

# E - ICES 9

9º ENCUENTRO INTERNACIONAL



Acta de trabajos  
completos

22 al 25 de Octubre de 2013 Malargüe - Mendoza - Argentina



UNCUYO



IANIGLA

FUNDACIÓN  
WILLIAMS





Actas trabajos completos E-ICES 9 /compilado por Cynthia Hucailuk; Nicolás Núñez ; Emilia Molina. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Comisión Nacional de Energía Atómica - CNEA, 2014.

250 p. + CD-ROM: il. ; 21x15 cm.

ISBN 978-987-1323-36-4

1. Ciencias de la Tierra. I. Hucailuk, Cynthia, comp. II. Núñez, Nicolás, comp. II. Molina, Emilia, comp. IV. Título  
CDD 550

Fecha de catalogación: 06/08/2014



# Autoridades ICES Argentina

## **Director Científico**

Dr. Darío Neslon Torres (CNEA).

## **Secretaria Ejecutiva**

Dra. Mónica Llansó (CNEA).

## **CONSEJO DE REPRESENTANTES**

### **Consejo**

Dr. Alfredo Boselli (CNEA)

Dr. Jorge Barón (UNCuyo)

Ing. Julio Nicolai (CNEA)

Dr. Manuel Tovar (UNCuyo)

## **COMITÉ ORGANIZADOR**

### **Comité Organizador ICES UNCuyo**

Lic. Emilia Molina (ICES-UNCuyo)

Dr. Oscar Papú (ICES-UNCuyo)

Dra. Adalgisa Scotti (ICES-UNCuyo)

Lic. Iara Mercado (ICES-UNCuyo)

Srta. Victoria Balducci (ICES-UNCuyo)

### **Comité Organizador ICES-CNEA**

Dr. Darío Nelson Torres, ICES, (CNEA), Buenos Aires, Argentina.

Mg. Lic. Martín Pedro Gómez, ICES, (CNEA), Buenos Aires, Argentina.

Ing. Carlos Guzman, ICES, (CNEA), Buenos Aires, Argentina.

Lic. Dino Filipussi, ICES, (CNEA), Buenos Aires, Argentina.

Sra. María Armeite, ICES, (CNEA), Buenos Aires, Argentina.

Ing Valeria Ines Ortega Paredes ICES, (CNEA), Buenos Aires, Argentina.

Lic. Cynthia Hucahluk, ICES, (CNEA), Buenos Aires, Argentina.

Lic. Miriam Rocío Neyra Astudillo, ICES, (CNEA), Buenos Aires, Argentina.

Sr. Nicolás Marcelo Nuñez, ICES, (CNEA), Buenos Aires, Argentina.

**Comité Organizador ICES-Malargüe**

Ing. Agr. Nidia Barbero (ICES-Malargüe)

Prof. Amalia Ramires (ICES-Malargüe)

Ing. Frtal. Ana Rosa Castaño Gañan (ICES-Malargüe)

Lic. Laura Salgán (IANIGLIA/CONICET -ICES-Malargüe)

Lic. Rut Lecitra (ayudante ad-honorem de ICES-Malargüe)



# Índice

- 7 Prólogo, *Dr. Darío Nelson Torres*
- 8 Ahumada, María Nélica; Cisneros, Héctor; Arce, Tamara; Castañón, Estefanía; Peñas, Leonardo.  
*Evaluación de Riesgos Naturales Presentes en la Región de la Cuenca del Maure, Piedemonte Austral Precordillerano de Mendoza.*
- 9 Calcagno, Duilio Lorenzo  
*La Propuesta Brasileña para la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (UNFCCC) ¿Concreción del acumulado diplomático brasileño?*
- 24 Camiz, S; Denimal, J.J and Purini, R.  
*New Results of Multidimensional Analysis of TAO/NOAA Data on “El Niño” Phenomenon.*
- 46 Camiz, S; Poscolieri, M and Roverato, M.  
*Morpho-Structural Comparison of Latin-American Volcanoes.*
- 65 Canelada Lozzia, M, I; Guillén, S.C; Portas, A; Grancelli, S.M; Vidal, P.J; Arraiza, M.P y Monserrat, S.  
*Desarrollo de Indicadores de Sostenibilidad para la producción de Plantas Ornamentales, Aromáticas, Medicinales y condimenticias bajo cubierta. Tucumán, Arg.*
- 77 Carabajal Benitez, Gerardo; Cupeiro Manuel; Sánchez Ricardo; Agüero Juan Daniel; Barlasina María Elena y Nollas Fernando.  
*Caracterización de la Columna Total de Ozono medido con el Espectrofotómetro Dobson en cuatro estaciones en la Argentina.*
- 90 Carabajal Benitez, Gerardo y Torrero, Mariana  
*Efecto del Cambio de Uso del Suelo en las temperaturas máximas y mínimas, en la Región Centro de Sudamérica, mediante el Modeloclimático Regional PRECIS*
- 106 Carini, Federico; Orive, Omar; Cisneros, Héctor; Muñoz, Brian.  
*Nuevas Evidencias de Actividad Neotectónica en Lomas De Jocolí Y Cordón Barda Negra, Mendoza, Argentina. Aportes al Peligro Sísmico Local.*
- 118 Casas, J, A; Badi, G.A; Manassero, M.C; Ruigrok, E; Gomez, M; Draganov, D; Ruzzante, J; Torres, D.  
*Caracterización de la actividad sismovolcánica en el Volcán Peteroa, Mendoza.*



- 138 Castaño-Gañan, A, R.  
*Listado de algunas especies vegetales hiperacumuladoras de metales pesados, presentes en el Departamento de Malargüe.*
- 146 Caymes-Scutari, P; Tardivo, M, L; Méndez-Garabetti, M y Bianchini, G.  
*Incremento en la Eficiencia Computacional para la Predicción de Incendios Forestales.*
- 167 Draganov, Deyán; Nishitsuji, Yohei; Ruigrok, Elmer; Gómez, Martín; Lepore, Simone; Ruzzante, José; Torres, Dario; Wapenaar, Kees.  
*Caracterización de la Subsuperficie en la Región de Malargüe Usando Interferometría Sísmica.*
- 176 Gianibelli, Julio, César; Quaglino, Nicolás; Gil, María Inés; Nollas, Fernando; García, Ezequiel; Rodríguez, Guillermo; Pinciroli, Emilio y Pelliciuoli, Sebastián.  
*Aspectos Sinérgicos de la nueva era digital de los Observatorios Magnéticos de la República Argentina.*
- 186 Guzmán, C; Hucaíluk, C; Tamasi, M; Martínez Bogado, M y Torres, D.  
*Anomalías Encontradas en los Parámetros Registrados en la Estación de Medición de la Terma del Volcán Peteroa.*
- 195 Lambarri, J; Molina, E; Vaccarino, E; Miner, G; Barón, J.  
*La Cartografía Social como herramienta de diagnóstico de riesgos en el territorio. Caso del Barrio Flores Sur.*
- 205 Landini, W; Finotti, F; Rissicini, C; Barbieri, R.  
*La investigación, la tecnología y el turismo sostenible para descubrir: Patagonia "Otra"*
- 216 Melo, M; Cellone, F.  
*Características hidrológicas y ambientales de un sector de la Planicie Costera del Río de la Plata medio (Argentina).*
- 224 Meloni, A; Palangio, P; Di Lorenzo, C and Villante, U.  
*Electromagnetic signals associated with L'Aquila Mw 6.3 Earthquake by means of L'Aquila Geomagnetic Observatory, and Duronia electromagnetic station, data.*
- 232 Mendez Garrabeti, M; Bianchini, G; Tardivo, M.L; Caymes-Scutari, P.  
*Predicción del comportamiento de incendios forestales mediante aplicación de modelo de islas a ESS.*
- 247 Morales Del Mastro, A; Dawidowski, L; Pereyra, M; Smichowski, P; Pagani, M; Sorrivas, V; Bajano, H; Gómez, D; Jimenez Rebagliati, R; Marrero, J; Londonio, A; Lucchi, L.  
*Perfiles físicos y químicos de las fuentes de emisión de PM10 en el polo industrial de Ing. White, Bahía Blanca, Argentina.*



- 264 Ocampo, A.I; Moyano, R.G; Coronel, R.J; Acosta, W.D; Segura, L.J.M; Cañas, M.S.  
*Evaluación de la calidad del aire de la ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca mediante el empleo de Parmotrema austrosinense como biomonitor.*
- 274 Peralta, D; Gobbi, M.F; Videla, M.S; Vardaro, S.  
*Oxidación química de recortes de perforación de la industria petrolera.*
- 287 Pereyra, V; Dawidowski, L; Smichowski, P y Gómez, D.R.  
*Aportes locales y regionales al aerosol atmosférico del área metropolitana de Buenos Aires.*
- 304 Ramires, A; Elissonde, A; Trombotto Liaudat D.  
*Posibles escenarios de riesgo frente a la caída de cenizas volcánicas, en el modelo ganadero de la cuenca alta y media del Rio Grande, Malargüe, Mendoza.*
- 324 Rodrigues, D; Padilla, S; C. Balpardo, C; Alcade, J; Arazi, A; Chamizo Calvo E; Fracchia, D; López Gutierrez, J.M; Gomez Guzmán, J.M; Martí, G.V.  
*<sup>10</sup>Be: Un trazador de la subducción de sedimentos marinos en arcos volcánicos.*
- 333 Rodriguez, J, M; Estrabou, C; Copetti, M y Papú, O.  
*Diversidad de líquenes (Hongos Liqueñizados) en rocas volcánicas de la Reserva Provincial La Payunia, Mendoza.*
- 344 Rumi, L; Montero, M.C; Ortega, N.F.  
*Evaluación de la Sustentabilidad de las Estructuras de Hormigón Armado de Edificios de Viviendas.*
- 361 Torrero, M.P.  
*Delimitación de la Cuenca Hidrográfica del Río Tecka - Gualjaina, Chubut, Argentina.*
- 370 Torres, P. S y Camiz, S.  
*¿Cómo tratar la escala de abundancia/cobertura de Braun-Blanquet para el ordenamiento de la vegetación?*
- 386 Volodin, E; Rafanelli, C; Transerici, C; Lo Castro, F; Iarossi, S; De Simone, S; Purini, R.  
*A case study for a sudden stratospheric warming in the Antarctica: the September 2002 event.*



## Prólogo

En esta oportunidad tenemos el agrado de presentar los trabajos del encuentro E-ICES9 realizado en la ciudad de Malargüe, Mendoza, ciudad que nos brindó su apoyo, manifestó su interés en nuestras tareas y que fue origen de las primeras actividades del ICES.

Los encuentros E-ICES pretenden servir como centros de generación y de intercambios de ideas entre los científicos participantes dentro del amplio marco de las ciencias de la tierra. El poder satisfacer la necesidad de permanente actualización en cada una de las líneas temáticas de los científicos presentes, así como la de integrar diversas especialidades dentro de la misma temática son, entre otras, las finalidades más relevantes en la organización de estas reuniones.

En esta ocasión se han recepcionado un muy buen número de trabajos lo que manifiesta el interés que despiertan los E-ICES. Los participantes han provisto, como en anteriores ocasiones, una nutrida variedad de trabajos y diversidad de temas conservando el espíritu del ICES al respecto de la multidisciplinaria en las líneas de estudio presentadas.

El aporte de nuevas ideas motiva el crecimiento de la producción científica y el conocimiento científico, es por eso que siguiendo esta línea conductiva, se otorgarán premios a los mejores trabajos de investigación expuestos en forma oral por jóvenes investigadores a modo de que sirva de incentivo y de pequeño financiamiento económico en su tarea realizada y a realizar.

Quiero agradecer fundamentalmente a la Comisión Nacional de Energía Atómica, que sin su valioso aporte no hubiese sido posible realizar esta sucesión de encuentros que se vienen realizando, al Ministerio de Ciencia y Tecnología por medio del otorgamiento del RC-2013-0121, a la Embajada de Italia, a la Municipalidad de Malargüe, a la Fundación Williams y al Comité Organizador.

**Dr. Darío Neslon Torres**  
**Director Científico ICES**





# Evaluación de Riesgos Naturales Presentes en la Región de la Cuenca del Maure, Piedemonte Austral Precordillerano de Mendoza.

Ahumada, M. N (1), Cisneros, H (1)(2) (3), Arce, T (1), Castañón, E (1), Peñas, L (1)

<sup>(1)</sup> Universidad Juan Agustín Maza Av. de Acceso Este, Lateral Sur 2245 - Guaymallén, Mendoza, Argentina

<sup>(2)</sup> Universidad Nacional de Cuyo, Ciudad Universitaria, Mendoza

<sup>(3)</sup> Universidad Nacional de San Luis, Ejército de los Andes 950 - D5700HHW - San Luis - Argentina.

**Palabras Clave:** Historia ambiental, Historia climática, Riesgos naturales, Peligros geológicos, Mendoza, Piedemonte - Maure.

## RESUMEN

El sector austral del piedemonte precordillerano se caracteriza por mostrar heterogeneidades muy marcadas, acentuadas por una elevada presión antrópica en los últimos años, en algunos casos desordenada y con uso del suelo inapropiado. En el lugar solo existe una obra hidráulica de infraestructura para contener las crecientes a partir de procesos del tipo inundación de detritos (*debris flood*) comunes en esta zona, llamada “dique del Maure”. Además de estos fenómenos hidrológicos, la zona se encuentra enmarcada dentro de la región con mayor peligrosidad sísmica de la Argentina, con un historial importante de eventos destructivos.

Se presenta en esta oportunidad un avance en la prevención de los efectos negativos que fenómenos de origen geológico e hidrológico, fundamentalmente procesos de flujo de alta densidad de consideración podrían generar en el gran Mendoza, mas exactamente en la zona de Godoy Cruz, al suroeste de la ciudad capital de Mendoza. Se presenta cartografía elaborada a partir de procesamiento de imágenes satelitales tendiente a la identificación y jerarquización de eventos.



# La Propuesta Brasileña para la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (UNFCCC) ¿Concreción del acumulado diplomático brasileño?

Calcagno, Duilio Lorenzo

*Facultad de Filosofía y Letras y Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo. Centro Universitario, Ciudad de Mendoza, Pcia. de Mendoza, Argentina.*

E-mail: [webmaster@ffyl.uncu.edu.ar](mailto:webmaster@ffyl.uncu.edu.ar)

**Palabras clave:** Propuesta Brasileña, UNFCCC, Protocolo de Kyoto, Acumulado Diplomático Brasileño

## ABSTRACT

La Propuesta Brasileña (mayo de 1997), presentada en las negociaciones previas al Protocolo de Kyoto de la Convención del Cambio Climático, propuso establecer niveles diferenciales de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero por país, de acuerdo con el impacto histórico de cada uno en el aumento de la temperatura global. Los objetivos de esta investigación son avanzar en el estudio de las principales características de dicha Propuesta y establecer si ésta fue un episodio diplomático aislado o se ubicaría en el contexto más amplio de la inserción internacional de Brasil. La hipótesis de este trabajo es que la Propuesta Brasileña, además de su intencionalidad ambiental, respondería al acumulado diplomático de Brasil o sea, al conjunto de valores y principios permanentes que caracterizan la política exterior de este país como resultado de su desarrollo histórico. Para el marco teórico, se recurrirá al institucionalismo.

El trabajo comienza con una introducción acerca de los problemas ambientales contemporáneos y sus implicancias a nivel global y regional. Se sigue con un acercamiento a la Convención del Cambio Climático y al Protocolo de Kyoto. Posteriormente, se profundiza en el acumulado diplomático brasileño. Luego se analiza los antecedentes, características y consecuencias de la Propuesta Brasileña. Aquí se destaca el establecimiento de responsabilidades diferenciadas de acuerdo con el grado relativo de participación histórica en la emisión de gases de efecto invernadero. Otra nota relevante de la misma es que los países que no cumplieran con los compromisos adquiridos deberían pagar un impuesto dirigido al Mecanismo de Desarrollo Limpio. Se concluye comprobando la hipótesis, ya que la Propuesta Brasileña sería tanto un intento por propiciar un determinado orden internacional ambiental como una concreción del acumulado



diplomático brasileño, especialmente respecto del multilateralismo, la acción externa cooperativa, la independencia y la defensa activa de los intereses nacionales.

Este trabajo participa en el “CONCURSO PARA JÓVENES INVESTIGADORES”

## INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se asumen los postulados del institucionalismo en estudios internacionales (Brown y Ainley, 2005). De acuerdo con esta corriente teórica de relaciones internacionales, los estados, como agentes principales del sistema internacional, pueden comprometerse en actividades cooperativas, siempre y cuando este proceso les reporte, al menos, ganancias absolutas. El tratamiento de algunos temas requiere que los estados, las instituciones multilaterales y aquellas firmas y actores no estatales que juegan un rol importante a nivel internacional y regional, cooperen efectivamente (Keohane, 2002).

Dicha cooperación ocurre, especialmente en temas comerciales, como los que trata la Organización Mundial del Comercio a nivel internacional o el Mercosur en un ámbito regional, en aquellos vinculados con el desarrollo, a través del Banco Mundial y en asuntos monetarios, a través del Fondo Monetario Internacional y el G-20, por ejemplo. En cambio, respecto de la energía y el cambio climático, la cooperación ha sido mucho más difícil. Esto se debe a que las condiciones para la misma varían de acuerdo con la naturaleza del problema en cuestión. Los dos factores cruciales a tener en cuenta para la generación o no de iniciativas de cooperación, de acuerdo con Keohane y Victor (2013), son: el grado de conflictividad del tema y la publicidad o privacidad de los beneficios generados.

Estos autores ubican la gobernanza climática y energética globales entre los ámbitos más conflictivos, en los cuales además se da un alto grado de publicidad de los bienes resultantes. Esto ha dado lugar a la existencia de regímenes complejos en el ámbito energético. Esta situación lleva a preguntarse si las propuestas en temas altamente conflictivos y críticos como los correspondientes a la gobernanza global climática o ambiental no presentarían, además de su objetivo específico, otros intereses a nivel internacional, como políticas de prestigio o exhibición de liderazgo. Este sería el caso de Brasil en los debates sobre cuestiones ambiental internacionales (Aranha Correa do Lago, 2006).

## EL CAMBIO CLIMÁTICO: CARACTERÍSTICAS

El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (en adelante, IPCC, por sus siglas en inglés) define este fenómeno como el estado del clima que puede ser identificado (usando pruebas estadísticas) por cambios en el significado o la variabilidad de sus propiedades, y que persiste por un período extendido de tiempo, típicamente décadas o más aún. Se refiere a todo cambio



climático en el tiempo, ya sea causado por variabilidades naturales o como resultado de la actividad humana (IPCC, 2007).

La Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (en adelante, UNFCCC, por sus siglas en inglés) agrega a esta definición que las acciones humanas no única, pero si sostenidamente, han provocado el cambio climático, en forma directa o indirecta. Específicamente, se refiere a la emisión de Gases de Efecto Invernadero (en adelante, GEI), como el dióxido de carbono, el metano, el óxido nitroso y los halocarbonos,

Depledge (2005) sostiene que el cambio climático es el más global de los problemas ambientales, ya que los gases de efecto invernadero que lo generan se encuentran distribuidos por toda la atmósfera, lo que implica que no existe una relación directa entre lugar de emisión y concentración.

La incertidumbre, tanto económica como científica, es otro de las características del cambio climático. La estimación de los costos de mitigar el impacto o adaptar los sistemas sociales a las consecuencias del cambio climático así como los costos de los impactos, varían enormemente según qué estimación se tenga en cuenta.

La falta de certeza se da también en el ámbito de la respuesta al fenómeno del cambio climático. El costo de lograr determinados estándares de emisiones de GEI, así como del impacto del cambio climático, depende de las afirmaciones y las metodologías de los modelos económicos usados, que pueden variar en gran medida.

La complejidad del cambio climático es otra de sus notas. La gran difusión e intensidad del uso de combustibles fósiles y los cambios en los usos de la tierra, los dos mayores procesos implicados en la generación de GEI, indican que el problema está presente en casi todas las actividades humanas. Por estas y otras razones, el fenómeno del cambio climático no es monocausal ni tampoco lo es el modo para enfrentarlo. En el mismo sentido, prácticamente todos los grupos sociales pueden ser considerados como *stakeholders* y, por esta razón, el tema se encuentra frecuentemente presente en la opinión pública.

También desde el punto de vista temporal, dicho fenómeno representa un desafío. El cambio climático tiene un horizonte temporal largo, debido a la inercia del sistema climático y a la larga duración del efecto de algunos GEI sobre este fenómeno.

Esto genera preocupación respecto de temas de equidad intergeneracional. Uno de los desafíos del cambio climático reside en que las generaciones presentes deben incurrir en esfuerzos a corto plazo para que los beneficios sean aprovechados por futuras generaciones. Esto ha generado dificultades para que políticos y público tomen el tema seriamente, debido al contexto de cierta irrealidad que rodea a este tema.

Por otro lado, el problema del cambio climático está profundamente relacionado con el del desarrollo. Las principales causas del cambio climático están vinculadas con los patrones tecno-



industriales de los procesos de modernización social y económica. Para mantener, de modo sustentable, los ritmos y modelos de desarrollo imperantes, los cambios exigidos serían muy grandes.

Finalmente, otro aspecto de la dimensión del desarrollo es la inequidad. Generalmente, los países que han contribuido en menor medida al cambio climático son aquellos más vulnerables al mismo, debido al alto grado de dependencia de la agricultura y de las dificultades que tienen para mitigar los efectos de este fenómeno. Por el contrario, los grandes emisores, muchos de los cuales países industrializados, generalmente son menos vulnerables, ya que poseen economías modernas que no dependen tanto de las variaciones climáticas, a la vez que tienen infraestructuras más resilientes y mayores recursos para adaptarse.

