lo que reafirma la necesidad de la georreferenciación precisa de los mismos.

En un análisis riguroso no debe dejarse de considerar que la superficie de referencia para los puntos de nivelación es el Datum Vertical Local y para los MDE es el modelo geopotencial EGM 96.

Los errores verticales predichos para los MDE son de 16m para el SRTM y 20m para el ASTER. Se puede concluir que los errores verticales para ambos modelos se encuentran por debajo de los esperados en todos los puntos POSGAR 07 analizados y en los puntos de nivelación ubicados en zonas de escasa pendiente.

Del análisis realizado se puede concluir que, no obstante, la mejor resolución espacial y cobertura del ASTER GDEM, el modelo que mejor ajusta es el SRTM 90m para la provincia de Santiago del Estero.

Como consecuencia de lo expresado, los MDE analizados presentan una alternativa de libre disposición de datos de altura para una zona con poca infraestructura geoespacial, dentro de los rangos de error establecidos por el presente estudio.

Referencias Bibliográficas

- Reuter HI, Nelson A, Harvis A. 2007. An evaluation of void filling interpolation methods for SRTM data.
- Hirt C, Filmer MS, Featherstone WE. 2009. Comparisons and validation of the recent freely-available ASTER-GDEM ver1, SRTM ver4.1 and GEODATA DEM-9S ver3 digital elevation models over Australia.
- Bolten A, Walldhoff G. 2010. Error estimation of ASTER GDEM for regional applications-comparisons to ASTER DEM and ALS elevation models.
- Felicitísimo Angel M. 1994. Modelos Digitales del Terreno. <http://www.etsimo.uniovi.es/~feli>.
- Tocho, C. y Pacino, M. C., 2009. Evaluación del modelo geopotencial terrestre EGM2008 en Argentina. Reunión Científica AAGG 2009.
- Instituto Geográfico Militar, 1979. 100 Años en el Quehacer Cartográfico del País. pp 112.
- Instituto Geográfico Militar, 1983. Guía de la República Argentina para Investigaciones Geográficas. pp 119-120.
- <http://www.ign.gob.ar/posgar2007/redposgar>
- <http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm96/intpt.html>
- <http://srtm.csi.cgiar.org/>
- <http://www.cgiar-csi.org/data/elevation/item/45-srtm-90m-digital-elevation-database-v41>
- <http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/search.jsp>
- Heiskanen, W.A., Moritz, H., 1967. Physical Geodesy. W.H.Freeman, San Francisco.
- Galván L., Infante C., Goitea I., 2007. Georreferenciación de puntos altimétricos IGM para la provincia de Santiago del Estero. GEOACTA. AAGG. Vol. 32. pp 217- 222.
- Galván L., Infante C., Goitea I., Lauría E., Ramos R., 2008. Evaluación del modelo SRTM 90 en alturas IGM para el área del río Dulce de la provincia de Santiago del Estero. pp III-1 a III-6.
- Galván, Lucrecia; Infante Claudia; Goitea Iber; Laitán, Hector; Duro, Javier; Pirola, Marcelo; Luna, Juan Pablo & Lauría, Eduardo; Ramos Rubén. 2009. Evaluación del modelo SRTM 90m en alturas IGM para la provincia de Santiago del Estero.

MODELO REGIONAL DE ONDULACIONES GEOIDALES EN EL CENTRO-NORTE DE SANTIAGO DEL ESTERO

José E. Goldar⁽¹⁾, Pablo D. Ciappino⁽¹⁾, Carlos A. Gutierrez^(1 y 2) y Juan J. Frias⁽¹⁾

(1) Departamento de Agrimensura, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, Universidad Nacional de Santiago del Estero - jegoldar@unse.edu.ar, pciappino@yahoo.com.ar

(2) Dirección General de Catastro de la provincia de Santiago del Estero
agcarlos64@yahoo.com.ar

Resumen

El desarrollo de modelos de geoide, que permita la transformación de la información altimétrica satelital en valores de cota, con grados de precisión que dependen de la exactitud del modelo de transformación, ha cobrado importancia en los últimos años. Así se han desarrollado modelos a diferentes escalas (globales, regionales y locales) tanto en el mundo como en nuestro país. Pero al tratarse de un problema de comparación de una superficie física (geoide) con otra de carácter geométrico (elipsoide), los estudios de otra región no puedan generalizarse ni extrapolarse, por lo tanto un modelo local debe surgir de observaciones in situ.

En este trabajo presentamos un modelo de ondulaciones geoidales de carácter regional para la zona centro-norte de la provincia. Para el desarrollo del mismo se utilizó como datos de base las alturas de los nodales de las diferentes líneas de nivelación de primer orden que fueron ejecutadas y materializadas por el Instituto Geográfico Militar y los puntos de la red de referencia. Así se determinó las alturas elipsoidales de los nodales con GPS doble frecuencia y se trasladó la altura sobre el n.m.m desde la red IGM a los puntos de la red Catastral, mediante nivelación geométrica de precisión. Estos datos se integraron para generar el modelo regional. Finalmente el modelo fue validado utilizándose diez puntos de control, diferentes de los usados para generar el modelo. Los valores obtenidos resultan altamente satisfactorios dentro de los pocos decímetros.

Este es el primer paso tendiente a lograr modelos locales que posibiliten transformar la información altimétrica satelital, a valores de cota, para que a partir del mismo se pueda con una simple medición en diferencial de GPS obtener en cualquier punto de la provincia una altura sobre el nivel medio del mar con precisión para ejecutar cualquier obra o anteproyecto de ingeniería.

Abstract

In the last years, it has become significant the development of the geoid model (the equipotential surface of gravimetry attraction) that allows the transformation of the altimetry satellite data. So there have been developed many different scale models (global, regional, and local in the whole world, as well as in our country). However, since it is a problem of making a comparison between the physical surface (geoid) and another one based on geometry (ellipsoid), the surveys of another regions cannot be generalized or extrapolated. Therefore, certain in situ observations must be used for the local models. In order to meet this demand, we have been researching since 2009 in the "Geoid Model for the province of Santiago del Estero" financed by the Research Committee of the Santiago del Estero National University.

In the present research work, a regional wave geoid model for the north and central region of Santiago del Estero is produced. This region is bounded by the parallels 25 ° 40 'and 29 ° 00' south latitude and the meridian 62 ° 25 'and 65 ° 06' west longitude. To develop it, the heights data base of the nodal, for the different leveling lines, was used. These leveling lines were provided by the Military Geographic Institute (nowadays called National Geographic Institute). Moreover, the reference surveying points were also used for it. They are placed inside, and in the boundaries of the above mentioned area. That is the way in which the double frequency GPS ellipsoidal heights of the nodal were found out. Also, the heights above sea level were taken from the GIM network to the Cadastral network by making an accurate geometric leveling, and with the help of a parallel plate system. The point data, for both heights, was used to design the regional model. Finally, this model was validated using a set of different control points from those used in the generated model, comparing the known geoid height with that obtained by the model for the mentioned points. The values obtained are within a few decimeters range.

This regional model is the first step to achieve local models, through the densification of the generating points. These will enable the transformation of satellite altimetric information -quickly and easily to obtain- into orthometric values.

All these processes will allow the surveyor to get any accurate above sea level point inside the province of Santiago del Estero, from a simple differential GPS measurement. This will benefit the design and implementation of any engineering project within the model area.

Introducción

La ondulación del geoide, resulta de la comparación de dos superficies de referencia de alturas conceptualmente distintas, una matemática (elipsoide) y otra física (geoide). Para determinar la altura de un punto sobre cada una de estas superficies, se emplean diferentes métodos con instrumental específico para cada caso. Así, para la determinación de alturas sobre la superficie equipotencial del geoide (nivel medio del mar), cotas ortométricas en primera aproximación H (Huerta et al., 2005), se emplean los métodos de nivelación geométrica o trigonométrica según sea el grado de precisión que se desea alcanzar; en cambio las alturas elipsoidales h , se determinan mediante el empleo del posicionamiento satelital.

La diferencia entre estas dos alturas es lo que se conoce como ondulación del geoide y su valor adquirió una importancia preponderante con la generalización del uso del posicionamiento satelital en los trabajos de topografía y geodesia, la que a su vez fue promovida por ser el sistema que mejor conjugan velocidad y precisión en la adquisición de datos espaciales, aunque estas ventajas no puedan ser aprovechadas en toda su dimensión, por la incompatibilidad existente en lo concerniente a los datos altimétricos. Esta discordancia entre la información de alturas genera, en la actualidad, investigaciones y estudios en el país y el mundo, tratando de lograr concordancia entre los datos altimétricos que se consiguen con los receptores GPS y aquellos que se emplean generalmente en las aplicaciones topográficas para obras y proyectos de ingeniería en donde los valores de altimetría se obtienen de las nivelaciones convencionales ya sea geométrica o trigonométrica.

En la actualidad existe un sinnúmero de modelos de geoide de diferentes regiones y con distinto grado de precisión, que permiten la transformación de altura de una superficie a otra, pero los estudios que se realizan en una determinada zona no pueden ser extrapolados a otra, debido a que el problema surge de la comparación de dos superficies, que no necesariamente resultan paralelas, por cuanto una de ellas depende de condiciones locales tales como la distribución de masas.

En este trabajo se presenta un modelo de ondulaciones del geoide (N), para la región centro-norte de la Provincia de Santiago del Estero, comprendida entre los siguientes límites geográficos: $25^{\circ} 40'$ y $28^{\circ} 40'$ de latitud Sud y los $62^{\circ} 10'$ y $65^{\circ} 15'$ de longitud Oeste. El mismo fue calculado a partir de puntos de los que conocemos las alturas con respecto a sendas superficies de referencia, obteniendo de este modo la ondulación del geoide del punto en cuestión y por interpolación el modelo en la región.

Desarrollo

Para desarrollar el modelo regional de ondulaciones geoidales se recopilaron y determinaron, según el caso, un conjunto de datos altimétricos compuesto por alturas sobre el nivel medio del mar (s.n.m.m.) (H) y alturas elipsoidales (h), para la región Centro-Norte de la Provincia de Santiago del Estero, la cual se encuadra entre los paralelos de $25^{\circ} 40'$ y $28^{\circ} 40'$ de Latitud Sud y posmeridianos de $62^{\circ} 10'$ y $65^{\circ} 15'$ de Longitud Oeste.

Los valores de alturas s.n.m.m. se obtuvieron de los Nodales extremos de las Líneas de Nivelación de Primer Orden que atraviesan la Provincia de Santiago del Estero y de algunos puntos fijos de las mismas, las cuales fueron medidas y materializadas por el IGM (Instituto Geográfico Militar), hoy IGN (Instituto Geográfico Nacional). En la Tabla 1, se muestra el detalle de las diferentes líneas de nivelación, su recorrido y la cantidad de puntos fijos que contiene cada una; en la Tabla 2 los Nodales extremos de las líneas utilizados para la generación del modelo con su ubicación y alturas y valores calculados de ondulación.

Tabla 1. Líneas de Nivelación pertenecientes a la Red Nacional Primer Orden

Nº de Línea	Recorrido	Cantidad de Punto Fijos
141A (Termas de R. Hondo-Santiago del Estero)	La línea parte del punto fijo N°29 de la línea N192 al Nodal N°184	18
141B (Tucumán-Santiago del Estero)	La línea parte del Nodal N°198 al punto fijo N°26 de la línea N198	22
181 (Hoyon-San Antonio de La Paz)	La línea parte del Nodal N°178 al Nodal N°171	61
182 (Santiago del Estero-Hoyon)	La línea parte del Nodal N°184 al Nodal N°178	38
183 (Santiago del Estero-San Pedro de Guasayan)	La línea parte del Nodal N°184 al Nodal N°183	42
189 (San Antonio de La Paz-San Pedro de Guasayan)	La línea parte del Nodal N°171 al Nodal N°1183	36
192 (Tucuman-San Pedro de Guasayan)	La línea parte del Nodal N°198 al Nodal N°183	53
198 (Santiago del Estero-Rapelli)	La línea parte del Nodal N°184 al Nodal N°203	63
212 (Joaquin V. Gonzalez-Rapelli)	La línea parte del Nodal N°212 al Nodal N°203	55
303 (Joaquin V. Gonzalez-Rapelli)	La línea parte del punto fijo N°3 de la línea N198 al Nodal N°195	66

Tabla 2. Nodales Extremos de las Líneas de Nivelación

Nodal	Coordenadas Planas		Coordenadas geodésicas		Altura s.n.m.m.	Altura elipsoidal	Ondulación Geoidal
	X	Y	latitud (sur)	Longitud (oeste)			
Tucuman (198)	7030964,74	4281956,07	26° 49' 58,48378"	65° 11' 35,72005"	423,960	453,330	29,370
San Antonio (171)	6798381,39	4295513,11	28° 55' 56,53048"	65° 05' 49,20661"	269,010	295,990	26,980
Santiago (184)	6926835,7	4376326,78	27° 47' 02,19158"	64° 15' 17,20039"	183,930	209,400	25,470
Quimili (195)	6942733,78	4557505,19	24° 38' 41,81834"	62° 25' 02,19262"	133,449	158,023	24,574
Hoyon (178)	6833334,63	4406196,89	28° 37' 47,79244"	63° 57' 33,35468"	117,265	143,696	26,431
Rapelli (203)	7080665,5	4350005,27	26° 23' 36,42579"	64° 30' 11,23753"	398,405	426,485	28,080
Joaquin V. Gonzalez (212)	7222447,27	4386602,81	25° 07' 02,22199"	64° 07' 27,56200"	376,949	405,290	28,341
San Pedro (183)	6906650,63	4286821,66	27° 57' 17,04603"	65° 09' 57,92567"	377,401	405,441	28,040

Sobre estos nodales y algunos puntos fijos de las líneas, se realizaron la determinación de alturas elipsoidales con receptores GPS marca Trimble modelo R6, geodésico de doble frecuencia ampliable a una solución GNSS, sin cables e integrado en una sola unidad. Este instrumental esta equipado de 72 canales de rastreo R-Track, tecnología Bluetooth y comunicación sin cables entre el receptor y el controlador TSC2 y posee una precisión nominal para levantamientos GNSS Estático y Estático Rápido de 3mm + 0,1 p.p.m. RMS en Horizontal y 3,5mm + 0,4 p.p.m. RMS en Vertical.

Por su parte en las zonas donde se encuentran puntos de la Red GPS de Referencia Cartográfica y Catastral de la Provincia de Santiago del Estero, la cual es una malla de polígonos que consta de un total de 55 puntos básicos repartidos en todo el territorio provincial, a una distancia promedio entre ellos de 50 Km., se traslado al altura sobre el nivel medio del mar (s.n.m.m) desde el punto fijo mas cercano de la red de nivelación a los puntos de la esta red catastral, mediante una nivelación geométrica de precisión por el procedimiento de doble nivelación desde el punto medio; el instrumental utilizado para este trabajo fue un Nivel automático Zeiss Modelo Ni2, con el accesorio de un sistema de placa planos paralelas las que permiten obtener una lectura directa de 0,5 mm, y una apreciación, por medio del tornillo micrométrico, de 0,2 mm.

En la Tabla 3 se muestran los puntos de la Red Catastral utilizados para este trabajo, con su respectivo numero de orden, denominación, ubicación y altura elipsoidal.

Tabla 3. Puntos de la Red de Referencia Catastral utilizados en el modelo

Nº	Nombre	Lugar de Ubicación	Altura sobre elipsoide WGS 84
1	SAMP	SAN PEDRO	404,284
4	CAPI	CAPITAL	236,583
7	LORE	LORETO	164,403
12	SUNC	SUNCHO CORRAL	156,366
32	QUIM	QUIMILI	158,581
49	ESPE	NUEVA ESPERANZA	359,116

Todas las determinaciones de Altura elipsoidal se realizaron mediante le método diferencial estático, utilizándose como estaciones de base a las Estaciones Permanentes de la Red RAMSAC mas cercanas a los nodales y puntos fijos en cuestión. Así se emplearon, según el caso, las Estaciones permanentes TERO, la cual se encuentra ubicada en la Dirección General de catastro de Santiago del Estero; TUCU en la Provincia de Tucumán; UNAS ubicada en la Universidad Nacional de Salta y CATA en la Provincia de Catamarca, mientras que como remoto se utilizo, el receptor GPS TRIMBLE R6 cuyas características técnicas se mencionaron con anterioridad.

Las observaciones se realizaron midiendo un vector de observación de 2 horas de duración, en todos los casos.

Con los valores de ambas alturas de todos los puntos se obtuvo una grilla de valores puntuales de ondulaciones geoidales, los cuales fueron interpolados con SURFER para generar el modelo regional de ondulaciones.

Contrastación

Para la contrastación del modelo generado, se utilizaron puntos medidos para un modelo de ondulaciones geoidales a nivel local (Goldar et. al. 2007) , el cual cubre una superficie de 306 km² en la zona sur de la ciudad capital de Santiago del Estero.

Tabla 4. Puntos de Contrastación del Modelo

Punto	X	Y	Ondulación medida	RESIDUAL Ondulación S / modelo	Diferencia
RBL5	6912791	4389817	25,060	24,316	0,744
487	6912965	4389911	24,800	24,307	0,493
488	6913241	4389697	24,590	24,325	0,265
489	6913647	4389339	25,090	24,356	0,734
490	6914683	4388528	25,060	24,425	0,635
491	6915517	4388256	25,080	24,446	0,634
492	6916485	4387913	25,100	24,474	0,626
493	6916738	4387787	24,920	24,485	0,435
494	6917675	4387645	25,580	24,495	1,085
495	6918999	4387036	25,150	24,546	0,604
496	6919845	4386355	25,270	24,604	0,666
497	6920909	4385596	25,230	24,669	0,561
498	6921960	4384872	25,750	24,732	1,018
499	6922600	4384471	25,600	24,766	0,834
500	6923112	4384154	25,620	24,793	0,827
501	6924041	4383580	24,770	24,843	-0,073
502	6924913	4382750	25,700	24,915	0,785
503	6926204	4381420	25,050	25,030	0,020
504	6927589	4380303	25,440	25,127	0,313
505	6927988	4379793	25,140	25,171	-0,031
506	6928330	4379092	25,530	25,212	0,318
507	6928691	4378350	25,920	25,257	0,663
miski	6928614	4377458	25,370	25,305	0,065
curva	6928754	4377184	25,410	25,322	0,088
punte	6928061	4376592	25,210	25,348	-0,138
aguirre	6927262	4376752	25,160	25,340	-0,180
nodal	6926835	4376327	25,400	25,364	0,036
PF 1-N182	6924468	4376788	25,828	25,342	0,486
PF 2	6924129	4376956	25,674	25,333	0,341
PF 3	6923016	4377147	25,683	25,324	0,359
PF 4	6923163	4377638	25,668	25,297	0,371
PF 5	6923272	4378128	25,678	25,270	0,408
PF 6	6922526	4378282	25,671	25,263	0,408
PF 7	6921769	4378427	25,108	25,256	-0,148
PF 8	6920298	4378832	24,951	25,235	-0,284
PF 9	6919248	4379388	24,899	25,205	-0,306
PF 10	6917996	4379905	24,797	25,176	-0,379
PF 11	6917058	4380271	24,836	25,146	-0,310
PF 12	6915922	4381002	24,824	25,084	-0,260
PF 13	6915365	4381522	24,798	25,040	-0,242
PF 14	6914623	4382041	24,772	24,996	-0,224
PF 15	6913769	4382189	24,901	24,985	-0,084
PF 16	6912564	4382067	24,823	24,999	-0,176
PF 17	6911564	4382246	24,794	24,985	-0,191
PF 18	6910675	4382487	25,246	24,966	0,280

Los puntos de contrastación se introducen con sus coordenadas planimétricas y su ondulación medida y el SURFER arroja valores residuales que se corresponden con la ondulación calculada por el modelo para esa ubicación. Así se obtuvieron los valores para los 45 puntos de control utilizados en la contrastación, los que arrojan los valores que se presentan en la Tabla 4. Por su parte en la Tabla 5, se resumen los valores estadísticos de la contrastación.

Tabla 5. Valores Estadísticos de la Contrastación

Valor Promedio	0,369 m
Desviación Standard	0,274 m
Valor Máximo	1,085 m
Mínimo	0,020 m

Conclusion

En atención a los valores que arroja la contrastación, puede concluirse que el modelo es aplicable dentro de un margen de tolerancia del orden de los 60 cm, valor muy satisfactorio y que puede mejorarse mucho con la densificación de los puntos que se utilizaron en la generación del modelo. Este modelo regional es el primer paso para lograr, mediante la densificación de los puntos generadores, modelos locales. Estos posibilitarán la transformación de la información altimétrica satelital -rápida y fácil de obtener- a valores ortométricos. De esta manera se podrá obtener con precisión una altura sobre el nivel medio del mar en cualquier punto de la provincia, a partir de una simple medición diferencial GPS. Esto beneficiará el diseño y ejecución de cualquier obra de ingeniería dentro del área del modelo.

REFERENCIAS

- Goldar, E., P. Ciappino, W. Costa y J. Paste: Modelo de ondulaciones geoidales en una zona de planicie de Santiago del Estero. Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA. Tomo I. Capítulo III, 46-51, 2007.
- Huerta, E., A. Mangiaterra y G. Noguera. 2005. GPS Posicionamiento satelital. UNR Editora. Rosario – Argentina.
- Hoyer, M., 1993. Procedimiento Altimétrico para el Calculo del Geoide. Publicación del Consejo Nacional de Cartografía de Venezuela. Caracas, Venezuela.
- López Amador, S., 2003. Desarrollo de un Modelo de Geoide para la Comunidad Autónoma de Madrid. MAPPINGINTERACTIVO N° 84, artículo 209. <http://www.mappinginteractivo.com>
- Rodríguez, R. y Paccino, M. (1999): Un Modelo de Geoide de Precisión para la Provincia de Santa Fe – República Argentina. International Geoid Service Bull., 9: 123-134.

Respuesta de la región del plasma al sismo del Maule (M8.8)

Sallago, P. A.(1)(2); Quaglino, N.(1) ; I. R. Cabassi(1) y J. C. Gianibelli(1)

(1) Departamento de Geomagnetismo y Aeronomía

(2) Grupo de MHD

Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas-UNLP, La Plata, Argentina.

Resumen

Durante muchos años numerosos autores han estudiado las respuestas ionosféricas y geomagnéticas a los fenómenos sísmicos mediante el estudio de las pulsaciones geomagnéticas, los cambios en la conductividad del aire, las señales infrarrojas, comportamientos específicos del contenido electrónico total (TEC), variaciones en el flujo de partículas de alta energía, entre otras cantidades físicas que caracterizan a un plasma. Ellos se enfocaron en el desarrollo de algún parámetro de alerta sísmica y, por esta razón, propusieron diversos mecanismos para intentar explicar el vínculo entre los terremotos y las observaciones realizadas sobre los parámetros del plasma. En un trabajo anterior, se analizaron los efectos del terremoto del Maule sobre la región de la Anomalía Magnética del Atlántico Sur (SAMA). En la presente contribución, se analizan los datos registrados en las estaciones geomagnéticas de Trelew y Las Acacias. El instrumento ubicado en Trelew es un magnetómetro de precisión protónica ELSEC 770 y el ubicado en Las Acacias es un Geometrics G856 (modificado en FCAG-UNLP bajo la dirección del geofísico J. C. Gianibelli y el ingeniero R.E. García). Se propone una posible explicación teórica para la explicar el vínculo entre el comportamiento físico de la tierra sólida y el plasma. Este último es analizado dentro de la aproximación magnetohidrodinámica, proponiendo un modelo de tubo de flujo cilíndrico para la región del mismo. Entre otras perturbaciones, la generación y propagación de ondas de Alfvén son la propuesta elegida para la explicación del comportamiento del plasma y las respuestas geomagnéticas registradas.

Abstract:

From many years several authors have studied the ionospheric and geomagnetic responses during earthquake-time interval via the analysis of ULF magnetic pulsations, air conductivity changes, infra red signatures, specific features of TEC behavior, high energy particle flux variations, among others physical quantities that characterizes a plasma. They are devoted to determine a sort of earthquake alert and, for this reason, they have proposed possible mechanisms to explain the link among earthquakes and the observations made on the parameters of the plasma. In an earlier work, the effects of the Maule earthquake on the plasma of SAMA were analyzed. In the present contribution, the geomagnetic data recorded at the geomagnetic stations Trelew and Las Acacias are analyzed. The instrument located at Trelew is a ppm ELSEC 770 and the one located at Las Acacias is a ppm Geometrics G856 (modified at FCAG-UNLP under the direction of geophysicist J. C. Gianibelli and engineer R.E. García). A possible theoretical explanation for the physical link among the solid earth and the plasma is given, in the magnetohydrodynamics approximation, using a cylindrical flux tube model for the plasma region. Among others, the generation and propagation of Alfvén waves are chosen in order to explain some plasma and geomagnetic behavior.

Introducción:

El 27 de Febrero de 2010 a las 06:34:14 TU, tuvo lugar el sismo de magnitud 8.8 en la costa de Maule (Chile) (USGS, <http://earthquake.usgs.gov>). Este sismo era esperado según los resultados presentados por Ruegg et al. (2009) en su estudio de acumulación de esfuerzo. Este sismo se generó durante un período no perturbado de la actividad solar. Es importante remarcar este hecho en particular, porque todas las perturbaciones locales medidas se corresponden a esta fuente de origen interno, constituida por el comportamiento precursor y sísmico del fenómeno *us2010tfan*. Numerosos autores estudian el posible vínculo existente entre el comportamiento precursor y las perturbaciones experimentadas por las distintas cantidades físicas, con el objetivo de desarrollar algún tipo de mecanismo de alerta. A continuación se expone sintéticamente el estado actual del problema:

-Los fenómenos anómalos relativos a la propagación de ondas EM que ocurren antes y durante los sismos han sido analizados mediante un conjunto de mecanismos físicos que involucran a los precursores como explicación de dichas observaciones. Estos estudios incluyen efectos electrocinéticos, piezoeléctricos y magnetohidrodinámicos, procesos de generación de cargas, entre otros. Sin embargo, el origen de la existencia y de las características de las señales EM pre-sísmicas se mantiene en controversia hasta el presente (Simpson, 2009).

-Se han propuesto que tienen lugar como precursores la formación de depresiones ionosféricas locales

(Simpson and Tafflove 2007; Pulnits and Boyarchuk 2004), así como otras condiciones ionosféricas locales relativas a procesos geofísicos (Simpson, 2009). El análisis del contenido electrónico total determinado por GPS ha sido analizado por Ouzounov et al. (2006) para el sismo de Sumatra (Diciembre 2004-Abril 2005), y por Krankowski et al. (2008) para el sismo de Grecia (Enero 2006) y Nueva Zelandia (Noviembre de 2004). Hasbi et al. (2009) han analizado el comportamiento ionosférico y geomagnético durante los terremotos de Sumatra usando GPS y los registros magnetométricos de las estaciones cercanas a los epicentros. Estos eventos también tuvieron lugar durante un período de baja actividad solar. Las oscilaciones del TEC mostraron períodos de 5-10 minutos y fueron observadas con posterioridad a los sismos, mientras que los magnetómetros registraron pulsaciones geomagnéticas Pc5 de 5 minutos cerca de los 11 minutos posteriores al evento. Más aún, en orden de explicar las Pc5 Iyemori et al. (2005) han propuesto un mecanismo de dínamo ionosférico en la capa E sobre el epicentro. Además, Bleier et al. (2009) han investigado las pulsaciones magnéticas en el rango ULF, los cambios de conductividad del aire y las señales infrarojas asociadas con el sismo de Alum Rock (Octubre 2007).

La región de la Anomalía Magnética del Atlántico Sur ha sido excluida de estos estudios debido a sus características peculiares (Aleksandrin et al., 2003). En un trabajo anterior, se analizaron los efectos del terremoto del Maule sobre la región de la Anomalía Magnética del Atlántico Sur (SAMA) (Sallago, 2010).

En la presente contribución, se analizan los datos registrados en las estaciones geomagnéticas de Trelew y Las Acacias. El instrumento ubicado en Trelew es un magnetómetro de precisión protónica ELSEC 770 y el ubicado en Las Acacias es un Geometrics G856 (modificado en FCAG-UNLP bajo la dirección del geofísico J. C. Gianibelli y el ingeniero R.E. García). Se propone una posible explicación teórica para la explicar el vínculo entre el comportamiento físico de la Tierra sólida y el plasma. Este último es analizado dentro de la aproximación magnetohidrodinámica, proponiendo un modelo de tubo de flujo cilíndrico para la región del SAMA ocupada por el plasma. Se propone que, como consecuencia de los cambios que afectan a la tierra sólida, una variedad de inestabilidades es generada en la región ocupada por el plasma y es la fuente de perturbación del estado de equilibrio. Entre otras perturbaciones, la generación y propagación de ondas de Alfvén son la propuesta elegida para la explicación del comportamiento del plasma y las respuestas geomagnéticas registradas.

Modelo y explicaciones propuestas para algunas de las evidencias experimentales:

Debido a que en los plasmas espaciales los fenómenos tienen lugar simultáneamente en una variedad de escalas de longitud, el análisis de los fenómenos físicos en consideración dependerán de la aproximación empleada. Se puede pensar en una estructura de plasma donde pueda tener lugar una variedad de situaciones en forma simultánea. Consideremos un tubo de flujo magnético cilíndrico como modelo para los campos de fondo (Sallago and Platzeck, 2006; Sallago, 2007).

Los cambios en las características de las sustancias que componen la Tierra sólida como resultado de la deformación mecánica y cambios termodinámicos que soporta en los momentos anteriores y durante eventos tales como los sismos, producen cambios en su conductividad (sustancias inhomogéneas y anisótropas). Los puntos de anclaje de las líneas de campo de inducción magnética se mueven durante estos cambios que tienen lugar en la región de actividad sísmica. El movimiento de las líneas de campo produce redistribución de cargas y la generación de corrientes. Como otros procesos tienen lugar, tales como el calentamiento de la Tierra sólida, juntos contribuyen al crecimiento de inestabilidades de intercambio como el modo tearing. Estas son capaces de conducir a reconexión (Priest and Forbes, 2000). Si hay disponible energía suficiente para entregar al plasma, pueden resultar en un proceso de eyección de plasmoides dentro de la nueva configuración del campo. La hipótesis es que este mecanismo tiene lugar en una región localizada de el tubo de flujo cilíndrico confinado (Sallago, 2010). Las inestabilidades generan perturbaciones de todo tipo, entre ellas generan ondas de Alfvén. Las ondas de Alfvén se propagan en todo tipo de plasmas, aún en los plasmas multicomponentes levemente ionizados (Vranjes et al., 2008).

Al alcanzar las ondas de Alfvén a la atmósfera neutra, se producen ondas-hijas que preservan características físicas de las ondas-madre, por ejemplo su polarización; algunas de las ondas-hijas son pulsaciones geomagnéticas (Sallago, 2004-2007). Este resultado teórico ha sido confirmado experimentalmente por Hasbi et al. (2009). En consecuencia, se obtienen pulsaciones geomagnéticas por el mecanismo de generación de ondas madre-hija.

El 27 de Febrero de 2010 a las 06:34:14 TU, tuvo lugar el sismo de magnitud 8.8 en Maule, (Chile), (USGS). Este tuvo lugar durante un período de actividad geomagnética calma. Es importante remarcar este

hecho, ya que las perturbaciones medidas se corresponderán con la fuente de origen interno debido a la actividad precursora y sísmica propiamente dicha. En un trabajo anterior Sallago (2010) ha estudiado las variaciones en los parámetros ionosféricos provenientes de NGDC-NOAA via spidr y la intensidad magnética proveniente de la red INTERMAGNET en una escala temporal de 3 días, dentro de la región SAMA como escala de longitud. Distintos períodos fueron determinados para las variaciones temporales. Las ondas ionosféricas se propusieron provenientes de una inestabilidad de sausage mientras que las perturbaciones geomagnéticas se propusieron generadas por el mecanismo madre-hija (Pc5, en particular).

El presente trabajo compara los registros provenientes de las estaciones geomagnéticas de Las Acacias (LAS) y Trelew (TRW) dentro de la misma escala temporal del trabajo anterior. Los registros se dividieron en situaciones pre-sísmicas y post-sísmicas. Puede notarse del análisis de los mismos que las estaciones LAS y TRW se ven influenciadas por distintos tipos de perturbaciones. Además, la energía se distribuye en forma diversa, viéndose afectada más velozmente y con mayor intensidad la región de influencia de la estación LAS, independientemente de si los fenómenos se corresponden con perturbaciones precursoras o post-sísmicas. Podría ponerse en evidencia un comportamiento marcado a responder más velozmente a las perturbaciones con frecuencias correspondientes a las ondas ionosféricas, encontradas en el trabajo anterior, en los registros de la estación TRW, mientras que las perturbaciones con frecuencias correspondientes a las pulsaciones geomagnéticas se ponen de manifiesto en LAS con mayor celeridad e intensidad.

Para la mayor comprensión del complejo mecanismo que tiene lugar en el plasma frente a los cambios de las características físicas de la tierra sólida son necesarios tanto el análisis de una mayor densidad de datos como una extensión del modelo del campo de fondo que tenga en cuenta las variaciones espaciales de los parámetros físicos que pone en evidencia el análisis de los registros del que se ocupa el presente trabajo.

Conclusiones:

Se ha utilizado la hipótesis propuesta por Sallago (2010) que durante el período de actividad sísmica (incluyendo en éste al intervalo precursor y post-evento) tiene lugar en la región del plasma la reconexión de las líneas de campo de inducción magnética en una región localizada dentro del modelo del campo de fondo constituido por el pinch cilíndrico. Distintos tipos de inestabilidades generan diversas perturbaciones, entre ellas las ondas de Alfvén. Ya que las ondas de Alfvén se propagan en todo tipo de plasmas, incluso en los multicomponentes levemente ionizados, cuando éstas alcanzan el gas neutro producen ondas-hijas que mantienen inalteradas las características de las ondas-madre, por ejemplo su polarización. Algunas de las ondas-hijas son pulsaciones geomagnéticas.

Del análisis de los registros de las estaciones LAS y TRW se pone en evidencia que los mismos se hallan influenciados por distintos tipos de perturbaciones. Además, independientemente de si los fenómenos se corresponden con perturbaciones precursoras o post-sísmicas, la energía se muestra distribuida en forma diferente. Para la mayor comprensión del complejo mecanismo que tiene lugar en el plasma frente a los cambios de las características físicas de la Tierra sólida son necesarios tanto el análisis de una mayor densidad de datos como una extensión del modelo del campo de fondo que tenga en cuenta las variaciones espaciales de los parámetros físicos que ponen en evidencia el análisis efectuado en el presente trabajo.

Referencias:

- Aleksandrin, S. Yu, A. M. Galper, L. A. Grishantzeva, S. V. Koldashov, L. V. Maslennikov, A.M. Murashov, P. Picozza, V. Sgrigna, and S. A. Voronov, High-energy charged particle bursts in the near-Earth space as earthquake precursors, *Annales Geophysicae* (2003) 21: 597–602.

-Bleier, T., C. Dunson, M. Maniscalco, N. Bryant, R. Bamberg, and F. Freund, Investigation of ULF magnetic pulsations, air conductivity changes, and infra red signatures associated with the 30 October Alum Rock M5.4 earthquake, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 9, 585–603, 2009.

-Hasbi, Alina Marie, Mohammed Awad Momani, Mohd Alauddin Mohd Ali, Norbahiah Misran, Kazuo Shiokawa, Yuichi Otsuka, Kiyohumi Yumoto; Ionospheric and geomagnetic disturbances during the 2005 Sumatran earthquakes. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 71 (2009) 1992–2005.

-Iyemori, T., et al., 2005. Geomagnetic pulsations caused by Sumatra earthquake on December 26, 2004. *Geophys. Res. Lett.* 32, L20807. doi:10.1029/2005GL024083.

-Krankowski, A.; Zakharenkova, I.; Shagimuratov, I.; Features of the Ionosphere Modification Preceding

Strong Earthquakes Derived Using GPS TEC Measurements, American Geophysical Union, Fall Meeting 2008, abstract #S52A-04.

-Ouzounov, D.; Pulinets, S.; Ciraolo, L.; Cervone, G.; Kafatos, M.; Taylor, P.; Parrot, M.; Li, F.; Hattori, K.; The analysis of GPS Total Electron Content (TEC) and Satellite Electromagnetic Data of Atmospheric Processes Related to the Northern Sumatra Earthquake Swarms of Dec 2004-Apr 2005, American Geophysical Union, Fall Meeting 2006, abstract #T34B-08.

-Priest, E.R, 1982, Solar Magnetohydrodynamics, D Reidel, Norwell, Mass.

-Priest, E.R. and Forbes, T., 2000, Magnetic Reconnection, Cambridge University Press, Cambridge, UK.

-Ruegg, J.C., Rudloff, A., Vigny, C., Madariaga, R., de Chabaliér, J. B., Campos, J., Kausel, E., Barrientos, S., Dimitrov, D., 2009. Interseismic strain accumulation measured by GPS in the seismic gap between Constitución and Concepción in Chile, Physics of the Earth and Planetary Interiors 175, 78-85.

-Sallago, P.A., 2004, Actas de la reunión de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas, Argentina, <http://www.aagg.org.ar/aagg-t.html>.

-Sallago, P. A. and A.M. Platzeck, 2006, J.of Plasma Physics 72, 625-633.

-Sallago, P.A., 2007, Geoacta 32, Argentina, 51-57, <http://www.aagg.org.ar/RES%2032.pdf>.

-Sallago, P.A., 2010, AGU Meeting of Americas, Foz do Iguaçu, Brazil.

-Simpson, Jamesina J; Current and Future Applications of 3-D Global Earth-Ionosphere Models Based on the Full-Vector Maxwell's Equations FDTD Method, Surv. Geophys. (2009) 30:105–130 .

-USGS NEIC (WDCS-D), <http://earthquake.usgs.gov>.

-Vranjes J., S. Poedts, B. P. Pandey, and B. De Pontieu, Energy flux of Alfvén waves in weakly ionized plasma, A&A 478, 553–558 (2008), DOI: 10.1051/0004-6361:20078274 .

ANALISIS DE LAS VARIACIONES DEL CAMPO GEOMAGNETICO MODELADAS POR EL IGRF

Julio César Gianibelli (1)

**(1)Departamento de Geomagnetismo y Aeronomía, Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas.
Univesidad Nacional de La Plata . Paseo del Bosque S/N, 1900, La Plata, Argentina. TE:
(0221)4236593/4 ext 132. Email: geofisicogianibelli@yahoo.com.ar**

RESUMEN

Los modelos Internacionales del Campo Geomagnético de Referencia (IGRF por International Geomagnetic Reference Field) se determinan a partir del año 1900. Cada 5 años son actualizados sus coeficientes correspondientes al desarrollo en esféricos armónicos aplicado a los datos provistos por los Observatorios geomagnéticos permanentes, Estaciones de repetición y relevamientos. En el presente trabajo se analiza la intensidad total F del Campo Geomagnético evaluada en un perfil desde el Polo Norte al Polo Sur Geomagnéticos para el intervalo temporal 1900 a 2010, cada 5 años. Dicho perfil atraviesa América y llega hasta la Antártida abarcando 23 observatorios magnéticos. Para cada Observatorio se tiene una serie temporal de valores de F . Se calcula la variación de F cada 5 años y luego es analizada por medio de un análisis espectral no lineal para determinar los períodos predominantes. Los resultados muestran que se detectaron períodos comprendidos en las bandas de 80 años, 30 años y un aporte del ciclo solar en la banda de los 12 años. Se concluye que las dos primeras bandas corresponden a fenómenos generados en el geodínamo terrestre, mientras que la onda solar corresponde a modulaciones inducidas por el ciclo solar sobre las fuentes secundarias de los sistemas de corrientes equivalentes residentes en la magnetósfera e ionósfera que se intensifican con dicha periodicidad.

Palabras Claves: Geomagnetismo, IGRF, variaciones, Observatorios, ciclo solar.

ABSTRACT

The International Geomagnetic Reference Field (IGRF) models are determined starting from year 1900. Their coefficients, corresponding to a spherical harmonic analysis applied to data supplied by permanent geomagnetic observatories, repeat stations and surveys, are updated each 5 years. In the present work total intensity F of the Earth's magnetic field is analyzed evaluated in a profile from the Geomagnetic North Pole to the Geomagnetic South Pole for temporary interval 1900 up to 2010, every 5 years. This profile crosses America and arrives until the Antarctic including 23 magnetic observatories. For each Observatory a temporary series of values of F is had. The F variation every 5 years is calculated and next is analyzed by means of nonlinear spectral analysis to determine the predominant periods. The results shows that periods included in the bands of 80 and 30 years, and a contribution of the solar cycle in the band of the 12 years, were detected. One concludes that the two first bands correspond to phenomena generated in terrestrial geodínamo, whereas the solar wave corresponds to modulations induced by the solar cycle on the secondary sources of the systems of resident equivalent currents in the magnetosphere and ionosphere that intensifies with this regularity.

Keywords: Geomagnetism, IGRF, Variations, Observatories, Solar Cycle.

INTRODUCCION.

Los Modelos Geomagnéticos Internacionales de Referencia (IGRF por International Geomagnetic Reference Field) del Campo Magnético Terrestre (CMT) consisten en un desarrollo en esféricos armónicos hasta el orden 10 basados en la información provista por la Red de Observatorios Magnéticos Permanentes (OMP) en la superficie terrestre y que representan el campo generado por el efecto magnetohidrodinámico de una geodínamo residente en el núcleo externo de la Tierra (Langel, 1987; Barraclough, 1978). Estos modelos son actualizados cada 5 años a partir de 1900.0. Sus coeficientes son provistos por la IAGA (International Association for Geomagnetism and Aeronomy) y la determinación de los elementos geomagnéticos D , I , X , Y , Z , H y F , se obtienen on-line conociendo la latitud y longitud geográficas, altura y fecha, del punto geográfico a calcular, por medio la facilidad web provista por la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA): <http://ngdc.noaa.gov/geomagmodels/IGRFWMM.jsp> . El objetivo de este trabajo es analizar la variación de la intensidad total F en nT del CMT, desde 1900.0 hasta 2010.0 cada 5 años y observar su estructura espectral. A este respecto se utilizaron los observatorios que se encuentran distribuidos

desde el Polo Norte al Polo Sur Geográficos a través del Continente Americano. La figura 1 muestra dicha distribución sobre la representación de F correspondiente al IGRF 2000.0, donde cada observatorio aparece con el código de la IAGA y en correspondencia con ella la tabla 1, donde se describe el nombre del observatorio, su colatitud norte, su longitud y altura en metros.

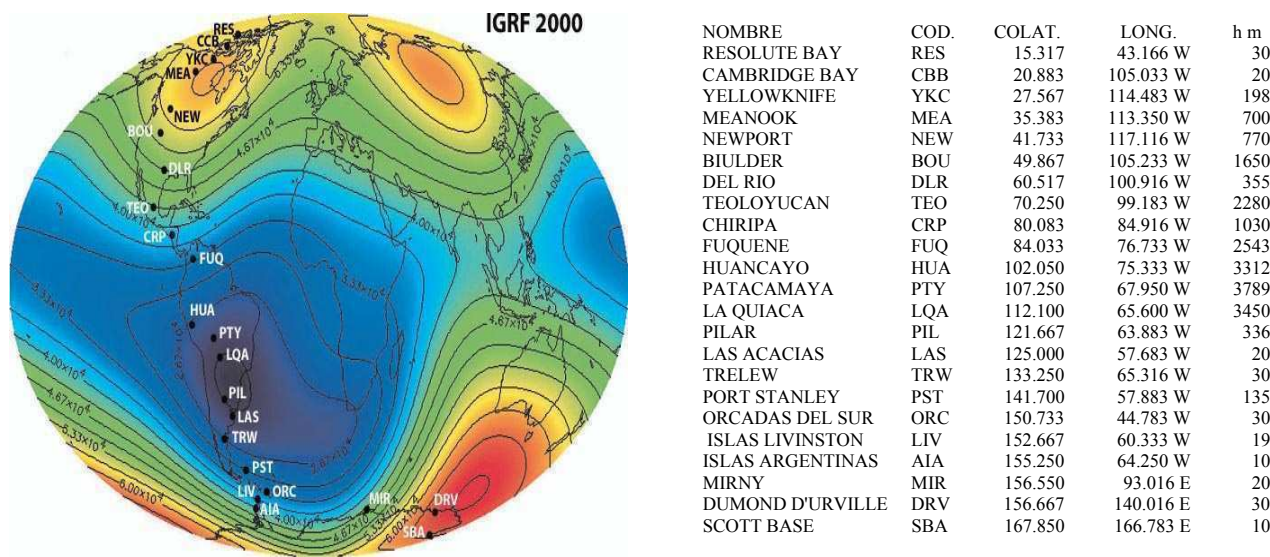


Figura 1: Ubicación de los Observatorios Magnéticos. Tabla 1: Descripción de los Observatorios.

Puede observarse en la figura 1 que el perfil cubre las regiones de los Polos Norte y Sur Geomagnéticos y la Anomalia Magnética del Atlántico Sur (AMAS).
La variación en 100 años de F en cada observatorio se presenta en la figura 2.

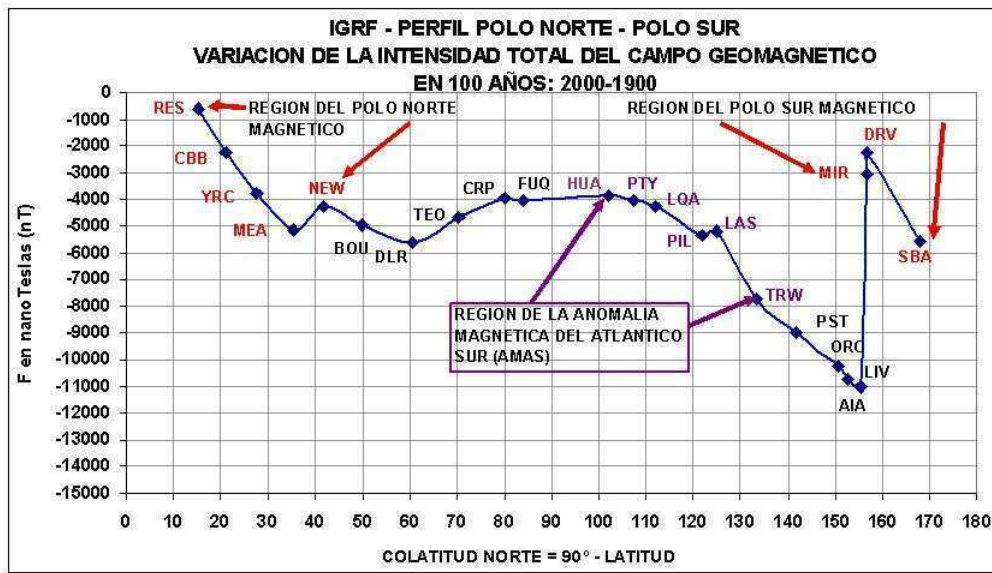


Figura 2: Variación de F para cada observatorio en 100 años: F 2000.0 – F 1900.0.

ANALISIS DE LOS DATOS Y RESULTADOS

Para cada OMP del perfil se calculó por medio del IGRF la intensidad total F desde 1900.0 a 2010.0 cada 5.0 años y se determinó la variación cada 5 años de tal manera que quedó constituida una serie de tiempo de la variación de F como se muestra en la figura 3

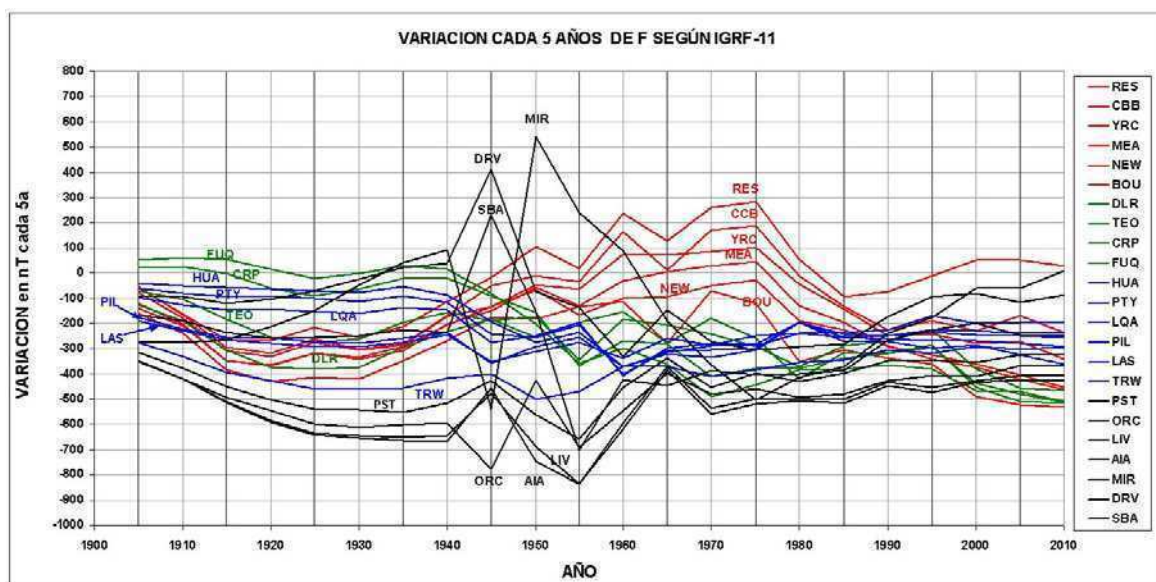


Figura 3. Variación de F para cada OMP desde 1900.0 a 2010.0

El modelo matemático propuesto para esta variación está dado por la Ec. 1

$$\delta F/\delta T = (A+B \cdot T) + \sum C_k \cdot \exp(i\omega_k T + \phi_k), \text{ donde } \omega_k = 2\pi / T_k \quad (\text{Ec.1})$$

donde A y B representan los coeficientes de la tendencia lineal, y ω_k la frecuencia de las componentes de la variabilidad. La metodología consistió en determinar por el método de mínimos cuadrados la recta de mejor ajuste y al residuo resultante de la variabilidad menos dicha recta, se le aplicó un análisis espectral por el método de máxima entropía (Wu, 1977) utilizando el algoritmo de Ulrych y Bishop (1975). Del mismo se obtiene la frecuencia (o período) de cada componente espectral. En la tabla 2 se describe los resultados de los períodos determinados, como las amplitudes y fases del modelo para cada período detectado por mínimos cuadrados.

OBS	PER.	AMP.	FASE	OBS	PER.	AMP.	FASE	OBS	PER.	AMP.	FASE	OBS	PER.	AMP.	FASE
	años	nT.	rad.		años	nT.	rad.		años	nT.	rad.		años	nT.	rad.
RES	70.2	162.9	2.2	TEO	96.6	37.0	3.5	PIL	98.5	43.9	1.2	AIA	89.8	90.6	1.5
	32.2	45.3	0.3		43.1	34.0	0.9		39.4	16.7	1.3		30.3	77.7	6.0
	24.6	53.5	1.6		28.6	57.6	5.8		22.2	13.1	5.0		20.0	73.6	6.2
	12.9	36.0	3.1		21.4	20.5	0.5		15.3	29.0	4.9		14.7	48.4	6.3
	10.9	36.2	4.4		11.5	27.0	5.6		12.6	19.4	6.2		10.8	45.0	0.7
CCB	74.2	193.9	2.4	CRP	98.5	23.9	0.3	LAS	96.6	42.8	1.3	MIR	70.2	228.0	3.6
	27.6	37.1	3.5		54.5	64.6	3.4		30.5	15.3	0.2		35.8	154.8	4.2
	17.0	38.3	5.0		26.3	49.4	4.8		18.7	9.2	1.6		24.1	128.7	5.9
	11.5	32.5	0.1		13.8	22.7	4.1		14.9	20.3	4.7		17.4	99.6	1.3
YRC	76.4	190.4	2.4		11.3	24.5	4.8		12.2	15.6	5.4		14.0	123.7	3.5
	33.7	30.9	1.1	FUQ	67.4	93.7	4.8	TRW	85.4	52.5	1.2		11.8	116.5	5.9
	24.8	25.0	1.5		24.5	37.8	4.3		31.1	25.0	0.1	DRV	72.1	147.5	4.5
MEA	78.8	187.8	2.6		17.5	23.7	4.5		19.1	20.5	6.1		45.7	52.0	1.3
	32.6	30.3	0.2		14.9	19.1	0.2	PST	94.8	65.9	1.6		34.4	66.0	0.3
	23.4	32.3	1.0	HUA	74.2	68.5	5.7		30.3	53.2	6.0		24.0	82.8	2.4
	12.9	22.1	2.6		42.7	36.5	2.2		20.8	44.0	0.4		17.8	52.6	4.3
NEW	78.8	149.6	2.7		22.4	20.8	4.1		17.4	32.6	4.4		11.7	50.1	2.9
	33.9	27.4	0.2		14.8	21.5	4.2		14.6	32.5	6.2	SBA	74.2	148.5	5.0
	22.6	36.3	0.4		12.1	25.5	4.7	ORC	91.5	77.2	1.5		36.6	116.6	0.5
	13.1	24.5	3.0	PTY	84.0	65.8	0.0		53.9	49.1	0.5		24.8	112.3	2.9
BOU	78.8	150.0	2.8		41.3	35.2	2.1		30.1	32.8	0.2		18.3	100.3	4.7
	41.0	37.0	0.7		22.2	16.0	4.3		18.6	33.7	3.8		14.2	75.6	5.8
	22.4	35.9	6.2		15.1	31.1	4.7		14.2	66.7	4.5				
	16.5	41.4	5.1		12.4	27.2	5.6		11.6	60.0	5.4				
	12.0	28.9	1.5	LQA	91.5	56.6	0.5	LIV	89.8	86.2	1.5				
DLR	82.6	96.4	2.9		41.3	32.0	2.1		30.5	74.7	6.0				
	47.0	46.3	1.4		21.4	17.0	4.4		20.2	68.2	6.3				
	27.4	44.6	5.2		15.3	35.0	5.0		14.6	44.4	6.0				
	16.8	33.9	5.2		12.7	29.0	6.2		10.8	30.5	0.7				

Tabla2: Descripción de los períodos detectados en cada observatorio.

Estos resultados están representados en la figura 4, 5 y 6 en función de la colatitud. En la Fig 4 se muestra las variaciones por bandas de periodos donde se observa claramente la banda correspondiente al ciclo solar y del doble de este ciclo. Otra banda (17.0-19.5 años) que podría estar relacionado con el ciclo de marea lunar de 18.6 años (CCB, FUQ, LAS, TRW, PST, ORC, MIR, DRV y SBA) correspondiente al periodo del nodo

ascendente de la Luna; y los periodos mayores a 30 años de origen interno. En las Figuras 5 y 6 se muestran las amplitudes detectadas en bandas con más detalle.

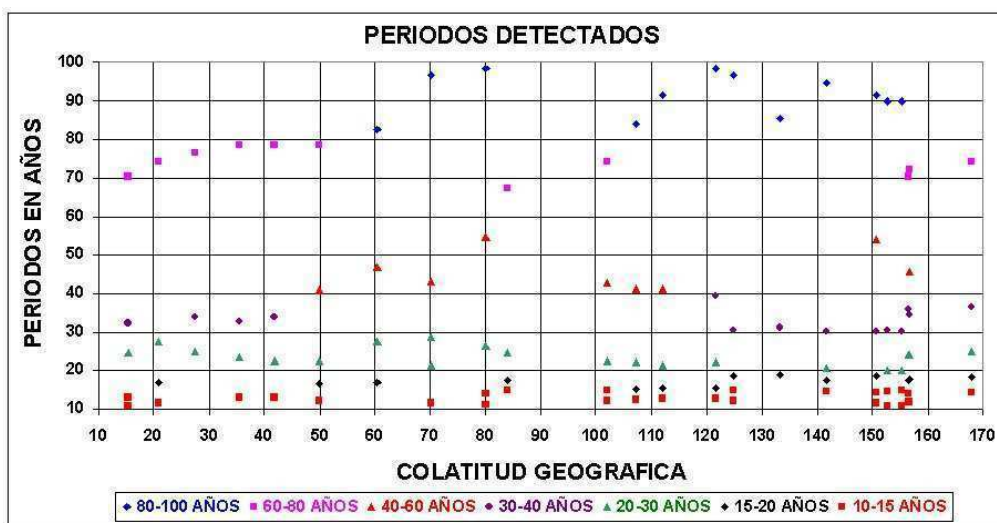


Figura 4: Periodos detectados y amplitud de la variación según la Ec. 1.

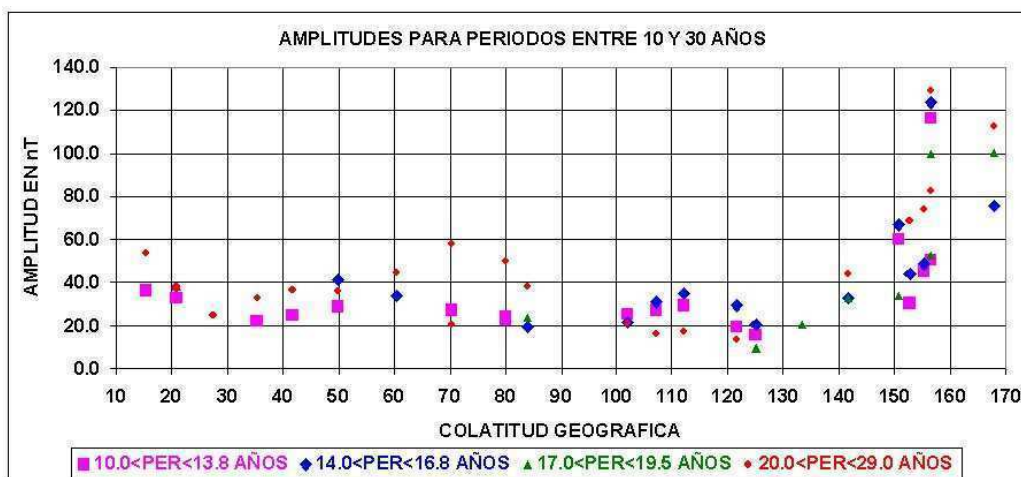


Figura 5: Amplitudes detectadas para cada OMP entre 10 y 30 años.

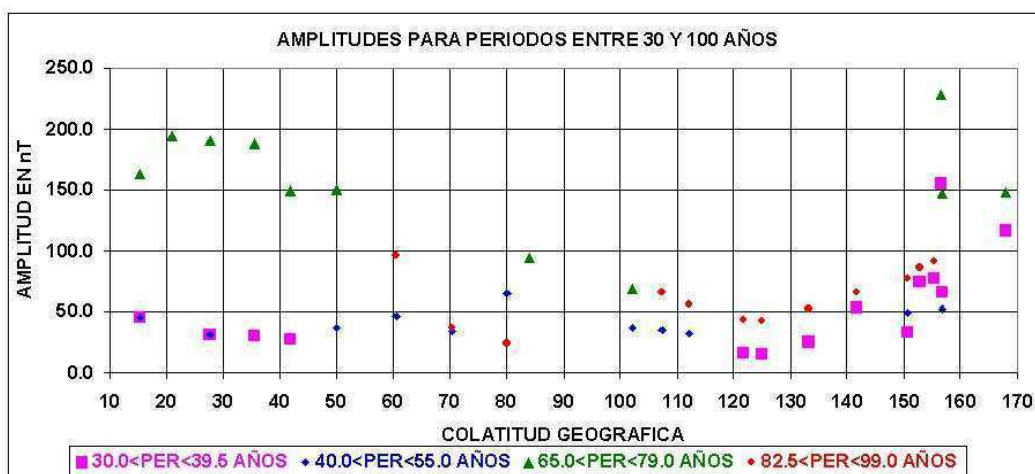


Figura 5: Amplitudes detectadas para cada OMP entre 30 y 100 años.

El modelo aditivo (Ec 1) es adecuado desde el punto de vista del error medio cuadrático del ajuste (RMS) que se obtiene al aplicarlo en la representación de la variabilidad cada 5 años. Su resultado se muestra en la figura 6. La región Subantártica es donde los OMP de MIR, DRV y SBA muestran un RMS mayor que 70 nT.

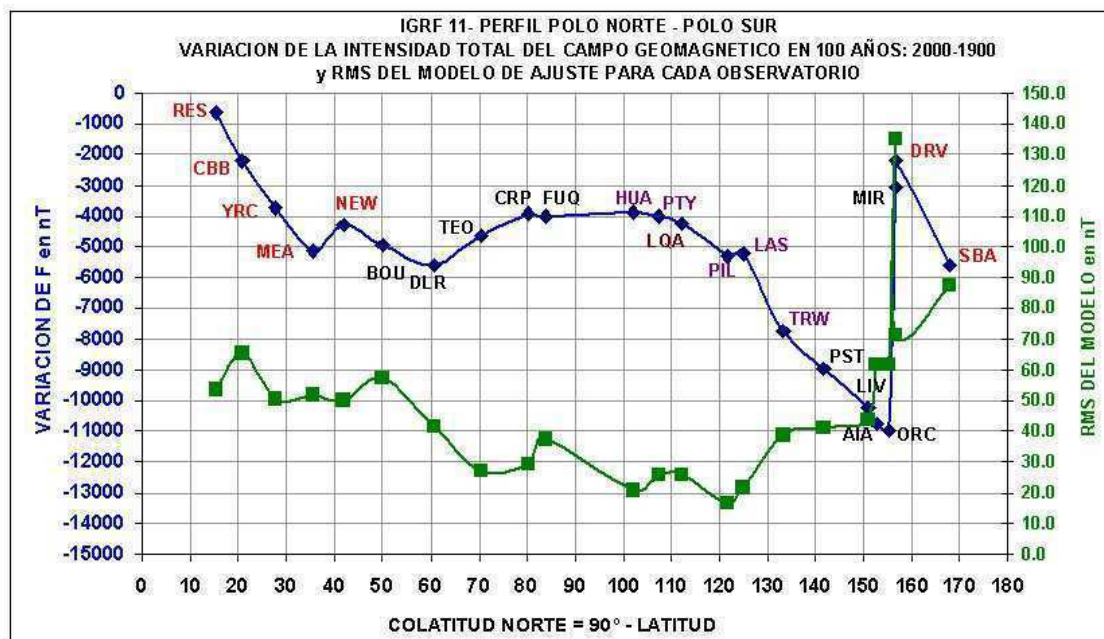


Figura 6. Variación del CMT y RMS del modelo para cada OMP

CONCLUSIONES

El modelo del IGRF contiene aportes de períodos relacionados con el ciclo solar con amplitudes importantes y detectables por métodos no lineales de análisis espectral. Estos resultados demuestran que en la serie de tiempo de variación de F cada 5 años de los OMP, existen efectos producidos de la actividad del acoplamiento CMT con el Viento Solar. Los datos que dan origen al modelo podrían tener una contaminación. Estos también poseen un efecto de acción de marea lunar, además de las variaciones propias de origen interno residentes en el manto y núcleo. Este método podría entonces pronosticar los valores del CMT por medio de este tipo de análisis de su variabilidad, además del lineal.

BIBLIOGRAFIA

- Barraclough, D. R. 1978. Spherical Harmonic Models of the Geomagnetic Field. Institute of Geological Sciences. Geomagnetic Bulletin 8. Pp: 1-66.
- Langel, R. A. 1987. Main Field in Geomagnetism. ED by Jacobs J. A. Academic Press N. Y., VOL I. Pp 249-512.
- Ulrych, T. J. and T. N. Bishop. 1975. Maximum Spectral Analysis and Autoregressive Decomposition. Reviews of Geophysics and Space Physics, Vol 13 N 1. Pp: 183-200.
- Wu N., 1977. The Maximum Entropy Method. Springer. Pp 1 – 327.

LOS DIAS CALMOS EN LA REGION DE LA ANOMALIA MAGNETICA DEL ATLANTICO SUR (AMAS)

Julio César Gianibelli (1), Nicolás Quaglini (1), Jorge Esteban Cabrera (1) y Eric Marderwald (1)
(1)Departamento de Geomagnetismo y Aeronomía, Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas.
Univesidad Nacional de La Plata . Paseo del Bosque S/N, 1900, La Plata, Argentina. TE:
(0221)4236593/4 ext 132. Email: geofisicogianibelli@yahoo.com.ar

RESUMEN

Las técnicas para determinar los denominados días Q (por Quiet, quietos) provistos por la IAGA (Asociación Internacional de Geomagnetismo y Aeronomía) se encuentran basados en criterios estadísticos generados históricamente por sistemas clásicos de registro instalados en los Observatorios Magnéticos Permanentes (OMP). En la actualidad dichos observatorios permiten una evaluación de la selección de días calmos de mejor resolución que los registros clásicos. A este fin se aplica la norma L1 del índice P1F sobre los registros digitales diarios cada 1 minuto de la intensidad total F en nT del campo magnético. Se determinan los niveles de baja actividad en los observatorios de la región de la Anomalía Magnética del Atlántico Sur (AMAS). Se compara la magnitud del índice P1F diario y se analizan los niveles de mínima actividad. El resultado muestra como ejemplo para el año 2007 la evolución del índice P1F y la cantidad de días calmos en dicho año notablemente superior a los 60 días seleccionados por la IAGA. De esta manera su aplicación en la determinación de la variación solar calma es más precisa.

Palabras claves: Observatorios Magnéticos, AMAS, índice, variación diurna, días calmos

ABSTRACT

The techniques to determine denominated Q days (quiet days) provided by the IAGA (International Association for Geomagnetism and Aeronomy) are based on statistical criteria generated historically from classic recording systems installed at the Permanent Magnetic Observatories (PMO). At the present time, these observatories allows an evaluation of the selection of calm days with a better resolution than the classic records. In order to obtain the better selection, the norm L1 of P1F index is applied over the total magnetic intensity F daily digital records each 1 minute in nT. The low activity levels at observatories from South Atlantic Magnetic Anomaly (SAMA) region are determined. The magnitude of daily P1F index is compared and the levels of minimun activity are analized. The results shows as example for year 2007 the evolution of P1F index and the amount of calm days in this year, that is notably higher respect to the 60 calm days selected by the IAGA. In this way their application in the determination of the solar calm variation is more accurate.

Keywords: Magnetic Observatorios, AMAS, index, diurnal variation, calm days.

INTRODUCCION

El concepto de actividad geomagnética registrada en los Observatorios Magnéticos Permanentes (OMP) por medio de magnetómetros absolutos o relativos en la superficie terrestre involucra componentes de un macro sistema, donde el Sol y La Tierra son las fuentes primarias de fenómenos que interactúan, generando una serie de fuentes secundarias en el espacio circunsterrestre y estas a su vez en los medios conductores de la hidrósfera, corteza, manto, y núcleo terrestre. La actividad del plasma y la radiación solar, en conjunto con el campo geomagnético de comportamiento multipolar de la Tierra, cuya fuente se encuentra en el núcleo externo de la Tierra, generan una cavidad que se llama Magnetosfera, dentro de ella y en su superficie límite se posicionan las fuentes secundarias caracterizadas por el efecto colectivo de partículas, denominadas sistemas de corrientes equivalentes. Además la corteza terrestre posee un campo de características cuasi estáticas que se agrega a las anteriores. La actividad del campo registrada en superficie, posee diferentes escalas temporales y la más interesante es la que está relacionada con los fenómenos que se desarrollan en los diferentes ciclos undecenales del Sol. Los índices geomagnéticos permiten una evaluación diaria o de menor escala de la actividad registrada de los elementos magnéticos en los OMP. Mayaud (1980) presenta el significado de un índice geomagnético indicando que “no debe ser sofisticado ya que no es un sustituto de los datos originales pues debe ser un resumen de ellos”. Este concepto esta dirigido a los datos obtenidos de las observaciones y registros de lo elementos geomagnéticos en superficie y su finalidad es conocer cuando el sistema de relaciones terrestres-solares se encuentra en distintos estadios de actividad. A este respecto es importante determinar el nivel de mínima actividad para intervalos de tiempo predeterminados. La versatilidad de un índice en su determinación es uno de los objetivos para poder representar la actividad del

sistema sol-tierra, como lo hacen los índices de otras disciplinas de la ciencia. Los índices globales representan las características importantes de los fenómenos a escala planetaria, los mismos muestran los efectos de las zonas donde los fenómenos producidos por los sistemas de las fuentes secundarias son de diferente comportamiento en la interacción Sol-Tierra (Campbell 1989a, 1989b; Rangarajan 1989). Este comportamiento se puede clasificar por zonas de acuerdo a los procesos involucrados. El objetivo de este trabajo es determinar el índice P1F (Gianibelli y Quaglini 2009) basado en la norma L1 para las regiones ecuatorial y subecuatorial y observar su respuesta durante el año 2007. Los OMP de registro digital seleccionados de la red Intermagnet fueron: Kouru (KOU, Lat.: 5° 12' 36'' N; Long.: 52° 43' 52'' O), Huancayo (HUA, Lat.: 12° 3' S; Long.: 75° 19' 48'' O), Vassouras (VSS, Lat.: 22° 24' S; Long.: 43° 39' O), Hermanus (HER; Lat.: 34° 25' 30'' S; Long.: 19° 13' 30'' E), Las Acacias (LAS, Lat.: 35° 00' S; Long.: 57° 41.65') y Trelew (TRW, Lat.: 43° 16.1' S; Long.: 65° 22.9' O). Estos OMP se encuentran en dicha región pero además se encuentran en el foco de la Anomalía Magnética del Atlántico Sur (AMAS) (Fig. 1 y 2).

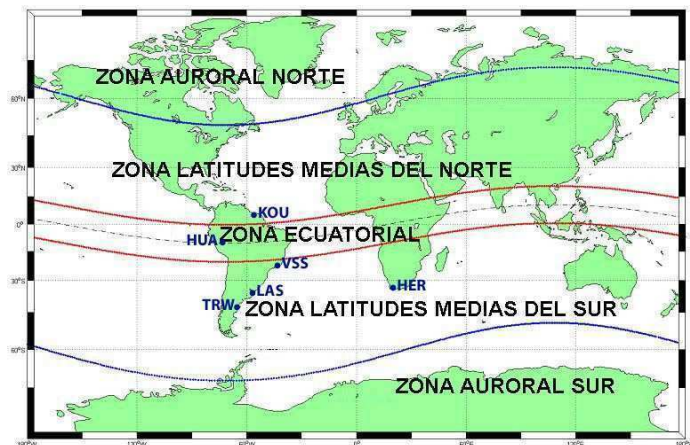


Figura 1: OMP y las zonas de actividad geomagnética.

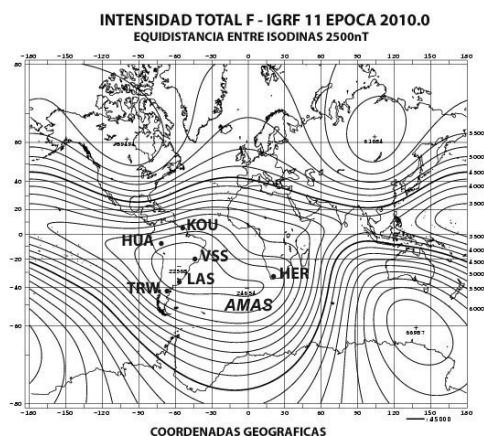


Figura 2: OMP y la AMAS

ANÁLISIS DE LOS DATOS Y RESULTADOS.

Se calculó el índice P1F diario, de los registros digitales de los OMP de KOU, HUA, VSS, HER, LAS y TRW, en el intervalo comprendido entre el 1 de Diciembre de 2006 al 31 de Diciembre de 2007, correspondiente al inicio del intervalo de mínima actividad solar entre los ciclos 23 y el 24. El índice, en unidades de nT, resulta de calcular mediante la ecuación 1 la suma de los rangos en tiempo local.

$$P1F_{DIARIO} = \sum_{j=1}^{1440} \left| F(t_j) - \langle F_{1h}(t_j) \rangle \right| \quad \text{Ec 1.}$$

Donde $\langle F_{1h}(t_j) \rangle$ significa el valor medio de los valores de F en el intervalo de 1 hora centrado en t_j .

La figura 3 muestra el índice P1F, observándose que para HUA el valor de P1F es del orden del 320% mayor que para el resto de los OMP, debido a los efectos del electrochorro ecuatorial que caracteriza a esta zona (Parkinson, 1983; Onwumechili, 1997).