Depledge finaliza su enumeración con el carácter potencialmente catastrófico e irreversible del cambio climático. En primer lugar, catastrófico, debido a un cambio relativamente abrupto del sistema climático y de su interrelación con el sistema social; irreversible, debido a los tiempos involucrados en su generación, ya que sería imposible revertir el cambio climático en lapsos de tiempo humano.

#### LA UNFCCC Y EL PROTOCOLO DE KYOTO

El régimen del cambio climático se ha conformado gracias a que los estados se han dispuesto a negociar en un proceso continuo respecto de este tema. Debería comenzarse a hablar de un régimen climático propiamente dicho en la década de 1990.

Bajo el auspicio de la Asamblea General de las Naciones Unidas, a principio de la década de 1990, comenzaron negociaciones para la creación de un régimen sobre cambio climático, las cuales culminaron el 9 de mayo de 1992, con la creación de la UNFCCC. Su entrada en vigencia fue el 21 de marzo de 1994. De este modo, la UNFCCC formó parte de las tres Convenciones de Río, junto con las dedicadas a la Biodiversidad y la Desertificación<sup>1</sup>. Formalmente, la UNFCCC entró en vigencia el 21 de marzo de 1994.

Así como definió sus principales objetivos, la UNFCCC también estableció su estructura institucional básica. En primer lugar, un cuerpo supremo de toma de decisión, la Conferencia de las Partes (en adelante, COP); además, dos cuerpos subsidiarios que asesoran la COP, el *Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice* (en adelante, SBSTA) y el *Subsidiary Body for Implementation* (en adelante, SBI), así como una secretaría, tanto para la COP como para los cuerpos subsidiarios. Esta es la estructura básica que ha dado moldeado los debates en las negociaciones climáticas hasta la actualidad.

---

<sup>1</sup>En agosto de 2001, se creó el *Joint Liaison Group* entre las tres Convenciones de Río. Su objetivo fue establecer un *forum informal de intercambio de información, para explorar oportunidades de actividades sinérgicas y aumentar la coordinación.*



La Convención dividió las Partes, o sea los estados que la integraban, en cuatro grupos. En primer lugar, el Anexo I, integrado por los países industrializados miembros de la OECD y las Economías en Transición, como la Federación Rusa, los estados bálticos y muchos estados del centro y del este de Europa. El Anexo II incluye solamente a los miembros de la OECD del Anexo I, los cuales deben, entre otras obligaciones, proveer de recursos a los países en desarrollo para hacer frente a las medidas de reducción de GEI y adaptación frente a las consecuencias del cambio climático. Por otro lado, las partes que integran el No-Anexo I son mayoritariamente países en desarrollo, los cuales serían los más vulnerables ante las consecuencias del cambio climático y también de algunas medidas para mitigarlo. Finalmente, dentro de las partes del No-Anexo I están los Países Menos Desarrollados (LCD, por sus siglas en inglés), los cuales son atendidos en forma especial por la Convención. A las partes integrantes se suman numerosas organizaciones observadoras, entre las cuales agencias de Naciones Unidas, Organizaciones No Gubernamentales de alcance nacional o internacional.

La COP 1 tuvo lugar en Berlín. Su principal consecuencia fue el impulso de una serie de negociaciones que buscaron fortalecer las obligaciones de los países industrializados. Esta decisión, conocida como el Mandato de Berlín, fue álgidamente debatida, pero estableció que las nuevas negociaciones se enfocarían en el establecimiento de límites cuantificables de emisiones y en objetivos de reducción para los países industrializados, aunque no se impondrían nuevas obligaciones a los países en desarrollo. La repercusión de esta decisión, que orientó las negociaciones climáticas en un sentido particular, es aún fuertemente discutida. El límite para estas negociaciones fue ubicado en la COP 3. Las negociaciones para establecer el protocolo fueron conducidas en el marco del *Ad Hoc Group on the Berlin Mandate* (AGBM) (Philander, 2008).

El Protocolo de Kyoto fue adoptado el 11 de diciembre de 1997. Debido a un complejo proceso de ratificación, entró en vigencia recién el 16 de febrero de 2005, en base al Plan de Acción de Buenos Aires.

Dos eventos importantes influyeron directamente en las negociaciones post Protocolo de Kyoto. La difusión global de la desaceleración económica, especialmente en Asia y Latinoamérica; y la llegada al poder de George Bush hijo, quien antes de que finalizara la COP 6 retiró a los Estados Unidos del Protocolo de Kyoto, aunque no de la UNFCCC.

El Protocolo de Kyoto vuelve operativa la Convención, a través de la instancia a los países industrializados a estabilizar sus emisiones de GEI de acuerdo con los principios de responsabilidad común pero diferenciada. 37 países y la Unión Europea, miembros del Anexo I, los cuales formarían parte del Anexo B, son alcanzados por esta medida. La mayor parte de los mismos fueron urgidos a reducir sus emisiones en un promedio de un 5% de las mismas respecto



de 1990 en el período 2008 - 2012 (primera etapa del Protocolo de Kyoto). Los países podrían alcanzar los objetivos en forma conjunta, algo sólo solicitado por la Unión Europea.

El segundo elemento central del Protocolo de Kyoto es su mecanismo de mercado flexible, basado en el comercio de permisos de emisión. Los miembros del Anexo B, deben lograr sus objetivos a través de medidas domésticas, pero podrían lograr parte de sus metas a través de la reducción de las emisiones en otros países, como aquellos en vías de desarrollo. El beneficio paralelo de esto es el estímulo a las inversiones verdes en los países en desarrollo y el involucramiento del sector privado en el proceso. Finalmente, permite sustituir tecnologías obsoletas por sistemas e infraestructuras innovadores y más limpios (UNFCCC).

Como posibilidades adicionales para reducir las emisiones de GEI, se establecen tres mecanismos basados en el mercado. Es por esto que surgió el llamado “mercado del carbón”. Los mecanismos son: *Emissions Trading*, el cual permite vender las unidades de emisiones disponibles por un país, pero no usadas; el Mecanismo de Desarrollo Limpio (en adelante CDM, por sus siglas en inglés), por el cual un país del Anexo B podrían implementar proyectos para reducir las emisiones en países en desarrollo; y, finalmente, la *Joint Implementation*, que posibilita a un país del Anexo B comprar Unidades de Reducción Emisión de un proyecto de reducción o remoción de emisiones de otro miembro del Anexo B.

Además de utilizar la estructura institucional de la UNFCCC, el Protocolo estableció cuerpos específicos, como *Clean Development Mechanism Executive Board*, el cual supervisa el CDM bajo el Protocolo y prepara decisiones para la *Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Kyoto Protocol* (en adelante, CMP por sus siglas en inglés), la cual da origen a las siglas COP/CMP para las siguientes COP. También el *Joint Implementation Supervisory Committee*, que supervisa la verificación de la reducción de unidades de emisión. Finalmente, el *Compliance Committee*, integrado por el *Facilitative Branch* y por el *Enforcement Branch*.

Numerosos artículos del Protocolo de Kyoto instan a la inclusión de temas como el uso de la tierra, el cambio en el uso de la misma y actividades forestales (LULUCF) que pueden ser implementadas por los países del Anexo B. La UNFCCC define con el término *sink*<sup>2</sup> a todo proceso, actividad o mecanismo que remueva un GEI, un aerosol o un precursor de algún GEI de la atmósfera.

El Plan de Acción de Bali (2007) y los Acuerdos de Cancún (2010) fueron desarrollos en el marco de la UNFCCC que precisaron el camino a seguir en una segunda etapa del Protocolo de Kyoto en diversos temas, como la visión compartida, la mitigación, la adaptación, los temas relacionados con la tecnología y el financiamiento (UNFCCC).

---

<sup>2</sup> El Protocolo de Kyoto lo traduce como sumidero de absorción.



Por su parte en la Conferencia de Naciones Unidas sobre Cambio Climático, en el marco de la COP17/CMP7, que tuvo lugar en Durban, Sudáfrica, en 2011, se estableció el *Ad Hoc Working Group on the Durban Platform for Enhanced Action* (ADP) para desarrollar un protocolo, un instrumento legal o algún acuerdo consensuado con fuerza legal en la vigésimo primera sesión de la COP (2015) y para que entre en vigencia y esté implementado hacia el 2020. El 8 de diciembre de 2012, en Qatar, se adoptó la Enmienda Doha, la cual lanzó un segundo período del Protocolo, con inicio el 1 de enero de 2013 y finalización en 2020.

### LA PROPUESTA BRASILEÑA

El acumulado diplomático parte de un análisis paradigmático de la política internacional de un país, de acuerdo con Cervo<sup>3</sup> (2008) se refiere al conjunto de líneas de acción o patrones de conducta en la trayectoria de la diplomacia brasileña, los cuales tienen un carácter más o menos duradero o, a veces, permanente.

De acuerdo con este internacionalista, el acumulado diplomático se da en el contexto de distintos paradigmas que se han sucedido, no en forma rígida, desde la época de la Independencia de Brasil hasta la actualidad. Los paradigmas son: el liberal - conservador (hasta 1930); el desarrollista (1930 - 1989); el normal (1989 - 2002); y el logístico, con la aclaración de que rasgos de los últimos tres conviven desde fines de la década de 1980 hasta la actualidad. Cada uno de estos paradigmas depende de factores domésticos, como la idea de nación y la proyección al mundo de la misma que hace una sociedad y sus dirigentes, y de elementos foráneos, en tanto un país se inserta en una determinada estructura internacional.

Cervo propone los siguientes componentes del acumulado diplomático: 1) la autodeterminación, no intervención y solución pacífica de las controversias, también denominado pacifismo de la política exterior; 2) Juridicismo como patrón de conducta; 3) Multilateralismo normativo, o aceptación del orden internacional; 4) Acción externa cooperativa y no confrontacionista; 5) Ámbitos estratégicos, referido a la presencia de áreas de acción preferenciales; 6) Realismo y pragmatismo, lo que implica la actuación de acuerdo con la situación internacional real; 7) Cordialidad oficial en el trato con los vecinos; 8) Desarrollo doméstico como valor; 9) Independencia en el patrón de inserción internacional; 10) Posesión de intereses generales respecto del sistema internacional.

Se comprueba así que el estado brasileño combina elementos de continuidad y de cambio. Entre los primeros, un accionar externo basado en el realismo político, aunque pragmático, para acumular atributos de poder y de prestigio internacional. La novedad radicaría en: 1) su afán

---

<sup>3</sup> Amado Cervo recibió su doctorado en Historia en la Universidad de Estrasburgo. Actualmente es profesor titular en el Instituto Rio Branco y en la Universidad de Brasilia. Su especialidad son las Relaciones Internacionales, fundamentalmente en relaciones internacionales contemporáneas, diplomacia, política exterior y relaciones internacionales de Brasil con América Latina.





reciente por participar más activamente en la revisión de las normas e instituciones internacionales (Masera, 2010)<sup>4</sup>; 2) su protagonismo como líder o “hegemón” de América del Sur; 3) la reinterpretación del desarrollo interno, basado en las fortalezas competitivas del estado logístico (Masera y Calcagno, 2011).

Específicamente acerca de la política ambiental internacional de Brasil, se tomará la década de 1970 como punto de partida, cuando la preocupación ambiental toma rango público mundial. La postura fundamental de Brasil, en estos primeros momentos de la discusión ambiental global, en el contexto de un régimen político militar, fue la defensa del desarrollo económico como requisito para disminuir la contaminación ambiental. Así se entiende la posición brasileña en la Conferencia sobre Medio Ambiente Humano que tuvo lugar en Estocolmo, en el año 1972: defensa irrestricta de la soberanía sobre los recursos naturales, el aumento del ingreso per capita como requisito para mejorar los índices ambientales y la asignación de la responsabilidad sobre el medio ambiente a los países desarrollados (Viola, 2004).

En la década de 1990, la posición de Brasil en la Cumbre de Río (1992) se basó en que los problemas ambientales eran de suma importancia y deben ser atendidos prioritariamente por la comunidad internacional. Las causas de estos problemas se basan en diferentes responsabilidades históricas que deberían corresponderse con las medidas para enfrentar dichos problemas. Esto fue el reflejo de un viraje respecto de las décadas anteriores: Brasil abandonó en gran medida sus políticas nacionalistas y asumió una creciente posición global, en un contexto de democratización política doméstica, aunque sin descuidar sus intereses (Viola, 1997).

Viola (2004) afirma que la participación de Brasil en el proceso de negociación/ratificación del Protocolo de Kyoto estuvo caracterizada por cinco dimensiones básicas: 1) la afirmación del derecho al desarrollo como componente fundamental del orden mundial; 2) la promoción de una visión del desarrollo asociada a la sostenibilidad ambiental, en correspondencia con un importante crecimiento de la preocupación por el ambiente en Brasil; 3) la promoción de algún tipo de financiación de mitigación climática en países en desarrollo por parte de los países desarrollados; 4) la promoción de un liderazgo de Brasil en el mundo en forma concomitante al aumento del prestigio internacional del país durante la era Cardoso; y 5) el bloqueo de toda regulación internacional acerca del uso de bosques para evitar cualquier cuestionamiento sobre la deforestación amazónica.

En este contexto se ubica la Propuesta Brasileña, la cual fue presentada en la séptima sesión del AGBM, la cual tuvo lugar entre el 31 de julio y el 7 de agosto de 1997, lo que resultó ser tardío para el proceso de negociaciones. Esto podría explicar, al menos parcialmente, la marginación de

---

<sup>4</sup> Masera afirma que desde la Era Lula en adelante, la política internacional de Brasil se identificaría claramente con presupuestos realistas pero matizados por un “neogroecianismo extendido”, por el cual Brasil también sigue las reglas e instituciones internacionales aunque busca rediseñarlas y participar activamente en negociaciones internacionales de distinto tipo.



dicha propuesta durante la AGBM 7 (Friman, 2013). En la misma, los Países Bajos, en representación de la Unión Europea, y el Reino Unido, presentaron también sus propuestas.

Formalmente, la PB se denomina “*Proposed Elements of a Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change, presented by Brazil in Response to the Berlin Mandate*”.

La Propuesta Brasileña, cuya extensión es de 61 páginas, se dividió en tres partes: la Parte I, es un resumen ejecutivo que contiene algunos elementos relevantes clave a las negociaciones del Protocolo. La Parte II es la propuesta misma. Finalmente, la Parte III, con apéndices técnicos, contiene una explicación extendida sobre los conceptos básicos y propuestas, junto con algunos elementos ilustrativos (UNFCCC/AGBM, 1997).

A pesar de que la Propuesta Brasileña no fue adoptada en el Protocolo de Kyoto, la COP decidió derivarla al SBSTA para que este cuerpo profundice en los aspectos científicos y metodológicos de la misma. Friman (2013) afirma que esta fue una medida para minimizar las discusiones acerca de la equidad respecto de la responsabilidad histórica en los debates acerca del cambio climático, ya que este tema es considerado generalmente como una cuestión política menos relevante que los temas técnicos.

La SBSTA descartó la necesidad de que existiera un cuerpo como el *Clean Development Found*, incluido en la Propuesta Brasileña, ya que el Protocolo de Kyoto ya había establecido el *Clean Development Mechanism*.

Brasil presentó una versión mejorada en la SBSTA 11 (1999), en base a los aportes de científicos provenientes de diversos países del mundo (Friman, 2013). La COP 5 (1999) fue la última en tratar la Propuesta Brasileña y el máximo órgano de la UNFCCC ya no pidió más consejo al SBSTA sobre el tema.

En 2000 Brasil entregó un modelo todavía más perfeccionado, de 40 páginas de extensión, consistente en un modelo de cálculo presentado en un lenguaje matemático y publicado como una nota técnica (Meira Filho y Gonzalez Miguez, 2000). El SBSTA organizó dos reuniones científicas para estudiar los avances de la Propuesta Brasileña, una en 2001, en Bonn, Alemania, y la otra en 2002, en Bracknell, Reino Unido.

En octubre de 2002, la SBSTA 17 acordó que la comunidad científica, específicamente diversos programas de investigación a nivel internacional<sup>5</sup>, debería profundizar en los aspectos metodológicos y científicos de la Propuesta Brasileña. El objetivo sería dar a conocer los resultados para el SBSTA 20 (UNFCCC). En setiembre de 2003, se produjo una tercera reunión científica acerca de la Propuesta Brasileña en Berlín, a instancias de Brasil, el Reino Unido y Alemania.

---

<sup>5</sup> Como el *International Geosphere-Biosphere Programme*, el *World Climate Research Programme*, el *International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change* y el *Intergovernmental Panel on Climate Change*.



Los avances y profundizaciones científicas respecto de la Propuesta Brasileña continuaron hasta el 2007, año en el que las acciones del *ad-hoc Group for Modelling and Assessment of Historic Contributions to Climate Change (MATCH)*<sup>6</sup> concluyeron con su último reporte, enviado al SBSTA. Friman (2013) sostiene que durante esos 10 años se produjo un proceso de marginalización del tema, pasando de ser una propuesta de protocolo a la UNFCCC a ser meramente un tema de discusión metodológica.

En este trabajo, la atención será puesta en las características políticas de la Propuesta Brasileña de acuerdo con la hipótesis establecida, con una menor secundaria sobre los aspectos técnicos de la misma. Para acotar el objeto de estudio, se enfocará la investigación en la Propuesta Brasileña inicial<sup>7</sup>.

La relevancia del estudio de la Propuesta Brasileña reside en que es la única opción oficial para compartir la responsabilidad internacional llevado adelante en el seno de la UNFCCC hecha frente al Protocolo que definitivamente se adoptó en Tokyo (Pinguelli Rosa, Muylaert y Pires de Campos, 2003<sup>8</sup>).

## CONTENIDO DE LA PROPUESTA BRASILEÑA

La Propuesta Brasileña enfrenta la pregunta central acerca de la relación entre las emisiones de GEI<sup>9</sup> por las Partes en un período de tiempo y el efecto de las mismas en términos de cambio climático, como se puede medir por el incremento de la temperatura media de la superficie terrestre (UNFCCC/AGBM, 1997)<sup>10</sup>.

A los fines de esta investigación, cabe destacar que, entre los objetivos de la Propuesta Brasileña, el criterio para establecer la responsabilidad compartida de las partes resulta una natural consecuencia del hecho que, dadas las emisiones en un período de tiempo para todas y

---

<sup>6</sup> El MATCH, formado a partir de la invitación del SBSTA para continuar la evaluación científica acerca de la Propuesta Brasileña, fue un proceso de investigación abierta, que atrajo a más de 40 investigadores de 14 países distintos. Surgió en 2003, a partir de la reunión de expertos impulsada por Brasil, el Reino Unido y Alemania.

<sup>7</sup> Considero que la Propuesta Brasileña en un sentido amplio y complejo y, desde el punto de vista de la política internacional, no debería limitarse al primer documento entregado al SBSTA por Brasil, sino también a los aportes realizados con posterioridad por parte de éste país, de otros estados y de la comunidad científica, en los cuales se observa una unidad temática respecto del sentido inicial.

<sup>8</sup> Los especialistas mencionan otros acercamientos, como la “Grandfathered Proposal”, basada en responsabilidades híbridas per capita; la “WRI’s carbon-intensity related proposal”; la “Argentine proposal for index-linking targets to GDP”; la “Triptych Proposal” de University of Utrecht; la “Contraction and Convergence Proposal” del GCI - Global Commons Institute; la “Increasing participation/Multistage approach Proposal”; y otras.

<sup>9</sup> Los GEI considerados por la Propuesta Brasileña son el dióxido de carbono, el metano y óxido nitroso, o sea aquellos no controlado por el Protocolo de Montreal. Por cuestiones de conveniencia, el gas elegido para en la Propuesta Brasileña es el dióxido de carbono. Para ello, la PB ha usado información histórica publicada sobre las emisiones de dióxido de carbono en los sectores cementero y energético para cada país en el período 1950 - 1990, junto con una extrapolación retroactiva para el período anterior a 1950. La metodología podría ser fácilmente extendida a otros gases, tales como el metano y el óxido nitroso, y a otros sectores, como el cambio el uso de la tierra.

<sup>10</sup> La Propuesta Brasileña sostiene que un simple esquema de cálculo puede ser usado en cambio de los complejos modelos climáticos, manteniendo la correcta dependencia funcional sobre el aumento de la temperatura de la superficie terrestre respecto de las emisiones en un período de tiempo dado. Como resultado, la discusión acerca del total cuantitativo de emisiones que pueden ser toleradas se basa en los efectos de diversos escenarios de emisiones sobre la temperatura y el nivel del mar.



cada una de las partes del Anexo I, es posible asignar responsabilidades relativas a las partes individuales de acuerdo con su respectivas contribuciones al cambio climático, como han sido medidas por el cambio inducido en la temperatura (UNFCCC/AGBM, 1997).

Es por esto que la Propuesta Brasileña se opone al concepto de una *flat rate* (cuota igualitaria) presentado por algunas Partes y a otras propuestas igualadoras de las responsabilidades de las Partes del Anexo I, como tomar en cuenta sólo las emisiones absolutas, las emisiones por unidad de población o de acuerdo con el Producto Bruto Interno de cada país. La *flat rate* penaliza las Partes que han mantenido un nivel relativamente bajo de emisiones por año. Además, este tipo de medición desconoce importantes factores que determinan el año básico de inicio en términos de nivel inicial de emisiones y concentraciones, como por ejemplo: a) el nivel presente e histórico de la importancia relativa de las fuentes de energías fósiles versus las fuentes de energía renovables; b) la eficiencia de las tecnologías en la generación y uso de la energía; c) la población y el crecimiento de la misma; d) la base de recursos naturales; e) el perfil de las actividades socioeconómicas; y, f) la superficie del territorio.

Por este motivo, muchas Partes del Anexo I han pedido la introducción de responsabilidades diferenciadas en el seno de ese grupo. La Propuesta Brasileña se orienta en este sentido, a pesar de que Brasil no es miembro del Anexo I.

La Propuesta Brasileña mantiene la distinción entre las partes del Anexo I y las del No-Anexo I. Respecto de la reducción de emisiones de GEI, las Partes del Anexo I tendrían límites máximos establecidos, mientras que los miembros del No-Anexo I, no. Los primeros, deberían enfrentar una reducción del 30% de los niveles de GEI de 1990 para el año 2020, con objetivos intermedios en cinco intervalos anuales hasta la finalización (Evans, 2002).

La responsabilidad sería compartida de acuerdo con qué parte del cambio climático hubiera provocado cada país. Es por esto que, los países con largas historias industriales cargarían con una gran parte de la responsabilidad, mientras que sucedería lo inverso con aquellos que tuvieran una corta trayectoria industrial<sup>11</sup>. Como ejemplo, se puede citar que el Reino Unido enfrentaría aproximadamente un 63% de las reducciones para el 2010 en base a niveles de 1990, mientras Japón solamente sería responsable de un 9,5% (UNFCCC/AGBM, 2007).

El criterio de la responsabilidad histórica es el fundamento que da la Propuesta Brasileña para oponerse a que, en el futuro, las Partes No-Anexo I igualen su responsabilidad respecto de las emisiones per capita con las Partes del Anexo I. El argumento fundamental para evitar penalizar a las Partes del No-Anexo I, como se ha dicho antes, es considerar la contribución de los países al

---

<sup>11</sup> En una primera aproximación, la dependencia de las concentraciones atmosféricas respecto de las emisiones en un periodo de tiempo dado es proporcional a la acumulación de emisiones hasta un determinado año, tomando en consideración que, mientras más antigua es la emisión, el efecto sobre la atmósfera es menor.



aumento de la temperatura de la superficie terrestre, lo que incluye la responsabilidad histórica a largo plazo.

Otro fundamento para la eximición de responsabilidades de las Partes No-Anexo I es que éstas son las más vulnerables al aumento de la temperatura de la superficie terrestre.

La medida estándar de esta propuesta, a diferencia del Protocolo de Kyoto y de los otros acercamientos a la cuestión, es el grado de impacto en el cambio promedio de la temperatura de la superficie terrestre causada por la emisión neta de dióxido de carbono<sup>12</sup>. La Propuesta Brasileña cita como fuente científica para respaldar esto, al Segundo Reporte de la IPCC (1995)<sup>13</sup>. Se permitiría el comercio de créditos de temperatura para que las Partes del Anexo I alcancen sus obligaciones. Los países que excedieran, con todo, las emisiones permitidas, deberían pagar u\$s 3,33 por cada tonelada de carbón a un fondo de desarrollo limpio para Partes No-Anexo I, el cual sería usado para financiar la mitigación y adaptación en países en desarrollo (Evans, 2002), de acuerdo con la COP 4 en base a la participación efectiva de estos últimos en las emisiones (UNFCCC/AGBM)<sup>14</sup>.

Se han realizado algunas observaciones a la Propuesta Brasileña. La misma no toma en cuenta el impacto relativo de otros GEI y de mecanismos complejos de retroalimentación que intervienen en el cambio climático<sup>15</sup>. La ciencia debería encontrar inevitablemente respuestas nuevas y más precisas al cambio climático, lo que complicará la continuidad del sistema de la Propuesta Brasileña (Evans, 2002)<sup>16</sup>.

Los objetivos de reducción del 30% de la Propuesta para países desarrollados para el año 2020 parecen ser arbitrarios, debido a que no tendrían relación científica con las reducciones de

---

<sup>12</sup> La emisión neta se obtiene a partir de calcular la diferencia entre las emisiones antropogénicas netas y la remoción de las mismas a través de los sinks arriba mencionados. Esto se basa en que el aumento de la temperatura de la superficie terrestre es proporcional a la acumulación, en el tiempo, de calentamiento radioactivo. La Unidad elegida por la Propuesta Brasileña es el GtCy (gigatons of carbon per year): una unidad de GtCy corresponde a 0.0000163 grados Celcius.

<sup>13</sup> Específicamente, el Grupo de Trabajo ha producido el IPCC Technical Paper II, a pedido de los cuerpos de la UNFCCC, titulado *An Introduction to Simple Climate Models Used in the IPCC Second Assessment Report*.

<sup>14</sup> Las contribuciones a este fondo serían individuales para cada Parte, siempre que se exceda el límite total de emisiones permitidas para el Anexo I.

<sup>15</sup> La justificación que da la Propuesta Brasileña acerca de esto es que "El efecto de las emisiones generado por los otros GEI es naturalmente inferior en comparación con el del dióxido de carbono, de acuerdo con el Segundo Reporte del IPCC. Además, el relativamente corto tiempo de vida del metano en la atmósfera tiende a reducir la importancia de las emisiones históricas de ese gas. Por esta razón, las emisiones de dióxido de carbono proveniente de los sectores energético y cementero pueden ser una suficientemente buena aproximación al total de emisiones efectivas a los fines de evaluar las responsabilidades relativas de las Partes del Anexo I y las No-Annex I".

<sup>16</sup> Respecto de esto, la Propuesta Brasileña afirma que se debe destacar que las incertidumbres que permanecen en el estado presente del conocimiento acerca del valor absoluto del cambio de temperatura predicho, como ha sido reflejado, por ejemplo, en el margen de incertidumbre de la sensibilidad climática (el cambio de temperatura resultante de la duplicación de la concentración de dióxido de carbono podría variar en un rango de 1,5 a 4,5 grados Celcius) no afecta las conclusiones acerca de la contribución relativa de los países. Mejoras futuras de los modelos complejos, mientras las incertidumbres disminuyen progresivamente, pueden ser fácilmente incorporadas actualizando las constantes de calibración de proporcionalidad para mejorar la precisión de resultados absolutos a través la incorporación del mejor conocimiento científico disponible.



emisiones de GEI necesarias para evitar un cambio climático futuro. Además, no es claro que sucederá después de esa fecha.

Evans destaca que la Propuesta carece de limitaciones cuantificadas y vinculantes para países en desarrollo, lo que impediría la existencia de una estructura global para controlar las concentraciones atmosféricas de GEI. Sin esto cualquier propuesta haría imposible predecir con alguna certeza las emisiones netas de cada año o la etapa final en términos de concentraciones atmosféricas de GEI.

Evans también aborda las repercusiones políticas de la Propuesta Brasileña. La misma es atractiva dado que sería un epítome del principio de responsabilidad. También parece que hace frente a algunas dimensiones del argumento de la deuda ecológica, aunque no en la medida necesaria para compensar a los países en desarrollo por los daños sufridos. Sin embargo, la Propuesta Brasileña es también inequitativa. No toma en cuenta las emisiones actuales: los Estados Unidos, con el doble de emisiones per capita que el Reino Unido, enfrentaría un tercio de las obligaciones de este último, debido al proceso de industrialización británico más extendido en el tiempo.

Otras críticas se refieren a los aspectos metodológicos para reunir la información acerca de las emisiones históricas, lo cual podría penalizar injustamente a algunas partes.

Pero más fundamental es que la Propuesta asume que lo justo y beneficioso para los países en desarrollo es permanecer fuera de cualquier obligación cuantificada. Esto sería motivador para estos últimos, pero también podría impedirles acceder equitativamente a las nuevas evaluaciones atmosféricas comerciables creadas.

A modo de síntesis, se propone el siguiente cuadro como comparación entre el Protocolo de Kyoto y la Propuesta Brasileña, ambos en sus versiones iniciales:

	<b>Propuesta Brasileña (1997)</b>	<b>Protocolo de Kyoto (1997)</b>
<b>GEI considerados</b>	Dióxido de carbono, óxido nitroso y metano. Por cuestiones de conveniencia, el gas elegido para las estimaciones es el dióxido de carbono.	Dióxido de carbono; metano; óxido nitroso; hidrofluorocarbonos; perfluorocarbonos; hexafluoruro de azufre; Los gases son medidos en el equivalente al dióxido de carbono.
<b>Unidad de medición propuesta</b>	Aumento en la temperatura de la superficie terrestre medida en grados Celsius	Toneladas de dióxido de carbono o se equivalente, conocidas como "unidades Kyoto"
<b>Partes responsables en la aplicación de las reducciones de GEI/Rol de los países en desarrollo</b>	Las Partes del Anexo I tienen la responsabilidad fundamental. Aquellas que excedieran su límite máximo de aumento de la temperatura, podrían comprar créditos de temperatura a otras Partes del Anexo I. Las Partes del No-	Las Partes del Anexo I tienen la responsabilidad fundamental, aunque las otras Partes también deben participar. El CDM permite que las Partes No-Anexo I se beneficien a través de reducciones certificadas de emisiones. Todas las Partes



	Anexo I podrían solicitar fondos, voluntariamente, para proyectos de cambio climático.	deberán elaborar programas nacionales que contengan medidas para mitigar el cambio climático y facilitar una adaptación adecuada.
Institución responsable de la compensación de emisiones del Anexo I por parte de las Partes No-Anexo I	El <i>Clean Development Fund</i>	<i>El Clean Development Mechanism</i>
Relevancia de la responsabilidad histórica	Tiene mucha relevancia, ya que se toma en cuenta no sólo la emisión de GEI en 1990, sino también la concentración anterior de gases, generada especialmente por las Partes del Anexo I.	No la tiene, ya que la reducción de la emisión de GEI se establece en base a la cantidad notificada de emisiones por cada Parte del Anexo I en el año 1990.

## CONCLUSIONES

La Propuesta Brasileña está dirigida a direccionar el régimen internacional del cambio climático de un cierto modo aunque, más ampliamente, muestra el conjunto de valores y principios permanentes que caracterizan la política exterior de Brasil de los últimos años.

Tal como se ha expuesto, esto implica dos realidades concomitantes respecto de la Propuesta Brasileña: por un lado la política exterior de Brasil ha buscado posicionar a este país como un actor relevante en la toma de decisiones globales; por otro, la Propuesta Brasileña fue un claro ejemplo de política de prestigio de un país que intenta asumir responsabilidades en los procesos de gobernanza global.

## BIBLIOGRAFÍA

- ARANHA CORREA DO LAGO, A. Estocolmo, Rio, Joanesburgo. O Brasil e as três Conferências Ambientais das Nações Unidas. Brasília, Instituto Rio Branco y Fundación Alexandre de Gusmão, 2006
- BROWN, C. y AINLEY, K. Understanding international relations. Nueva York, Palgrave Macmillan, 2005
- CERVO, A. Inserção Internacional. A formação dos conceitos brasileiros. San Pablo, Saraiva, 2008
- DEPLEDGE, J. The Organization of Global Negotiations: Constructing the Climate Change Regime. London, Earthscan, 2005
- EVANS, A. Fresh Air? Options for the Future Architecture of International Climate Change Policy. Londres, New Economics Foundation, 2002



- IPCC. Climate Change Working Group II: Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses. Synthesis report. IPCC, 1995
- FRIMAN, M. Historical Responsibility in the UNFCCC. Linköping, Centre for Climate Science and Policy Research, 2013
- KEOHANE, R. Power and governance in a partially globalized world. Londres, Routledge, 2002 y
- VICTOR, D. "The Transnational Politics of Energy". En: *Dædalus, the Journal of the American Academy of Arts & Sciences*, No 1, Vol. 142, p. 97-109
- MASERA, G. El Estado Logístico: el nuevo modelo de inserción internacional del Brasil; paper, en Seminario Internacional del Bicentenario; Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Tandil, 2010
- MASERA, G. y CALCAGNO, D. Calcagno, Duilio; Masera, Gustavo Alberto (2013) "Paradigmas de Estado en Brasil según Amado Cervo una perspectiva desde el Sur Global". En: *Estudios Sociales Contemporáneos*, No. 7-8, p. 161-182.
- MEIRA FILHO, L. y GONZALEZ MIGUEZ, J. Note on the time-dependent relationship between emissions of greenhouse gases and climate change. Brasilia, Ministerio de Ciencia y Tecnología, República Federativa de Brasil, 2000.
- PHILANDER, G. (Ed.). *Global Warming and Climate Change*. Thousand Oaks, Sage, 2008
- VIOLA, E. (1997) "The Environmental Movement in Brazil: Institutionalization, Sustainable Development and Crisis of Governance since 1987". En: MacDonald, G. et al (Eds.). *Latin American Environmental Policy in International Perspective*. Boulder, Westview Press, 1997
- Brazil in the politics of global governance and climate change, 1989-2003. Oxford, University of Oxford Press, 2004
- UNFCCC. Sitio web: <http://unfccc.int/2860.php>
- UNFCCC/AGBM. Implementation of the Berlin Mandate. Additional proposals from Parties. Documento electrónico, UNFCCC/AGBM, 1997





# New Results of Multidimensional Analysis of TAO/NOAA Data on “El Niño” Phenomenon.

Camiz, S<sup>1</sup>, Denimal, J.J<sup>2</sup> and Purini, R<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Dipartimento di Matematica, Sapienza Università di Roma*

<sup>2</sup>*U.F.R. de Mathématiques, Université des Sciences et Technologies de Lille*

<sup>3</sup>*ISAC-IDASC, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Roma, Italy*

E-mail: sergio.camiz@uniroma1.it

## ABSTRACT

In order to study the “El Niño” phenomenon on the basis of the available data, we started an exploratory analysis of the set of surface temperature time-series produced from the USA's National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Some results of Principal Component Analysis and Hierarchical Factor Classification applied on the data set relative to the period 1991-2008 are reported. Together with the regular seasonal fluctuation and the subdivision in 14 classes of the time-series, all spatially connected, the occurrence of El Niño in 2007 results from the data as a very strong perturbation of an otherwise very regular pattern.

## INTRODUCTION

In some recent papers, Camiz *et al.* (2010; 2011) attempted to study the “El Niño” and “La Niña” phenomena based on United States' National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) data of daily sea surface temperature through exploratory multidimensional analyses. The encouraging results, in particular the clear detection of “El Niño” as a perturbation of both yearly and seasonal pattern, led us to repeat the same study, adding four new years and involving the wind observations too.

NOAA operates an array of 88 buoys placed on an almost regular grid of nodes in the Equator belt of Pacific Ocean. The buoys measure a large amount of climatic characters in the equatorial band and transmit daily the data that, after a suitable manipulation, are made available to researchers through internet. The distribution of buoys is shown in Figure 1. The El Niño and La Niña phenomena are part of the Southern Oscillation (SO) of Pacific Ocean, with aperiodic and chaotic behaviour (Dijkstra, 2005): during El Niño event, warmer than average sea surface temperatures occur in the Equatorial central and eastern Pacific while during La Niña (i.e. the inverse process that brings to ‘usual’ ocean conditions), cooler than average sea surface temperatures predominate. It is the atmospheric component of the cycle in which lower (higher)



than normal sea-level pressure occurs near Tahiti and (higher) lower sea-level pressure occurs in Australia during El Niño (La Niña) conditions. *SO* is an important component of the climate system since the El Niño/La Niña phases impact the weather on a global scale.

In this paper, we first reconsider the temperature time series already analysed in Camiz *et al.* (2010; 2011) with the addition of four more recent years, thus from 1991 to 2012, in order to compare the results. Then we study the wind data provided by the same buoys and eventually we compare the obtained results.

## THE DATA

For our work, we took into account both the ocean surface temperature and the two wind components at sea level, namely West-East (zonal component) and South-North (meridional component), that we downloaded from NOAA's web site ([www.pmel.noaa.gov/tao](http://www.pmel.noaa.gov/tao)). Albeit the data are available starting March 1st, 1980, we limited the study period to the last 22 years, say 1991-2012, in which 68 buoys have been active, whereas only 27 provided data during the previous years. Thus, we built three data tables, each with 68 columns (each buoy time-series of observations) and 8036 columns (the daily observations along 22 years). The two wind components' have been also stacked in a single table, to treat both directions simultaneously. Indeed, no specific method is available so far to deal with both wind intensity and direction, unless by splitting them into two velocity components in the said directions and treat separately, but such separate study would not lead to interpretable results, as we shall see. A special consideration deserves the treatment of missing data, since they are many in each buoy, in particular for what concerns the winds. In order to complete the series, we decided to estimate the missing values, but, instead of substituting them with the average of each time-series, we decided to apply a methodology based on the Kohonen Algorithm (Haykin, 1999). It consists in classifying statistical units, in our case the daily observations, according to either rectangular or hexagonal cells, also providing class centroids computed by the algorithm itself. As well, proximities among classes may be computed. In the case of missing data, the corresponding observations may be assigned the same to the classes by the Kohonen algorithm, according to the non-missing data; thus, the missing values may be estimated through the centroids of the class of belonging.

To all tables we added, as nominal characters to be used as supplemental elements, the year and the month of sampling, together with a combination of year and season, to follow in a medium detail the overall evolution of both temperatures and wind components.



## THE METHODOLOGY

For this work we took each buoy measure as a time series, represented by the columns of a data table whose rows represent the daily observations. As exploratory methods we combined *Principal Components Analysis (PCA)*, Jolliffe, 2002; Lagrand and Pinzón, 2009) and *Hierarchical Factor Classification (HFC)*, Denimal, 2007) of variables. Indeed, the quest for optimal orderings may lead to the identification of some *factors* that can explain the objects diversity, whereas the classification of variables may provide better insights in the relations that tie the variables themselves. Both methods are exploratory and may not be used beyond their actual allowances. In particular, no statistical inference of the exploratory analysis results may be done to the reference population. This is the reason why the hypotheses, formulated during this step, must be validated before being accepted as knowledge. This may be done through further investigations in the framework of the further step where specific techniques are used.

### Principal Component Analysis

Principal Component Analysis (*PCA*, Benzécri *et coll.* 1973-82, Jolliffe, 2002; Lagrand and Pinzón, 2009) is a classical exploratory analysis tool, that aims at synthesizing a quantitative (ratio-scale) data table by searching a reduced dimensional representation that summarizes most of the data variation, in the sense of the points inertia around the centroid-origin. In this way, both continuous characters and units may be represented on graphics in which their position reflects respectively the factors' values for the units and the correlation with the factors for the characters. Through *PCA* the factors, that are linear combinations of the original characters, may be interpreted on the basis of the characters whose coefficients are higher and of those most correlated with them. As for the units, their position in the factor space reflects their score in the ordination given by each factor, a kind of compromise between the scoring of the characters that contribute or are correlated with them.

The *PCA*'s rationale is based on the Singular Value Decomposition (*SVD*, Greenacre, 1983; Abdi, 2007) of the data table and its strict relation with the eigendecomposition of the correlation matrix between the data table columns. We start with an  $n \times p$  data matrix  $X$ , whose  $n$  rows represent the values taken by all characters in each of the units and whose  $p$  columns represent the values taken by each of the characters on all units. The matrix is first transformed by standardizing the columns, that is by centring them to the respective mean and dividing them by their respective standard deviation, in symbols



so that each column's mean and variance become 0 and 1 respectively. Then, through *SVD* the so built matrix  $Z$  is decomposed as  $Z = UV^T$ , where  $U$  and  $V$  are the symmetric orthogonal matrices of the eigenvectors of  $Z'Z$  and  $ZZ'$  respectively, with  $\Lambda$ ,  $\Lambda'$ , and  $\Lambda$  the diagonal matrix of the corresponding eigenvalues of both, all non-negative, sorted in decreasing order.

Thanks to the decomposition, the units' coordinates on each factor result the columns of  $U$ , whose variance equals the corresponding eigenvalue and the coordinates of the characters the columns of  $V$ . As they are orthogonal, the coordinates of the units on the factors are uncorrelated among them, and it results that the amount of inertia along each factor equals the corresponding eigenvalue. Thus, its importance may be measured by its share to the total table inertia, given by the ratio of the eigenvalue to  $\sum \lambda_i$ . The Eckart and Young (1936) theorem ensures that the best reduced rank reconstruction of the data matrix, in the least-squares sense, is obtained if it is limited to the first larger eigenelements. It must be reminded that, in decreasing order, the coordinates of the units along each factor are the best approximation of the values of the original characters and that the cosines of the angles among the characters are the best approximation of their correlation in the reduced dimensional spaces.

For the interpretation of the *PCA* results, the contribution given by each character to the linear combination that defines each eigenvector and the correlation between characters and factors are the most important issues. Then, the eigenvalues and their percentage of explained inertia are useful to identify the amount of total information interpreted. This information is currently taken into account to decide the most suitable reduced dimension for the interpretation. Indeed, this is still an issue debated in literature (Jackson, 1993; Peres-Neto, *et al.* 2005) and we did not take a decision in this sense: in this paper we shall evoke the first four dimensions, interpreting only the first two, just as a provisional examination, with no claim to be exhaustive.

On *PCA* factor spaces other characters, both continuous and nominal, and other units may be projected as supplemental elements, based on their behaviour in respect to the active elements: the continuous characters are projected on the circle of correlations according to their correlation with the axes; each level of the nominal ones is represented at the centroid of the units that take that level as observed value. As the supplemental characters do not participate to the eigenvectors construction, they are useful as external references in the factors interpretation. We shall take advantage of this feature to include in the graphical representation both the time nominal characters and the *HFC* representative variables of the classes, in order to synthesize the results and ease its interpretation.



### Hierarchical Factor Classification

Hierarchical Factor Classification of continuous characters (in the following, *HFC*), first proposed by Denimal (2001, see also Camiz *et al.*, 2006) and further optimized (Denimal, 2007), is a method that aims at combining the classification of characters, a task neither very developed nor very used in literature, with the factorial methods in the same exploratory spirit of *PCA*; it is easy to use, and its results are immediately understandable by a non-particularly specialized user.

*HFC* combines classification and ordination in a single procedure, so that it outputs at the same time a hierarchy and a set of principal planes associated to the hierarchy's nodes. The association among characters is based on their reciprocal covariance and, for each node, the method provides a principal plane where both characters and units can be represented. This is certainly an advantage for the user accustomed to *PCA* and subsequent hierarchical clustering, in that the interpretation of the groups of characters and of the principal components becomes easy, and the units can as well be classified at each step according to the found differences among the characters. Since the method is based on the same geometric space as *PCA*, the resulting principal components can be represented as supplemental elements in the *PCA* principal planes. This allows an interoperability between the two methods.