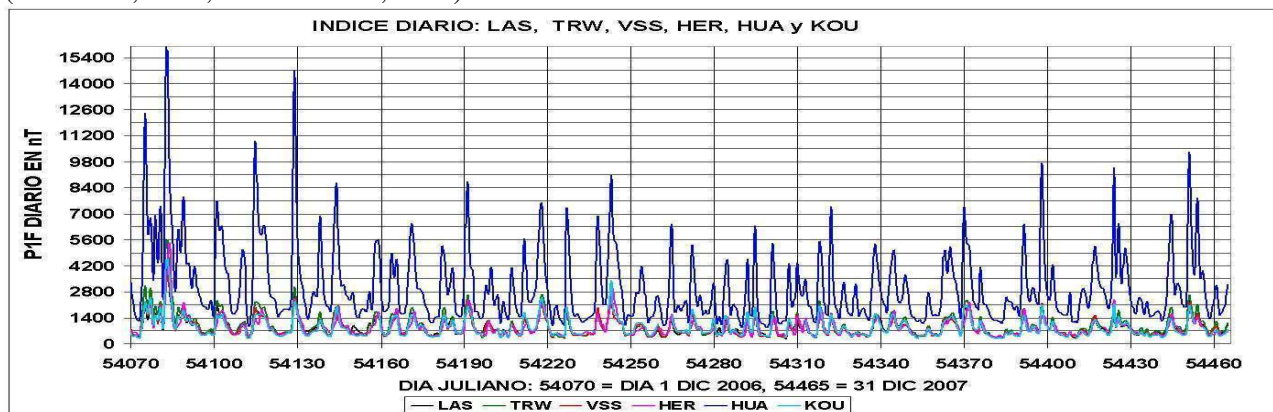


Figura 3: Actividad medida con el índice P1F, donde se observa el efecto de electrochorro ionosférico de la zona ecuatorial.

Las Figuras 4 y 5 son un detalle de la figura 3 donde se selecciono dos intervalos mensuales de actividad alta (Fig. 4) y actividad baja (Fig. 5)

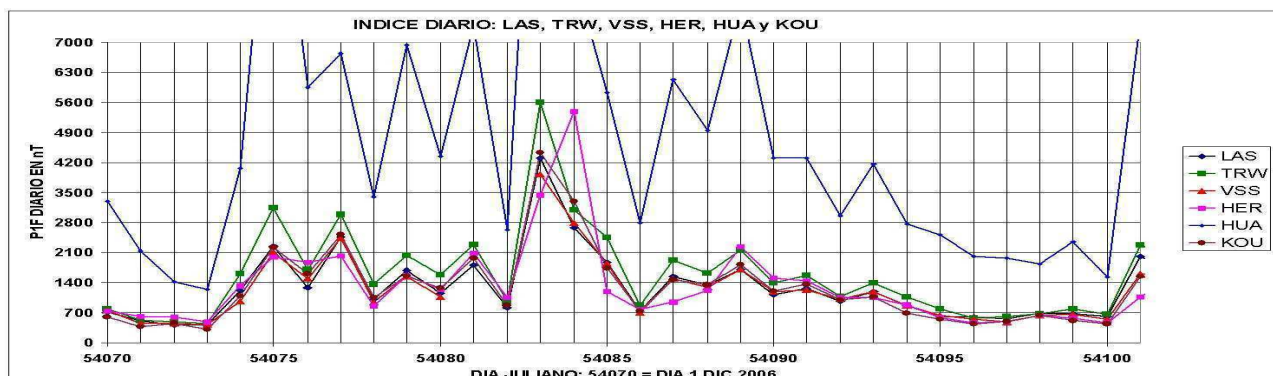


Figura 4: Indice P1F para el mes de Diciembre 2006 de alta actividad .

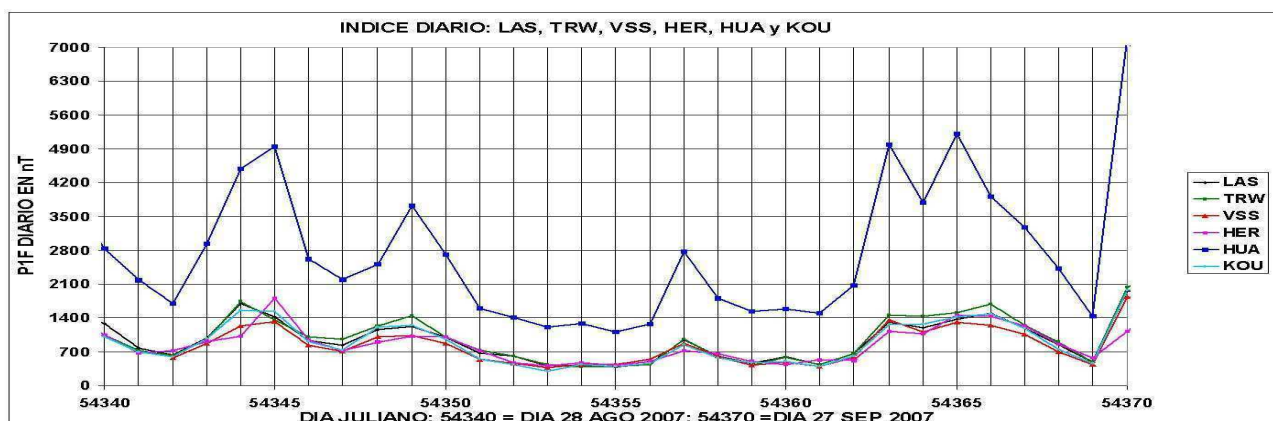


Figura 5: Indice P1F para el intervalo 28 de Agosto – 27 de Septiembre de 2007 de baja actividad.

Gianibelli y Quaglino (2009), estudiaron este índice para el OMP de Trelew, obteniendo el nivel mínimo del rango de actividad para clasificar a los días como calmos en 700nT (Fig. 6).

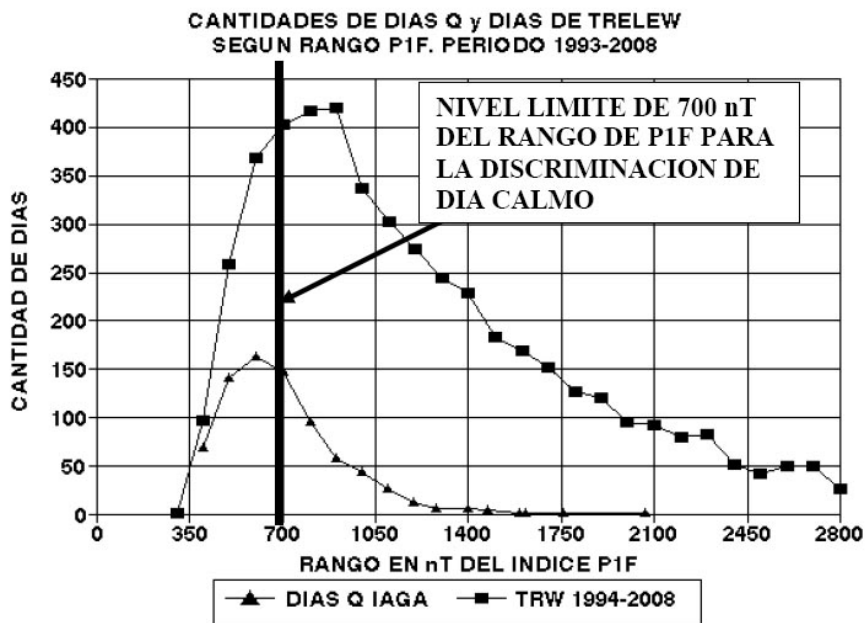


Figura 6: Rango de P1F de los días Q (IAGA) y días de TRW

La relación entre los índices P1F calculados para los OMP de KOU, HUA, VSS, HER y LAS versus TRW muestra que su comportamiento es lineal en un rango de correlación se encuentra comprendido entre 0.73. y 0.99 como se muestra en la Figura 7.

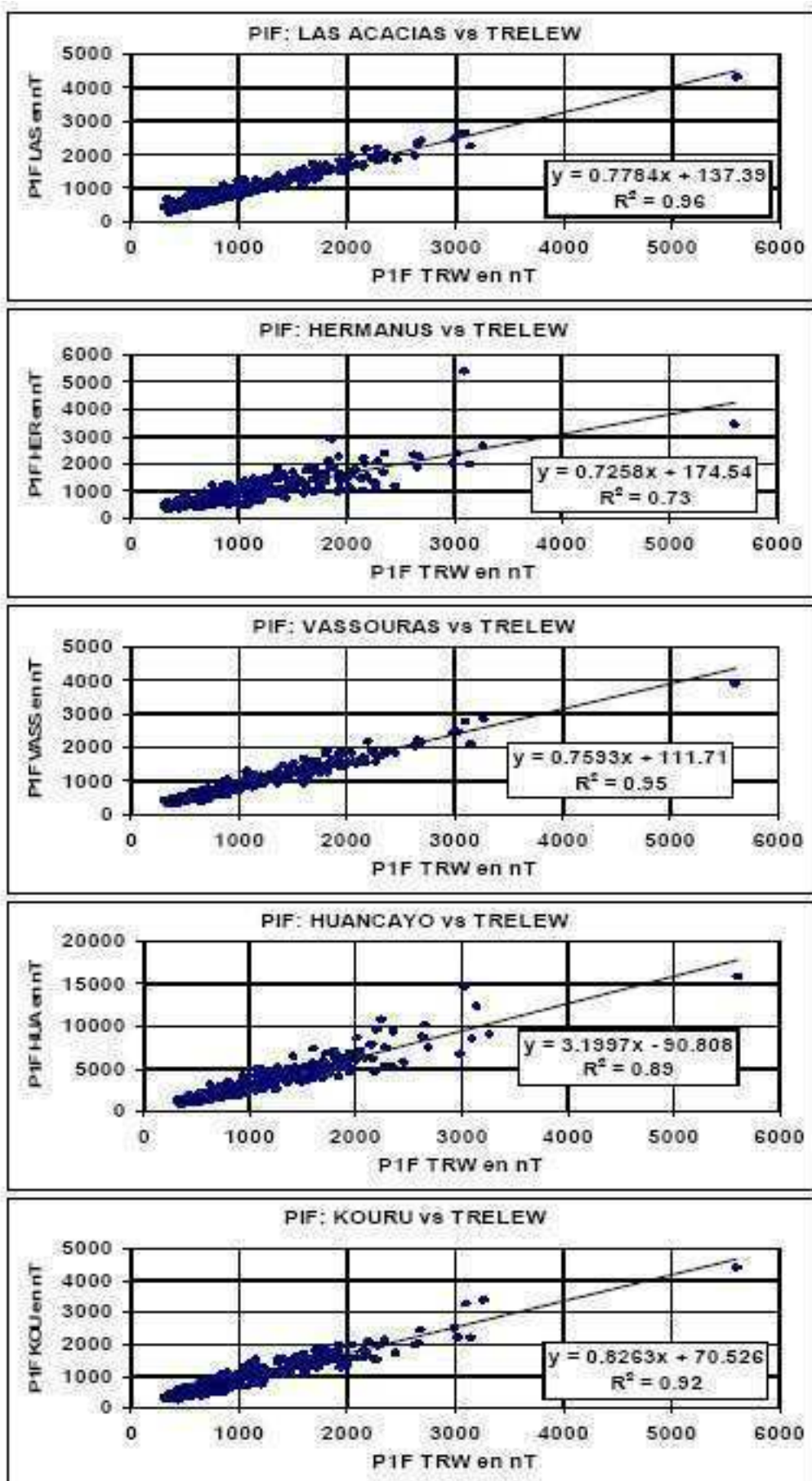


Figura 7: Funciones lineales de LAS, HER, VSS, HUA, y KOU vs. TRW

De las funciones mostradas en la figura 7 es posible entonces determinar el valor del rango acumulativo diario máximo para seleccionar como calmo un día cualquiera en función del criterio asumido en TRW (Fig 6). La tabla 1 muestra estos resultados:

OMP	VALOR LIMITE
Codigo	PARA P1F nT
TRW	700
LAS	680
HER	680
VSS	640
HUA	2100
KOU	640

Tabla 1

CONCLUSIONES.

La determinación del índice P1F para los Observatorios de TRW, LAS, HER, VSS, HUA y KOU mostró en forma comparativa, el efecto del electrochoro ecuatorial sobre la actividad diaria registrada en HUA. La elección de los días calmos por medio de la relación lineal respecto de TRW es una facilidad de extrapolación de la actividad en la región de la AMAS y la determinación de los días calmos por medio del valor límite del rango acumulativo que caracteriza al índice P1F. La facilidad de cálculo utilizando herramientas provistas por cualquier planilla de cálculo facilita el control de la actividad en los registros digitales automáticos indicando su valor tanto para intervalos diarios como también para cualquier otro intervalo arbitrario.

REFERENCIAS

- Campbell W. H. 1989a. (Editor) Quiet Daily Geomagnetic fields. Reprint from Pure and Applied Geophysics. Vol 131 N° 3. Birkhauser Verlag . Pp: 315-349.
- Campbell W. H. 1989b. The Regular Geomagnetic Field Variation During Quiet Solar Condition. In Geomagnetism Vol 2. Ed. By J. A. Jacobs. Academic Press. Pp: 385-460.
- Gianibelli J. C. y Quaglino. N. 2009. La actividad del Campo Magnético Terrestre y la determinación de los días calmos. Actas XXIV Reunión Científica de la AAGG. Geomagnetismo. 1a ed. - Buenos Aires: Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas, 2009. ISBN 978-987-25291-1-6. Ciencias de la Tierra. I. Pag. 261, 267, 2009.
- Mayaud, P. N. 1980. Derivation, Meaning, and use of Geomagnetic Indices. AGU Monography 22. Pp. 1-154.
- Onwumechili C. A. 1997. The Equatorial Electrojet. Gordon and Breach. Pp: 1-627.
- Parkinson W. D. 1983. Introduction to Geomagnetism. Scottish Academic Press. Pp: 220-307.
- Rangarajan G. R. 1989. Indices of Geomagnetic Activity. Geomagnetism Vol 3. Ed. by J. A. Jacobs. Academic press. Pp.: 323-384.

RELACION ENTRE PARAMETROS DEL VIENTO SOLAR Y LA ACTIVIDAD GEOMAGNETICA REGISTRADA EN EL OBSERVATORIO DE TRELEW.

Julio César Gianibelli (1), Nicolás Quaglino (1)

**(1)Departamento de Geomagnetismo y Aeronomía, Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas.
Universidad Nacional de La Plata. Paseo del Bosque S/N, 1900, La Plata, Argentina. TE:
(0221)4236593/4 Ext. 132. Email: geofisicogianibelli@yahoo.com.ar**

RESUMEN

La climatología espacial estudia desde hace 30 años la actividad solar por medio de sondas espaciales. En particular la sonda Advanced Composition Explorer (ACE), situada en el punto L1 de libración gravitacional entre la Tierra y el Sol, a 1,5 millones de Km de la Tierra, estudia el Viento Solar (VS) desde el año 1998 hasta la actualidad. La actividad del sol, a través de las eyecciones de masa coronal y el viento solar rápido generado en los agujeros coronales, produce tormentas geomagnéticas registradas en superficie por la red de Observatorios Magnéticos Permanentes. En este trabajo se presenta un estudio de correlación entre parámetros del viento solar (VS) que son geoefectivos en la “actividad de tormenta” geomagnética y la actividad magnética registrada en el Observatorio Magnético de Trelew, durante el ciclo solar 23 (1997-2009). Se analizan la intensidad total (Btotal) del campo magnético interplanetario (CMI) arrastrado por el VS, la componente del CMI Bz sur y la Velocidad (V) del VS, registrados por la sonda ACE, y su relación con el índice diario de actividad P1F para Trelew. Los resultados muestran una muy buena correlación entre dichos parámetros del VS combinados en forma de producto y la actividad registrada en Trelew determinada por el índice P1F. Para el producto $V \cdot B_{zsur}$ versus P1F se obtuvieron coeficientes de correlación entre 0,75 y 0,85 y para el producto $V \cdot B_t$ coeficientes entre 0,85 y 0,90, dependiendo del estadio del ciclo solar 23. Se concluye que el sostenimiento de la componente Bz sur durante largos periodos horarios en el punto L1, que está directamente ligada a valores elevados de Bt y V durante el pasaje de nubes magnéticas provenientes de las eyecciones de masa coronal, es muy geoefectiva en la “actividad de tormenta” determinada por P1F en el Observatorio de Trelew.

Palabras clave: Viento Solar, velocidad, densidad, campo magnético, geoefectividad.

ABSTRACT

The space weather studies since the last 30 years the solar activity by means of space probes. Particularly, the Advanced Composition Explorer (ACE) sonde located in gravitational libration point L1 between the Earth and the sun, at 1.5 million km of the Earth, studies the Solar Wind (VS) from year 1998 to the present time. The activity of the sun, through the coronal mass ejections and the fast solar wind originating in coronal holes, produces geomagnetic storms at Earth surface recorded by the network of Permanent Magnetic Observatories. In this work a study of correlation between parameters of the solar wind that are geoeffective in the geomagnetic “storm activity” and the magnetic activity registered in Trelew Geomagnetic Observatory, during solar cycle 23 (1997-2009) is presented. The total intensity (Btotal) of the interplanetary magnetic field (CMI) dragged by solar wind, the component of CMI Bz South and the Speed (V) of solar wind, registered by sonde ACE, and its relation with the daily index of activity P1F for Trelew, are analyzed. The results shows a very good correlation between these parameters of VS combined as product between them and the activity registered in Trelew determined by means of P1F index. For the product $V \cdot B_{zSouth}$ versus P1F were obtained coefficients of correlation between 0.75 and 0.85, and for the product $V \cdot B_t$ versus P1F, coefficients between 0.85 and 0.90, in accordance to the stage of solar cycle 23. It is concluded that the maintenance of Bz south during long horary intervals at L1 point, wich is directly related to high values of Btotal and V during the passage of magnetic clouds originated in coronal mass ejections, is very geoeffective for “storm activity” determined by means of P1F at Trelew Observatory.

Keywords: Solar wind, velocity, density, magnetic field, Geoeffectiveness.

INTRODUCION

Desde el advenimiento de la era espacial, diversos autores han desarrollado teorías sobre la conexión Sol tierra. En particular su vinculación con procesos climatológicos (Benestad, 2006); Y asimismo se ha generado una nueva disciplina que se denomina Climatología Espacial (Hanslmeier, 2002). Scherer et al. (2005), entre otros, han estudiado en detalle los efectos de fenómenos como eyecciones de masa coronal y regiones corotantes interplanetarias del Viento Solar (VS) que son las fuentes de procesos de tormenta y

subtormenta magnéticas registradas en superficie por la Red de Observatorios Magnéticos Permanentes Digitales. La actividad del VS es determinada por los sensores en la sondas espaciales Advanced Composition Explorer (ACE) y Solar and Heliospheric Observatory (SOHO), entre otras. La sonda ACE se encuentra ubicada en la región del punto de libración gravitacional L1 entre la tierra y el Sol. El efecto del acoplamiento (ó interacción) de la actividad del VS con el Campo Magnético de la Tierra (CMT) es determinado por diversos índices de actividad (Mayaud, 1967, 1980; Rangarajan, 1989), entre otros. Recientemente fueron desarrollados funciones de acople entre índices de actividad magnética planetaria y los parámetros del VS tales como Velocidad (V), densidad de protones (d), y componente sur (Bzsur) e intensidad total (Bt) del Campo magnético Interplanetario (CMI), para estimar el efecto del acoplamiento entre el VS y el CMT (Wu and Lepping, 2002), (Svalgaard and Cliver, 2007) La actividad del CMT registrada en Trelew (Lat: 43° 16.1' S; Long.: 65° 22.9' W) ha sido determinada por la utilización del índice P1F (Gianibelli y Quaglino 2009) que permite una evaluación en nT de la misma en forma diaria y en tiempo local. Este índice también puede ser utilizado para cualquier otro intervalo de registro para estimar la actividad magnética. El objetivo de este estudio es analizar durante el Ciclo Solar 23 (1998-2009) las funciones de acople entre el VS y el índice P1F en Trelew.

ANÁLISIS DE LOS DATOS Y RESULTADOS.

Se procesaron los parámetros del VS para el intervalo de estudio 1998-2009 (Ciclo solar 23) caracterizados por V, y las componentes del CMI Bz sur e intensidad total Bt obtenidas de la base de datos de la sonda ACE (URL: http://www.srl.caltech.edu/ACE/ASC/level2/lv12DATA_MAG-SWEPAM.html) Se calcularon los productos entre velocidad y módulo de Bzsur ($V \cdot \text{modBzsur}$) y entre velocidad e intensidad total del CMI ($V \cdot Bt$) promediados diariamente en tiempo local de Trelew y el índice P1F. Otro parámetro de importancia para el análisis de estos productos de acople es el número de rotación de Bartels caracterizado por aquel intervalo promedio de rotación solar de 27 días que se inicia el 8 de Febrero de 1832. Los valores diarios se promediaron luego según el número de rotación de Bartels. La figura 1 muestra la evolución temporal de los productos de los parámetros del VS y del índice P1F.

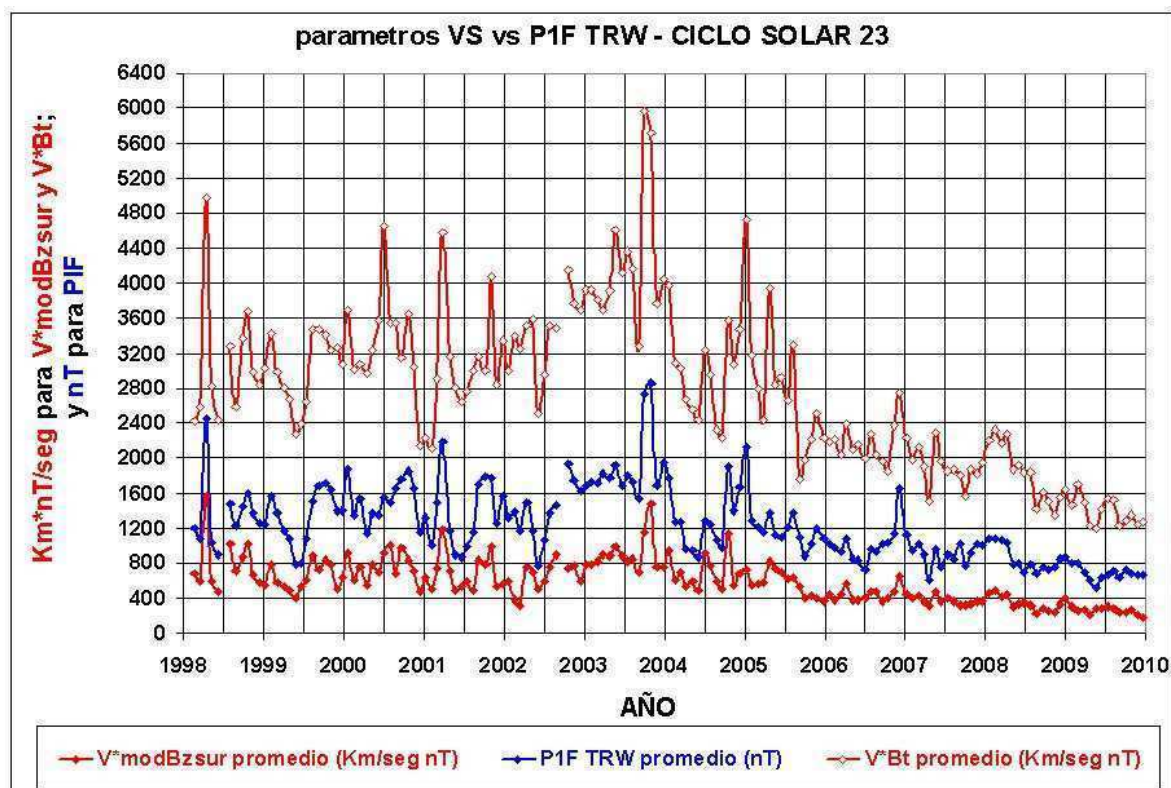


Figura 1: Evolución temporal de los productos $V \cdot \text{modBzsur}$ y $V \cdot Bt$, en (Km*nT/seg) y P1F en (nT)

La respuesta de P1F a los cambios de los productos de los parámetros del VS es muy adecuada en la estimación de la actividad en superficie en TRW. Haciendo un análisis con los valores diarios, las relaciones

lineales que se obtienen de relacionar $V \cdot \text{modBz}_{\text{sur}}$ con P1F y $V \cdot \text{Bt}$ con P1F constituyen las funciones de acople que se muestran en las figuras 2 y 3 junto con sus expresiones analíticas.

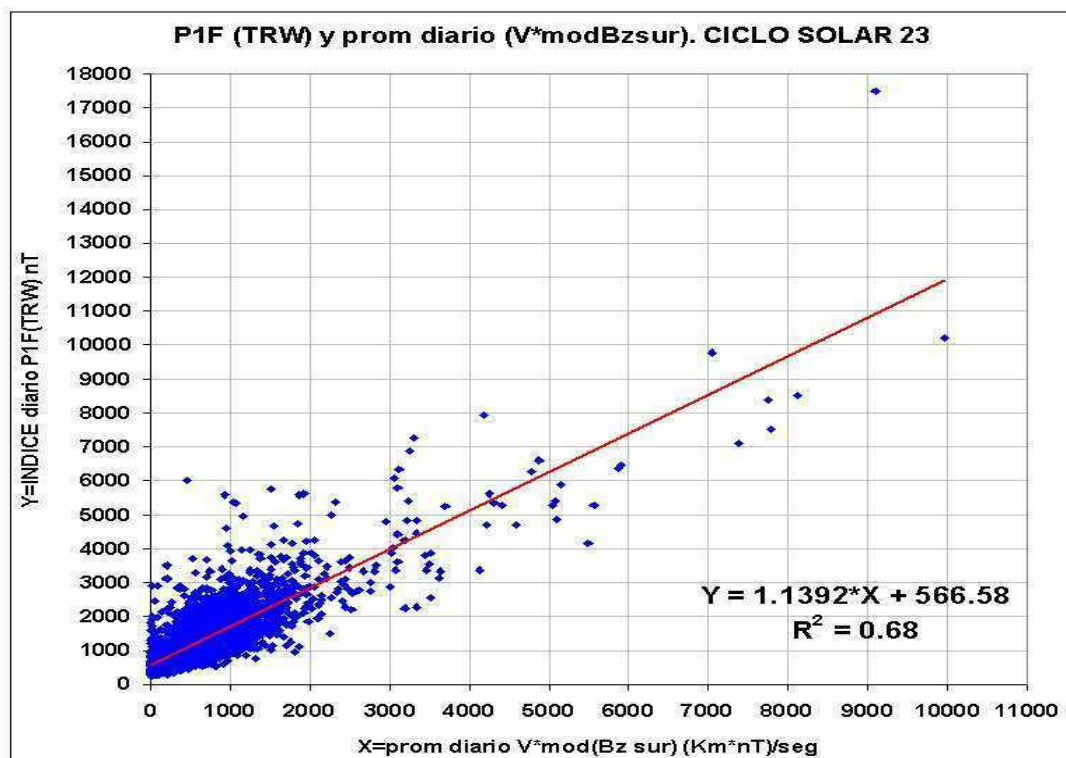


Figura 2: producto $V \cdot \text{modBz}_{\text{sur}}$ con P1F y su expresión analítica.

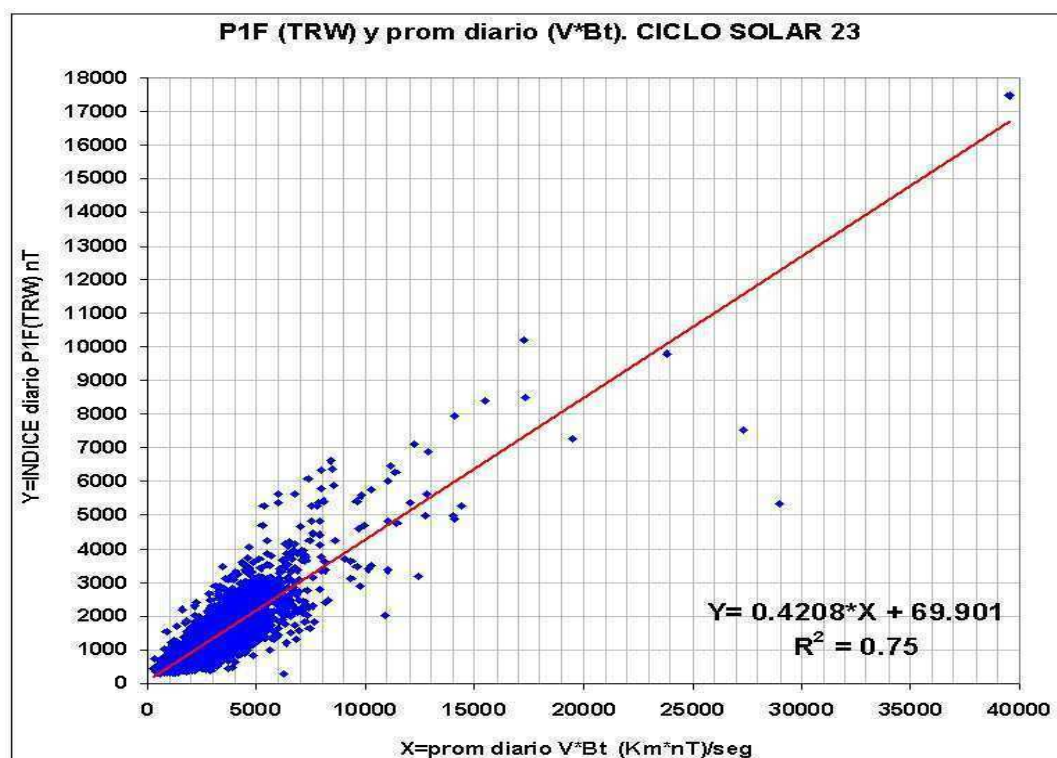


Figura 3: producto $V \cdot \text{Bt}$ con P1F y su expresión analítica.

Para analizar los productos en los intervalos de máxima actividad (2000-2004) y mínima actividad (2006-2010) se promediaron los productos diarios y el índice P1F diario según el número de rotación de Bartels, resultando las funciones de acople para alta y baja actividad del ciclo solar 23 que se muestran en las figuras 4 y 5, junto con sus coeficientes de variabilidad.

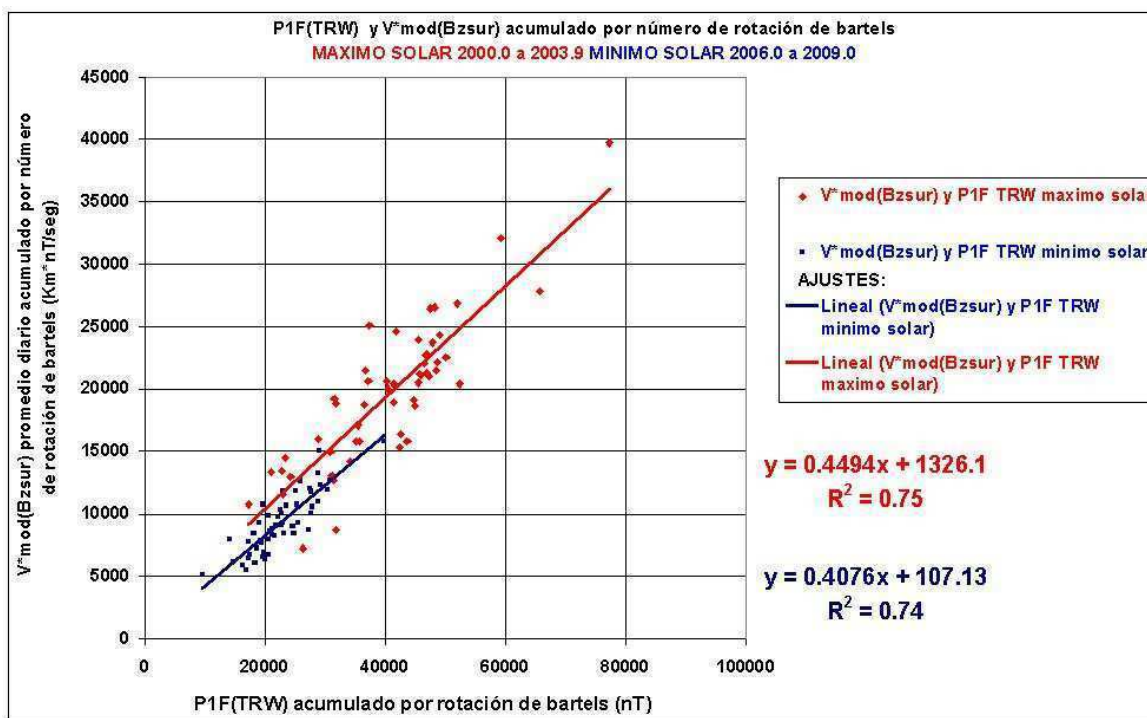


Figura 4: $V^{\text{mod}}\text{Bzsur}$ y P1F para alta y baja actividad solar del ciclo solar 23.

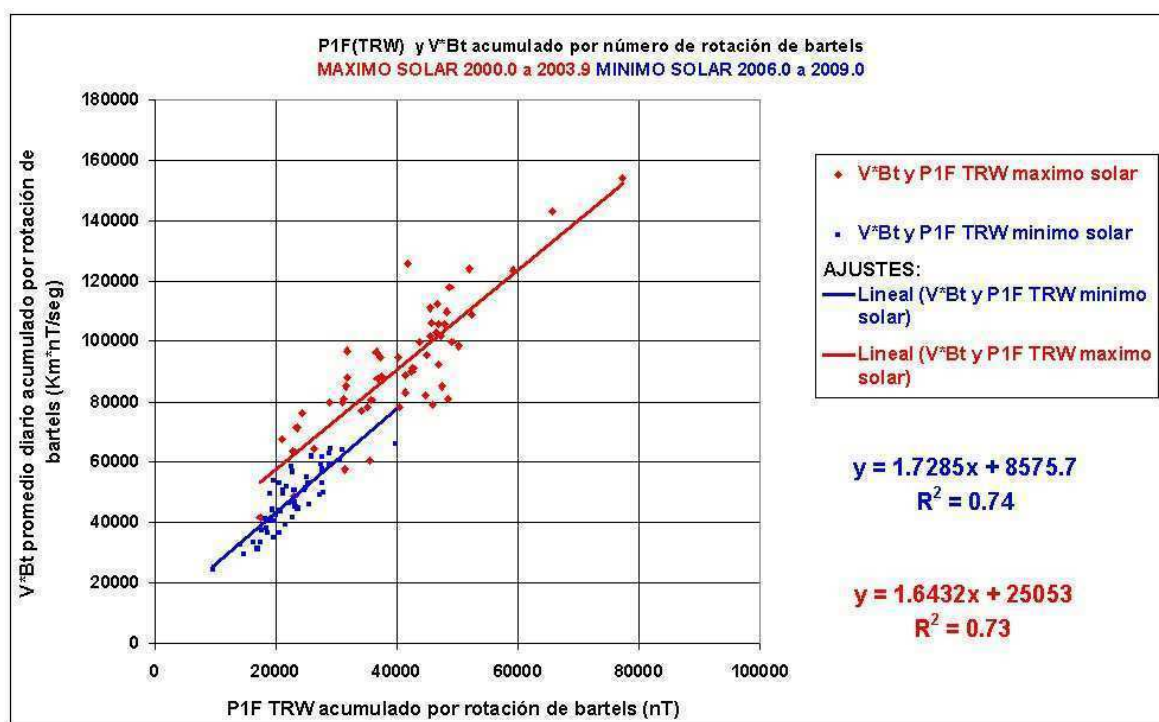


Figura 5: V^{Bt} y P1F para alta y baja actividad solar del ciclo solar 23.

Como resultado importante de este estudio cabe destacar la geoeffectividad de los productos y en particular el índice para el estudio de la actividad magnética registrada en Trelew que facilita una vinculación de los registros digitales en un observatorio en particular con la variabilidad de los parámetros solares. El coeficiente de correlación obtenido es muy bueno y la estimación por medio del índice P1F en TRW es una herramienta fácil de determinar en observatorios de registro digital, no solo para periodos diarios, sino también para intervalos de mayor extensión, tal como el intervalo de rotación solar de 27 días.

CONCLUSION

De los resultados mostrados en las figuras 4 y 5 se desprende la conclusión importante que independientemente del estadio del ciclo solar, alta o baja actividad, la variabilidad de los parámetros V, modBzsur y Bt del VS producen perturbaciones en el CMT registrado en TRW. El sostenimiento de la componente Bz sur durante largos periodos horarios en el punto L1, que está directamente ligada a valores elevados de Bt y V durante al pasaje de nubes magnéticas provenientes de las eyecciones de masa coronal, es muy geoefectiva en la “actividad de tormenta” determinada por P1F en el Observatorio de Trelew. Esta situación es propia para cada observatorio con respuestas particulares que serán objeto de estudios posteriores a medida que la recolección de datos digitales se incremente con el ciclo solar 24. Este ciclo solar 24 que recién se inicia permitirá un testeo en detalle de la geoefectividad de los productos sobre el índice P1F calculado para otros observatorios.

BIBLIOGRAFIA

- Benestad R. E. 2006. Solar Activity and Earth's Climate. (2nd Edition) Springer, Berlin. Pp. 1-316.
- Gianibelli J. C. y N. Quaglino. 2009. La actividad del Campo Magnético Terrestre y la determinación de los días calmos. Actas XXIV Reunión Científica de la AAGG. Geomagnetismo. 1a ed. - Buenos Aires: Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas, 2009. ISBN 978-987-25291-1-6. Ciencias de la Tierra. I. Pag. 261, 267, 2009
- Hanslmeier A. 2002. The Sun and Space Weather. Kluwer Asoc. Press. Dordrech. Pp. 1-243.
- Mayaud P. N. 1967. Atlas of Indices K. 1 Text. 2 Figures. IAGA Bulletin N° 21. Pp: 1-113
- Mayaud P. N. 1980. Derivation, Meaning, and use of Geomagnetic Indices. AGU Monography 22. Pp. 1-154.
- Rangarajan G. R. 1989. Indices of Geomagnetic Activity. Geomagnetism Vol 3. Ed. by J. A. Jacobs. Academic press. Pp.: 323-384.
- Scherer K., Fichtner H., Heker B., and V. Mall. 2005. Space Weather (The Physics Behind a Slogan). Lectures Notes in Physics 656. Springer, Berlin. Pp. 1-297.
- Svalgaard L. and E. W. Cliver .2007. Interhourly variability index of geomagnetic activity and its use in deriving the long-term variation of solar wind speed. Journal of Geophysical Research , Vol. 112, pp A10111.
- Wu, Chin-Chun and R. P. Lepping. 2002. Effects of magnetic clouds on the occurrence of geomagnetic storms: The first 4 years of Wind. Journal of Geophysical Research, Vol. 107, N. A10, pp1314.

EL ROL DE LOS OBSERVATORIOS DIGITALES EN EL ANALISIS DE TORMENTAS MAGNETICAS.

Julio César Gianibelli (1), Ricardo Ezequiel García (2), Guillermo Rodríguez (2), Nicolás Quaglini (1), Emilio Pincirolli (1) y Sebastián Pelliciuoli (1)

(1)Departamento de Geomagnetismo y Aeronomía, Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas. Univesidad Nacional de La Plata . Paseo del Bosque S/N, 1900, La Plata, Argentina. TE:

(0221)4236593/4 ext 132. Email: geofisicogianibelli@yahoo.com.ar

(2)Departamento de Electrónica, Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas. Univesidad Nacional de La Plata . Paseo del Bosque S/N, 1900, La Plata, Argentina. TE: (0221)4236593/4 ext 133. Email: regarcia@fcaglp.unlp.edu.ar

RESUMEN

Las tormentas magnéticas son uno de los efectos producto de la interacción Sol-Tierra que históricamente se registran en la superficie terrestre. Los magnetogramas de registro analógico han sido y son en la actualidad de suma utilidad en los estudios estadísticos y de modelado analítico. En este trabajo se presenta un análisis comparativo de registros digitales completos de tormentas magnéticas, correspondientes a los observatorios de San Juan de Puerto Rico (SJG, Lat: 18° 6' 36'' N; Long: 66° 9' O), Kourou (KOU, Lat: 5° 12' 36'' N; Long: 52° 43' 52'' O), Vassouras (VSS, Lat: 22° 24' S; Long: 43° 39' O), Las Acacias (LAS, Lat: 35° 00.5' S; Long: 57° 41.65' O), Trelew (TRW, Lat: 43° 16.1' S; Long: 65° 22.9' O), Port Stanley (PST, Lat: 51° 42' S; Long: 57° 54' O) e Islas Argentinas (AIA, Lat: 65° 15' S; Long: 64° 16' 12'' O). La variable en comparación es la intensidad total F de campo magnético de La Tierra. Se aplica un análisis de los registros y se correlacionan con los parámetros solares de densidad, velocidad, del viento solar, intensidad total del campo magnético interplanetario (CMI) y componente z del CMI, obtenidos por la sonda ACE. Los resultados comparativos de los registros entre los observatorios muestran que sistemas de registro de F con gran autonomía de operación como el instalado en LAS son efectivos para el estudio de tormentas a lo largo de todas sus fases, y de los días calmos. De acuerdo a estos resultados es posible planificar la instalación de sistemas digitales de registro de la intensidad total F automáticos de gran autonomía en la República Argentina.

Palabras clave: Tormentas geomagnéticas, Observatorios, Geomagnetismo, Actividad Solar, Redes.

ABSTRACT

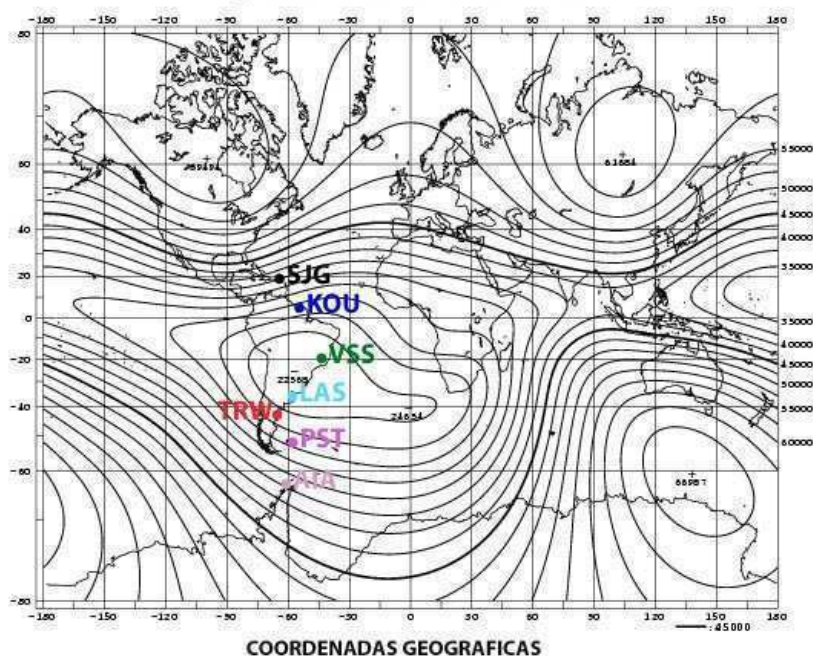
The magnetic storms are one of the effects produced by Sun-Earth interaction historically registered in the terrestrial surface. Analogical registry magnetograms has been and are at present time of extreme utility in the statistical and analytical modelling studies. In this work a comparative analysis of complete magnetic storm digital records, corresponding to the observatories of San Juan of Puerto Rico (SJG, Lat: 18° 6' 36'' N; Long: 66° 9' O), Kourou (KOU, Lat: 5° 12' 36'' N; Long: 52° 43' 52'' O), Vassouras (VSS, Lat: 22° 24' S; Long: 43° 39' O), Las Acacias (LAS, Lat: 35° 00.5' S; Long: 57° 41.65' O), Trelew (TRW, Lat: 43° 16.1' S; Long: 65° 22.9' O), Port Stanley (PST, Lat: 51° 42' S; Long: 57° 54' O) and Argentine Islands (AIA, Lat: 65° 15' S; Long: 64° 16' 12'' O) are presented. The comparison variable is total intensity F of magnetic field of the Earth. An analysis of the registries is applied and following they are correlated with the solar parameters density, speed, total magnetic intensity and component z of the interplanetary magnetic field of solar wind recorded by the Advanced Composition Explorer (ACE) sonde. The comparative results of the records between the observatories shows that systems of F recording with great operation autonomy, as the system installed at Las Acacias Observatory, are effective for the storm study throughout all phases, and for the quiet days too. According to these results it is possible to plan the installation of automatic digital total intensity F recorders with great operation autonomy in the Argentine Republic.

Keywords: Geomagnetic storms, Observatories, Geomagnetism, Solar activity, networks.

INTRODUCCION

Las Tormentas Magnéticas (TM) son el efecto de la interacción de las perturbaciones solares transmitidas a través del espacio interplanetario por el viento solar (VS) que interactúan con el Campo Magnético Terrestre (CMT). Diversos procesos del Sol, en diferentes escalas de tiempo, son los responsables de la actividad del VS. Su modulación y la transferencia a la cavidad Magnetosférica de la Tierra de procesos electrodinámicos, se traducen en variaciones del CMT que se registran en la red de Observatorios Magnéticos Permanentes (OMP). El advenimiento de la era espacial permitió una mejor comprensión y validación de las teorías propuestas, con las mediciones in situ de los parámetros del VS y de las propiedades que se encuentran en el

interior de la Magnetósfera y regiones adyacentes. Meyer-Vernet (2007) y Schindler (2007) realizan un actualizado análisis del viento solar y de la actividad del plasma espacial mientras que Aschwanden (2006) presenta un estudio en detalle de la Corona Solar y Wimmer-Schweingruber (2005) vincula las perturbaciones interplanetarias con la Climatología Espacial. Gianibelli et. al. (2006) desarrolla los efectos de las ondas de choque en los registros digitales de Trelew donde se presenta un diagrama conceptual que actúan sobre la cavidad magnetosférica donde se incluye el concepto de un CMT de intensidad decreciente. El objetivo de este trabajo es desarrollar un análisis comparativo de las TM a partir de los registros de la intensidad total F del CMT obtenidos de los OMP de San Juan de Puerto Rico (SJG, Lat: 18° 6' 36'' N; Long: 66° 9' O), Kourou (KOU, Lat: 5° 12' 36'' N; Long: 52° 43' 52'' O), Vassouras (VSS, Lat: 22° 24' S; Long: 43° 39' O), Las Acacias (LAS, Lat: 35° 00.5' S; Long: 57° 41.65' O), Trelew (TRW, Lat: 43° 16.1' S; Long: 65° 22.9' O), Port Stanley (PST, Lat: 51° 42' S; Long: 57° 54' O) e Islas Argentinas (AIA, Lat: 65° 15' S; Long: 64° 16' 12'' O) con los fenómenos producidos en el Sol y las determinaciones obtenidas de los parámetros solares por la sonda ACE de dos TM registradas el 21 de Enero de 2005 y el 19 de Noviembre de 2007. La ubicación geográfica de los OMP se muestra en la Figura 1 y representa un perfil que corta la Anomalía Magnética del Atlántico Sur (AMAS).



ANÁLISIS DE LOS DATOS Y RESULTADOS.

y con diferencia de fase por el efecto del electrochorro auroral sur. El resto de los registros de los OMP muestran el efecto de la Corriente Anillo. La Figura 2 muestra estos fenómenos. La figura 3 es un extracto de las fuentes en el sol que generaron la perturbación en el viento solar y en las figuras 4 y 5 las perturbaciones registradas en la velocidad del viento solar su densidad y los valores de la intensidad total y componente z del CMI.

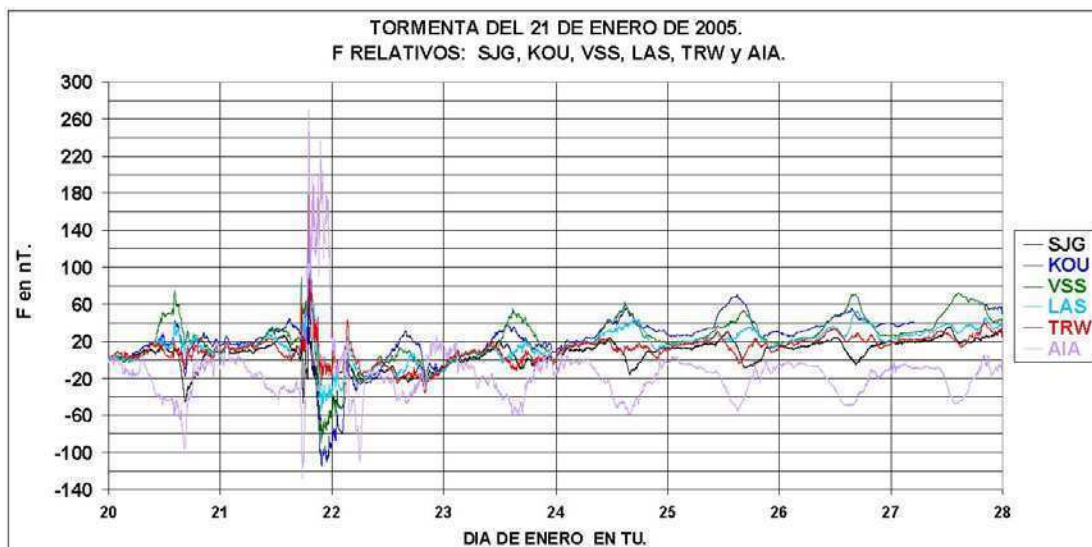


Figura 2: TM del 21 de Enero de 2005 para los distintos OMP, originada por una EMC.

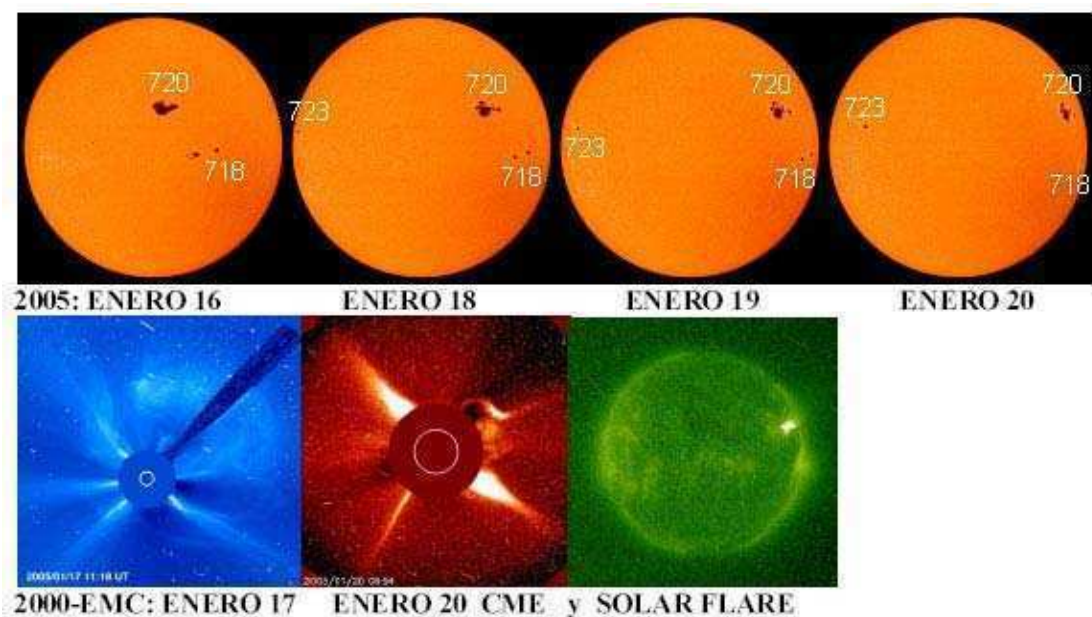


Figura 3. Fuentes en el sol. Evolución de la mancha 720 que es responsable de dos Eyecciones de Masa Coronal (EMC) y una fulguración solar intensa de rayos X.

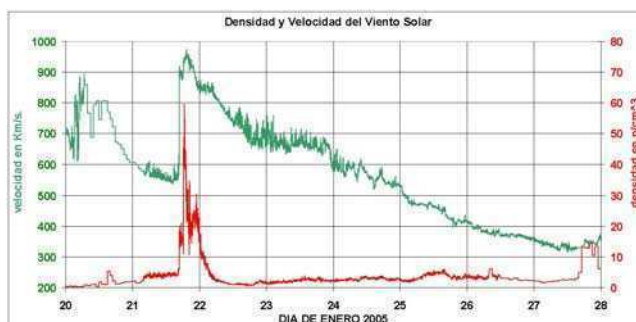


Figura 4: Efectos de la EMC: un efecto impulsivo en la velocidad y densidad del VS.

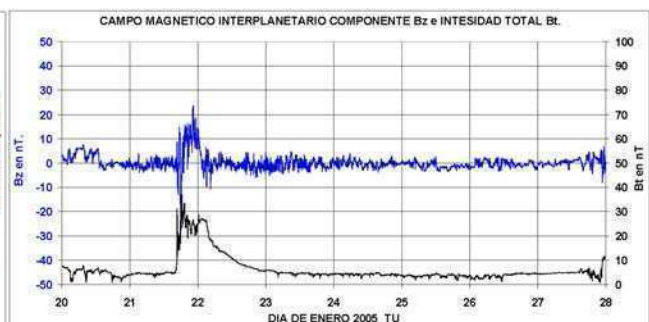


Figura 5: Cambios en Bt y componente z del CMI, Bz negativo permite la reconexión CMI con CMT.

El CMI, con sus elementos Bt y la componente Bz, es arrastrado por la nube de partículas provenientes de la EMC. La otra TM seleccionada es la del 19 de Noviembre de 2007, donde su fuente es un hoyo coronal donde se genera los chorros de VS rápido de una Región Corrotante Interplanetaria (CIR, por Corrotating Interplanetary Region) y que puede retornar con el período de rotación solar de 27 días. La figura 6, 7, 8 y 9 muestran esta conexión. El VS, luego que pasó la EMC y el VS rápido de la CIR, retorna a sus valores estacionarios pero siempre sigue arrastrando un CMI con sus elementos Bt y Bz, el último de los cuales tiene cambios entre valores positivos y negativos. Las figuras 2 y 6 muestran que en los días posteriores a la fase de recuperación de las TM sigue habiendo ingreso de partículas.

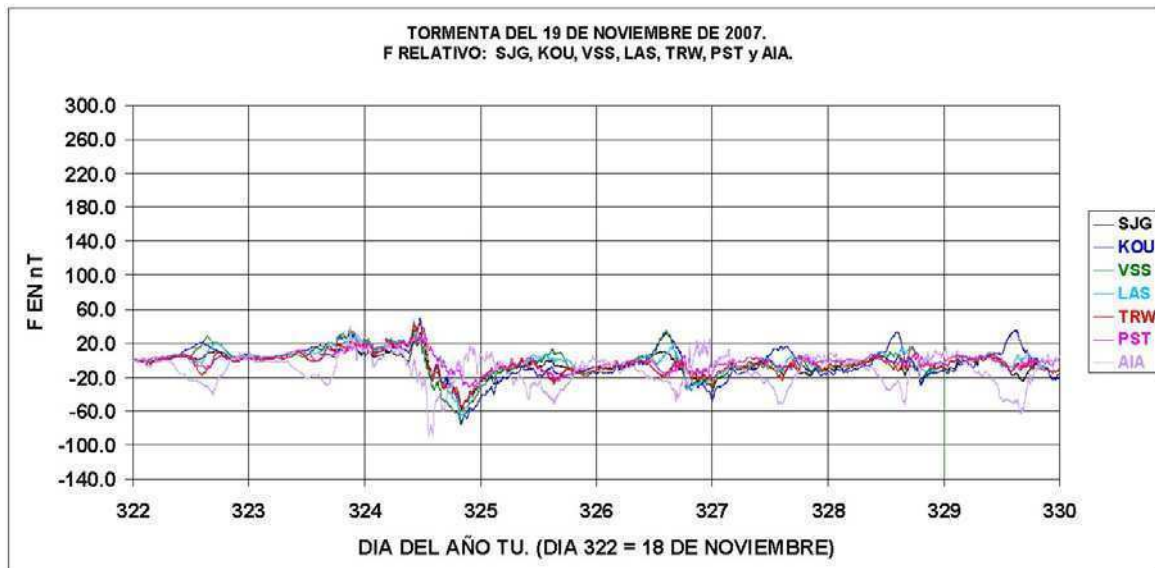


Figura 6: TM del 19 noviembre 2007 correspondiente a un VS rápido producido en un hoyo coronal

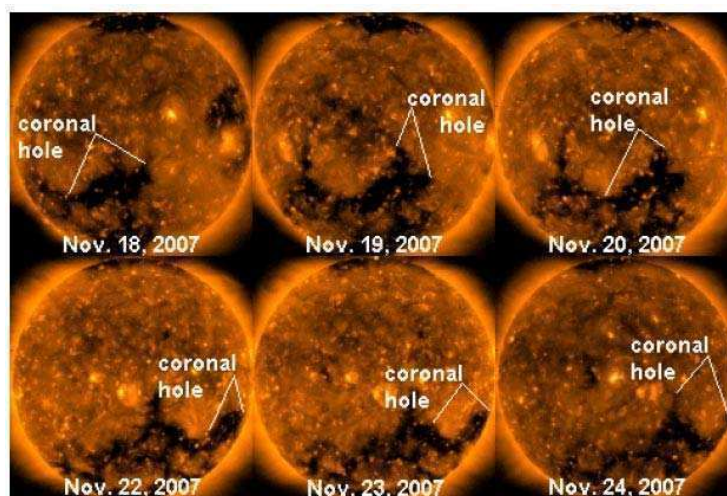


Figura 7: Hoyo coronal que genero un VS rápido originado en una Región Corrotante Interplanetaria (CIR).



Figura 8: Efectos de la CIR con cambios suaves de la velocidad y densidad del VS.



Figura 9: Cambios en Bt y componente Bz del CMI, Bz negativo permite la reconexión CMI con CMT.

Estas dos tormentas están en la fase decreciente del ciclo solar 23 con eventos importantes de EMC en el 2005 y años anteriores y el 2007 prácticamente en la finalización de dicho ciclo con menor actividad. Es de hacer notar que la amplitud de la TM es notablemente menor en la tormenta del 19 de Noviembre de 2007, ya que la velocidad y densidad del VS muestran una perturbación no impulsiva. El CMI con sus elementos Bt y Bz tiene características cambiantes pero evidenciando la presencia de una onda de choque menos intensa y luego acompañando la evolución de la velocidad y densidad del VS. La expresión en el CMT registrado en los OMP es una TM de similar estructura a la del 25 de Enero de 2005, con fuentes solares diferentes, con perturbaciones del VS de diferente desarrollo y parámetros solares de evolución y estructura temporal disímiles.

CONCLUSIONES

La respuesta de los sistemas digitales de los OMP de la red Intermagnet es similar al de LAS. El sistema de LAS es solo de registro digital de la intensidad total absoluta F del CMT cada 1 min. y su resultado para el estudio de las TM es de muy buena calidad. El diseño de OMP con características similares al de LAS en la región de la AMAS permitirá un estudio con mas detalle de los eventos de TM en la región, pero también de variaciones de período diario, y largos períodos tales como los de modulación solar y los correspondientes a la variación secular. El análisis en conjunto de la actividad desarrollada por las TM registradas en los OMP, con la identificación de las fuentes en el Sol por medio de sonda SOHO y su transmisión en el VS detectado por la sonda ACE, mostrando la evolución de sus parámetros característicos, permite comprender y evaluar sus efectos en los distintos OMP.

REFERENCIAS

- Aschwanden M. 2006. Physics of the Solar corona. Reprinted with correction. Springer, Berlin. Pp. 1-892.
- Gianibelli, J. C., Quaglino N., Mac William M. 2006. Efectos de las Ondas de Choque en los Registros Digitales de Trelew. Geoacta. Vol 31. Pp 91-100.
- Kallenrode M. B. 2004. Space Physics 3 rd ED. Springer-Berlin pp. 1-484.
- Meyer-Vernet N. (2007). Basics of the Solar Wind. Cambridge Pp 1- 463
- Pröls G. W. 2004. Physics of the Earth's Space. Environment Springer-Berlin pp. 1-533
- Schindler K. (2007). Physics of Space Plasma Activity. Cambridge. Pp 1- 508.
- Wimmer-Schweingruber R. F. 2005. Interplanetary Disturbances in Space Weather. Ed. By K. Scherer, H. Fichtner, B. Heber and C. Mall, Lectures Notes in Physics. Springer Berlin. Vol. 656. pp. 71-129.

ANALISIS DE LAS VARIACIONES DIURNAS REGISTRADAS EN ESTACIONES BASE DE RELEVAMIENTOS MAGNETICOS

Julio César Gianibelli (1), Nicolás Quaglini (1), Daniel Vargas (2) y Gustavo Ramé (2)

(1)Departamento de Geomagnetismo y Aeronomía, Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas.

Univesidad Nacional de La Plata . Paseo del Bosque S/N, 1900, La Plata, Argentina. TE:

(0221)4236593/4 ext 132. Email: geofisicogianibelli@yahoo.com.ar

(2) SEGEMAR. Email: g_rame2000@yahoo.com.ar

RESUMEN

El geomagnetismo se nutre para el conocimiento de las variaciones espacio temporales del campo magnético de la Tierra de diferentes tipos de sistemas observacionales. El mas importante y referente es el sistema permanente de Observatorios Magnéticos, continuando con las estaciones de repetición, los relevamientos (superficiales, marinos, aéreos y satelitales) y finalizando con los registros de las estaciones base de los relevamientos. Estas estaciones registran las variaciones del campo magnético de la tierra en forma relativa y/o absoluta, dependiendo del sistema sensor que se disponga. Las variaciones relativas se registran, por ejemplo, con sistemas sensores fluxgate, mientras que la variaciones absolutas se registran mediante sistemas de precesión protónica, que son los mas usados. La calibración de los instrumentos se realiza en observatorios magnéticos permanentes. En el presente trabajo se estudian las variaciones del campo magnético registrado en diferentes puntos del país: en la Provincia de Buenos Aires, Chascomús y Guaminí; en la Provincia de Córdoba, Agua del Oro y General Paz; en la Provincia de Entre Rios, Villaguay y Victoria. Estos relevamientos fueron hechos por un magnetómetro absoluto de precesión protónica que registra la intensidad total F en nT, perteneciente al SEGEMAR . Se compara su registro digital con los del observatorio permanente de Las Acacias perteneciente a la UNLP. Los resultados muestran diferentes tipos de interferencia producto de la posición del instrumental al recolocarse diariamente. Asimismo para el estudio de Chascomús se obtiene resultados excelentes en la variación diurna como en los valores absolutos, acorde con los distintos ambientes tectónicos donde funcionan los equipos. Se comparan los datos con el modelo de Campo Geomagnético Internacional de Referencia IGRF-11. Se concluye que los registros de las estaciones base conforman un subsistema altamente útil para el conocimiento de la evolución de la intensidad del campo magnético de la Tierra, de forma aleatoria en la escala temporal.

Palabras clave: Variación Diurna, Relevamientos, Estación base, Magnetómetros, Observatorios.

ABSTRACT

Geomagnetism nourishes of different types of observation systems to the knowledge of the temporal and space variations of Earth magnetic field. The most important and referring one is the permanent net of Magnetic Observatories, continuing with the repeat stations, the surveys (land, off-shore, aerial and satelital) and finalizing with the records of the survey base stations. These stations records the variations of the Earth magnetic field in relative and/or absolute form, depending on the available sensorial system. Relative variations are recorded, for example, with fluxgate sensor system, whereas absolute variations are recorded by means of proton precession magnetometers, wich are most used. The calibration of the instruments is performed at permanent magnetic observatories. In the present work the variations of the registered magnetic field in the following points from Argentine are studied: in Buenos Aires Province, Chascomús and Guaminí locations; in Cordoba Province, Agua del Oro and General Paz locations; in Entre Ríos Province, Villaguay and Victoria locations. These surveys were made by an absolute proton precession magnetometer that record total intensity F en nT, pertaining to the SEGEMAR. Its digital records are compared with those corresponding to Las Acacias permanent observatory, pertaining to the UNLP. The results shows different types of interference produced by the position of instruments when were relocating daily. Also for the study of Chascomús one obtains excellent results in the diurnal variation as well as in the absolute values, in agreement with the different tectonic characteristics where the equipment works. The data are compared to the International Geomagnetic Reference Field (IGRF-11) model. One concludes that the digital records of the base stations highly conforms a useful subsystem for the knowledge of the evolution of the magnetic field strenght of the Earth, in a random manner in the temporary scale.

Keywords: Diurnal variation, Surveys, Base station, Magnetometers, Observatories.

INTRODUCCION.

Los relevamientos magnéticos de mar, tierra y aire necesitan para sus correcciones Estaciones Base (EB) u Observatorio Magnéticos Permanentes (OMP) donde se disponga de un registro temporal de las variaciones

del Campo Magnético Terrestre (CMT) para efectuar las denominadas correcciones por variación diurna (VD). Diversas metodologías se usan para la determinación de la VD relativa a algún nivel de referencia. Este nivel puede ser el promedio de los registros nocturnos en tiempo local o el promedio del intervalo de registro de la variación. Comúnmente se registra el valor absoluto de la intensidad total del CMT denominada como F, pero también pueden ser el resto de los elementos magnéticos (Parkinson 1983, Kaufman et al. 2009). La información provista por las estaciones base son de suma utilidad para determinar, durante los intervalos de registro, la variabilidad del CMT y estimar su nivel de perturbación respecto del nivel de referencia. Por otra parte el registro de la VD absoluto también provee información, para el caso de F, de su valor absoluto promedio para ser comparado con el modelo IGRF-11 que representa el campo geomagnético generado en el núcleo externo de la tierra por efecto dinamo. (Glaßmeier et. al. 2008). En este estudio se presenta el análisis de las variaciones diurnas relativas (VDR) respecto al promedio del intervalo de registro, registradas por el Departamento de Geofísica de la Secretaría de Geología y Minería dependiente de la Presidencia de la Republica Argentina en los relevamientos desarrollados en las Provincias de Buenos Aires en Chascomús (Lat.: -35.62211, Long.: -57.99442) desde el 28 marzo hasta el 6 de abril de 2008; Guaminí (Lat.: -36.504100; Long.: -62.211380) desde el 18 al 27 noviembre de 2008; en la provincia de Córdoba, en General Paz (Lat.: -31.149720; Long.: -64.123970) desde el 24 al 31 de mayo de 2008, en Agua del Oro (Lat.: -30.778450; Long.: -64.542950) desde el 1 al 3 de junio de 2008; en la Provincia de Entre Ríos en Villaguay (Lat.: -31.858130; Long.: -59.073350) desde 11 al 17 de mayo de 2009, y en Victoria (Lat.: -32.615140; Long.: -60.141020) desde el 8 al 10 de mayo de 2009, con el objetivo de comparar las VDR determinadas en forma similar a las registradas en el OMP de Las Acacias (LAS. Lat.:35°,00 S; Long:57°,69 O) La variable medida fue F, utilizándose Magnetómetros de Precesión Protónica (PPM). Estos relevamientos están realizados durante el mínimo del ciclo solar 23 al 24. La Figura 1 muestra la ubicación de los lugares donde fueron instaladas las EB respecto del OMP de LAS.



Figura 1: Ubicación de las EB y del OMP de LAS.

ANÁLISIS DE LOS DATOS Y RESULTADOS.

Se determinaron niveles de referencia (NR) consistentes en el promedio de cada intervalo diario de observación para todas la EB y en los mismos intervalos en el OMP de LAS. Se calculó la VDR sustrayendo a los valores registrados NR. El siguiente conjunto de Figuras 2 a 7 muestra la VDR de las EB y del OMP de LAS.



Figura 2



Figura 3



Figura 4

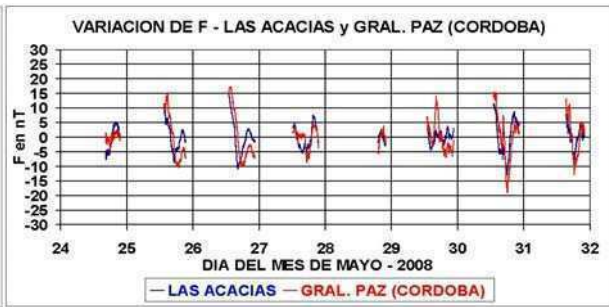


Figura 5



Figura 6



Figura 7

Puede observarse que en las VDR de las EB de Córdoba y Entre Ríos, existen diferencias en la variabilidad respecto de LAS. Su origen puede ser meteorológico (Movimiento del cabezal por acción de ráfagas de viento), pero también por factores de inducción de los sistemas de corrientes ionosféricas y magnetosféricas. Su amplitud se encuentra enmarcada dentro de los 45 nT como valor máximo para Chascomús y Guaminí. Una medición de esta variabilidad es por medio de la determinación del índice de actividad P1F (Gianibelli y Quaglini 2009) para cada uno de los intervalos de registro diario de cada EB y LAS, el cual es un parámetro para evaluar comparativamente las perturbaciones. Las Figuras 8 a 19 muestran los resultados del índice P1F y su relación lineal, con su respectivo coeficiente de correlación. Los registros de Agua de Oro muestran variaciones de patrones diferentes a LAS, y Agua de Oro y General Paz tienen en cambio amplitudes mayores que LAS. El resto de las EB siguen el patrón de variación de LAS con amplitudes semejantes. Solamente las características de la VDR para un día completo en TU, tiene para el día 16 de Mayo de 2009 en la EB de Villaguay observándose interesantes cambios en su desarrollo.

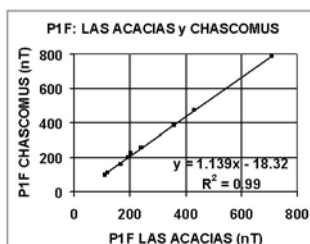


Figura 8



Figura 9

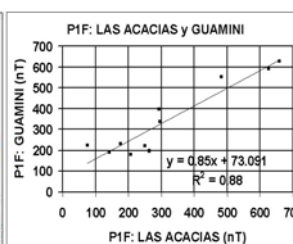


Figura 10



Figura 11

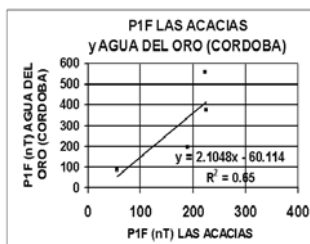


Figura 12



Figura 13

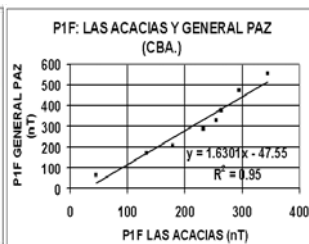


Figura 14



Figura 15



Figura 16



Figura 17

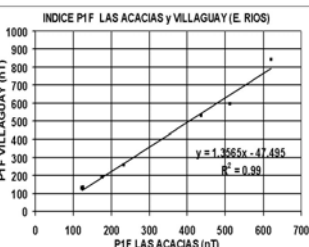


Figura 18



Figura 19

Otro de los cálculos realizados es la evaluación del IGRF para los lugares de colocación de las EB que se muestra en la TABLA 1. Se observa que las EB de Guaminí y La Paz presentan anomalías del orden de +330nT y -961nT respectivamente, posiblemente debido a efectos tectónicos o de formaciones geológicas con alto contenido de elementos magnéticos.

FECHA	EB	F PROM.	IGRF-11	ANOMALIA
ABR 02 - 08	CHASCOMUS	23305.9	23374.6	-68.7
NOV 22 - 08	GUAMINI	24128.0	23788.9	339.1
MAY 27 - 08	LA PAZ	23186.1	24147.2	-961.1
JUN 02 - 08	AGUA DE ORO	23167.8	23188.6	-20.8
MAY 09 - 09	VICTORIA	23030.0	23019.7	10.3
MAY 13 - 09	VILLAGUAY	22860.9	22890.9	-30.0

TABLA 1 Valores Promedio de F determinados en cada EB y valor de F con el IGRF-11

La figura 20 muestra la variación diurna representada por un análisis armónico realizado a las VDR de LAS y Villaguay (E. Ríos) para el día 16 de Mayo de 2009 en TU. Los resultados se presentan en la tabla 2. Es de destacar los pequeños valores de los errores en la amplitud y fase.