The idea underlying the method is that the representative variable of a group of variables plays the role of central tendency of the whole set, similar to the first principal component in a *PCA* and the centroid of a group of units. Thus, by choosing as representative variables the first principal component of a non-standardized *PCA*, the weight of the groups is in some way given to its representative variable. This is like attributing to the centroid the weight of each group of units in the Ward's (1963) clustering method.

Once all original variables are standardized, thus constituting the set  $Z$ , each of them is considered both a singleton group and the representative variable of this group. Then, the iterated procedure for the construction of the hierarchy is the following:

- 1) all pairs of existing groups are compared, through their representative variable: each pair of representative variables is submitted to a non-normalized *PCA*, i.e. the *PCA* of their covariance matrix. It must be pointed out that in the case of standardized characters this equals the correlation matrix. As a consequence, if the comparison is done between two original characters an ordinary *PCA* results, whereas for all other comparisons the results will be different: in particular, the trace of the matrix will be larger than 2;
- 2) the pair is chosen, whose *PCA* results with the least second eigenvalue: due to the unpredictable value of the trace of the covariance matrix this is not the same as searching for the highest value of the first one;



- 3) the two groups represented by the chosen pair are merged into a new group, that is a node of the hierarchy;
- 4) the first principal component of the *PCA* of the chosen group is taken as representative variable of the new group, since it represents what the two merged groups have in common;
- 5) the second principal component is taken as node variable, showing the internal differences within the node;
- 6) the second eigenvalue is taken as the node's hierarchy index, say  $\lambda_k$  for the  $k$ -th node;
- 7) a principal plane is associated to the node, on which both the representative variables of the joining groups and all the variables belonging to the node may be represented; as well, all the units may be represented there, as they are seen by only the variables belonging to the node.
- 8) The steps 1) to 7) are iterated until convergence.

Given this hierarchy, a partition may be built by cutting it at any level and the part of the hierarchy upper the cutting shows the relations among the nodes that compose the partition as classes. Indeed, as all classifications resulting from the cut of a hierarchy, this one would be far from optimal and in this case not only the classes but also their representative variables would be concerned, so that, an optimization process is required. In this case, the original hierarchy is optimized via a *K*-means-like procedure (MacQueen, 1967), in which each variable is reassigned not only to a terminal class but also to all nodes in the upper hierarchy that contain the class. The optimization criterion applied to this reallocation is then

that is a weighed maximization of the variances of the representative

variables of each class of all nested partitions. Here, the indexes of the original hierarchy are chosen as weights, so that the upper levels' representative variables have a higher weight in the optimization process. As for *K*-means, it may be proved (Denimal, 2007) that this optimization is convergent.

Once an optimal hierarchy is obtained, it is important that a partition obtained by cutting the hierarchy satisfies some criterion. Here it is important that the classes/nodes satisfy a homogeneity criterion, according to the correlation between the variables representative of the classes. More precisely a node is considered homogeneous if the representative variables and of the two subclasses  $a$  and  $b$  are significantly correlated, according to a



simple correlation test. In this case, the node is not split and defines a cluster of the searched partition.

Thus, we may cut the dendrogram in order to keep only significant nodes: starting from the top of the hierarchy, each node merging two classes  $a$  and  $b$  is iteratively examined. Then, a partition is chosen as soon as the following node merges two classes whose representative variables  $x$  and  $y$  are significantly correlated.

With the chosen partition, say in  $h$  classes, an upper hierarchy of  $h-1$  nodes results. Thus,  $h-1$  principal planes are available, on which the representative variables of the merging classes and the variables that belong to the node are all represented. All units too are represented on these planes, as seen only by these variables.

In a scatter diagram of the two representative variables, whose groups joined in a given node, the interpretation of both factors at each step is straightforward: the position of the first factor is within the smallest angle between the two straight lines spanned by the representative variables, since the highest scalar product corresponds to the smallest angle. That is, the first factor summarizes what the representative variables have in common and therefore what have in common also all characters gathered in the node. Instead, the second factor represents what the characters do not have in common, which is minimized at each step. It is then natural to consider the first factor as the variable representative of the new node. Since the *PCA* is not standardized, the first eigenvalue is the difference between the sum of the two variances of the two representative variables minus the second eigenvalue, so that it can take any positive value.

It may be shown that all representative variables are linear combinations of the original ones. This allows the projection of the representative variables on the principal spaces of an ordinary *PCA*.

All representative variables are linear combinations of the original ones (with zero coefficients of the characters not belonging to the represented group), so that they lay in the same vector space. Thus, it may be proved (Denimal, 2007) that the total inertia of the data table is decomposed according to the sequence of fusion levels plus the first eigenvalue of the last *PCA*. This property would not hold if at each step the representative variables were standardized.

## RESULTS

### Surface Temperatures

The data table of 8036 daily temperature measures taken on the 68 buoys was submitted to *PCA* twice, once limited to the 6575 daily observations of the period 1991-2008: this way we could ascertain if the results already obtained by Camiz et al. (2010; 2011) were in agreement with the



new. The *PCA* provided two highly relevant factors (with eigenvalues 21.96 and 15.03 respectively) that summarize over 54% of the total variation. Two others (eigenvalues 5.83 and 3.71) seem deserve some interest, raising the explained variation to 68.44%. Here we discuss the distribution of the buoys on the first two factors and of the year periods on the first three.

In Figure 2 the pattern of the yearly average temperatures are represented on the first factor plane for the two periods, 1991-2008 and 1991-2012 respectively. The pattern are very similar, in particular concerning «El Niño» that occurred in 1997-98 and «La Niña» that occurred in 1999. Indeed, after 2008, where another «La Niña» occurred, another one occurred in 2011, clearly visible in graphic on the right. This is a nice evidence that *PCA* is able to easily provide the evidence of both phenomena.

In Figure 3, the pattern of the months' average temperatures, for the whole period 1991-2012, is shown on the tree first principal planes, spanned by the factors 1-2, 1-3, and 2-3 respectively. In particular, the first plane spanned by the factors 1-2 (top left of the figure), represents quite well the seasonal variation of the months: indeed, on the left upper side the period August-November is found whereas in the right lower one the period March-May is situated. The factor 3 sets apart the months of the period August-December, whose months are close to each other on the first factor plane.

The pattern of levels of the *HFC* of the temperatures time-series in the whole period and the corresponding dendrogram (Figure 4) suggests to take into account nine classes. Indeed, the classes 126 and 106 have been erroneously split in the following representations: they should be merged together and as such seen.

In Figure 5 the buoys classes, according to temperatures, are reported in their geographical position (compare to Figure 1). It is nice to see that no classes are disconnected, but 122 and the two classes 126 and 106, both due to a loss of buoys.

In Figure 6 (left) the representative variables of each class is represented on the first *PCA* factor plane, whereas all buoys are represented in Figure 5 (right) on the same plane. There they are coloured according to the class of belonging.

Indeed, we can notice the sequence 123 - 125 - 110 - 124 - 95 - 122 - 118 - 119 - 126 - 106 with a regular shift East-West and accordingly the delay of the maxima of temperature along the months. It must be pointed out that the classes 118, 119, 126, and 106 are worst represented on the plane than the others, due to the need of the third axis to better explain their position in respect to the months.

### Sea surface winds

As we had to deal with two wind components, West-East (zonal) and South-North (meridional), we first ran two different *HFCs* for the winds time-series, one for each component. Thus we





obtained two classifications, that are reported in Figure 7, in 17 and 16 classes respectively. Indeed, we could discuss these results at large, but it must be observed that the results of the same procedure used for the temperatures for the two wind components, would give results very difficult to handle, in particular concerning the interpretation of both factors and representative variables of each component, that would not be associable. Indeed, the comparison of the two classifications in Figure 7 would lead to a cross-classification in a very high number of classes, yet of quite difficult interpretation. We had better merged the two wind components of each buoy's in a double length vector and submitted as such to both *PCA* and *HFC*. In the following the buoy *ON137E* has been removed from the analysis, since it was active for a too short period.

The *PCA* of this doubled data table gives, as the previous, two important factors (eigenvalues = 25.24 and 17.02) that explain over 62% of total variation, plus two others that raise the total up to 78%. Here we limit our attention on the first two factors. In Figure 8 the pattern of the months is represented on the planes spanned by the first three factors. It is evident the yearly oscillation of winds in the two opposite directions, with some differences that oppose the period November - February to the March - June, that are found on the third factor.

The series of fusion levels of *HFC* and the dendrogram, that is shown in Figure 9, indicate 11 classes. Their representative variables are represented in Figure 10 left on the first factor plane issued from *PCA*, whereas all time series are represented on the same plane in Figure 10 right with the colours corresponding to the classes of belonging.

## FINAL REMARKS

Although being a result of one of the most intricate coupling between the oceans and the atmosphere, the present study shows that at a very first sight, the El Niño fluctuation results very well depicted by the first few graphics. Moreover, it appears as a very important variation in the otherwise stable fluctuation of the temperature's regime in Pacific Ocean's Equatorial belt. A particular note deserves the fact that the corresponding raise in temperature is preceded, around a year earlier, by a decrease. This appears in the El Niño fluctuation that was registered by the collected data starting autumn 2007, this time apparently with an important lowering until end 2008, but as well a La Niña fluctuation that occurred in 1998, 2008, and 2011.

The first results of *HFC* gave us interesting information concerning the relative homogeneity of the classes and the relative difference among them. Indeed, the higher fragmentation of the Central and Western Pacific, in respect to the Eastern side, may be interpreted either on a morphological basis, such as the larger presence of islands, or on the presence of different streams. From the analyses other interesting results derive, in particular the different behaviour detected in the different groups of buoys along time, that results from their different position on



the first factor plane, as well as the special situation of two groups of buoys, whose main variations are along the third and fourth factors respectively.

It must be observed the contrast between the regular pattern of the seasonal variation during the normal years and the important deviation due to El Niño effects in the studied period: with more historical data one may evaluate the different deviation during the various manifestation of the fluctuation and try to derive any systematic pattern. This could be the subject of a further investigation.

### Acknowledgment

The TAO Project Office of NOAA/PMEL is gratefully acknowledged for providing the time-series that were used in this study. This work was granted by the Socrates/Erasmus agreement between Sapienza and Lille University with the support of the Scientific Attaché of the Italian Embassy in Buenos Aires. All granting institutions are gratefully acknowledged.

### REFERENCES

- Abdi, H., 2007. Singular Value Decomposition (SVD) and Generalized Singular Value Decomposition (GSVD). In: Neil Salkind (Ed.), *Encyclopedia of Measurement and Statistics*. Sage, Thousand Oaks (CA).
- Benzécri, J.P. *et coll.*, 1973-82. *L'Analyse des donnees*. Paris, Dunod.
- Camiz, S., J.J. Denimal, and V.D. Pillar, 2006. Hierarchical Factor Classification of Variables in Ecology, *Community Ecology*, 7(2), 165-179.
- Camiz, S., J.J. Denimal, and W. Sosa (2010). «Exploratory analysis of Pacific Ocean data to study “El Niño” phenomenon». *Revista de la Facultad de Ciencias de la UNI*, 13(1): pp. 50-58.
- Camiz, S., J.J. Denimal, and W. Sosa (2011). «Exploratory Analysis of Pacific Data to Study “El Niño”». *Actas E-ICES 6*. CNEA 2011.
- Denimal, J.J., 2001. Hierarchical Factorial Analysis, *Actes du 10th International Symposium on Applied Stochastic Models and Data Analysis*.
- Denimal, J.J., 2007. Classification Hiérarchique Optimisée d'un tableau de mesures. *Revue de Statistique Appliquée*, 148(2), 29-61.
- Dijkstra, H.A., 2005. *Nonlinear Physical Oceanography. Dynamical System Approach to the Large Scale Ocean Circulation and El Niño*. Berlin, Springer.
- Eckart, C. and G. Young, 1936. Approximation of one matrix by another of lower rank, *Psychometrika*, 1, 211--218.
- Haykin, S. 1999. *Self-organizing maps in Neural networks - A comprehensive foundation*, Prentice-Hall.
- Jolliffe, I.T., 2002. *Principal Components Analysis*. Springer, Berlin.



Langrand, C. and L.M. Pinzón, 2009. Análisis De Datos. Métodos y ejemplos. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá.

Jackson, D.A. 1993. Stopping Rules in Principal Components Analysis: A Comparison of Validation of stopping rules in eigendecomposition methods Heuristical and Statistical Approaches, *Ecology*, 74(8), 2204-2214.

MacQueen, J.B., 1967. Some Methods for classification and Analysis of Multivariate Observations. Proceedings of 5-th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, Berkeley, University of California Press, 1, 281-297

Peres-Neto, P.R., D.A. Jackson, and K.M. Somers, 2005. How many principal components? Stopping rules for determining the number of non-trivial axes revisited. *Computational Statistics and Data Analysis*, 49: 974-997.

J.H. Ward, 1963. Hierarchical Grouping to optimize an objective function. *Journal of American Statistical Association*, 58(301), 236-244.

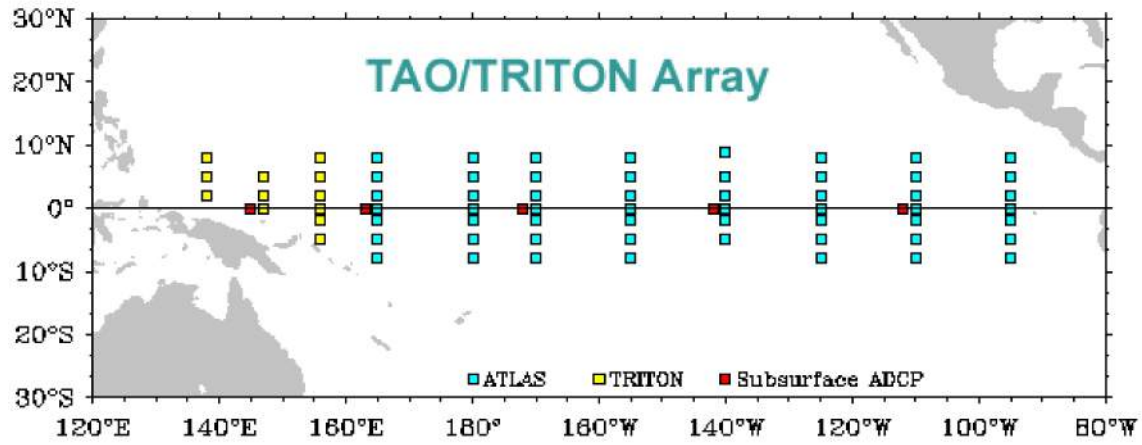


Figure 1 - The position of the TAO/TRITON buoys array.

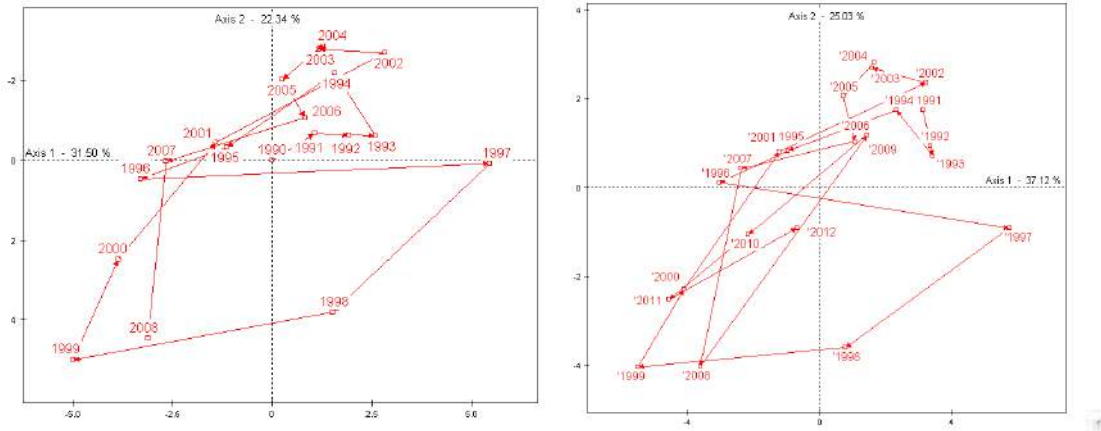


Figure 2 - Representation of the yearly average temperature on the plane spanned by the first two components. Left: PCA of the period 1991-2008; Right: PCA of the period 1991-2012.

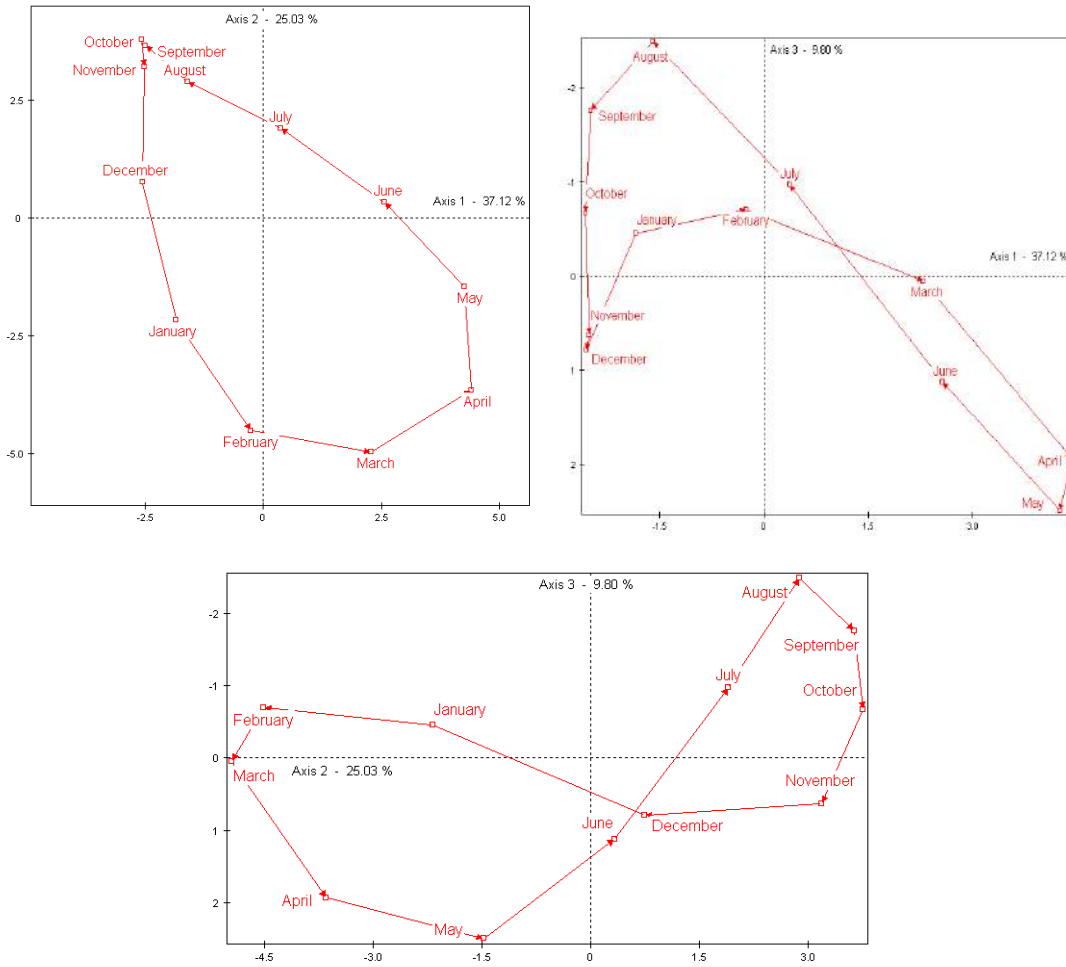


Figure 3 - PCA of the temperatures time-series. Pattern of the months average temperatures on the planes spanned by the first components: 1-2, 1-3, and 2-3, respectively, for the whole period 1991-2012.





	137E	147E	156E	165E	180E	170W	155W	140W	125W	110W	95W	
9N								27.38				9N
8N	29.17		29.11	28.87	28.51	28.35	27.96		27.66	27.90	27.82	8N
5N	29.36	29.42	29.39	29.21	28.91	28.57	27.99	27.50	27.30	27.42	27.66	5N
2N	29.54	29.68	29.51	29.32	28.74	28.24	27.40	26.74	26.15	25.97	26.44	2N
0N	29.61	29.69	29.66	29.25	28.55	27.91	26.89	25.92	24.86	24.12	23.91	0N
2S			29.66	29.55	28.97	28.46	27.57	26.64	25.60	24.61	23.71	2S
5S			29.66	29.72	29.48	29.03	28.21	27.33	26.39	25.31	24.56	5S
8S				29.49	29.57	29.36	28.80		26.72	25.60	24.63	8S
	137E	147E	156E	165E	180E	170W	155W	140W	125W	110W	95W	
	126	126	119	119	122	122	122	122	122	125	125	
			118	118	124	124	124	124	125			
			106	95						123	123	
				106	110	110	125	125	123			

Figure 5 - The classes of the buoys according to the temperature time series issued by HFC, on a schematic reproduction of their geographical position. In the cells, the average temperatures during the whole period.

Bottom: the classes numbers.