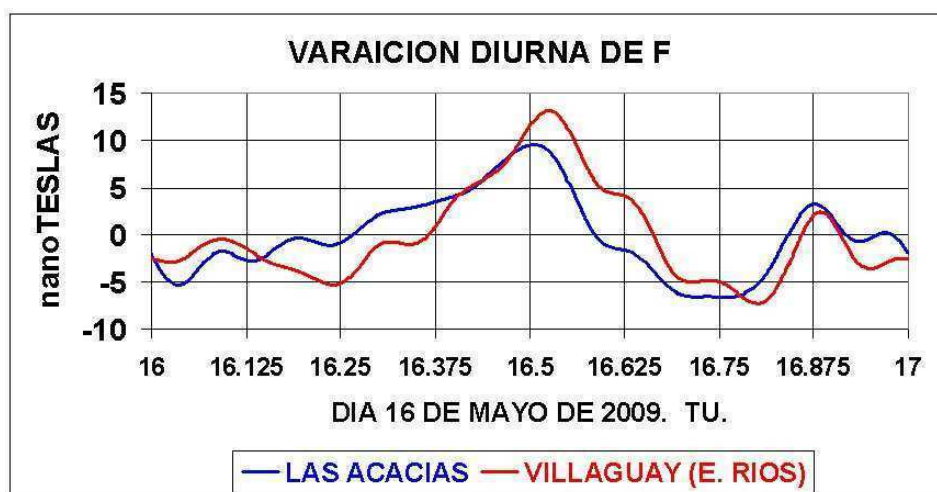


Figura 20. Síntesis del Análisis Armónico hasta el orden 12.

De la Figura 20 se desprende que la VDR de Villaguay posee una amplitud mayor y cambio de fase la cual podría ser un indicativo de efectos de inducción, aun que para un estudio pormenorizado debe realizarse con

el registro de las componentes X e Y. El error medio cuadrático RMS del ajuste por análisis armónico de hasta orden 12 fue menor que 1nT en ambas series temporales.

LAS ACACIAS

ARMONICA	PERIODO	AMPLITUD	ERROR	FASE	ERROR
NUMERO	MIN	nT	nT	radianes	radianes
1	1440	3.77	0.04	5.26	0.01
2	720	3.73	0.04	2.20	0.01
3	480	2.34	0.04	4.04	0.00
4	360	0.29	0.04	4.12	0.03
5	288	1.00	0.03	4.69	0.03
6	240	0.68	0.04	1.20	0.03
7	206	0.15	0.04	3.39	0.15
8	180	0.40	0.04	2.12	0.11
9	160	0.85	0.04	2.96	0.04
10	144	0.31	0.04	2.88	0.12
11	131	0.22	0.04	2.09	0.19
12	120	0.10	0.04	3.62	0.13

VILLAGUAY

ARMONICA	PERIODO	AMPLITUD	ERROR	FASE	ERROR
NUMERO	MIN	nT	nT	radianes	radianes
1	1440	4.70	0.03	4.71	0.01
2	720	4.67	0.03	1.46	0.01
3	480	1.92	0.04	4.10	0.00
4	360	0.90	0.04	5.25	0.05
5	288	1.19	0.03	4.71	0.03
6	240	0.51	0.03	0.01	0.06
7	206	0.31	0.04	0.37	0.06
8	180	0.78	0.04	0.78	0.00
9	160	1.01	0.04	2.79	0.04
10	144	0.12	0.03	1.66	0.28
11	131	0.09	0.04	2.07	0.47
12	120	0.17	0.04	3.53	0.10

Tabla 2: resultado del análisis armónico para el día 16 mayo 2009 Las Acacias y Villaguay.

CONCLUSION

La evaluación realizada sobre los registros de las EB y su comparación con los registros de un OMP tal como LAS, muestra que la metodología desarrollada es innovadora para la determinación de la variabilidad de los registros. El índice P1F es versátil en su determinación respecto del intervalo temporal utilizado, ya que su definición es diaria y en este caso se puede calcular en intervalos menores. Esta propiedad de P1F de ser un índice acumulativo (Gianibelli y Quaglino, 2009) lo constituye en una herramienta importante para comparar registros de longitud temporal variable. Se recomienda que los registros se realicen en intervalos de 24 horas en TU completos y consecutivos en un lugar fijo y cercano a la región de desarrollo de los relevamientos. Esto permitirá realizar análisis comparativos de la marcha de las VDR comparativa con OMP.

BIBLIOGRAFIA

- Gianibelli J. C. y N. Quaglino. 2009. La actividad del Campo Magnético Terrestre y la determinación de los días calmos. Actas XXIV Reunión Científica de la AAGG. Geomagnetismo. 1a ed. - Buenos Aires: Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas, 2009. ISBN 978-987-25291-1-6. Ciencias de la Tierra. I. Pag. 261, 267, 2009.
- Glaßmeier, K., Soffel, H., and J. Negendank. 2008. Geomagnetic Field Variations. Springer. pp1- 213
- Kaufman, A. A., Hansenw, R. O. and R. L. K. Kleinberg 2009. Principles of the Magnetic Methods in Geophysics. Elsevier. pp 1-304.
- Parkinson, W. D. 1983. Introduction to Geomagnetism. Scottish Academic Press. Pp: 220-307.

LOS SISTEMAS DE PROVISION BIBLIOGRAFICOS EN GEOMAGNETISMO Y AERONOMIA

Julio C. GIANIBELLI, Monica E. MAC WILLIAM y Daniel GARGANO

Departamento de Geomagnetismo y Aeronomía, Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas.

Univesidad Nacional de La Plata . Paseo del Bosque S/N, 1900, La Plata, Argentina. TE:

(0221)4236593/4 ext 132.

Email: geofisicogianibelli@yahoo.com.ar

RESUMEN

Uno de los aspectos más importantes en la investigación y docencia en geofísica y en particular en Geomagnetismo y Aeronomía, es la disponibilidad del recurso bibliográfico básico y específico. En este análisis sistémico se estudia las características de la disposición de diferentes formas bibliográficas y sus costos, en las estructuras de provisión de las mismas. Las herramientas básicas para la docencia son presentadas con una revisión histórica y su estudio evolutivo. Se propone que las instituciones abocadas a la investigación y docencia de grado y postgrado, en Geomagnetismo y Aeronomía, generen un sistema de acceso libre en soporte digital de los resultados de sus proyectos de investigación y publicaciones académicas aplicables a la docencia.

Palabras claves: Bibliografía, Sistemas de Información, Geomagnetismo, Aeronomía, Biblioteca digital.

ABSTRACT

One of the most important aspects in the investigation and teaching in geophysics and particularly in geomagnetism and aeronomy, is the availability of the fundamental and specific bibliographical resource. In this systematic analysis are presented the characteristics of the disposition of different bibliographical forms and their costs, and the structures of provision. The basic tools for teaching are displayed with an historical revision and its evolutionary study of bibliography. It is proposed here that the institutions dedicated to graduated and post graduated investigation and teaching in geomagnetism and aeronomy, generates a digital support system with free access of the results of their projects of investigation and academic publications applicable to teaching.

Keywords: Bibliography, Information systems, Geomagnetism, Aeronomy, Digital library.

INTRODUCCION.

La geofísica es una disciplina de la ciencia que tiene íntima relación con otras disciplinas tales como la Geología, la Ingeniería, la Informática, entre otras. La figura 1 muestra la interacción de estas disciplinas y la Geofísica en una forma genérica.

GEOFISICA Y OTRAS DISCIPLINAS DE LA CIENCIA

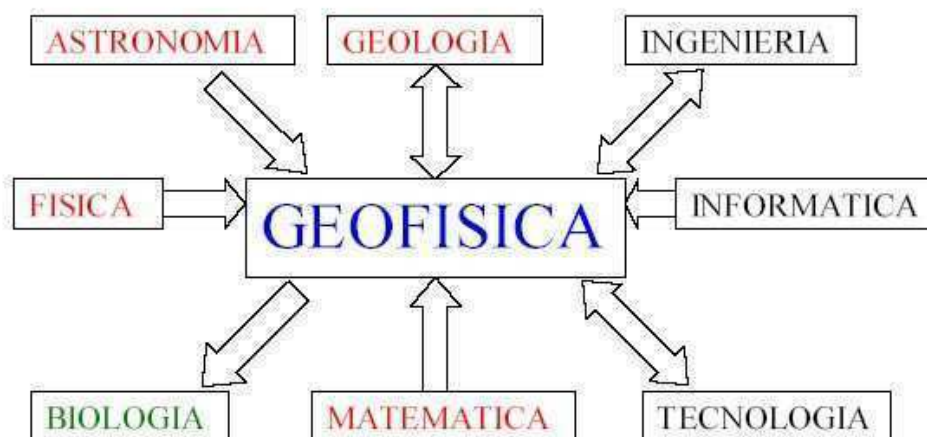


Figura 1: Relación entre las disciplinas de las Ciencias y la Geofísica

En particular el Geomagnetismo y la Aeronomía (GyA) es una parte de la Geofísica que también tiene relación con las mismas disciplinas de la Fig1 pero con más especificidad. El GyA tiene directa vinculación con Sismología y la Gravimetría, pues son las que brindan la información necesaria para formular en conjunto con la Termodinámica y la Geoquímica (como parte de la Geología), los modelos del núcleo externo de la Tierra donde reside el modelo de Geodínamo responsable de la generación del campo principal. Con la Astrometría, ya que los eventos de pulsos del campo geomagnético tienen relación con cambios en la velocidad de rotación terrestre.

Con la Hidrología y Oceanografía, por los fenómenos de inducción sobre los Océanos y Corteza que contiene extensos acuíferos. Con la Física y Química de la atmósfera en sus distintas capas constituyentes donde se producen fenómenos relacionados con la generación de iones y electrones que son la fuente de las corrientes equivalentes en la región Ionosférica. La extensión de la relación llega hasta la heliósfera, donde el sol es una de las fuentes de la Conexión Sol – Tierra y la otra el Campo Magnético Terrestre (CMT) que al interactuar con el viento solar genera la cavidad denominada Magnetosfera. En la actualidad han surgido nuevas disciplinas tales como “Climatología Espacial”, “Física Espacial”, “Geofísica Espacial”, que están relacionadas con GyA. Resta mencionar al Paleomagnetismo que a través de la Geología y la Química desentrañan la evolución e inversiones del CMT en el pasado para poder pronosticar procesos futuros. Está sintetizado en la Figura 2.

EL GEOMAGNETISMO Y LA AERONOMIA Y SU RELACION CON OTRAS DISCIPLINAS DE LA CIENCIA

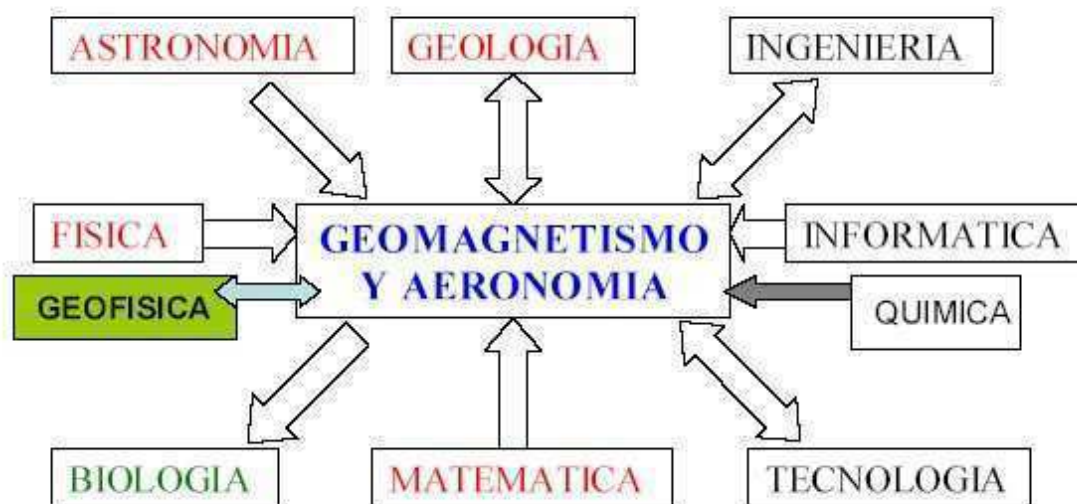


Figura 2: Relación entre Geomagnetismo y Aeronomía con las disciplinas básicas.

Los aspectos relacionados con la Biología están vinculados con procesos de biomineralización de magnetita entre otros. La tecnología como herramienta de manejo de la información juega un rol de importancia en la transmisión del conocimiento.

ANALISIS DEL SISTEMA BIBLIOGRAFICO

El conocimiento científico se encuentra plasmado en soportes analógicos y digitales donde se describen la interpretación de los fenómenos de la naturaleza y el hombre donde él es actor y parte de ella. En la actualidad, (interpretada como escala temporal las últimas 24 hs.), se genera información que es utilizada por diferentes investigadores para comunicar a su vez resultados, sobre soportes de papel y digital. El costo (a cualquier estructura económica de investigación científica) es elevado en función de las distintas editoriales y asociaciones que producen la comunicación al sistema científico tanto en soporte analógico como digital. De ello no existe una equitatividad para que los actores del sistema científico tecnológico accedan libremente a ello. La estructura global del sistema económico, y en algunos casos estratégicos lo impiden. La aparición del sistema de redes de computadoras y centros de acumulación de información y software libre permite en

la escala actual acceder a la información científica con mayor libertad pero aun sin equitatividad. Los sitios en la red Internet de acceso bibliográfico, es uno de ellos pero los mismos no están jurídicamente cubiertos ya que violarían leyes de copyright, que con el tiempo se tornan obsoletas. Los resultados científicos son de uso social y de libre acceso, pero la realidad indica que los mismos deben adquirirse y para ello se debe disponer de un presupuesto adecuado al objetivo del proyecto a desarrollar. En este aspecto la bibliografía juega un rol vital en la faceta docente de transmisión del conocimiento para los actores de este proceso, tanto para el emisor como para el receptor del conocimiento. Estos actores son personas que desarrollan su vida en un medio social, donde el acceso a la información no es homogéneo. Es aquí donde un tercer actor interviene, el “editor de la bibliografía”, que de acuerdo a las leyes del mercado tendrá un precio, tanto en el formato analógico como el digital. La necesidad de “aprender” en los seres vivos para adaptarse hace que en la sociedad aparezca de diversas formas en esta problemática de la provisión de bibliografía, y es todavía en la actualidad la “fotocopia” el soporte de transmisión de ese conocimiento a analizarse para enseñar y aprender. En la disciplina de la Geofísica la American Geophysical Union juega un rol importante en la edición del conocimiento con sus diversas revistas de tiraje mundial, pero de costos inaccesibles para los países emergentes. También lo son las tres mas grandes editoriales que publican en Ciencias de la Tierra y el Espacio. Elsevier Pub. Co., Springer, y Cambridge University Press.

Gran cantidad de libros científicos aparecen en sitios de Internet en forma digital, y cabe entonces la pregunta “¿Todos tenemos igualdad de posibilidad de acceder a estos sitios?” En la Republica Argentina se dispone del acceso por parte de las Universidades Nacionales a la biblioteca virtual de la SECyT (<http://www.biblioteca.mincyt.gov.ar/>) de la que puede confeccionarse una biblioteca digital para proyectos y docencia. Esta información ahora esta seleccionada y podría circular dentro del sistema para continuar con su finalidad: la transmisión del conocimiento. Otros sitios de la red son las páginas de la universidades nacionales donde se puedan acceder a los trabajos científico publicados en revistas internacionales pero extendidos y con mayor detalle y referencias bibliográficas y en castellano como también los resultados de los proyectos. El inglés es el lenguaje internacional pero no todo el conocimiento esta en este idioma. Las publicaciones en ruso, chino y japonés tienen en la actualidad en GyA un peso importante.

CONCLUSION

La bibliografía básica para GyA se encuentra en formato digital de acceso libre en sitios de la red Internet, la disponibilidad de adquisición de esta en papel también y en caso contrario el sistema de “bookfinder” brinda la posibilidad de acceso en forma de 2da mano. El sistema de soporte digital es un auxilio al sistema clásico del libro, pero sus posibilidades de acuerdo al software de lectura del archivo digital brinda posibilidades mayores al sistema pedagógico y didáctica en el sistema enseñanza – aprendizaje.

REFERENCIAS.

- <http://www.springer.com>
- <http://www.elsevier.com>
- <http://www.cup.org>
- <http://www.agu.org>
- <http://www.bookfinder.com>
- <http://www.biblioteca.mincyt.gov.ar/>

DETECCIÓN DE LARGOS PERIODOS EN LOS ELEMENTOS MAGNÉTICOS DEL OBSERVATORIO DE PILAR CÓRDOBA

Julio C. Gianibelli (1) y Esteban Cabrera (2)

(1)Departamento de Geomagnetismo y Aeronomía, Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas.
Univesidad Nacional de La Plata . Paseo del Bosque S/N, 1900, La Plata, Argentina. TE:
(0221)4236593/4 ext 132.

Email: geofisicogianibelli@yahoo.com.ar

(2) Servicio Meteorológico Nacional, Ministerio de Defensa. Email : geof_jef@yahoo.com.ar

RESUMEN

Las bases mundiales que colectan los valores medios anuales (VMA) de los elementos magnéticos determinados en la red Observatorios Permanentes, constituye una de las fuentes de información para los estudios de las componentes de baja frecuencia. Para ello es importante contar con extensas series temporales como las del Observatorio Magnético de Pilar Córdoba (Lat: $-31^{\circ} 40'$; Long: $63^{\circ} 53'$ Oeste). La metodología utilizada consistió en aplicar un análisis espectral por el Método de Máxima Entropía, basado en el algoritmo de Burg, a los residuos obtenidos respecto de la recta de mejor ajuste a los VMA. La información disponible cubrió el intervalo comprendido entre 1905.5 hasta 2009.5, siendo los elementos analizados la Declinación (D en minutos de arco: min) e Inclinación (I en minutos de arco: min) magnéticas, las componentes Horizontal (H) y Vertical (Z) en nanoTeslas, y la Intensidad Total del Campo (F) en nanoTeslas. La varianza (var) de los residuos de los elementos analizados fueron las siguientes: $\text{varD}=252.5(\text{min}^2)$; $\text{varI}=1388.7(\text{min}^2)$; $\text{varH}=10003.6\text{nT}^2$; $\text{varZ}=48469.9\text{nT}^2$; y $\text{varF}=6816.7\text{nT}^2$. La longitud del filtro predictor de error para la detección de los periodos presentes en las series fue del 15 al 90% de cubrimiento de la cantidad total de datos. Los períodos detectados para D fueron 107.8; 81.9; 41; 28.1; y 16.4 años; para I, 107.8; 53.9; 41.8; 27.3 y 16.3 años; mientras que para H se detectó: 97.5; 62.1; 43.6; 24.7 y 21.3 años; para Z: 107.8; 51.2; 40.2; 28.4 y 18.9 años; y finalmente para F: 85.3; 66.1; 38.6; 25.2 y 21.3 años. Los periodos hallados mayores de 30 años podrían corresponder a variaciones del campo producido por el Geodínamo residente en el Núcleo externo de la Tierra. Los periodos comprendidos entre 29 y 21 años corresponderían a un proceso de modulación solar sobre los valores medios anuales de la misma manera que el periodo de 16.4 años. En cambio el ciclo de 18.9 años estaría relacionado con el período de marea Lunar de 18.6 años. Se determinaron las amplitudes y fases de cada periodo en cada una de las series analizadas mediante un modelo lineal no armónico, resultando al efectuar la simulación de las series un error medio cuadrático (rms) del ajuste los siguiente valores: $\text{rms(D)}=0.7\text{min}$; $\text{rms(I)}=3.5\text{min}$; $\text{rmsH}=10.4\text{nT}$; $\text{rmsZ}=14.4\text{nT}$ y $\text{rmsF}=10.5\text{nT}$. Se concluye que la metodología aplicada y el modelo son apropiados para este análisis de detección de largos períodos.

Palabras clave: Geomagnetismo, Observatorio de Pilar, largos períodos, máxima entropía, geodínamo

ABSTRACT

World Data Centers wich collect annual mean values (VMA) of magnetic elements determined at Magnetic Observatories Network are one of the information sources to study low frequency components. For it is important to have available long time series as the belonging to Pilar Magnetic observatory (Lat: $-31^{\circ} 40'$; Long: $63^{\circ} 53'$ W), in Cordoba Province. The applied methodology consisted of applying a spectral analysis by the Maximun Entropy Method, based on the algorithm of Burg, to the residues obtained with respect to the straight line of better adjustment to the VMA. The information available covered the interval between 1905,5 up to 2009,5, being the analyzed elements the Magnetic Declination (D, in minutes of arc: min) and Inclination (I, in minutes of arc: min), the Horizontal (H) and Vertical (Z) components in nT, and the Total Intensity of the Field (F) in nT. The variance (var) of the residues of the analyzed elements was the following: $\text{varD}=252.5 \text{ min}^2$; $\text{varI}=1388.7 \text{ min}^2$; $\text{varH}=10003.6 \text{ nT}^2$; $\text{varZ}=48469.9 \text{ nT}^2$; and $\text{varF}=6816.7 \text{ nT}^2$. The length of the error predicting filter for the detection of the present periods in the series went from the 50 to the 100% of covering of the total amount of data. The periods detected for D were 107.8; 81.9; 41; 28.1; and 16,4 years; for I, 107.8; 53.9; 41.8; 27.3 and 16,3 years; whereas for H it was detected: 97.5; 62.1; 43.6; 24.7 and 21,3 years; for Z: 107.8; 51.2; 40.2; 28.4 and 18,9 years; and finally for F: 85.3; 66.1; 38.6; 25.2 and 21,3 years. The found periods greater than 30 years could correspond to variations of the field produced by the resident Geodynamo in the External Core of the Earth . The periods between 29 and 21 years would correspond to a solar process of modulation on the annual average values in the same way that the period of 16,4 years. However the cycle of 18,9 years would be related to the period of lunar tide of 18,6

years. The amplitude and phases of every period in each one of the analyzed series were determined by means of nonharmonic linear model, resulting after carrying on the simulation of the series the following quadratic mean error (rms) of the adjustment: rmsD=0.7 min; rmsI=3.5 min; rmsH=10.4 nT; rmsZ=14.4 nT and rmsF=10.5 nT. It is concluded that the applied methodology and the model are appropriate for this analysis of detection of long periods.

Keywords: Geomagnetism, Pilar Observatory, long periods, maximum entropy, geodynamo.

INTRODUCCION

El Observatorio Magnético de Pilar (PIL) (Lat: $-31^{\circ} 40'$; Long: $63^{\circ} 53'$ O) dependiente del Servicio Meteorológico Nacional, es el mas antiguo de los Observatorios Magnéticos Permanentes (OMP) del continente de América Latina de registros continuos y produciendo VMA desde 1905 al presente. El sistema de registro de las variaciones es analógico con determinación de línea base por medio de magnetómetros cuasi absolutos de interacción de imanes con campo (Parkinson, 1983). En la figura 1 se muestra la posición de PIL, La Quiaca (LQA) e Islas Orcadas (ORC). También se muestra su ubicación respecto de las Isodinas de F calculadas por medio del modelo de Campo Geomagnético Internacional de Referencia (IGRF), que muestra la existencia de una gran anomalía llamada Anomalía Magnética de América del Sur (AMAS), donde PIL y LQA se encuentran en su foco.

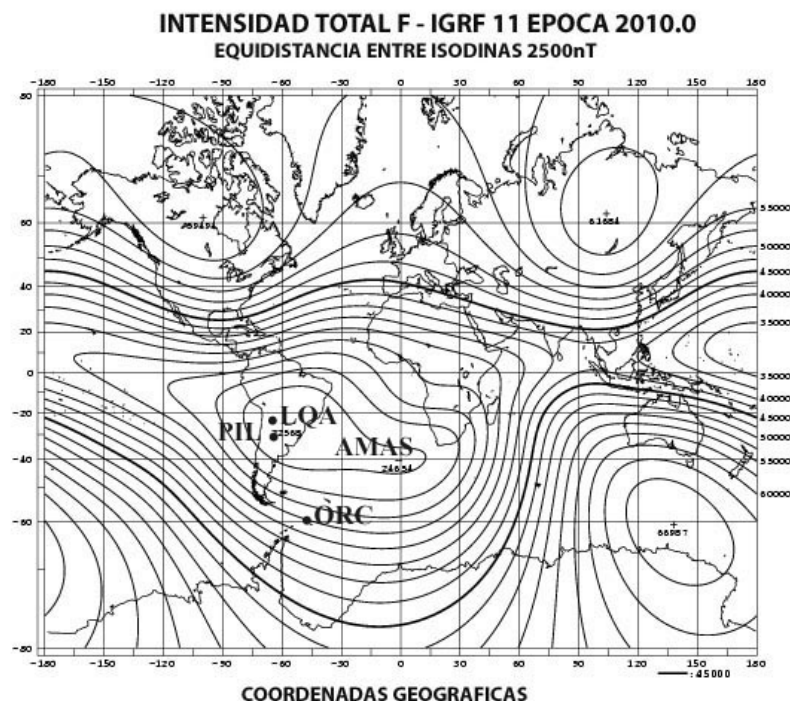


Figura 1: Ubicación Geográfica de los OMP del SMN y AMAS.

El estudio de la estructura espectral de las series de tiempo de los elementos magnéticos caracterizadas por los VMA, permite evaluar los aportes de los períodos mayores que 2 años y determinar su amplitud y fase para su simulación por medio de modelos matemáticos. El objetivo de este estudio es determinar para el OMP de PIL la estructura espectral de las series de VMA en el intervalo comprendido entre 1905 y 2009.

La información de las series de tiempo de los VMA correspondientes a los elementos magnéticos analizados son la Declinación (D), Inclinación (I), Componentes Horizontal (H), Vertical (Z) e Intensidad total (F) y fueron obtenidas de la facilidad de la red Internet : http://www.geomag.bgs.ac.uk/gifs/annual_means.shtml

Se aplicó el método de Análisis Espectral por Máxima Entropía (AEME) utilizando el algoritmo de Burg (Ulrych, and Bishop 1975; Wu 1977) a los residuos obtenidos luego de sustraer la recta de mejor ajuste a D, H, Z, F e I. De este análisis se obtuvieron los períodos presentes en las series temporales y se verifica su verosimilitud por medio de un modelo aditivo con períodos no armónicos. El método de evaluación de las amplitudes y fases es por ajuste de este modelo aditivo por mínimos cuadrados cuyos errores se obtienen por medio de la diagonal principal de la inversa de la matriz de varianza –covarianza. La figura 2 muestra el diagrama de aplicación del AEME, donde S(t) representa la serie de residuos de los elementos magnéticos analizados.

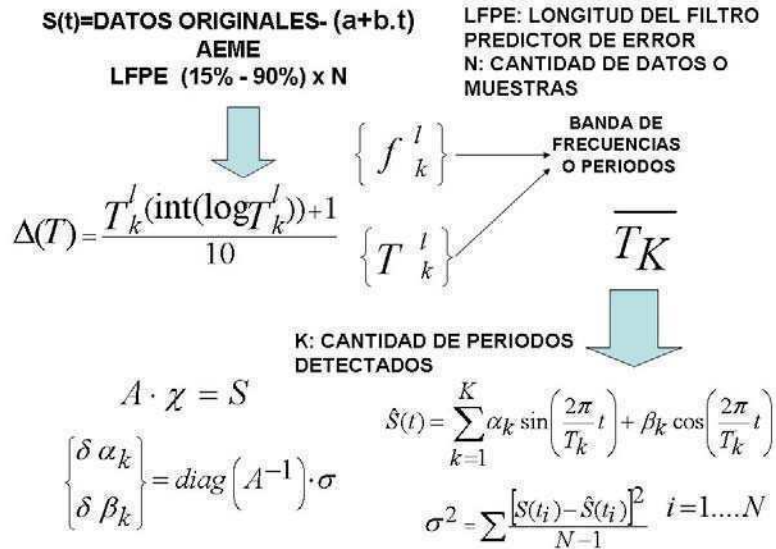


Figura 2: diagrama de procedimiento de cálculo mediante el AEME de las amplitudes, fases y sus errores, de los periodos detectados.

La varianza (var) de los residuos de los elementos analizados fueron las siguientes: varD=252.5(min²); varI=1388.7(min²); varH=10003.6nT²; varZ=48469.9nT²; y varF=6816.7nT². Los resultados se muestran en la tabla 1 donde se presenta el periodo T_k, su amplitud, fase y errores de las mismas.

DECLINACION D

PERIODO	AMPLITUD	ERROR	FASE	ERROR
años	min.	min.	rad.	rad.
107.79	14.98	0.28	5.03	0.01
81.92	14.37	0.26	2.73	0.02
40.96	4.57	0.12	0.22	0.02
28.05	2.30	0.11	4.89	0.05
22.26	1.77	0.12	5.93	0.07
16.38	1.14	0.11	0.14	0.07

RMS=0.69 min.

COMPONENTE HORIZONTAL H

PERIODO	AMPLITUD	ERROR	FASE	ERROR
años	nT	nT	rad.	rad.
97.52	127.04	3.39	4.65	0.01
62.06	97.21	3.21	4.85	0.04
43.57	46.04	2.63	5.01	0.07
30.57	22.31	1.85	4.70	0.09
24.67	33.56	2.18	4.69	0.06
21.33	18.93	1.94	4.71	0.11

RMS=10.41nT

COMPONENTE VERTICAL Z

PERIODO	AMPLITUD	ERROR	FASE	ERROR
años	nT	nT	rad.	rad.
107.79	266.72	2.19	4.71	0.01
51.20	161.39	2.96	4.84	0.02
40.16	62.45	2.69	4.84	0.05
28.44	13.74	2.86	5.72	0.21
18.96	15.26	2.20	4.82	0.15

RMS=14.35nT

INTENSIDAD F

PERIODO	AMPLITUD	ERROR	FASE	ERROR
años	nT	nT	rad.	rad.
85.33	109.75	2.88	0.09	0.02
66.06	92.04	2.81	3.06	0.03
38.64	14.25	2.03	5.88	0.15
25.28	14.12	1.59	3.14	0.12
21.33	21.95	2.15	2.51	0.10

RMS=10.49nT

INCLINACION I

PERIODO	AMPLITUD	ERROR	FASE	ERROR
años	min.	min.	rad.	rad.
107.79	49.51	0.63	4.49	0.01
53.89	22.68	0.79	4.42	0.02
41.80	9.26	0.86	4.23	0.03
27.31	1.75	0.60	4.48	0.21
16.25	2.06	0.62	1.90	0.30

RMS=3.45 min.

Tabla 1

Las figuras 3 a 7 muestran los datos y la síntesis con los periodos detectado en la Tabla1.

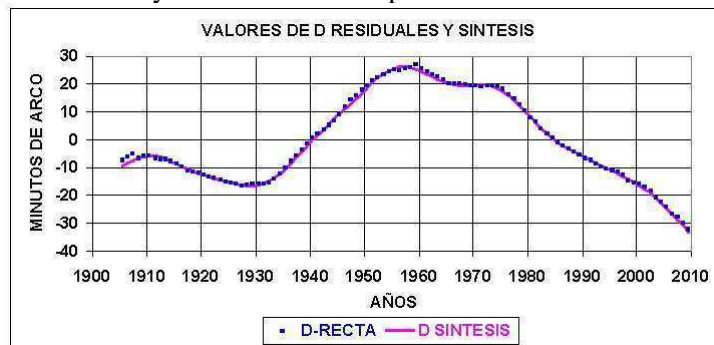


Figura 3: Declinación D.

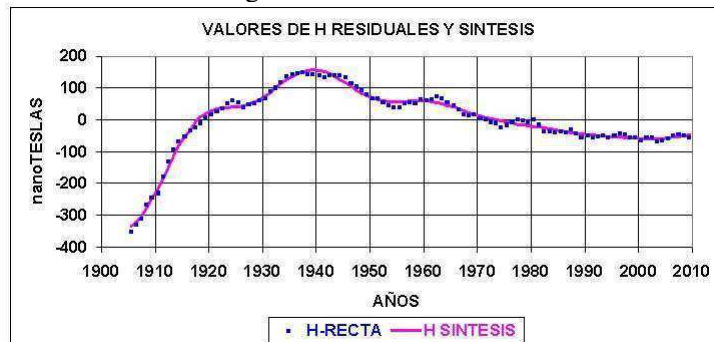


Figura 4: Componente Horizontal H.



Figura 5: Componente vertical Z.



Figura 6: Intensidad Total del Campo F.



Figura 7: Inclinación I.

En estos resultados se tiene periodos de 16 a 19 años que estarían vinculados con la onda lunar del nodo ascendente de la Luna de 18.6 años. De 21 a 29 años relacionadas al doble ciclo solar, e inversión del campo magnético del sol. Y periodos mayores a los 29 años relacionados con fuentes internas producidas por el Geodínamo residente en el núcleo externo de la Tierra (Jacobs 1971)

CONCLUSION.

La metodología utilizada es la apropiada para delimitar las bandas de origen externo y las origen interno que permiten determinar los efectos periódicos de las fuentes sobre el geosistema, su amplitud, fase y errores en el modelado de las series temporales. Estos resultados permiten su correlación con otras series temporales de índices de actividad, longitud del día y cambio en el momento magnético dipolar terrestre objeto de estudios futuros.

REFERENCIAS

- Jacobs J.A. 1971. The Earth's Core. Academic Press. Pp:267-282.
- Parkinson W. D. 1983. Introduction to Geomagnetism. Scottish Academic Press. Edinburgh. Pp. 1-433.
- Ulrych, T. J. And T. N. Bishop. 1975. Maximum Spectral Analysis and Autoregressive Decomposition. Reviews of Geophysics and Space Physics, Vol 13 N 1. Pp: 183-200.
- Wu N., 1977. The Maximum Entropy Method. Springer. Pp 1 – 327.

DISEÑO Y APLICACIÓN DE UNA RED PERMANENTE DE ESTACIONES DE REPETICION EN LA REPUBLICA ARGENTINA

Julio C. Gianibelli (1), Mónica Marino (2), Ernesto Faccini (3), Ricardo E. García (4), Guillermo Rodríguez (4), Esteban Cabrera (1) (2), Nicolás Quaglino (1), Roberto Guzmán (2) y Jorge Paez (2)

(1)Departamento de Geomagnetismo y Aeronomía, Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas. Universidad Nacional de La Plata . Paseo del Bosque S/N, 1900, La Plata, Argentina. TE:

(0221)4236593/4 ext 132.

Email: geofisicogianibelli@yahoo.com.ar

(2) Servicio Meteorológico Nacional, Ministerio de Defensa. Email : marino@smn.gov.ar ; geof_jef@yahoo.com.ar

(3) Ministerio de Defensa. Email : eefaccini@hotmail.com

(4)Departamento de Electrónica, Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas. Universidad Nacional de La Plata . Paseo del Bosque S/N, 1900, La Plata, Argentina. TE: (0221)4236593/4 ext 133.

Email: regarcia@fcaglp.unlp.edu.ar

RESUMEN

La necesidad de confeccionar cada 5 años una carta de los elementos magnéticos para la República Argentina, remite a disponer de una red permanente de Estaciones de Repetición. En cada una de ellas se determinan en forma absoluta la Declinación (D), Inclinación (I) e Intensidad Total (F) del Campo Magnético Terrestre. Para ello es necesario materializar en forma segura dos pilares a partir de los cuales se conforme una dirección cuyo azimut geográfico se conozca y se determine en uno de ellos la Declinación e Inclinación Magnéticas. Un tercer pilar, distante de los otros dos unos 15 metros, se utilizará para que en forma simultánea se determine la Intensidad Total del Campo Magnético. El instrumental a utilizarse es un Teodolito Magnético Flux-gate para determinar D e I y un Magnetómetro de Precesión Protónica para F. En este trabajo se presentan los lugares de accesibilidad más aptos para la materialización de estas estaciones de tal manera de tener una cobertura total del territorio Argentino. Otra aplicación de esta red consiste en el conocimiento de las variaciones temporales del campo para su comparación con las obtenidas a partir de los Observatorios Magnéticos Permanentes de la República Argentina.

ABSTRACT

The necessity to elaborate each 5 years a magnetic elements chart of Argentine Republic, remits to dispose a permanent Repeat Stations network. In each one of them the terrestrial Magnetic Field Declination, Inclination and Total Intensity are determined. For it is necessary to materialize in safe form two pillars from wich can be conformed a direction whose geographical azimuth is known and it is determined in one of them Magnetic Declination and Inclination. A third pillar, 15 meters away from others two pillars, will be used to determine simultaneously the total intensity of magnetic field. The instrumental to be used are a Flux-gate Magnetic Theodolite and a Protonic Precession Magnetometer. In this work the locations with more apt accessibility to can materialize these stations in such way to have a complete coverage of the territory are presented. Another application of this network consists in the knowledge of time variations of the field to be compared with those obtained from the Permanet magnetic Observatories of Argentine Republic.

INTRODUCCION

Una carta magnética es la representación en soporte analógico o digital de la distribución de los elementos magnéticos (EM) de la Declinación (D), Inclinación (I), Componentes Horizontal (H), Vertical (Z), Norte Geográfico (X), Este Geográfico (Y) e Intensidad Total (F) del Campo Magnético Terrestre (CMT), para toda la tierra, un continente, un territorio, una región o pociones menores de superficie. La superficie de la Tierra es del orden de $511.2 \times 10^6 \text{ km}^2$, mientras que la superficie de la Republica Argentina es de $3.761.274 \text{ km}^2$. Para la confección de estas cartas es necesario disponer de una red de Observatorios Magnéticos Permanentes (OMP) para el contraste de una red específica de Estaciones Magnéticas de Repetición (EMR) que son la base para la confección de estas cartas. La República Argentina a través del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) ha cumplido con esta misión desde 1914 hasta 1965. En la actualidad y con el fin de retomar este objetivo es necesario replantear una nueva red de estaciones de repetición materializadas en sitios de fácil acceso y seguridad. Su vida útil estará dada en relación directa al crecimiento cultural de las regiones involucradas a los sitios seleccionados.

EDR Y OMP

Los EM están definidos respecto de una terna ortogonal donde el eje z esta orientado hacia el centro de la tierra como muestra la figura 1. Para el hemisferio sur la Z e I son negativos. En cada posición "O" se determinan los valores absolutos de los EM que serán función de la Lat. (λ), Long. (ϕ), Altura (h), y el Tiempo (t). El valor de cualquier EM: que llamaremos genéricamente "E", tiene aportes de diferentes fuentes producto de fenomenologías residentes en el Núcleo Externo de la Tierra, en la Corteza Terrestre, en la Cavidad Magnetosférica y en la Ionósfera. Estas dos últimas fuentes generan corrientes inducidas en la hidrósfera, corteza, manto y núcleo que a su vez producen un campo magnético. La figura 2 muestra los porcentajes de los aportes de estas fuentes a una determinación de "E".

ELEMENTOS DEL CAMPO GEOMAGNETICO PUNTO DE OBSERVACION "O"

- **D: DECLINACION MAGNETICA**
- **I: INCLINACION MAGNETICA**
- **H: COMPONENTE HORIZONTAL**
- **Z : COMPONENTE VERTICAL**
- **X: COMPONENTE EN DIRECCION AL NORTE GEOGRAFICO**
- **Y: COMPONENTE EN DIRECCION AL ESTE GEOGRAFICO**
- **F: INTENSIDAD TOTAL DEL CAMPO MAGNETICO DETERMINADO EN "O"**
- **En "O" debemos conocer: LAT(λ), LONG(ϕ), h(nmm) y el ACIMUT GEOGRÁFICO DE UNA MIRA.**

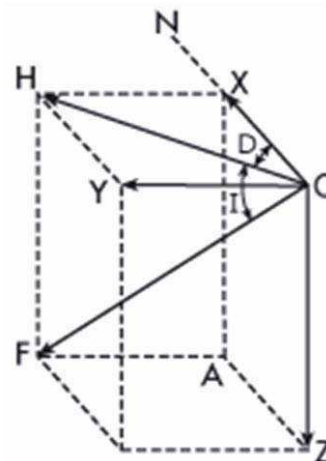


Figura 1: Elementos del campo geomagnético, N indica el norte geográfico.

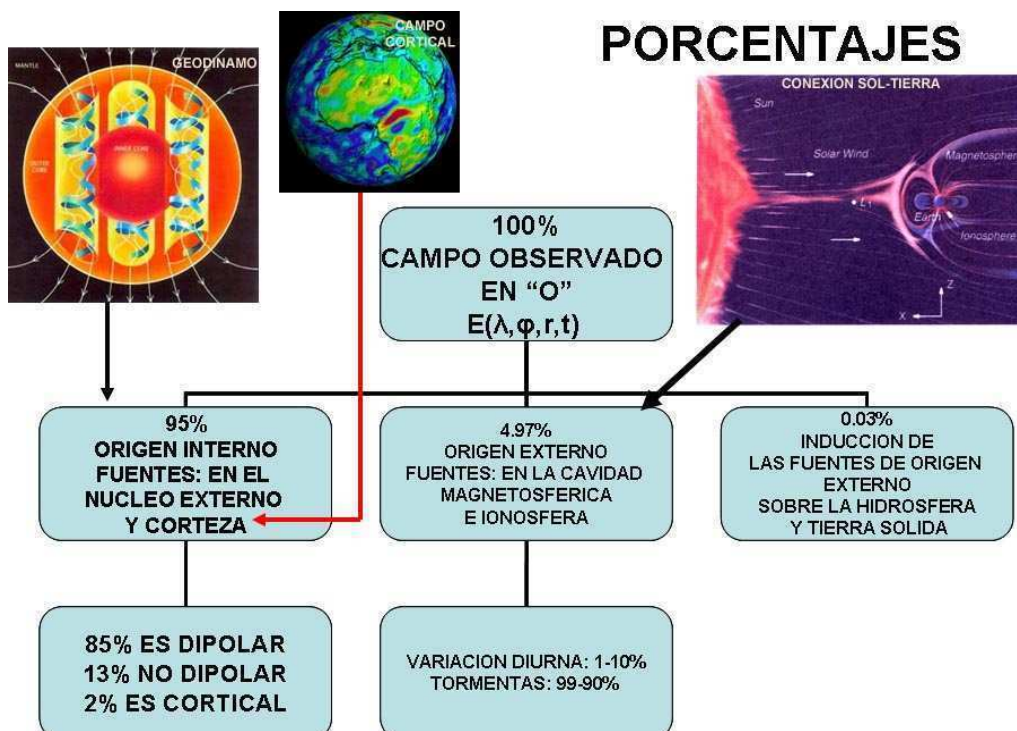


Figura 2: Porcentajes de las fuentes del CMT sobre una determinación absoluta.

Las EDR estarán caracterizadas por disponer de tres pilares, dos para la ubicación de instrumentos y el tercero para la ubicación de una mira, Se deberá conocer el acimut geográfico de la dirección de los dos pilares respecto de la mira, ya que es fundamental para la determinación de D: ángulo entre la dirección al

norte geográfico y el magnético, también se define como el ángulo entre los meridianos geográficos y magnéticos que pasan por “O” (Fig. 1) En las EMR se harán determinaciones absolutas y determinaciones relativas con magnetómetros relativos. Los EM a medir en forma absoluta son D, I y F, acompañadas por mediciones relativas de las variaciones de D e I. Las determinaciones absolutas se harán con un Teodolito FluxGate para D e I (Fig 3), para F se utilizará un Magnetómetro de Precesión Protónica (Fig 4) y las determinaciones relativas por medio de un variómetro Flux Gate (Fig 5). El sitio de las EMR deberá estar libre de perturbaciones producidas por la actividad humana necesitando un radio de por lo menos 100m.



Figura 3



Figura 4

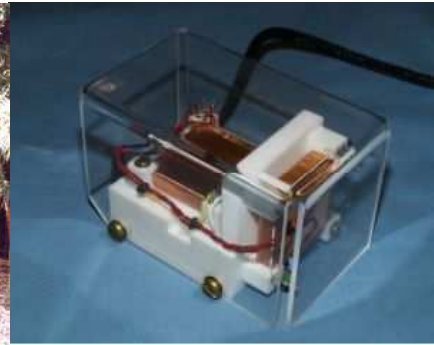


Figura 5

La red de OMP realizan mediciones en forma absoluta de los valores de los EM en forma continua, su objetivo es conocer la evolución temporal del CMT en un lugar fijo de la superficie de la Tierra. El OMP de Pilar ha brindado valores de la Declinación por más de 100 años, y su evolución está dada en la Figura 6.

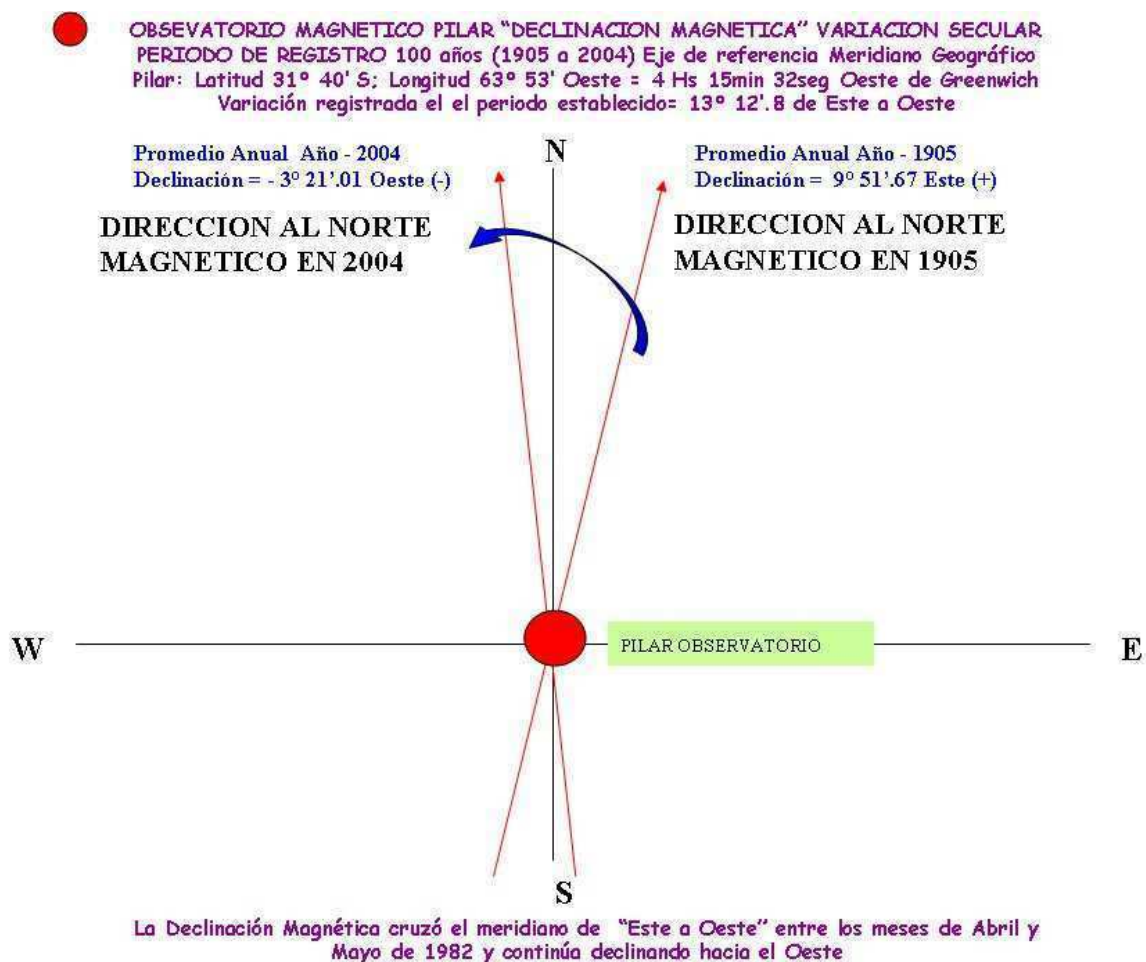


Figura 6

Jankousky and Sucksdorff (1996) publican una guía para las mediciones magnéticas para los OMP mientras que Newitt et. al. (1996) publican la guía para las EMR y relevamientos. Las aplicaciones de una red permanente de EMR están centralizadas en la confección de las cartas de los EM para una época fija, el

conocimiento de la variación secular en cada EMR y de las variaciones de origen externo mientras dure la ocupación en las EMR. La información obtenida de los EM determinados en las EMR es de los efectos de todas las componentes descritas en la Fig. 2. La función de los OMP es obtener el valor de la línea de referencia para la variación de origen externo e inducción por el cual se debe calcular la corrección llamada por “variación diurna” a los valores observados en las EMR (Newitt et. al. 1996).

RED DE EMR PARA LA REPUBLICA ARGENTINA.

Dentro de las múltiples posibilidades en el diseño, los factores de accesibilidad y seguridad tiene el mayor peso. De ello se volcaron las posiciones de los aeropuertos civiles y de ellos se seleccionaron del orden de 30 tratando de cubrir equitativamente la superficie de la República Argentina en el continente de América del Sur sin superponerse con los OMP. La figura 7 muestra esta elección.

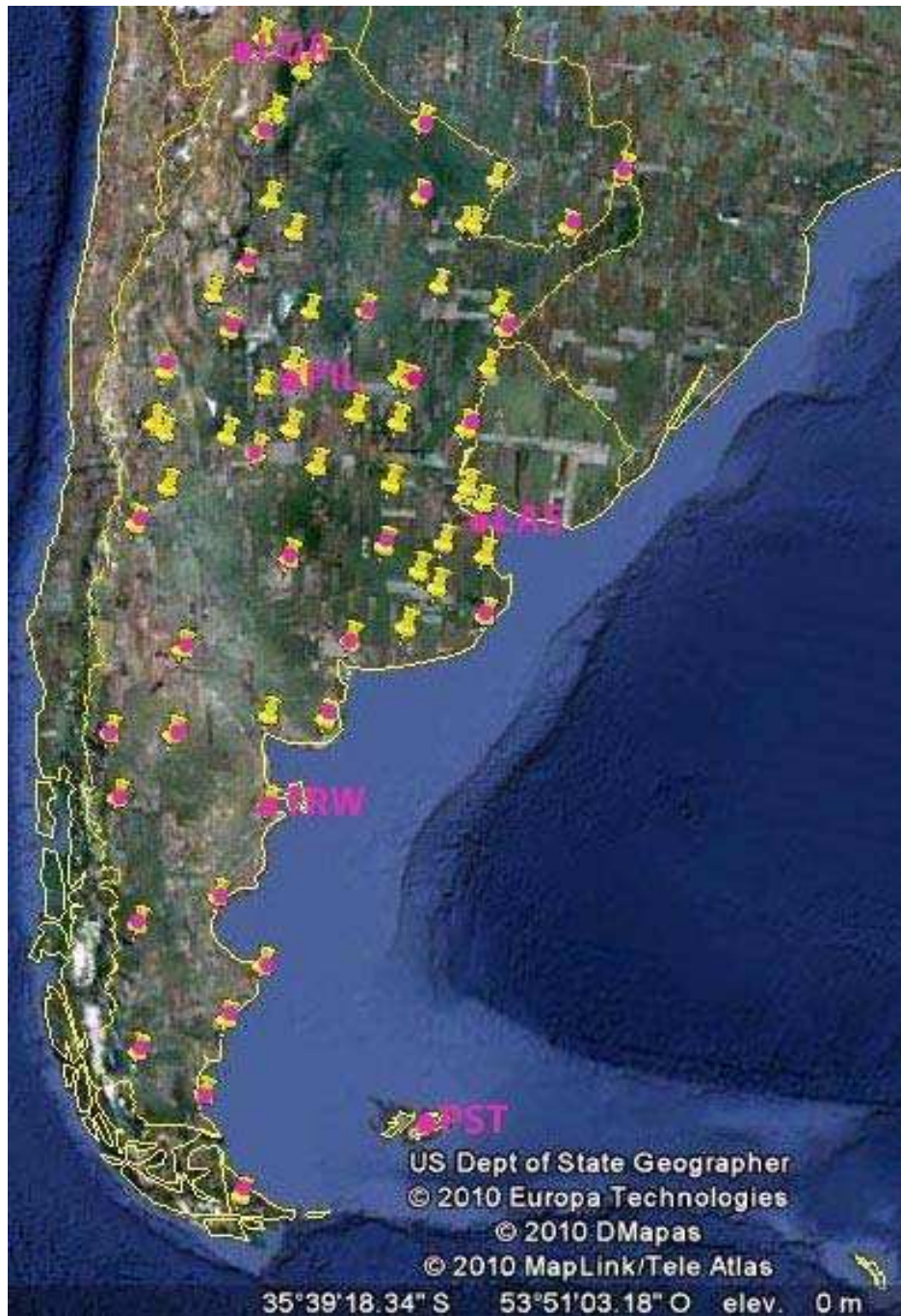


Figura 7: El marcador amarillo señala los Aeropuertos de la República Argentina, Los marcados con un punto rosa son los elegidos como posible EMR . Se señalaron la ubicación de los OMP.

En la Figura 8 se muestra para al región Antártica lo mismo que para la figura 7, donde en la base Orcadas se dispone de un OMP.

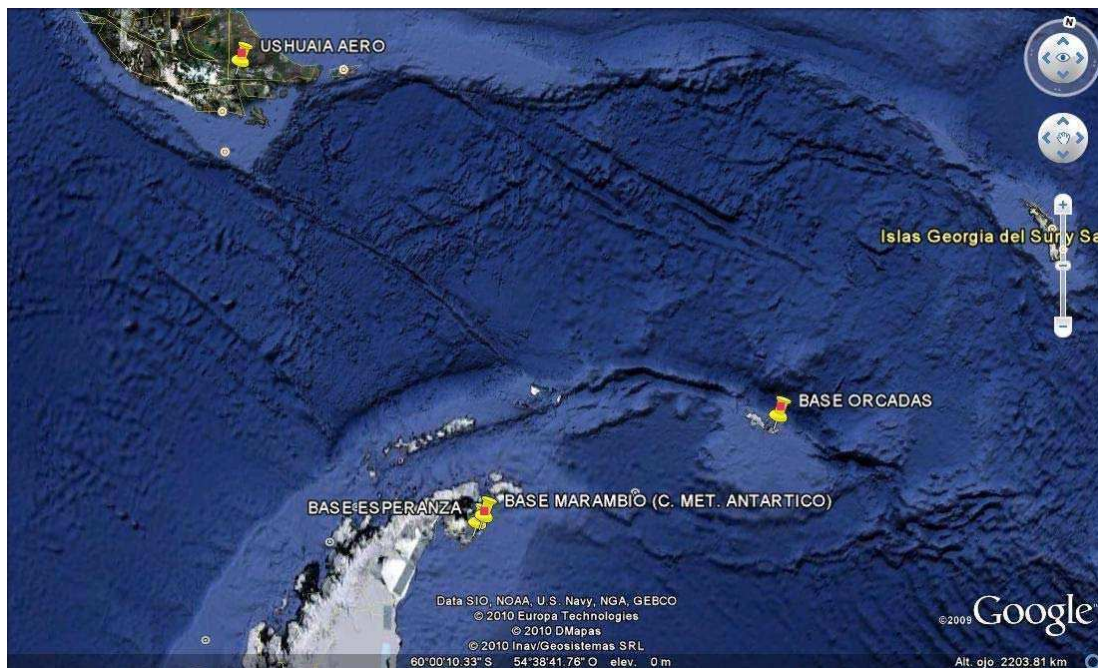


Figura 8: EMR de la región Antártica y OMP de la Base Orcadas.

CONCLUSION.

Las fundamentaciones teóricas para la selección de las EMR son relevantes, pero la materialización y desarrollo del objetivo principal depende de la creación de un sistema específico con estructura, organización y presupuesto exclusivo a este fin que no entre en colisión con otras misiones y funciones del SMN. Para la materialización de la red serán necesarios estimativamente del orden de 2.5 años incluyendo el proceso de mediciones, procesado, contrastes y comparaciones con el modelo global vigente denominado Campo Geomagnético Internacional de Referencia (IGRF).

REFERENCIAS.

- Jancowski J. and C. Sucksdorff. (1996). Guide for Magnetic Measurements and Observatory Practice. IAGA. Pp 1-235.
- Newitt L. R., Barton C. E. and J. Bitterly. (1996). Guide for Magnetic Repeat Station Surveys. IAGA. Pp. 1-112.

POSIBLES EFECTOS DE LA SUBDUCCIÓN DE LA PLACA DE NAZCA EN LA VARIACIÓN SECULAR RESIDUAL (VSR) DEL OBSERVATORIO MAGNÉTICO DE PILAR.

Julio César Gianibelli

**(1)Departamento de Geomagnetismo y Aeronomía, Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas.
Univesidad Nacional de La Plata . Paseo del Bosque S/N, 1900, La Plata, Argentina. TE:
(0221)4236593/4 ext 132. Email: geofisicogianibelli@yahoo.com.ar**

RESUMEN

El proceso de subducción se detecta principalmente por la profundidad de la expresión de liberación elástica en la región del hipocentro de los terremotos. La placa de Nazca es un ejemplo de ello. Varios Observatorios Magnéticos se encuentran en la superficie de América del Sur donde posibles efectos de la transformaciones geodinámicas y geoquímicas del material a profundidades de mas de 500km son efectuadas cambiando las características geofísicas de movimiento de circulación del manto y en particular de su conductividad. Se dispone de la colección de eventos sísmicos para la región comprendida entre los 10° y -30° de Latitud y entre -50 y -80 de Longitud Oeste, seleccionados por profundidad en dos niveles: nivel 1 entre 300 y 499km y nivel 2 de más de 500km. El objetivo de este estudio es analizar los efectos de las secuencias de terremotos profundos sobre los eventos de Variación Secular Residual (VSR) del Observatorio Magnético Permanente de Pilar (PIL: Lat.-31° 40'; Long. 63° 53' O). La VSR es el valor que se obtiene luego de sustraer el efecto de campo principal representado por el Modelo IGRF11 válido para el intervalo 1900.0 hasta 2015.0 a cada una de las series de valores medios anuales (VMA) de PIL de la declinación D e inclinación I magnética y las componentes horizontal H, y vertical Z e intensidad total F. Estas series de tiempo son corregidas por las variaciones en la banda de periodo de 11 años y 22 años correspondientes al ciclo y doble ciclo solar presentes en los análisis de los VMA de origen externo. De esta manera la VSR representa el efecto de la dinámica del manto en regiones de interacción con corteza en subducción, no representada por el análisis en armónicos esféricos (AAE) del IGRF11 cuyo corte es en el orden 10, dejando los ordenes 11 a 14 posiblemente a efectos de origen aún residente en el núcleo externo de la Tierra y los órdenes comprendidos entre 15 y 21 a anomalías temporales de fuentes residentes al manto. Los órdenes superiores a 21 corresponden a las anomalías de la corteza. Estos resultados fueron obtenidos por los análisis de los datos satelitales del Magsat y Oersted calculando la curva de energía multipolar para cada orden del AAE. Los resultados muestran cambios en la VSR para las secuencias de terremotos entre 1931-1954, 1955-1971, 1971-1982, y 1982-2005 con un coeficiente de correlación de 0.53 para Z; pero en oposición de fase para D; cuando la cantidad de sismos disminuye o aumenta la VSR de D es positiva o negativa respectivamente. Se concluye que estos efectos sobre la VSR están ligados a procesos de variaciones de conductividad en la región de subducción de la placa de Nazca que produce cambios en la difusión del campo principal en superficie, generando una aparente fuente secundaria de campo magnético.

Palabras clave: Geomagnetismo, variación secular, Placa de Nazca, terremotos, subducción .

ABSTRACT

The subduction process is detected mainly by the depth of the expression of elastic liberation in the hypocenter region of earthquakes. The Nazca plate is an example of it. Several Magnetic Observatories are in the surface of South America where possible effects of the geodynamic and geochemical transformations of the material to depths of about 300km are carried out changing the geophysical characteristics of movement of mantle circulation and in particular of its conductivity. It is available the collection of seismic events in the region between 10° and -30° of Latitude and between -50 and -80 of West longitude, selected by depth in two levels: level 1 between 300 and 499km and level 2 of more of 500km. The objective of this study is to analyze the effects of the deep earthquake sequences on the events of Residual Secular Variación (VSR) at the Permanent Magnetic Observatory of Pilar (PIL: Lat. - 31° 40 ' ; Long. 63° 53 ' W). The VSR is the value that are obtained after to remove the effect of main field represented by Model IGRF11 valid for time interval 1900.0 up to 2015.0 to each one of the series of annual mean values (VMA) of PIL magnetic declination D and inclination I, horizontal H and vertical Z components, and total intensity F. These series are corrected by the variations in in the period band of 11 and 22 years corresponding to the single and double solar cycle presents in the analyses of the VMA of external origin. In that way the VSR represents the effect of the dynamics of the mantle in regions of interaction with subduction crust, not represented by the spherical harmonical analisys (AAE) of the IGRF11 which cuts in order 10, leaving orders 11 up to 14

possibly corresponding to effects of origin still resident in the external Earth core and orders between 15 and 21 to temporary anomalies of sources resident in the mantle. The orders superiores to 21 correspond to the anomalies of the crust. These results were obtained by the satellital data analyses of Magsat and Oersted satellites calculating the curve of multi-polar energy for each order of the AAE. The results shows changes in the VSR for the earthquake sequences between 1931-1954, 1955-1971, 1971-1982, and 1982-2005 with a correlation coefficient of 0.53 for Z; but in phase oposition for D. when the amount of earthquakes falls or increases the VSR of D is positive or negative respectively. One concludes that these effects on the VSR are bound to processes of variations of conductivity in the region of subduction of the Nazca plate that produces changes in the diffusion of the main field in surface, generating an apparent secondary source of magnetic field.

Keywords: Geomagnetism, Secular variation, Nazca Plate, earthquakes, subduction.

INTRODUCCION.

Los efectos del fenómeno de subducción de la placa de Nazca debajo de la placa Americana y los fenómenos geodinámicos asociados se han comenzado a estudiar con el fin de pronosticar la posibilidad de ocurrencia de terremotos de importante magnitud. Un ejemplo de ello es la información que brinda la Geodesia Satelital a la determinación en superficie de la deformación y sus cambios observada en superficie (Ruegg et.al 2009). El mecanismo de liberación de la energía elástica a diferentes profundidades y su registro por medio de diferentes tipos de redes de sismógrafos permite confeccionar una serie temporal de eventos en función de las coordenadas geográficas, profundidad del hipocentro y magnitud. Esta información sep puede acceder por Internet: http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/epic/epic_rect.php. Por medio de este sitio es posible generar las series de tiempo para estudios de recurrencia y de cantidad acumulada de eventos por intervalo temporal. Frohlihch (2006) estudia los mecanismos de generación de estos terremotos profundos. El objetivo de este estudio es analizar la evolución temporal de la cantidad acumulada de terremotos profundos producidos por la subducción de la de la placa de Nazca detectados a profundidades mayores que 500km y su relación con la Variación Secular Residual (VSR) determinada en el Observatorio Magnético Permanente (OMP) de Pilar, Córdoba (Lat.: 31° 40' S; Long.: 63° 53' O). La VSR se obtiene a partir de los Valores Medios Anuales (VMA) de los elementos magnéticos registrados en el OMP de Pilar desde 1905.5 a 1909.5, a los que se les sustrajo el valor del Campo Geomagnético Internacional de Referencia (IGRF) calculado para este OMP y corregido por efectos del ciclo solar de 11 y 22 años. La serie de temporal de terremotos profundos se generó a partir de los eventos catalogados entre las latitudes de 0° a -40° y longitudes comprendidas entre -40° a -80°. En la Figura 1 se muestran los sismos registrados entre 1973 y 2010 para profundidades del hipocentro entre 200km y 300km; 300km y 500km y más de 500km.

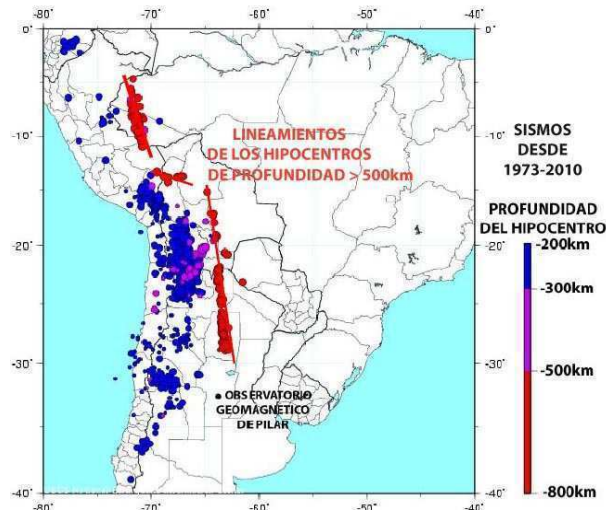


Figura 1: Ubicación de los hipocentros, lineamientos de aquellos con $H > 500$ km.

Para estos últimos hipocentros se marcaron los lineamientos seguidos en su ubicación lo cual indica cambios en la dirección de la placa Americana en relación de la placa de Nazca subductante, implicando procesos geodinámicos vinculados a la reología a esa profundidad. Esto es observable en las figuras 2 a 7 donde se presenta la profundidad de todos los hipocentros de profundidad mayor que 200 km según la longitud este. Se observa que los nidos hipocentrales se desplazan hacia el Oeste con las mayores profundidades ($H > 500$ km) observables en la Figuras 3, 4 y 7 respecto de las Figuras 2, 5, y 6. En la Figura 4 se muestra

también la región de cambio de alineación (Fig1) mostrada por la dispersión del nido de hipocentros. En cambio la región de silencio, donde no se presentan hipocentros entre las profundidades de 350 y 500km es variable. Frohlich (2006, chap 7 y sus referencias.) describe diferentes estudios que podrían explicar el mecanismo focal de estos terremotos.

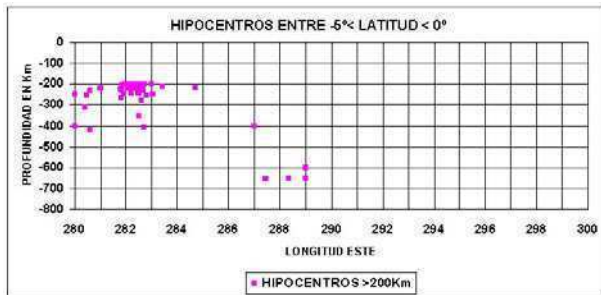


Figura 2. Profundidad de Hipocentros entre Latitudes de 0° y -5°

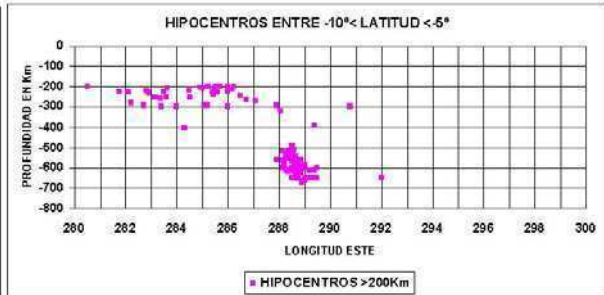


Figura 3. Profundidad de Hipocentros entre Latitudes de -5° y -10°

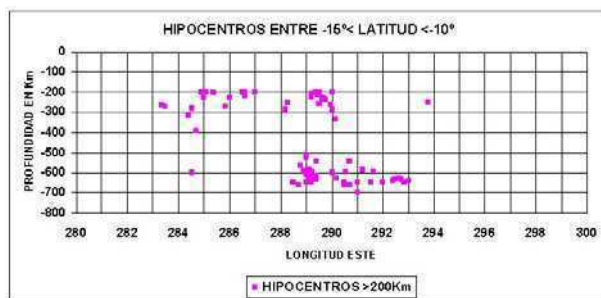


Figura 4. Profundidad de Hipocentros entre Latitudes de -10° y -15°

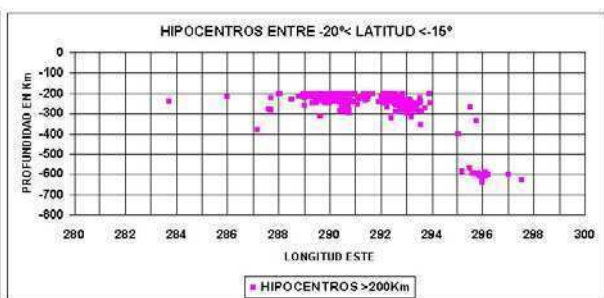


Figura 5. Profundidad de Hipocentros entre Latitudes de -15° y -20°

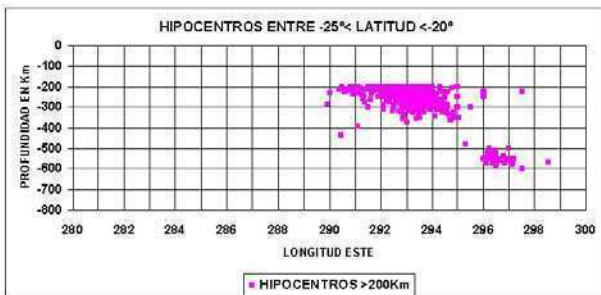


Figura 6. Profundidad de Hipocentros entre Latitudes de -20° y -25°

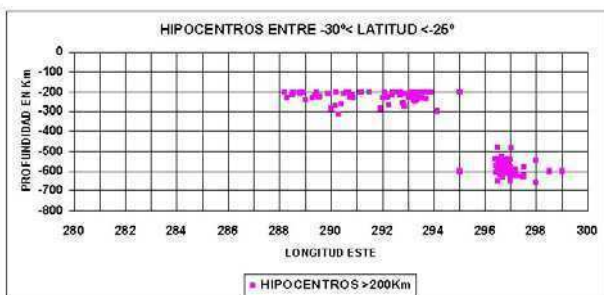


Figura 7. Profundidad de Hipocentros entre Latitudes de -25° y -30°

ANÁLISIS DE LOS DATOS Y RESULTADOS.

Se generaron las bases de VMA del OMP de Pilar desde 1905.5 hasta 1909.5 obrantes en la bases de datos mundiales (http://www.geomag.bgs.ac.uk/gifs/annual_means.shtml) de los elementos magnéticos D, I, Z, H, y F. Para el mismo intervalo se determinó el IGRF para los mismos elementos (<http://ngdc.noaa.gov/geomagmodels/IGRFWMM.jsp>). Se sustrajo el valor del IGRF y se corrigió la diferencia por las ondas de 11 y 22 años detectadas por análisis espectral. Se calculó la Variación Secular Residual (VSR) y se seleccionaron las componentes Z, D y H para presentar los resultados. La Serie Temporal de Terremotos Profundos (STTP con $H > 500\text{km}$) fue generada a partir de la cantidad de los terremotos acumulada por año. La STTP presenta una tendencia lineal la cual se sustrajo para relacionar los datos con D y H. Las figuras 8 y 9 muestran estos resultados. A la Componente Z y a la STTP le fueron aplicados un filtro pasa bajo para su correlación. Los resultados se muestran en las figuras 10.

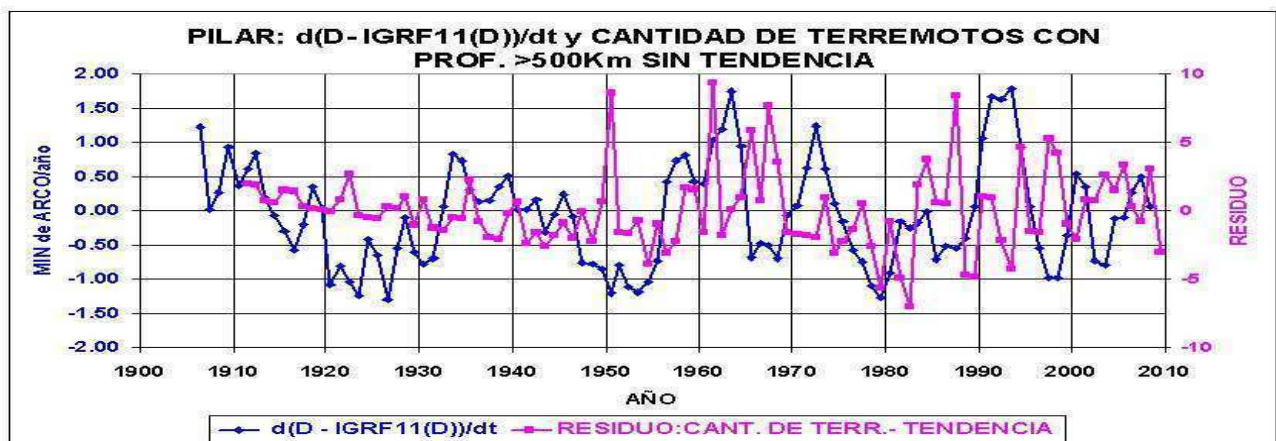


Figura 8. VSR de D y cantidad de terremotos sin tendencia.

Como se puede apreciar en la figura 8, es posible determinar tres eventos: El primero desde 1911.5 a 1948.5 donde la VSR disminuye y es acompañado por el STTP. El segundo desde 1948.5 donde la VSR acompaña a la STTP con los cambio en forma parabólica hasta 1979.5, y a partir de allí el tercero en forma creciente. Se observan dentro de estos eventos procesos de cambios de la VSSR opuesto a los cambios de STTP.

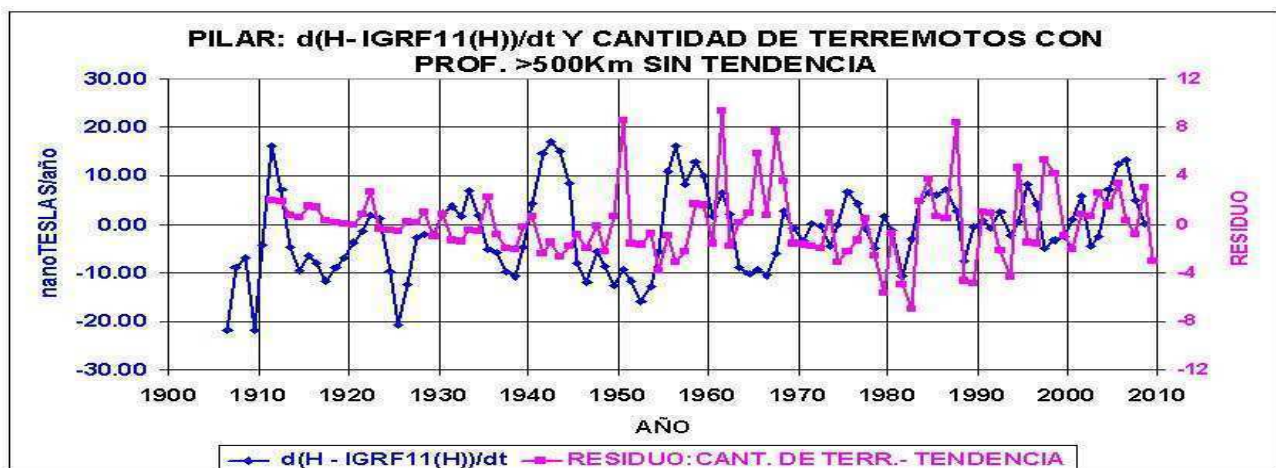


Figura 9. VSR de H y cantidad de terremotos sin tendencia.

En la figura 9 solamente se observan procesos de cambios de oposición de fase acompañados con pocos cambios en fase.

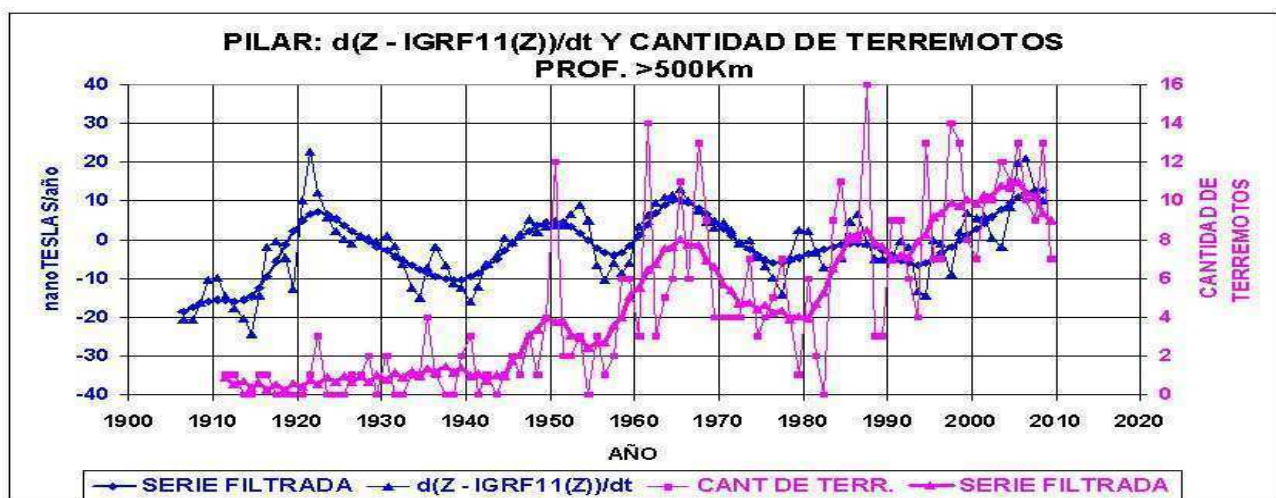


Figura 10. Serie de la VSR y STTP, original y filtradas por un filtro pasa bajos.

De los datos mostrados en la figura 10, se obtuvo una correlación aceptable de .54.

CONCLUSIONES.

Los cambios producidos en el material del manto a profundidades hipocentrales de $H > 500\text{km}$, producto de la subducción de la Placa de Nazca, podrían generar procesos de fundición de dicho material con cambios en su conductividad. La STTP representaría un indicador de estos procesos en la región de $H > 500\text{km}$. De esta forma la difusión de las componentes del campo magnético generado en el núcleo externo de la Tierra, registradas en el OMP de Pilar, tendrían cambios en su variación secular por un congelamiento local (Jeanloz 1990 pag. 379). Este fenómeno se presume que ocurre también en la región de acoplamiento entre el manto y el núcleo externo de la Tierra, donde surge la hipótesis de intercambio de material entre estas regiones y que se traduce en cambios de conductividad y cambios en el proceso de difusión (Jeanloz, 1990, fig. 9 pag. 379). Este proceso conduciría a producir los pulsos observables en las componentes del Campo Magnético Terrestre y su relación con los cambios de la velocidad de rotación terrestre, (Jacobs, 1987). Este trabajo se completará con estudios más detallados y comparativos con otros OMP de la región tal como Huancayo (Lat $12^{\circ} 3' \text{ S}$; Long.: $75^{\circ} 19' 49'' \text{ O}$) y Vassouras (Lat.: $22^{\circ} 24'$; Long.: $43^{\circ} 39' \text{ O}$) que contienen series de VMA comparables con las de Pilar.

REFERENCIAS.

- Frolich, C. Deep.2006. Deep Earthquakes. Cambridge University Press. Cambridge. Pp: 191-294.
- Jacobs, J.A. 1987. The Earth's Core. Academic Press. Pp:267-282.
- Jeanloz, R. 1990. The Nature of the Earth's Core. Ann. Rev. Of Earth and Planet. Sci. Vol 18. Pp: 357-386
- Ruegg, J. C., A. Rudloff, C. Vigny, R. Madariaga, J.B. de Chaballier, J. Campos, E. Kausel, S. Barrientos, and D. Dimitrov. 2009. Interseismic strain accumulation measured by GPS in the seismic gap between Constitución and Concepción in Chile. PEPI, Vol 175, pp. 78-85.

PATRONES DE ANOMALIAS DEL REGIMEN ANUAL PARA EL RIO BERMEJO

Marina Fernández ¹, Rosa Compagnucci ^{1,2}, Gabriel Silvestri ³

¹ Departamento Ciencias de la Atmósfera y los Océanos / FCEN-UBA

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

³ Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA) / CONICET-UBA

Resumen

En este trabajo se analizan los modos principales de anomalías del régimen anual del río Bermejo mediante el análisis de Componentes Principales. Esta metodología permite describir las diferentes formas que puede tener el ciclo anual de anomalías de caudal y cual fue la estructura dominante en cada uno de los años estudiados. La ocurrencia de cada uno de estos modos durante los eventos El Niño y La Niña es también analizada.

Palabras clave: río Bermejo; eventos El Niño-Oscilación del Sur; variabilidad climática

Abstract

Modes of annual regime of the Bermejo River are analyzed in this work using Principal Components analysis. This methodology lets to describe the different patterns of the annual cycle of river discharge anomalies and what was the dominant structure in each one of the studied years. The occurrence of each mode during El Niño and La Niña events is also analyzed.

Keywords: Bermejo River; El Niño-Southern Oscillation events; climatic variability

Introducción

La cuenca del río Bermejo se extiende sobre una extensa franja con orientación noroeste-sudeste cubriendo parte del sur de Bolivia y de las provincias argentinas de Salta, Jujuy, Formosa y Chaco. En la Cuenca Superior, el río Bermejo tiene un ciclo anual bien definido con valores mayores al módulo entre diciembre y abril (Figura 1). Los máximos caudales se producen en el bimestre febrero-marzo mientras que los mínimos se registran entre agosto y octubre. Este ciclo anual es la respuesta a los máximos de precipitación que normalmente se producen durante el período estival en esta parte del continente Sudamericano teniendo una respuesta inmediata en la variabilidad del caudal en la Cuenca Superior.

Algunas características del caudal del río Bermejo fueron mostradas por Pasquini y Depetris (2007) pero la mayor parte de la bibliografía referida al tema se encuentra en informes o notas técnicas (ejemplo: <http://www.corebe.org.ar>). Para avanzar en el conocimiento de los forzantes de su variabilidad, en este trabajo se analizan los patrones de anomalías del régimen anual del río Bermejo. La metodología utilizada permite describir los modos principales de régimen de anomalía de caudal y además permite identificar los años en que se verificó cada uno de ellos. La ocurrencia de esos modos principales durante las fases El Niño y La Niña es también analizada.

Datos y metodología

Valores anuales del caudal del río Bermejo en el periodo 1940-2009 medido en Pozo Sarmiento (23.13°S, 64.12°W) fueron obtenidos de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de Argentina. Se analizan los patrones de anomalías del régimen anual del río calculándose las anomalías respecto a la media del periodo 1961-1990.

Los patrones de anomalías fueron obtenidos mediante el análisis de Componentes Principales (Green, 1978) considerando como variables a los regímenes de anomalías en cada año. Se aplicó rotación de tipo VARIMAX y las componentes significativas fueron determinadas en base al coeficiente de congruencia definido en Richmann (1986). Esta metodología muestra las Componentes Principales (scores) que describen la variabilidad del ciclo anual de anomalías de caudal y las Componentes de Carga (loadings) que son series temporales representando la correlación entre las Componentes Principales y cada serie anual de anomalía de caudal. Por lo tanto, debe esperarse buena semejanza entre cada Componente Principal y la onda anual de

anomalía de caudal en aquellos años en que la Componente de Carga sea cercana a 1. Relaciones inversas deben verificarse cuando la Componente de Carga es cercana a (-)1. En este análisis se definieron como modos directos (inversos) aquellos en los cuales los valores de la Componente Principal son positivos en el período diciembre-abril que es cuando los caudales mensuales son mayores (menores) que el módulo (Figura 1).

Resultados

El análisis de Componentes Principales indica que cinco modos de variabilidad de anomalía de caudal resultan ser estadísticamente significativos representando cada uno de ellos un patrón anual diferente. Estos modos y un año característico de su ocurrencia en modo directo (Componente de Carga cercana a 1) e inverso (Componente de Carga cercana a -1) se muestran en la Figura 2. Las Componentes Principales se presentan siguiendo un orden decreciente de varianza explicada.

El modo 1 directo (inverso) describe importantes anomalías positivas (negativas) entre enero y abril producidas después de meses con anomalías de signo opuesto (Figura 2a). Estas características se observaron, por ejemplo, en los caudales 1962-1963 y 1968-1969 cuando la onda anual de anomalía de caudal adquirió las características de los modos directo e inverso, respectivamente (Figuras 2b-c).

El modo 2 representa casos en los cuales la anomalía más importante ocurre en febrero (mes de máximo caudal, Figura 1) y generalmente es acompañada por anomalías de signo opuesto en abril (Figura 2d). Estas características se verificaron en los ciclos 1989-1990 (modo directo) y 1996-1997 (modo inverso) (Figuras 2e-f).

El modo 3 directo (inverso) caracteriza casos en que se producen importantes anomalías positivas (negativas) en diciembre y marzo con anomalías que pueden ser de signo opuesto en enero-febrero y de muy pequeña magnitud durante el resto del año (Figura 2g). En los ciclos 1950-1951 y 2008-2009 el caudal mostró características como las de los modos directo e inverso, respectivamente (Figuras 2h-i).

La estructura del modo 4 representa casos con anomalías de un mismo signo durante gran parte del año pero con una marcada disminución de la magnitud de las anomalías en febrero respecto de las magnitudes durante el resto del periodo de mayor caudal diciembre-abril (Figura 2j). Las características directas e inversas de este modo se observan en los ciclos 1970-1971 y 1985-1986 (Figuras 2k-l). La ocurrencia de ciclos anuales de caudal donde la magnitud de las anomalías cambian de manera importante de un mes a otro entre diciembre y abril es representada por el modo 5 (Figura 2m) con claros ejemplos en los ciclos 1960-1961 y 1943-1944 (Figuras 2n-o).

La serie de las Componentes de Carga permite localizar temporalmente la ocurrencia conjunta del respectivo patrón de anomalías y la correspondiente fase del ciclo El Niño-Oscilación del Sur (ENOS). En la Figura 3 se muestran las series de las Componentes de Carga de cada modo indicándose la ocurrencia de eventos El Niño y La Niña durante el período estival (ver <http://www.cpc.ncep.noaa.gov> para inicio y fin de periodos El Niño y La Niña).

El modo 1 generalmente se presenta en su patrón inverso durante la ocurrencia de eventos El Niño tal como lo indica valores habitualmente negativos de la Componente de Carga durante estos eventos (Figura 3a). Por el contrario, existe casi la misma cantidad de casos en que este modo se dio en su forma directa como inversa durante eventos La Niña. En las componentes 2, 3 y 4 la ocurrencia de las fases directa e inversa no muestra preferencia tanto en eventos El Niño como La Niña (Figuras 3b-d) pero la componente 5 es más común en su modo inverso durante eventos El Niño (Figura 3e).

Las características descritas por la Figura 3 sugieren que ninguna de las Componentes estudiadas puede asociarse a una típica estructura del caudal durante eventos El Niño o La Niña puesto que no se observa que estos eventos se den generalmente con altos valores de la Componente de Carga de un modo particular.

Conclusiones

Los modos principales de variabilidad de anomalías de caudal describen las diferentes características que puede tener la onda anual de anomalías del río Bermejo. De las componentes y ejemplos mostrados resulta evidente que durante el periodo verano-otoño fuertes anomalías pueden ser seguidas por anomalías de signo opuesto en alguno de los meses siguientes. Esto resulta razonable puesto que se está analizando el caudal cerca de la naciente del río lo que hace que sea determinante la influencia de la variabilidad de la precipitación en la variabilidad del caudal.

Los resultados muestran una relación ambigua entre los caudales del río Bermejo y el ciclo ENOS. La Componente 1, que implica el mismo signo de anomalía desde diciembre hasta abril, es la que aparentemente muestra mayor relación siendo a su vez la que explica mayor varianza. Pero de ella y de su correspondiente Componente de Carga se inferiría una tendencia a tener muy bajos caudales durante todo el período

diciembre-abril de la fase positiva del ENOS, mientras que sería poco probable la relación inversa. Estos primeros resultados son indicadores de la alta incertidumbre presente cuando se realiza un pronóstico de los caudales del río Bermejo en base a pronósticos del ciclo ENOS y muestran la necesidad de profundizar el estudio de la relación entre la variabilidad del caudal de este río y las condiciones de temperatura superficial del mar, en especial en la región del Océano Pacífico ecuatorial.

Referencias

Green, P. 1978. Analyzing Multivariate Data. The Dryden Press.

Pasquini, A., P. Depetris. 2007. Discharge trends and flow dynamics of South American rivers draining the southern Atlantic seaboard: An overview. *Journal of Hydrology*, 333: 385-399.

Richman, M. 1986. Rotation of principal components. *International Journal of Climatology*, 6: 293-335.

Agradecimientos

Esta investigación fue financiada por los proyectos AGENCIA-MINCYT PICT-2007-00438 y UBACYT X-016.

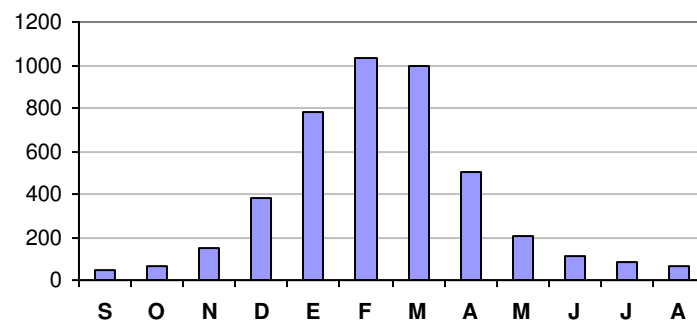


Figura 1: Caudal medio mensual del río Bermejo en el período 1940-2009. Unidades: m^3/s . El valor medio (modulo) es $370 \text{ m}^3/\text{s}$.

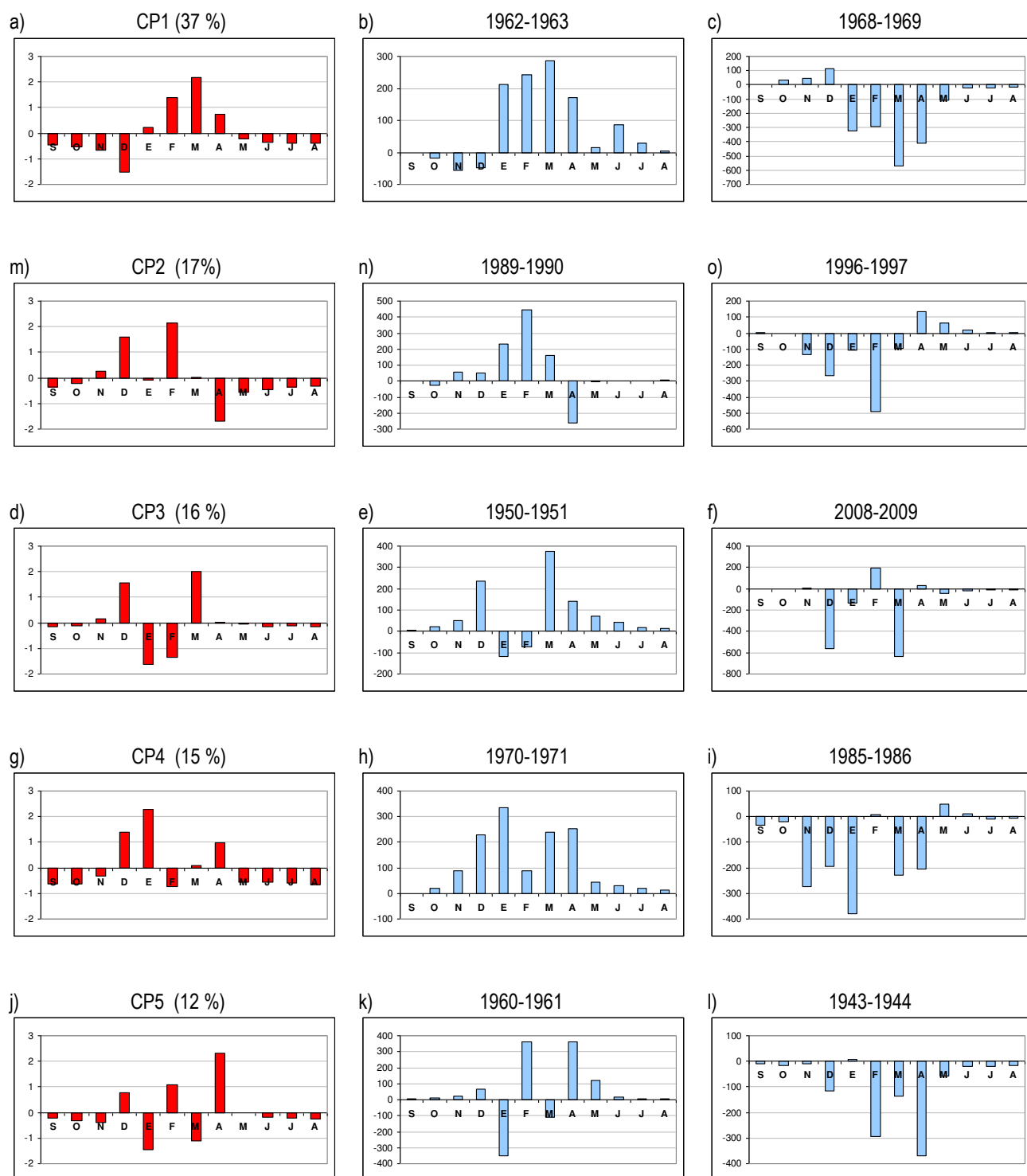


Figura 2: Componentes Principales (CPs) de anomalías de caudal en el río Bermejo y varianza explicada (izquierda). Ejemplo de anomalía de caudal en modo directo (centro) e inverso (derecha).

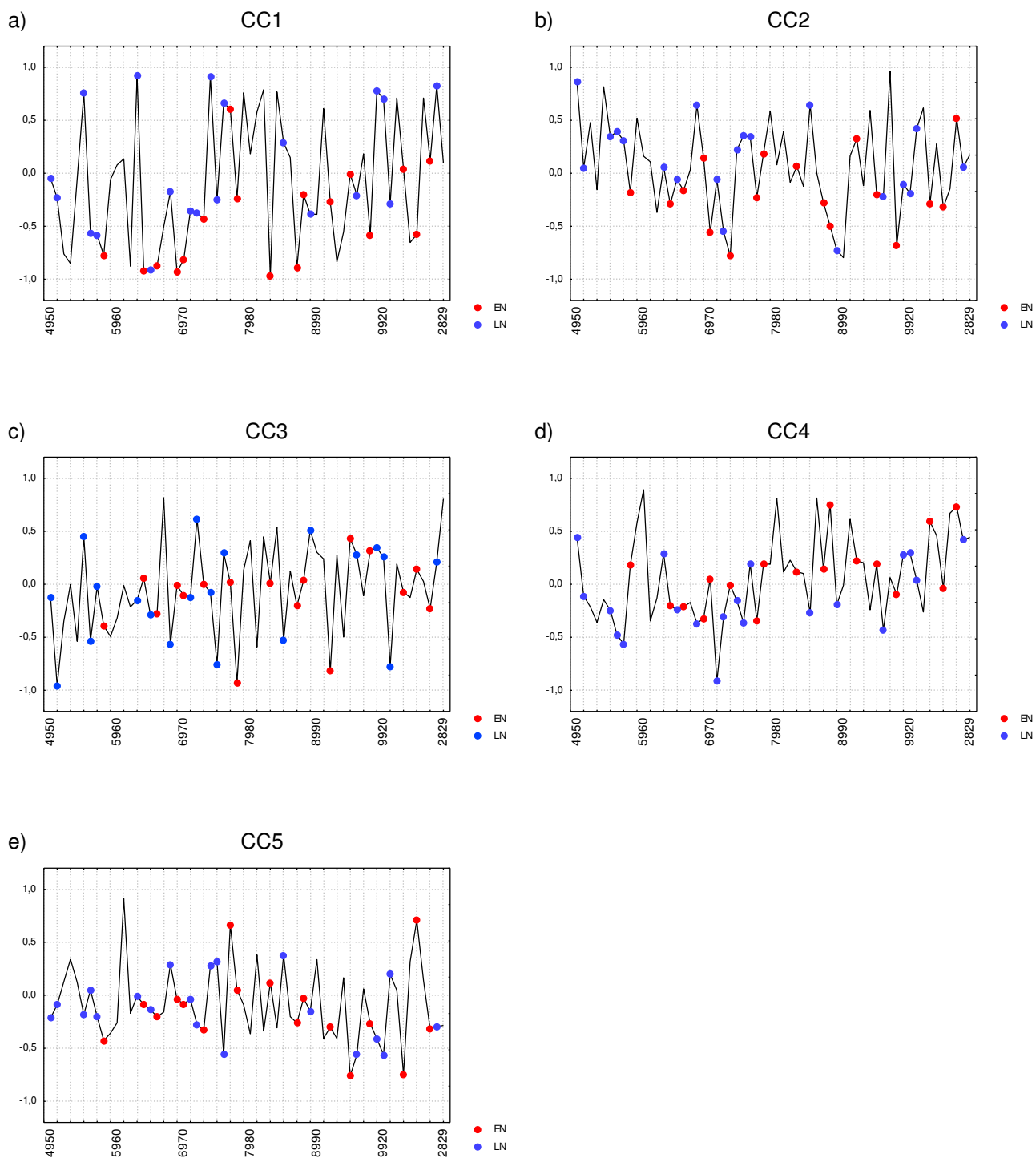


Figura 3: Componentes de Carga (CCs) de cada modo de variabilidad de anomalía de caudal. La ocurrencia de eventos El Niño y La Niña durante el verano se indica en rojo y azul, respectivamente.

INFLUENCIA DE LA ACTIVIDAD SOLAR EN LOS CAUDALES DE LOS RÍOS PARANÁ Y ATUEL

Gabriel Silvestri ¹, Rosa Compagnucci ^{2,3}, Victor Velasco ⁴

¹ Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA) / CONICET-Universidad de Buenos Aires

² Departamento Ciencias de la Atmósfera y los Océanos / FCEN- Universidad de Buenos Aires

³ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

⁴ Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México

Resumen

En este trabajo se analiza la posible influencia de la actividad solar en la variabilidad de los caudales de los ríos Paraná y Atuel en diferentes bandas de frecuencia. Relaciones estadísticamente significativas son encontradas en ambos ríos sugiriendo que la influencia del sol en el clima es importante sobre amplias regiones del sur de Sudamérica.

Palabras clave: río Paraná, río Atuel, actividad solar

Abstract

The possible influence of the solar activity in the variability of the Paraná and Atuel rivers discharge in different bands of frequency is analyzed in this work. Statistically significant relations are found in both rivers suggesting that the influence of the sun in the climatic variability is important over wide regions of the southern South America.

Keywords: Paraná river, Atuel river, solar activity

Introducción

La influencia de la actividad solar en la variabilidad climática global y regional es un tema de permanente debate. Los mecanismos físicos que gobiernan la interacción Sol-clima son muy complejos y muchos de sus aspectos todavía no son bien entendidos. Conocer las características de esta interacción puede ayudar a comprender las causas de la variabilidad climática y a definir escenarios más confiables de cambio climático. El objetivo de este trabajo es presentar evidencias de la compleja influencia de la actividad solar en la variabilidad de los caudales de los ríos Paraná y Atuel. Conocer las características de la relación Sol-río es un punto de partida para estudios detallados de la influencia de la actividad solar en el clima regional debido a que los caudales son buenos integradores del clima en la cuenca.

2. Datos

Valores mensuales de caudal del río Paraná (medido en Corrientes) y del río Atuel (medido en La Angostura) fueron cedidos por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de Argentina. Datos mensuales de manchas solares fueron obtenidos del National Geophysical Data Center (NGDC). El período de análisis es 1905-2003.

3. Metodología

Se utilizó el análisis Wavelet Coherence (WTC; Grinsted et al., 2004) entre los promedios anuales de anomalías mensuales (anomalías respecto a la media 1961-1990) de caudal y el número de manchas solares.

4. Resultados

El río Paraná exhibe variabilidad significativa en oscilaciones de 3.5, 11 y 30 años (figura no mostrada). También es importante la variabilidad de 22 años aunque es de menor valor estadístico. La periodicidad de 3.5 años podría estar asociada a los eventos ENSO pero los ciclos de 11 y 22 años son típicos de la variabilidad solar (ciclos de Schwabe y Hale) como las oscilaciones de 30 años (Pérez-Peraza y Velasco, 2008). El análisis WTC muestra significativas relaciones entre la actividad solar y la variabilidad del Paraná en oscilaciones de 6-16 años antes de 1935 y en una estrecha banda alrededor de 14 años después de 1980 (Fig. 1). Existen relaciones no lineales en oscilaciones de casi 30 años durante todo el siglo. También hay relaciones significativas no lineales y no estacionarias en bandas alrededor de 3.5 años.

El río Atuel tiene oscilaciones significativas en ondas de 4 y 11 años mientras que la variabilidad de 22 años es particularmente importante después de 1960 (figura no mostrada). El análisis WTC muestra covariabilidad

de tipo estacionaria en bandas alrededor de 11 años (Fig. 2). Esta conexión es no lineal y opuesta a la conexión en bandas alrededor de 4-6 años observada después de 1970. Una clara relación lineal es observada en oscilaciones multidecadales después de 1960.

5. Conclusiones

Se observan relaciones estadísticamente significativas entre la actividad solar y la variabilidad de los caudales de los ríos Paraná y Atuel con características particulares en cada río. Relaciones de tipo no-lineal y no-estacionaria muestran la complejidad de los mecanismos físicos que intervienen en ellas.

El caudal del río Paraná responde a la precipitación sobre la cuenca mientras que el río Atuel resulta del derretimiento de la nieve acumulada durante el invierno sobre los Andes. Por lo tanto, una significativa señal solar en ambos ríos sugiere que la influencia del sol es importante sobre amplias regiones del sur de Sudamérica y sobre diferentes variables climáticas.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por los proyectos AGENCIA-MINCYT PICT-2007-00438, UBACYT X-016 (Universidad de Buenos Aires), MINCYT A0811 and IN116705 (DGAPA-UNAM).

Referencias

Grinsted, A., J. Moore, S. Jevrejeva. 2004. Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series. *Nonlinear Processes Geophys.* 11(5/6): 561– 566.

Pérez-Peraza, J., V. Velasco. 2008. The 30-yr Cycle of Cosmic Rays. 37th COSPAR Scientific Assembly, p.2394.

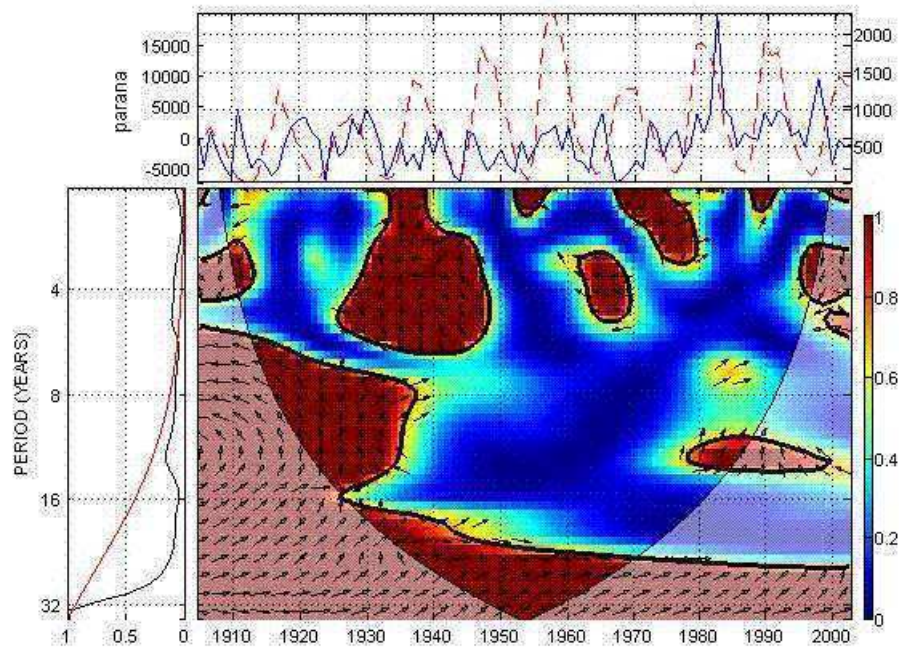


Figura 1: Caudal del río Paraná (en azul) y número de manchas solares (en rojo) (arriba); Global Coherence Wavelet Spectrum y Coherence Wavelet (abajo).

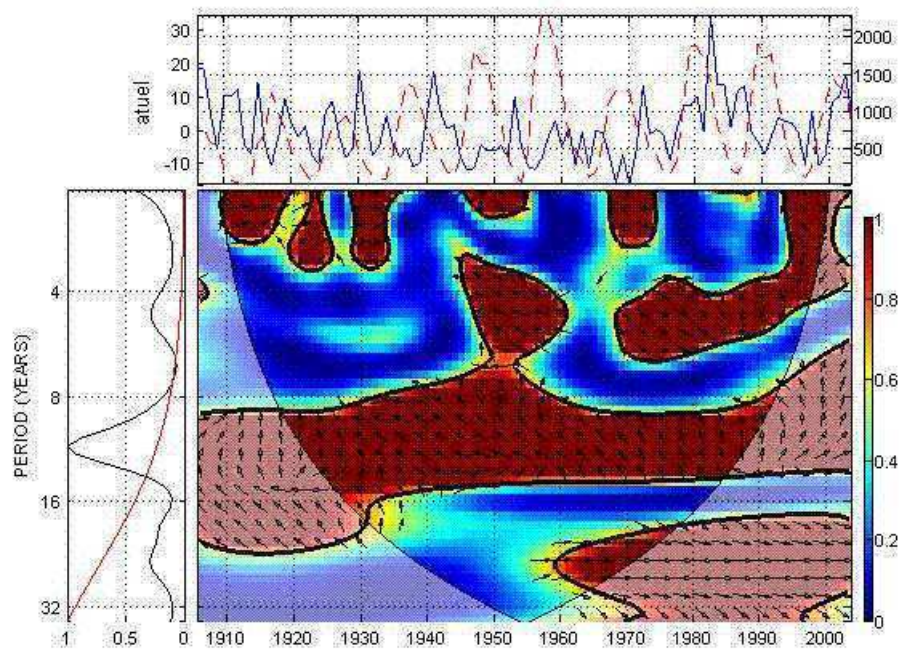


Figura 2: Como Fig. 1 pero para el río Atuel.

Evaluación del error generado, por la interpolación de la temperatura, en el cálculo del Balance Hídrico operativo en el Servicio Meteorológico Nacional

Liliana Núñez, E. Carolina González Morinigo, Vanina Ferrero, Gerardo Ogdon
Servicio Meteorológico Nacional

RESUMEN

La precipitación es la fuente renovable de agua dulce. La falta de precipitaciones o los excesos de ellas pueden derivar en desastres naturales. Una de las maneras de minimizar los efectos de los excesos y déficit hídricos es una buena preparación para la mitigación de los mismos, por lo que es imprescindible un buen monitoreo de la disponibilidad hídrica en el suelo. Una región con déficit hídrico puede contar con precipitaciones nulas o muy escasas o, por el contrario, con un total de precipitación considerable y que, no obstante, resulte insuficiente. Esto último ocurre cuando el agua precipitada no es aprovechada íntegramente, debido a factores que limitan su aprovechamiento, entre ellos se destaca la temperatura, la cual condiciona directamente la intensidad de la evaporación. Las temperaturas bajas atenúan la evaporación mientras que las elevadas la intensifican, pudiendo dar lugar a condiciones de sequía o déficit hídrico, aún en el caso de un mayor volumen de precipitación. Por lo tanto, el concepto de falta de humedad en el suelo no debe basarse sólo en la cantidad de precipitación sino, también en otros factores limitantes, el Balance Hídrico (BH) es una buena herramienta para evaluarla. Las estaciones meteorológicas, de la red sinóptica del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), se encuentran muy separadas unas de otras, esto sumado al hecho de la gran irregularidad del campo de las precipitaciones, hace que los datos que se poseen no tengan, en muchas regiones, la densidad necesaria para un buen monitoreo. Son muchas las provincias que poseen redes pluviométricas (mediciones de la precipitación) propias y varias las que han comenzado a enviar sus datos al Servicio Meteorológico Nacional. Actualmente en el Departamento Agrometeorología del SMN se están haciendo las adaptaciones necesarias para la incorporación de toda la información pluviométrica que se reciba en la institución al BH, para ello es necesario generar pseudodatos para todos aquellos necesarios y no registrados por las otras redes de medición. Al interpolar los datos de las estaciones sinópticas del SMN al resto de las estaciones surge la duda sobre el error que se pueda generar en el producto final del BH. Para evaluar el posible error que se podría llegar a cometer con la interpolación de la temperatura, se calculó el BH seriado decádico, con las estaciones del SMN, a lo largo del año 2009, con una diferencia de $\pm 1^{\circ}\text{C}$ y $\pm 2^{\circ}\text{C}$ en todos los datos de este parámetro. En el presente trabajo se presentan los resultados de la evaluación realizada, mostrándose que el proceso de interpolación no llevaría a errores de importancia en la mayor parte del país, por lo cual, el empleo del BH seriado puede extenderse a todos los datos pluviométricos que se posean.

ABSTRACT

Precipitation is the renewable source of freshwater. The lack of rainfall or the excesses can lead to disaster. One way to minimize the effects of water excesses and deficits is a good preparation for mitigating the same, so it is essential a proper monitoring of water availability in the soil. A region with water deficit can have zero or very low rainfall, or on the contrary, with considerable rainfall total, however, are insufficient. The latter occurs when the precipitated water is not exploited fully due to factors that limit their use, among them temperature, which directly affects the intensity of evaporation. Low temperatures lessen evaporation while high intensifies and can lead to conditions of drought or water shortage, even if is a larger volume of precipitation. Therefore, the concept of lack of moisture in the soil should not rely solely on the amount of precipitation but also on other limiting factors, the Water Balance (BH) is a good tool for evaluation. The meteorological stations of the synoptic network of National Meteorological Service (SMN in Spanish), are very separated one from each other, plus the fact of the great irregularity of the field of rainfall, makes the data we have do not have, in many regions, the density necessary for good monitoring. Many provinces have own rain gauge networks (measurements of rainfall) and several have begun to send their data to the SMN. Currently, the necessary adjustments for the incorporation of all rainfall information are made at the SMN Agrometeorology Department, that is received by the institution in BH, for this it is necessary to generate pseudodata for those not registered by the other systems of measurement. Interpolating the data from the SMN synoptic stations for the rest of the stations arises the question about the error that can be generated in the final product of the BH. To assess the possible error to commit with the interpolation of the temperature, it is calculated the daily BH, with the stations of the SMN along the year 2009, with a difference of $\pm 1^{\circ}\text{C}$ and $\pm 2^{\circ}\text{C}$ in all of data of this parameter. In this paper are presented the results of the assessment, showing that

the process of interpolation would not lead to significant errors (or significant) in most parts of the country, so the use of this serial BH can be extended to all data rainfall received.

INTRODUCCION

El clima de una región está determinado por una combinación de factores astronómicos, geográficos y meteorológicos, y constituye el recurso natural más importante para el desarrollo de las economías regionales. De todas las variables climáticas, la temperatura y la precipitación son las más importantes dado que determinan, en mayor medida, las posibilidades productivas de una región. La precipitación es la fuente renovable de agua dulce. La falta o los excesos de ella puede derivar en desastres naturales. Una de las maneras de minimizar los efectos de los excesos y déficit hídricos es una buena preparación para la mitigación de los mismos, por lo que es imprescindible un buen monitoreo de la disponibilidad hídrica en el suelo, su conocimiento es de vital importancia para el desarrollo de las actividades agronómicas, hidrológicas y meteorológicas. En el primer caso, el conocer el contenido de agua en el suelo es de interés ya que en los cultivos de secano es uno de los principales limitantes para su crecimiento y es fundamental para la definición de las estrategias para el buen manejo del agua. Una región con déficit hídrico puede contar con precipitaciones nulas o muy escasas o, por el contrario, con un total de precipitación considerable y que, no obstante, resulte insuficiente. Esto último ocurre cuando el agua precipitada no es aprovechada íntegramente, debido a factores que limitan su aprovechamiento, entre ellos se destaca la temperatura, la cual condiciona directamente la intensidad de la evaporación. Las temperaturas bajas atenúan la evaporación mientras que las elevadas la intensifican, pudiendo dar lugar a condiciones de sequía o déficit hídrico, aún en el caso de un mayor volumen de precipitación. Por lo tanto, el concepto de falta de humedad en el suelo no debe basarse sólo en la cantidad de precipitación sino también en otros factores limitantes, el Balance Hídrico (BH) es una buena herramienta para evaluarla. En tal sentido desde hace varios años en el SMN se viene calculando y publicando decadalmente, para todas las estaciones de su red Sinóptica, un BH seriado, desde ahora BHs (Berrios Cáceres et al, 2008, Sierra, 1978, Sierra, 1984), pero las estaciones meteorológicas de esta red se encuentran muy separadas unas de otras, esto sumado al hecho de la gran irregularidad del campo de las precipitaciones, hace que los datos que se posean no tengan, en muchas regiones, la densidad necesaria para un buen monitoreo.

Dado que son muchas las provincias que poseen redes pluviométricas (mediciones de precipitación) propias y que son varias las que han comenzado a enviar sus datos al SMN, en el Departamento Agrometeorología de esta institución se están haciendo las adaptaciones necesarias para la incorporación al BHs de toda la información pluviométrica que se reciba, para lograr una mejor resolución del mismo y cubrir las necesidades de áreas cada vez mayores. Para incorporar al BHs todas las localidades que poseen datos pluviométricos es necesario generar pseudodatos para todos aquellos necesarios y no registrados por las otras redes de medición; al hacerlo surge la duda sobre el error que se podría generar en el producto final del BHs. Para evaluarlo, en este trabajo se analizan dos posibles métodos de generación de los mencionados pseudodatos: manteniendo un error constante en la temperatura y aplicando un método de interpolación a partir de los datos del SMN para obtener los de las otras localidades, para esto último se utilizó la información de algunas estaciones del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).

DATOS Y METODOLOGÍA

Los datos utilizados son los correspondientes a la red sinóptica del SMN y los de las estaciones del INTA (Fig.1) que se incluyen en el Boletín Agrometeorológico Mensual (SMN-INTA) que se publica cada mes, en la página WEB del SMN. Se eligió para esta prueba a las mencionadas estaciones del INTA dado que ellas son recibidas todos los meses y que las mismas cuentan con mediciones tanto de temperatura mínima como de máxima. Las series de tiempo utilizadas son las correspondientes al año 2009, período en que culminó un déficit hídrico record en los últimos 40 años en gran parte de la Pampa Húmeda Argentina, principal área productiva agropecuaria del país.

Se calculó el BHs para las estaciones del SMN con sus temperaturas reales (BHsr), luego con una diferencia constante en todas las temperaturas o error de -1°C (BHs-1) y a continuación con un error de $+1^{\circ}\text{C}$ (BHs+1).

Para el BHs correspondiente al 31 de diciembre se calculó la diferencia entre el BHs real y los BHs-1 y BHs+1. A continuación se realizó lo propio con un error constante en la temperatura de -2°C y de $+2^{\circ}\text{C}$.

Para completar el estudio se calculó el BHs para las estaciones INTA con sus datos observados y posteriormente se repitió el cálculo pero ahora, con las temperaturas resultantes de una interpolación del campo de esta variable, obtenido a partir de las estaciones del SMN, realizada mediante el método Kriging.

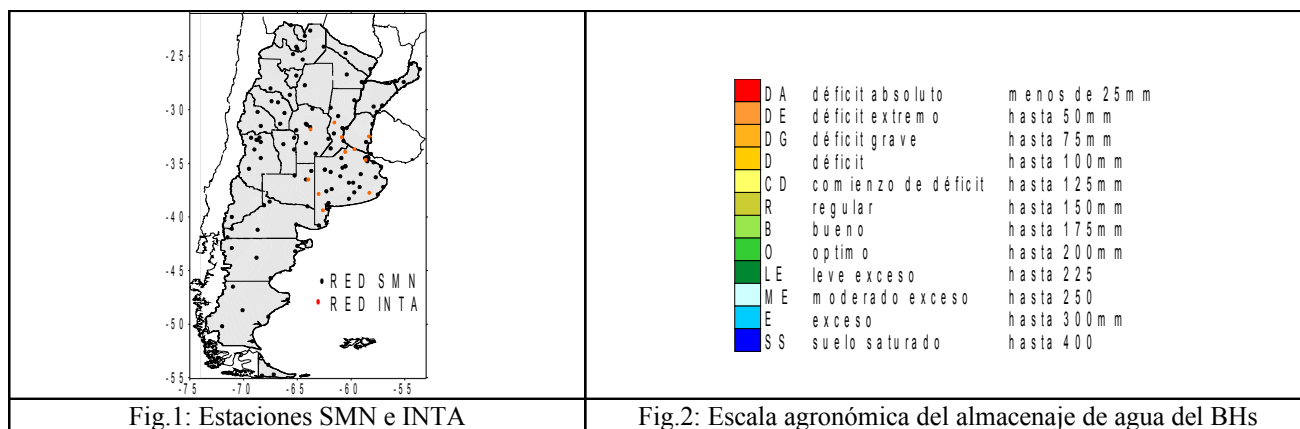


Fig.1: Estaciones SMN e INTA

Fig.2: Escala agronómica del almacenaje de agua del BHs

RESULTADOS

Década a década al realizar los BHs+1 y Bhs-1 se va acumulando parte del error generado por la diferencia en la temperatura, dependiendo esto principalmente de la precipitación, luego, después de un año de cómputo, el BHs del 31 de diciembre presenta el error resultante a lo largo de todo el período, lo mismo ocurre al realizar los BHs+2 y Bhs-2. Dado que los errores de BHs+1 y Bhs-1 son similares en cuanto al comportamiento espacial y temporal y de menor magnitud a los de BHs+2 y Bhs-2 solo presentaremos los resultados obtenidos a partir de estos últimos.

Para el último día del año, de la diferencia entre BHs+2 y el BHsr (Fig.3-a) surge que, en la mayor parte del país, esta es inferior a 25 mm, valor equivalente a un cambio de calificación en el BH que se está realizando (Fig.2). Algo similar se observa al analizar la diferencia entre BHs-2 y BHsr (Fig.3-b).

Dado que es muy difícil, que a lo largo de todo un año la temperatura sea interpolada con una diferencia que mantenga siempre el mismo signo, para tener una primera aproximación al valor que se podría obtener con un procedimiento intermedio a partir de la generación de valores random entre -2 y $+2^{\circ}\text{C}$, se calculó el promedio de ambos campos (Fig.3-c), en este caso, la diferencia máxima no superó los 25 mm, en casi todo el país la diferencia fue inferior a 5 mm. y el área con valores superiores a los 10 mm se redujo considerablemente.

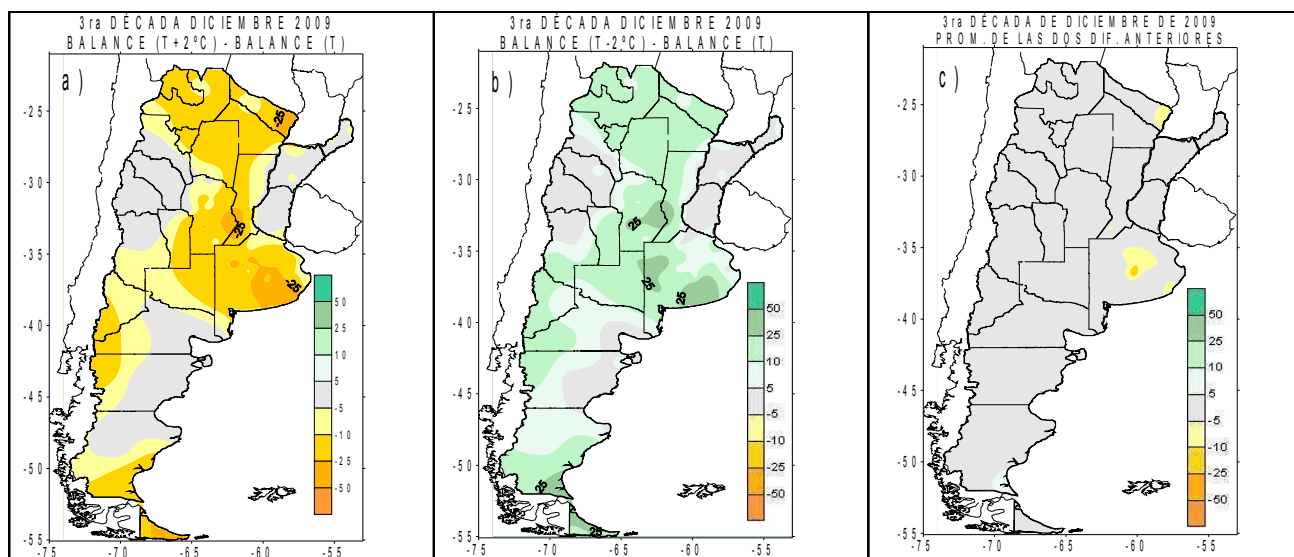


Fig.3: Campos correspondientes a la tercera década de diciembre de 2009. a) Diferencia entre el BHs+2 y BHsr. b) Diferencia entre el BHs+2 y BHsr, y c) Promedio de los campos anteriores.

De lo observado se dedujo que era bastante promisorio la realización de la interpolación por lo que se calculó el BHs para las estaciones INTA con el valor registrado en esas estaciones, y en luego se repitió el procedimiento con el valor de la temperatura interpolada.

Se analizaron los valores absolutos de las diferencias entre ambos BHs para cada una de las décadas del año, y para cada una de las estaciones INTA, calculándose luego la mediana y los valores extremos con sus amplitudes (Tabla 1).

Las dos estaciones que muestran los resultados más alejados de la realidad son Balcarce y Concepción del Uruguay.

Tabla 1: Estadísticos del valor absoluto de las diferencias decádicas entre los BHsr y BHsi.				
Estación	Mediana	Máximo	Mínimo	Amplitud
Balcarce	5.9	9.7	0.7	9
C. del Uruguay	4.5	6.7	0.2	6.6
Oliveros	4.2	8.6	0	8.6
Manfredi	4	6.7	0.5	6.2
Pergamino	2.6	4	0.1	3.9
Anguil	2.2	5.4	0.9	4.5
Bordenave	1.6	2.4	0.2	2.2
San Pedro	1.1	3.8	0	3.8
Castelar	0.7	2.1	0.1	2
H. Ascasubi	0.2	0.3	0	0.3

Balcarce, ubicada en el sudeste de Buenos Aires, cercana a la zona en la que se registró el máximo error en la Fig.3c, presenta también el máximo error y la máxima amplitud en el mismo, siendo negativo a lo largo de todo el año, comienza con un valor de -0.7 mm y en forma irregular va aumentando a lo largo del año hasta concluir el 31 de diciembre con -9.7 mm (Fig.4a). A pesar del error mostrado el BHsi sigue muy bien al BHsr (Fig.4b), a lo largo de todo el año, en casi todas las décadas ambos balances presentan la misma calificación, déficit hídrico, en casi en todo el período.

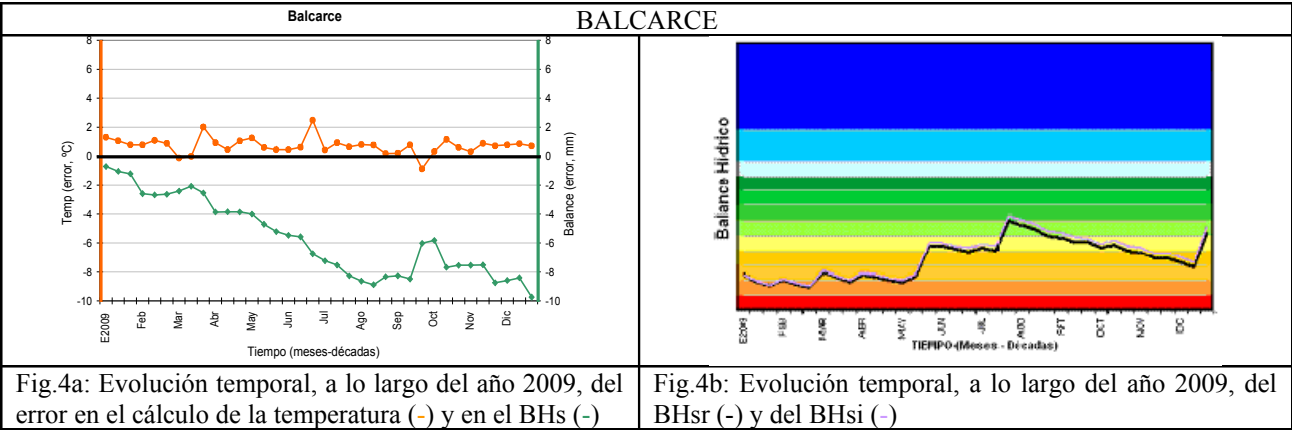


Fig.4a: Evolución temporal, a lo largo del año 2009, del error en el cálculo de la temperatura (-) y en el BHs (-)

Fig.4b: Evolución temporal, a lo largo del año 2009, del BHsr (-) y del BHsi (-)

En Concepción del Uruguay, en el este de Entre Ríos, su mediana y amplitud del error se ubicaron en segundo y tercer lugar respectivamente. En esta estación el error presenta un comportamiento totalmente distinto, manteniéndose positivo a lo largo de todo el año (Fig.5a), aumenta hasta mediados de septiembre donde alcanza su máximo valor para luego disminuir hasta alcanzar su segundo mínimo al final del período de estudio. La evolución del balance es marcadamente distinta a la de los dos anteriores, a lo largo de casi todo el período las condiciones son buenas a con excesos, presentando estas últimas condiciones en dos oportunidades (Fig.5b).

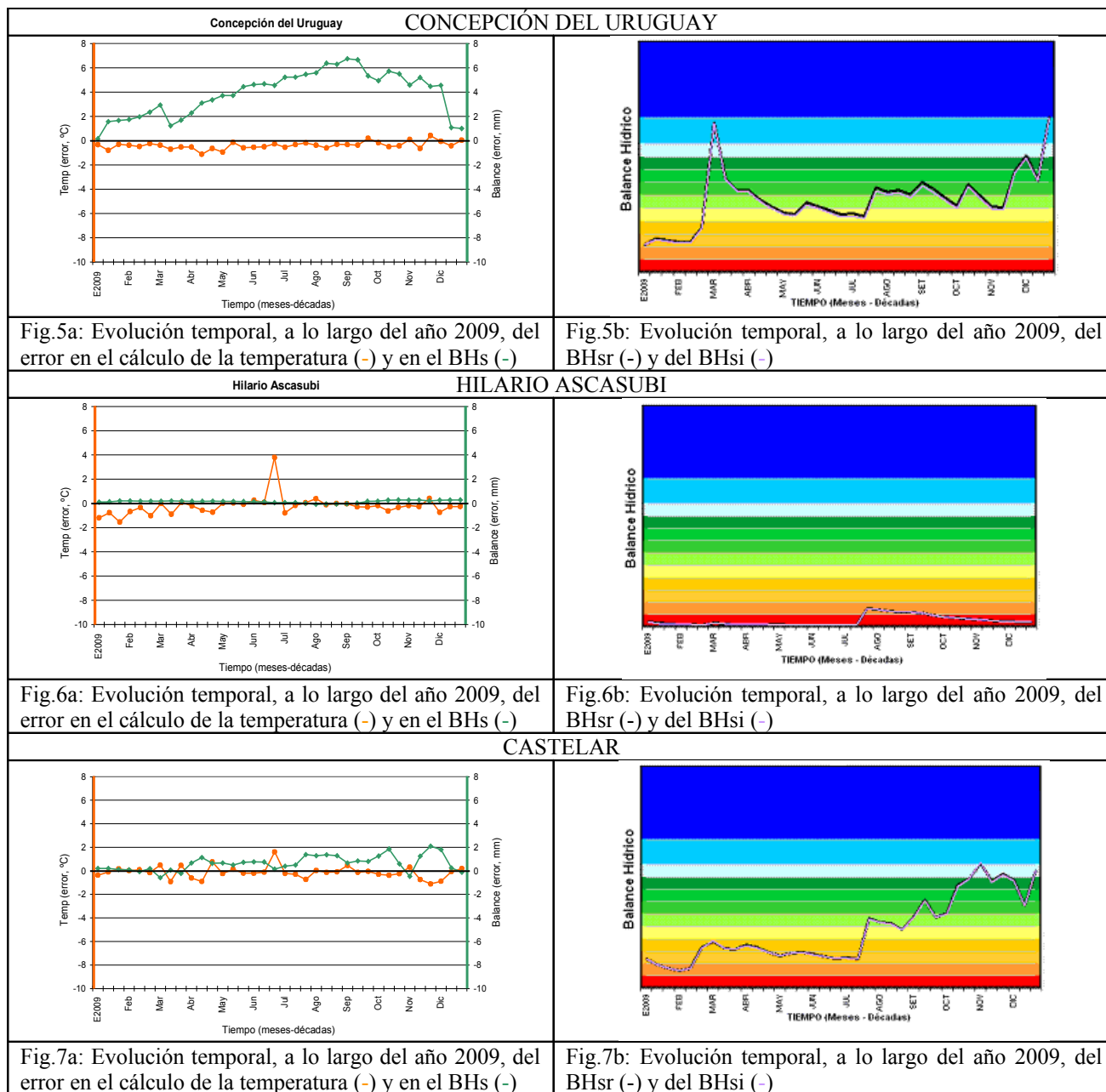
Las estaciones que mostraron los mínimos errores fueron Hilario Ascasubi y Castelar, la primera, ubicada en el extremo sur de Buenos Aires, al sudoeste de la isoyeta de 600 mm anuales (1971-2000), presentó los mínimos errores, éstos se encontraron entre 0.0 mm y 0.3 mm, con una mediana de 0.2 mm. También presentó el máximo error en la temperatura, siendo éste de 4°C (Fig.6a), a pesar de esto y dado a la falta de humedad existente el error del BHs fue cero. Dado el permanente y agudo déficit hídrico registrado en la zona (Fig.6b) es difícil sacar conclusiones.

En Castelar, ubicada en el noreste de Buenos Aires, también se observaron muy buenos resultados. Los errores fueron casi siempre positivos, entre -0.1 mm y 2.1 mm (Fig.7a), con los segundos valores más bajos en la mediana, 0.7mm. El BHsi representa tanto a los períodos de déficit hídrico como a los de excesos (Fig.7b)

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se presentan los resultados de la evaluación realizada para la incorporación al BHs de estaciones pluviométricas que no poseen datos de temperatura. Se concluyó que el proceso de interpolación

no llevaría a errores de importancia en la mayor parte del país, por lo cual, el empleo del BHs puede extenderse a todos los datos pluviométricos que se posean. En algunas estaciones, no es claro el comportamiento de la evolución del error a lo largo de este año, por lo que esto será objeto de estudio en otro trabajo.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Berrios Cáceres, S., E. Gonzalez Morinigo, L. Núñez, S. Pérez, E. Sierra, M. Skansi, 2008. Desarrollo de un sistema de monitoreo de un balance hidrológico seriado para el S.M.N. XII Reunión Argentina de Agrometeorología. 8 al 10 de Octubre del 2008. Jujuy. Argentina.
- Sierra E. y O. Pórfido, 1978. "Evaluación comparativa de diversas fórmulas de Evapotranspiración Potencial en la Región Pampeana". Meteorológica, 8/9:99-107,1997-78.
- Sierra E., 1984. Procesamiento automático del Balance Hidrológico Seriado Mensual. Rev. Facultad de Agronomía, 5 (1-2): 115-124.

MAPAS ISOCERAUNICOS DE LA REPUBLICA ARGENTINA, UTILIZANDO LA RED WWLLN

M. Gabriela Nicora², Rodrigo E. Bürgesser¹, Jacobo O. Salvador³, Elian A. Wolfram², Marcelo M. Raponi², Lidia A. Otero², Pablo R. Ristori², Edgardo E. Avila¹, Eduardo J. Quel²

¹ FaMAF, Universidad Nacional de Córdoba, IFEG-CONICET.

² Centro de Investigaciones en Láseres y Aplicaciones (CITEFA-CONICET), Villa Martelli, Argentina

³ Centro de Investigaciones en Láseres y Aplicaciones (CITEFA-CONICET), Río Gallegos, Argentina

RESUMEN:

Disponer de información de la actividad eléctrica en el territorio nacional es un elemento fundamental para la vigilancia atmosférica, ya que las mismas poseen aplicaciones de relevancia en cuestiones de seguridad, defensa, alerta temprana ante crisis y generación de datos estadísticos para la planificación de proyectos de infraestructura.

Hasta el momento la Argentina no cuenta con una red propia para la detección de rayos, pero la red global terrestre World Wide Lightning Location Network (WWLLN) posee estaciones en Córdoba, Río Gallegos y Trelew que proporciona una importante cobertura del territorio nacional. Por lo tanto es posible utilizar esta información para realizar un estudio sobre la actividad eléctrica atmosférica de la Republica Argentina.

El objetivo del presente trabajo es la utilización de los datos de descargas eléctricas atmosféricas detectados por la red WWLLN durante el período 2005-2009 para la confección de los mapas isoceraúnicos de la Republica Argentina.

De los mapas isoceraúnicos confeccionados se observa que es factible el uso de esta nueva metodología para poder realizar una evaluación de la actividad eléctrica atmosférica en la republica Argentina, ya que los mapas confeccionados con estos datos son cualitativamente similares a los confeccionados por el Servicio Meteorológico Nacional en las últimas décadas. Sin embargo, se observan diferencias cuantitativas importantes en la región Noroeste y la región patagónica Argentina, las cuales es necesario estudiar con mayor profundidad.

La metodología utilizada en este trabajo presenta importantes ventajas frente a las utilizadas por el SMN, puesto que la red WWLLN, mediante la detección remota, cubre regiones que están fuera del alcance de las estaciones del SMN.

Palabras Claves: **Rayos, Isoceraúnicos, WWLLN, Argentina**

ABSTRACT

The lightning activity information over the national territory is fundamental to the atmospheric surveillance because the lightning activity have relevant application on different aspect like security, defense, early warning system and for generation of statistic data for planning infrastructure project.

Argentina does not have a lightning detection network but the World Wide Lightning Location Network (WWLLN) have detection stations in Córdoba, Río Gallegos and Trelew which provide a good coverage over the national territory. Therefore it is possible to use the information obtained by the WWLLN to study the lightning activity over Argentina.

The objective of the present work is the use of the lightning activity data obtained by the WWLLN network during 2005-2009 to make the isoceraunic maps of Argentina.

The isoceraunic maps made with the WWLLN data show qualitative similarities with the maps made using the Servicio Meteorológico Nacional data in the last decades. However, there are significant differences mainly in the Northwest and Patagonia regions, which deserve a more detailed study.

The methodology used in this work has considerable advantages over those used by the SMN, since WWLLN network, through remote sensing, covers regions which are outside the scope of the SMN stations.

Key word: Lightning, Isoceraunic, WWLLN, Argentina

INTRODUCCION

Los mapas isoceraúnicos son generados por el SMN en base a las observaciones realizadas en estaciones meteorológicas del país. Estos mapas son utilizados para el cálculo de protecciones de descargas eléctricas. Sin embargo, en los últimos años se observa que existe un cambio muy pronunciado en las curvas isoceraúnicas (Arcioni, 2006) por lo que se hace necesario utilizar otras herramientas para la construcción de los mismos.

La densidad de rayos no ha sido generalmente un parámetro simple para medir. Es más sencillo, para los operadores meteorológicos, medir el número de días por mes o por año en los cuales se oyó un trueno o se observó una descarga eléctrica. Se han realizados considerables esfuerzos en relacionar los días de tormenta con la cantidad de rayos, ya que el conocimiento de este parámetro es importante para el diseño de sistemas de protección contra descargas eléctricas. La mayoría de las relaciones son de la forma,

$$N_g = a \cdot T D^b$$

Donde N_g es el número medio anual de rayos por kilómetro cuadrado, TD es el número medio anual de días con tormentas eléctricas, y a y b son parámetros empíricos. Típicamente, $a=0,1-0,2$ y $b=1$.

Sin embargo, hoy en día existen sistemas de detección de descargas eléctricas, los cuales utilizan la radiación electromagnética y acústica que emiten estos eventos para su localización espacial y temporal.

Uno de estos sistemas de detección es la red mundial de detección de descargas (World Wide Lightning Location Network; WWLLN), la cual está conformada, en este momento, por mas de 40 estaciones sensoras distribuidas alrededor del mundo (<http://webflash.ess.washington.edu/>). En la Argentina se encuentran instaladas tres estaciones, la mas antigua está en la Facultad de Matemática, Astronomía y Física de la Universidad Nacional de Córdoba en funcionamiento desde Junio de 2005, desde Diciembre del 2009 se encuentra en funcionamiento la estación CEILAP ubicada en Río Gallegos, Santa Cruz. Y la ultima que se instaló en nuestro territorio nacional, se encuentra en Trelew, Chubut. Esta configuración de estaciones, permite una buena cobertura del territorio nacional.

Las estaciones sensoras miden pulsos de onda en la banda de muy baja frecuencia ó VLF (1-24kHz) debido a que la radiación electromagnética generada por las descargas eléctricas, en este rango de frecuencia, puede ser detectada y medida a varios miles de kilómetros debido a su propagación en la guía de onda Tierra-Ionosfera (EIWG). Este sistema de detección permite que, con pocas antenas respecto de otros sistemas de detección de suelo, se logre una cobertura global y a tiempo real de la actividad eléctrica a escala planetaria.

ANALISIS TEMPORALES Y ESPACIALES

El análisis temporal y espacial que se presenta a continuación, son los resultados preliminares del estudio de los datos recolectados de la WWLLN durante los años 2005-2009. (Ver Figura 1)

Para realizar la correlación con los mapas presentados por el SMN se presentan los mapas con Isolíneas de igual cantidad de días de tormentas por año.

Para la confección de los mapas se utilizó una grilla de $1^\circ \times 1^\circ$ en la ventana espacial de márgenes (-21° ; -56°) de latitud y (-53° ; -74°) de longitud. Para cada celda de la grilla se determinó el número de días de tormenta y se le asignó el promedio. Se definió como día de tormenta, al día en que la red WWLLN detectará al menos una descarga eléctrica en cada celda.

Se realizó la comparación con los datos presentados en el ultimo CONGREMET por el SMN₍₁₎. Estos datos representan los valores isoceraúnicos en las diferentes décadas desde la década del 70. También se realizo la comparación con los trabajos de Arcioni ₍₂₎

Cabe señalar que, aunque los métodos utilizados hasta el presente por el SMN son por medio de observadores, la comparación con los datos de la red WLLN es factible ya que en ambos casos no se discrimina entre descargas nube-nube o nube-tierra. La ventaja que presente trabajar con los datos globales obtenidos por la red WLLN, es que se puede utilizar una grilla igual espaciada en todo el territorio, lo cual permite un mejor trabajo de interpolación de los promedios anuales.

A continuación se detallan los resultados obtenidos y las similitudes y diferencias encontradas entre los mapas generados con los datos obtenidos por la red WLLN y los presentados por el SMN.

Descripción Espacial

Los mapas generados se realizaron con diferencia de 10 días entre líneas (a diferencia del SMN que los genera cada 5 días). La distribución espacial de los días de tormenta obtenidos con los datos de la red WLLN concuerda cualitativamente con la distribución de los mapas generados por el SMN. Sin embargo existen importantes diferencias, particularmente en la zona noroeste y sur del país.

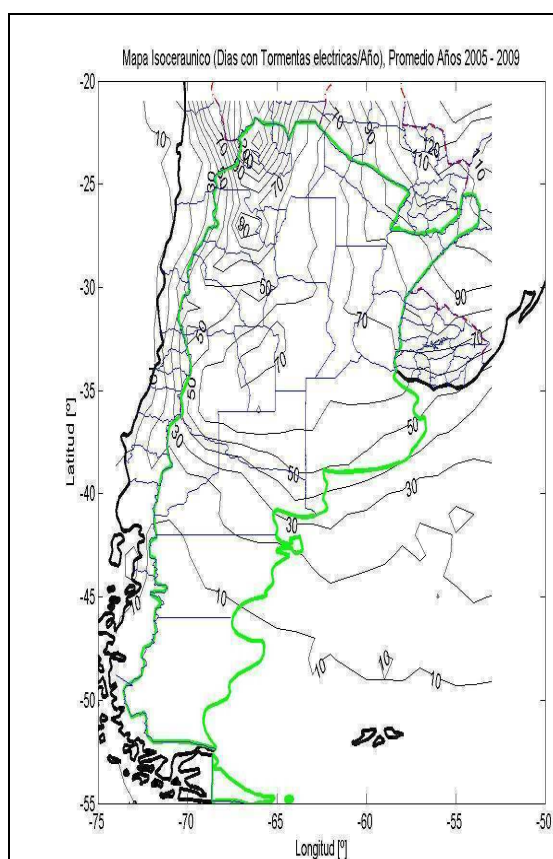


Fig. 1 Mapa generado con la red WLLN

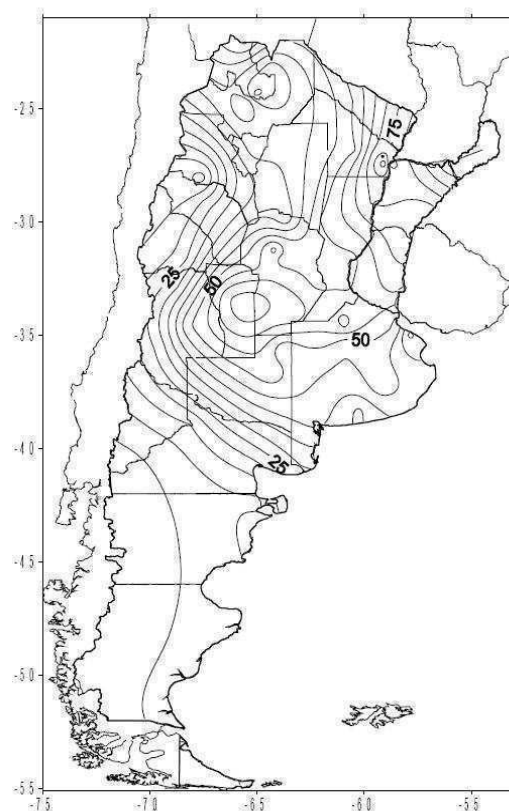


Fig. 2 Mapa generado por el SMN Promedios 1991-2000

Región Patagónica

En esta región se observa una tendencia de aumento de días con tormenta, similar a la ya observada por el SMN (Ver Tabla 1). Esto se observa especialmente en Comodoro Rivadavia, donde (como ejemplo) en febrero del presente año soportó una contundente tormenta eléctrica difícil de recordar por sus habitantes.

Comodoro Rivadavia**Río Gallegos**

SMN				WWLLN	SMN				WWLLN
1961/70	1971/80	1981/90	1991/00	2005/09	1961/70	1971/80	1981/90	1991/00	2005/09
3,7	3,6	3,0	6,2	13	1,9	1,9	2,0	7,7	6

Tabla 1 Región Patagónica

Región Tucumana Salteña

Esta es una de las regiones donde se observa una diferencia en los mapas confeccionados por el SMN y los confeccionados con los datos de la WWLLN. (ver Figura 3). En la zona de Jujuy se observan líneas de 120 días de tormentas por año y en Salta 86 días. Esto representa un 50% más del valor observado por el SMN en la pasada década. Aunque lo más importante de señalar es la diferencia en el diagrama de las líneas, especialmente en el norte y en Jujuy y en la frontera entre Catamarca y Tucumán. (Ver Tabla 2)

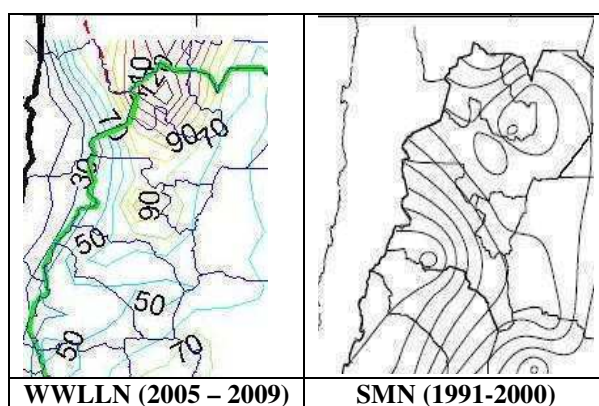


Fig. 3 Detalle zona tucumana salteña

Tucumán**Salta**

SMN				WWLLN	SMN				WWLLN
1961/70	1971/80	1981/90	1991/00	2005/09	1961/70	1971/80	1981/90	1991/00	2005/09
38.5	35.9	46.3	42.7	61	33.	46.2	54.3	50.2	86

Tabla 2 Región Tucumano Salteña

Sierras Pampeanas

Tanto el diagrama de isolíneas como los valores concuerdan ampliamente con los del SMN

Córdoba**Laboulaye**

SMN				WWLLN	SMN				WWLLN
1961/70	1971/80	1981/90	1991/00	2005/09	1961/70	1971/80	1981/90	1991/00	2005/09
45.5	50.3	55.9	61.9	62	48	52.1	64.2	63.5	64

Tabla 3 Región Sierras Pampeanas

Litoral

En esta región los valores calculados son del mismo orden de magnitud a los medidos por el SMN. Teniendo un máximo al norte de Misiones con 110 días de tormenta por año

Posadas

SMN				WWLLN
1961/70	1971/80	1981/90	1991/00	2005/09
64	79	77	90.1	99

Paso de los libres

SMN				WWLLN
1961/70	1971/80	1981/90	1991/00	2005/09
37	50	65	65.5	82

Tabla 4 Región Litoral

CONCLUSIONES

En la actualidad una vigilancia meteorológica sobre fenómenos severos debe incluir la detección y seguimiento de los mismos a través de tres sistemas: satélites, radares y sistemas de detección de descargas eléctricas ⁽³⁾. Poder contar con la red WWLLN en el territorio nacional con sus tres estaciones, es una herramienta fundamental para poder seguir en la evaluación de la actividad eléctrica atmosférica en la republica Argentina y su relación con eventos severos.