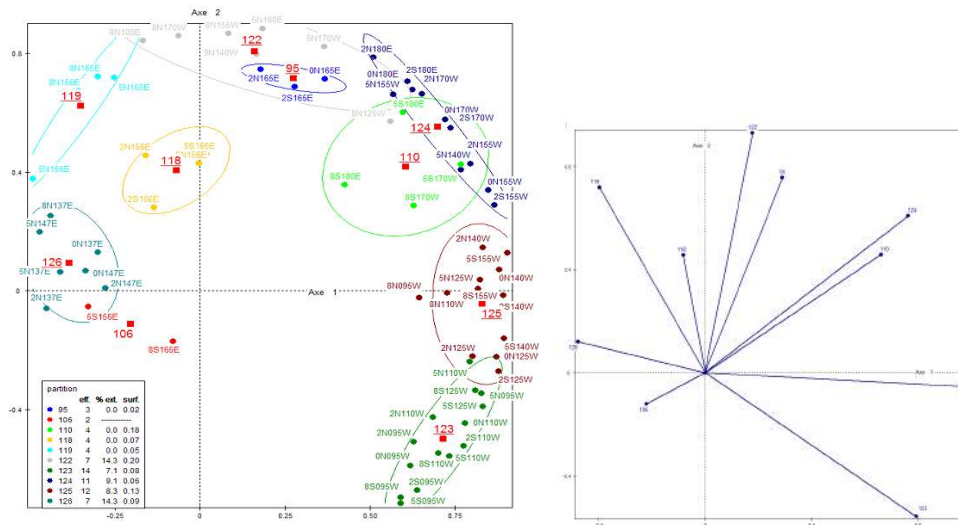


Figure 6 - Left: the representative variables of the ten classes of buoys temperature time-series on the plane spanned by the first two factors of PCA. Right: all the temperature time-series on the same plane grouped according to HFC.

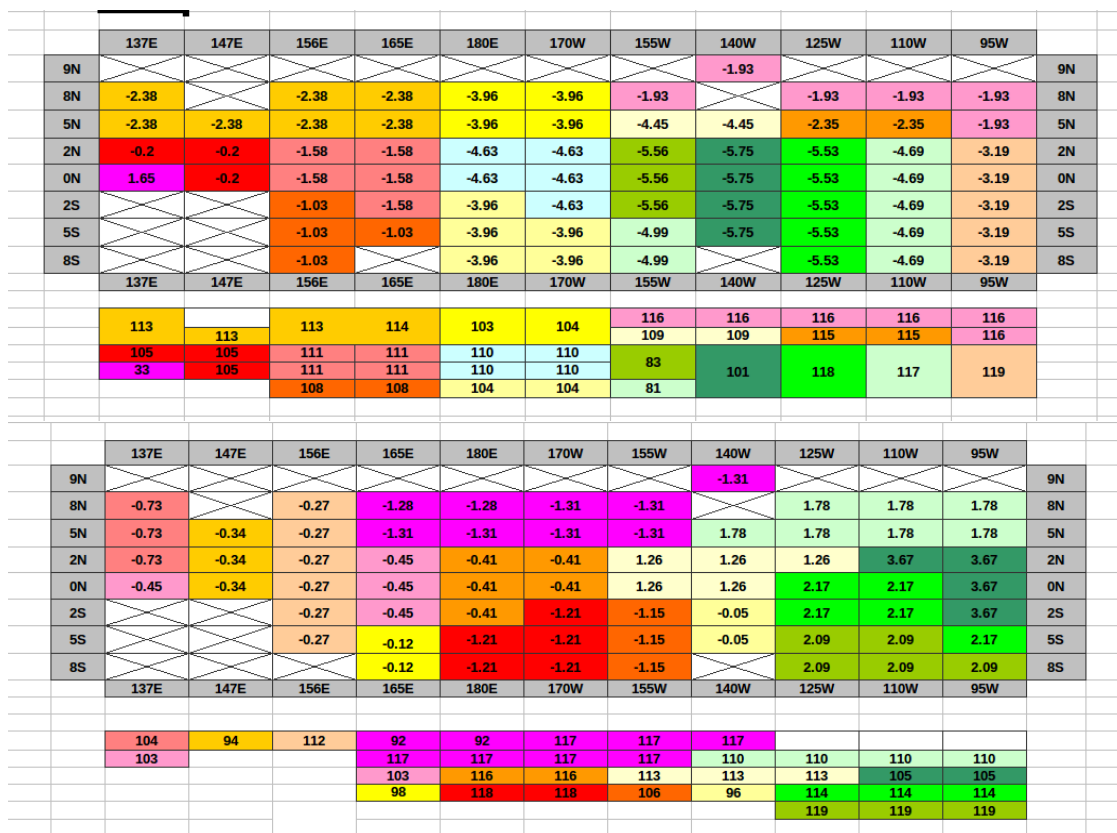


Figure 7 - HFC of the surface wind time-series. The classes of the buoys according to the wind components time-series, on a schematic reproduction of their geographical position. In the cells, the average wind component intensities during the whole period. On the bottom the classes numbers. The classes of the buoys according to the surface wind components. Above: the West-East component; below: the South-North component.

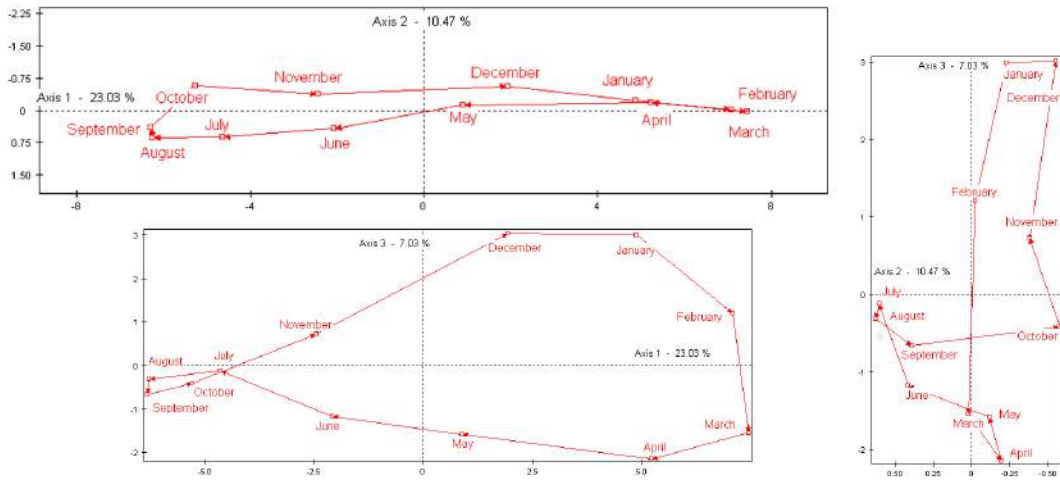


Figure 8 - PCA of the stacked wind components: representation of the months on the planes spanned by the first three factors. Above: plane 1-2; below: plane 1-3; right: plane 2-3.

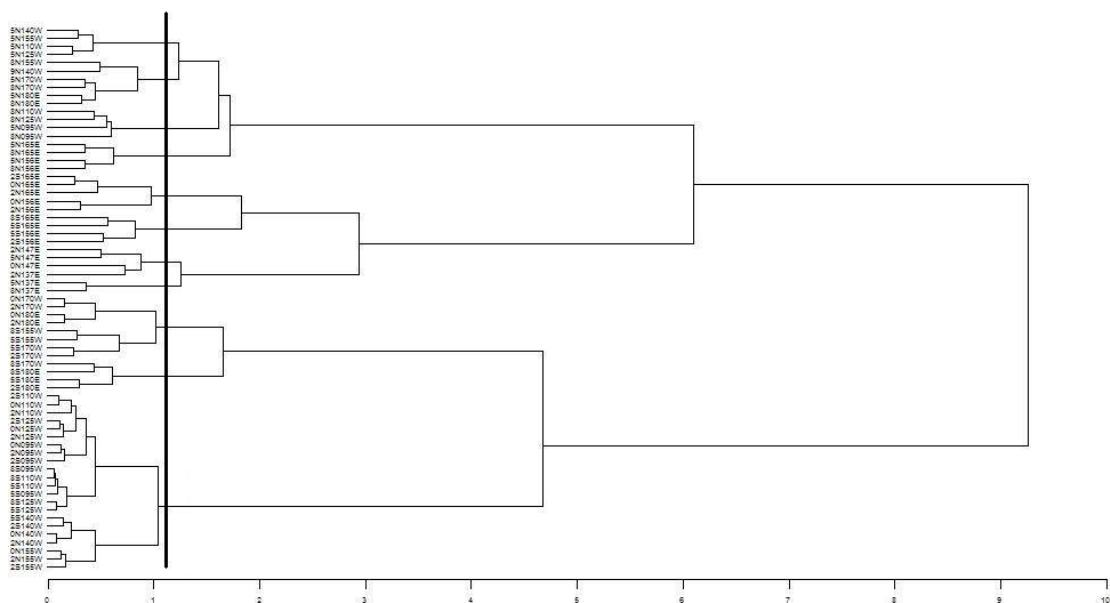


Figure 9 - Dendrogram issued from the HFC of the winds time-series.

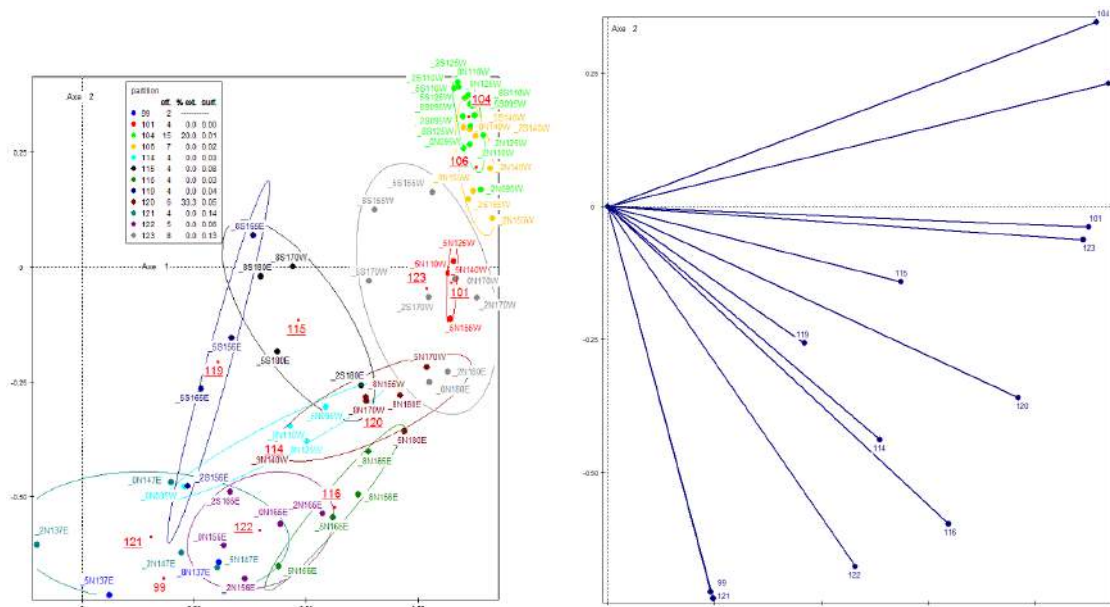


Figure 10- Left: the representative variables of the eleven classes of buoys wind time-series on the plane spanned by the first two factors of PCA. Right: all the wind time-series on the same plane grouped according to HFC.



	137E	147E	156E	165E	180E	170W	155W	140W	125W	110W	95W	
9N								(-4,1;2,4)				9N
8N	(-1,4;-0,6)		(-3,8;-1,1)	(-4,6;-1,7)	(-5,1;-1,9)	(-5,1;-2,3)	(-4,8;-1,7)		(-2,1;0,1)	(-0,9;1,2)	(-0,4;0,0)	8N
5N	(-0,2;-0,8)	(-1,4;-0,7)	(-2,1;-0,7)	(-3,1;-0,9)	(-4,2;-0,9)	(-4,6;-0,3)	(-4,7;0,3)	(-4,1;1,7)	(-3,0;2,7)	(-1,7;3,7)	(0,8;3,0)	5N
2N	(0,2;-0,7)	(-0,4;-0,1)	(-1,2;-0,2)	(-2,3;-0,2)	(-4,2;-0,2)	(-5,1;-0,0)	(-5,6;0,9)	(-5,5;1,9)	(-4,8;2,9)	(-3,3;3,7)	(-1,2;4,8)	2N
0N	(1,6;-0,6)	(-0,4;-1,2)	(-0,8;0,0)	(-1,9;-0,5)	(-4,1;-0,5)	(-4,9;-0,4)	(-5,4;-0,1)	(-5,5;0,5)	(-4,6;1,3)	(-3,5;2,3)	(-2,1;3,3)	0N
2S			(-0,4;-0,1)	(-1,5;-0,7)	(-3,8;-1,4)	(-4,7;-1,3)	(-5,6;-0,9)	(-5,7;0,1)	(-5,2;0,9)	(-4,4;2,1)	(-2,9;2,7)	2S
5S			(-0,6;0,4)	(-1,3;-0,6)	(-2,9;-1,5)	(-4,1;-1,4)	(-5,4;-1,3)	(-6,2;-0,1)	(-6,4;1,2)	(-5,7;2,6)	(-4,3;3,7)	5S
8S				(-1,7;0,3)	(-2,4;-0,7)	(-3,3;-1,2)	(-4,5;-1,3)		(-6,6;0,8)	(-6,5;2,4)	(-5,5;3,7)	8S
	137E	147E	156E	165E	180E	170W	155W	140W	125W	110W	95W	
99			116	116	92	92	92	92	114	114	114	
121	121		122	122	123	123	101	101	101	101	114	
33			119	119	115	115	106	106	104	104	104	

Figure 11 - The classes of the buoys according to the wind time-series issued by HFC, on a schematic reproduction of their geographical position. In the cells, the average temperatures of both components during the whole period. Bottom: the classes numbers.



# Morpho-Structural Comparison of Latin American Volcanoes.

Camiz, S <sup>1,2</sup>, Poscolieri, M <sup>2</sup>, and Roverato, M <sup>3</sup>

<sup>1</sup>Dipartimento di Matematica Guido Castelnuovo, Sapienza Università di Roma - Italy

<sup>2</sup>CNR - Istituto di Acustica e Sensoristica, Roma - Italy

<sup>3</sup>IGC Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo - Brazil

E-mail: maurizio.poscolieri@idasc.cnr.it

## ABSTRACT

The geomorphometric classifications of local topographic gradients of two groups of Andean volcanoes situated in the Andes Cordillera are introduced and compared. Input data are eight topographic gradients obtained by processing each volcano raster Digital Elevation Models extracted from ASTER stereo-pairs. Based on these data, the pixels have been classified into 17 classes through a clustering procedure applied to coordinates resulting from Principal Component Analysis. The resulting thematic colour maps show the spatial distribution of homogeneous landform units, highlighting the impact of erosional and tectonic processes on the whole relieves. The comparison of the corresponding classes of the different volcanoes may be interpreted as similarity among the volcanoes.

## INTRODUCTION

In the geomorphological study already presented at *E-ICES 8* by Camiz *et al.* [6], the classification of pixels of the DEMs of three Andean volcanoes, according to their gradients, showed strange similarities among some classes of soil of different volcanoes. Thus we decided to investigate to what extent the similarity could be reliable and if it would concern other volcanoes as well. In this study, we report the results of the same analyses carried out on two sets of volcanoes, eight from South and seven from Central America respectively. In order to better ascertain the analyses' reliability we modified the analysis procedure by *a priori* fixing both number of the classes and their initial centroids' coordinates. Indeed, this way, resulting dissimilarities between classes, belonging to different volcanoes, would not be considered random.

## THE VOLCANOES

### South American Volcanism

The Andean volcanic arc includes over 200 potentially active Quaternary volcanoes, and at least 12 giant caldera/ignimbrite systems, occurring in four separate segments referred to as the Northern (NVZ), Central (CVZ), Southern (SVZ) and Austral Volcanic Zones (AVZ) ([22]; see Figure 1). Volcanism results from subduction of both Nazca and Antarctic oceanic plates below South America. The Andean Cordillera forms a >7,500 km long morphologically continuous mountain chain along the western margin of South America, from the Caribbean Coast (northern extreme) to Cape Horn (southern). In this work we focus only on CVZ and SVZ. The distribution of the South American volcanoes is reported in Figure 1.

The CVZ includes 44 active volcanic edifices, as well as more than 18 active minor centers and/or fields and at least six potentially active Quaternary large silicic ignimbrite center and/or caldera systems [9, 10, 11], located in the highly elevated (>4,000 m) region of Southern Peru, Northern Chile, South-Western Bolivia and NorthWestern Argentina. We focus on four volcanoes of this geotectonic region:

1) *Parinacota* (18°09'46''S; 69°08' 34''W - 6350 m. asl) is a composite late Quaternary ice-capped volcano located at the border between Chile and Bolivia, and, together with Pomerape volcano, forms the Nevados de Payachata volcanic area. The conic-shaped edifice is mainly formed by andesitic lava flows built on top of andesitic-rhyolitic lava-dome complex. The volcano is characterized by giant debris avalanche deposits [8].

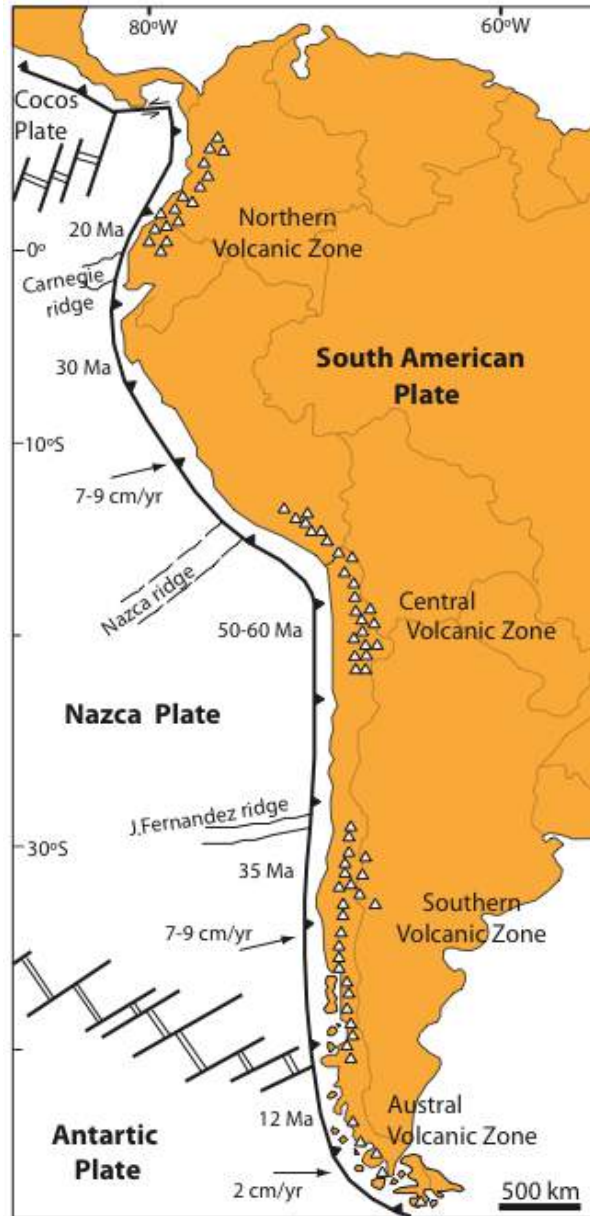


Figure 1 - The distribution of volcanoes along the Cordillera de los Andes in South America.





Figure 2 - The location of the eight South-American volcanoes object of this study.

2) *Tata Sabaya* (19°08'03''S; 68° 31'31''W - 5430m. asl) is located on the Northern limit of the Salar de Coipasa on the Bolivian *plateau*. It is a non-ice capped symmetrical andesitic composite cone part of two Holocene centers in a chain of *E-W* trending edifices from the main *N-S* trending volcanic arc of the Andes (*CVZ*). It is considered “potentially active” by de Silva and Francis [11].

3) *Ollagüe* (21° 18'S, 68° 11'W) is located in the Central Andes at the boundary between the *N-S*-trending Western Cordillera and the Bolivian plateau. It is an active, andesite-dacite, composite volcano developed on a regional *NW*-striking extensional fault system that bisects the volcanic edifice. Its core recent late-Pleistocene to Holocene magmatic activity is repre

sented by a summit lava dome complex and is characterized by a strong hydrothermal alteration that strongly could enhance its structural instability [24].

4) *Socompa* (24°23'30''S; 68°14'20''W - 6051m. asl) is well known for its best-exposed giant debris avalanche deposit. It is one of the most voluminous terrestrial sector collapses [23]. *Socompa* volcano lies at the South-Eastern end of the Atacama Basin. A thin pyroclastic surge deposit at Monturaqui is dated at about 7 ka *BP* [21] that represents the latest activity at



Socompa. The position of these volcanoes, together with the following four, is reported in Figure 2; all their images are shown in Figure 3.

The SVZ extends from 33°S to 46°S and is localized entirely in the Chilean territory. In addition to three giant calderas (*Diamante*, *Calabozos*, and *Caviahue*) the SVZ comprises more than 60 large volcanic edifices, and numerous small eruptive centers. Most of these volcanoes are tagged as either active or potentially active [22]. We focus on four volcanoes of this geotectonic región:



Figure 3 - The eight South American volcanic edifices object of this study

5) *Peteroa* (35°15'S/70°35'W - 4107 m asl) is located 110 km West of Malargüe town, in the Argentinean province of Mendoza. This large, basaltic to dacitic, volcanic complex is located on the Chile-Argentina border and is characterized by several overlapping calderas. The structure of the edifice is complicated by at least 2 syn-volcanic glaciations and a large debris avalanche deposit [18].

6) *Llaima* (38° 41'30"S / 71° 43'43"W) is a compound basaltic to andesitic stratovolcano that has grown since the Late-Pleistocene, initially dominated by effusive activity. An explosive stage started with a caldera-forming eruption at 13 ka BP and lasted till 7 ka BP, characterized by several large Plinian eruptions. The historical activity consists mostly of effusive behavior, which is interrupted by numerous smaller explosions and accompanied by quiescent degassing [13].