En este primer trabajo, se mostró que es factible la utilización de los datos de la red WWLLN para la confección de los mapas isoceraunicos. Sin embargo, existen diferencias importantes entre los mapas que son necesarias estudiar con mayor profundidad para poder determinar la causa.

REFERENCIAS

- (1) Silvia Bordón, Ricardo M. Garrido, Martín I. Pucciano Iserte: “CURVAS DE NIVEL ISOCERAUNICO EN LA REPUBLICA ARGENTINA” X Congreso Argentino de Meteorología, BsAs, 2009
- (2) Juan C. Arcioni: “La actividad eléctrica atmosférica media anual (AEAMA) en la Argentina, Revista Ingeniería eléctrica, Abril 2006

ANÁLISIS DE TRAYECTORIAS APLICADO A LA IDENTIFICACIÓN DE REGIONES FUENTE DE CONTAMINANTES EN BUENOS AIRES

Ana Graciela Ulke⁽¹⁾ y Sergio Jalfin⁽²⁾

(1) Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Argentina

(2) Servicio Meteorológico Nacional, Argentina

RESUMEN

En este trabajo se analiza la interrelación entre los mecanismos de transporte de escala regional y el contenido de contaminantes en la atmósfera de Buenos Aires y los sistemas de tiempo atmosférico, que son los determinantes de las trayectorias del material entre las fuentes emisoras y los receptores. Se combina para ello el cálculo de retro-trayectorias y el estudio de situaciones meteorológicas en la escala sinóptica. Las retro-trayectorias tridimensionales se obtienen con el modelo HYSPLIT (Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory) de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Se aplican técnicas de agrupamiento del conjunto de trayectorias y se analiza las condiciones sinópticas correspondientes a los grupos de trayectorias para identificar los patrones de circulación asociados. Los campos sinópticos se elaboran a partir de los datos de reanálisis del National Centers for Environmental Prediction (NCEP). La información sobre concentraciones de distintos contaminantes en la atmósfera de Buenos Aires se obtiene a partir de datos disponibles de monitoreo en la zona de interés. El período que comprende el estudio exploratorio es de un año. Se aplican técnicas de agrupamiento de trayectorias para explorar los patrones estacionales. En el caso del verano se encuentran cuatro grupos característicos de trayectorias. Se encuentra que el grupo que contiene la mayoría de las trayectorias corresponde a circulación del noreste sobre la región de Buenos Aires y Río de La Plata producto de la combinación entre bajas presiones situadas sobre el norte argentino y presiones relativamente más altas sobre el este, en el Océano Atlántico, que es la predominante en la estación verano sobre nuestras latitudes. Para el invierno, resultaron seis grupos de trayectorias. Aquel que contiene la mayor proporción de trayectorias proviene del sector sudoeste, con recorrido continental y se encuentra asociado a los sistemas frontales fríos que llegan a Buenos Aires durante esta estación.

ABSTRACT

The aim of this contribution is to analyze the relationships among the regional transport mechanisms, the pollutants in the atmosphere of Buenos Aires and the weather systems, which are responsible of the trajectories from the sources to the receptors. To this end, back-trajectories and the analysis of the synoptic meteorological situation are combined. Three-dimensional trajectories are obtained with the HYSPLIT model (Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory) from National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Cluster analysis is applied to the trajectories and the composite fields of meteorological variables are analyzed to identify the circulation pattern. The meteorological fields are obtained using the reanalysis data from the National Centers for Environmental Prediction (NCEP). Air pollutants concentrations in Buenos Aires are available from monitoring sites in the city. The exploratory study is carried out for a one-year period. The cluster analysis is applied for summer and winter in order to find seasonal patterns. During summer, four groups of trajectories are found. The one that contains the higher number of trajectories has a flow from the northeast over Buenos Aires and Rio de la Plata, which results from a low pressure system on northern Argentina and relatively higher pressures on the Atlantic Ocean. This is the prevailing situation in austral summer. During winter, six clusters were obtained, and the one that contains the greater number of trajectories approaches Buenos Aires from the southwest, with continental path and the circulation pattern is associated to a cold front from higher latitudes reaching Buenos Aires, typical situation in this season.

INTRODUCCION

El área metropolitana de Buenos Aires (AMBA), abarca la ciudad de Buenos Aires y 24 distritos correspondientes a la provincia de Buenos Aires. Es la décima megaciudad del mundo y la tercera en Latinoamérica (13 millones de habitantes) (UN, 2003). La contaminación del aire en Buenos Aires se debe en su mayor parte al tránsito vehicular pero también registra aportes esporádicos de otras fuentes, tanto naturales como antropogénicas. Mientras los primeros se producen en una escala local, los segundos están más relacionados con zonas distantes. Entre los contaminantes atmosféricos, las partículas emitidas por fuentes antropogénicas alcanzan en el ambiente urbano concentraciones tales que pueden afectar directamente la salud humana (Pope y Dockery, 2006). Resultados de una reciente campaña experimental de una duración de un año muestran que los niveles de material particulado si bien excedieron la normativa local en una sola oportunidad, alcanzaron el valor crítico de la normativa de la Organización Mundial de la Salud (Arkouli y otros, 2010). Esto está indicando una exposición constante a altos niveles de material particulado de diámetro inferior a 2.5 μm el cual tiene efectos nocivos a nivel respiratorio. Entre los aportes regionales debe mencionarse los relacionados con el transporte de productos de quema de biomasa en el centro de Sudamérica (Ulke y otros, 2007) y los de quema de pastizales en el delta del Paraná (Gassmann y Ulke, 2008). Dependiendo de la concentración pueden causar desde un deterioro en la visibilidad hasta aumento de los síntomas respiratorios y grandes pérdidas económicas por el cierre de aeropuertos, carreteras así como accidentes fatales. Finalmente entre los contaminantes de origen natural que llegan a Buenos Aires se debe mencionar el aporte de aerosoles marinos por masas de aire de recorrido oceánico así como de material de la corteza terrestre cuando estas realizan un trayecto netamente continental. El conocimiento de las características de la circulación atmosférica que dan origen a las trayectorias de las masas de aire y su relación con las concentraciones observadas es de utilidad a los fines de establecer estrategias de protección de la calidad del aire en la región más habitada de Argentina. Los efectos de los contaminantes pueden darse desde la pequeña escala como lo mencionados sobre la salud y el bienestar, como así también alterar la composición atmosférica y el balance radiativo en la escala global.

DATOS Y METODOLOGIA

Se realizó el cálculo de retro-trayectorias que llegan a Buenos Aires para un período exploratorio de un año (2005-2006) aplicando el modelo HYSPLIT (Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory) del Air Resources Laboratory de la National Oceanic and Atmospheric Administration (ARL/NOAA) (Draxler y Hess, 1997, 1998). Los campos atmosféricos necesarios para realizar los cálculos fueron los resultantes del post-procesamiento de los provenientes del Global Data Assimilation System del National Centers for Environmental Prediction (NCEP) realizado en ARL/NOAA. Estos son denominados Final Run – Southern Hemisphere (FNL-SH) y están disponibles para las 0000, 0600, 1200 y 1800 Coordinated Universal Time (UTC). Los archivos contienen campos básicos para alimentar al modelo de trayectorias en 13 niveles estándar de presión.

Las retro-trayectorias se calcularon para cada una de las cuatro horas sinópticas considerando un tiempo de 72 horas. Se aplicaron técnicas de agrupamiento del conjunto de trayectorias, tomando por un lado los meses de Diciembre (2005), Enero (2006) y Febrero (2006), a fin de caracterizar el verano austral y los meses de Junio, Julio y Agosto de 2006 para hacer lo mismo con el invierno. Se analizó las condiciones sinópticas correspondientes a los grupos de trayectorias para identificar los patrones de circulación asociados. La información sobre concentraciones de distintos contaminantes en la atmósfera de Buenos Aires se obtiene a partir de datos disponibles de monitoreo en el sitio CEILAP-BA de la red AERONET (Aerosol Robotic Network de la National Aeronautics and Space Administration (NASA) que corresponden al espesor óptico atmosférico en 500 nm (AOT 500nm) e indican la atenuación de la radiación solar debida a la presencia de aerosoles en la columna atmosférica.

RESULTADOS Y DISCUSION

En la **Figura 1** se muestran los resultados de la aplicación de las técnicas de agrupamiento en el caso del verano. Se encuentran cuatro grupos característicos de trayectorias. El grupo que contiene la mayoría de las trayectorias (55%) corresponde a circulación del noreste sobre la región de Buenos Aires y Río de La Plata producto de la combinación entre bajas presiones situadas sobre el norte argentino y presiones relativamente más altas sobre el

este, en el Océano Atlántico, que es la predominante en la estación verano sobre nuestras latitudes (**Figura 2**). Es de destacar que este grupo mayoritario tiene la trayectoria promedio mas corta lo que resulta consistente con el predominio de un sistema de relativa alta presión con vientos débiles y condiciones de poco desplazamiento de las masas de aire.

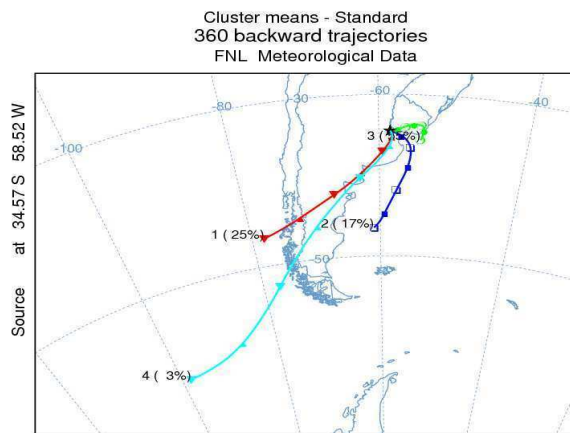


Figura 1 Trayectorias promedio obtenidas por técnicas de agrupamiento para el verano 2005-2006.

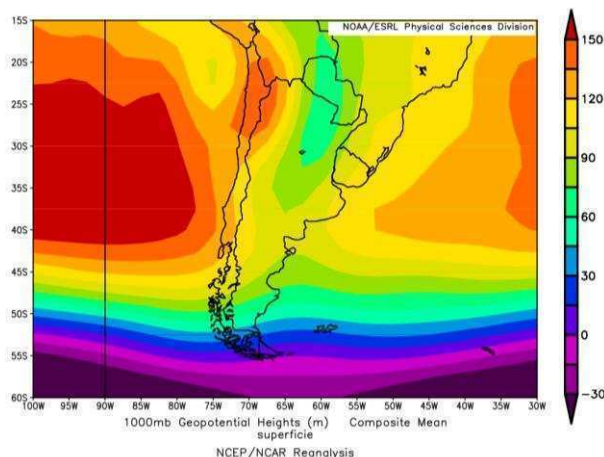


Figura 2 Campo compuesto de altura geopotencial de 1000 hPa (m) para las trayectorias correspondientes al grupo mayoritario (cluster 3) en el verano 2005-2006.

Para el invierno, resultaron seis grupos de trayectorias lo que se debe a la mayor variabilidad en los sistemas de tiempo atmosférico en esta estación. Aquel que contiene la mayor proporción de trayectorias (35%), proviene del sector sudoeste, con recorrido continental y se encuentra asociado a los sistemas frontales fríos que llegan a Buenos Aires durante esta estación. El campo de superficie compuesto correspondiente (**Figura 4**) muestra un marcado gradiente latitudinal de altura geopotencial en el sur de nuestro país y una zona de relativamente baja presión en el extremo norte. La trayectoria promedio correspondiente al segundo grupo resulta bastante similar a la más frecuente en el caso del verano, debido a la influencia de los sistemas semi-permanentes de presión. Ambas totalizan un 59% de las trayectorias.

Comparando los gráficos de retro-trayectorias de verano (**Figura 1**) con los de invierno (**Figura 3**) se destaca que en el 55 % de los casos en verano la circulación es del este y noreste y en invierno el 49% de los casos la circulación es del sur y sudoeste, consistentemente con los vientos predominantes sobre nuestras latitudes en cada estación del año.

De las trayectorias correspondientes al verano, se puede observar que por las regiones que atraviesan las masas de aire que llegan a Buenos Aires serían relativamente limpias o tal vez con contenido de aerosoles marinos y material de la corteza terrestre dependiendo de si el recorrido es continental y oceánico. Es decir que durante estos meses y para el periodo estudiado, los contaminantes serían de origen mayoritariamente local.

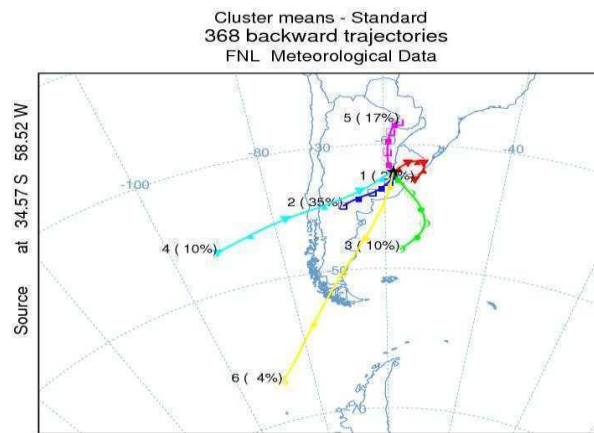


Figura 3 Trayectorias promedio obtenidas por técnicas de agrupamiento para el invierno 2006.

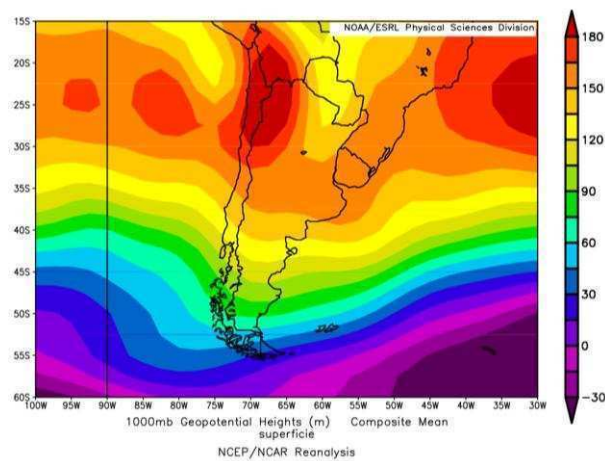


Figura 4 Campo compuesto de altura geopotencial de 1000 hPa (m) para las trayectorias correspondientes al grupo mayoritario (cluster 2) en el invierno 2006.

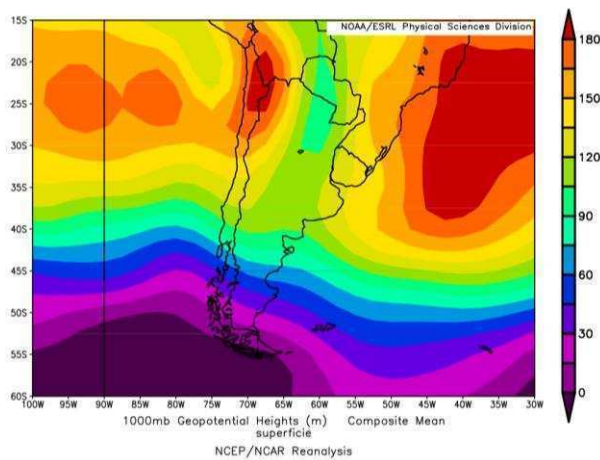


Figura 5 Campo compuesto de altura geopotencial de 1000 hPa (m) para las trayectorias correspondientes del segundo grupo (cluster 1) en el invierno 2006.

Comparativamente en el invierno, se observa que las masas de aire si bien provienen mayoritariamente del sector sur, también se encuentran en bastante proporción aquellas que vienen de este y del norte. Estas últimas tienen un porcentaje del 17% y se encuentran sobre regiones en las que ocurre la quema de biomasa, con lo cual se encuentra mediante este estudio de agrupamientos la influencia de la contaminación desde zonas distantes a escala regional. A fin de confirmar o refutar estas inferencias, se calculó para cada temporada y cada uno de los grupos el promedio del AOT 500nm. Los resultados se muestran en la **Figura 6**.

Para el verano, se encuentra que los valores promedio no presentan grandes diferencias entre sí, aunque el mayor valor corresponde al cluster predominante, lo que concuerda con las características del flujo atmosférico y la relativamente baja dispersión. Los menores valores se encuentran con el cluster 4 que aporta masas de aire limpias al sitio receptor. En el invierno, se destaca el valor medio para el cluster 5 el cual tiene su recorrido sobre zonas de quema de biomasa, lo que confirma la llegada de contaminación regional a Buenos Aires. Los valores que siguen en importancia son los que se obtienen para las masas de aire con recorrido continental con niveles bastante similares a los encontrados en el verano.

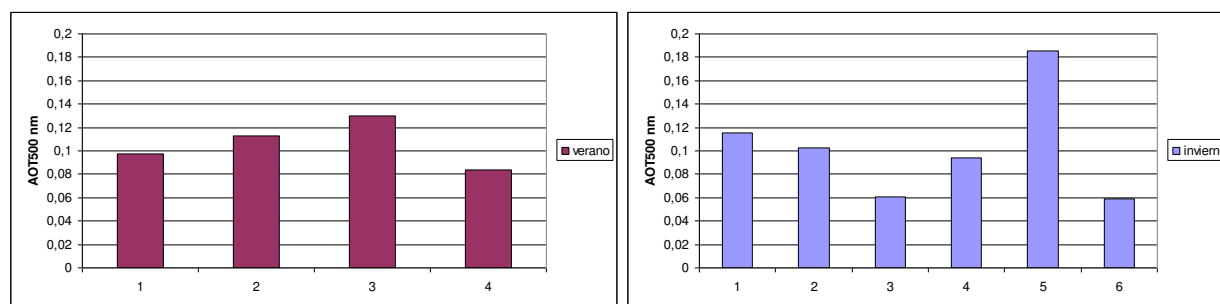


Figura 6 Valores promedio de AOT 500 nm para cada grupo y estación (verano: panel izquierdo) invierno (panel derecho).

Agradecimientos:

Los siguientes proyectos contribuyeron a la realización de este trabajo: ANPCyT PICT-2008-1739, UBACYT2008-2010 X224. Se agradece a B. Holben por los datos de AERONET, a NCEP por los reanálisis y a NOAA por el modelo Hysplit.

Referencias:

- Arkouli M., Ulke A. G., Endlicher W., Baumbach G., Schultz E., Vogt U., Müller M., Dawidowski L., Faggi A., Wolf-Benning U., Scheffknecht G.: Distribution and temporal behaviour of particulate matter over the urban area of Buenos Aires, Atmospheric Pollution Research, 1, 1-8, 2010.
- Draxler, R.R. y Hess, G.D. Description of the HYSPLIT_4 modelling system. NOAA Technical Memorandum ERL ARL-224, December, 24pp.1997.
- Draxler, R.R. y Hess, G.D. An overview of the HYSPLIT_4 modelling system for trajectories, dispersion and deposition. Aust. Meteorol. Magaz., 47, 295–308.1998
- Gassmann M. I. and A. G. Ulke: A case study of biomass burning and its smoke dispersion to Buenos Aires City, Argentina, International Journal of Environment and Pollution, 32, 3. 311 – 331, 2008.
- Pope, C. A. y Dockery, D. W. Critical review: health effects of fine particulate air pollution: lines that connect. J. Air Waste Manage., 56, 709-742. 2006.
- Ulke, A. G., Longo, K. M., Freitas S. R. and Hierro R.F.: Regional pollution due to biomass burning in South America, Ciência e Natura, 201-204, 2007.
- UN. Urban Agglomerations 2003. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. 2003.

AEROSOL EN EL AIRE DE BUENOS AIRES ASOCIADOS A LA QUEMA DE BIOMASA Y SU TRANSPORTE DE LARGA DISTANCIA.

Ulke Ana Graciela⁽¹⁾, Claus Federico y Castañeda María Elizabeth^(1,2)

(1) Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.

(2) Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

Contacto: ulke@at.fcen.uba.ar

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es estudiar la llegada de productos de quema de biomasa en Sudamérica a la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina, para caracterizar las contribuciones al deterioro de la calidad del aire por contaminación de escala regional. A tal fin, se combinan herramientas de modelado indirecto y observaciones de contenido de aerosoles en la atmósfera. El modelado indirecto se encara con estudio de retrotrayectorias originadas en Buenos Aires, considerando especialmente los casos en que las trayectorias tienen como origen o sobrevuelan las regiones del centro de Brasil, Bolivia, Paraguay y el centro y norte de Argentina, en donde se produce mayoritariamente quema de biomasa. El contenido de aerosoles en la columna atmosférica y algunas características del material se determinan a partir de mediciones en el sitio CEILAP-Buenos Aires de la red AErosol RObotic NETwork (AERONET), de la National Aeronautics and Space Administration (NASA). El período considerado fue 2001 a 2005. Se estudia si en las mismas fechas se detectaron cambios en el espesor óptico de aerosoles en 500nm y en el exponente de Ångström entre 440 y 870 nm. A la vez, se busca la relación entre estos eventos y la ocurrencia de corriente en chorro de capas bajas sudamericana (sus siglas en inglés: SALLJ (South American Low Level Jet)). Finalmente, para los casos positivos de detección de productos de quema en Buenos Aires se obtiene el patrón sinóptico asociado. Durante el período de estudio el espesor óptico osciló entre un valor modal máximo mensual de 0,145 en Agosto y un mínimo de 0,079 en Diciembre. El promedio del exponente de Ångström fluctuó entre 1,295 y 1,051. Los resultados muestran que en los casos que vinculan un espesor óptico por encima de la moda mensual con quema de biomasa y transporte efectuado por la corriente en chorro, la moda del espesor óptico fue 0,219, con un valor máximo de 1,116 y el promedio del exponente de Ångström fue 1,481. Para estos casos, el patrón sinóptico fue el asociado a la configuración Chaco del SALLJ.

ABSTRACT

The aim of this study is to analyze the possible source regions of biomass burning products arriving in Buenos Aires, Argentina, in order to advance in the knowledge of the apportionment of regional scale air pollution. To this end, indirect modelling and observations of aerosols content in the atmosphere of Buenos Aires are used. Indirect modelling is based on retrotrajectory analyses that start in Buenos Aires and originate or travel over the region comprising the centre of Brazil, Paraguay, Bolivia and northern and central Argentina, where most of the biomass burning occurs. Aerosol content in the atmospheric column and inversion products are available from measurements at the CEILAP-Buenos Aires site of the AErosol RObotic NETwork (AERONET) from National Aeronautics and Space Administration (NASA). The analysed period was 2001 to 2005. For the same dates, aerosol optical thickness in 500nm and Ångström exponent between 440 y 870 nm are studied to find changes that could be related with the intrusion of airborne material from the biomass burning. In addition, the relationship between these two events and the occurrence of the South American Low Level Jet (SALLJ) is analyzed. Finally, for those events in which the biomass burning products reached Buenos Aires, the governing synoptic pattern is obtained. During the considered period, the optical thickness ranged from a maximum monthly modal value of 0.145 in August to a minimum of 0.079 in December. For the same period, the average Ångström exponent varied between 1.295 and 1.051. The results show that in cases that link optical thickness above the monthly mode, biomass burning and transport done by the low level jet stream, the modal value for the optical thickness was 0.219, with a maximum value of 1.116 and an average Ångström exponent of 1.481. For these cases, the associated synoptic pattern is the Chaco configuration of the SALLJ.

INTRODUCCIÓN

La quema de biomasa genera gases y partículas que se dispersan desde su fuente siguiendo las corrientes dominantes y son elevados por las corrientes verticales del entorno y por el empuje del mismo foco que las originó. En ocasiones, estos productos de la quema pueden viajar grandes distancias desde el lugar donde se han generado. Entender las condiciones meteorológicas asociadas a estos eventos provee un indicador de los lugares hasta los cuales pueden llegar estos residuos, de las condiciones de dispersión que determinan el grado de dilución alcanzado y de este modo, alertar a las poblaciones afectadas. Si bien este trabajo se centra en la Ciudad Autónoma Buenos Aires (CABA), la metodología puede ser aplicada sobre cualquier otra ciudad.

Durante la quema se liberan al aire gran cantidad de gases y partículas de diversa composición y tamaño, que dependen de la vegetación involucrada, su densidad y su estado hídrico. Sudamérica emite a la atmósfera 34 Tg/año de aerosoles producto de las actividades de quema, totalizando un tercio de la emisión global. Aunque las tormentas con actividad eléctrica en la sabana generan incendios, la mayoría son de origen antropogénico. Los incendios son producto de la ocupación del área forestal con fines de implementar explotaciones agrícolas y ganaderas, limpieza de explotaciones agrícolas previas, control de plagas, así como también de la falsa creencia de que la quema favorece el retorno de nutrientes al suelo Andreae (1991).

Las emisiones de quema de biomasa generan, entre otras cosas, emisiones de carbón negro (BC, del inglés *black carbon*). El BC es uno de los forzantes en el equilibrio radiativo. Las partículas de BC absorben radiación solar que, por lo tanto, no llega a superficie y además producen un calentamiento de la atmósfera (Crutzen y Andreae, 1990). Parte del material emitido puede servir como núcleos de condensación para el crecimiento de gotas de nube, lo que también contribuiría en el balance neto radiativo de la atmósfera y a la inhibición de la precipitación (Rosenfeld, 1999; Rosenfeld, 2006). Entre los gases emitidos a la atmósfera a tener en cuenta, el principal es el CO₂, y algunos compuestos de carbono como CO, CH₄, los hidrocarburos; otros, como los óxidos nitrosos (NO_x), SO₂, O₃, también son considerados de importancia (Andreae, 1991)). Algunos de estos son gases de efecto invernadero, por lo que generan un efecto sobre la temperatura global.

Mientras son transportadas desde su lugar de origen, las partículas producidas por la quema sufren modificaciones, por eso se pueden distinguir plumas recientes de plumas antiguas. En el Amazonas, las partículas emitidas contienen 85% de materia orgánica, 7% de BC, 4% de potasio y otro 4% de otros compuestos menores (Ferek et al 1998). Cuando las partículas pasan un tiempo en el aire tienden a aumentar su diámetro, de acuerdo a Reid et al, (1998), Para períodos menores a 96 horas, los procesos que afectan a la partícula son la coagulación y la conversión gas-partícula o condensación.

El objetivo de este trabajo es complementar y avanzar en la caracterización realizada por Ulke y otros (2007) y por Hierro (2008) aplicando metodologías distintas al estudio del transporte de larga distancia de aerosoles producto de la quema de biomasa. En este caso, se usará una técnica de modelado indirecto, como es el cálculo de retrotrayectorias, para vincularlas con casos en que se encontraba carga de aerosoles en la atmósfera.

DATOS Y METODOLOGÍA

El área considerada como fuente de las emisiones de quema de biomasa comprende una región que posee una fuerte densidad de vegetación, que sufre una temporada definida de pocas lluvias que modula la presencia de mayor o menor contenido de focos y que además ofrece episodios en los que la circulación favorece la llegada del material particulado producto de la quema hasta conglomerados urbanos densamente habitados. La región circunscripta por las Repúblicas de Bolivia y Paraguay, los estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goias y Rondonia de la República Federativa del Brasil y las provincias argentinas de Misiones, Corrientes, Chaco, Formosa, Santiago del Estero, Santa Fe, Córdoba, Entre Ríos, este de Salta y norte de Buenos Aires fue tomada como objeto de interés. El área elegida, aunque geográficamente pareciera remota, influye sobre la ciudad de Buenos Aires y la calidad del aire que en ella se respira.

La CABA es establecida como sitio de referencia para el análisis por dos motivos: en ella viven o trabajan millones de personas que serían potencialmente afectadas por el deterioro de la calidad del aire por la llegada de los productos de la quema de biomasa. Siendo la tercera megaciudad en América del Sur, su población es de 2776138 habitantes, más los 8684437 que viven en el área metropolitana cercana (INDEC, 2001). El segundo motivo es que en un sitio lindante con la CABA se encuentra instrumental que realiza observaciones que permiten inferir el contenido de aerosoles en la atmósfera. En la estación CEILAP-Buenos Aires de la red AERONET (NASA-GSFC) se miden, entre otras cosas, la transparencia atmosférica a partir de la radiación solar en nueve canales o longitudes de onda en forma continua desde 2000. Una de las variables que se desprenden de estas mediciones es el espesor óptico (AOT), que es un indicador de la atenuación que sufre la radiación hasta llegar al sensor ubicado en la superficie de la tierra en este caso. Un

mayor AOT es evidencia de una mayor carga de aerosoles, debido a la absorción y dispersión que ellos causan. Otra variable de interés es el exponente de Ångström (α), que refleja la dependencia espectral del AOT. A mayor α , más pequeña es la partícula. Los focos de incendio se individualizarán a partir de la base de datos que posee el Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), de Brasil, en <http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas/>, a partir de observaciones satelitales de satélites meteorológicos (NOAA, GOES) y de observación terrestre (MODIS-Aqua/Terra).

La relación entre lo medido en CEILAP-Buenos Aires y los focos de incendio, es decir fuente-receptor, se estableció calculando trayectorias con el programa Hysplit 4.8 (Draxler y Hess, 1998). La información meteorológica necesaria para el cálculo de las trayectorias provino de los análisis FNL, que son la versión final del sistema Global Forecast System (GFS) de NCEP-NCAR (National Centers for Environmental Prediction-National Center for Atmospheric Research). La resolución horizontal de los mismos es de 192 km, con una disponibilidad cada seis horas. En el período 2001-2005 se calculó para cada día cuatro retrotrayectorias (00Z, 06Z, 12Z, 18Z), con el punto de origen de todas ellas en Buenos Aires (34,57° S; 58,52° W). Se tomaron cuatro alturas de origen: 35, 500, 1000 y 1500 metros; la selección radica en que el transporte meridional del material se da principalmente en capas bajas y su mayor promotor es la corriente en chorro de capas bajas sudamericana (SALLJ).

Los casos de SALLJ se identificaron a partir del criterio de Bonner (Bonner, 1968), adaptado por Nicolini y Saulo (2000), a partir de los análisis GDAS (Global Data Assimilation System) del NCEP, que tienen una resolución horizontal de 1° x 1° y temporal de 6 horas (00Z, 06Z, 12Z, 18Z). El período usado fue el mismo que se cubrió con retrotrayectorias (2001-2005). De todas las configuraciones de la corriente en chorro que identifica Hierro (2008), la Chaco1 se tomó como la más relevante de todas, por su importante desarrollo meridional hasta latitudes cercanas a la de Buenos Aires.

Con el fin de seleccionar los casos que tenían como región de origen o sobrevolaban la región de interés de este trabajo, se aplicaron tres criterios. El primero fue la inspección visual de cada una de las retrotrayectorias calculadas; el segundo, su concordancia geográfica y temporal con eventos de SALLJ. Tras esta selección, se discriminaron entonces los casos en que CEILAP-Buenos Aires hubiera presentado un AOT(500nm) medio diario por encima de la moda mensual correspondiente al mes en curso en que fue iniciada la retrotrayectoria. El uso de la moda como criterio radica en la forma que se observa que sigue la distribución de la variable, con frecuencias altas para valores bajos de AOT(500nm) (Figura 1). El uso de mediana o el promedio hacía el filtrado con alguno de estos estadísticos más permisivo.

DISCUSIÓN

La mayoría de los meses presentaron distribuciones con muchos valores de AOT(500nm) bajos, aunque se encontraron casos de transporte en todos los meses del año. En la figura 1 se puede apreciar un mes con poca o nula quema en la zona delimitada para este trabajo, como es abril. Gran parte de las mediciones corresponden a valores normales para CEILAP, aunque un porcentaje menor también refleja casos levemente por encima. Los meses distintivos de quema, el período agosto-octubre, muestran muchos valores bajos, pero aumenta el número de observaciones y también la frecuencia de días con valores de AOT altos en comparación a los meses sin quema, llegando a registrarse casos con AOT(500nm) por encima de 1.

En la Figura 2 se muestra la estadística para la moda mensual de AOT(500nm) usada como filtro en este trabajo. A pesar de presentarse casos todo el año, se ve que el período en que más se percibe el efecto de la quema y el transporte es entre los meses de agosto y octubre, con un segundo pico en enero. El valor de junio no se considera, ya que es un mes con pocas observaciones desde AERONET.

Del análisis de toda la información anterior resultaron 72 días, que corresponden a 194 trayectorias, que verifican en simultáneo las siguientes condiciones: a) la trayectoria sobrevuela o tiene su origen en la región identificada previamente, b) el AOT(500nm) supera la moda mensual, c) los casos están asociados a eventos Chaco1 y d) existen numerosos focos de incendio cercanos a las trayectorias individualizadas. Al usar los valores diarios, aunque todas las trayectorias o sólo una de las que pasaron todos los criterios estén asociadas al transporte del material particulado, el análisis se efectúa para el día de llegada del material.

En la Figura 3 se muestra la relación entre el exponente de Ångström α (440-870nm) y el espesor óptico AOT(500nm) para los días resultantes de la aplicación de los criterios enumerados previamente. Se desprende de esta figura que gran parte de los casos corresponden a material del modo fino, la mayoría asociados a casos en que el AOT(500nm) es mayor a 0,4. De estos días, los casos positivos tienen un α (440-870nm) promedio de 1,48. La moda del AOT(500nm) de todos los casos positivos fue de 0,219.

Para las 194 trayectorias se calcularon trayectorias promedio que llegan a CABA a las alturas de 1500 m y 35 m, además de su desvío estándar. En la Figura 4 se grafican la trayectorias media y sus desvíos

estándar. Las trayectorias que llegan en el nivel más alto tienen menor dispersión vertical, pero mayor en la horizontal, y corresponden a trayectorias más lejanas, llevando material desde lugares tan remotos como el centro y norte de Bolivia o los estados brasileiros de Mato Grosso y Mato Grosso do Sul.

El entorno sinóptico a partir de la composición de todos los casos, que está fuertemente marcado por la muestra elegida, tiene como señal evidente los casos Chaco1, con un aumento de la circulación meridional los días anteriores al arribo del material a CABA.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andreae, M.; 1991. Biomass burning: Its history, use and distribution and its impact on environmental quality and global climate. In: J.S. Levine, ed., *Global Biomass Burning: Atmospheric, Climatic and Biospheric Implications*. 3-21. MIT Press, Boston, Mass.,

Bonner, W. D.; 1968. Climatology of the low level jet. *Monthly weather review*, 96, 833.

Crutzen, P. J. y Andreae, M. O.; 1990. *Biomass Burning in the Tropics: Impact on Atmospheric Chemistry and Biogeochemical Cycles*, Science, N° 250, pp. 1669 – 1678.

Draxler, R R y Hess, G. D.; 1998. *An overview of the Hysplit 4 modelling system for trajectories, dispersion and deposition*, Aust. Met. Mag., 47, 295-308.

Ferek, R.J. et al; 1998. *Emission factors of hydrocarbons, halocarbons, trace gases and particles from biomass burning in Brazil*. Journal of geophysical research, Vol. 103, N° D24, 32.107 – 32.118.

Hierro, R.F.; 2008. *Estudio del rol de la corriente en chorro en capas bajas al este de Los Andes en el transporte de contaminantes emitidos en la quema de biomasa en Sudamérica*. Tesis de licenciatura en Ciencias de la Atmósfera.

Nicolini, M. y Saulo, A.C.; 2000. *Modeled Chaco low-level jets and related precipitation patterns during the 1997–1998 warm season*, Meteorology and atmospheric physics, 94, 129-143.

Reid, J.S., et al; 1998. *Physical, Chemical and Optical Properties of Regional Hazes Dominated by Smoke in Brazil*. Journal of Geophysical Research, Vol. 103, N° D24, 32.059 – 32.080.

Rosenfeld, D.; 1999. *TRMM observed first direct evidence of smoke from forest fires inhibiting rainfall*, Geophysical research letters, 26, 20, 3105-3108.

Rosenfeld, D.; 2000. *Suppression of rain and snow by urban and industrial air pollution*, Science, 287, 1793.

Ulke, A.G. et al; 2007. *Regional pollution due to biomass burning in South America*, Ciencia e Natura, 10, 201-205.

Agradecimientos: a Brent Holben, manager de AERONET, a NCEP por los reanálisis de GDAS y FNL, a la división READY de NOAA por el programa Hysplit 4.8 y al financiamiento del subsidio UBA X224.

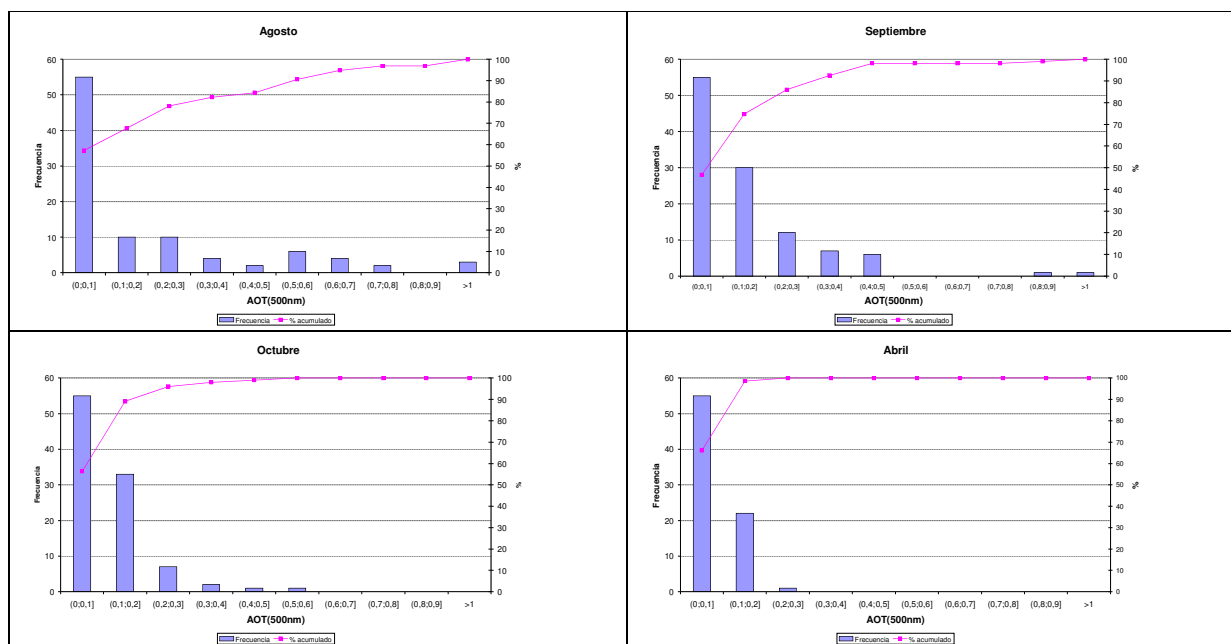


Figura 1: Distribuciones de los valores de AOT en 500nm para el período 2001-2005 en la estación CEILAP, Buenos Aires, Argentina, para tres meses con eventos de quema(agosto, septiembre, octubre) y uno sin quema (abril).

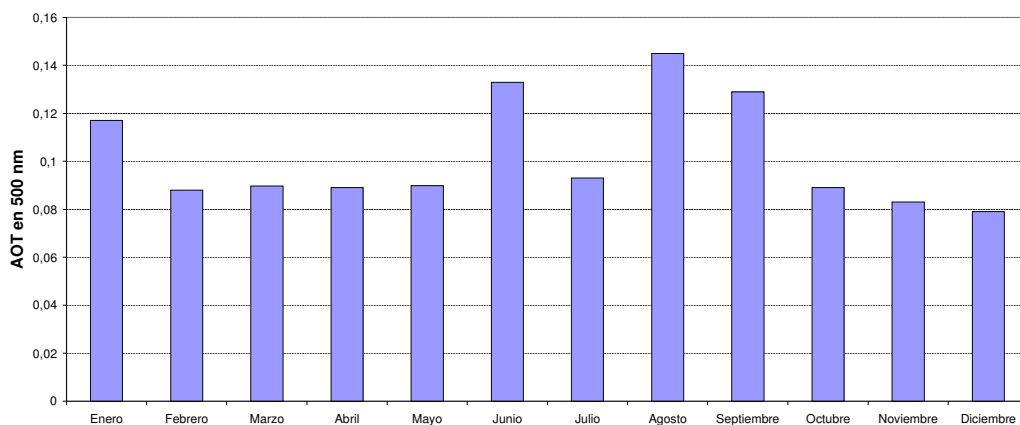


Figura 2: Valores de la moda mensual de AOT en 500nm para el período 2001-2005 en la estación CEILAP, Buenos Aires, Argentina.

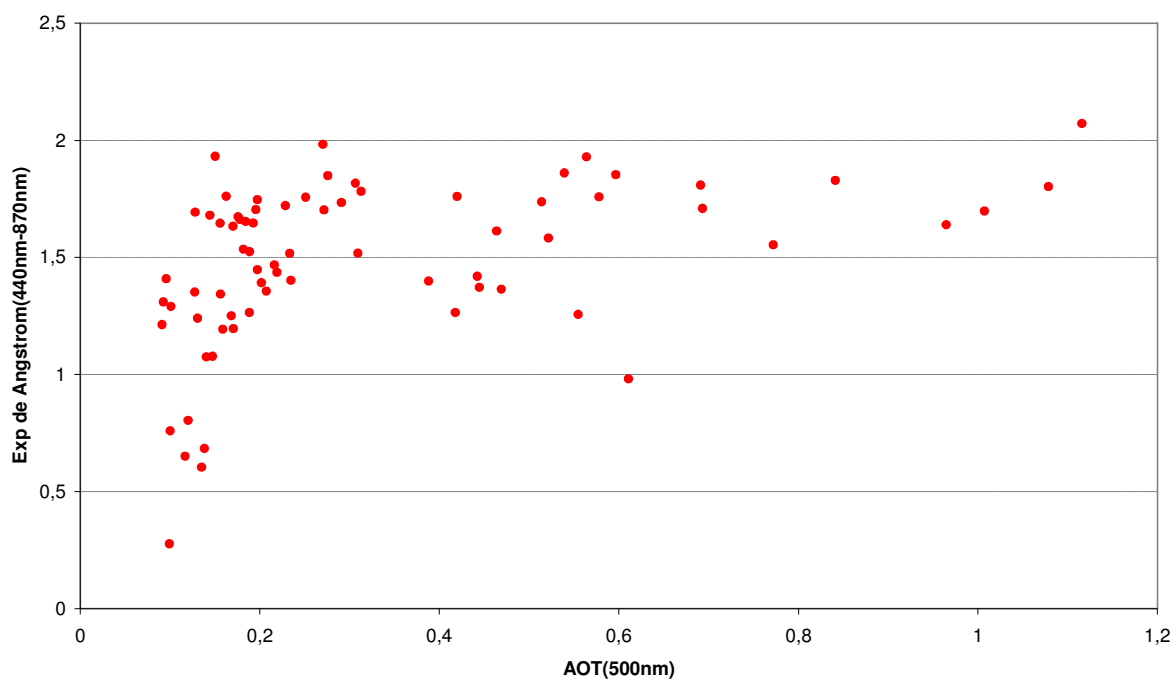


Figura 3: Distribuciones de AOT y exponente de Ångström para los 72 días que se identifica llegada de material asociados a la quema de biomasa desde CEILAP.

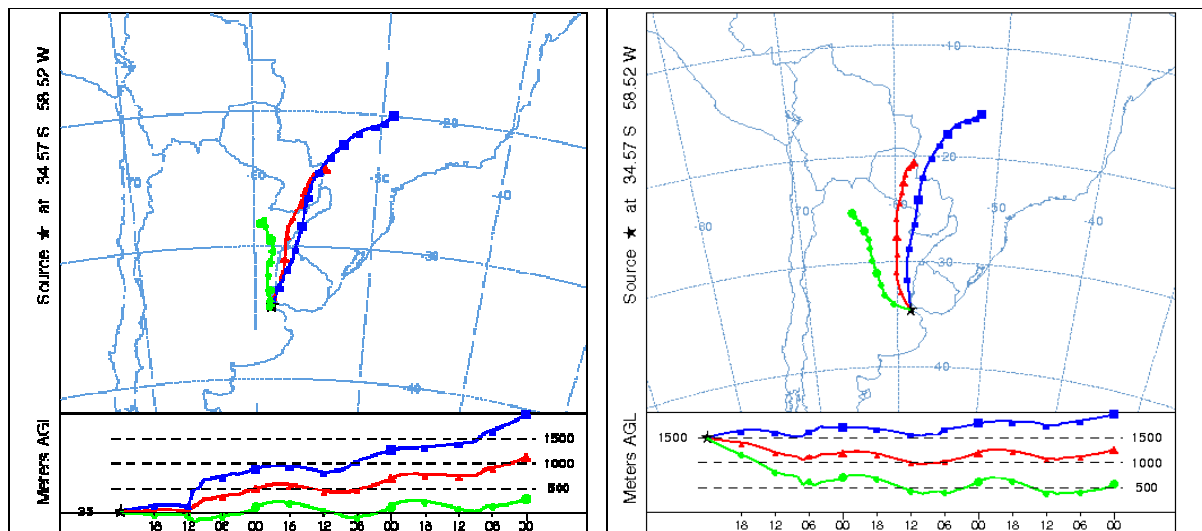


Figura 4: Promedio (línea roja central) de las 194 trayectorias que pasaron todos los filtros de selección, más un desvío estándar (líneas azul y verde a los lados). Izquierda: trayectorias que tienen su origen a los 35 mts de altura. Derecha: trayectorias que tienen su origen a los 1500 mts de altura.

Estudio de la sensibilidad del modelo WRF-ARW versión SMN empleando los campos de humedad de suelo provenientes de modelos globales y de sensores remotos.

Collini Estela^(1,2), Dillon María Eugenia^(1,2), Ferreira Lorena⁽²⁾ y Pujol Gloria⁽²⁾

¹**Servicio de Hidrografía Naval, Av. Montes de Oca 2124 C127, CABA, Buenos Aires, Argentina.**

²**Servicio Meteorológico Nacional, 25 de mayo 658, C1002ABN, CABA, Buenos Aires, Argentina.**

Resumen

El objetivo de este trabajo es investigar como el modelo WRF-ARW (Weather Research and Forecasting - Advance Research) versión SMN-SHN (Servicio Meteorológico Nacional, Servicio de Hidrografía Naval) representa la condición de borde inferior de la variable humedad de suelo, tanto en su diagnóstico como en su pronóstico de corto y mediano plazo.

Para cumplir con este objetivo, se efectuarán diversos experimentos modificando el campo inicial de humedad de suelo. Se analizará su impacto en los pronósticos de precipitación y en otras variables de interés. En este análisis se emplearán datos de humedad de suelo provenientes de modelos de suelo desacoplados verificados con los datos de sensores remotos.

Los resultados muestran la sensibilidad del modelo a las distintas condiciones iniciales de borde inferior y como esto influye en los campos de precipitación.

Abstract

The aim of this study is to investigate how the WRF-ARW (Weather Research and Forecasting - Research Advance) version SMN-SHN (National Meteorological Service, Naval Hydrographic Service) represents the lower boundary condition given by the soil moisture fields, both in its diagnosis as well its short and medium range predictions.

To meet this goal, several experiments will be carried out by changing the initial soil moisture content. We will analyze their impact in the precipitation predictions and over other key variables. In this analysis we used soil moisture data from uncoupled soil global models verified by remote sensing data.

The results show the sensitivity of the model to the different lower boundary conditions used and its influence on the precipitation fields.

Introducción

Este es un estudio preliminar, donde se evalúa el impacto de distintas representaciones de las condiciones de borde inferior en los pronósticos de corto plazo del modelo de pronóstico WRF-ARW, se concentra en la humedad de suelo. Esta variable es una de las componentes de importancia de la superficie terrestre, puesto que, modula las interacciones entre la superficie y la atmósfera en diversas escalas espaciales y rangos temporales desde lo diario a lo estacional (Viterbo, 2001), influenciando al pronóstico a corto y mediano plazo, como lo muestra en nuestra región el trabajo de De Goncalvez et al. (2006) y el de Spenermann (2010). Por ende, una adecuada representación de la humedad de suelo es esencial para que los pronósticos de los modelos atmosféricos se ajusten a la realidad.

La influencia de la humedad del suelo en los procesos de superficie y como consecuencia en los patrones de circulación y de precipitación en Sudamérica, se ha estudiado en distintas escalas temporales. Varios autores como Fu y Li, (2004), Grimm et al (2007) y Xue et al. (2006), focalizan sus trabajos en el impacto que los cambios en la región de la Amazonia (deforestación, sequía, inundación) producen en la región, determinando así sectores más vulnerables. Sin embargo, son pocos los estudios similares efectuados sobre la Cuenca del Plata, entre los que podemos citar Collini et al. (2008) y Saulo et al. (2010). Asimismo en un trabajo reciente de Ferreira et al. (2010), se efectuaron comparaciones de los resultados del procesamiento del modelo WRF con mediciones de humedad del suelo, provenientes de una campaña realizada sobre un área de la provincia de Buenos Aires.

El objetivo del presente trabajo es efectuar una comparación entre los resultados del modelo WRF-ARW versión SMN-SHN inicializado con los campos de la humedad de suelo de los pronósticos globales (GFS-Global Forecast System) del National Centres for Environmental Prediction (NCEP) y los resultados del modelo WRF-ARW inicializado con los campos de humedad del suelo provenientes del modelo de suelo

del CPTEC (http://brams.cptec.inpe.br/in_data_soil_moisture.shtml). El modelo WRF (Michalakes et al., 2004) en sus diferentes versiones es una nueva generación en sistemas de predicción numérica del tiempo, utilizado en el pronóstico operativo y en la investigación de la atmósfera. En particular, este modelo es empleado en estudios de impacto puesto que representa satisfactoriamente los procesos de superficie y de la capa límite.

En este trabajo se selecciona una fecha dentro del primer trimestre del año 2009. Dicho trimestre se caracterizó por falta de precipitaciones o precipitaciones bajo lo normal en la región central y este de Argentina, agravando la situación de sequía que se observaba desde agosto de 2008. En el mes de marzo de 2009 las lluvias ocurridas en gran parte del área de la Cuenca del Salado se estabilizaron, llegando en algunos casos a superar las medias históricas, aunque en las regiones del sureste las lluvias fueron prácticamente la mitad del promedio histórico. El momento elegido para efectuar las simulaciones de este trabajo, se halla dentro del periodo en el que ocurren las precipitaciones mencionadas. Es de nuestro interés entonces, evaluar la reacción del modelo a la situación de sequía y como representa el inicio de las precipitaciones en la región.

Una de las novedades que introduce este estudio es el empleo de los datos de humedad del suelo derivados del radiómetro pasivo AMSR-E que se encuentra a bordo del satélite AQUA el cual forma parte del EOS (Earth Observing System), para comprobar la coherencia de los campos iniciales de humedad del suelo.

Datos y Metodología

La configuración del WRF-ARW, que se utiliza y que presenta una física y resolución adecuada para efectuar las simulaciones de impacto que se proponen, comprende un dominio que cubre Sudamérica (ver Figura 1), con un reticulado cuya resolución espacial es de 24 km y 38 niveles en la vertical. La versión instalada del modelo, es una versión no hidrostática, cuya configuración comprende el esquema de Ferrier para la microfísica que incluye un esquema de diagnóstico y pronóstico de procesos de fase mixta, el cual es utilizado en forma operativa en el NCEP, esquema de radiación de onda larga RRTM (Rapid Radiative Transfer Model), esquema de radiación de onda corta de Dudhia que incluye integración simple permitiendo absorción y dispersión en nubes y cielo despejado, modelo de suelo NOAH (Noah Land-Surface Model), esquema de Betts-Miller-Janjic para la parametrización de cúmulos, Monin-Obukhov con la longitud de rugosidad de Zilitinkevich para la capa de superficie y esquema de Mellor-Yamada-Janjic para la capa límite planetaria que incluye cálculo de energía cinética turbulenta con mezcla vertical local (www.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/user_guide/ARWUsersGuide.pdf_sav).

En la corrida de control, se procesó el modelo WRF-ARW a 120 horas de pronóstico inicializado el 7 de marzo de 2009 a las 12Z, con los campos de humedad del suelo del GFS del NCEP de resolución horizontal 1° y profundidades de 0-10 cm, 10-40cm, 40-100cm y 100-200cm.

Simultáneamente, se procesó el modelo WRF-ARW con los campos iniciales de humedad de suelo del CPTEC. Los campos del CPTEC tienen una resolución original horizontal de 0.25° y 8 niveles de profundidad en el suelo. Estos campos fueron interpolados al retículo y a las profundidades del suelo del modelo GFS del NCEP, para proceder con la inicialización. Esta corrida será denominada WRF-CPTEC.

Cabe agregar que, en ambos casos, al estar los bordes del dominio del modelo sobre los océanos y mares circundantes se utilizaron las mismas condiciones de borde para la integración, que son las provistas por el modelo GFS.

En este trabajo, se evaluará el impacto de la inicialización de la humedad de suelo en el pronóstico de precipitación, y en otras variables relacionadas como el CAPE (Energía Potencial Disponible para la Convección), y los flujos de calor latente y sensible en superficie.

Una comparación entre los campos de humedad del suelo en la capa de 0-10cm del CPTEC con los del GFS (Figura 1 a y b), muestra que este último es alrededor de un 30% más húmedo que el CPTEC, especialmente en la región del Sudeste de Sudamérica, la región de convergencia del Atlántico Sur y en el borde norte del dominio en estudio. Esto muestra una gran diferencia en la inicialización del WRF-ARW: una corrida seca -CPTEC y una corrida húmeda -GFS.

Comparando la distribución espacial de los campos del CPTEC y del GFS, con la humedad de la capa superficial del suelo a partir de los datos derivados del AMSR-E (Figura 1c), se observan regiones con gradientes húmedos similares al GFS en el centro-este del Uruguay, los tres campos coinciden con gradientes más secos en el límite de Uruguay con Entre Ríos y Corrientes, mientras que en el sudoeste de Buenos Aires hay mayor similitud con el CPTEC. Con respecto a la Cuenca del Salado son todos diferentes, siendo el AMSR-E el que muestra mayor contenido de humedad. Hay que tener en cuenta que la medición

del AMSR-E es aproximadamente de 1 cm de profundidad, y que para realizar una verificación más exhaustiva se deberá procesar los modelos de suelo con mayor detalle de los niveles subterráneos. I

El AMSR-E es un radiómetro de microondas pasivo de barrido cónico, que detecta la radiación de microondas (temperaturas de brillo) en 12 canales que van desde 6,9 a 89,0 GHz. La radiación polarizada horizontal y verticalmente se mide por separado en cada frecuencia. El algoritmo de humedad de suelo (Njoku et al., 2004), utiliza relaciones entre las polarizaciones (PR 10,7 GHz y PR 18,7 GHz), que a veces se denominan como diferencias de polarización normalizado de las temperaturas de brillo.

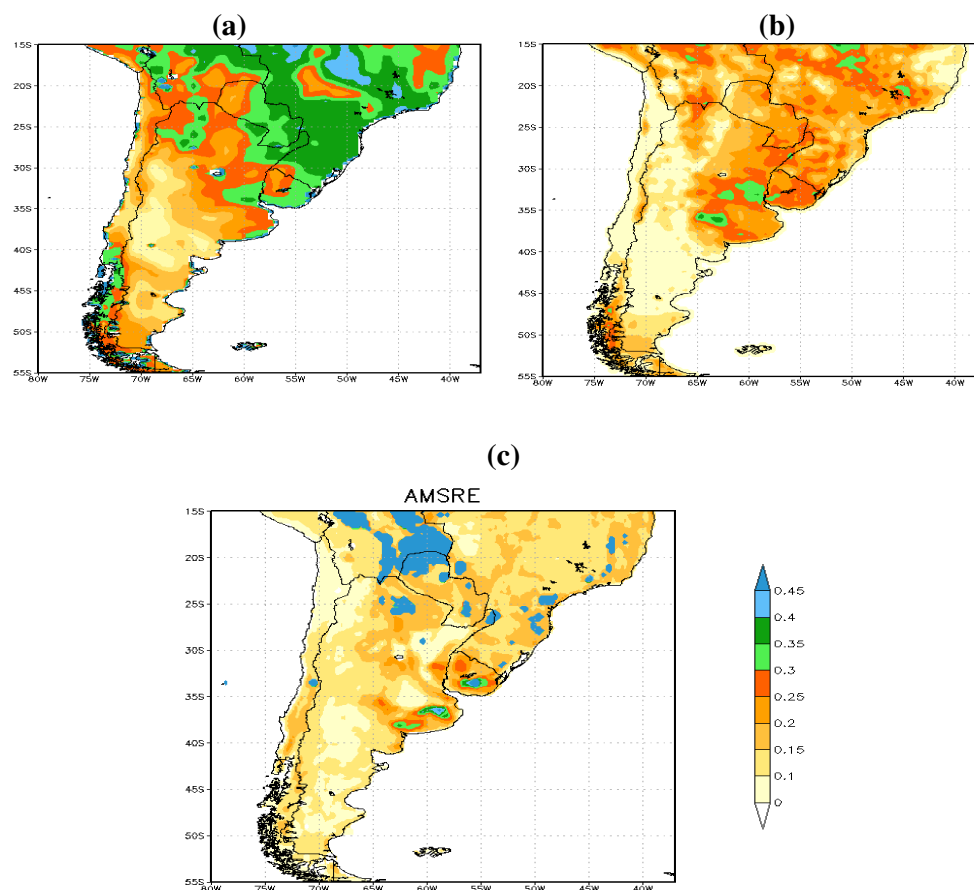


Figura 1: Campos de humedad de suelo del día 7 de marzo de 2009 para: (a) WRF-CTRL -12UTC, (b) WRF-CPTEC -12UTC y (c) estimaciones satelitales del AMSR-E-composición de la pasada ascendente y descendente. En los casos a) y b) corresponde a la capa 0-10 cm y en el caso c) aproximadamente 1 cm.. Unidades gcm^{-3}

Resultados

Los cambios en la condición inicial de la humedad de suelo, repercuten en los flujos de calor y humedad en superficie, alterando el estado de la atmósfera y consecuentemente la precipitación.

Los campos de precipitación se muestran en la Figura 2, donde se observa un desplazamiento hacia el este de los máximos locales de precipitación en el caso de la inicialización con los campos del CPTEC, produciéndose entonces una disminución de la precipitación sobre la provincia de Buenos Aires, un aumento sobre el Uruguay y el Río de la Plata, y una disminución sobre el Océano Atlántico.

Con el objetivo de estudiar el comportamiento de algunas variables de interés, se definieron tres subregiones R1, R2, R3 (ver la ubicación en la Figura 2), dentro de los cuales se calcularon los promedios areales de la precipitación, humedad del suelo en las diferentes capas, CAPE máximo, calor latente y sensible.

La figura 3 muestra la evolución de la humedad de suelo para el espesor 0-10cm en las subregiones 1 y 2. Se puede ver que la región 2 es más húmeda que la región 1, tanto para la corrida de control como para la del CPTEC. En la región de Buenos Aires (R1) hay una disminución de la humedad de suelo en concordancia con la sequía existente. Hacia fines del periodo se observa un aumento significativo en

conjunción con la ocurrencia de precipitación, como se mostrará más adelante. Este aumento en la humedad de suelo no se observa en la corrida del CPTEC.

En contraposición con R1, no se observa una tendencia negativa en R2, y si se observa un aumento significativo de la humedad de suelo en la corrida del CPTEC, no así en la del Control.

La Figura 4 muestra para ambas regiones una disminución en los flujos de calor latente en la corrida del CPTEC, en coincidencia con una menor disponibilidad de agua en el suelo para evaporar. Esto se acompaña con una disminución del calor sensible relacionado con el enfriamiento en la evaporación.

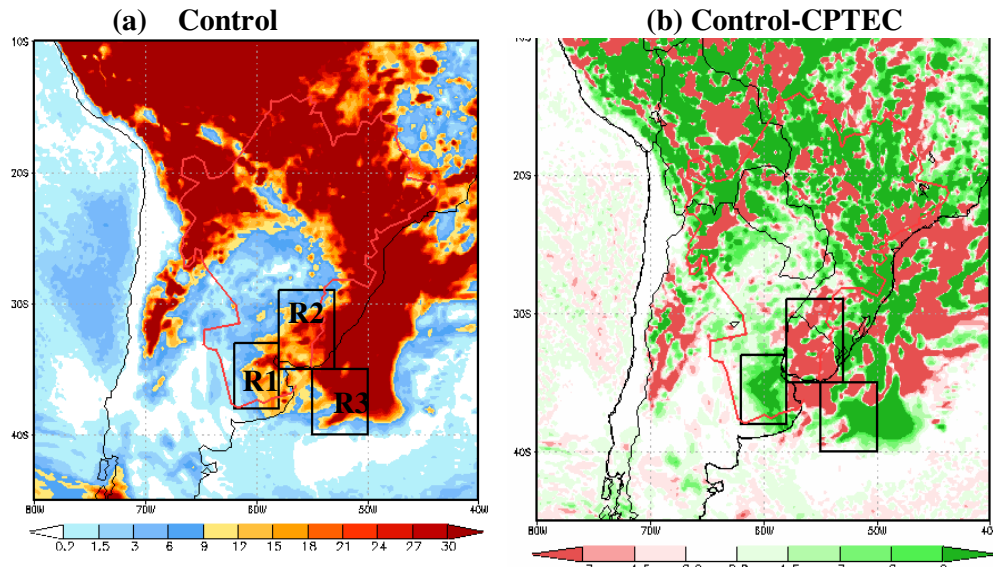


Figura 2: Precipitación acumulada (mm) a 120 horas pronosticada por el modelo WRF-CTRL (a) y su diferencia con respecto a la corrida del modelo WRF-CPTEC (b). Los cuadrados indican la ubicación de las subregiones donde se computan los promedios areales.

En el caso particular de la región 2, la ocurrencia de precipitaciones durante el último periodo de la corrida seca del CPTEC provoca un aumento del flujo de calor latente con respecto al control, revirtiendo el valor de la anomalía.

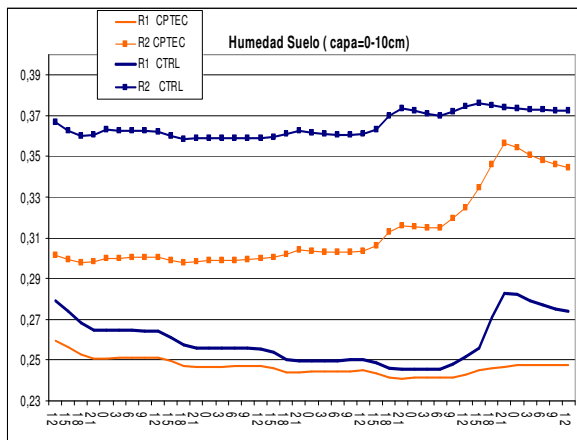


Figura 3: Evolución de la humedad de suelo volumétrico en el espesor 0-10cm para la corrida Control y para la corrida del CPTEC en las Regiones 1 y 2.

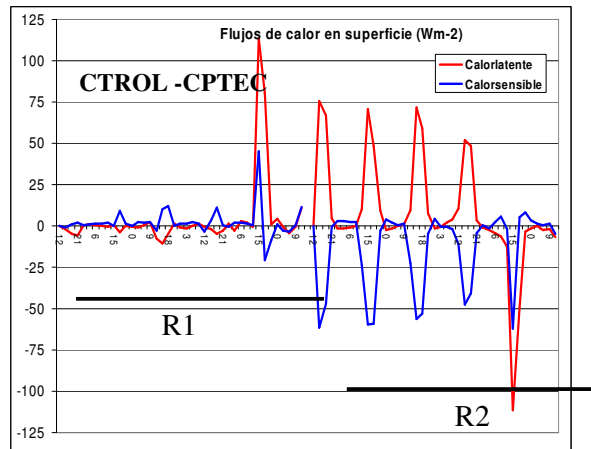


Figura 4: Evolución de los flujos de calor latente (rojo) y calor sensible (azul) en superficie (Wm^{-2}) en la región 1 y 2.

Los cambios en los flujos en superficie tendrán repercusiones en la evolución de la precipitación, como se observa en la Figura 5.

En la corrida seca del CPTEC, se observa para R1 una disminución en la precipitación en amplia correlación con la menor humedad de suelo. Este comportamiento se revierte al finalizar la corrida en R2, a pesar de que la humedad de suelo continua siendo menor que la del control. Este comportamiento produce un traslado de la precipitación hacia el noreste.

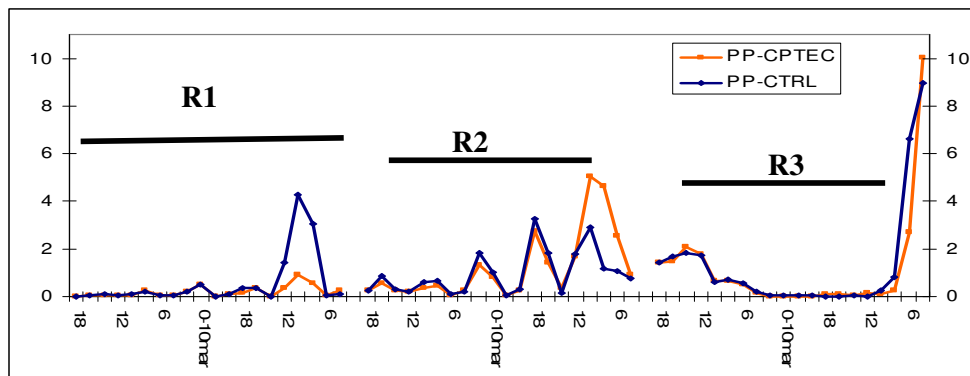


Figura 5: Evolución de la precipitación acumulada cada 6 horas en las 3 regiones de interés para la corrida Control (azul) y para la corrida del CPTEC (naranja).

Conclusiones

En este estudio, se muestra la sensibilidad del modelo WRF-ARW a distintas condiciones iniciales de humedad de suelo para una corrida de 5 días, con énfasis en algunas regiones de Sudamérica.

Como conclusión más relevante, se demuestra que una condición mas seca de humedad de suelo genera una modificación en los flujos de calor en superficie y un traslado de las áreas de precipitación, fundamentalmente hacia el este del dominio, generando un dipolo: menos precipitación en la región de la Provincia de Buenos Aires, y mayores precipitaciones en Uruguay y sur de Brasil. Este resultado concuerda con los de Saulo et al (2010). Asimismo, los cambios en los océanos adyacentes son menos marcados.

Se han empleado datos de humedad de suelo derivados de datos satelitales, como una primera evaluación de los campos obtenidos de los modelos de suelo del NCEP y CPTEC, y como consecuencia de ello, se planea realizar por un lado experimentos de asimilación de los datos del AMSR-E en el WRF-ARW, y por otro, procesar los modelos de suelo con mayor detalle en los niveles subterráneos.

Finalmente, este trabajo reitera la importancia que tiene una buena representación de la condición inicial que utilizan los modelos, para la generación de mejores pronósticos de precipitación.

Agradecimientos

Este trabajo fue realizado en el marco del proyecto PIDDEF 41/10 del Ministerio de Defensa. Los datos del AMSR-E están disponibles en el National Snow and Ice Data Center de la NASA (http://nsidc.org/data/docs/daac/ae_land_l2b_soil_moisture.gd.html) a los cuales se accede vía ftp.

Referencias

- Collini Estela A., E. H. Berbery, V. R. Barros and M. E. Pyle, 2008: "How Does Soil Moisture Influence the Early Stages of the South American Monsoon?". *J. Climate*, 21, 195-213.
- Ferreira Lorena, A. C. Saulo, J. Ruiz and M. Seluchi, 2006: "The impact of land use changes over the low level circulation related to the northwestern argentinean low." *Actas de la Octava conferencia del Hemisferio Sur de Meteorología y Oceanografía (8ICSHMO)*. ISBN: 85-17-00023-4.
- Ferreira Lorena, H. Salgado, C. Saulo y E. A. Collini, 2010: "Comparison of soil moisture values derived from models with observations from a field campaign over Argentina", enviado al *Atmos. Scie.Let.*
- Fu, R. and W. H. Li, 2004: "The influence of the land surface on the transition from dry to wet season in Amazonia." *Theor. Appl. Climatol.* 78, 97-110.
- Grimm A, Pal JS, Giorgi F. 2007: "Connection between Spring Conditions and Peak Summer Monsoon Rainfall in South America: Role of Soil Moisture, Surface Temperature, and Topography in Eastern Brazil." *Journal of Climate* 20: 5929-5945.

Michalakes, J., J. Dudhia, D. Gill, T. Henderson, J. Klemp, W. Skamarock, and W. Wang, 2004: "The Weather Research and Forecast Model: Software Architecture and Performance" to appear in proceedings of the 11th ECMWF Workshop on the Use of High Performance Computing In Meteorology, 25-29 October 2004, Reading, U.K. Ed. George Mozdzynski.

Saulo, C., L. Ferreira, J. Nogues-Paegle, M. Seluchi, J. Ruiz, 2010: "Land–Atmosphere Interactions during a Northwestern Argentina Low Event." *Mon. Wea. Rev.*, 138, 2481-2498. doi: 10.1175/2010MWR3227.1.

Spenerman Pablo, 2010: "Evaluación de la representación de la humedad de suelo por el modelo WRF-ARW." Tesis de Licenciatura. Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los océanos de la Universidad de Buenos Aires. Marzo 2010

Xue, Y., F. de Sales, W.-P. Li, C. R. Mechoso, C. A. Nobre, and H.-M. Juang, 2006: "Role of land surface processes in South American Monsoon development." *J. Climate*, 19, 741-762.

DETECCIÓN DE SALTOS CLIMÁTICOS EN SERIES DE ANOMALÍAS MENSUALES SOBRE EL SUR DE SUDAMÉRICA

Adrián E. Yuchechen^{1,2,3}

- (1) Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Buenos Aires, Argentina**
- (2) Equipo Interdisciplinario para el Estudio de Procesos Atmosféricos en el Cambio Global (PEPACG), Pontificia Universidad Católica Argentina (UCA), Buenos Aires, Argentina**
- (3) Facultad de Ciencias Fisicomatemáticas e Ingeniería, Pontificia Universidad Católica Argentina (UCA), Buenos Aires, Argentina**

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es la detección de saltos climáticos en series temporales de anomalías mensuales de altura geopotencial, para distintos niveles estándar sobre un conjunto de estaciones de radiosondeo del sur de Sudamérica, en el período 1973-2009. El método utilizado fue presentado a fines de la década del '70 y su finalidad es establecer una relación señal-ruido. Por falta de espacio, sólo se presentarán los resultados correspondientes a 500 hPa. El salto climático de fines de los '70 se detecta sólo en latitudes tropicales. Existen señales importantes que no pueden ser explicadas por fenómenos físicos globales y podrían responder a otros forzantes atmosférico/oceánicos, o incluso a inhomogeneidades propias de cada estación. Todo esto es materia de futura investigación.

ABSTRACT

This work is aimed at detecting climatic jumps in geopotential height monthly mean anomalies time series, for several mandatory levels in a set of upper-air stations within southern South America, for the period 1973-2009. The methodology used was presented in the late seventies and its kernel is to establish a signal-to-noise ratio. Due to space restrictions, only 500 hPa will be discussed. The late seventies' climatic jump is detected only at tropical latitudes. There exist important signals that cannot be explained with any global physical phenomena and might respond to other atmospheric/oceanic forcings, or even occur due to inhomogeneities at each station. This is a matter of future investigation.

1. INTRODUCCIÓN

Es de interés para la climatología la detección de inhomogeneidades en series temporales, pues a través de ellas se permite la localización de saltos climáticos. En virtud de que usualmente un salto climático conlleva la relocalización del valor medio de una serie temporal, viéndose afectada o no como resultado la variabilidad de tal serie, los métodos de detección hacen uso de herramientas estadísticas en las que usualmente se mide la relación señal-ruido. La detección de una inhomogeneidad no necesariamente implica un salto climático, a menos que la misma perdure en el tiempo. Un ejemplo ilustrativo se encuentra en las series temporales obtenidas a partir de radiosondeos: inhomogeneidades que deben su existencia a un cambio de instrumental, a un cambio de algoritmo en el cálculo de variables derivadas, e incluso a variaciones en la longitud del hilo que une el globo con el aparato de medición (Gaffen, 1994). Al día de la fecha, un método relativamente difundido por medio del cual pueden localizarse inhomogeneidades y saltos climáticos en series temporales es el introducido por Yamamoto et al. (1987, 1986), en el cual se utiliza un test estadístico para determinar cuándo un salto es tal. Tal método es abordado en un trabajo paralelo (Yuchechen, 2010). Existe un método alternativo y a la vez poco utilizado, presentado a fines de la década del '70 por Oerlemans (1978) y que, a conocimiento del autor, solamente ha sido aplicado en nuestra región recientemente en Herrera (2008). El objetivo del presente trabajo

no es el de efectuar un estudio intensivo de saltos climáticos en la región, sino más bien el de realizar una aplicación de la nueva metodología sobre series temporales de variables derivadas de radiosondeos, en distintos niveles de la troposfera y baja estratósfera.

2. DATOS Y METODOLOGÍA

Se utilizaron datos de radiosondeo que cubren el período 1973-2009. Los valores de altura geopotencial extraídos de los mismos pasaron un proceso de selección estadístico que eliminó valores potencialmente erróneos. Para cada uno de los niveles estándar en cada una de las estaciones se calcularon los valores medios mensuales (444 para el período mencionado). La serie fue descartada en el caso de existir valores faltantes al comienzo o al final del período temporal; en otro caso se efectuó una interpolación lineal. Como resultado de este procedimiento, las estaciones incluidas son las mostradas en la Tabla 1. En general, en las mismas es posible el análisis tanto de 100 hPa como de los niveles estándar ubicados por debajo de éste. A las series resultantes se les efectuó un análisis de Fourier, y se confeccionaron las series de anomalías sustrayendo de las series temporales originales su media climatológica y aquellos armónicos cuya varianza excedía el 5%. Es sobre estas series de anomalías que el método mencionado más arriba fue aplicado.

Número	Estación	País	Código	Latitud	Longitud
83612	Campo Grande	Brasil	CGR	20°28'S	54°40'O
83840	Curitiba	Brasil	CWB	25°31'S	49°10'O
83971	Porto Alegre	Brasil	POA	30°00'S	51°11'O
85442	Antofagasta	Chile	ANF	23°26'S	70°27'O
85799	Puerto Montt	Chile	PMC	41°26'S	73°06'O
87155	Resistencia	Argentina	RES	27°27'S	59°03'O
87344	Córdoba	Argentina	COR	31°19'S	64°13'O
87576	Ezeiza	Argentina	EZE	34°49'S	58°32'O
87860	Comodoro Rivadavia	Argentina	CRD	45°47'S	67°30'O

Tabla 1 – Listado de las estaciones utilizadas para las cuales las series temporales no fueron descartadas. “Código” se refiere a la designación de tres caracteres alfabéticos asignado por la Asociación Internacional de Transporte Aéreo (IATA en inglés) al aeropuerto más cercano.

En esencia, el método consiste en el ajuste por cuadrados mínimos de las series temporales a través de ventanas temporales de ancho $2n + 1$, simétricamente centradas respecto de un punto tomado como referencia, la cual es desplazada a lo largo del período analizado. La función utilizada para el ajuste corresponde a $f_i = \arctan(\beta i) / \arctan(\beta n)$ en donde el valor de β se fija de antemano. La Figura 1 muestra el comportamiento de la función de peso f_i para tres valores diferentes del parámetro β ; cuando $\beta = 0$ no hay un salto sino una tendencia lineal, y a medida que β incrementa su valor la función se asemeja más a una función escalón. Una vez fijado el valor de β , se procede a minimizar la función $h(a) = \sum_{i=-n}^n (E_i - af_i)^2$ con el objeto de calcular el valor de a , que dimensionalmente coincide con el de los valores de la serie de anomalías E_i . Como resultado de la condición de minimización se tiene que $a = \sum_{i=-n}^n E_i f_i / \sum_{i=-n}^n f_i^2$, obteniéndose un valor de a para cada punto de referencia. Finalmente, se establece el cociente señal-ruido $\gamma(a) = |a| / \sqrt{h(a)}$. Oerlemans (1978) establece que ha tenido lugar una inhomogeneidad cuando este cociente alcanza un máximo

relativo. En un intento de generalización, también se procuró minimizar $h(a, \beta)$ respecto tanto de a como de β , pero los resultados no fueron satisfactorios y, de momento, esta alternativa fue dejada de lado.

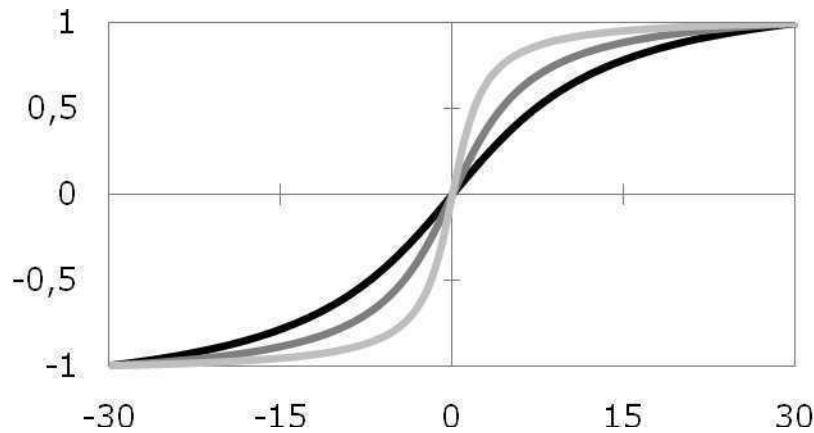


Figura 1 – Comportamiento de la función de peso f_i para tres valores distintos del parámetro β : 0.1 (negro), 0.2 (gris oscuro) y 0.5 (gris claro). El eje de ordenadas (abscisas) muestra el valor de $i (f_i)$. La ventana temporal mostrada es de 61 meses, y corresponde a $n = 30$.

3. RESULTADOS

Debido a restricciones de espacio, sólo se hace mención a los resultados obtenidos para 500 hPa. La ventana temporal se estableció en 61 meses para todos los casos ($n = 30$), lo cual corresponde a considerar dos años y medio antes y el mismo período después respecto de cada punto de referencia tomado. La Figura 2 muestra los resultados obtenidos para $\gamma(a)$ en tres de las estaciones utilizadas y para tres valores distintos de β , a lo largo del período analizado. En primer lugar, puede observarse en las tres estaciones mostradas que $\gamma(a)$ disminuye su valor a medida que el parámetro β se incrementa. Respecto de las inhomogeneidades detectadas, existe un comportamiento interesante en relación al salto climático de fines de la década del '70, que como mínimo afectó vastas regiones del Pacífico (Mantua et al., 1997; Miller et al., 1994). A juzgar por el importante valor que alcanza $\gamma(a)$ en CGR a mediados de la década del '70, puede afirmarse que tal salto también ha afectado la región subtropical de Sudamérica. Sin embargo, tal señal no está presente en las dos estaciones restantes, de manera que el cambio no ha afectado igualmente a las diferentes latitudes del sur de Sudamérica, al menos en 500 hPa, aunque la señal de tal cambio sí está presente en 100 hPa sobre EZE (resultados no mostrados), lo cual evidencia el alcance irregular de tal salto en los diferentes niveles de la atmósfera.

Existen tres señales máximas de inhomogeneidades en EZE, a comienzos y a mediados de la década del '80, y a mediados de la década del '90. El segundo de ellos podría estar más directamente relacionado con el intenso Niño que tuvo lugar en 1982/3. Desafortunadamente, tal inhomogeneidad también coincide con la fecha aproximada –1984– de cambio de modelo de radiosonda en la red aerológica del Servicio Meteorológico Nacional (Yuchechen, 2004), de Väisälä RS21 a Väisälä RS80 (Gaffen, 1993), de manera que puede atribuírsele uno u otro efecto, y probablemente se deba a un efecto combinado de ambos. Sin embargo, tal señal no está presente en 250 hPa (Yuchechen, 2010), por lo que se requiere profundizar sobre este aspecto en particular para

determinar tales influencias. Finalmente, en PMC hay una señal máxima a fines de la década del '80, nuevamente en coincidencia con un salto climático en el Pacífico (Hare y Mantua, 2000).

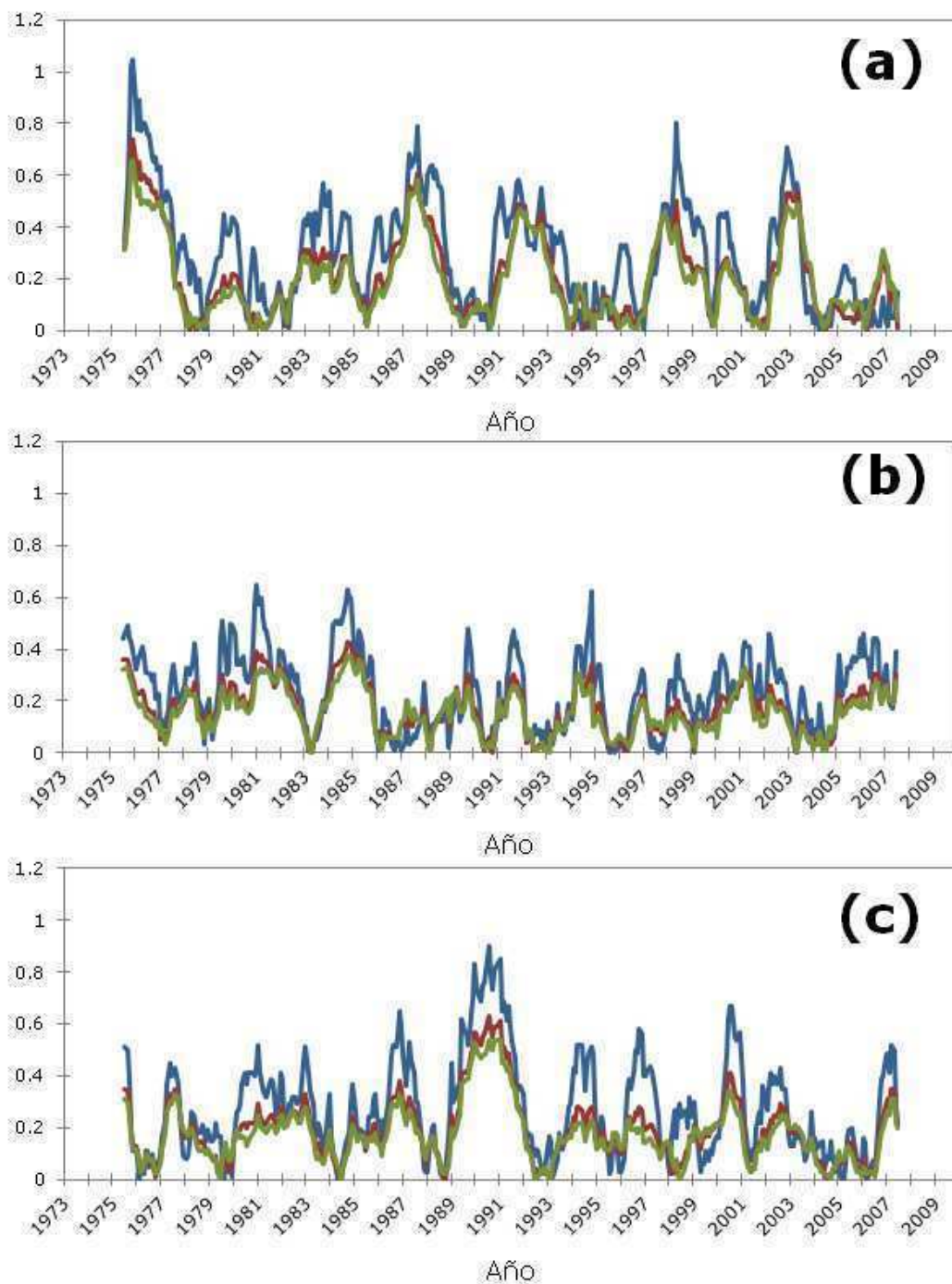


Figura 2 – Valor del cociente señal-ruido $\gamma(a)$ para tres valores distintos de β –0 (azul), 0.2 (rojo) y 0.5 (verde)– en 500 hPa: (a) CGR, (b) EZE, y (c) PMC.

4. CONCLUSIONES

El método implementado muestra que ciertas inhomogeneidades pueden caracterizarse como saltos climáticos cuando la señal alcanza valores máximos, aunque en ocasiones los cambios en el modelo de radiosonda también parecen inducir inhomogeneidades. Asimismo, los resultados muestran la importancia del Océano Pacífico como forzante de la troposfera media en Sudamérica, aunque de manera dispar, pues el salto de finales de los '70 ('90) afectó mayormente latitudes tropicales (extratropicales).

5. AGRADECIMIENTOS

El autor agradece al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) por financiar su beca postdoctoral. Este trabajo está dedicado a la memoria de la Dra. Susana Bischoff.

6. REFERENCIAS

Gaffen, D. J., 1993: Historical changes in radiosonde instruments and practices (WMO/TD-541), Instrum. and Observ. Methods Rep. 50, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 123 pp.

Gaffen, D. J., 1994: Temporal inhomogeneities in radiosonde temperature records, *J. Geophys. Res.*, **99** (D2), 3667-3676

Hare, S. R., y N. J. Mantua, 2000: Empirical evidence for North Pacific regime shifts in 1977 and 1989, *Progr. Oceanogr.*, **47**, 103-145

Herrera, N., 2008: Temperatura mínima y temperatura mínima interdiurna: Variabilidad espacial y temporal en la región centro-norte de Argentina, Tesis de Licenciatura, Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, 113 pp.

Mantua, N. J., S. R. Hare, Y. Zhang, J. M. Wallace, y R. C. Francis, 1997: A Pacific Interdecadal Climate Oscillation with Impacts on Salmon production, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **78** (6), 1069-1079

Miller, A. J., D. R. Cayan, T. P. Barnett, N. E. Graham, y J. M. Oberhuber, 1994: The 1976-77 climate shift of the Pacific Ocean, *Oceanography*, **7** (1), 21-26

Oerlemans, J., 1978: An Objective Approach to Breaks in the Weather, *Mon. Wea. Rev.*, **106**, 1672-1679

Yamamoto, R., T. Iwashima, N. K. Sanga, y M. Hoshiai, 1986: An Analysis of Climatic Jump, *J. Meteor. Soc. Japan*, **64** (2), 273-280

Yamamoto, R., T. Iwashima, N. K. Sanga, y M. Hoshiai, 1987: Detection of the Climatic Jump, XIX IUGG General Assembly, 9-22 agosto, Vancouver, Canadá

Yuchechen, A. E., 2004: Aspectos climáticos de la tropopausa en latitudes extratropicales sobre la República Argentina, Tesis de Licenciatura, Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, 100 pp.

Yuchechen, A. E., 2010: Comparación entre dos métodos de detección de saltos climáticos en series temporales, Actas de la XXV Reunión Científica de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas, Córdoba, Argentina, 2-5 noviembre 2010

COMPARACIÓN ENTRE DOS MÉTODOS DE DETECCIÓN DE SALTOS CLIMÁTICOS EN SERIES TEMPORALES

Adrián E. Yucheche^{1,2,3}

- (1) Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Buenos Aires, Argentina
- (2) Equipo Interdisciplinario para el Estudio de Procesos Atmosféricos en el Cambio Global (PEPACG), Pontificia Universidad Católica Argentina (UCA), Buenos Aires, Argentina
- (3) Facultad de Ciencias Fisicomatemáticas e Ingeniería, Pontificia Universidad Católica Argentina (UCA), Buenos Aires, Argentina

RESUMEN

Existen en la literatura al menos dos métodos de detección de saltos climáticos con aplicación a series temporales. El primero de ellos fue presentado a fines del '70 y consiste en el ajuste de los datos (normalmente anomalías) por el método de cuadrados mínimos haciendo uso de una familia de funciones de peso $f_i = \arctan(\beta i) / \arctan(\beta n)$, siendo β un parámetro que establece la magnitud del salto, e i y n parámetros relacionados con la ventana temporal escogida. La finalidad del método es establecer una relación señal-ruido para cada una de las series. El segundo método, presentado a mediados de los '80, también hace uso de una ventana temporal y su finalidad es establecer una relación señal-ruido, pero utilizando un test estadístico para estimar los parámetros. El propósito del presente trabajo es el de establecer semejanzas y diferencias entre ambas metodologías con el objetivo de determinar si ambas son equivalentes.

Al efectuar una comparación para series de anomalías medias mensuales de altura geopotencial en diferentes niveles estándar sobre distintas estaciones de radiosondeo del sur de Sudamérica para el período 1973-2009, puede afirmarse que el uso de cualquiera de los métodos es indistinto para una ventana temporal de 61 meses, si bien existen mayores semejanzas entre ambos cuando $\beta = 0$, es decir, cuando la función de peso es lineal. Además, en todos los casos los resultados obtenidos se magnifican para el segundo de los métodos. Así, para la una misma ventana temporal, ambos métodos detectan los mismos saltos, si bien el segundo de ellos es el más aconsejable en cuanto a su definición.

ABSTRACT

There exist in the literature at least two different methods to detect climate shifts in time series. The first one was presented in the late seventies and relies upon adjusting the time series (most frequently anomalies) by a least squares fit using the weight function family $f_i = \arctan(\beta i) / \arctan(\beta n)$ within a given time span, β being a parameter establishing the strength of the shift, and i and n being two parameters closely related to the time span chosen, in order to establish a signal-to-noise ratio. The second method was presented in the late eighties; its purpose is also to build up a signal-to-noise ratio within a time span, but using a statistical test to determine the parameters involved. The goal of the present research is to establish similarities and differences between both methodologies in order to determine whether they are equivalent.

After comparing both methodologies for geopotential monthly mean anomalies time series at different mandatory levels over several upper-air stations located in southern South America throughout the period 1973-2009 choosing a 61-month time span, it can be stated that both methods are in better resemblance when $\beta = 0$, i.e. when the weight function is linear. Furthermore, results are magnified for the second method in all cases. Therefore, as long as the time span is the same for both

methods, the same shifts are detected by them, although the use of the second one is encouraged if more definition regarding the detection of the shift is required.

1. INTRODUCCIÓN

El clima de una región queda determinado por un conjunto de parámetros estadísticos obtenidos dentro de cierto período. De hecho, el clima puede definirse como la estadística del tiempo. Desde un punto de vista más físico, el clima puede interpretarse como un punto de equilibrio en torno al cual ocurren los fenómenos meteorológicos cotidianos, y las desviaciones respecto del clima se definen como anomalías. Las interacciones no lineales entre las distintas escalas atmosféricas, y de ellas con las distintas componentes de la biósfera, pueden dar lugar a relocalizaciones de estos puntos de equilibrio. Debido al acoplamiento no lineal del sistema es esperable que tales cambios de régimen no sean periódicos. Se está en presencia de un cambio climático cuando la relocalización perdura un tiempo prolongado; de otro modo se trata más bien de una inhomogeneidad. Sea cual fuere el caso, existe un comportamiento peculiar de las anomalías y se han desarrollado diversos métodos de detección. En virtud de que usualmente un salto climático conlleva la relocalización del valor medio de una serie temporal pudiendo o no cambiar su variabilidad, los métodos hacen uso de herramientas basadas en la relación señal-ruido. Un método difundido por medio del cual pueden localizarse inhomogeneidades y saltos climáticos corresponde al de Yamamoto et al. (1987, 1986), en el que se utiliza un test estadístico para estimar si un salto es tal. Un método alternativo y poco utilizado fue presentado por Oerlemans (1978). Vale la pena mencionar que ambos métodos requieren de cierta cantidad información pre- y post-salto o, puesto en otras palabras, la ocurrencia de un cambio de régimen reciente no es detectada por ellos, aunque Rodionov (2004) ha presentado un método que subsana esta aparente desventaja. No obstante ello, en este trabajo se presenta una comparación entre los dos primeros métodos, con el objetivo de determinar si el uso de uno u otro es equivalente. La implementación del método más reciente se deja para trabajos posteriores.

2. DATOS Y METODOLOGÍA

Se utilizaron y procesaron los mismos datos que en Yuchechen (2010). Su descripción será obviada aquí. Asimismo, allí también se describe el método presentado en Oerlemans (1978), por lo que se utilizará el espacio restante de la sección para efectuar una breve descripción del método desarrollado por Yamamoto et al. (1987, 1986). El mismo hace uso de una ventana temporal de ancho $2n+1$ simétricamente centrada en un punto de referencia inicialmente ubicado a $n+1$ unidades de tiempo del comienzo de la serie, que posteriormente será desplazado hasta $N-(n+1)$, siendo N la cantidad total de datos. Se calculan los valores medios μ_A^i y μ_D^i y los desvíos estándar σ_A^i y σ_D^i para $n+1 \leq i \leq N-(n+1)$, donde los subíndices A y D indican antes y después del punto de referencia. Luego, se establece el límite de confianza de μ_A^i con la expresión $C_A^i = \sigma_A^i t / \sqrt{n-1}$, con t el valor que satisface la condición de que el área encerrada por la distribución de t-Student para $n-1$ grados de libertad en el intervalo $(-t, t)$ sea la probabilidad para el nivel de significancia deseado, con un procedimiento similar para μ_D^i . Finalmente, se confecciona el cociente señal-ruido $(S/N)_i = |\mu_A^i - \mu_D^i| / (C_A^i + C_D^i)$ estableciéndose la existencia de un salto cuando esta cantidad excede la unidad. En el caso de que un conjunto de puntos contiguos compartan la condición $(S/N)_i > 1$, el salto tiene lugar en punto de referencia i en el que dicho cociente es máximo. Inicialmente, el método fue concebido para ser utilizado con un intervalo temporal de un año. La metodología compara dos períodos de tiempo respecto del punto de referencia, de manera que matemáticamente no existe restricción alguna que impida la generalización a intervalos de tiempo arbitrarios. En el presente estudio tal intervalo será mensual, y hablar no de saltos

climáticos sino de inhomogeneidades, dadas las escalas de tiempo involucradas, parecería más apropiado. No se efectuará, sin embargo, tal distinción. Este método presenta una diferencia esencial con respecto al de Oerlemans (1978) y es que en lugar de estimar el cociente señal-ruido a través de un ajuste de los datos para una función de peso preestablecida que simula un salto se utiliza un método estadístico. La sección siguiente analiza la comparación entre ambos métodos.

3. RESULTADOS

El nivel de 500 hPa es tratado en Yuchechen (2010). Para no repetir los resultados se analiza aquí el nivel estándar de 250 hPa. Al igual que en Yuchechen (2010) la ventana temporal se estableció en 61 meses. La Figura 1 muestra, para tres de las estaciones utilizadas, los resultados obtenidos para el cociente señal-ruido. En el caso del método de Oerlemans, se muestran los resultados para dos valores del parámetro β .

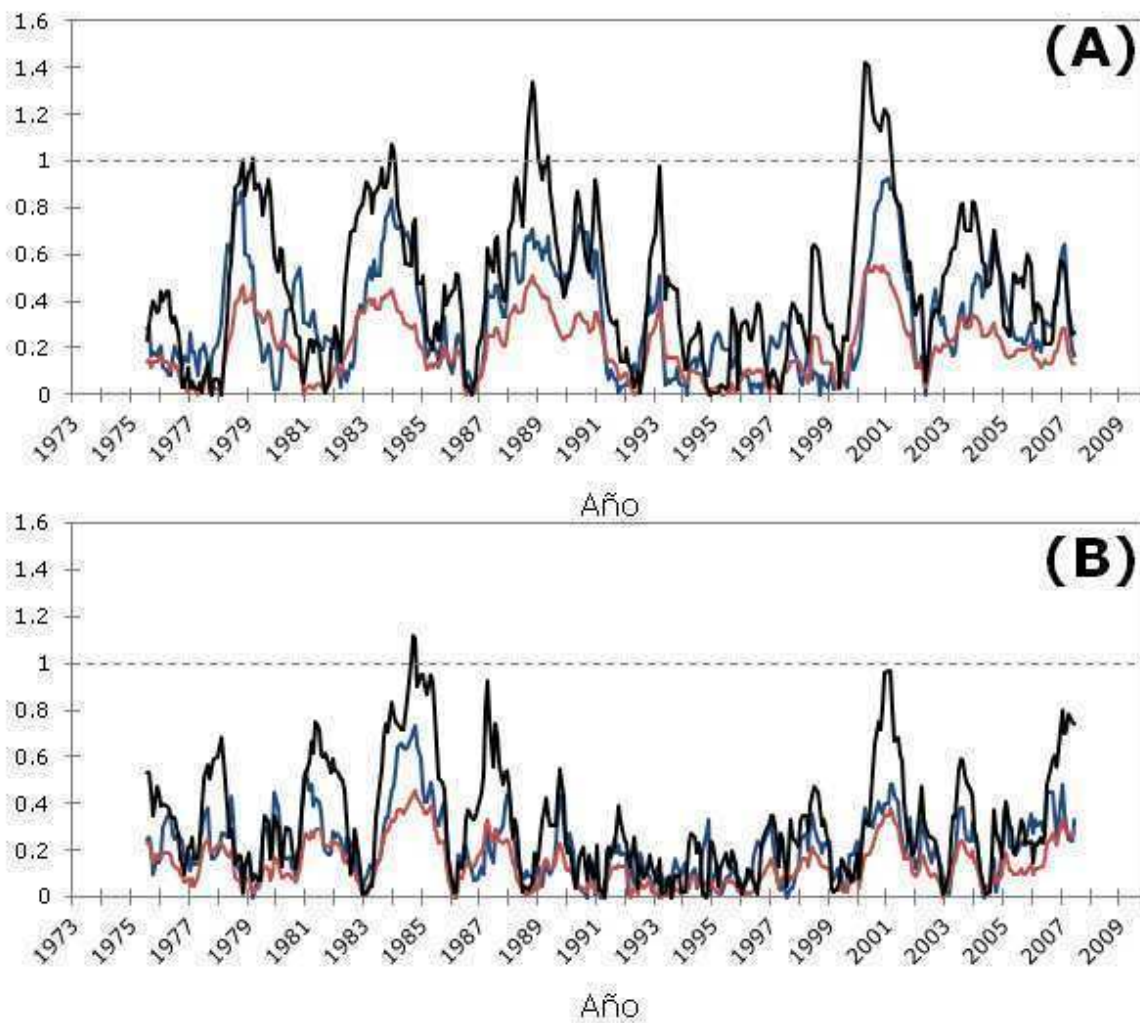


Figura 1 – Cociente señal-ruido para el método de Yamamoto (negro) y para el método de Oerlemans con dos valores del parámetro β –0 (azul) y 0.5 (rojo)– en 250 hPa para (a) Curitiba (CWB), (b) Ezeiza (EZE), y (c) Comodoro Rivadavia (CRD).

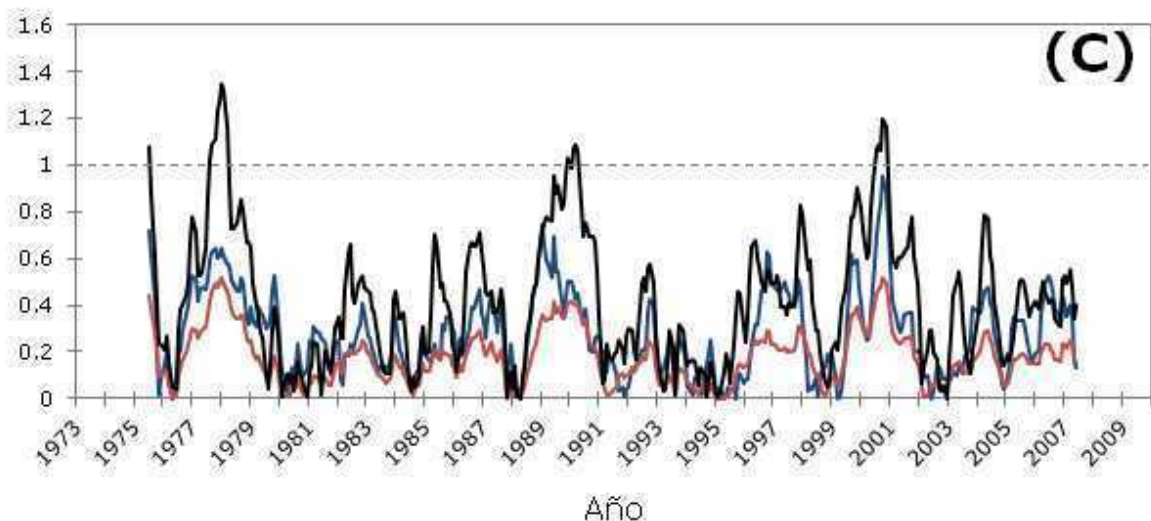


Fig. 1 – continuación.

Una comparación entre el cociente S/N para las tres estaciones mostradas establece que con ambos métodos se obtienen resultados similares, y que en todos los casos el método de Yamamoto magnifica los resultados. Si bien la condición $S/N > 1$ es un tanto arbitraria, dicho método establece una condición para la localización de saltos climáticos a priori, a diferencia del método de Oerlemans, en el que es necesario efectuar una comparación entre los máximos relativos de S/N para dar con la localización certera del salto. Asimismo, para el mismo método S/N se incrementa cuando el valor de β disminuye, un resultado ya mencionado en Yuchechen (2010) para otras estaciones y otro nivel estándar.

A la luz de los resultados presentados, es claro que los saltos climáticos no tienen lugar ni en el mismo instante ni con la misma intensidad. En efecto, los saltos son menos marcados en EZE, estación para la que S/N apenas supera la unidad a mediados de los '80. Tal salto también aparece en esta estación para 500 hPa, y Yuchechen (2010) menciona que el mismo coincide con la fecha aproximada –1984– de cambio de modelo de radiosonda en la red aerológica del Servicio Meteorológico Nacional, de manera que el mismo puede ser atribuido tanto a un cambio de instrumental como a una situación física real. En contraposición, no existe en CRD ningún salto ni durante ni en las proximidades de mediados de los '80, por lo que parecería tratarse de un salto real en la región. El salto climático de fines de la década del '70, con epicentro en el Pacífico (Mantua et al., 1997; Miller et al., 1994), no se detecta en EZE, pero sí en las dos estaciones restantes mostradas, aunque S/N tímidamente supera la unidad en CWB, en donde existen dos saltos más importantes a finales de los '80 y principios de los 2000. Hare y Mantua (2000) mencionan al primero de ellos para el Pacífico Norte. El segundo salto es muy reciente y a conocimiento del autor no existen trabajos que traten el tema. Si bien $S/N < 1$ en EZE para este último caso, es importante mencionar que dicha señal se observa en las tres estaciones analizadas, y todo indicaría que se trata de la señal de un fenómeno físico real. Finalmente, podría concluirse que la señal de salto también es importante luego de un evento Niño, como puede observarse en CWB y EZE para el evento 1982/83, aunque no para el evento intenso 1997/8.

4. CONCLUSIONES

Ambos métodos de detección parecen resolver de manera similar la localización de saltos climáticos. Es evidente que el principal inconveniente no radica en la implementación de los mismos, sino que, como con cualquier otra herramienta estadística, el meollo de la cuestión es la interpretación de los resultados obtenidos. La localización de saltos climáticos en la región ha sido abordada mayormente utilizando un intervalo temporal de un año (e.g. Vargas y Minetti, 1997; Vargas et al., 1995), de manera que la implementación aquí presentada representa una variante inexplorada respecto de la metodología. En vista de que el objetivo del presente trabajo se limita a comparar ambos métodos, la causa de dichos saltos no será abordada aquí, dejando esto como tarea de investigación a futuro.

5. AGRADECIMIENTOS

El autor agradece al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) por financiar su beca postdoctoral. Este trabajo está dedicado a la memoria de la Dra. Susana Bischoff.

6. REFERENCIAS

- Hare, S. R., y N. J. Mantua, 2000: Empirical evidence for North Pacific regime shifts in 1977 and 1989, *Progr. Oceanogr.*, **47**, 103-145
- Mantua, N. J., S. R. Hare, Y. Zhang, J. M. Wallace, y R. C. Francis, 1997: A Pacific Interdecadal Climate Oscillation with Impacts on Salmon production, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **78** (6), 1069-1079
- Miller, A. J., D. R. Cayan, T. P. Barnett, N. E. Graham, y J. M. Oberhuber, 1994: The 1976-77 climate shift of the Pacific Ocean, *Oceanography*, **7** (1), 21-26
- Oerlemans, J., 1978: An Objective Approach to Breaks in the Weather, *Mon. Wea. Rev.*, **106**, 1672-1679
- Rodionov, S. N., 2004: A sequential algorithm for testing climate regime shifts, *Geophys. Res. Lett.*, **31**, L09204, doi:10.1029/2004GL019448
- Vargas, W. M., J. L. Minetti, y A. G. Poblete, 1995: Statistical Study of Climatic Jump in the Regional Zonal Circulation over South America, *J. Meteor. Soc. Japan*, **73** (5), 849-856
- Vargas, W. M., y J. L. Minetti, 1997: Trends and jumps in the annual precipitation in South America, south of 15°S, *Atmósfera*, **11** (4), 205-221
- Yamamoto, R., T. Iwashima, N. K. Sanga, y M. Hoshiai, 1986: An Analysis of Climatic Jump, *J. Meteor. Soc. Japan*, **64** (2), 273-280
- Yamamoto, R., T. Iwashima, N. K. Sanga, y M. Hoshiai, 1987: Detection of the Climatic Jump, XIX IUGG General Assembly, 9-22 agosto, Vancouver, Canadá
- Yuchechen, A. E., 2010: Detección de saltos climáticos en series de anomalías mensuales sobre el sur de Sudamérica, *Actas de la XXV Reunión Científica de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas*, Córdoba, Argentina, 2-5 noviembre 2010

Estimación de la tasa de evapotranspiración a partir de datos satelitales MODIS

C. Mulleady¹ y D. Barrera²

¹Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos (FCEN-UBA). Ciudad Universitaria, (1428) Buenos Aires, Argentina.

²CONICET / Departamento de Ingeniería Agrícola y Uso de la Tierra (FA-UBA). Av. San Martín 4453, (1417) Buenos Aires, Argentina.

Mail de contacto: crisobal_mulleady@yahoo.com.ar

INTRODUCCIÓN

La evapotranspiración (*ET*) es una de las componentes más importantes del ciclo hidrológico. Representa la transferencia de vapor de agua hacia la atmósfera mediante la transpiración de las plantas y la evaporación desde el suelo desnudo y las superficies de agua libre. La estimación de la tasa de *ET* es esencial en el estudio de los procesos hidrológicos, y muy útil en el manejo de los recursos hídricos y actividades agrícolas, así como en el modelado matemático del ciclo hidrológico en la interfaz suelo-atmósfera.

La relación existente entre temperatura de superficie, humedad de suelo, densidad de vegetación, y balance de energía, es compleja y ha sido estudiada por meteorólogos, hidrólogos, ecólogos y físicos ambientales. En las últimas décadas se han desarrollado modelos para estimar la evapotranspiración en distintas escalas de espacio y tiempo, para diferentes condiciones de cobertura vegetal y humedad de suelo, a partir de mediciones *in situ* que incluyen variables meteorológicas y en ciertos casos variables en el suelo. La mayoría de estos modelos parten de la ecuación de Penman (1948). Ejemplo de ellos son los de Priestley y Taylor (1972), Monteith (1981 y 1995), Shuttleworth y Wallace (1985).

Otra aproximación es la de estimar la evapotranspiración como residuo a partir de la ecuación de conservación de energía en la superficie evapotranspirante. La ecuación de densidad de flujo de energía que gobierna el balance viene dada por la forma en que se distribuye la radiación neta (*Rn*) a nivel de superficie, por medio del flujo de calor en el suelo (*G*) y los flujos atmosféricos de calor sensible (*H*) y de calor latente ($\rho_w \lambda E$) (Brutsaert, 1984):

$$Rn = G + H + \rho_w \lambda E \quad (1)$$

donde ρ_w es la densidad del agua, λ es el calor latente de vaporización y *E* es la tasa de evapotranspiración en unidades de velocidad. Todos los estudios realizados bajo este enfoque usan modelos unidimensionales para describir la radiación, la conducción y los mecanismos de transporte que influyen la temperatura de superficie y el balance de energía.

La mayor parte de los estudios basados en teledetección que utilizan la ecuación de balance de energía, asumen que la radiación neta y el flujo de calor en el suelo son calculables a partir de información remota.

Los dos términos restantes, (*H*) y ($\rho_w \lambda E$), son flujos verticales causados principalmente por transporte turbulento y son difíciles de estimar. En general estos términos son obtenidos por medio de modelos de flujo unidimensionales elaborados en analogía con la ley de Ohm (Friedl, 2002). Las variables necesarias para estimar *H* son: la densidad del aire, la temperatura aerodinámica en la canopia y en la película de aire contigua a ésta T_o , la temperatura del aire por encima de la superficie evaporante T_a , y la resistencia del aire al transporte vertical de propiedades r_a , relacionada con la difusividad turbulenta.

La teledetección ha sido ampliamente utilizada para estimar *ET* a partir de la ecuación (1). Al estimar *H* generalmente se sustituye T_o por la temperatura radiométrica de superficie T_s , a pesar de que pueden diferir en hasta 2°C para canopias densas y aún más para suelo parcialmente desnudo (Rivas, 2004). Algunos investigadores desarrollaron sus modelos simplemente haciendo dicha sustitución; otros agregan una resistencia adicional a r_a (Boegh et al., 2002 y 2004; Friedl, 2002). De esta forma obtienen la tasa media de evapotranspiración para períodos cortos de tiempo.

El error cometido en la estimación de la temperatura T_o se propaga a través de los términos *H* y *Rn*; en este último término el error se propaga y amplifica ya que la energía calórica saliente emitida por los cuerpos terrestres, según la ley de Stefan-Boltzmann, depende de T_o^4 . Por ello, se ha intentado

evitar que T_0^4 aparezca en forma explícita en el cálculo de Rn y del mismo modo con T_0 en el cálculo de H . Así, Ibáñez y Caselles (1999) propusieron usar la razón de Bowen β (relación entre H y $\rho_w \lambda E$) y de esta forma prescindir del cálculo de H ; la "razón de Bowen radiativa" propuesta permite estimar β . El método razón de Bowen radiativa-balance de energía es aplicado para estimar la evapotranspiración a escala regional incorporando la información aportada por las imágenes de satélite.

Boegh et al (2002) usan la diferencia $(T_0 - T_a)$ que se puede estimar con un error absoluto más pequeño que el asociado a T_0 . Rivas y Caselles (2004) desarrollaron una relación lineal en T_0 para expresar T_0^4 , que es válida en el rango de temperaturas de 7°C a 65°C; de este modo consiguieron que el error asociado a T_0 no se amplifique con la cuarta potencia.

A fin de no depender de complejas parametrizaciones espaciales en el cálculo de r_a para tener en cuenta la heterogeneidad de superficies, algunos investigadores han partido de la relación empírica de Bouchet (1963), quien postula que a medida que el suelo pierde su humedad, la consiguiente disminución en la evapotranspiración actual es compensada exactamente por un aumento en la evapotranspiración potencial correspondiente a las nuevas condiciones ambientales. Posteriormente Granger (1989) derivó una relación similar a la de Bouchet pero con base teórico-física. Poco después Granger y Gray (1989) trabajaron con la relación $(F=ET/Ep)$, razón entre las evapotranspiraciones actual y potencial, a la que llamaron evapotranspiración relativa, y propusieron una relación empírica de este cociente con la relación $(Ea/(Ea + Q))$ donde Ea es el poder evaporante de la atmósfera, y $(Q=Rn-G)$ es la energía disponible para emisión de calor sensible y latente hacia la atmósfera. A su vez, Ea es función del viento y del déficit de presión de vapor según la ecuación de Dalton.

Venturini et al (2008) retomaron el trabajo de Granger y Gray, pero optaron por la ecuación de Priestley y Taylor (1972) para estimar la evapotranspiración potencial. Usaron estimaciones de la temperatura radiativa de superficie T_s y de la temperatura de rocío T_d disponibles como productos del sensor MODIS obtenidos a partir de datos hiperespectrales, bajo la condición de cielo despejado. A través del coeficiente de evapotranspiración relativa F , la estimación de ET se independiza del cálculo de factores de fricción y funciones de la velocidad del viento, y además incorpora las condiciones atmosféricas sin tener que recurrir a relaciones auxiliares o calibraciones in-situ (Venturini et al., 2008). El coeficiente adimensional F se expresa de la siguiente manera:

$$F = \frac{ET}{E_{pot}} = \frac{(T_u - T_d)}{(T_s - T_d)} \quad (2)$$

donde ET es la evapotranspiración, E_{pot} es la evapotranspiración potencial y, T_s y T_d son las temperatura de la superficie y de punto de rocío respectivamente que pueden obtenerse a partir de información de sensores remotos. La metodología de Venturini et al (2008) introduce la variable T_u que se define como la temperatura que tendría el aire en la superficie si fuese llevado a la saturación sin cambiar la presión de vapor. Por lo tanto T_u está asociada a la presión de vapor en la superficie, la cual a su vez es sensible a la humedad del suelo y a su cobertura vegetal. Una vez calculados T_u y luego F la metodología presentada por Venturini et al (2008) propone estimar ET de la siguiente manera:

$$ET = \alpha \left(\frac{F\Delta}{F\Delta + \gamma} \right) (Rn - G) \quad (3)$$

donde α es un parámetro de la ecuación propuesta por Priestley y Taylor (1972), Δ es la pendiente de la ecuación de Clausius-Clapeyron y γ es la constante psicrométrica. Esta técnica de obtención de ET se caracteriza principalmente por ser un método sencillo y aplicable en un rango extenso de escalas espaciales, que se vale únicamente de información obtenida a través de sensores remotos y no requiere mediciones *in situ*.

En las siguientes secciones se describe la metodología seguida para implementar esta técnica y obtener un mapa de tasa instantánea de ET en la provincia de Buenos Aires.

MATERIAL Y METODOLOGÍA

Área de estudio y datos utilizados

Se tomó como área de estudio una gran porción de la provincia de Buenos Aires que se extiende en longitud desde 58.0 W hasta 63.0 W y en latitud desde 34.0 S hasta 39.0 S. Se eligió el día 4 de enero de 2009 por la escasa nubosidad que presentaba en la región.

Se usó información obtenida por el sensor MODIS, que posee una gran resolución espectral (36 bandas radiométricas) y espacial (píxeles de 250m, 500m y 1000m). Además, la adquisición de la información se realiza vía Internet de forma sencilla para el usuario. Se utilizaron los productos MOD03, MOD07, MOD11, MOD35, MOD09 y MOD13. El producto MOD03 cuenta con la información referida a latitud, longitud y ángulo cenital solar con una resolución de 1km.

Se presenta a continuación la metodología empleada para estimar los valores de la radiación neta R_n , el flujo de calor en el suelo G y coeficiente adimensional de evaporación relativa F .

Estimación de la radiación neta

Existen varios trabajos dedicados a la estimación de la densidad de flujo de radiación neta superficial (R_n) que combinan observaciones de sensores remotos con mediciones puntuales realizadas en superficie. Entre ellos se pueden mencionar los de los autores Gautier et al. (1980) y Jacobs et al. (2000) entre otros. El trabajo de Islam et al. (2003) se basa en la obtención de R_n interpolando observaciones puntuales realizadas en superficie. En el presente trabajo se aplicó una metodología propuesta por Bisht et al. (2005). Esta independiza la estimación de R_n de datos medidos en superficie, estimando todos los parámetros necesarios a partir de información obtenida del instrumento MODIS. Este método permite obtener estimaciones de R_n distribuidas espacialmente sobre grandes regiones heterogéneas y para días despejados. En forma resumida, la metodología consiste en la estimación de las componentes del balance radiativo bajo diversas consideraciones. La radiación neta instantánea puede ser evaluada a partir de sus componentes de flujos saliente y entrante de radiación de onda corta y los flujos saliente y entrante de radiación de onda larga como:

$$R_n = R_C^\downarrow - R_C^\uparrow + R_L^\downarrow - R_L^\uparrow = (1 - \alpha)R_C^\downarrow + R_L^\downarrow - R_L^\uparrow \quad (4)$$

Donde R_C^\downarrow y R_C^\uparrow son los flujos de radiación de onda corta entrante y saliente respectivamente, R_L^\downarrow y R_L^\uparrow son los flujos de radiación de onda larga entrante y saliente respectivamente y α es el albedo superficial. El flujo de radiación de onda corta entrante es obtenido siguiendo la parametrización propuesta por Zillman (1972). Los flujos de radiación de onda larga se pueden representar de la siguiente forma:

$$R_L^\downarrow = \sigma \epsilon_a T_a^4 \quad (5)$$

$$R_L^\uparrow = \sigma \epsilon_s T_s^4 \quad (6)$$

Donde T_a y T_s son las temperaturas del aire y de la superficie respectivamente, ϵ_a y ϵ_s son los coeficientes de emisividad del aire y de la superficie y σ es la constante de Steffan-Boltzmann. Para los valores de T_a se utilizó el nivel de 1000hPa del perfil vertical estimado adquirible en el producto MOD07. Por otra parte, varios autores han obtenido expresiones para estimar T_s utilizando la técnica denominada "split-window" mediante relacionar mediciones en dos canales del infrarrojo térmico tomadas con sensores satelitales, tales como el NOAA-AVHRR o el MODIS. Rivas y Caselles (2004) usaron la fórmula desarrollada por Coll y Caselles. Los valores de T_s están disponibles en el producto MOD11. La emisividad de la superficie ϵ_s fue estimada como el promedio de las emisividades observadas en las bandas 31 y 32 del sensor MODIS. La emisividad de la atmósfera fue estimada por medio de la parametrización de Prata (1996). En cuanto a la estimación del albedo, Bisht et al. (2005) propone el uso de la Función de Distribución de Reflectividad Bidireccional (en sus siglas en

inglés BRDF) del producto MODIS MOD43B. Este procedimiento requiere la información de los albedos de cielo negro y cielo blanco, valores de turbidez de la atmósfera y valores de fracción isotrópica entre otros. Para mantener la simplicidad en el presente estudio, se optó por estimar el albedo de superficie por medio de la parametrización propuesta por Liang (2000). Esta consiste en una combinación lineal de la reflectividad medida por el instrumento MODIS en las 7 bandas del rango visible:

$$\alpha = 0.160\alpha_1 + 0.291\alpha_2 + 0.243\alpha_3 + 0.116\alpha_4 + 0.112\alpha_5 + 0.081\alpha_7 - 0.0015 \quad (7)$$

donde α_i es la reflectividad de cada banda obtenida por el sensor MODIS y disponibles en el producto MOD09 con 500 m de resolución.

Estimación de flujo de calor en el suelo

El flujo de calor sensible en el suelo (G) es una fracción pequeña pero variable de la radiación neta Rn . En los suelos desnudos o con baja densidad de vegetación, el calentamiento de la superficie del suelo por radiación solar y el transporte de calor hacia abajo es mayor que en el caso de superficies densamente vegetadas. Si bien algunos autores desprecian este término y otros lo estiman como una fracción constante de Rn , nosotros hemos preferido tener en cuenta la relación de G con Rn y la vegetación. Para obtener una medida de G se utilizó el esquema propuesto por Moran et al. (1989):

$$G = 0.583 \exp(-2.13NDVI)Rn \quad (8)$$

donde NDVI es el Índice de Vegetación Normalizado, el cual se estima a partir de información de imágenes satelitales en el visible e infrarrojo cercano. Los datos del NDVI fueron obtenidos del producto MOD13 de MODIS, con una resolución de 1km. Este último producto es desarrollado con una frecuencia de 16 días; por tal motivo se asumió que la cobertura vegetal no se modifica significativamente en ese período de tiempo.

Estimación de las tasas de evapotranspiración relativa y actual

Se aplicó la ecuación (2) para el cálculo de la evapotranspiración relativa F .

La temperatura T_u puede ser calculada a partir de los datos de T_s y T_d obtenidos de sensores remotos y la curva de presión de vapor de saturación de Clausius-Clapeyron. Una descripción detallada del cálculo de T_u se puede hallar en Venturini et al. (2008).

Los datos de temperatura del aire T_s y temperatura de rocío T_d inmediatamente encima de la canopia fueron obtenidos de los perfiles atmosféricos verticales disponibles en el producto MOD07 con una resolución horizontal de 5km para 20 niveles verticales de presión. Para los cálculos se utilizó la temperatura del aire y la temperatura de rocío correspondientes al nivel de 1000 hPa. La presión a nivel de superficie fue adquirida de este mismo producto y para estas tres variables se asumió su homogeneidad dentro del píxel de 5km.

Para el cálculo de la temperatura y la emisividad de superficie fue utilizado el producto MOD11 con una resolución horizontal de 1km.

El albedo superficial fue estimado mediante la ecuación (7).

La radiación neta se estimó aplicando las ecuaciones (4), (5) y (6).

El flujo de calor latente de vaporización fue estimado mediante la ecuación (3).

RESULTADOS

A continuación se muestran los resultados preliminares obtenidos. Se discriminaron y excluyeron del análisis los píxeles contaminados con nubosidad y aquéllos cuya superficie está completa o

mayoritariamente cubierta por cuerpos de agua. Para ello se utilizaron las bandas *cloudmask* y *land/seamask* de los productos MODIS MOD35 y MOD03 respectivamente.

En la Figura 1 se muestra el mapa de flujo de calor latente de vaporización en unidades de W/m^2 obtenido para el día 4 de enero de 2009 a las 13:01 UTC. La Figura 1 presenta varias líneas paralelas de píxeles negros debido a errores en los registros de una de las bandas del rango visible del producto MODIS MOD09. Este mapa representa la evapotranspiración instantánea en términos de densidad de flujo de energía.

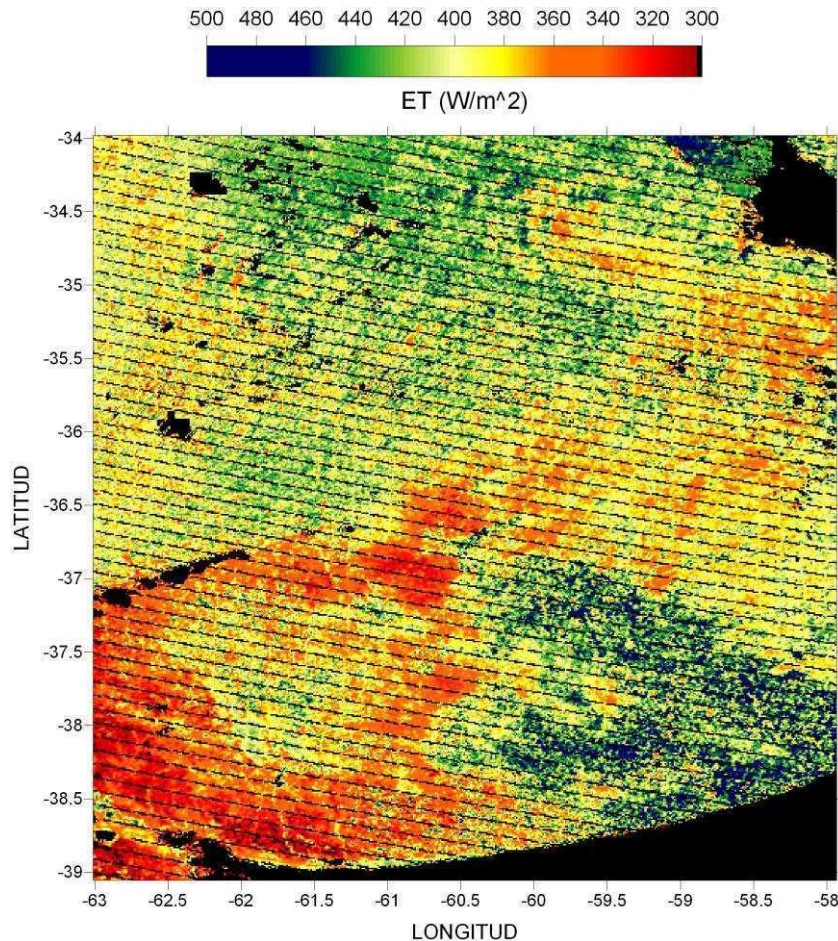


Figura 1. Mapa de flujo instantáneo de calor latente para el 4/01/09 a las 13:01 UTC. Los píxeles en negro no fueron utilizados en la estimación por estar contaminados con nubosidad o cuya superficie está completa o mayoritariamente cubierta por cuerpos de agua o bien presentan errores en los datos MODIS.

CONCLUSIONES

Los valores obtenidos de albedo, radiación entrante de onda corta, radiación entrante y saliente de onda larga, flujo de calor en el suelo, y flujo instantáneo de calor latente de vaporización, están en los rangos esperados de acuerdo con mediciones y estimaciones hechas por otros autores en el área de estudio. Se mostró que la técnica da valores aceptables en la región en un día típico de verano.

REFERENCIAS

- Bisht, G., Venturini, V., Jiang, L., y Islam, S. 2005. Estimation of the net radiation using MODIS (moderate resolution Imaging spectroradiometer) data for clear sky days. *Remote Sensing of Environment*, 97, 52-67.
- Boegh, E., Soegaard, H y Thomsen, A. 2002. Evaluating evapotranspiration rates and surface conditions using Landsat TM to estimate atmospheric resistance and surface resistance. *Remote Sensing of Environment*, 79, 329-343.
- Boegh, E. and Soegaard, H. 2004. Remote sensing based estimation of evapotranspiration rates. *International Journal of Remote Sensing*, 25, 1-19.
- Bouchet, R.J. 1963. Évapotranspiration réelle et potentielle, signification climatique. *Transactions, I International Association of Scientific Hydrology. General Assembly, 2: Evaporation*, Berkeley.
- Brutsaert, W. 1984. Evaporation into the atmosphere. Theory, history, and applications. Reidel Publishing Company (eds), Dordrecht.
- Coll, C. y Caselles, V. 1997. A split window algorithm for land surface temperature from advanced very high resolution radiometer data: Validation and algorithm comparison. *Journal of Geophysical Research*, 102, 14:16697-16713.
- Friedl, M. 2002. Forward and inverse modeling of land surface energy balance using surface temperature measurements. *Remote Sensing of Environment*, 79, 344-354.
- Gautier, C., Diak, G., y Masse, S. 1980. A simple physical model to estimate incident solar radiation at the surface from GOES satellite data. *Journal of Applied Meteorology*, 19, 1005-1012.
- Granger, R.J. 1989. A complementary relationship approach for evaporation from nonsaturated surfaces. *J. Hydrol.*, 111, 31-38.
- Granger, R. J., y Gray, D. M. 1989. Evaporation from natural nonsaturated surfaces. *Journal of Hydrology*, 111, 21-29.
- Ibáñez, M. y Caselles, V. 1999. Evapotranspiración estimada a partir de la temperatura radiativa: 1. Métodos aerodinámico y de la razón de Bowen radiativa. *Revista de Teledetección*, Vol.11, 1-5.
- Islam, S., Jiang, L., y Eltahir, E. 2003. Satellite based evapotranspiration estimates. *Final Project report: South Florida Water Management District*. September 2003.
- Jacobs, J. M., Myers, D. A., Anderson, M. C., y Diak, G. R. 2000. GOES surface insolation to estimate wetlands evapotranspiration. *Journal of Hydrology*, 266, 53-65.
- Liang, S. 2000. Narrowband to broadband conversions of land surface albedo – Algorithms. *Remote Sensing of Environment*, 76, 213-238.
- Moran, M. S., Jackson, R. D., Raymond, L. H.,
- Monteith, J.L. 1981. Evaporation and surface temperature. *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, 107, 1-27.
- Monteith, J.L. 1995. A reinterpretation of stomatal responses to humidity. *Plant, cell and environment*, 18, 357-364.
- Penman, H.L. 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceedings of the Royal Society of London*, 193, 120-146.
- Prata, A. J. 1996. A new long-wave formula for estimating downward clearsky radiation at the surface. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 122, 1127-1151.
- Priestley, C. H. B., y Taylor, R. J. 1972. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. *Monthly Weather Review*, 100, 81-92.
- Rivas, R. y Caselles, V. 2004. A simplified equation to estimate spatial reference evaporation from remote sensing-based surface temperature and local meteorological data. *Remote Sensing of Environment*, 93, 68– 76.
- Shuttleworth, W.J., and Wallace, J.S. 1985. Evaporation from sparse crops. An energy combination theory, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 111, 839-855.
- Venturini, V., Islam, S., y Rodriguez, L. 2008. Estimation of evaporative fraction and evapotranspiration from MODIS products using a complementary based model. *Remote Sensing of Environment*, 112, 132-141.
- Zillman, J. W. 1972. A study of some aspects of the radiation and heat budgets of the southern hemisphere oceans. *Technical paper N° 26*. Bureau of Meteorology of Australia (eds), Canberra.

LA TEMPERATURA DIARIA Y LA CIRCULACIÓN TROPOSFERICA: SUS EFECTOS SOBRE LA FECHA DE BROTAÇÃO DE LA VID (*Vitis vinifera* L.) EN EL ESTE DE MENDOZA.

Agosta E.A.⁽¹⁾⁽²⁾ y Cavagnaro, M.⁽³⁾

**⁽¹⁾ Equipo Interdisciplinario para el Estudio de Procesos Atmosféricos en el Cambio Global (PEPACG)
– Pontificia Universidad Católica Argentina, eduardo_agosta@uca.edu.ar**

⁽²⁾ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

⁽³⁾ PEPACG Mendoza, en Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza.

RESUMEN

La provincia de Mendoza presenta un clima templado árido a semiárido favorable para el cultivo de la vid. El 65% de la producción nacional anual de vid pertenece a Mendoza. Cerca del 50% de la variación interanual en producción total de vid depende de variaciones del clima a lo largo del ciclo anual. El desarrollo de la vid depende de la fecha de brotación y de las condiciones ambientales y nutricionales posteriores, pudiendo afectar la calidad y/o la cantidad de producción.

Se estudia la relación entre fechas de brotación de distintas variedades de vid y las condiciones térmicas sinópticas de agosto y setiembre previos a brotación en el período 1983-2007. Se agruparon las variedades según el comportamiento interanual de sus fechas de brotación, conformando dos grupos: uno con Malbec y Tempranillo (MT), y otro con las demás (No MT). Para el grupo MT se observan correlaciones positivas y significativas: i) a mayor (menor) amplitud térmica diaria a fines de agosto, la brotación es tardía (temprana); y ii) hacia fines de agosto-principios de setiembre, al aumentar (disminuir) la temperatura mínima diaria, la brotación es tardía (temprana). Para el grupo No MT, hay una relación inversa significativa a mediados de agosto con temperatura media diaria: para días más (menos) fríos, la fecha de brotación es temprana (tardía). Un cuasi-ciclo de 3 años aparece a partir de 1992 en la serie de MT y de No MT, el cual es similar al cambio de variabilidad del Modo Anular del Sur (SAM) observado desde entonces. En los últimos 20 años la fecha de brotación de ambos grupos se anticipa en cerca de 9 días en promedio. Para el grupo MT, la circulación de troposfera muestra un significativo fortalecimiento (debilitamiento) de la baja del noroeste argentino en el invierno previo a brotación tardía (temprana) acompañado de mayor actividad ciclónica (anticiclónica) en latitudes medias sobre Patagonia y Mar. Esta circulación está asociada a una fortalecida (debilitada) actividad de la Zona de Convergencia Sudamericana (ZCSA).

DAILY TEMPERATURE AND TROPOSPHERIC CIRCULATION: THEIR EFFECTS ON BUD BREAKING DATE OF GRAPEVINE (*Vitis vinifera* L.) IN EAST OF MENDOZA.

ABSTRACT

The province of Mendoza presents an arid to semi-arid climate favorable for growing grapes. Mendoza produces 65% of the national annual grapevine production. Half of the interannual grapevine production variability depends on climate variations throughout the annual cycle. Grapevine growth depends both on the date of bud break and on the subsequent environmental and nutritional conditions, which may affect the quality and/or quantity of production.

The relationship between bud breaking dates of different grapevine varieties and synoptic thermal conditions in August and September prior to bud-break dates is studied for the period 1983-2007. Varieties were grouped according to the interannual behaviour of their bud-break dates, forming two groups: one with Malbec and Tempranillo (MT), and another with the remaining varieties (No MT). For the MT group significant and positive correlations are observed: i) the higher (lower) daily thermal amplitude is in late August, the later (earlier) bud break happens; and ii) by the late August and the early September, increasing (decreasing) daily minimum temperature corresponds to late (early) bud break. The No MT group show an inverse relationship with mid-August daily mean temperature: the more (less) days are cold, the later (earlier) bud-break date is. There appears a quasi-3-year cycle since 1992 in MT and No MT, which is similar to the Southern Annular Mode (SAM) variability change since then. In the last 20 years the bud-break dates are anticipating in roughly 9 days in average. For MT, the tropospheric circulation shows a significant strengthening (weakening) of Northwestern Argentina Low during the winter prior to the late (early) bud-break dates, accompanied by increased cyclonic (anticyclonic) activity at mid-latitudes in

Patagonia and the Mar Argentino Sea. The tropospheric circulation is associated with enhanced (decreased) activity in the South American Convergence Zone (SAZC) in the period prior to late (early) bud break.

INTRODUCCIÓN

La provincia de Mendoza presenta un clima templado árido a semiárido, favorable para el cultivo de la vid por irrigación artificial. Cerca del 70% del área nacional cultivada con vid se encuentra en esta provincia, que tiene una producción superior al 65% del total nacional. En trabajos previos se ha podido inferir que cerca del 50% de varianza de la producción de vid en Mendoza está determinada por las variaciones interanuales de la precipitación y la temperatura dentro del período 1979-2009 (Agosta 2006, Agosta y otros 2010).

La cantidad y calidad de producción depende del desarrollo del ciclo de la vid, el cual puede depender de la fecha de brotación y de las condiciones ambientales y nutricionales posteriores. La fecha de brotación es indicativa también de efectos previos adversos o favorables, tales como la falta de acumulación de horas de frío en el invierno, heladas tempranas, mal agostamiento de los tallos por defoliaciones prematuras, etc.

Trabajos previos muestran que la latencia de las yemas está controlada genéticamente, pero es inducida naturalmente por el fotoperiodo y las bajas temperaturas (Scalabrini y Couvillon, 1986; Rodríguez et al., 1994). Las yemas endolantes de vid poseen un requerimiento mínimo de frío para brotar el cual se satisface mediante exposiciones a bajas temperaturas (Kliever y Soleimani, 1972). Se asume que este requerimiento es característico de cada variedad de vid, y también está condicionado por el ambiente en el cual se desarrolla el cultivo.

La vid es uno de los cultivos con mayor variabilidad genética con una enorme cantidad de variedades existentes en la actualidad y repartidas en diversos climas. Esto explica el amplio rango de requerimiento de frío de esta especie, el cual va entre las 150 y 1200 horas de frío. Sin embargo, sus requerimientos promedios son inferiores a la mayoría de los frutales de hoja caduca (Westwood, 1982; Lyon et al, 1989).

La falta de frío invernal en la vid produce efectos como: retraso en la brotación de las yemas, brotación errática de éstas, disminución del número de brotes por sarmiento, disminución de racimos por sarmiento poca uniformidad en el desarrollo de los racimos y retraso en la maduración de las bayas. Todo esto puede traducirse en producciones pobres, tardías y de baja calidad (Wicks et al 1984; Or et al, 2000).

Por ello el objetivo es evaluar localmente la relación entre las temperaturas diarias (durante el invierno y comienzo de primavera, previos al inicio del ciclo vegetativo) y la variabilidad de la circulación troposférica estacional de invierno con las fechas de brotación de variedades de vid.

MATERIALES Y MÉTODOS

Datos de fecha de brotación de diferentes variedades, período 1983-2007 de viñedos ubicados en el Departamento Santa Rosa, en la Zona Este de la Provincia de Mendoza, fueron facilitados por la Bodega Familia Zuccardi. Los datos de temperatura máxima y mínima diaria corresponden a la estación San Martín del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) para esa zona y período. Se agruparon las variedades teniendo en cuenta la coherencia de las series anuales de fecha de brotación (figuras no mostradas). El comportamiento anual de la fecha de brotación (B) arroja dos grupos: uno con variedades Malbec y Tempranillo (MT) y otro, con las restantes (No MT). Se analizó la marcha interanual de las fechas de brotación promedio de estos grupos calculando su correlación lineal para distintas pentadas de temperatura diaria, máxima, mínima y media, y de amplitud térmica, durante agosto y mediados de setiembre. Para el análisis de la circulación troposférica se utilizaron datos mensuales de altura geopotencial (AGP) en 850hPa y 300hPa, y de Radiación de Onda Saliente (OLR) provistos por el NCEP-NCAR en el período de análisis.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El grupo MT tiene fechas de brotación promedio más tardías que el No MT que, por ser más precoz, tiene un período de dormición de yemas menos extenso (Martínez de Toda, 1991). Se observa correlación significativa y positiva para el grupo MT: i) a mayor (menor) amplitud térmica a fines de agosto, la B se retrasa (anticipa) con correlación $r=0,55$ (Figura 1); y ii) a mayor (menor) temperatura mínima a fin de agosto, comienzo de setiembre, se retrasa (anticipa) la B, con $r=0,64$, ambos significativos al 95% (Figura 2). Para el grupo No MT, hay relación inversa a mediados de agosto con temperatura media (Figura 3): con días más (menos) fríos, la B se anticipa (atrassa).

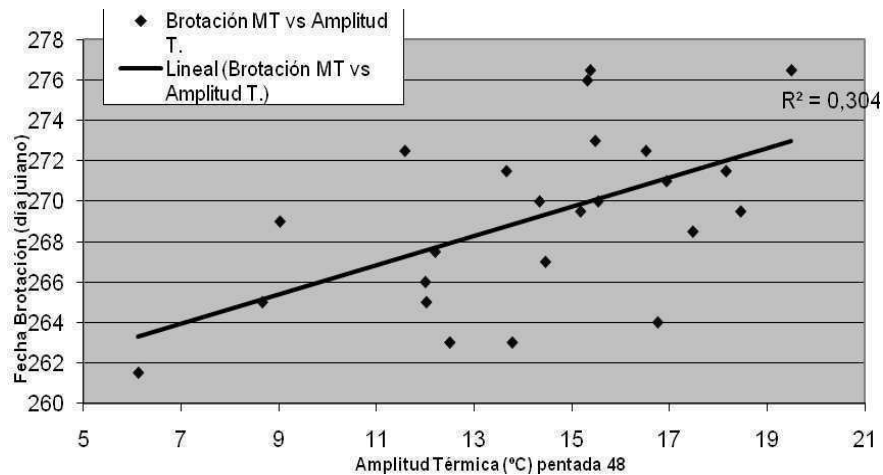


Figura 1. Regresión lineal entre la fecha media de brotación grupo MT (días julianos) y la amplitud térmica (°C) para la pentada 48, correspondiente a fines de agosto.

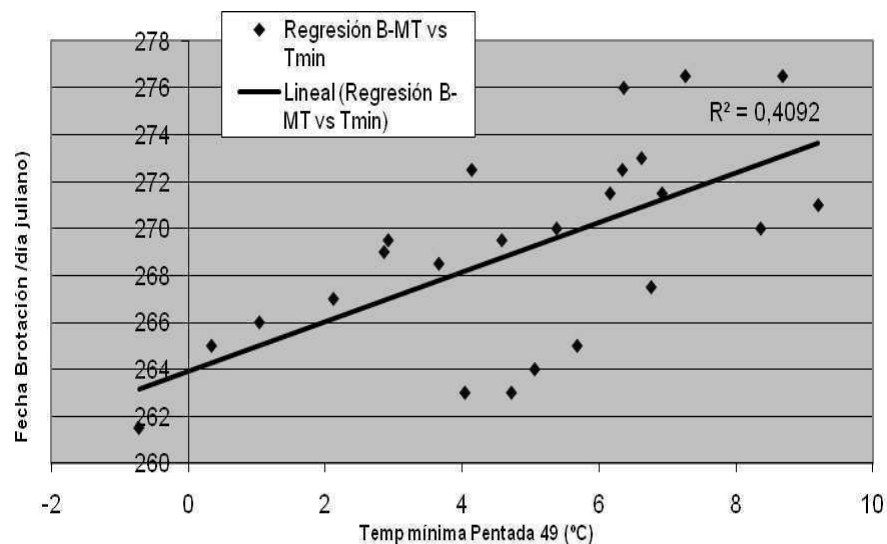


Figura 2. Regresión lineal entre la fecha media de brotación (B. Días julianos) para el grupo MT y la temperatura mínima media (°C) para la pentada 49, correspondiente a principios de setiembre.

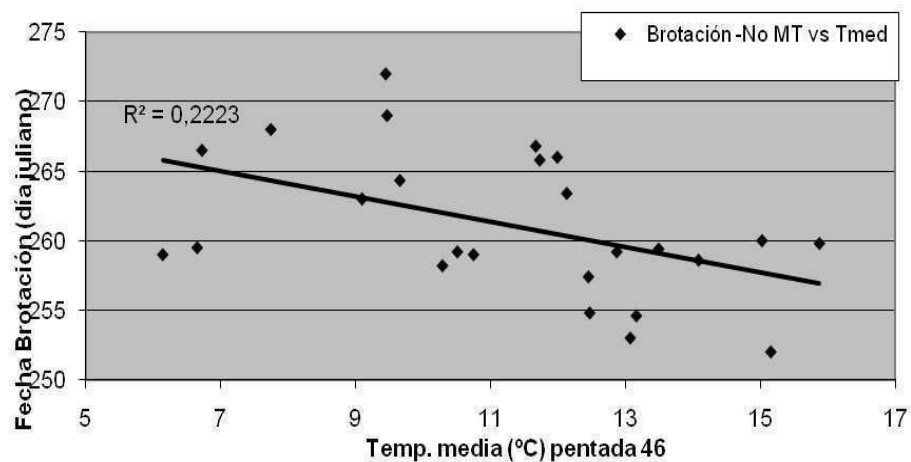


Figura 3. Regresión lineal entre la fecha media de brotación (B. Días julianos) para el grupo No MT y la temperatura media (°C) para la pentada 46, correspondiente a mediados de agosto.

La Figura 4 muestra cuasi-ciclos de 3 años desde 1992 en la brotación para ambos grupos con una correlación directa ($r=0,66$), y una tendencia negativa, especialmente para MT, que determina un anticipo de

la brotación de 9 días en los 2000s respecto a los 1980s. Un retraso en la brotación puede ocurrir por no acumular las horas de frío necesarias (inviernos templados o cálidos), o por yemas formadas en veranos muy calurosos, u otoños cálidos. A su vez, defoliaciones tempranas o excesivas reducen el letargo invernal y pueden anticipar la brotación.

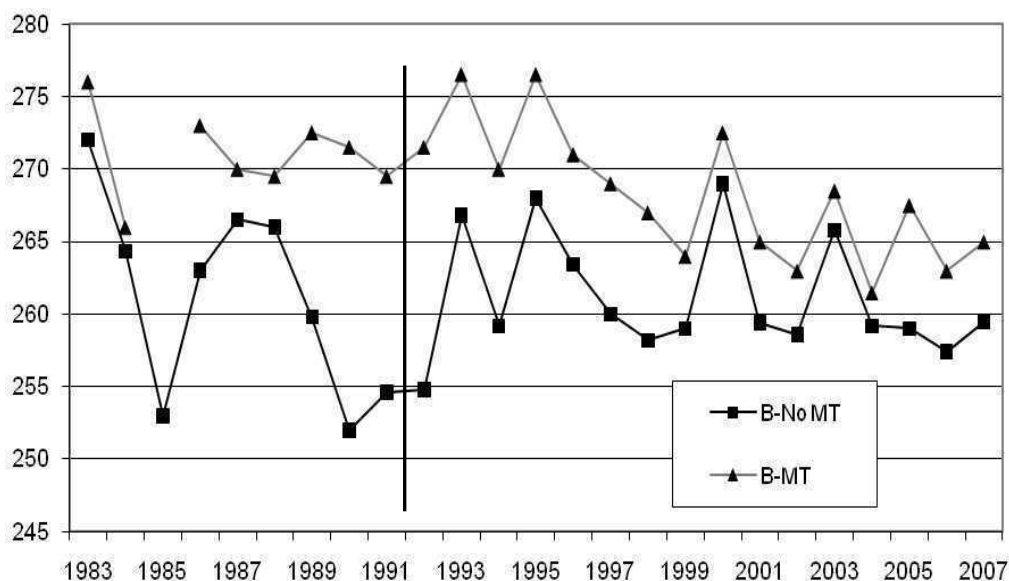


Figura 4. Marcha anual de las fechas promedio de brotación para los grupos MT y No MT para el período 1983-2007. Línea vertical separa 1991 y 1992.