7) *Villarica* is located at 39°25'14"S/71°56'23"W, and was built up since the Mid- to Late Pleistocene by alternating effusive and highly explosive activity with multiple caldera collapses, resulting in a large complex stratovolcano. Presently, Villarrica is one of the most active



volcanoes of South America, situated in a populated region with local industry, agriculture and tourism [27].

8) *Lanín* is a large stratovolcano in a back-arc setting at  $39^{\circ}37'58''\text{S}/71^{\circ}29'59''\text{W}$ , it has evolved since Mid-Pleistocene by mainly effusive eruptions of bimodal compositions from basalt to trachydacite. No major caldera-forming events have been reconstructed, however, a series of pyroclastic deposits documents the occurrence of at least moderately explosive activity over most of the volcano's history [16]

### Central American Volcanism

Volcanism along the Central America arc (Guatemala to Costa Rica) is the result of the Cocos plate North-Eastward subduction beneath the Caribbean plate along the Middle America trench (Figure 4). The convergence rate between the Cocos and Caribbean plates increases to South-East, from  $\sim 60$  mm/year off Southern Guatemala to  $\sim 90$

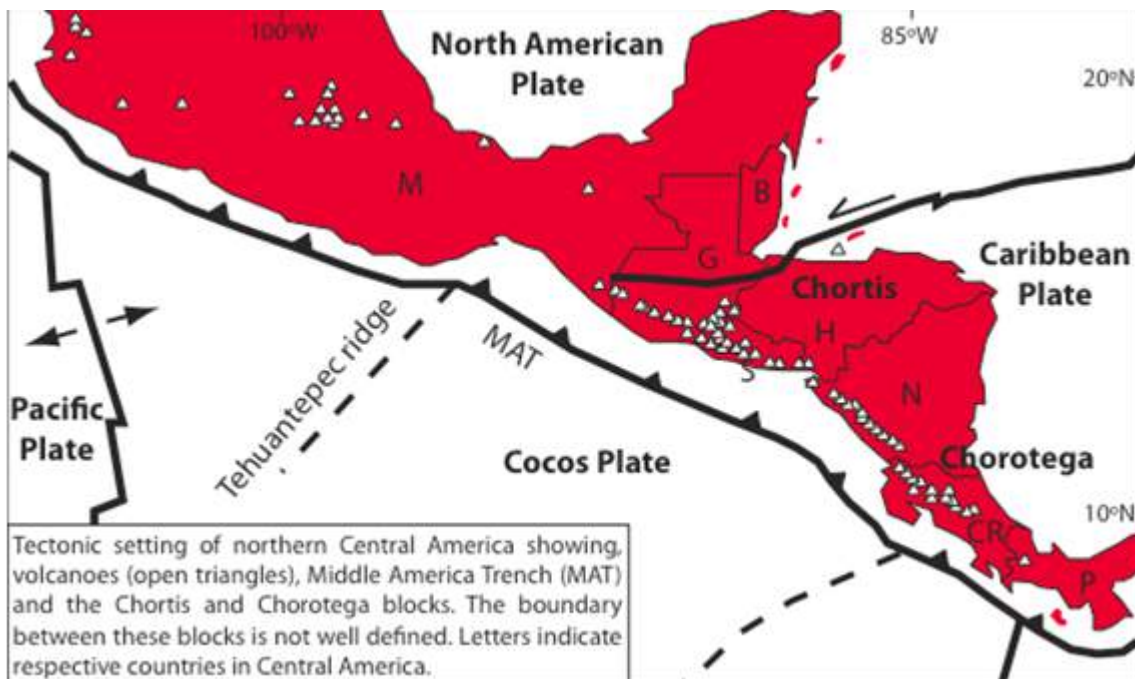


Figure 4 - The distribution of volcanoes in Central America.

mm/year off Southern Costa Rica [12]. This volcanism is associated with Caribbean blocks of different crustal origins: the North-Western Chortis block, and the South-Eastern Chorotega block. The Chorotega block is underlain by the Caribbean Large Igneous Province (CLIP), which was settled during Cretaceous. Although there is no consensus as to the location of the boundary between Chortis and Chorotega blocks, the important observation is that the Chortis block is

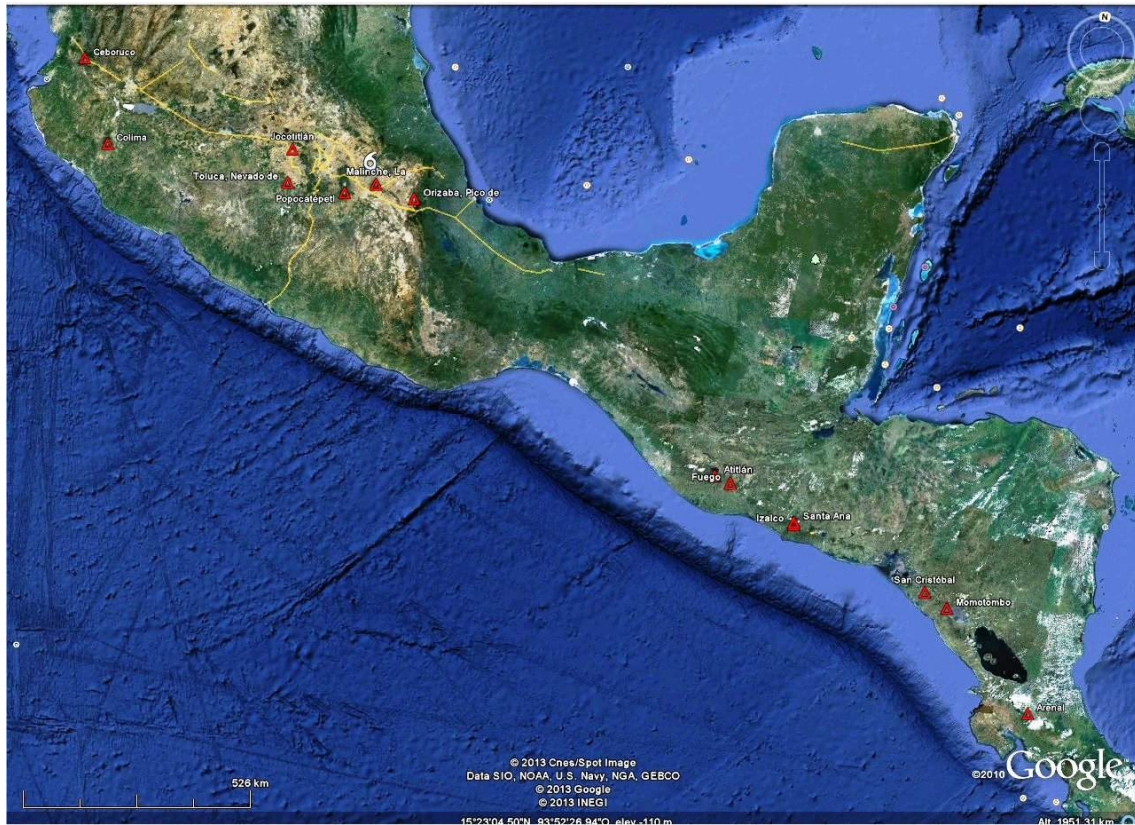


Figure 5 - The location of the seven Central-American volcanoes object of this study.

underlain by old evolved continental crust (~100 Ma), whereas the Chorotega block is not. A 1500 km-long volcanic arc extends from Southern Mexico to Central Costa Rica (note that no Holocene volcanism occurred in Southern Costa Rica; see, [7, 17]). The age of the Cocos plate at the Middle America trench decreases towards South-East, from 24 Ma of Nicaragua to 15 Ma of SE Costa Rica. The thickness of the Cocos crust increases towards South-East, from 5 to 7 km off Nicaragua to 12 km off SE Costa Rica on the flank of the Cocos Ridge [25] to 21 km along the thickest part of the Cocos Ridge off SE Costa Rica [26]. We selected seven volcanoes, whose position is reported in Figure 5 and their images are shown in Figure 6:

9) *Fuego (14° 28'N, 90° W, 3763 m) is one of three large stratovolcanoes (Fuego, Acatenango, and Agua) overlooking Guatemala's former capital of Antigua. Growth of the modern Fuego volcano started about 8500 years ago, continuing the Southward migration of volcanism that began at Acatenango. On October 1974, Fuego had its largest eruption since 1932, which produced heavy ash-fall.*

10) *Atitlán is part of the three young andesitic stratovolcanoes, Atitlán, Tolimán, and San Pedro that rise from the Southern margin of the Atitlán caldera. Elevations increase*



Figure 6- The seven Central American volcanic edifices object of this study.

from 300 m on the coastal plain to 1562 m at Lake Atitlán and 3535 m at the summit of the Atitlán volcano. It is the highest stratovolcano adjacent to the caldera and has been historically quite active, with more than a dozen recorded eruptions within 1469 and 1853, the date of its most recent one.

11) *Santa Ana* ( $13^{\circ}51'N$ ,  $89^{\circ}38'W$ , 2365 m) is a stratovolcano immediately West of Coatepeque caldera in Western El Salvador. It was the source of the Pleistocene or early Holocene debris avalanche that formed the Acajutla Peninsula. Since the 16th Century, activity has consisted mainly of small-to-moderate explosive eruptions from both summit and flank vents. Within its summit (0.5 km diameter), there is an acid lake (pH-1), with a fumarole field on the crater wall adjacent to it.

12) *Izalco* is a basaltic-andesitic composite volcano that has been intermittently active since its birth in 1770. The volcano has erupted approximately  $2 \text{ km}^3$  of volcanic products and has built a cone 650 m high.

13) *San Cristóbal*, rising 1500 m above its base and occupying an area of  $25 \text{ km}^2$ , the composite cone of San Cristóbal is the largest volcanic edifice in the Maribios Cordillera. The summit crater measures 500 by 600 m, elongated East-West. The South-Western rim of the crater rises 140 m above the North-Eastern rim, reflecting the control of prevailing trade winds of the past distribution of eruptive tephtras.

14) *Momotombo* is a small calc-alkaline composite volcano (1258 m high) located 35 km North-West from Managua. The last eruption of the volcano occurred in 1905 with the emission to



the North of a 5 km long lava flow. Since then, Momotombo has presented a strong fumarolic activity located in the summit crater.

15) *Arenal* (1.1 km high from its base, 1720 m asl, 15 km<sup>3</sup>) is one of the 16 most active volcanoes in the world and is located in Costa Rica. It is the youngest (3000 years old) cone of the Arenal-Chato system, a 12 km long *SE-NW* trending volcanic alignment located offset between two linear trends of active volcanoes, the Cordillera de Guanacaste to North-West and the Cordillera Central to South-East. It has been notable for the production of pyroclastic flows since the volcano renewed its activity in 1968, following several centuries of dormancy.

Table 1 - Size and resolution of the 15 DEMs of the studied volcanoes.

<i>Volcano</i>	<i>Rows</i>	<i>Columns</i>	<i>N-S resol. (m)</i>	<i>E-W resol. (m)</i>	<i>N-S size (km)</i>	<i>E-W size (km)</i>
<i>South-America</i>						
<i>Parinacota</i>	265	448	30.8652	29.3324	8.1793	13.1409
<i>Socompa</i>	630	771	30.8615	28.1280	19.4427	21.6867
<i>Tata Sabaya</i>	301	316	30.8647	29.1668	9.2903	9.2167
<i>Ollague</i>	340	397	30.8473	28.7726	10.4881	11.4227
<i>Planchón-Peteroa</i>	660	780	30.8534	25.2272	20.3632	19.6772
<i>Llaima</i>	270	340	30.8563	24.1026	8.3312	8.1949
<i>Villarica</i>	267	345	30.8548	23.8333	8.2382	8.2225
<i>Lanin</i>	330	399	30.8297	23.7578	10.1738	9.4794
<i>Central-America</i>						
<i>Atitlán</i>	223	342	30.8719	29.8707	6.8844	10.2158
<i>Fuego</i>	301	379	30.8719	29.8854	9.2924	11.3266
<i>Santa Ana</i>	338	312	30.8654	29.9612	10.4325	9.3479
<i>Izalco</i>	87	99	30.8673	29.9730	2.6855	2.9673
<i>San Cristobal</i>	111	125	30.8763	30.1224	3.4273	3.7653
<i>Momotombo</i>	207	224	30.8643	30.1619	6.3889	6.7563
<i>Arenal</i>	219	261	30.8802	30.3615	6.7628	7.9243

## THE DATA

The *DEM* files of the fifteen examined volcanic complexes were obtained by using the *ASTER* data. *ASTER* (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) Global Digital Elevation Model (*GDEM*) is thoroughly described in [6].

The *DEM* files were set up by picking out, within an *ASTER GDEM*, tile rectangular subsets centred on the analysed volcanic apparatuses. They appear as raster scenes and their respective sizes are summarized in Table 1. Among the analyzed volcanoes *Socompa* and *Planchón-Peteroa* are the



largest ones, while Santa Ana and San Cristobal are the smallest ones, Llama and Villarica are comparable as well as Momotombo and Arenal, the others covering medium-sized areas.

The obtained DEM files were processed by computing the elevation differences of each pixel with its eight closest neighbours, so that, this way, 8 elevation gradients resulted for each one. In Remote Sensing applications this corresponds to an 8-layer data set that can be analysed by classification techniques as a multi-band imagery [19]. As well, such data sets can be seen as data tables with the total pixels as row units and the 8 gradients as column characters. In addition, three morphometric parameters were added: height, slope, and aspect, to be used as supplemental characters.

As such, they could be submitted to multidimensional analyses

## THE METHODS

In [20, 4, 5] a new geomorphometric analysis method was introduced, able to classify ground pixels according to their local relation with the neighbouring ones. This way, two main targets may be reached: a fine tuned description of the morphological features and the possibility of their direct comparison among volcanoes. In addition, the associated colouring technique gets possible a visual comparison.

The choice of partitioning the set of pixels of a DEM according to the eight elevation gradients, instead of using the supplemental geomorphometric parameters, slope, height, and aspect, was first proposed in [20], in order to get more homogeneous the variables taken into account for the classification. Indeed, unlike the original height, that is a measure, both slope and aspect are angles that result from a computation that may be performed in different ways, thus leading to different results. In addition, the very small difference between  $1^\circ$  and  $359^\circ$  aspect angles, is never understood by no matter what used algorithm. On the opposite, dealing with eight simple differences in elevation gets simpler the use of any adopted classification method.

In this framework, in order to classify the pixels based on the eight given gradients, we applied an Exploratory Technique [3], since no intrinsic classification seems detectable in the data set. To this task we used the so-called Tandem Analysis [1], based on the use in sequence of a Principal Component Analysis (PCA, [15]) followed by the K-means classification algorithm [14]. The rationale of the procedure is to reduce the noise in the data, that is expected to be relegated to the least important factors of PCA, and classify the units based on the Euclidean distance on the selected (most important) factor space: in our case it resulted three-dimensional. The classification criterion is based on the minimization of the inertia within classes (say, the sum of squared distances of the pixels from the centroid of the class of belonging) and consequently to the maximization of the inertia between classes. This means to create classes



most compact as possible and further as possible from each other. Unlike the method used by Camiz et al. (2010), in which the number of classes could be a posteriori determined, in this case we kept a rigid methodology, in order to compare the structure of the classes resulting for each volcano according to an identical methodology.

Thus, 16 classes centroids were defined by fixing two points along each of the eight main directions of the compass rose ( $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ...,  $315^\circ$ ), with two elevations,  $12^\circ$  and  $28^\circ$  respectively. Eventually, a 17th point was fixed with  $0^\circ$  both slope and orientation. These points have been projected on the three main principal components and used as starting centroids for the K-means algorithm. This way, the final position of the 17 centroids, depended upon the particular volcano data structure only.

Then, univariate statistics have been computed for the 17 classes of each volcano for all the considered characters, say means and standard deviations. It must be pointed out that, for the aspect, both statistics have been computed according to circular statistics [19], in order to take into account the proximity of the extreme values (as  $0^\circ = 360^\circ$ ).

As it was mentioned in previous works [5, 6], a special map colouring of thematic maps may derive from these classes statistics, according to a uniform criterion, based on the average values of aspect and slope. Thus, the pixels that belong to the same class have the same colour and classes with similar structure have similar colours.

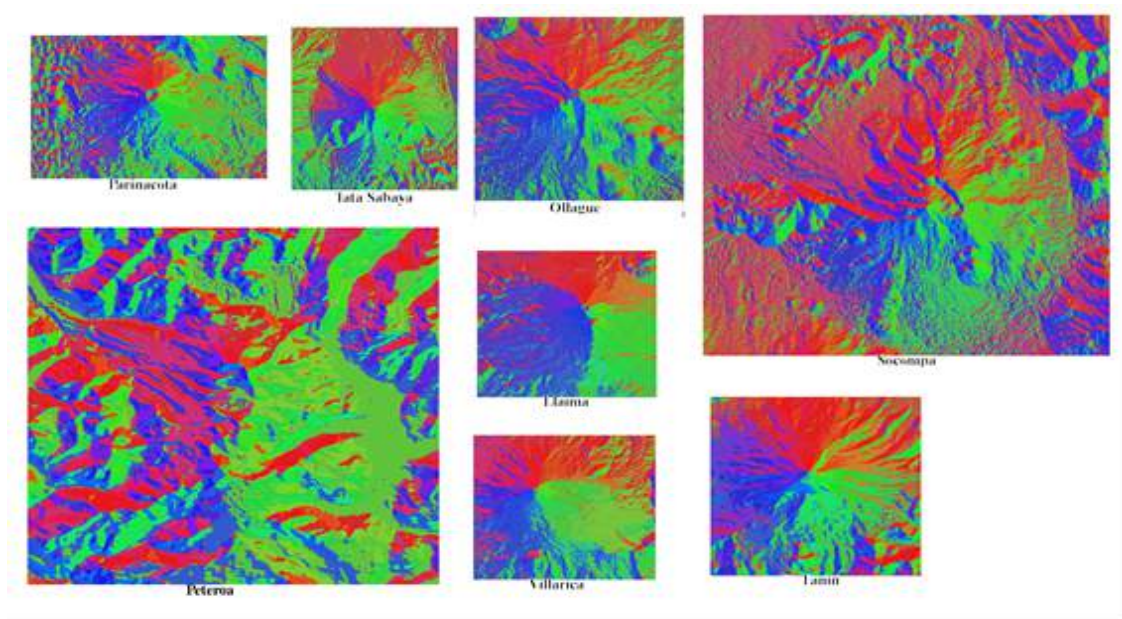


Figure 7- Thematic maps of the eight South-American volcanoes





*Table 2 - Mean and standard deviations on both slope and aspect in the 17 classes of the eight South-American volcanoes.*

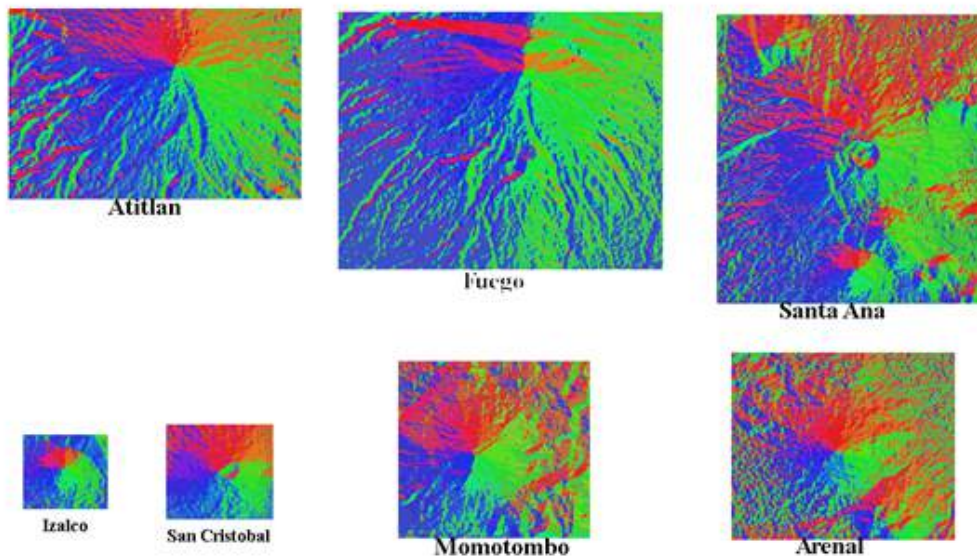


Figure 8 - Thematic maps of the eight Central-American volcanoes.



Table 3 - Mean and standard deviations on both slope and aspect in the 17 classes of the eight Central-American volcanoes.

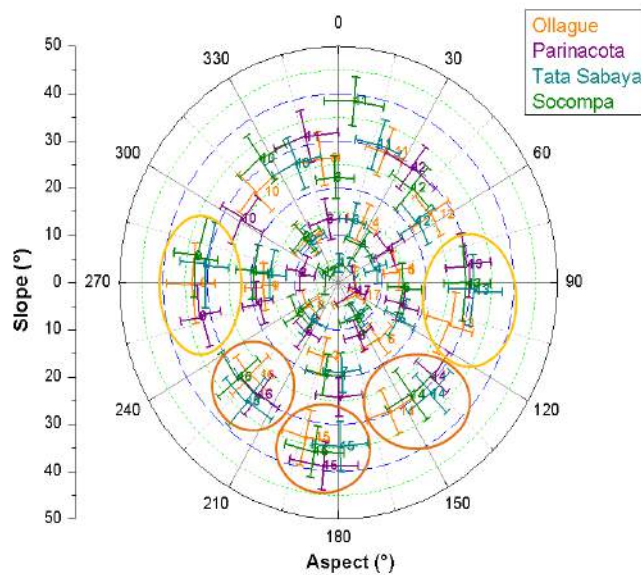


Figure 9 - Polar chart of the four South-American volcanoes Ollague, Parinacota, Tata Sabaya, and Socompa. All classes are centred to their means; the error bars correspond to the standard deviations of both slope and aspect.