El análisis de la circulación en troposfera nos muestra que para el grupo MT (Figs. 5a y 5c) la estación invernal previa a brotación (junio a setiembre) las anomalías de regresión presentan un significativo fortalecimiento (debilitamiento) de la circulación troposférica baja (850hPa) del Noroeste Argentino, junto con el flanco norte del anticiclón del Pacífico Sur, en el invierno previo a la brotación tardía (temprana). Esto viene acompañado de mayor actividad ciclónica (anticiclónica) en latitudes medias sobre Patagonia y mar argentino. Esta circulación parece acompañar una SACZ (Zona de Convergencia Sudamericana) fortalecida (debilitada) sobre el área tropical del sudeste de Sudamérica y Atlántico Sur. La configuración contribuiría a menor (mayor) precipitación o condiciones de humedad sobre el centro oeste de Argentina. La Figura 6a muestra la correlación entre la radiación de onda saliente (OLR) y MT, mostrando valores fuertemente negativos en el área de la SACZ y latitudes intertropicales de Sudamérica, lo cual revela una mayor (menor) actividad convectiva en toda esa región. Mientras que sobre latitudes subtropicales y medias de Argentina y el Atlántico Sur, predominan valores positivos de correlación. En 300hPa las anomalías negativas de regresión están localizadas en las mismas zonas que las de capas bajas, mostrando que toda la estructura de anomalías troposféricas es barotrópica. La estructura de anomalías observada regionalmente, parece estar vinculada con un tren de ondas proveniente de latitudes tropicales del Pacífico occidental, sobre Australia y Nueva Zelanda, tipo PSA, aunque no claramente definido (figuras no mostradas).

Para el grupo No MT, las anomalías regresionadas de AGP en 850 y 300hPa muestra un centro anticiclónico sobre el Atlántico Sur que afecta las latitudes subtropicales y medias de Argentina, Uruguay, Sur de Brasil y el Atlántico Sur. La estructura parece ser barotrópica equivalente con una amplitud que crece con la altura y ligero desplazamiento hacia el noroeste. Aparecen anomalías anticiclónicas sobre el extremo sudoeste del continente y sobre el flanco sur del anticiclón del Pacífico Sur que fortalece su actividad invernal. Esta estructura de anomalías en la troposfera favorece el ingreso de aire frío (cálido) en la región del centro-oeste de Argentina. A diferencia con el grupo MT, la circulación troposférica establecida no está asociada a la actividad convectiva sobre latitudes tropicales de Sudamérica (Fig. 6b) sino más bien a mayor actividades ciclónica sobre el Atlántico Sur de latitudes medias y subtropicales a sotavento de los Andes. Para este caso, las anomalías observadas regionalmente podrían estar vinculadas con una variabilidad tipo Modo Anular del Sur (SAM).

El cuasi-ciclo de 3 años que aparece a partir de 1992 en la serie de MT y de No MT (figuras no mostradas) es similar al cambio de variabilidad del Modo Anular del Sur (SAM) observado desde entonces. Estos cambios en la variabilidad de la circulación troposférica hacia 1992 sugeridos por Barrucand y otros (2008) sobre el hemisferio sur podrían explicar la variabilidad diversa que puede observarse visualmente en

las marchas de fechas de brotación tanto para MT como para No MT (Fig. 4). No obstante comprender la relación entre la SAM y las fechas de brotación está más allá del objetivo actual.

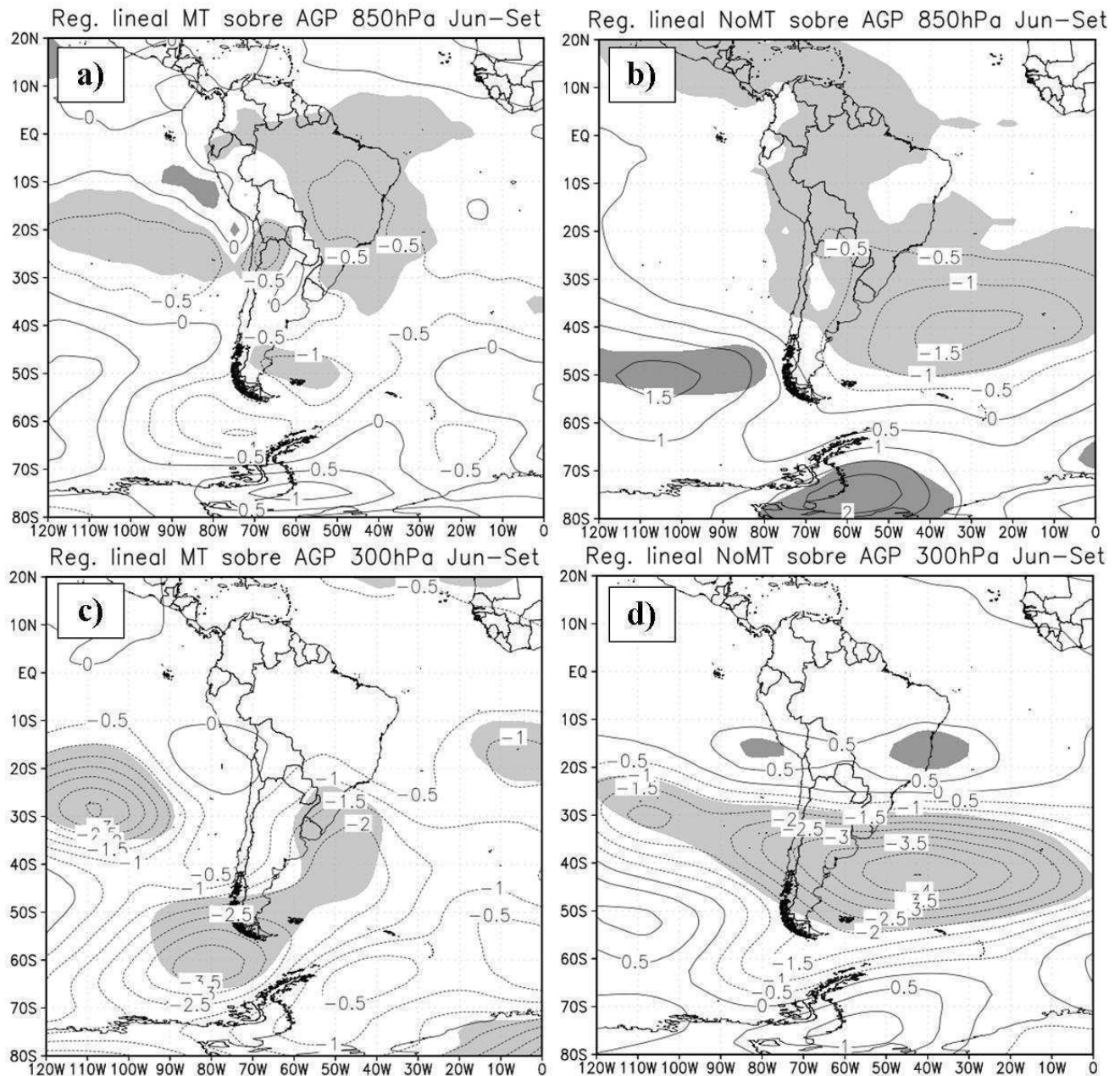


Figura 5. Campos estacionales (junio a setiembre) de altura geopotencial (AGP) en 850 y 300 hPa en los paneles (a)/(b) y (c)/(d), respectivamente, regresionados linealmente sobre MT/No MT. Sombreado, áreas significativas mayores al 90%. Las unidades expresan cambios en desvío estándar de la variable AGP por cada cambio de una unidad de desvío estándar de MT o de No MT.

CONCLUSIONES

Existe un efecto de la temperatura sobre la fecha de brotación durante el invierno que no es uniforme. El mismo parece responder a fenómenos remotos en la planta (variabilidad climática) y según la adaptación ecológica de cada variedad. Determinadas épocas de inviernos con temperaturas mínimas medias más altas tienen influencia sobre la brotación de las yemas de la vid. El trabajo muestra la importancia de evaluar la acción bioclimática de la temperatura local sobre la brotación del cultivo de vid para poder seleccionar adecuadamente las variedades más aptas para cada zona.

La circulación troposférica predominante en la estación invernal previa es discriminante de las variedades de uva de los grupos MT y No MT en el favorecimiento, o no, del anticipo o retraso de las fechas de

brotación. En este sentido cambios de la circulación atmosférica de invierno de origen remoto afectan la fecha de brotación. Se requieren ulteriores trabajos para determinar cómo la circulación atmosférica predominante afecta localmente la precipitación, la temperatura y la humedad a lo largo de la estación previa. El cambio en la variabilidad y la tendencia negativa en MT y No MT a partir de 1992 produce en los últimos un anticipo de cerca de 9 días en promedio en las fechas de brotación.

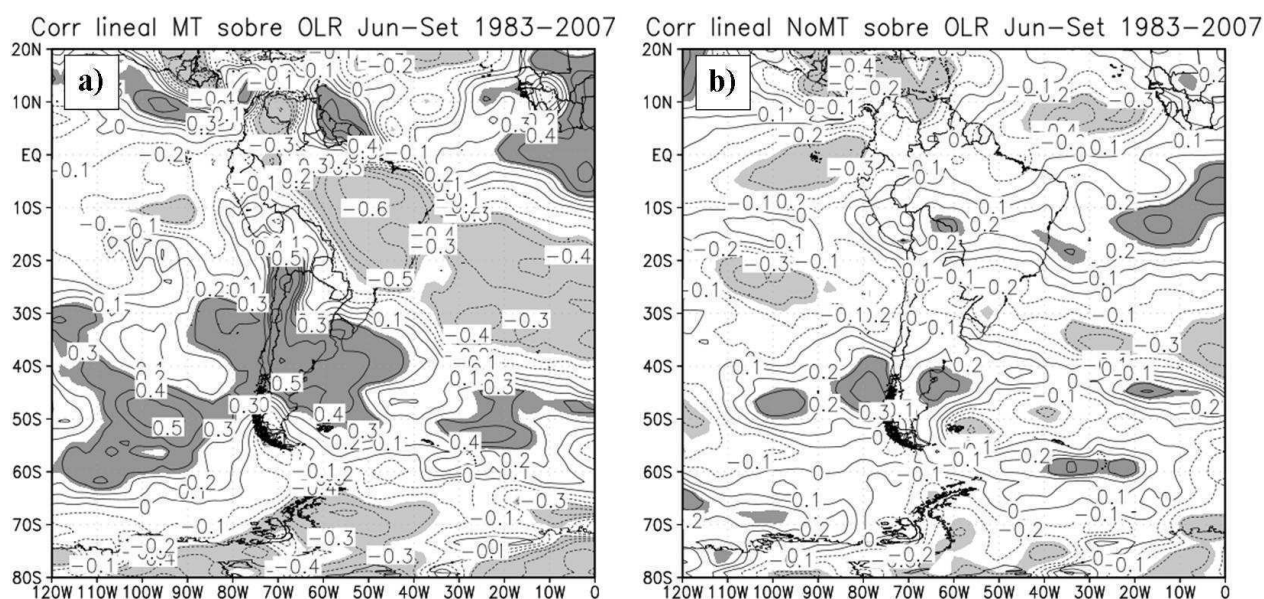


Figura 6. Correlación lineal entre Radiación de Onda Saliente (OLR) y MT (panel a) y No MT (panel b) para la estación invernal previa a fecha de brotación (junio-setiembre) en el período 1983-2007. Áreas sombreadas, correlaciones significativamente distintas de cero para una confianza mayor al 90%.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado con apoyo del proyecto de investigación PICT 2007 [IDAC-ICES] N° 01888. A la Orden del Carmen en todo sentido.

BIBLIOGRAFÍA

- Agosta, E.A., Cavagnaro, M y Canziani, P. El rendimiento de vid y las variaciones de temperatura y precipitación en Mendoza. *Revista Enología*, ISSN 1668-3889, N°2, Año VII, Marzo-Abril 2010, 12 pgs.
- Agosta, E. A. y Cavagnaro, M. 2010. Variaciones interanuales de la precipitación de verano y el rendimiento del cultivo de la vid en Mendoza. *GEOACTA*. Aceptado, 2010 en prensa.
- Agosta, E. A., 2006: Precipitación de Verano en la región Centro-Oeste de Argentina y procesos atmosféricos/oceánicos de escala regional y global. Tesis de Doctorado de la Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, pp 178.
- Barrucand, M., M. Rusticucci, and W. Vargas (2008), Temperature extremes in the south of South America in relation to Atlantic Ocean surface temperature and Southern Hemisphere circulation. *J. Geophys. Res.*, 113, D20111, doi:10.1029/2007JD009026.
- Kliewer W.M. and A. Soleimani 1972. Effect of chilling on budbreak in Thompson seedless and Carignan grapevines. *Amer J. Enol. Viticult.* 23:31 –34).
- Lyon, S.; M. S. Poller R.; Rodriguez-Cano, S. 1989. Evolución del letargo de yemas en seis especies frutales en relación al frío y tratamiento con tiourea o cianamida. 82 p. Tesis de Ing. Agrónomo. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía, Santiago, Chile.
- Martínez de Toda P. 1991. *Biología de la Vid. Fundamentos Biológicos de la Viticultura*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 346 p.
- Scalaberilli, G. and Couvillon, G. 1986. The effect of temperature and bud type on rest completion and the GDH °C requirement for bud break in Redhaven peach. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 112: 537.
- Rodriguez, A.; Sherman, W.; Scorza, R; Okie, W. and Wisniewski, M. 1994. Evergreen peach and its inheritance. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 119: 789
- Westwood, M. 1982. *Fruticultura de zonas templadas*. 461 p. Mundi Prensa, Madrid, España.

LOW SUMMER TEMPERATURES AT SOME NORTHERNMOST ANTARTIC PENINSULA STATIONS, SOUTH PACIFIC QUASI-STATIONARY WAVES PROPAGATION AND THE COLD SUMMER OF 2010

Alfredo Costa¹ and Eduardo Agosta^{2,3}

¹Instituto Antártico Argentino - DNA

²PEPACG, Pontificia Universidad Católica Argentina (UCA)

³Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONICET), e-mail: eduardo_agosta@conicet.gov.ar

ABSTRACT

The present work aims to statistically show that summer of 2010 is an extreme cold summer in the period 1980-2010 over some northernmost Antarctic Peninsula (AP) stations. The quartile criterion was used to identify extreme monthly and seasonal temperatures. A wave-activity flux for stationary quasi-geostrophic eddies on a zonally varying basic flow derived by Takaya and Nakamura (2001) was used as diagnostic tool to study wave-train propagation over the Pacific Ocean.

Cold summers over the extreme north of the AP are characterized by a quasi-stationary waves (QSW) train, propagating from the north of New Zealand and Australia, of the type PSA (Pacific-South American pattern), barotropically extended at the troposphere. The wave train is associated to anomalous convection extended from the north of Australia towards New Zealand. The low temperatures on the extreme north of the AP are associated with an anomalous cyclonic centre induced to the northwest of the AP, leading to easterly-component winds and conditions of high cloudiness.

The cold summer of 2010 is associated to circulation anomalies, regionally stationary in approximately 50-55°S, with anticyclonic anomaly over 120°W, of barotropic structure up to low stratosphere, and another one cyclonic over 60°W (to the northwest of the AP). From there, there is propagation towards South America since a wave structure is not observed over the Pacific Ocean. The 2010 summer circulation asymmetries could be associated to positive anomalies of SST's (Sea Surface Temperature) in the mentioned area, induced by PSA-like QSW train during the previous spring.

KEYWORDS: Antarctic Peninsula; Cold summer of 2010; Quasi-Stationary waves train; Pacific Ocean.

BAJAS TEMPERATURAS DE VERANO EN ESTACIONES SOBRE EL EXTREMO NORTE DE LA PENINSULA ANTARTICA, PROPAGACION DE ONDAS CUASI-ESTACIONARIAS EN EL PACIFICO SUR Y EL FRIO VERANO DE 2010

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo mostrar estadísticamente que el verano de 2010 es un verano extremadamente frío para el período 1980-2010, en algunas estaciones sobre el extremo norte de la Península Antártica. Se utilizó el criterio del primer cuartil para identificar temperaturas extremas mensuales y estacionales. Se utilizó un flujo de actividad de onda para perturbaciones estacionarias cuasi-geostróficas embebido en un flujo básico que varía zonalmente, determinado por Takaya y Nakamura (2001), como herramienta de diagnóstico para estudiar la propagación del tren de ondas sobre el Pacífico.

Los veranos fríos en el extremo norte de la Península Antártica se caracterizan por un tren de ondas cuasi-estacionarias propagándose desde el norte de Nueva Zelanda y Australia, del tipo PSA (patrón Pacífico-Sudamericano), extendido barotrópicamente por la tropósfera. El tren de ondas se asocia a la convección anómala extendida desde el norte de Australia hacia Nueva Zelanda. Las bajas temperaturas sobre el extremo norte de la Península Antártica están asociadas a un centro anómalo ciclónico inducido al noroeste de la Península Antártica, favoreciendo vientos de componente este y condiciones de alta nubosidad.

El frío verano de 2010 está asociado a anomalías de circulación, estacionarias regionalmente en aproximadamente 50-55°S, con anomalía anticiclónica en 120°O, de estructura barotrópica hasta baja estratósfera, y otra ciclónica en 60°O (al noroeste de la Península Antártica). Desde ahí, hay propagación hacia Sudamérica pues no se observa una estructura de onda sobre el Pacífico. Estas asimetrías de la circulación del verano de 2010 podrían estar asociadas a anomalías positivas de la temperatura de superficie del mar en el área mencionada, inducidas por el tren de ondas cuasi-estacionarias del tipo PSA durante la primavera anterior.

PALABRAS CLAVE: Península antártica; Verano frío de 2010; Tren de ondas cuasi-estacionarias; Océano Pacífico.

1. INTRODUCTION

In the variability and climate change context, the Antarctic Peninsula (AP) has received much attention as the region which has the largest warming in the world during the last 50 years (IPCC 2007). According to Monaghan et al. (2008) near surface temperature annual trends are increasingly and significantly positive within the AP. The highest significant warming is observed for the summer season (DJF) at some northernmost AP stations for the period 1971-2000 (Turner et al. 2005).

For the Antarctic region some authors have found seasonal and annual trends changes by early 1990s (Monaghan et al. 2008). Most of the Antarctic observed trends have been attributed to the Southern Annular Mode variability (SAM), which has undergone a positive trend towards its positive phase (Marshall 2003). Particularly, the positive summer temperature trends in northernmost AP are associated with increased westerlies related to the SAM positive phase, advecting warm air over the peninsula and getting warmer downwind due to adiabatic effects (Marshall et al. 2006, van Lipzig et al. 2008). Likewise, there is some

evidence of the El Niño-Southern Oscillation (ENSO) influencing on the Antarctic meteorological ice records through the Pacific-South American (PSA) mode and its interactions with the SAM (Mo and Häkkinen 2001, Turner 2004).

Therefore this study attempts to determine the dynamical forcings associated to cold summers during the last 30 years over northern AP as well as the diverse features associated to the singularly cold summer 2010.

2. DATA AND METHODOLOGY

Monthly temperature and insolation timeseries from Servicio Meteorológico Nacional (the Argentine Weather Service) of Jubany (62°S 58°W), Esperanza (63°S 56°W) and Marambio (64°S 56°W) stations, located at northern AP, are used to study the cold summer events. The summer temperature and insolation is considered as the three-monthly average from December to February at each station. It is decided to device a summer temperature index obtained as the three-station average. The correlation between each station summer timeseries and the summer temperature index are over 0.8, significantly different from zero at 99%. This is indicative that the index well represents the areal summer temperature in northern AP. Cold summers are indentified using the quartile criterion for the detrended index timeseries distribution in the period 1981-2010. No index is considered for insolation due to gaps in the timeseries at some stations.

Monthly OLR, 300 and 850 hPa temperatures, zonal and meridional winds, and geopotential height (GPH) are used from NCEP/NCAR reanalysis to study the troposphere circulation associated to these cold events. Monthly extended sea surface temperature (SST) data are provided by NOAA.

A wave-activity flux for stationary quasi-geostrophic eddies on a zonally varying basic flow derived by Takaya and Nakamura (2001) is used as a diagnostic tool to study the connection with wave trains over the Pacific Ocean. Wave activity for small-amplitude disturbances superimposed on a basic flow, satisfies a conservation law, that is,

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \nabla \cdot \mathbf{F} = D$$

Here A and F are the density of wave activity and its flux, respectively. The term D vanishes when the wave and basic flow are both conservative. The divergence and convergence of F indicate where the wave packet is emitted and decaying, respectively. Identifying these waves “sources” or “sinks” is important in understanding the dynamics behind various atmospheric phenomena.

Quasi-stationary waves (QSWs) embedded in the mean flow are identified estimating zonal asymmetries of the field, that is, the difference between the anomaly and the zonal average of the anomaly. Wave-activity fluxes are calculated using these zonal asymmetries. The significances of the asymmetries in the dynamical fields were tested with unequal variance 2-tailed Students-t’s test for sampled means (Moser et al., 1989, Moser and Stevens, 1992).

Extratropical Rossby Wave Source (RWS) seasonal anomalies following Rasmusson and Mo (1993) and OLR anomalies are calculated in order to identify source regions of the QSW propagation associated with deep convection.

3. RESULTS

3.1. Cold summers in northern AP

In order to evaluate the time variability of summer temperatures over northern AP the temperature index timeseries is shown in Figure 1. An overall trend of 0.3°C/decade is computed with a correlation of 0.39 significantly different from zero at 95% (Fig. 1a). Cold summers are indentified using the quartile criterion for the detrended temperature index timeseries distribution in the period 1981-2010 (Fig. 1b). Index values below the first quartile (-0.35°C) corresponds to summers 1983, 1984, 1986, 1991, 1992, 2001, 2004 and 2010 (years correspond to the ending month of season). It is observed a diverse variability, significant at 99%, between 1992 and 2001.

The summer of 2010 is singularly cold, having the lowest temperature value in the detrended temperature index timeseries. Figure 2 shows the dispersion diagram between the seasonal daily average insolation and seasonal average temperature at Esperanza station. There is an overall linear behaviour showing a correlation of 0.65, significant at 95% of confidence. The cloudiness or total cloud cover is playing the main role in the direct relationship between insolation and temperature during AP summers (Dutton et al. 1991). Thus cold summers are expected to have higher cloudiness. The daily average insolation anomalies at Esperanza, Jubany and Marambio are concordantly negative for 2010. An anomalous cyclonic

circulation at upper levels could be responsible of the summer mean conditions of higher than normal cloudiness.

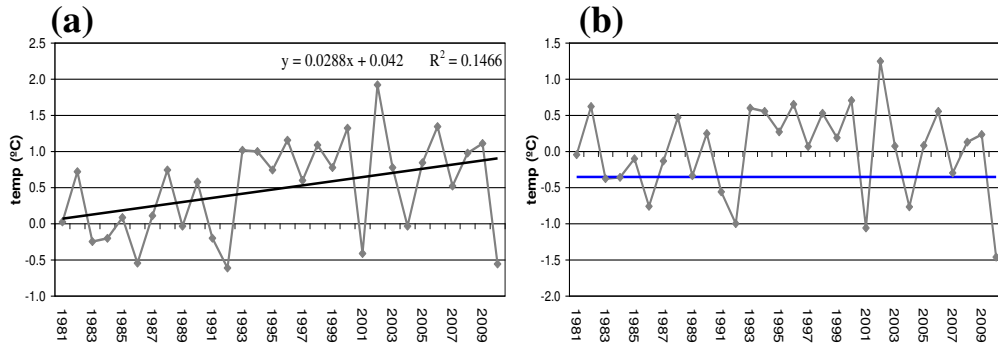


Figure 1: (a) Temperature index timeseries (°C) from 1981 to 2010 and significant positive trend (straight line). (b) Detrended temperature index timeseries and a threshold at -0.35 °C according to the first quartile (blue line).

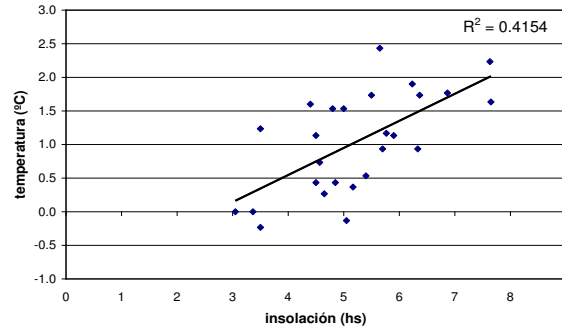


Figure 2: Dispersion diagram between Esperanza summer temperature (°C) and daily average insolation (in hours). Correlation coefficient is 0.65.

3.2. The tropospheric circulation

Figure 3 shows the GPH zonal asymmetry composite for cold summers in northern AP at 300 hPa (Fig. 3a) and 850 hPa (Fig. 3b). It is evident the location of a barotropic QSW train propagating from the New Zealand sector toward the southeast into high latitudes throughout the troposphere. The wave-train generates a significant upper-level cyclonic circulation asymmetric anomaly, zonally extended over northern AP, which could be responsible for lower temperatures due to the generation of dynamic conditions favourable to cloudiness. As mentioned in the previous section, increased cloud cover in summer can be associated with decreased insolation and the concomitant cooling (Dutton et al. 1991).

The barotropic structure of the wave suggests a barotropic Rossby wave origin. At mid-latitudes, one main RWS is associated with the planetary vorticity-divergence and the wind divergence components of the vorticity anomaly budget, following the equation from Rasmusson and Mo (1993):

$$RWS_a \approx f \cdot D_a + \beta \cdot V_{\chi a}$$

where f is the planetary vorticity, D_a is the divergence anomaly, β is the meridional planetary vorticity gradient and $V_{\chi a}$ is the divergent wind component anomaly.

That is to say, in a seasonal average the local divergence of anomalous deep convection is candidate of RWS under strong meridional planetary vorticity gradient. Figure 4a shows the anomalous RWS associated with these terms. The wave activity flow seems to emanate from clear RWS anomaly zonally extended near New Zealand. The RWS anomalies are co-located with significant negative OLR anomalies associated with mid-latitude deep convection (Fig 4b). Hence the quasi-stationary cyclonic perturbation over the area seems to favour the major occurrence of summer deep convective storms. In turn the cyclonic perturbation over New Zealand is associated with wave-activity flux convergence from another wave-train propagating eastward from the Indian Ocean (Fig. 3a). This second QSW could be associated with RWS anomalies observed at subtropical-to-midlatitude Indian Ocean, east of Madagascar (Fig. 4a), which are related with a significant area of negative OLR anomalies (Fig. 4b).

The QSW propagation observed over the South Pacific can be a particular expression of the two PSA modes, which are principal patterns of the Southern Hemisphere low-frequency circulation variability (Mo

2000). Our PSA-like QSW seems to associate the tropical variability in the Pacific and Indian Ocean, such as the ENSO and the Indian Ocean Dipole (IOD), with the atmospheric circulation at high latitudes as described by the SAM. Their interactions however require further research to fully understand them (Turner 2004, Fogt and Bromwich 2006, Chan et al. 2007).

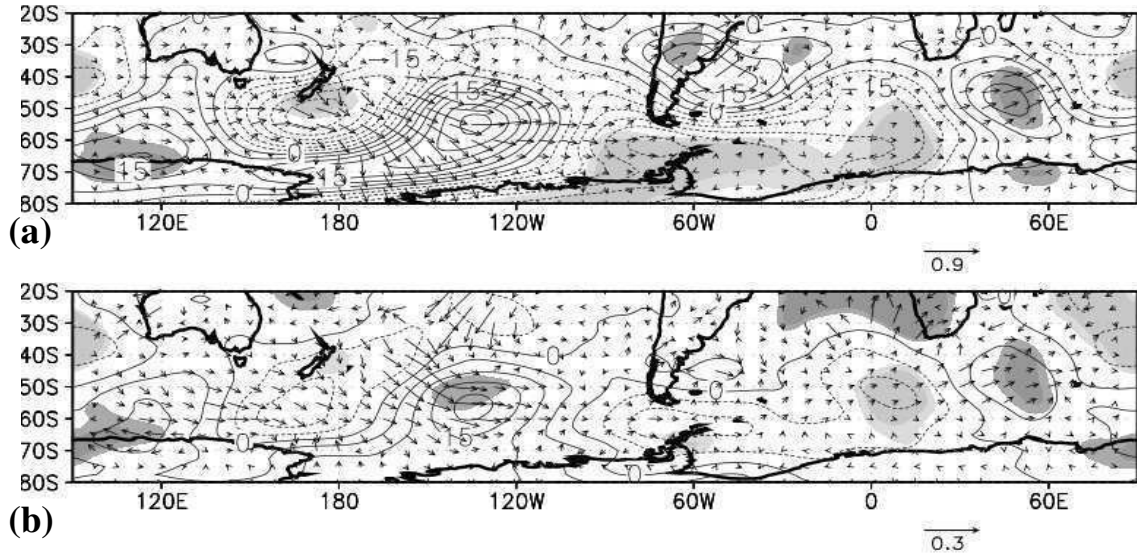


Figure 3: Cold summers zonal asymmetries composite at 300hPa (a) and 850hPa (b), and associated horizontal component of the wave-activity flux (vectors). Grey scale shaded indicates 90-95% significance levels for negative (lighter grey) and positive (darker grey) anomalies.

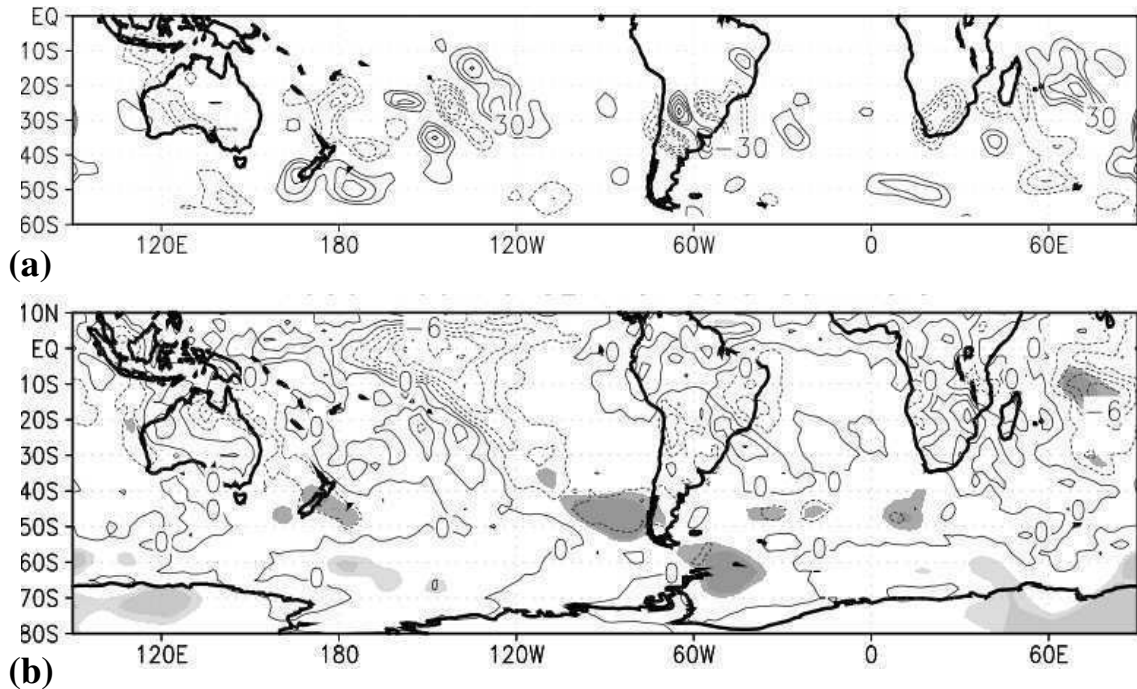


Figure 4: (a) 200hPa seasonal Rossby Wave Source (RWS) anomalies due to planetary vorticity-divergence and the wind divergence components of the vorticity anomaly budget, and (b) 1000-100hPa seasonal OLR anomalies and 90-95% significance (grey shaded), for the cold summers composite.

3.3 The cold summer of 2010

The tropospheric features related with the singularly cold summer of 2010 is analysed by comparison with the cold summers tropospheric circulation composite. For the 2010 summer the GPH asymmetric anomalies in the upper (300 hPa, Fig. 5a) and lower (850 hPa, Fig. 5b) troposphere show the typical zonally extended cyclonic anomaly south of South America over the Drake Passage, slightly northward displaced with respect to the cold summers composite. Contrary to cold summers, the cyclonic asymmetric anomaly is not generated by a QSW propagating over the Pacific, but to a regionally located QSW crossing South America from the southeast Pacific to the southwest Atlantic. The upper wave activity flux shows the

eastward emanation of wave-energy from a source region near 40°S-120°W (as noticed by the divergence of the wave-activity flux), crossing southern South America and then propagating to the northeast over the southwest Atlantic.

Noticeably, the regionally localized QSW cannot be associated with anomalous deep convection since relevant OLR anomalies are not observed in midlatitude South Pacific. Consequently relevant RWS anomalies are not either present (figures not shown). However a strong PSA-like QSW propagation is observed in the previous spring (Sep-Nov) of 2009 similar to the one observed for cold summers composite (figure not shown). This previous spring QSW probably is acting as a preconditioning for the downstream activation of stationary wave propagation in the following season due to changes in SSTs anomalies over midlatitude South Pacific. In fact the wave-energy source observed in Figure 5a at 40°S-120°W is located over positive SSTs summer anomalies (Fig. 5c).

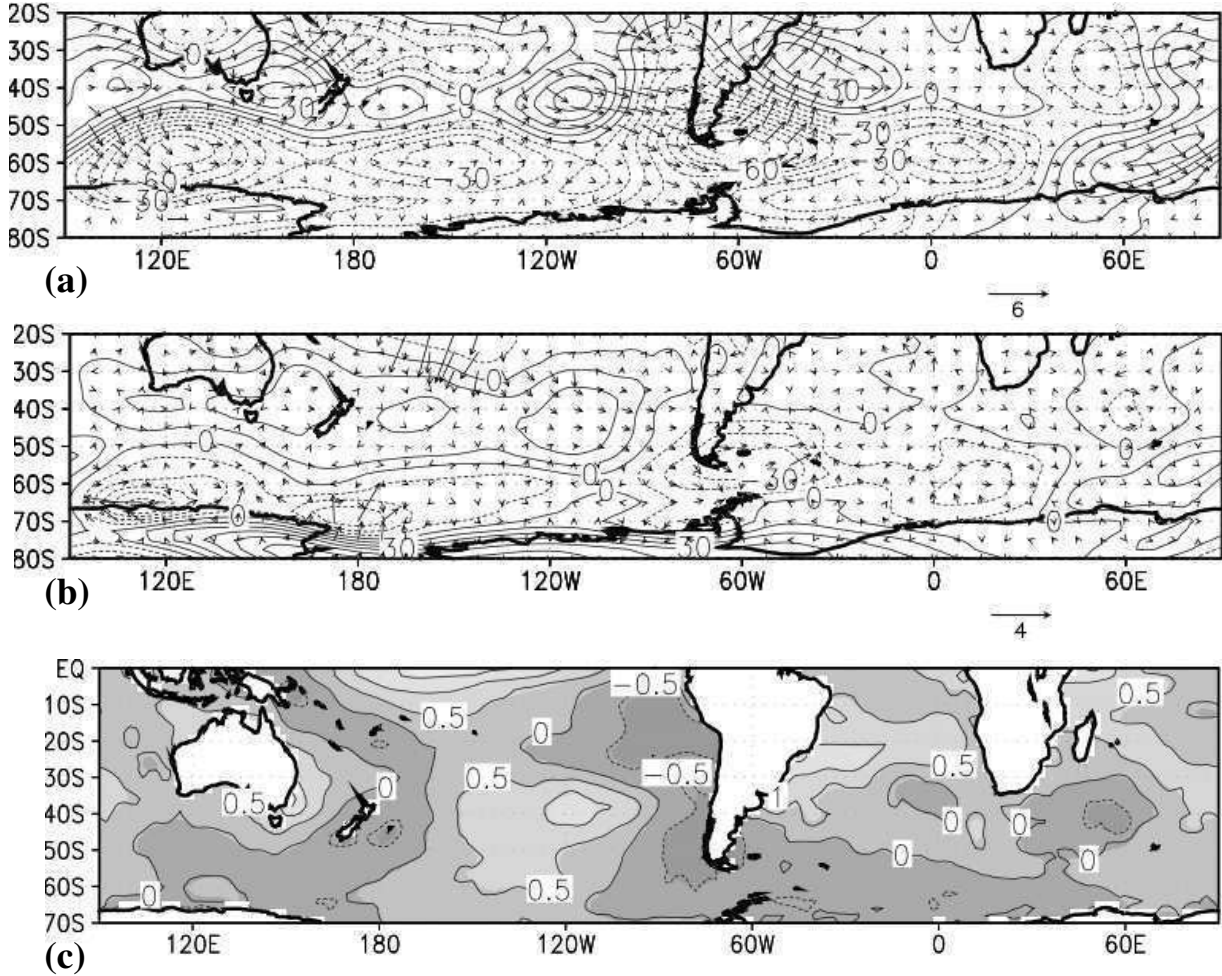


Figure 5: Summer zonal asymmetries at 300hPa (a) and 850hPa (b) for 2010, and associated horizontal component of the wave-activity flux (vectors). Extended SST summer anomalies for 2010 respect to extended SST cold summers composite (°C) (c).

In addition, wave-energy injection from lower stratosphere can also be responsible of the generation and/or maintenance of the upper troposphere asymmetric anomaly at about 60°W as can be observed from the downward flux propagation (Fig. 6). At midlatitudes (40-55°S) between 120°-60°W the wave-propagation is eastward and downward for 2010 (Fig. 6b), similar to the cold summers composite wave activity flow at high latitudes (55-70°S, Fig. 6c), which is consistent with a northward displacement of the cyclonic asymmetric anomaly in 2010 with respect to the cold summers composite. At the high latitude band, instead, there is a general downward propagation for 2010 without the eastward wave flux since the wave pattern between 120°-60°W is weak (Fig. 6d).

4. DISCUSSION

Cold summers over the extreme north of the AP are characterized by QSW train propagation over the Pacific Ocean, of the type PSA, from a region of anomalous convection near New Zealand, as evidenced by significant negative OLR anomalies over the region. The wave-train generates a significant upper-level

anomalous cyclonic circulation over northern AP, which could be responsible for lower temperatures due to the generation of dynamic conditions favourable to cloudiness and the predominant easterly-component winds. The anomalous convection near New Zealand may be favoured by a quasi-stationary cyclonic perturbation on the area, associated with wave-activity flux convergence from another wave-train propagating eastward from the Indian Ocean, associated with a significant area of negative OLR anomalies observed northeast of Madagascar.

Contrary to previous cold summers, during the summer of 2010 the typical cyclonic asymmetric anomaly over AP, responsible for lower temperatures, is slightly northward displaced. Furthermore, this anomaly is not generated by a QSW propagating over the Pacific, but to a regionally located QSW crossing South America from the southeast Pacific to the southwest Atlantic. The regionally localized QSW cannot be associated with anomalous deep convection since relevant OLR anomalies are not observed. However a strong PSA-like QSW propagation over the Pacific Ocean is observed in the previous spring of 2009. This previous spring QSW probably is acting as a preconditioning for the downstream activation of stationary wave propagation in the following summer due to changes in SSTs anomalies over midlatitude South Pacific. Interaction with lower stratosphere is observed during cold summers.

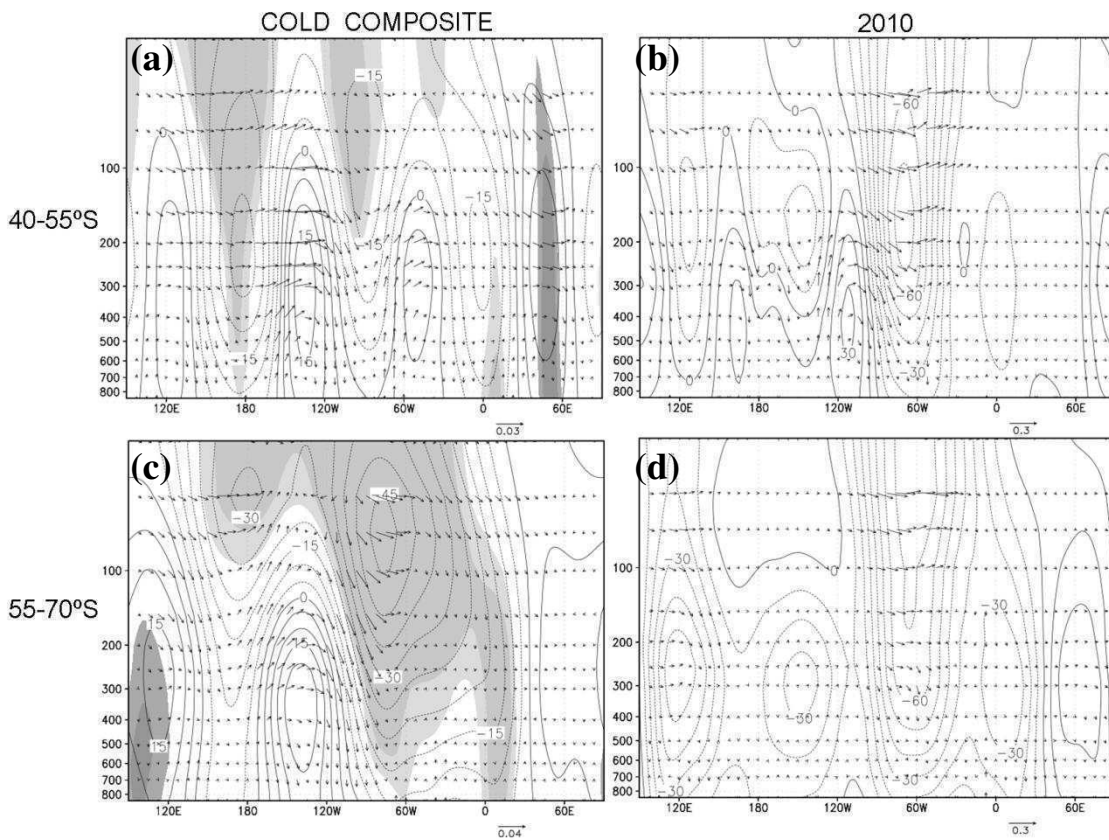


Figure 6. Zonal-height sections of QS Wave asymmetry (contour) and its zonal and vertical component flux (vectors), for the (a) cold summers composite at midlatitudes (40-55°S), (b) 2010 summer at midlatitudes (40-55°S), (c) cold summers composite at high latitudes (55-70°S) and (d) 2010 summer at high latitudes (55-70°S). The shaded zones in (a) and (c) corresponds to a 90-95% significance.

Acknowledgements

The authors wish to thank grants CONICET PIP 2004 5276, ANPCyT PICT 2007 ICES-IDAC 01888, PICT-2007-00438, DNA and UCA, which made this research possible. We also thank to Carmelite Order.

REFERENCES

- Chan, S., S. Behera, and T. Yamagata, 2007: The Indian Ocean Dipole teleconnection to South America, *Geophys. Res. Lett.*, 35, L14S12
- Dutton, E.G., R.S. Stone, D.W. Nelson, and B.G. Mendoza, 1991 : Recent interannual variations in solar radiation, cloudiness, and surface temperature at the south pole. *J. of Clim.*, 4, 848-858.
- Fogt, R. and D. Bromwich, 2006. Decadal variability of the ENSO teleconnection to the high latitude South Pacific governed by coupling with the Southern Annular Mode. *Journal of Climate*, 19: 979-997.
- IPCC, 2007. IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 (AR4)

- Marshall, G., 2003: Trends in the Southern Annular Mode from Observations and Reanalyses. *Jou. of Clim.*, 16, 4134-4143.
- Marshall, G., A. Orr, N. van Lipzig, and J. King, 2006. The impact of a changing Southern Hemisphere Annular Mode on Antarctic Peninsula summer temperatures. *Journal of Climate*, 19 (20): 5388-5404
- Mo, K., 2000. Relationships between Low-Frequency Variability in the Southern Hemisphere and Sea Surface Temperature Anomalies. *Journal of Climate*, 13: 3599-3610
- Mo, K. and S. Hakkinen, 2001. Decadal variations in the tropical South Atlantic and linkages to the Pacific. *Geophysical Research Letters*, 28(10): 2065–2068
- Monaghan, A., D. Bromwich, W. Chapman, and J. Comiso, 2008. Recent variability and trends of Antarctic near-surface temperature. *Journal of Geophysical Research*, 113, 21 pp
- Moser, B.K., G.R., Stevens, and C.L., Watts, 1989: The two-sample t-test versus Satterwaite's approximate F test, *Commun. Stat. Theory Methodol.*, 18, 3963-3975.
- Moser, B.K., and G.R. Stevens, 1992: Homogeneity of variance in the two-sample means test, *Am. Stat.*, 46, 19-21
- Rasmusson, E. and K. Mo, 1993. Linkages between 200-mb Tropical and Extratropical Circulation Anomalies during the 1986-1989 ENSO Cycle. *Journal of Climate*, 6: 595-616
- Takaya, K. and H. Nakamura, 2001. A Formulation of a Phase-Independent Wave-Activity Flux for Stationary and Migratory Quasigeostrophic Eddies on a Zonally Varying Basic Flow. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 58: 608-627
- Turner, J., 2004. The El Niño-Southern Oscillation and Antarctica. *International Journal of Climatology*, 24: 1-31
- Turner, J., S. Colwell, G. Marshall, T. Lachlan-Cope, A. Carleton, P. Jones, V. Lagun, P. Reid, and S. Iagovkina, 2005. Antarctic Climate Change during the last 50 years. *International Journal of Climatology*, 25: 279-294
- van Lipzig, N., G. Marshall, A. Orr, J. King, 2008. The Relationship between the Southern Hemisphere Annular Mode and Antarctic Peninsula Summer Temperatures: Analysis of a High-Resolution Model Climatology. *Journal of Climate*, 21: 1649-1668

TELECONEXIONES EN LA TEMPERATURA SUPERFICIAL DE MAR DEL OCEANO PACIFICO

Ana Laura Berman^{1,2}, Gabriel Silvestri³, Rosa Compagnucci^{1,2}

¹ Departamento Ciencias de la Atmósfera y los Océanos / FCEN-UBA

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

³ Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA) / CONICET-UBA

alberman@at.fcen.uba.ar

Resumen

En este trabajo se investigan relaciones entre la variabilidad de la temperatura del mar en diferentes regiones del Océano Pacífico tropical y subtropical. El análisis describe las relaciones estadísticas en diferentes bandas de frecuencia y los cambios de esas relaciones a través del tiempo. Los resultados muestran que las regiones al oeste y este del Pacífico tropical tienen significativa co-variabilidad en las oscilaciones más cortas que 8 años pero tal relación desaparece en las oscilaciones más largas. Relaciones significativas de tipo lineal o casi lineal se observan entre las regiones al oeste y centro del Pacífico subtropical, excepto en las ondas más cortas. Por otro lado, las relaciones entre el Pacífico tropical y el subtropical son significativas en diferentes bandas de frecuencia pero en todos los casos son de carácter no estacionario.

Abstract

Relations between the variability of the sea surface temperature in different regions of the tropical and subtropical Pacific are investigated in this work. The analysis describes statistical relations in different bands of periodicity and changes of these relationships across the time. Results show that regions in the eastern and western tropical Pacific have significant co-variability in oscillations shorter than 8 years but there is a lack of this close relation in larger oscillations. Significant linear or quasi linear connections are observed between the central and western subtropical Pacific except in the shortest periodicities. Moreover, the relationships between the tropical and subtropical Pacific are significant in different bands of periodicity but they are non-stationary in all cases.

Introducción

Investigaciones utilizando datos de observaciones y modelos numéricos han demostrado que las interacciones entre la atmósfera y el océano contribuyen a las fluctuaciones del clima en un amplio rango de escalas de tiempo. Para individualizar los mecanismos físicos que regulan estas interacciones es necesario caracterizar las relaciones entre el océano y la atmósfera. Otro aspecto también importante es conocer las interacciones entre distintas regiones oceánicas en diferentes bandas del espectro de frecuencias y los cambios que estas relaciones sufren a través del tiempo. Este tipo de análisis puede ser fácilmente hecho aplicando la metodología de Wavelet Coherence descrita por Torrence y Compo (1998) y Grinsted y otros (2004). Si bien hay antecedentes del uso de esta metodología en diversas áreas de la investigación científica, no hay antecedentes de su aplicación en el estudio de co-varianza entre diferentes regiones de los océanos del Hemisferio Sur. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es aplicar la mencionada metodología en el análisis de conexiones estadísticas entre regiones tropicales y subtropicales del Océano Pacífico.

Datos y Metodología

Los datos de temperatura superficial del mar (TSM) fueron tomados del *Met Office Hadley Centre observations datasets* (HadSST2, Rainer y otros 2006) siendo anomalías mensuales respecto al valor medio en el período 1961-1990. El área de estudio comprende la porción tropical y subtropical del Océano Pacífico entre 10°N y 40°S en donde se delimitaron siete regiones específicas. Se consideraron las típicas regiones El Niño 4 (EN4), 3.4 (EN3.4), 3 (EN3) y 1+2 (EN1+2) en el Trópico y regiones representando la variabilidad de TSM en el oeste, centro y este del Pacífico subtropical (Figura 1).

La metodología de Wavelet Coherence (WTC) fue aplicada a los promedios anuales de las anomalías mensuales de TSM y el análisis fue hecho para el periodo 1950-2007. Descripción detallada respecto al cálculo e interpretación de resultados del WTC puede encontrarse en Grinsted y otros (2004).

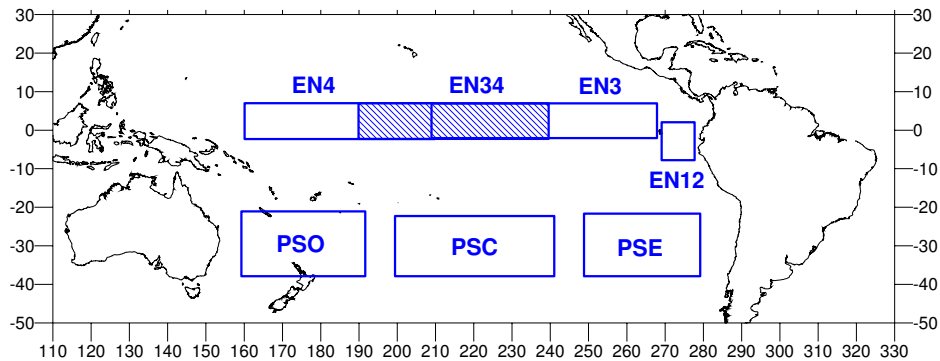


Figura 1: Regiones consideradas en el análisis. El Niño 4 (EN4), El Niño 3.4 (EN34), El Niño 3 (EN3), El Niño 1+2 (EN12), Pacífico Subtropical Oeste (PSO), Pacífico Subtropical Central (PSC), Pacífico Subtropical Este (PSE).

Resultados

En la región tropical, la relación entre EN4 y EN3.4 es significativa y estacionaria, excepto en oscilaciones de casi 8 años en torno a los últimos años de la década de 1970 (Figura 2a). Esta desconexión coincide con el salto climático de 1976-77 (Nitta y Yamada, 1989; Trenberth 1990) cuando cambiaron las características de los eventos El Niño (Wang, 1995; Wallace y otros 1998). La región EN4 tiene relación significativa y estacionaria con EN3 en oscilaciones de casi 12 años y en oscilaciones más cortas que 6 años (Figura 2b). Co-variabilidad significativa entre EN4 y EN12 se observa sólo en oscilaciones más cortas que 8 años, especialmente durante las décadas de 1950 y 1960 (Figura 2c). La relación entre EN3.4 y EN3 muestra una clara desconexión en oscilaciones de casi 8 años durante las décadas de 1970 a 1990 (Figura 2d). Las regiones EN34 y EN12 están significativamente relacionadas en periodicidades menores que 8 años (Figura 2e) observándose un patrón similar entre EN3 y EN12 (Figura 2f).

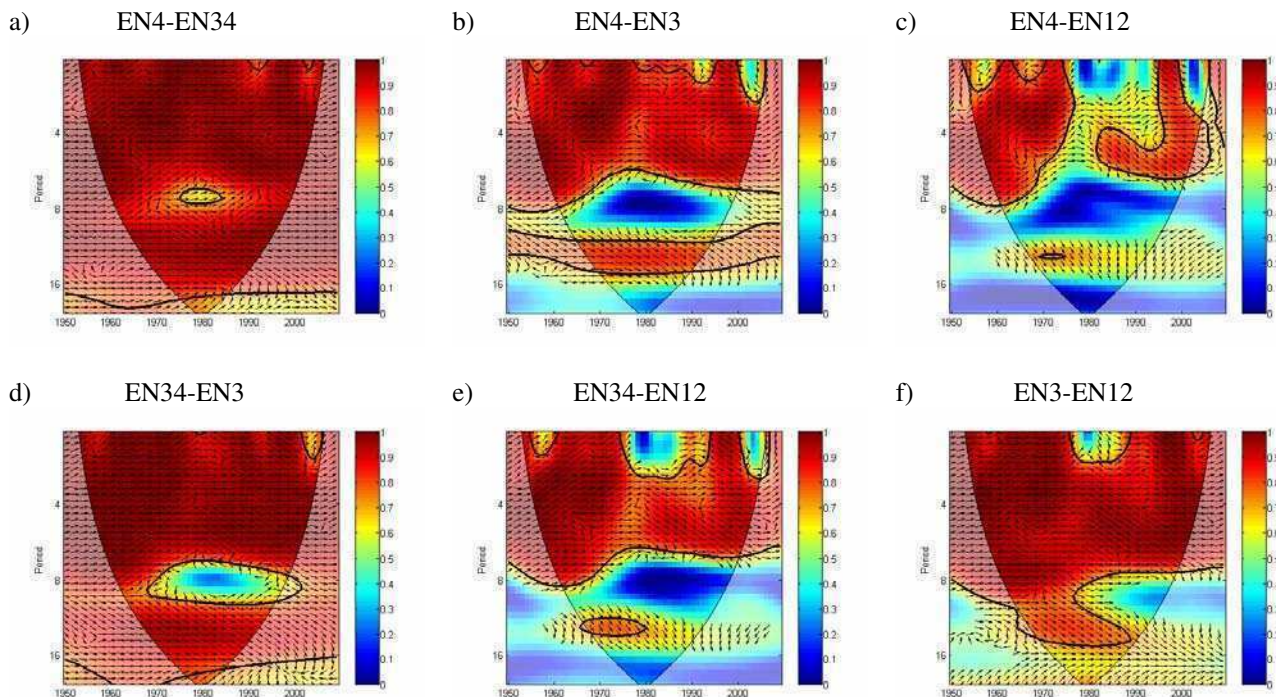


Figura 2: Wavelet Coherence entre las series de TSM de las regiones del Océano Pacífico tropical. El nivel de significancia del 5% contra el ruido rojo se muestra con línea negra gruesa. Las flechas indican la relación de fase entre las series involucradas (en fase hacia la derecha, en anti-fase hacia la izquierda).

En el Pacífico subtropical, las regiones oeste y central tienen relaciones significativas casi lineales en oscilaciones de periodo mayor que 6 años (Figura 3a). Por el contrario, las relaciones PSO-PSE y PSC-PSE resultan casi totalmente no significativa (Figuras 3b y 3c).

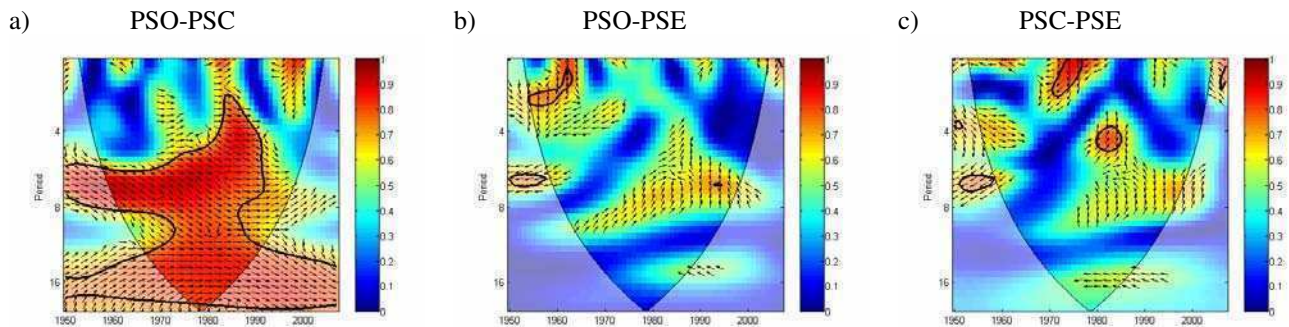


Figura 3: Como Figura 2 pero para las regiones del Océano Pacífico subtropical.

El análisis de las relaciones entre las regiones tropicales y subtropicales del Océano Pacífico muestra patrones muy complejos. La característica general es la existencia de relaciones significativas no estacionarias en diferentes bandas de periodicidad. Como un ejemplo, en la Figura 4 se muestra el resultado del WTC que describe la relación entre las regiones EN3 y PSC.

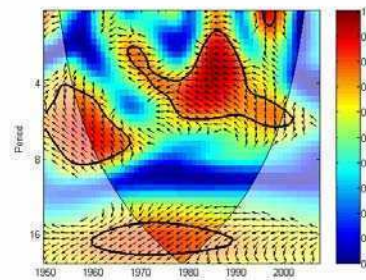


Figura 4: Como Figura 2 pero para las regiones EN3 y PSC.

Conclusiones

El análisis de interacciones entre diferentes regiones oceánicas en todas las bandas de frecuencias y su evolución a través del tiempo es un tema de singular importancia porque los patrones de variabilidad de TSM son el resultado de una combinación de procesos atmosféricos y oceánicos en diferentes escalas de tiempo. El análisis WTC resulta una herramienta matemática muy útil para este tipo de estudio dado que permite encontrar áreas en el espectro de frecuencia donde existen relaciones significativas entre dos series de tiempo. Por este motivo, el análisis presentado en este trabajo ha sido basado en el uso de la mencionada metodología para describir relaciones estadísticas entre diferentes regiones del océano Pacífico tropical y subtropical.

Los resultados encontrados muestran que la relación entre las regiones al oeste y este del Océano Pacífico tropical se relacionan significativamente y de manera lineal en oscilaciones menores a 8 años pero esta estrecha conexión tiende a perderse hacia las ondas más largas. Relaciones significativas se observan también entre las regiones en el oeste y centro del Pacífico subtropical pero en este caso se producen en las bandas de ondas más largas.

La gran variedad de relaciones estadísticamente significativas entre las regiones oceánicas analizadas sugiere un alto grado de complejidad en los procesos que gobiernan la variabilidad climática de baja frecuencia.

Referencias

- Grinsted, A., J. Moore, S. Jevrejeva, 2004. Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series. *Nonlinear Processes Geophys.* 11(5/6):561-566.
- Nitta, T., S. Yamada, 1989. Recent warming of tropical sea surface temperature and its relationship to the Northern Hemisphere circulation. *J Meteor Soc Jpn* 67:375–383.
- Rayner, N., P. Brohan, D. Parker, C. Folland, J. Kennedy, M. Vanicek, T. Ansell, S. Tett, 2006. Improved analyses of changes and uncertainties in sea surface temperature measured in situ since the mid-nineteenth century: the HadSST2 data set. *J Clim* 19: 446-469.
- Torrence, C., G. Compo, 1998 A practical guide to wavelet analysis. *Bull Amer Meteor Soc* 79:61-78.
- Trenberth, K., 1990. Recent observed interdecadal climate changes in the Northern Hemisphere. *Bull Amer Meteor Soc* 71:988–993.
- Wallace, J., E. Rasmusson, T. Mitchell, V. Kousky, E. Sarachik, H. Von Storch, 1998. On the structure and evolution of ENSO-related climate variability in the tropical Pacific: Lessons from TOGA. *J Geophys Res* 103:14241–14259.
- Wang, B., 1995. Interdecadal changes in El Niño onset in the last four decades. *J Clim* 8:267–285.

Agradecimientos

Esta investigación fue financiada por los proyectos AGENCIA-MINCYT PICT-2007-00438, PICT-2007-00400 y UBACYT X-016 (Universidad de Buenos Aires). Los autores agradecen al Dr. Víctor Manuel Velasco Herrera (UNAM-México) por sus comentarios constructivos sobre la metodología utilizada.

VARIABILIDAD TEMPORAL DE LA INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR EN LA PRECIPITACION DEL SUR DE PATAGONIA

Ana Laura Berman^{1,2}, Gabriel Silvestri³, Rosa Compagnucci^{1,2}

¹ Departamento Ciencias de la Atmósfera y los Océanos / FCEN-UBA

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

³ Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA) / CONICET-UBA

alberman@at.fcen.uba.ar

Resumen

Este trabajo describe relaciones entre la precipitación registrada en Río Gallegos y la temperatura superficial del mar en diferentes regiones de los océanos del Hemisferio Sur. Se encuentran relaciones lineales significativas de la lluvia con la porción oeste del Océano Pacífico en variabilidad de baja frecuencia. Relaciones significativas no lineales en baja frecuencia de la lluvia con la temperatura del mar en latitudes subtropicales de los océanos Pacífico este e Índico son también mostradas.

Palabras clave: Patagonia, variabilidad climática, temperatura superficial del mar, variabilidad de precipitación.

Abstract

This work describes relations between the precipitation in Río Gallegos and the sea surface temperature of different regions in the oceans of the Southern Hemisphere. Significant linear relationships of the precipitation with the western portion of the Pacific Ocean in low frequency variability are found. Nonlinear significant relations in low frequency of the precipitation with the temperature of the sea in subtropical latitudes of the eastern Pacific and the Indian oceans are also shown.

Keywords: Patagonia, climatic variability, sea surface temperature, precipitation variability.

Introducción

En el extremo sur de la Patagonia argentina existen lagos y lagunas que constituyen importantes yacimientos paleoclimáticos. Uno de ellos es la laguna Potrok Aike ubicada a 90 km de la ciudad de Río Gallegos (51°37' S; 69°14' O). Reconstrucciones del nivel de esta laguna muestran importantes fluctuaciones durante los últimos 2000 años (Haberzettl y otros 2005) sugiriendo importantes cambios en las condiciones climáticas de la región. Para comprender las causas de tales fluctuaciones es necesario analizar cuáles son los forzantes del clima en el sur de la Patagonia.

Diferentes autores han estudiado la conexión entre la variabilidad climática en diferentes sectores de la Patagonia y forzantes de gran escala. En particular, Compagnucci y otros (2000) muestran una clara relación entre la precipitación invernal sobre la región andina entre 30°S y 40°S y los eventos El Niño mientras que Daniels y Veblen (2000) concluyen que, en general, durante eventos El Niño el clima es más húmedo en el norte de la Patagonia. Un análisis específico sobre la influencia de diferentes regiones oceánicas en la variabilidad de la precipitación sobre el extremo sur de la Patagonia continental se presenta en este trabajo describiendo tanto las relaciones en todas las bandas del espectro de frecuencias como los cambios de tales relaciones a través del tiempo.

Datos y Metodología

Los datos de precipitación de la estación Río Gallegos fueron cedidos por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN-Argentina) mientras que los datos de temperatura del mar fueron obtenidos del Hadley Centre SST data set (HadSST2, Rainer y otros 2006). El área de estudio comprende los océanos del Hemisferio Sur, entre 10°N y 70°S donde se individualizaron doce regiones (Fig. 1).

El análisis se hizo para el período 1950-2007 aplicando la metodología de Wavelet Coherence (WTC) a los promedios anuales de anomalías mensuales (anomalías respecto a la media 1961-1990) de

precipitación (PP) y temperatura del mar. Todos los detalles del cálculo e interpretación de resultados derivados del WTC pueden encontrarse en el trabajo de Grinsted y otros (2004) pero, a modo de síntesis y para entender fácilmente las figuras aquí mostradas, deben tenerse en cuenta dos consideraciones básicas: i) en los gráficos se indican las regiones del espacio de variabilidad en donde las relaciones resultan estadísticamente significativas; ii) la relación de fase entre las variables involucradas se representan con vectores que indican una relación en fase (anti-fase) si apuntan hacia la derecha (izquierda) mientras que vectores no horizontales describen un desfase debido a relaciones no lineales.

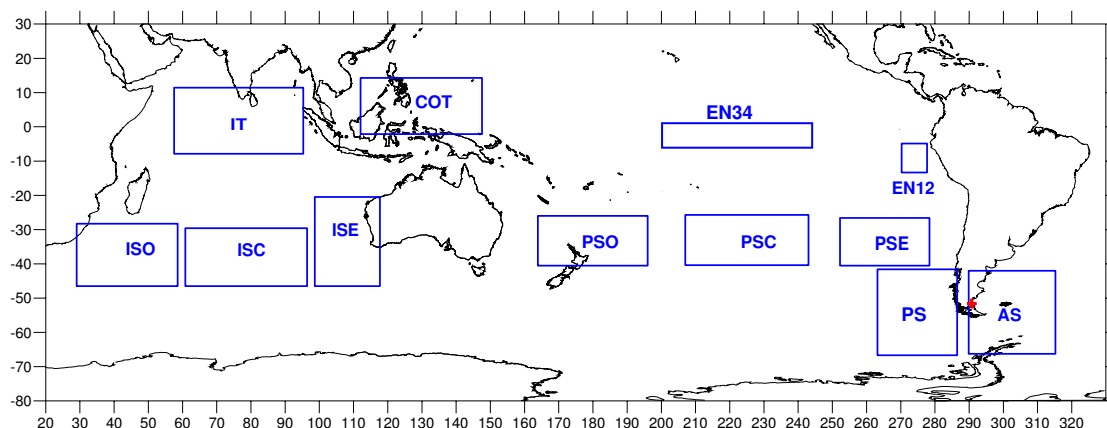


Figura 1: Regiones consideradas en el análisis. Indico Tropical (IT), Indico Subtropical Oeste (ISO), Indico Subtropical Central (ISC), Indico Subtropical Este (ISE), Continente Oceánico Tropical (COT) El Niño 3.4 (EN34), El Niño 1+2 (EN12), Pacífico Subtropical Oeste (PSO), Pacífico Subtropical Central (PSC), Pacífico Subtropical Este (PSE), Pacífico Sur (PS), Atlántico Sur (AS). El punto rojo en el sur de Argentina marca la ubicación de Río Gallegos.

Resultados

El análisis WTC muestra que la lluvia en Río Gallegos se relaciona significativamente con el Pacífico tropical central sólo en oscilaciones de período cercano a 8 años después de 1990 siendo una relación de tipo no lineal (Fig. 2a). También se observa relación no lineal durante la década de 1990 con la porción este del Pacífico tropical en oscilaciones de más de 10 años (Fig. 2b). Por el contrario, relaciones claramente lineales y estacionarias se establecen con las regiones oeste y centro del Pacífico subtropical en oscilaciones mayores a 12 años (Figs. 2c-d). En el Pacífico subtropical este, no hay relaciones significativas (Fig. 2e). La relación de la lluvia con el Atlántico Sur resulta significativa sólo durante la década de 1970 en ondas de casi 6 años (Fig. 2f). La región central del Océano Índico subtropical mantiene una relación estacionaria pero no lineal con la lluvia en oscilaciones mayores a 14 años superpuesta con relaciones significativas en ondas más cortas durante las décadas de 1980 y 1990 (Fig. 2g). Indicios de la influencia en la lluvia de la temperatura en el *continente oceánico* al norte de Australia existen sólo durante unos pocos años específicos (Fig. 2h). En ondas mayores a 12 años hay relación significativa con la porción del Pacífico Sur pero ésta es claramente de tipo no lineal y además es acompañada por una relación opuesta en ondas de 6-8 años después de 1990 (Fig. 2i)

Conclusiones

Los resultados obtenidos en este trabajo muestran una estrecha relación estadística entre la temperatura del mar de la porción oeste del Océano Pacífico y la variabilidad de baja frecuencia de la precipitación en el extremo sur de la Patagonia. Esta relación es de tipo lineal y estacionaria en oscilaciones de periodo mayor a 12 años describiendo una conexión de tipo *océano caliente (frio) - anomalía positiva (negativa) de lluvia* para esas bandas de variabilidad. También para oscilaciones mayores a 12 años se observan significativas relaciones estacionarias entre la lluvia y la temperatura del mar en latitudes subtropicales de los océanos Pacífico este e Índico pero en ambos casos son relaciones claramente no lineales sugiriendo una respuesta desfasada de la lluvia al forzante oceánico.

Este análisis es una contribución al conocimiento de los forzantes de la variabilidad climática en el sur de la Patagonia argentina constituyendo un paso inicial de un largo camino que resta recorrer para

comprender en detalle las causas de las fluctuaciones climáticas reflejadas en los registros paleoclimáticos de la región.

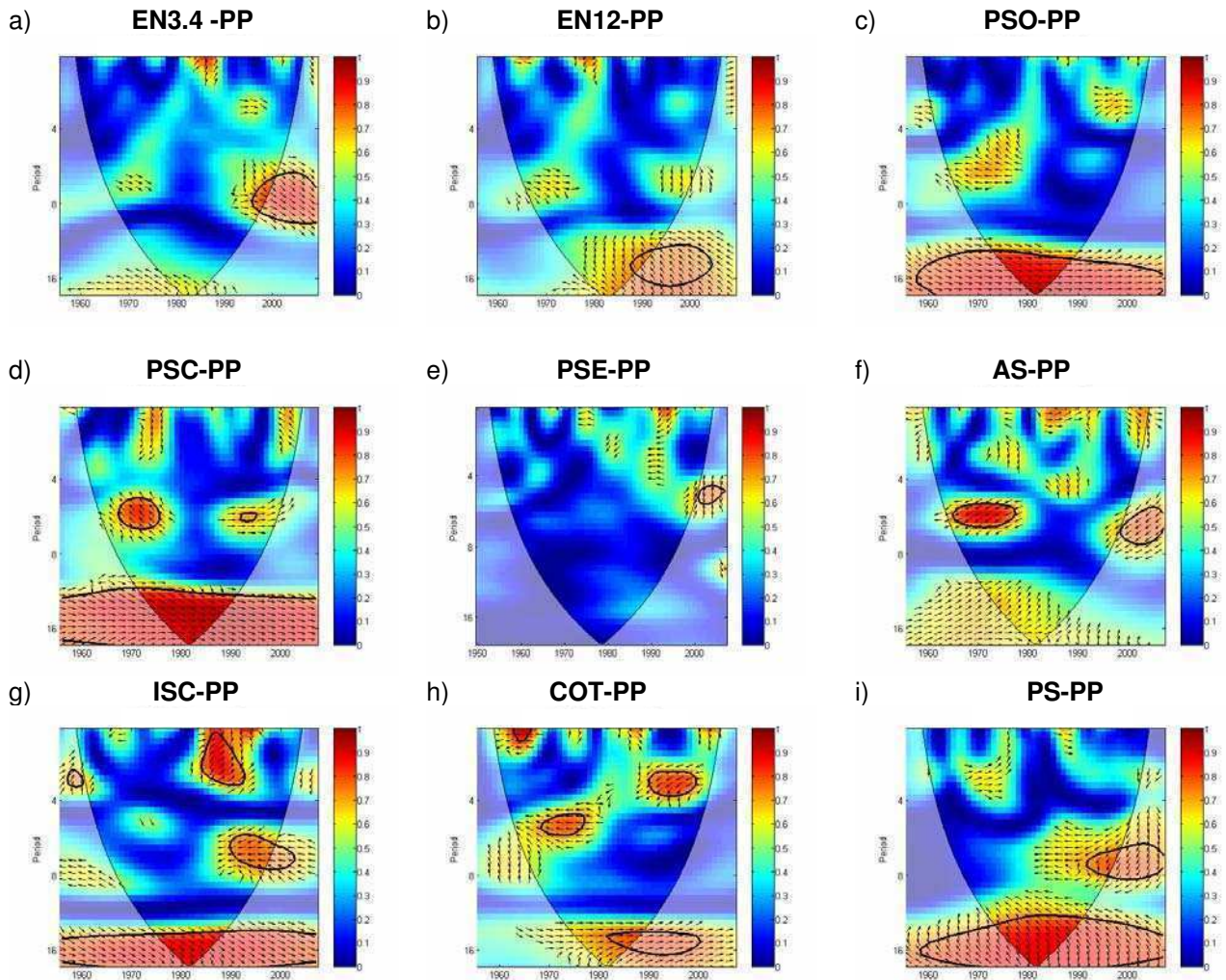


Figura 2: Wavelet Coherence entre la precipitación en Río Gallegos y la temperatura del mar. El nivel de significancia del 5% contra el ruido rojo se muestra con línea negra gruesa. Las flechas indican la relación de fase entre las series involucradas.

Referencias

Compagnucci, R.H., S.A. Blanco., M.A. Figliola y P.M. Jacovkis, 2000. Variability in subtropical Andean Argentinean Atuel river: a wavelet approach. *ENVIRONMETRICS* ,11, 3, 251-269.

Daniels, L.D. y T.T. Veblen, 2000. ENSO effects on temperature and precipitation of the Patagonian-Andean region: Implications for biogeography. *Physical Geography* 21: 223-243.

Grinsted, A., J. Moore, S. Jevrejeva, 2004. Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series. *Nonlinear Processes Geophys.* 11(5/6):561-566.

Haberzettl, T., M. Fey, A. Lücke, N. Maidana, C. Mayr, C. Ohlendorf, F. Schäbitz, G. Schleser, M. Wille, B. Zolitzchka, 2005. Climatically induced lake level changes during the last two millennia as reflected in sediments of Laguna Potrok Aike, southern Patagonia (Santa Cruz, Argentina). *Journal of Paleolimnology* 33 (3): 283-302.

Rayner, N., P. Brohan, D. Parker, C. Folland, J. Kennedy, M. Vanicek, T. Ansell, S. Tett; 2006. Improved analyses of changes and uncertainties in sea surface temperature measured in situ since the mid-nineteenth century: the HadSST2 data set. *J Clim* 19:446-469

Agradecimientos

Esta investigación fue financiada por los proyectos AGENCIA-MINCYT PICT-2007-00438, PICT-2007-00400, UBACYT X-016 (Universidad de Buenos Aires) y UBACYT X-455 (Universidad de Buenos Aires). Los autores agradecen al Dr. Víctor Manuel Velasco Herrera (UNAM-México) por sus comentarios constructivos sobre la metodología utilizada.

STUDY OF DEEP SEISMIC REFLECTIONS FROM THE CRUST IN CENTRAL NEUQUEN BASIN

A. H. COMÍNGUEZ^{1 1} and J. R. FRANZESE^{1 2}

^{1 1} | CONICET - Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, UNLP
Paseo del Bosque S/N, La Plata, Buenos Aires, Argentina. Email: ahcominguez@yahoo.com

^{1 2} | Centro de Investigaciones Geológicas, UNLP – CONICET
Calle 1 No. 644, La Plata, Buenos Aires, Argentina. Email: franzese@cig.museo.unlp.edu.ar

ABSTRACT

A singular mathematical reprocessing of old seismic lines recorded by the industry let to illuminate the crustal structure down to about 33 km depth. In addition, an iterative depth-migration methodology guaranteed the consistency of a final model of the Crust. Deep seismic horizons were respectively interpreted as the top of the Lower Crust, at about 24 km depth, and the master shear which controlled the rift basin geometry during its evolution, which was identified by an oblique reflector between 16 and 18 km depth. In addition, important inversion events were recognized by seismic stratigraphic analysis of the basin, and dated as Pliensbachian – Toarcian and Bathonian – Callovian. Ultimate seismic evidences examined beneath the extensional master shear, demonstrated that a deep discontinuity (18-33 km depth), must be strictly related with an ancestral orogenic collapse previous to the rift basin.

RESUMEN

Un sofisticado reprocesamiento matemático de antiguas líneas sísmicas registradas por la industria permitió iluminar la estructura de la Corteza hasta unos 33 km de profundidad. Además, una metodología iterativa de migración en profundidad garantizó la coherencia de un Modelo Final de la Corteza. Horizontes sísmicos profundos fueron respectivamente interpretados como la parte superior de la Corteza Inferior, a unos 24 km de profundidad, y la falla maestra principal que controló la geometría de la cuenca del rift durante su evolución, la cual fue identificada por un reflector oblicuo, localizado entre 16 y 18 km. Asimismo, fueron reconocidos importantes procesos de inversión, por el análisis sísmico estratigráfico de la cuenca, siendo respectivamente datados como Pliensbachiano - Toarciense y Batoniano – Calloviano. Por último, evidencias sísmicas examinadas por debajo de la cizalla extensional maestra, demostraron que una discontinuidad profunda (entre 18 y 33 km), debió estar estrictamente relacionada con un colapso orogénico ancestral anterior a la cuenca del rift.

INTRODUCTION

About 220 million years ago, part of the Proto-Pacific margin of Gondwana suffered a strong process of continental extension (Mpodozis and Ramos, 1989, Franzese & Spalletti, 2001). This tectonic event was induced by the thermal-mechanical collapse of a Late Paleozoic orogenic belt, giving place to a marginal active basin (Neuquén basin) during the whole Mesozoic, between the current 30° - 40° S. The Neuquén Basin is an ensialic extensional basin modified by subsequent growth of the Andean magmatic arc. Its complex post-rift stage comprise multiple episodes of Mesozoic and Cenozoic inversion, and the development of the Andean fold and thrust belt and Late Tertiary foreland basin (Vergani et al, 1995).

Syn-extensional processes led to the creation and evolution of several isolated troughs with NNW-SSE and ENE-WSW orientations (Vergani et al. 1995, Franzese & Spalletti, 2001). The syn-rift infill (Pre-Cuyo Group) consists of coarse-grained continental sediments, volcanic, and volcanoclastic materials. The transition to an initial post-rift stage (Cuyo Group) is marked by the widespread development of marine paleoenvironments during the Lower Jurassic (Vergani et al., 1995). However, the distribution and thickness of the early sequences of the Cuyo Group locally match up with the Pre-Cuyo depocenters, signifying that extensional faulting was an important control of sedimentation during the Early Jurassic at least in some areas of the basin (Vergani et al., 1995).

During the post-rift, the existence of localized tectonic-inversion episodes controlled the evolution of the basin (Vergani et al., 1995). Re-structuration events are very evident in the Huincul dorsal area (Fig. 1), where

they contributed to the generation of significant hydrocarbon fields. Early interpretations imply that the Huincul arch would have been the product of post-Jurassic strike-slip movements along a transcurrent Fault system (Ploszkiewicz et al., 1984), although more recent interpretations agree that they were generated through inversion of the initial halfgrabens in a NNW-SSE compressive stress field during the Middle Jurassic (Vergani et al., 1995; Veiga et al., 1997). Evidence of older local inversions involving some areas of the Huincul Arch during the early Jurassic was addressed by Pángaro et al. 2002, and specifically during the Toarcian by Vergani (2003).

Other events of tectonic re-structuration were observed by Pángaro and Bruveris (1999), who described normal fault systems produced by transtensive deformation, and controlling the contemporaneous sedimentation in central-sectors of the basin during the late Jurassic-early Cretaceous.

The inversion produced by the Andean tectonic shortening is too much complex. Evidence of backward tectonics such as thrust belts and foreland basins could have been so old as Late Cretaceous (Diraison et al., 2000). During the Tertiary (and strongly in the Pliocene) compressive tectonics gave place to a fold and thrust belt that reconfigured the whole occidental sector of the basin (Fig. 1). Even during this tectonic phase, the influence of old structural alignments of the initial basin is present in the deformation style (Zapata et al., 1999).

While the geometry and evolution of tectonic inversion is considerably known in the oil productive areas of the Huincul arch, studies along Los Chihuidos Arch (the other inverted arch of the basin) are less abundant. This structure is a N-S structure (Fig. 1), described as a tertiary large wavelength fold superimposed over a pre-Cretaceous structural high (Ramos, 1978).

DEEP SEISMIC REFLECTION TECHNIQUE

Field parameters and correlated records

The studied lines cover a corridor which begins on the east margin of the Neuquén river at 38° 17' S, extending around 80 km to the NE from this reference point.

Vibrators were used as a unique type of acoustic source in the area of Las Cárceles, while the records in Bajada de Añelo involved explosives.

The lines where vibrators were used, involved linear upsweeps with frequency band of 12-65 Hz and time-length of 8 s. While, the field records were characterized by time-lengths of 13 s and a sample rate of 4 ms. The Self-Truncating Extended Correlation algorithm (Okaya and Jarchow, 1989) was used to compute cross-correlation between the sweep and the records. The original frequency-band of 12-65 Hz was preserved for the first 5 s of seismic section. However, this band was affected by an upper-frequency decreasing from 5 s on, at a predicted linear-rate of 6.625 Hz/s. Hence, correlated deep-records with a time-length of 11 s were calculated, with a final-trace band of 12-25 Hz.

Sources of explosive origin complemented the regional study, specifically to the east of Sierra de los Chihuidos. These lines considerably reinforced the information about the rift episodes providing acoustical signal down to 11.5 km depth. It is clear that explosive reprocessing could not include any adequate mathematical recourse of signal deep expansion, equivalent to the extended correlation algorithm used in this paper for vibroseis reprocessing.

Significant steps of the Vibroseis processing

A Balance Process was used to equalize seismic trace amplitudes. With this procedure, areas exhibiting weaker acoustic amplitudes could be strengthened relative to areas of stronger amplitudes. Therefore, after the application of the balance operation the variations between shallow and deep areas appeared less severe. However we tried to conserve the relative amplitude within the boundaries of definite areas (for example: the sedimentary basin, the middle crust, the lower crust, etc.).

We included a careful monitoring work intended to remove noisy zones in each trace of the field gathers. Anyway, some difficulties became visible when we tried to perceive acoustic horizons in the deeper parts of the crust because of the low signal-to-noise ratio characterizing this particular trace-sector. So we accomplished the manual trace-mute with the use of a 'Generalized Automatic Trace Editing'. A previous statistical analysis led to establish appropriate thresholds for the automatic editing (for example based on dominant frequency or on peak to reference amplitude). As result of combining manual and statistical editing we were able to image reliable crust details down to 11 s two way time (more than 30 km depth).

Prior to channel stacking, a deconvolution operation with unmodified phase (Zero Phase Deconvolution) was applied, which resulted in flattening of the amplitude spectrum along a realistic frequency band. With this operation, precise seismic velocity analysis was ensured up to 8-9 s of trace length (in turn, a good acoustic response from the crust was found to occur in this sector, e.g. lines 254, 256, and 24307 outlined in Fig. 1). Likewise, since phase characteristics of the diffracted signals were kept unmodified, they could be properly focussed by migration process (Torey, 1979).

Depth migration was by first time implemented on extended seismic data. On the other hand, the traditional methodology was constrained to employ time-migration algorithms when the Self-Truncating Extended Correlation algorithm had been previously used in the calculation of the correlated deep-records. In particular, we used the Ω -X depth-algorithm (Yilmaz, 2001), obtaining intelligible crustal information down to more than 30 km, depending on noise circumstances. In addition, progressive models of crust-velocity were iteratively matched with the resultant migrated section. The iterative process was considered concluded when it was observed acceptable coincidence between the seismic-velocity model and the horizons of the depth-migrated section: this methodology guaranteed the consistency of the interpreted model.

Once that enhanced depth-sections were reasonably acquired, the FMED (minimum entropy algorithm with frequency-domain constraints) developed by Sacchi et al. (1996) was applied in some sectors, in order to improve deep signal resolution, as well as in other instances to match sub-shallow acoustic reflectors with geological well information. In particular, FMED was a robust tool to support the seismic interpretation of sinrift and sag sequences, as well as of tectonic inversion signs, and of lower Crust discontinuities.

INTRODUCTORY STRATIGRAPHIC FRAMEWORK

The basin stratigraphy in the area consists of a continental sequence of initial sinrift (Precuyo) deposited on halfgrabens, followed by strong cycles of marine and continental postrift units (Cuyo, Lotena, and Mendoza groups). In addition, continental sedimentites are present covering the before sequences (Rayoso and Neuquén groups).

The initial structuration is considered of Superior Triassic-Liasic age. While, the postrift phase would have extended until Early Cretaceous. The Cuyo group (lower to middle Jurassic) basically consists of siliciclastic sequences which were deposited in environments changing from deep marine to deltaic and finally fluvial (Vergani et al., 1995; Zapata et al., 1999; Vergani, 2005). Around the top of Cuyo deposition, the rift basin was increasingly silled, and had restricted circulation. So, Vergani et al. (1995) reported a shallowing as consequence of an inversion initiated during the Bathonian-Callovian. This last episode marks an evident change in the style of sedimentation which gradually converges to the evaporite-limestone distinctive of the Lotena group.

SEISMIC RESULTS

The research includes two areas, which delimit the western and eastern flanks of Los Chihuidos arch. (see Study Area in Fig. 1). The area of Las Cárces is placed to the west of Sierra de Los Chihuidos and involves the Seismic Lines 24307, 256 and 254. In addition, Bajada de Añelo is located to the east of the range and comprises the Line 19052.

The analysis in the area of Las Cárces is condensed in Fig. 2. This figure lets to observe a conspicuous reflector at about 24 km depth, which is corroborated in every one of the deep sections. This acoustic horizon separates a relatively blank middle crust from highly reflective lower crust. Also, an interval-velocity increase characterizes the lower zone. Similar reflection patterns have normally been interpreted as the interface between upper and lower crust (e.g., Peddy and Keen, 1987). In addition, the intracrustal boundary shown in Fig. 2 can be compared with the illustrated by Hall (1989, his Fig. 1).

As it was cited, the middle Crust is acoustically transparent, except for dipping events associated with faults, and where rock mylonitization would be in general the cause of the observed seismic events (Peddy and Keen, 1987). Following the analysis of Fig. 2, an oblique reflector horizon between 16 and 18 km depth, is dominant in seismic lines of Las Cárces area, and is considered as a master shear that controlled the whole extensional system. Above that horizon, a submaster fault between 8.5 and 12 km depth is partially recognized in the seismic sections of Las Cárces and, with the inclusion of Line-19052 examination, is identified as a segment of a detachment zone with also important control of the basin geometry.

Along Lines 24307, 256 and 254, the top of the rift basemen is characterized by irregular depths that, from W to E, fluctuate in a series of steps from 9 to 5 km. But in the eastern area, that is Bajada de Añelo region,

the study reveals that the top of the pre-liasic basemen is located at about 5 km depth, showing in this case a smooth topographic relief (see Crustal Sketch in Fig. 3) .

Evident features of tectonic inversion, with folding affecting sinrift as well as part of postrift sequences (i.e. Precuyo, Cuyo and maybe Lotena groups) were detected to the W of Los Chihuidos arch (see Fig. 3, west extreme, at about 6-8 km depth). This inversion episode was estimated, in agreement with our deep-seismic stratigraphic evaluation, as Bathonian-Callovian.

Completing the searching of inversion episodes from deep acoustic targets, features of bipolar inversion were detected in the central-eastern sector of Bajada de Añelo area (Fig. 3). Consistent with our deep-seismic analysis in Line 19052, this inversion episode was dated Pliensbachian-Torcion. It means that it was previous to the Bathonian-Callovian inversion and, in addition, it was not reported within Los Chihuidos region in early papers. Although, for example, Pángaro et al. (2002) and Vergani (2003) mentioned it as a conspicuous tectonic event associated to Huincul Arch region.

Also, the analysis of Line 19052 let us to confirm that the middle level of the Cuyo group is characterized by oblique reflections related with a strong sedimentary progradation toward the west. This seismic facies pattern corresponds to a delta front, where clinoforms are roughly 8-10° west dipping, indicating high energy of deposition (Sangree and Widmier, 1977).

CONCLUSIONS

Seismic-tracings comprising both the eastern and western sectors of Sierra de los Chihuidos, showed the deep structure of the Neuquén basin. Deep reprocessing of historical industrial seismic-lines supplied interpretive information down to about 30-33 km depth. Consequently, seismic data reprocessed with “self-truncating extended correlation” (Okaya and Jarchow, 1989) confirmed an economic and objective way of acquiring deep-seismic information where Vibroseis records are available. In addition, the FMED algorithm (Sacchi et al., 1996) was an appreciated mathematical tool for recognizing the different synrift and sag sequences. In short, promissory results discussed in this paper and synthesized in Fig. 3, revealed that:

- An acoustic contrast at about 24 km depth, must be the top of the lower Crust.
- An oblique reflector between 16 and 18 km depth, must be assumed as the local image of the master shear that controlled the extension system during the Late Triassic-Early Jurassic period.
- A sub-master fault dipping about 8° W, surely have been controlling the evolution of ‘Las Cárceles’ area.
- An important inversion event initiated during the Bathonian-Callovian, sensibly affected the western sector of ‘Las Cárceles’ (that is the site contiguous to the Neuquén river).
- Significant deposition of synrift sediments (Precuyo Group) originated in contiguous scarp degradation was detected on the western side of ‘Los Chihuidos’ arch, at about 7 km depth.
- Pliensbachian-Toarcian inversion developed during the transition to the Cuyo Group (related with attractive small-traps in a marine environment), has not been evidenced in the area by other studies, although Pángaro et al. (2002) and Vergani (2003) reported it in the Huincul Arch region.
- In the western sector, a middle Jurassic postrift episode is characterized by a deltaic depositional system prograding to the west with accentuate high energy.
- The Deep discontinuity emphasized in the lower part of Fig. 3 with a red trace between 18 and 30 km depth, must be closely related with the ancestral origin of the extension basin. Early results presented by Comínguez and Franzese (2006) permitted to compare this singular seismic detail with an early scale-tank simulation of an orogenic collapse (Rey et al., 2001). In addition, it is pondered an alternative idea that considers the deep-discontinuity as a first-order discontinuity related with a Proterozoic–Early Paleozoic terrane accretion (Ramos, 1989; Zapata and Folguera, 2006).
- Bulk extension of an ancestral thickened crust can be only justified if a relative free boundary is adjacent to the orogenic domain (Rey et al., 2001). In such case the idea of rollback of the western subducting slab, would emerge as the most credible hypothesis.

REFERENCES

- Diraison, M., Cobbold, P.R., Gapais, D., Rossello, E.A., Le Corre, C., 2000. Cenozoic crustal thickening, wrenching and rifting in the foot hills of the southernmost Andes. *Tectonophysics*, 316, 91-119.
- Franzese, J.R., Spalletti, L.A., 2001. Late Triassic – early Jurassic continental extension in southwestern Gondwana: tectonic segmentation and pre-break-up rifting. *Journal of South American Earth Sciences*, 14, 257-270.

Hall, J., 1989. Base of the crust, seismological expression, geological evolution, and basin controls. In: Tankard, A.J., Balkwill, H.R. (eds.). Extensional tectonics and stratigraphy of North Atlantic margins. AAPG Memoir 46, 41-52.

Mpodozis, C., Ramos, V.A., 1989. The Andes of Chile and Argentina. In: Ericksen, G. E., Cañas Pinochet, M. T., Reinemund, J. A. (eds.). Geology of the Andes and its relation to hydrocarbon and mineral resources. Houston, Texas, Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources Earth Science Series, 11, 59-90.

Okaya, D. A., Jarchow, C. M., 1989. Extraction of deep crustal reflections from shallow Vibroseis data using extended correlation. *Geophysics*, 54(5), 552-562.

Pángaro F., Bruveris, P., 1999. Reactivación tectónica multiepisódica de sistemas extensionales, Cuenca Neuquina, Argentina. XIV Congreso Geológico Argentino, Salta. Actas I, 231-234.

Pángaro, F., Corbera, R., Carbone O., Hinterwimer, G., 2002. Reservorios Precuyanos. V Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Mar del Plata Argentina. CD Proceedings.

Peddy, C., Keen, Ch., 1987. Deep seismic reflection profiling: how far have we come?. *Geophysics: The leading Edge of Exploration*, 6(6), 22-24, 49.

Ploszkiwicz, J.V., Orchuela, I.A., Vaillard, J.C., Viñes, R.F., 1984. Compresión y desplazamiento lateral en la zona de falla de Huincul, estructuras asociadas, provincia del Neuquén. Noveno Congreso Geológico Argentino, San Carlos de Bariloche. Actas, 2, 163-169.

Ramos, V.A., 1978. Estructura. In: VII Congreso Geológico Argentino, Relatorio, Geología y recursos naturales del Neuquén, 99-118. Buenos Aires, Argentina.

Sacchi, M.D., Velis, D.R., Comínguez, A.H., 1996. Minimum entropy deconvolution with frequency-domain constraints. In E.A. Robinson and O.M. Osman (eds.). *Deconvolution II*, Society of Exploration Geophysicists, 278-285.

Sangree, J.B., Widmier, J.M., 1977. Seismic stratigraphy and global changes in sea level, part 9 -- Seismic interpretation of clastic depositional facies. In: Payton, C.E. (ed.). *Seismic stratigraphy - Applications to hydrocarbon exploration*. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 26, 165-184.

Torey, A. W., 1970. A simple Theory for seismic diffractions. *Geophysics*, 35, 762-784.

Vergani, G., Tankard, A.J., Belotti, H.J., Welsink, H.J., 1995. Tectonic evolution and paleogeography of the Neuquén Basin, Argentina. In: Tankard, A.J., Suárez-S., R., Welsink, H.J., (eds.). *Petroleum basins of South America*. AAPG Memoir 62, 383-402.

Vergani, G.D., 2005. Control estructural de la sedimentación jurásica (Grupo Cuyo) en la Dorsal de Huincul, Cuenca Neuquina, Argentina. Modelado de falla lístrica, invertida. *Boletín de Informaciones Petroleras (BIP)*, AAGGyP, Año 1, N° 1, 32-42.

Veiga, R., Lara, M.E., Bruveris, P., Votero, A., Tomasi, E., 1997. Análisis sismo-estratigráfico de depósitos de pos-trift en el sector nororiental de la Cuenca Neuquina, Argentina. Primer Congreso Latinoamericano de Sedimentología. Memorias, Tomo 1, 323-331. Porlamar, Venezuela.

Yilmaz, Ö., 2001. *SEISMIC DATA ANALYSIS: Processing, Inversion, and Interpretation of Seismic Data*. Stephen M. Doherty (ed.). Series: Investigations in Geophysics. Michael R. Cooper (Series ed.). Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, OK, USA, 2027 pp (two volumes).

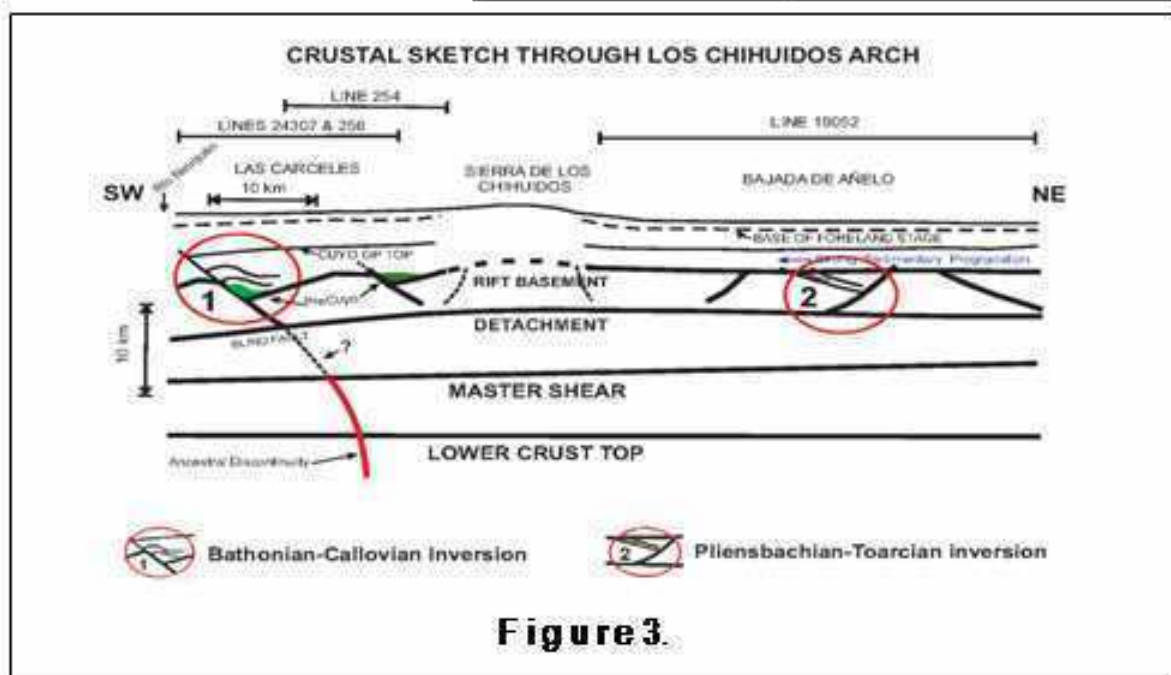
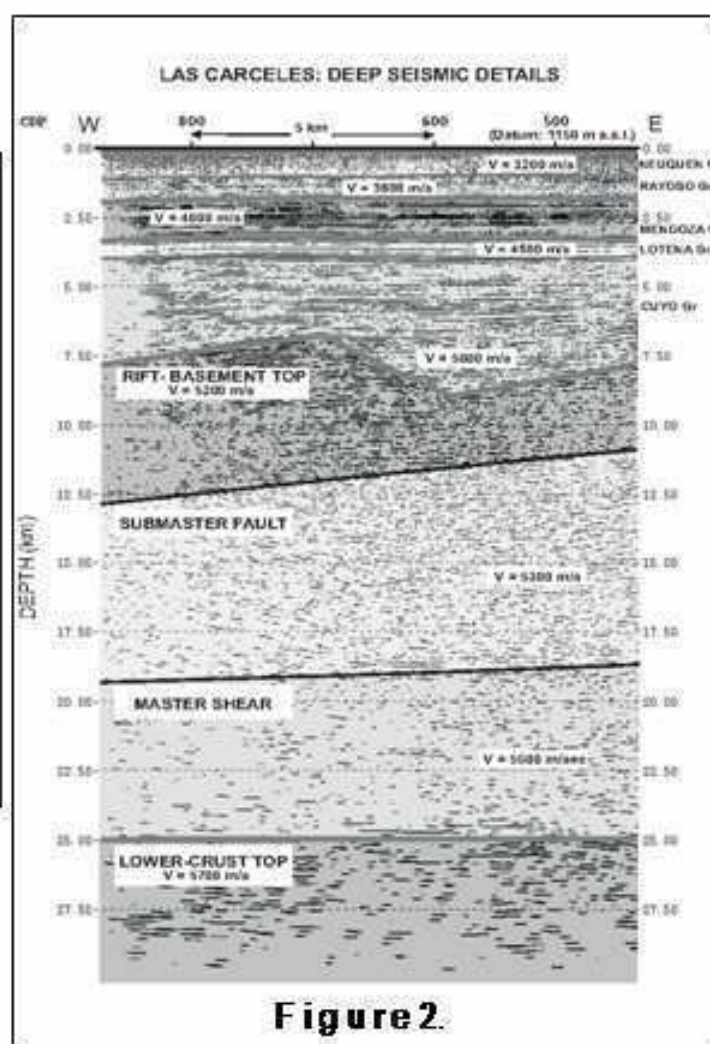
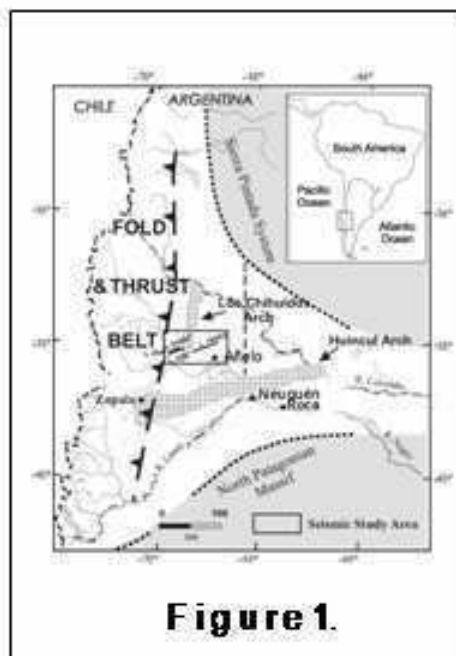
Zapata, T., Brissón, I., Dzedalija, F., 1999. The structures of the Andean fold and thrust belt in relation to basement control in the Neuquén Basin. *Boletín de Informaciones Petroleras (BIP)*, Año XVI, N° 60, 112-121.

FIGURES CAPTION

FIGURE 1 | Tectonic outline of the Neuquén Basin. Seismic lines are enclosed by a rectangle which identifies the Study Area on a central place of the Basin. Both Huincul and Los Chihuidos arch are prominent structural elements which controlled sinrift depocenters.

FIGURE 2 | Seismic-Velocity Model of the Crust in a central sector of Line 0254 (western foothills of Sierra de los Chihuidos). The figure includes interpretation of major seismic sequences (geological groups), and middle Crust decollement zones. The depth migrated seismic section is displayed as background.

FIGURE 3 | Crust Model obtained by integration of depth-migrated seismic profiles placed in the Study Area (Fig. 1). Note the orientation SW-NE of the implicit transect which incorporates information from Lines 24307, 256, 254 and 19052. The Sketch emphasizes important tectonic events recognized in this paper.



Inversión sparse-spike de datos sísmicos prestack

Daniel Pérez y Danilo Velis

Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata; y CONICET

Resumen

En este trabajo presentamos un método de inversión que permite obtener soluciones de tipo "sparse-spike" a partir de datos AVO/AVA (amplitud versus offset/ángulo). Las soluciones se encuentran tras minimizar una función de costo que mide la discrepancia entre los datos observados y los calculados mediante un modelo matemático asumido como válido. Debido a la fuerte no-unicidad del problema inverso resulta esencial la incorporación de información a priori que nos permita obtener soluciones de tipo sparse-spike. El método propuesto apunta a encontrar el menor número de reflectores que tras ser convolucionados con la ondícula ajustan al dato con una tolerancia dada, lo que permite la caracterización de los eventos significativos presentes en los datos. El principal objetivo es la obtención de los parámetros de las aproximaciones de las ecuaciones de Zoeppritz válidas para ángulos de incidencia menores al ángulo crítico. Debido a la alta no linealidad del problema planteado para la determinación de la posición en tiempo de los reflectores, para optimizar la función de costo utilizamos una versión muy eficiente del algoritmo de optimización global conocido como simulated annealing (SA). Los parámetros de las aproximaciones se obtienen tras resolver un sistema de ecuaciones lineales en cada iteración del SA. Como resultado de la inversión se obtienen simultáneamente la ubicación en tiempo de los posibles reflectores y las curvas de AVO/AVA correspondientes. Los resultados obtenidos usando datos sintéticos son muy satisfactorios, permitiendo encontrar soluciones muy precisas aun ante datos con abundante ruido y ante errores en la fase y en la frecuencia central de la ondícula. Estos dos últimos parámetros son a su vez estimados durante la inversión.

Abstract

We present a new inversion method for obtaining sparse-spike solutions from AVO/AVA (amplitude versus offset/angle) data. The solutions are found after minimizing a cost function that measures the discrepancy between the observed data and data calculated using an assumed mathematical model. Due to the non-uniqueness of the inverse problem, the incorporation of a priori information that allows us to obtain solutions with some desired characteristics such as sparse-spike solutions, is crucial. The proposed method aims to find the smallest number of reflectors that, when convolved with the source wavelet, fit to the data within a given tolerance error, thus allowing for the characterization of the significant events that are present in the data. The main objective is to obtain the parameters of the approximations of the Zoeppritz equations usually which are valid for incidence angles smaller than the critical angle. Due to the high nonlinearity of the problem for determining the time positions of the reflectors, to optimize the cost function we use a very efficient version of the global optimization algorithm known as simulated annealing (SA). The coefficients of the approximations are obtained after solving a system of linear equations at each SA iteration. As a result, we obtain simultaneously the time of the reflectors and the corresponding AVO/AVA curves. The results obtained using synthetic data are very satisfactory. Very accurate solutions are obtained even for low signal-to-noise ratios and errors in the phase and central frequency of the wavelet. As a by-product of the inversion, these two parameters are also estimated from the data.

Introducción

La inversión de datos sísmicos prestack constituye una técnica de análisis muy importante para la caracterización del subsuelo y la prospección de hidrocarburos. El objetivo central consiste en determinar contrastes entre las propiedades de las rocas tales como velocidades de las ondas P, S y densidades a partir de la información contenida en la variación con el ángulo de incidencia de las amplitudes de las ondas sísmicas reflejadas. Dicha variación puede describirse mediante las ecuaciones de Zoeppritz, las cuales nos dan los coeficientes de reflexión y transmisión en función del ángulo de incidencia para ondas planas, tanto compresionales como de corte. La estructura de estas ecuaciones es muy complicada y su utilización en los problemas de inversión es poco práctica, por lo que diversos autores han desarrollado en las últimas décadas diversas aproximaciones (Aki & Richards, 1980 ; Shuey, 1985; Fatti et al., 1994). Para el caso del coeficiente de reflexión asociado a ondas compresionales estas aproximaciones pueden expresarse de una

forma general de la siguiente manera:

$$\alpha_{\theta_i} = \sum_{k=1}^n a_k g_k(\theta_i) \quad , \quad (1)$$

donde α_{θ_i} es la amplitud del coeficiente de reflexión, a_k son parámetros que dependen de las propiedades físicas de las rocas, $g_k(\theta_i)$ son funciones que dependen del ángulo de incidencia θ_i y n es el orden de la aproximación (usualmente $n=2$ o 3). En general dichas aproximaciones ajustan bien a las ecuaciones de Zoeppritz para ángulos menores al ángulo crítico. Debido a que los datos de un registro sísmico contienen ruido, son incompletos y de banda limitada, existe un problema de no unicidad, por lo que es importante la incorporación de condiciones que limiten la cantidad de soluciones. En este trabajo se impone como condición que las soluciones deben ser del tipo *sparse*. Dichas soluciones están formadas por una sucesión poco densa de coeficientes de reflexión. Varios autores presentan diferentes métodos para la inversión AVO de tipo *sparse* (Downton y Lines, 2003; Misra y Sacchi, 2008; Alemie, 2010). Cualquier inversión prestack basada en las aproximaciones a las ecuaciones de Zoeppritz requiere tener información de la variación de las amplitudes de las trazas con respecto a los ángulos de incidencia, es por eso que se trabajará con datos corregidos por NMO y ordenados según el ángulo de incidencia.

Desarrollo

La traza i -ésima de un gather que contiene N trazas, ordenadas según el ángulo de incidencia θ_i , puede ser representada, siguiendo el modelo convolucional, de la siguiente forma:

$$s_{t\theta_i} = w_t * r_{t\theta_i} + n_{t\theta_i} \quad , \quad t=1,2,\dots,L \quad i=1,2,\dots,N \quad (2)$$

donde w_t es la muestra t de la ondícula, $r_{t\theta_i}$ son los coeficientes de reflexión, $n_{t\theta_i}$ es ruido aleatorio y $*$ es el operador de convolución. En los experimentos utilizamos una ondícula de Ricker de frecuencia central f_0 y con un corrimiento lineal de la fase dado por φ_0 .

Una secuencia de reflectores del tipo *sparse* se puede expresar como (Velis, 2008):

$$r_{t\theta_i} = \sum_{j=1}^M \alpha_{j\theta_i} \delta_{t-\tau_j} \quad , \quad (3)$$

donde $M \ll L$ es el numero de spikes distintos de cero, de amplitud $\alpha_{j\theta_i}$ y tiempo τ_j , δ_t es la función delta. Utilizando las ecuaciones (1), (2) y (3) se puede representar la muestra t de la i -ésima traza como:

$$s_{t\theta_i} = \sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^n a_{jk} g_k(\theta_i) w_{t-\tau_j+1} \quad , \quad (4)$$

Para cada traza se tienen tantas ecuaciones como muestras tenga esta, por lo que se forma un sistema de L ecuaciones con Mn incógnitas que puede representarse de forma matricial como:

$$\mathbf{A}_i \mathbf{x} = \mathbf{s}_i \quad \text{con} \quad \mathbf{x} = (a_{11} \dots a_{M1} \dots \dots a_{1n} \dots a_{Mn}) \quad , \quad (5)$$

donde los elementos de \mathbf{A}_i dependen de la ondícula, los tiempos τ_j y las funciones $g_k(\theta_i)$.

Se tienen tantos sistemas de ecuaciones como trazas tiene el gather. Esto forma un conjunto de N sistemas de L ecuaciones con Mn incógnitas que puede resolverse minimizando la discrepancia entre el dato observado \mathbf{s}_i y el dato modelado $\hat{\mathbf{s}}_i = \mathbf{A}_i \hat{\mathbf{x}}$. Para eso se define la función de costo

$$J = \sum_{i=1}^N \|\mathbf{A}_i \hat{\mathbf{x}} - \mathbf{s}_i\|^2 \quad . \quad (6)$$

Esta función de costo se minimiza con respecto a los τ_j , f_0 y φ_0 utilizando *very fast simulated*

annealing (VFSA) (Ingber, 1989). Dados los τ_j , f_0 y el φ_0 los valores del vector $\hat{\mathbf{x}}$ son estimados tras resolver el problema de mínimos cuadrados (ecuación 7) en cada iteración del SA:

$$\hat{\mathbf{x}} = \left(\sum_{i=1}^N \mathbf{A}_i^T \mathbf{A}_i \right)^{-1} \left(\sum_{i=1}^N \mathbf{A}_i^T \mathbf{s}_i \right) = \mathbf{B}^{-1} \mathbf{C} \quad , \quad (7)$$

siendo \mathbf{B} una matriz simétrica de dimensión $Mn \times Mn$ y \mathbf{C} de dimensión $Mn \times 1$.

La metodología propuesta permite la incorporación de regularizaciones (por ejemplo, cuadrática) con el fin de reducir la no unicidad de la solución y de esta forma aumentar su exactitud y consistencia. Otra de las ventajas es poder estimar la incerteza en la solución obtenida, para lo que se realizan varias inversiones utilizando una semilla diferente en el SA.

Resultados

Se genero un gather sintético de 14 trazas con ángulos de incidencia de 0 a 39 grados, corregido por NMO (Figura 1), según el modelo de velocidades y densidades dado en la Tabla 1. La variación de la amplitud con el ángulo de incidencia se calculo utilizando las ecuaciones de Zoeppritz. Se utilizo una ondícula de Ricker con frecuencia central $f_0 = 30 \text{ Hz}$ y fase $\varphi_0 = 0^\circ$. Al dato se le agrego un ruido gaussiano de desvío estándar σ (Figura 2a), con una relación señal-ruido SNR=10. Dicho σ se calcula según:

$$\sigma = \frac{\max |s_{t\theta_i}|}{\text{SNR}} \quad , \quad (8)$$

Para la inversión se uso la aproximación lineal de orden $n=3$ propuesta por Shuey:

$$R(\theta_i) = R_p + G \sin^2(\theta_i) + C \left(\tan^2(\theta_i) - \sin^2(\theta_i) \right) \quad . \quad (9)$$

$T[\text{seg}]$	$V_p[m/s]$	$V_s[m/s]$	$\rho[kg/m^3]$
0.2	2771	1385	2420
0.4	2903	1451	2500
0.6	2771	1508	2320
0.72	2903	1451	2420
0.76	2651	1325	2400
1.0	3586	2398	2550
1.2	2903	1451	2300
1.4	3586	2398	2420
	2903	1451	2430

Tabla 1. Modelo de velocidades y densidad.

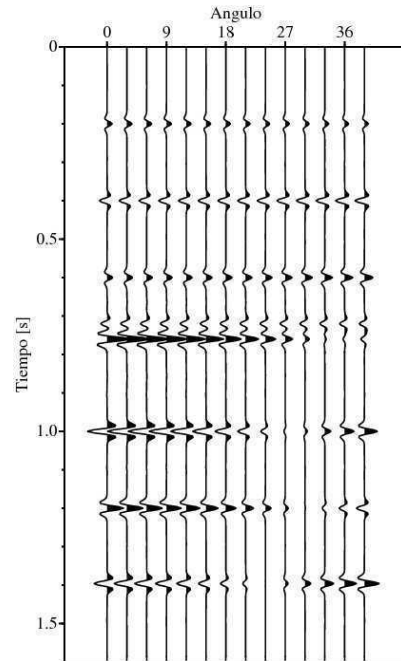


Figura 1. Datos sintéticos.

Se procedió a realizar 50 inversiones. En cada una de ellas se buscaron 14 reflectores (6 mas que los verdaderos) en el rango de búsqueda 0-1.5 seg., en tanto que el rango de búsqueda para f_0 fue entre 10 y 50 Hz y para φ_0 fue entre -30 y 30 grados. Como criterio de corte se estableció que la inversión termine cuando el valor de la función de costo dado por la ecuación (6) fuera menor al σ del ruido. Como solución final se tomo el promedio de las 50 soluciones. En las Figura 2b y 2c se muestran, respectivamente, el gather

reconstruido a partir de los coeficientes de reflexión invertidos y la diferencia entre el dato observado (Figura 2a) y el dato invertido. Al comparar estos resultados con los datos libre de ruido de la Figura 1 se aprecia que el método ofrece muy buenos resultados, aún ante la presencia de abundante ruido y una gran incerteza en la ondícula. Asimismo se observa que si bien la inversión está orientada a encontrar soluciones de tipo *sparse*, es posible resolver reflectores muy próximos entre sí, como es el caso de los reflectores ubicados en los tiempos 0.72 y 0.76 seg. Los 6 reflectores extras buscados por el método fueron ubicados en diferentes tiempos según la inversión, pero en todos los casos sus coeficientes de reflexión fueron cercanos a cero.

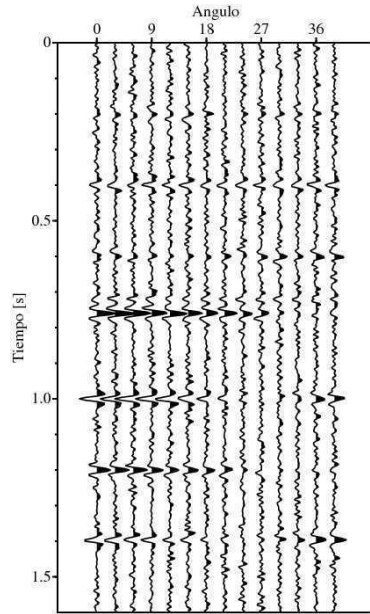


Figura 2a. Dato con ruido.

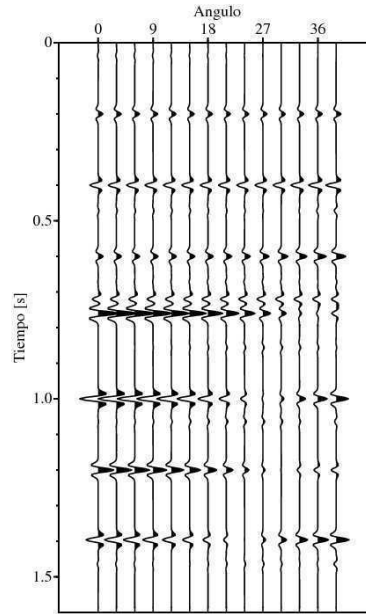


Figura 2b. Dato invertido.

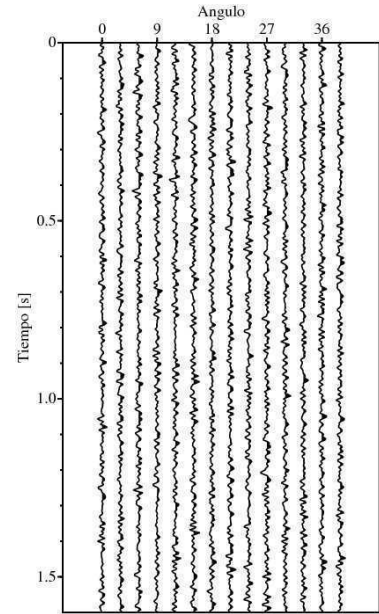


Figura 2c. Ruido residual.

Con respecto a la ondícula se obtuvo un valor medio de la frecuencia central $\bar{f}_0 = 30.5 \text{ Hz}$ y un valor medio de la fase $\bar{\varphi}_0 = 0.9^\circ$, con desvíos estándar muy pequeños: 0.3 Hz y 1.2° , respectivamente. Finalmente, las Figuras 3, 4 y 5 muestran las curvas de AVO calculadas utilizando las ecuaciones de Zoeppritz y las curvas medias obtenidas por la inversión para algunos reflectores.

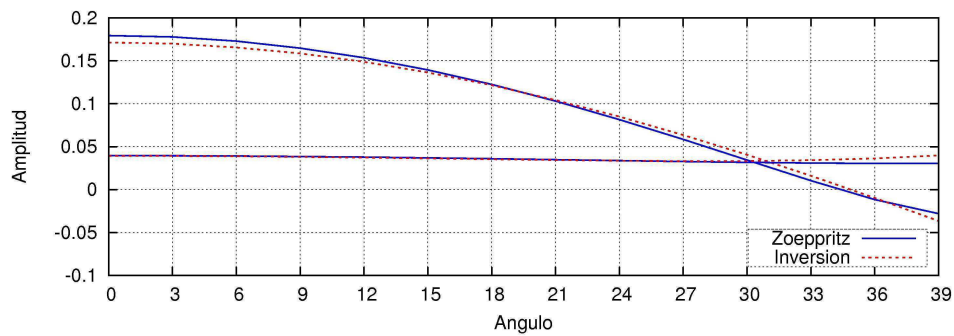


Figura 3. Curvas AVO para los reflectores de 0.2 y 0.76 seg.

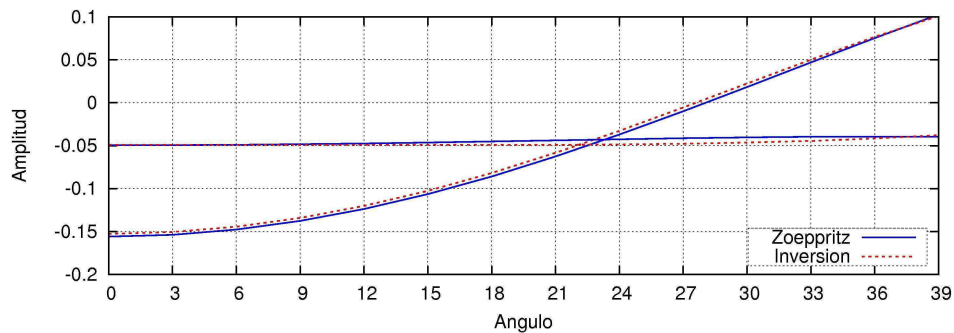


Figura 4. Curvas AVO para los reflectores de 0.72 y 1.0 seg.

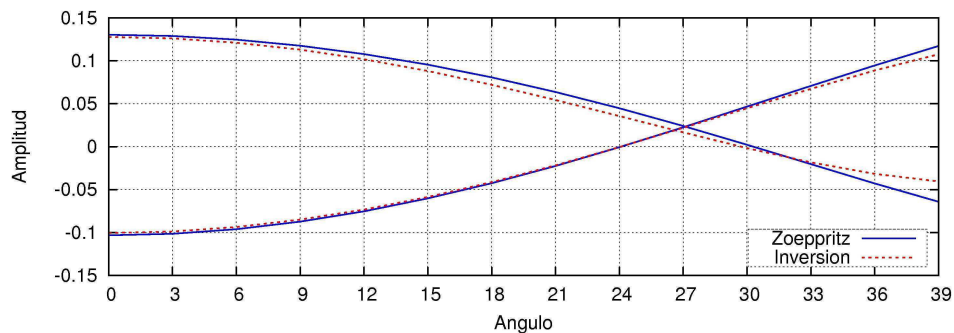


Figura 5. Curvas AVO para los reflectores de 1.2 y 1.4 seg.

Como se observa en las figuras, el método propuesto logra invertir con éxito las curvas de AVO, logrando un excelente ajuste en todos los casos. No hay que perder de vista que en estos gráficos se están comparando las curvas de las ecuaciones de Zoeppritz con la aproximación de Shuey, por lo que es esperable encontrar pequeñas diferencias. Al igual que con los parámetros de la ondícula, se realizó un análisis estadístico sobre cada una de las curvas mostradas en las figuras anteriores, obteniéndose como resultado que las mismas presentan un desvío estándar del orden de 10^{-4} . Estos valores, que son prácticamente despreciables, destacan la consistencia de las soluciones.

Conclusiones

Se presentó un método de inversión cuya finalidad es la obtención simultánea de la ubicación en tiempo de los reflectores, de las curvas AVO de éstos y de la fase y la frecuencia central de la ondícula. La estimación de las curvas se resolvió por mínimos cuadrados resolviendo pequeños sistemas de ecuaciones lineales en cada iteración del SA. Este paso permitió hallar los coeficientes óptimos de la aproximación de Shuey de tres términos que mejor ajustan a los datos observados. La búsqueda de los tiempos de los reflectores, así como los parámetros de la ondícula, constituye un problema de optimización altamente no lineal que se resolvió satisfactoriamente utilizando VFSA. El método demostró ser robusto ante la presencia de ruido aleatorio, permitiendo obtener muy buenos resultados en todas las magnitudes invertidas. A pesar de ser un método de inversión orientado a la búsqueda de soluciones *sparse*, se observó su capacidad para resolver reflectores cercanos. Es importante destacar que debido a que las soluciones buscadas son de tipo *sparse*, las matrices que se deben invertir en la ecuación (7) son de dimensiones muy reducidas. Por ello la inversión resulta relativamente económica en términos computacionales. El uso de un método de optimización estocástico como SA permite obtener muchas soluciones utilizando diferentes semillas, con lo que se puede estimar la incerteza de las soluciones. El análisis estadístico basado en 50 inversiones diferentes arrojó valores de desvíos estándar prácticamente nulos para las curvas AVO y muy pequeños para los parámetros de la ondícula.

Referencias

- Alemie W.M., 2010. Regularization of the AVO inverse problem by means of a multivariate Cauchy probability distribution. Master thesis. The University of British Columbia.
- Aki, K.I. and P.G. Richards, 1980. Quantitative seismology. W. H. Freeman and Co.
- Downton J.E. and C. Ursenbach, 2006. Linearized amplitude variation with offset (AVO) inversion with supercritical angles. *Geophysics* 71, 49-55.
- Fatti J.L., G.C. Smith, P.J. Vail, P.J. Strauss, and P.R. Levitt, 1994. Detection of gas in sandstone reservoirs using AVO analysis: A 3-D seismic case history using the Geostack technique. *Geophysics* 59, 1362-1376.
- Ingber L., 1989. Very fast simulated re-annealing. *Math. Comput. Modelling*. 12, 967-973.
- Misra S. and M.D. Sacchi, 2008. Global optimization with model-space preconditioning: Application to AVO inversion. *Geophysics* 73, 71-82.
- Shuey R.T., 1985. A simplification of the Zoeppritz equations. *Geophysics* 50, 609-614.
- Velis D.R., 2008. Stochastic sparse-spike deconvolution. *Geophysics* 73, 1-9.

EL CONTENIDO DE FRECUENCIAS Y LA CURVA 2% DEL ESPECTRO DE RESPUESTA DEL ACELEROGRAMA CAPTADO EN LA PLATA POR EFECTO DEL GRAN SISMO DE CHILE DEL 2010.

Nora C. SABBIONE¹, Juan S. CARMONA²

1. Departamento de Sismología e I.M., Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata. La Plata, Argentina

2- Instituto de Investigaciones Antisísmicas, Universidad Nacional de San Juan. San Juan, Argentina

Resumen

Desde 1996 en la Estación Sismológica de La Plata se han registrado acelerogramas causados por varios sismos distantes de mediana y gran magnitud, entre los cuales se destaca el correspondiente al Gran Sismo de Chile del 27 de Febrero del 2010 con $M_w=8,8$. La aceleración máxima de su componente N-S alcanzó a $A_{max}=2gal$, que es la mayor captada en esta ubicación. El registro se destaca además por su importante duración, entre la primera y la última superación de un cuarto de la aceleración máxima ($Accel>0,25A_{max}$) transcurrieron casi 4 minutos, mientras que transcurrieron 130 segundos entre la primera y última superación de la mitad de la aceleración máxima. ($Accel>0,5A_{max}$). Por otra parte, realizando el análisis espectral se observa la presencia de amplitudes dominantes cercanas a $f=0,38c/s$, $f=0,82c/s$, y $f=0,05c/s$. Las dos primeras han sido encontradas en todos los acelerogramas captados en La Plata, independientemente de la distancia epicentral y la magnitud del sismo estudiado, mientras que la restante sólo en los de muy gran magnitud como los debidos al sismo del sur de Perú del 23-06-2001 con $M_w=8,3$ y al muy distante Gran Sismo de Sumatra del 26-12-2004 con $M_w=9,3$. El cociente entre las amplitudes correspondientes a las frecuencias $f=0,38$ y $f=0,82c/s$ es mayor que en los de otros acelerogramas debidos a sismos de menor magnitud, poniendo en evidencia que en los sismos de gran magnitud se incrementa el contenido de ondas de mayores periodos. La curva 2% del espectro de respuesta de aceleración está por encima de todas las anteriormente obtenidas y para los periodos 1,22seg y 2,63seg, que corresponden a las dos citadas frecuencias, los máximos valen aproximadamente 7 y 16gal respectivamente, y entre estos periodos la aceleración supera los 5gal. Estos periodos corresponderían a vibraciones propias de los estratos de terreno de loess cuaternario de 500m de espesor del subsuelo de Buenos Aires y La Plata, lo cual se confirma al comparar entre si a las curvas 2% de la aceleración espectral de los registros obtenidos en La Plata y en Tornquist.

Palabras clave: acelerogramas – análisis espectral – terremotos de gran magnitud - Pcia de Buenos Aires

FREQUENCIES AND 2% RESPONSE SPECTRUM CURVE OF THE ACCELEROGRAM REGISTERED IN LA PLATA DURING THE GREAT 2010 CHILEAN EARTHQUAKE

Abstract

Since 1996, accelerograms caused by distant seisms of different magnitudes have been registered in the seismological station of La Plata. Among them, the 27th February 2010 Great Chilean Earthquake highlights.

The N-S maximum acceleration component reaches a value of 2gal, which is the greatest registered. The record is notable for its significant length, between the first and last excess of the maximum acceleration ($Accel> 0.25 A_{max}$) spent almost four minutes, while 130 seconds elapsed between the first and last surpass of half maximum acceleration. ($Accel> 0.5 A_{max}$). Moreover, the spectral analysis shows the presence of dominant local amplitudes at $f = 0.38 c / s$, $f = 0.82 c / s$ and $f = 0.05 c / s$. The first two have been found in all accelerograms collected in La Plata, regardless of epicentral distance and magnitude of the earthquake studied, while the remainder only in very large magnitude as those due to earthquake in southern Peru on 23-06 - 2001 with $M_w = 8.3$ and the very distant Great Sumatra Earthquake with $M_w = 9.3$ on 26/12/2004. The ratio of amplitudes corresponding to frequencies $f = 0.38$ and $f = 0.82 c / s$ is greater than in other accelerograms due to earthquakes of lesser magnitude, but are comparable with those of Peru and Sumatra, highlighting the increment of long period waves on large magnitude earthquakes. Curve 2% of the acceleration response spectrum is above all previously obtained and for the periods 1.22 sec and 2.63 sec, which correspond to the two mentioned frequencies, the peaks are approximately 7 and 16gal respectively, and between these periods the acceleration exceeds 5gal. These periods correspond to characteristic vibrations of the strata of Quaternary loess area of 500 m thickness of the subsoil of Buenos Aires and La Plata cities, which is confirmed by comparing these curves 2% of the spectral acceleration with those obtained from Tornquist records.

Key words: accelerograms – spectral analysis – great earthquakes - Buenos Aires Province

Introducción

Siendo aproximadamente las 3h 35m del 27 de febrero de 2010 y durante algunas decenas de segundos, se percibieron claramente movimientos oscilatorios en los pisos superiores de numerosos edificios multipisos de la ciudad de Buenos Aires que, por desconocerse en esos instantes su origen, generaron preocupación en sus habitantes y aún pánico por imaginarse que se estaba en una situación de emergencia desconocida que hacía peligrar la estabilidad de la construcción. No se pudieron verificar daños y no se necesitaba evacuarlos, aunque algunos vecinos dejaron el edificio por su propia voluntad. (Diario La Nación, 27-02-2010). Posteriormente, los distintos medios informativos dieron las noticias acerca del gran sismo que había ocurrido en el centro-sur del territorio de la República de Chile, de modo que los citados movimientos oscilatorios percibidos en los pisos superiores de los edificios multipisos habían sido causados por las ondas emitidas por este Gran Sismo de 2010 con $M_w=8,8$.

Esta percepción de movimientos en los edificios multipisos de Buenos Aires y alrededores ya había ocurrido en reiteradas oportunidades en la última centuria como consecuencia de sismos distantes de gran magnitud cuyas áreas epicentrales se localizaron en el litoral chileno o en el oeste argentino. Para estudiar esta problemática y posibilitar la evaluación de la seguridad de las estructuras en que ocurren estas oscilaciones, desde hace algunos lustros se comenzó por determinar las propiedades dinámicas de edificios de mayor altura de Buenos Aires (Carmona, J.S. et al., 1995) y, por otra parte, con la puesta en operación en 1996 de instrumental adecuado en la Estación Sismológica de La Plata se comenzó a captar la evolución temporal de la aceleración del terreno durante estos temblores (Sabbione, N.C. et al, 2004), que a nivel de superficie son escasamente perceptibles para la población. Con el citado instrumental también fue posible captar la aceleración del movimiento causado por el sismo de muy gran magnitud del 27 de febrero del 2010, que con $M_w=8,8$ es en ese sector costero de Chile el mayor evento sísmico desde hace 175 años.

Los resultados del análisis de este destacado acelerograma del 2010, el más importante captado hasta la fecha y la obtención de su curva espectral de la respuesta que se realizan en los siguientes párrafos, constituyen muy buenas herramientas para mejorar el conocimiento del efecto que pueden causar en las grandes construcciones de Buenos Aires y alrededores los sismos lejanos de muy gran magnitud que sean semejantes a los que ocurrieron en Chile en 1906, 1922, 1943 y 1960, de los cuales sólo se disponen de las informaciones periodísticas que describieron sus percepciones.

Acelerogramas en La Plata debido a Sismos Lejanos de Gran Magnitud

Previo a la ocurrencia del gran sismo de Chile del 27 de febrero del 2010, la mayor aceleración captada con el citado instrumental fue de $A_{max}=0,75g$ (0,00077g), la que correspondió a la componente N-S del movimiento debido al sismo de magnitud $M_w=7,1$ que ocurrió el 14 de octubre de 1997 en el área costera chilena, con una distancia epicentral de aproximadamente 1350 km. desde la Estación Sismológica La Plata. (Sabbione, N.C. et al, 2004) Como en ocasiones previas, este evento no causó daños a los edificios de Buenos Aires sino sólo alarma entre los habitantes de los pisos superiores de sus edificios multipisos.

Otros registros de aceleración destacados que anteriormente se obtuvieron en La Plata son los correspondientes a los ocurridos en el litoral de Chile el 18 de junio del 2002 y el 20 de junio del 2003, con magnitudes $M_w=6,7$ y $6,6$ y A_{max} de 0,66 y 0,60 gal, respectivamente, ambos con semejantes distancias epicentrales al de 1997, mientras que por efecto de evento localizado en el área de ruptura del de 2010 la mayor aceleración captada alcanzó a 0,50gal por efecto del sismo de $M_w=6,6$ del 3 de mayo del 2004.

El Gran Sismo de Chile del 27 de Febrero del 2010- Su Acelerograma en La Plata.

En las primeras horas del 27 de Febrero de 2010, una extensa área del litoral del centro sur de Chile fue violentamente sacudido por un Gran Sismo cuya magnitud alcanzó a $M_w=8,8$, valor sólo superado en la última centuria por el Extraordinario Evento Sísmico del 22 de mayo de 1960 que con $M_w=9,6$ se localizó hacia el sur del de 2010. (Barrientos, S., 2010) Este reciente Gran Sismo del 2010 generó un importante maremoto cuyas olas arrasaron a sus poblaciones costeras aumentando la destrucción y las víctimas fatales que en total sumaron casi cinco centenares. El sismo ocasionó desplazamientos en la corteza terrestre que están detallados en la Figura 1 (Barrientos, S., 2010).

Aunque con distinta intensidad, en una extensa área del territorio argentino se percibió el

movimiento sísmico, originando alarma en las poblaciones mas cercanas al área de ruptura, desde San Juan hasta Bariloche, aunque no se detectaron daños ni víctimas fatales. En la ciudad de Buenos Aires y alrededores, a cerca de 1300 km del área de ruptura, el movimiento a nivel de terreno fue escasamente percibido y sólo en los pisos superiores de los edificios multipisos la prolongada oscilación generó alarma, tal como se ha descripto precedentemente. La aceleración del movimiento fue captada y registrada por el ya citado instrumental de la Estación Sismológica de la Universidad Nacional de La Plata, presentándose en la Figura 2 el desarrollo temporal de la componente N-S.

Figura 1- Variación de la posición de la corteza terrestre por efecto del Gran Sismo de Chile del 2010 como resultado de medidas con GPS. (Barrientos, S. , 2010)

La aceleración máxima alcanzó a $|A_{max}|=2\text{gal}$, ($\text{gal}=\text{cm}/\text{seg}^2$). Esta aceleración es la mayor captada por el citado instrumental en La Plata, superando así en casi 2,5 veces al anterior máximo de 0,75 gal del 15 de octubre de 1997 citado precedentemente y que también está graficado en la Figura 2. Para comparar, el movimiento que causó en la ciudad de San Juan este gran sismo del 2010, medido en la Estación Central del Instituto de Prevención Sísmica, INPRES, alcanzó a 19gal, (INPRES, 2010, comunicación personal), mientras que en plena área de la ruptura, superó los 600gal en la ciudad de Concepción, Chile, (Barrientos, S., 2010) que es cerca de 300 veces mayor que en La Plata.

Figura 2 – Registros captados en la Estación Sismológica de la U. N. de La Plata

Como un modo de evaluar la duración y evolución del movimiento se han medido dos valores del gráfico de aceleración que son: para la duración $DUR_{0,25A_m}$ se ha seleccionado al tiempo que transcurre entre la primera y la última superación de un cuarto de la aceleración máxima ($A_{cel}>0,25A_{mx}$) y para la duración $DUR_{0,5A_m}$ de las mayores amplitudes de la aceleración se ha seccionado al tiempo que transcurre entre la primera y última superación de la mitad de la aceleración máxima. ($A_{cel}>0,5A_{mx}$). En la Tabla 1 están detallados estos valores para los acelerogramas citados precedentemente. Se observa en los valores de $DUR_{0,25A_m}$ y $DUR_{0,5A_m}$ de la Tabla 1 que los correspondientes a los sismos de mayor magnitud, los de 1997 y 2010, superan notablemente a los restantes que son de menor magnitud.

Tabla 1 – Particularidades cinemáticas de Acelerogramas captados en La Plata

FECHA	$A_{mx}(NS)$ (gal)	$V_{mx}(NS)$ (cm/seg)	$T_1 = 2\pi V_{mx}/A_{mx}$ (seg)	$DUR_{0,25A_m}$ (seg)	$DUR_{0,5A_m}$ (seg)
15-10-1997	0,75	0,26	2,2	213	97
18-06-2002	0,66	0,26	2,5	166	59
20-06-2003	0,60	0,25	2,6	135	30
03-05-2004	0,50	0,28	3,6	131	22
27-02-2010	2,00	1,50	4,7	239	130

Contenido de Frecuencias de los Acelerogramas

Para conocer el contenido de frecuencias de acelerogramas de Tabla 1 se han evaluado sus Transformadas Rápidas de Fourier, TF, y para destacar las frecuencias predominantes se les ha aplicado una suavización mediante la evaluación de su promedio móvil. En la Figura 3 están representadas sus curvas resultantes para 3 de los eventos listados en Tabla 1. De igual modo que para las TF de anteriores acelerogramas, se observa que en las amplitudes de la TF del acelerograma en La Plata del Gran Sismo de Chile del 2010, se destacan las correspondientes a las frecuencias cercanas a $f=0,38\text{c/s}$ (0,33-0,40), o periodo $T=2,63\text{seg}$, y a $f=0,82\text{c/s}$ (0,80-0,85), o periodo $T=1,22\text{seg}$, manteniéndose estos valores aunque difieran notablemente entre si la magnitud de los sismos que los originaron.

Figura 3- Contenido de frecuencias de tres de los sismos de mayor magnitud de la Tabla 1

Se considera que estas dos frecuencias serían propias del terreno sobre el que se ubica el instrumental de la Estación Sismológica de la Universidad Nacional de La Plata, cuyos estratos de varios centenares de metros de espesor están formados por sedimentos de la llanura pampeana argentina y que son similares a los de la ciudad de Buenos Aires de la que dista casi 50km..

En la TF del gran Sismo de Chile del 27 de febrero de 2010 además de las amplitudes dominantes de las citadas frecuencias también se destacan las de cercanas a $f=0,05$, o periodo $T=20\text{seg}$, que corresponden a las de las ondas superficiales que generan estos sismos de tan gran magnitud.

La relación entre las amplitudes de la TF para estas frecuencias dominantes, difiere según sea la magnitud y las características de la ruptura de los sismos que generaron los acelerogramas. Para los considerados en la Figura 3, es mayor la TF($f=0,38$) que la TF($f=0,82$) según la relación 3,2 para el de 2010 de interplaca; 2,1 para el de 1997 de intraplaca, poniendo en evidencia que para sismo de mayor magnitud y proceso de ruptura en interplaca, los acelerogramas en Buenos Aires incrementan más el contenido de las ondas de los mayores periodos.

Espectros de Aceleración Sísmica de Acelerogramas de Tabla 1

La Figura 3 muestra que los periodos dominantes de estos acelerogramas de Tabla 1 son de 1,2 y 2,7seg, mientras que los periodos fundamentales de vibración de los edificios altos de Buenos Aires son mayores que $T=1\text{seg}$ pero menores que 3seg, y que por la reducida amplitud de sus oscilaciones la amortiguación modal no superarían el 2%.(Carmona, J.S. et al.,1995) En la Figura 4 están graficadas las curvas 2% de amortiguación de los espectros de respuesta de tres de los acelerogramas de Tabla 1, que son: la correspondiente al Gran Sismo de Chile del 2010; al sismo de 1997 y al de 2003. Por las consideraciones acerca de la similitud de los estratos de Buenos Aires y La Plata y su corta distancia, es adecuado asumir que los espectros de la Figura 4 serían semejantes a los que se hubieren obtenido durante cada uno de estos temblores en los niveles de fundación de los edificios de Buenos Aires.

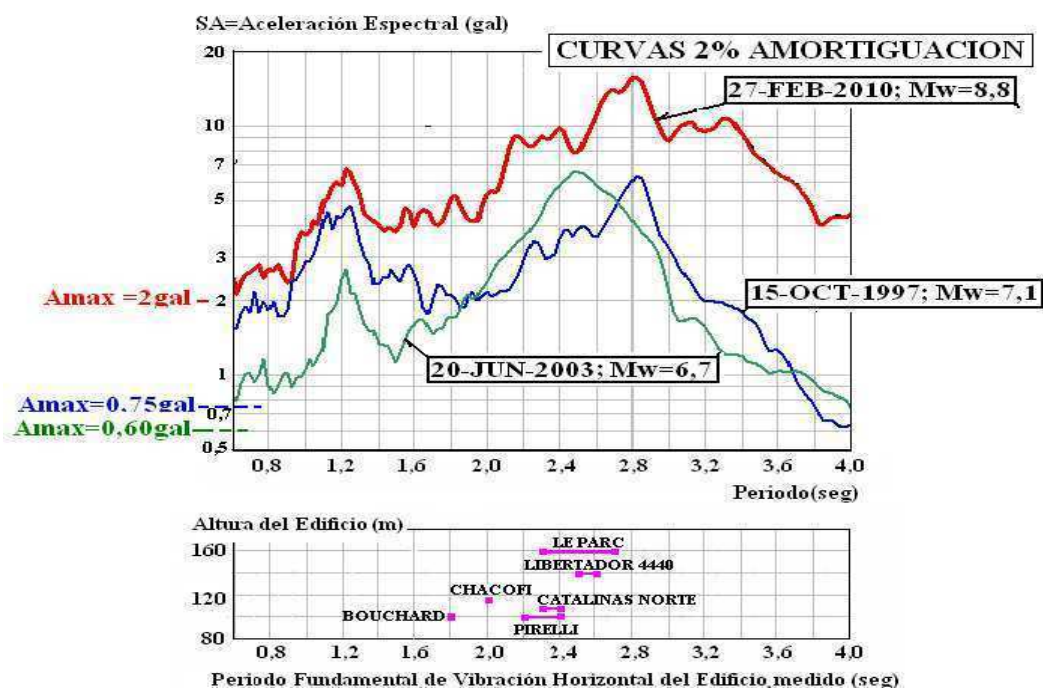


Figura 4- Espectros de respuesta de Acelerogramas de Tabla 1

Conclusiones

Las consideraciones y los resultados detallados en los párrafos precedentes permiten concluir que:

- Igual que en casi dos decenas de anteriores oportunidades ocurridas en los últimos 110 años, por efecto del Gran Sismo de Chile del 27 de Febrero del 2010, con $M_w=8,8$, los habitantes de los pisos superiores de edificios de gran altura de Buenos Aires percibieron nítidamente oscilaciones que por su duración de varias decenas de segundos generaron temor y aún pánico que indujeron a evacuarlos rápidamente.

Como sucede desde 1996, en la Estación Sismológica de la U.N.L.P. se captó la aceleración del movimiento del 2010 con un máximo de $|A_{max}|=2\text{gal}$ en la componente N-S, casi 2,5 veces mayor a 0,75gal del movimiento del 1997, y durante 213seg la aceleración fue mayor que $\frac{1}{4}$ de la máxima.

Igual que en anteriores acelerogramas, en el de 2010 se destacan frecuencias dominantes cercanas a $f=0,38$ y $f=0,82\text{c/s}$, las que serían propias del terreno donde se ubica el instrumental.

La curva 2% de amortiguación del espectro de la aceleración de la respuesta del citado acelerograma del 2010, muestra aspectos semejantes a las de anteriores captados en La Plata, con máximos cercanos a los periodos 1,20 y 2,85seg, pero con valores que son mayores que los de anteriores curvas y que alcanzan aproximadamente a 7 y 16gal., respectivamente.

- Por estar los periodos de vibración de los edificios de mayor altura dentro de los intervalos en que son mayores las amplitudes de las curvas espectrales de la respuesta, es la causa que en sus pisos superiores se amplifique al movimiento en su base en no menos de 4 veces y aún hasta 7 veces, explicándose así la nítida percepción y a veces con alarma, al movimiento debido a los sismos lejanos de gran magnitud, mientras es frecuente que no sea percibido nítidamente a nivel de terreno.

Referencias

- Barrientos, S.(2010), “Terremoto Cauquenes 27 Febrero 2010- Informe Técnico Actualizado al 27 Mayo 2010”- Servicio Sismológico, Departamento de Geofísica, Universidad de Chile, Santiago, Chile, mayo 2010.

Carmona, J. S., Sisterna, C. A. y Magrini, M.C.,(1995) “Periodos de Vibración Medidos en Edificios Torre de la Ciudad de Buenos Aires con Altura Mayor de 100 m.”, Proceedings XXVII Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural, Tucumán, Argentina, Vol. 6, pp561-571.

- Sabbione, N.C., Carmona, J.S. , Pincioli, R. y Palau, R. (2004) “Espectros de Respuesta de la Aceleración Sísmica Registrada en La Plata en Ocasión de Grandes Sismos Distantes”, XXII Reunión Científica de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas, Buenos Aires, Argentina, 6 a 10 septiembre 2004.