For this task, we considered the mean angles of both aspect and slope of each class to pinpoint the appropriate Hue and Saturation respective values, according to the Hue-Saturation-Lightness(HSL) colour modelling [2]. As for the lightness a mean shadow value was chosen.

## THE RESULTS

The volcanoes thematic maps are reported in Figures 7 and 8 for South- and Central-America respectively. The sizes of the maps are proportional, thus comparable. As well, the pixels' colours represent both the aspect (through hue) and the slope (through saturation). Indeed, looking at the figures, the structure of the edifices is easily detectable. In Tables 2 and 3, both mean and standard deviation are reported of both slope and aspect of each class in the eight South-American and in the seven Central-Americans respectively. They are also represented in polar charts in which similar classes are more easily detectable.

The volcanoes *Ollagüe*, *Parinacota*, *Tata Sabaya*, and *Socompa* (Figure 9) exhibit similar classes facing SE, S, SW and, partially, W at about 30° slope range. Classes facing Eastwards appear clustered, even though more separated with respect to other

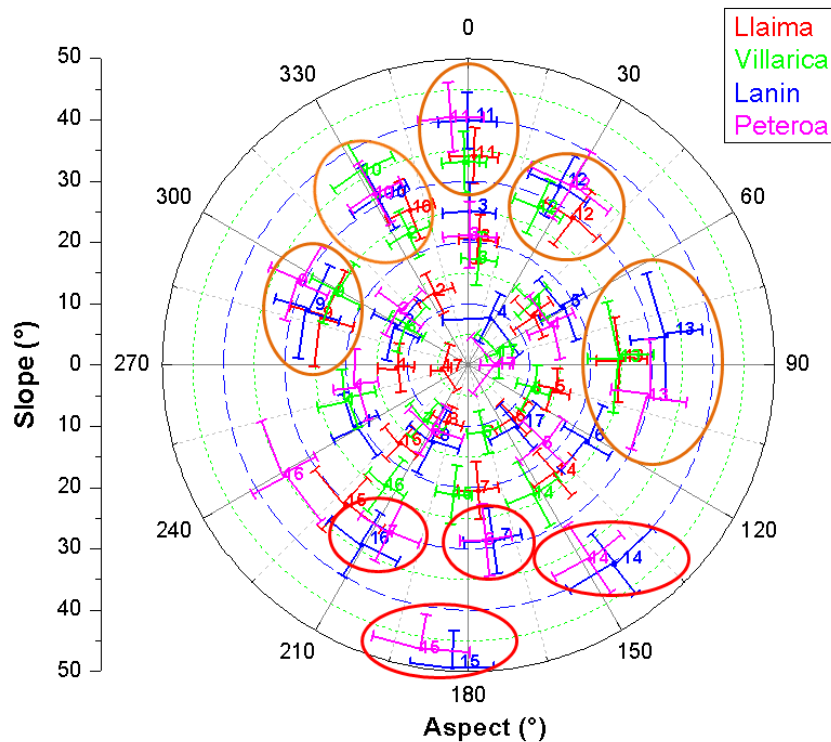


Figure 10 - Polar chart of the four South-American volcanoes Llaima, Villarica, Lanin, and Peteroa. All classes are centred to their means; the error bars correspond to the standard deviations of both slope and aspect.



directions, between  $25^\circ$  and  $35^\circ$  slope values. *Ollagüe* shows similar trends, towards *W*, *SW* and *S*, where appears clockwise scattered with respect to the other volcanoes, while it is quite well located within the main cluster toward *SE* and *E*. Classes facing *NW-N-NE* are not so clearly grouped as the ones facing South.

In the volcanoes *Llaima*, *Villarica*, *Lanin*, and *Peteroa* (Figure 10) the clusters of classes facing *SW-S-SE* are not so evident as for the previous volcanoes. In this case, clusters of classes oriented *N*,  $300^\circ$ ,  $330^\circ$  and  $30^\circ$  (orange circles and ellipses) appear. Another cluster results *E*-oriented, but more scattered

Finally, similarities result in four groups of classes facing South between *Lanin* and *Peteroa* (red circles and ellipses), including the steepest ( $45^\circ$  to  $50^\circ$  slope ranges) ones.

For what concerns the Central-American volcanoes, *Atitlán*, *Fuego*, *Izalco*, and *Santa Ana* (Figure 10, Northern latitudes) show classes facing *E* quite well clustered at about  $30^\circ$  to  $35^\circ$  slope values. Then, two clusters appear facing *NW* and *NE*, with about  $25^\circ$  to  $35^\circ$  slope values (orange circles and ellipses), whereas the North facing classes are more scattered. The classes oriented toward the Southern aspects, even though in a quite larger number exhibit a much scattered distribution. Finally, *Fuego* appears sometimes anomalous in its classes' distribution.

The classes of volcanoes *San Cristobal*, *Momotombo*, and *Arenal* (Figure 11, Southern latitudes) appear quite scattered around the rose diagram. As in the other volcanoes group, the East facing classes appear quite well clustered along about  $25^\circ$  to  $30^\circ$  slope values. In similar slope range, two other clusters are facing *SW* and *SE* values (orange circles and ellipses), matching the ones already observed in the Northern latitude Andes volcanoes. Only one cluster of low slope (yellow circle) appears facing *S*

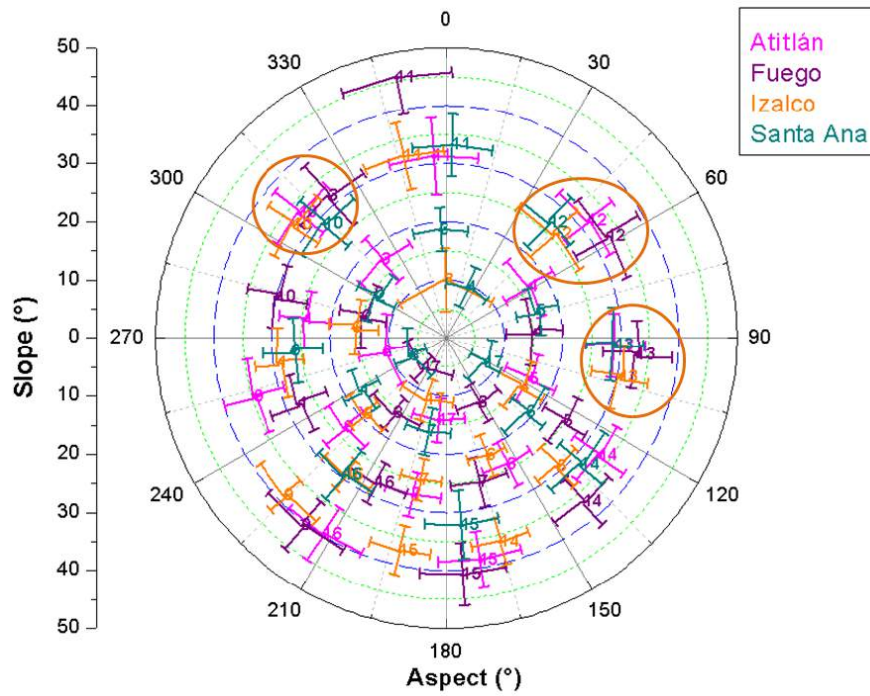


Figure 11 - Polar chart of the four Central-American volcanoes Atitlan, Fuego, Izalco, and Santa Ana. All classes are centred to their means; the error bars correspond to the standard deviations of both slope and aspect.

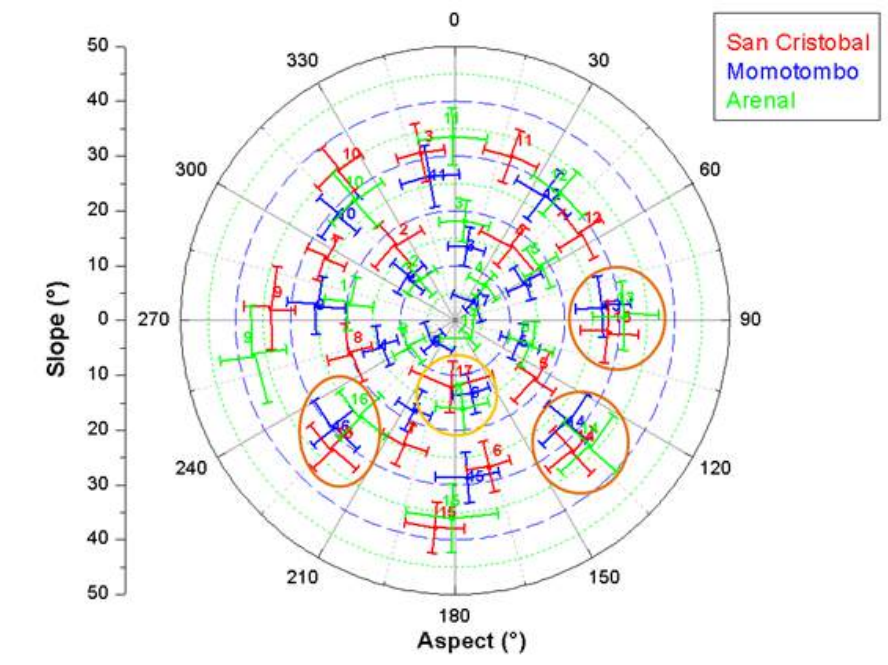


Figure 12 - Polar chart of the three Central-American volcanoes San Cristobal, Momotombo, and Arenal. All classes are centred to their means; the error bars correspond to the standard deviations of both slope and aspect.



## CONCLUSION

The distribution of classes shown in the four slope versus aspect plots seems to suggest a different geomorphological setting of the analysed volcanoes, according to their location with respect to the corresponding geotectonic region and underlain crustal plate.

In particular, the Andean volcanoes occurring along the Central Volcanic Zone (CVZ), that is *Ollagüe*, *Parinacota*, *Tata Sabaya*, and *Socompa*, exhibit three evident clusters of classes facing SW, S, and, less clearly, W and E. On the other hand, the volcanoes located in the Southern Volcanic Zone (SVZ), that is *Llaima*, *Villarica*, *Lanin*, and *Peteroa*, present classes' clusters toward the N facing aspects, even though not exactly opposite with respect to the ones located along CVZ.

A similar behaviour seems to be followed by the analysed Central-American volcanoes. In fact, *Atitlán*, *Fuego*, *Izalco*, and *Santa Ana* (Northern latitudes), occurring along the North-Western Chortis block, seem to exhibit clusters of classes facing NW, NE, and E, showing instead a quite scattered distribution of classes generically facing South. On the other hand, the volcanoes *San Cristobal*, *Momotombo*, and *Arenal* (Southern latitudes), located along the Southeastern Chorotega block, show three clusters of classes facing SW, SE, and E and a more scattered pattern of classes broadly facing South

It must be pointed out that, maybe due to the highest number of units (the pixels) involved in the study, even very small differences of average values among the classes of different volcanoes result statistically significant. This fact does not allow to state to what extent the resulting similarities are morphologically meaningful from the volcanological point of view. Therefore, these preliminary results must be further validated by deeper analyses and larger volcanoes data sets, in order to better understand and possibly confirm, these relations between volcanoes' geomorphological shape and underlain geotectonic setting

## ACKNOWLEDGEMENTS

This paper was developed in the framework of the collaboration of the first author as associated with the Institute of Acoustics and Sensor "O.M. Corbino" of the Italian C.N.R.. For the participation to the E-ICES 8 he was also granted by the Scientific Attaché of the Italian Embassy in Buenos Aires. These institutions are gratefully acknowledged.

## REFERENCES

- [1] P. Arabie, L. Hubert, 1994. *Cluster analysis in marketing research*, in R. J. Bagozzi (Ed.), *Advanced methods of marketing research*, London, Blackwell, pp. 160-189.



- [2] M. K. Agoston, 2005. *Computer Graphics and Geometric Modelling: Implementation and Algorithms*. London, Springer, pp. 300-306.
- [3] S. Camiz, 2001. Exploratory 2- and 3-way Data Analysis and Applications, *Lecture Notes of TICMI*, Tbilisi (Georgia), Tbilisi University Press, 2.
- [4] S. Camiz, J.J. Denimal, M. Poscolieri, 2011. "Comparison of Classification Methods on Geomorphometric Data of Peteroa Volcano Area", *Proceedings of the E-ICES 6*, Buenos Aires, CNEA, CD-ROM, ISBN 978-987-1323-21-0, pp. 19-29.
- [5] S. Camiz, M. Poscolieri, 2012. "Geomorphometric Maps of Volcanic Areas through Multidimensional Analyses", *Proceedings of E-ICES 7*, Buenos Aires, CNEA, pp. 57-66.
- [6] S. Camiz, M. Poscolieri, M. Roverato, 2013. "Comparison of three Andean volcanic complexes through Multidimensional Analyses of geomorphometric data", In: G. Bianchini *et al.*, *E-ICES 8 - Actas de trabajos Completos*, Buenos Aires, CNEA, pp. 52-74.
- [7] M.J. Carr, M.D. Feigenson, E.A. Bennett, 1990. "Incompatible element and isotopic evidence for tectonic control of source mixing and melt extraction along the Central American arc". *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **105**, pp. 369-380.
- [8] J.E. Clavero, R.S.J. Sparks, H.E. Huppert, 2002. "Geological constraints on the emplacement mechanism of the Parinacota avalanche, northern Chile". *Bulletin of Volcanology*, **64**, pp. 40-54.
- [9] S.L. de Silva, 1989a. "Altiplano-Puna volcanic complex of the central Andes". *Geology*, **17**, pp. 1102-1106.
- [10] S.L. de Silva, 1989b. "Geochronology and stratigraphy of the ignimbrites from the 21°30'S to 23°30'S portion of the Central Andes of Northern Chile". *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **37**, pp. 93-131.
- [11] S.L. de Silva, P. Francis, 1991. *Volcanoes of the Central Andes*. Berlin, Springer Verlag.
- [12] C. DeMets, 2001. "A new estimate for present-day Cocos-Caribbean Plate motion; implications for slip along the Central American volcanic arc". *Geophys. Res. Lett.*, **28**, pp. 4043-4046.
- [13] Y. Dzierma, H. Wehrmann, 2010. "Eruption time series statistically examined: Probabilities of future eruptions at Villarrica and Llaima Volcanoes, Southern Volcanic Zone, Chile". *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **193**, pp. 82-92.
- [14] A.D. Gordon, 1999. *Classification*. London, Chapman and Hall.
- [15] I.T. Jolliffe, 2002. *Principal Component Analysis*, New York, Springer, Springer Series in Statistics, 2<sup>nd</sup>ed.
- [16] L.E. Lara, J.A. Naranjo, H. Moreno, 2004. "Lanín Volcano (39°5'S), Southern Andes: geology and morphostructural evolution". *Rev. Geol. Chile* **31** (2), pp. 241-257.





- [17] W.P. Leeman, M.J. Carr, J.D. Morris, 1994. "Boron geochemistry of the Central American Volcanic Arc: constraints on the genesis of subduction-related magmas". *Geochim. Cosmochim. Acta*, **58**, p. 149.
- [18] J.A. Naranjo, M. Haller, 2002. "Erupciones holocenas principalmente explosivas del volcàn Planchon, Andes del Sur (35°15'S)". *Rev. Geol. de Chile*, **29**, pp. 93-113.
- [19] I. Parcharidis, A. Pavlopoulos, M. Poscolieri, 2001. "Geomorphometric analysis of the Vulcano and Nysiros island: clues of the definitions of their volcanic landforms". In: Giovannelli, F. (Ed.), *Proc. of the International Workshop The Bridge Between Big Bang and Biology*, Stromboli (Messina, It), 13 - 17 September 1999, CNR President's Bureau of the National Research Council pub., Special Volume, pp. 310-320.
- [20] M. Poscolieri, 2010. "Geomorphometry as a value added to land analysis". *Proceedings of the E-ICES 5 Conference*, Malargüe (Arg), 24-27 November 2009, pp. 236-244.
- [21] C.F. Ramirez, 1988. *The geology of Socompa volcano and its debris avalanche deposit, northern Chile*. MSc dissertation, Milton Keynes, UK, Open University.
- [22] C.R. Stern, 2004. "Active Andean volcanism: its geologic and tectonic setting". *Revista Geologia de Chile*, **31**, pp. 161--206.
- [23] B. Van Wyk de Vries, S. Self, P.W. Francis, L. Keszthelyi, 2001. "A gravitational spreading origin for the Socompa debris avalanche". *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **105**, pp. 225-247.
- [24] L. Vezzoli, A. Tibaldi, A. Renzulli, M. Menna, S. Flude, 2008. "Faulting-assisted lateral collapses and influence on shallow magma feeding system at Ollagüe volcano (Central Volcanic Zone, Chile-Bolivia Andes)". *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **171**, pp. 137-159.
- [25] R. von Hüne, C.R. Ranero, W. Weinrebe, K. Hinz, 2000. "Quaternary convergent margin tectonics of Costa Rica, segmentation of the Cocos plate, and Central American volcanism". *Tectonics* **19**, pp. 314-334.
- [26] C.H. Walther, J. Bialas, E.R. Flüh, 2000. "Crustal structure of the Cocos Ridge off Costa Rica-preliminary results from a seismic wide-angle experiment". *EOS. Trans. Am. Geophys. Un.*, Fall Meet. Suppl., p. 81.
- [27] H. Wehrmann, Y. Dzierma, 2011. "Applicability of statistical eruption analysis to the geological record of Villarrica and Lanín volcanoes, Southern Volcanic Zone, Chile". *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **200**, pp. 99-115.



# Desarrollo de Indicadores de Sostenibilidad para la producción de Plantas Ornamentales, Aromáticas, Medicinales y condimenticias bajo cubierta. Tucumán, Arg.

Canelada Lozzia, I <sup>1</sup>, Guillén, S. C<sup>1</sup>, Portas, A <sup>1</sup>, Grancelli, S. M <sup>1</sup>, Vidal, P .J <sup>1</sup>, Arraiza, M. P <sup>2</sup> y Monserrat, S <sup>1</sup>

*1 Facultad de Agronomía y Zootecnia. Universidad nacional de Tucumán, Av. Kirchner 1900. CP 4000. SM de Tucumán. Argentina.*

*2 Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid. España.*

E-mail: mariainescanelada@gmail.com

## RESUMEN

La producción de plantas ornamentales y plantas aromáticas, medicinales y condimenticias (PAMC) ocupa un lugar de importancia económica en Tucumán. La región agroecológica pedemonte, en las Yungas, constituye un ecosistema óptimo para el desarrollo de estas actividades productivas bajo cubierta por sus condiciones ecológicas y sus ofertas en recursos naturales. La sostenibilidad de los sistemas de producción es una demanda creciente. En la Facultad de Agronomía y Zootecnia de la Universidad nacional de Tucumán (FAZ), nuestro equipo de investigación trabaja en esta temática habiendo desarrollado modelos de valoración de la sostenibilidad tanto para agroecosistemas de cultivos de importancia regional como para las agroindustrias correspondientes. Hasta el presente no se ha reportado la introducción del manejo sostenible en los sistemas de producción de plantas ornamentales y PAMC bajo cubierta en la región del pedemonte y, considerando la importancia y el potencial que este sector productivo tiene en el NOA, el presente trabajo tiene como objetivo desarrollar un conjunto mínimo (CMI) de indicadores de sostenibilidad (IS) para los sistemas productivos mencionados.

Se trabajó con productores del pedemonte. Los IS se seleccionaron en base a modelos de evaluación de la sostenibilidad probados en agroecosistemas y agroindustrias de otras actividades de la región (Guillén 2008; Canelada 2010, 2011) regidos por la disposición de los indicadores en cuatro Temas (CDS-ONU, CEPAL): sociales, económicos, institucionales y ambientales. Para estos últimos se diferenció en IS en relación a los recursos naturales y al manejo que el productor hace de los mismos siguiendo el modelo PER (presión-estado-respuesta) de la OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development).



Como resultado se obtuvo un CMI con cuestionarios correspondientes para cada indicador separados por Temas para ser aplicados a los responsables de los sistemas productivos a valorar. Este trabajo constituye un inicio en la incorporación de la sostenibilidad en estos particulares sistemas productivos.

## INTRODUCCIÓN

En la Provincia de Tucumán, Argentina, la región agroecológica pedemonte, perteneciente a la ecoregión Yungas, constituye un ecosistema óptimo para el desarrollo de actividades agrícolas intensivas a campo y bajo cubierta por sus condiciones ecológicas y sus ofertas en recursos naturales. La producción de plantas ornamentales y plantas aromáticas, medicinales y condimenticias (PAMC) ocupa un lugar de importancia económica en Tucumán, y es el pedemonte, en el sector de plantas ornamentales, una de las regiones que mayor número de emprendimientos productivos presenta. Según la estadística nacional en la Provincia de Tucumán se cultivan 719.443 m<sup>2</sup> con especies ornamentales, en donde se estima que 66.426 m<sup>2</sup> son cultivos bajo cubierta. La producción de flores de corte está limitada por factores tecnológicos, socio-organizacionales, escala de producción y comercialización, mientras que la producción de plantines está mucho más tecnificada y la cadena de comercialización está mejor organizada. Tucumán es una de las provincias del NOA que lidera la producción de plantines florales anuales. El concepto de Desarrollo Sostenible ha generado nuevas perspectivas dentro de las disciplinas tradicionales como la Agricultura Sostenible, la que se define como “El manejo y la conservación de los recursos naturales y la orientación de cambios tecnológicos e institucionales de manera de satisfacer las necesidades humanas de forma continua para la presente y las futuras generaciones. La Agricultura Sostenible conserva el agua, el suelo y los recursos energéticos, animales y vegetales, no degrada al medio ambiente; es técnicamente apropiado, económicamente viable y socialmente aceptable” (FAO 2006). La definición de Agricultura Sostenible, establece que es un enfoque integral hacia la producción de alimentos, fibras y forrajes que equilibra el bienestar ambiental, la equidad social y la viabilidad económica entre todos los sectores de la sociedad, incluyendo las comunidades internacionales y generaciones futuras.

Sin embargo se pone en evidencia las dificultades tanto teóricas como prácticas, no sólo para resolver el problema de la no sustentabilidad, si no también de lo complejo que resulta asumir en su real dimensión el concepto y generar una definición de trabajo que sea práctica y útil, (Bybee 1991). Para cuantificar la sostenibilidad se utilizan Indicadores de Sustentabilidad. Estos resultan herramientas prácticas para ponderar y contrastar sistemas determinados para su estudio. Estos indicadores permiten calcular áreas comparativas ya que el concepto de sostenibilidad reviste ese carácter.



La sostenibilidad de los sistemas de producción es una demanda creciente tanto a nivel global como regional. En la Facultad de Agronomía y Zootecnia (FAZ), nuestro equipo de investigación trabaja en esta temática habiendo desarrollado modelos de valoración de la sostenibilidad tanto para agroecosistemas de cultivos de importancia regional como para las agroindustrias correspondientes comprendidos en el marco de Proyectos de Investigación Acreditados de Ciencia y Técnica (Sistema para la evaluación de la sostenibilidad agraria y el seguimiento de la producción agroalimentaria de calidad) (Guillén 2008, 2009; Guillén *et all* 2011; Canelada Lozzia 2010, Canelada Lozzia *et all* 2011). Así mismo se ha trabajado en plantas ornamentales y en PAMT en otros proyectos acreditados de Ciencia y Técnica y en Consorcios interuniversitarios con proyectos de la Universidad Politécnica de Madrid y financiados por AECI (Agencia de Cooperación Iberoamericana).

Hasta el presente no se ha reportado la incorporación del manejo sostenible en los sistemas de producción de plantas ornamentales y PAMC bajo cubierta en la región del pedemonte y, considerando la importancia y el potencial que este sector productivo tiene en el NOA, el presente trabajo tiene como objetivo desarrollar un conjunto mínimo (CMI) de indicadores de sostenibilidad (IS) para los sistemas productivos mencionados.

## MÉTODOS

El presente trabajo se realizó con los productores de plantas ornamentales y PAMC bajo cubierta de mayor relevancia productiva comprendidos en la región agroecológica del pedemonte en la Provincia de Tucumán.

Los IS fueron seleccionados conforme a la división de los indicadores en cuatro Temas propuesta por Organismos Internacionales desde sus áreas de Desarrollo Sostenible y Agricultura Sostenible (CDS-ONU 2007, CEPAL 2001, FAO 2006), diferenciándose en Indicadores sociales, económicos, institucionales y ambientales. Para estos últimos se diferenció en IS en relación a los *recursos naturales* y al *manejo* que el productor hace de los mismos siguiendo el modelo PER (presión-estado-respuesta) de la OECD (1993). Además se tomaron como referencias en la selección del Conjunto Mínimo de Indicadores de Sostenibilidad (CMI) a modelos de evaluación de la sostenibilidad probados en agroecosistemas de importancia en la Provincia de Tucumán tales como caña de azúcar y limón (Guillén 2008) y agroindustrias de limón y frutas finas (Canelada Lozzia 2010, 2011).

Realizada la selección de IS, se procedió a desarrollar cuestionarios con escalas de 1 a 4, siendo 1 el valor de menor sostenibilidad y el valor 4 el mayor. Estos cuestionarios se aplican posteriormente a los conductores de los sistemas productivos a valorar y con los resultados se generan gráficos de coordenadas polares obteniendo así valoraciones de la sostenibilidad por Temas (Guillén 2008, Canelada 2010)



## RESULTADOS

Como resultado de la selección de IS para sistemas productivos de plantas ornamentales y PAMC bajo cubierta, se obtuvo un CMI comprendidos en los cuatro Objetivos (Temas) de la sostenibilidad y en cada uno de ellos, diferenciados por Subtemas.

Se desarrollaron cuestionarios para ser aplicados a los conductores de los sistemas productivos a valorar, abarcando el CMI propuesto.

Considerando los 4 pilares de la sostenibilidad los IS seleccionados para sistemas productivos de plantas ornamentales y PAMC bajo cubierta, se muestran en las tablas 1, 2, 3 y 4.

INDICADORES AMBIENTALES		
TEMA	SUBTEMA	INDICADOR
Atmósfera	Cambio Climático	Emisión de gases de efecto Invernadero. Principalmente Bromuro de Metilo
Recursos Hídricos	Eficiencia en el Uso del Recurso	Cantidad de Agua Empleada
Suelo	Fertilidad	Fertilización, Manejo de sustrato
Flora	Diversidad	Riqueza

Tabla 1. Selección de Indicadores Ambientales para sistemas productivos de plantas ornamentales y PAMC bajo cubierta.

INDICADORES SOCIALES		
TEMA	SUBTEMA	INDICADOR
Equidad	Género	Relación de salarios entre hombres y mujeres
Salud	Atención Médica	Acceso a sistemas de salud
	Seguridad	Utilización de elementos de protección
Educación	Nivel Educativo	Nivel de Educación

Tabla 2. Selección de Indicadores Sociales para sistemas productivos de plantas ornamentales y PAMC bajo cubierta.



INDICADORES INSTITUCIONALES		
TEMA	SUBTEMA	INDICADOR
Capacidad Institucional	Comunicación e Infra-estructura	Acceso a la información (N° de trabajadores informados/ N° de trabajadores vinculados)
		Programa de elaboración de estadísticas ambientales nacionales
	Capacitación y formación	Horas totales acumuladas en capacitación
		Cobertura de la capacitación (n° de trabajadores capacitados/n° de trabajadores vinculados)
		Calidad de la capacitación (n° de trabajadores evaluados positivamente/n° de trabajadores evaluados)

Tabla 3. Selección de Indicadores Institucionales para sistemas productivos de de plantas ornamentales y PAMC bajo cubierta.

INDICADORES ECONÓMICOS		
TEMA	SUBTEMA	INDICADOR
Desempeño de la economía	Economía y finanzas	Productividad o Eficiencia (ingresos operativos/egresos operativos)
Estatus financiero	Sueldos y beneficios	Gasto de la empresa por sueldos y beneficios promedio en el año (monto erogado por pago a empleados /n° de empleados)

Tabla 4. Selección de Indicadores Económicos para sistemas productivos de de plantas ornamentales y PAMC bajo cubierta.

Para la obtención de valores de los IS seleccionados se desarrolló un cuestionario *ad hoc* para ser aplicado a los responsables/conductores de los sistemas productivos a valorar. (Tabla 5)

**Nombre del Establecimiento**

**Dirección**

**Fecha de la Encuesta**

**Nombre y cargo de la persona encuestada**



CUESTIONARIO PARA INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD PARA SISTEMAS DE PLANTAS  
ORNAMENTALES Y PAMTC

INDICADORES AMBIENTALES

Tema: **Atmósfera**

Subtema: **Cambio Climático**

a) ¿Durante el proceso de producción se utilizan gases que potencian el efecto invernadero?

- 1- empleo de bromuro de metilo en la desinfección de sustrato sin supervisión técnica (100%)
- 2- empleo de bromuro de metilo en la desinfección de sustrato con supervisión técnica (menor 100%) más otras técnicas
- 3- empleo de desinfectantes químicos (diferentes al bromuro de metilo)
- 4- desinfección del sustrato mediante métodos físicos: solarización, temperatura, etc.

Tema: **Recursos Hídricos**

Subtema: **Eficiencia en el uso del recurso**

b) ¿Controla los volúmenes de agua que emplea en su sistema productivo?

- 1- sin control de consumo
- 2- con registro- sin acciones
- 3- con registro + 1 acción
- 4- con registro + acciones (eficiencia en riego, cosecha de agua y otros)

Tema: **Suelo**

Subtema: **Fertilidad**

c) ¿Cuál es el origen del sustrato empleado?

- 1- extracción desconocida (81-100%)
- 2- extracción desconocida (51-80%)
- 3- extracción desconocida (21-50%)
- 4- extracción desconocida (menor 21%) + referencia (orgánico - sostenible)



Tema: **Flora**

Subtema: **Diversidad**

d) ¿Qué relación tiene el productor con la flora autóctona?

1-se modificó totalmente el agrosistema sin presencia de flora autóctona de la región

2-se modificó parcialmente el agrosistema, con presencia de flora autóctona menor al 10 % de la superficie

3- se modificó parcialmente el agrosistema, con presencia de flora autóctona entre 11% y 20 % de la superficie

4- se modificó parcialmente el agrosistema, con presencia de flora autóctona mayor a 21% de la superficie

### INDICADORES SOCIALES

Tema: **Equidad**

Subtema: **Género**

e) ¿Las mujeres cobran los mismos salarios que los hombres en el mismo puesto de trabajo?

1-0 - 20 %(casi nunca)

2- 21 - 50 %(a menudo)

3-51 - 80%(generalmente)

4-81 - 100 %(siempre)

Tema: **Salud**

Subtema: **Atención Médica**

f) ¿La mayoría de los empleados que tipo de prestación de salud tienen?

1-Sin prestación de salud (mayor al 90% sin prestación)

2-La estipulada por ley (más del 90% poseen la obra social correspondiente a la actividad de la empresa)

3-La estipulada por ley más el plan complementario (más del 90% además de la obra social de ley tienen una prestación de una asistencia prepaga)





4-Una Prepaga de primera línea (más del 90% recibe el beneficio de una obra social prepaga con las mayores prestaciones)

Tema: **Salud**

Subtema: **Seguridad**

g) Quienes manipulan los diversos productos ¿que elementos de seguridad utilizan?

1-no utilizan ningún elemento de protección

2-utilizan los mínimos elementos de protección

3-utilizan los requeridos por ley

4-utilizan todos los elementos necesarios para la manipulación de los productos.

Tema: **Educación**

Subtema: **Nivel Educativo**

h) ¿Qué nivel de instrucción tienen la mayoría de los trabajadores?

1-Bajo nivel de instrucción (mayor 90 % sin instrucción)

2-Instrucción intermedia-baja (más del 90 % con primario completo)

3-Instrucción intermedia (más del 90 % con secundario incompleto)

4- Instrucción intermedia-alta (más del 90 % con secundario completo-terciario)

### INDICADORES INSTITUCIONALES

Tema: **Capacidad Institucional**

Subtema: **Comunicación e infraestructura**

i) ¿Se les da a los empleados la información necesaria para la realización de sus tareas de forma simple y accesible?

1-no

2-rara vez

3-generalmente

4-siempre

Tema: **Capacidad Institucional**

Subtema: **Comunicación e infraestructura**

j) ¿En cuántos programas de estadísticas ambientales nacionales participa su empresa?

1- 0



2- 1-3

3- 4-7

4- 8 o más

**Tema: Capacidad Institucional**

**Subtema: Capacitación y formación**

k) ¿Cuántas horas se destinan por temporada para capacitación por empleado?

1-0

2-1-15

3-16-30

4-más de 31

**Tema: Capacidad Institucional**

**Subtema: Capacitación y formación**

l) ¿Qué relación de trabajadores es capacitada?

1- 0%

2- 1-25%

3- 26-75%

4- 76-100%

**Tema: Capacidad Institucional**

**Subtema: Capacitación y formación**

ll) De los trabajadores capacitados ¿que porcentaje dieron una evaluación positiva?

1- 0%

2- 1-25%

3- 26-75%

4- 76-100%

### INDICADORES ECONÓMICOS

**Tema: Desempeño de la economía**

**Subtema: Economía y finanzas**

m) ¿Cómo fue la productividad o eficiencia de la empresa en el año 2013? Calculados como:  
Ingresos operativos / Egresos operativos



- 1-negativa
- 2-ingresos =egresos
- 3-positiva
- 4-altamente positiva

Tema: **Estatus financieros**

Subtema: **Sueldos y beneficios**

n) ¿Cómo fue el pago por jornal de 8 hs promedio por empleado en el año 2013?

- 1-bajo
- 2-medio
- 3-correspondiente por ley
- 4-correspondiente por ley más adicionales

Tabla 5. Cuestionario *ad hoc* para ser aplicado a los conductores de los sistemas productivos de de plantas ornamentales y PAMC bajo cubierta.

## DISCUSIÓN

La metodología propuesta desde organismos internacionales como ONU, CEPAL y FAO donde se emplean IS comprendidos en los cuatro pilares de la sostenibilidad pudo ser aplicada para seleccionar los IS para sistemas productivos de plantas ornamentales y PAMC bajo cubierta.

Al incluir en los Indicadores Ambientales el manejo que el productor hace de los recursos naturales como agua y suelo la selección de indicadores se aproxima al modelo mismo PER (presión-estado-respuesta) de la OECD, salvando así la dificultad reintroducir indicadores ajenos a las tendencias de actividad local productiva de de plantas ornamentales y PAMC bajo cubierta en la región del pedemonte.

Los modelos específicos (Guillén 2008, Canelada Lozzia 2010, 2011) empleados como referencia constituyeron la base para la selección del CMI para sistemas productivos de plantas ornamentales y PAMC bajo cubierta. Se destaca la diferencia que en estos sistemas el recurso suelo se analiza de forma diferente a cultivos extensivos ya que en el caso de los sistemas intensivos bajo cubierta analizados se procede a emplear sustrato con mezclas compradas o bien formuladas in situ.



## CONCLUSIONES

El CMI desarrollado de 15 IS y los cuestionarios correspondientes constituyen una herramienta con un número manejable de indicadores, aplicables a los sistemas de producción de plantas ornamentales y PAMC

Se propone aplicar el CMI desarrollado y obtener Valores de Sostenibilidad en casos concretos de la región del pedemonte

Se propone ajustar el CMI desarrollado para otros sistemas de producción de plantas ornamentales y PAMC bajo cubierta como así también a campo y en otras regiones agroecológicas Este trabajo constituye un inicio en la incorporación de la sostenibilidad en estos particulares sistemas productivos.

## REFERENCIAS

[1] FAO Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (2006) Una propuesta de agricultura sostenible para la definición de buenas prácticas agropecuarias por pequeños y medianos productores. Seminario Taller Buenas Prácticas Agrícolas, Chile.

En <http://www.rlc.fao.org/prior/segalim/prodalim/prodveg/bpa/pdf/Ruiz.pdf> [Consulta Junio 2009]

[2] R. Bybee. 1991. *Planet Earth in crisis: how should science educators respond?* en The American Biology Teacher, 53 (3), pp. 146-153.

[3] S. C. Guillén, 2008. Modelo de Valoración de la sostenibilidad en agroecosistemas subtropicales. Tucumán, Argentina. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. España. 322 p.

[4] S. C. Guillén, 2009. *Quiénes y cómo evalúan la sostenibilidad. Una mirada desde los recursos naturales y el sector agrario*. Ed. Publifaz. Facultad de Agronomía y Zootecnia. Universidad Nacional de Tucumán, Argentina. 115 p.

[5] S. C. Guillén; S.M. Grancelli; M.C. Reguera; González M. del C.; M. I. Canelada Lozzia; J. Vidal; J. Manzur. 2011. Conjunto mínimo de Indicadores para evaluar la Sostenibilidad en cultivo de soja. Tucumán, Argentina. XXVIII Jornadas Científicas de la Asociación de Biología de Tucumán. Tucumán. Octubre 2011. ISBN 978-987-27528-0-4

[6] M. I. Canelada Lozzia. 2010 Desarrollo de indicadores para evaluar la Sostenibilidad en la Industria Citrícola-Tucumán-Argentina. Tesina Final de grado. Universidad Nacional de Tucumán. Argentina. 145pp.

[7] M. I. Canelada Lozzia; S. C. Guillén; P. J. Vidal y M. C. González. 2011. Desarrollo de un conjunto mínimo de indicadores (CMI) para valorar la sostenibilidad de plantas de empaque de frutilla y fruta fina. Tucumán-Argentina. VII Jornadas de Producción Vegetal y Quinta de Producción Animal del NOA. Tucumán. Junio 2011. ISBN 978-950-554-698-5 ISBN



[8] CDS Comisión de Desarrollo Sostenible de Naciones Unidas (2007). En <http://www.un.org/esa/sustdev/> [Consulta Marzo 2010].

[9] CEPAL. 2001. Indicadores Ambientales de Desarrollo sostenible: avances y perspectivas para América latina y El Caribe. Serie Manuales. N° 55

[10] OECD. 1993. Organization for Economic Cooperation and Development Core Set of Indicators for Environmental Performance Reviews. A Synthesis Reporter by the Group on the State of the Environment, OECD. Paris.



# Caracterización de la Columna Total de Ozono medido con el Espectrofotómetro Dobson en cuatro estaciones en la Argentina.

Carbajal Benítez, G <sup>(1)(2)</sup>, Cupeiro, M <sup>(1)</sup>, Sánchez, R <sup>(1)</sup>, Agüero, J. D <sup>(1)</sup>, Barlasina, M. E <sup>(1)</sup> y Nollas, F <sup>(1)</sup>.

<sup>(1)</sup> Departamento de Ciencias de la Atmósfera y Geofísica - GIDyC - Servicio Meteorológico Nacional. Av. De los Constituyentes 3454. CP.1427.CABA - Argentina.

<sup>(2)</sup> Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas e Ingeniería, PEPACG, Pontificia Universidad Católica Argentina. Av. Alicia Moreau de Justo 1300 C1107AAZ. CABA - Argentina.

E-mail: gcarbajal@smn.gov.ar, gcarbajal7@gmail.com

## RESUMEN

En la Argentina se monitorea durante todo el año la capa de ozono, a través de cuatro Espectrofotómetros DOBSON colocados en los siguientes Observatorios y Estaciones Meteorológicas: OBSERVATORIO CENTRAL DE BUENOS AIRES (OCBA) -34° 35' S, 58° 22' O, ESTACIÓN COMODORO RIVADAVIA (CRv) -45° 52' S, 67° 30' O, ESTACIÓN USHUAIA VAG (Ush) -54° 48' S, 68° 18' O y ESTACIÓN ANTÁRTICA MARAMBIO (Mbi) -64° 14'S, 56° 38' O.

El objetivo de este trabajo es analizar las series temporales (promedios mensuales) producidas en los lugares de medición, con la finalidad de verificar las tendencias y algunos aspectos característicos de la capa de ozono (por ejemplo, variación inter-estacional), en esas latitudes.

Las series de tiempo en las estaciones OCBA, CRv y Mbi, presentan tendencias negativas, aunque no significativas, mientras que Ush tiene tendencia positiva, no significativa. Por lo tanto se puede pensar que la capa de ozono se ha permanecido invariable a lo largo del tiempo y en esos puntos de medición, durante el periodo de medición.

En Mbi no se mide durante los meses de Mayo, Junio y Julio, debido a que la noche polar y las condiciones climáticas son desfavorables para realizar las mediciones. Hay un alto gradiente debido a la formación del agujero de ozono para los meses de Agosto, Septiembre, Octubre y en ocasiones Noviembre. Situación que se ve reflejada en el periodograma con un ciclo anual bien establecido. Ush está ubicada al borde del vórtice polar, por lo tanto presenta una gran variabilidad, debido a que cuando pasa el agujero de ozono por la ciudad, presenta valores bajos de ozono, rebasando el umbral de los 220 UD. El OCBA y CRv son más estables, con un ciclo inter-estacional bien definido.



## INTRODUCCIÓN

El ozono es un gas que se distribuye en la atmósfera desde la superficie hasta poco más de 45 Km. de altura, alcanzando su máxima concentración promedio global en la parte baja de la estratosfera a aproximadamente 25 Km. de altitud. Dentro de la estratosfera, el ozono tiene la capacidad de absorber Radiación Ultravioleta denominada UVC, en el rango de longitud de onda de 220 a 290 nm. Cuando el ozono absorbe la radiación UVC, genera calor, consecuentemente se incrementa la temperatura en la estratosfera. Este efecto produce una inversión térmica dentro de la misma estratosfera, reduciendo la dinámica, particularmente el movimiento vertical, por lo tanto es una capa más estable que la tropósfera.

La comunidad científica considera que el 90% del ozono en la Atmósfera, se encuentra en la estratosfera, mientras que el 10% restante, está en la tropósfera. Al medir la Columna Total de Ozono (COT) podemos estimar o cuantificar el contenido de ozono estratosférico. La unidad de medición que se usa es la Unidad Dobson (UD). Mil UD equivalen a una columna de ozono de un centímetro de espesor en condiciones normales de presión (1atm) y temperatura (273 K).

En la Argentina, existen cuatro Espectrofotómetros Dobson operados por personal del Servicio Meteorológico Nacional, quienes a su vez se encargan también del mismo modo de las calibraciones, mantenimiento e intercomparación de dichos equipos. El objetivo de este trabajo es analizar las series temporales (promedios mensuales) producidas en los lugares de medición, con la finalidad de verificar las tendencias y algunos aspectos característicos de la capa de ozono (por ejemplo, variación inter-estacional), en esas latitudes.

## MÉTODOS O DESARROLLO EXPERIMENTAL

### PLANTEO DEL PROBLEMA

Se realiza una caracterización de los cuatro puntos de medición del ozono total, con la finalidad de monitorear la capa de ozono en aturas estratosféricas. En los últimos 5 años el agujero de ozono se presenta menos intenso y se está cerrando antes de lo habitual, esto es mediados de Noviembre, cuando era normal que se cerrara en Diciembre [1]. De acuerdo a las proyecciones del Protocolo de Montreal, posteriormente ratificado en el Protocolo de Viena, se menciona que la reducción total de los compuestos destructores de la capa de ozono (Clorofluorocarbones), propiciaría una recuperación de dicha Capa de Ozono a partir del 2015. Por tal motivo, que la comunidad científica está tan interesada en observar su comportamiento en años venideros.



## PRINCIPIOS BÁSICOS DEL ESPECTROFOTÓMETRO DOBSON

Desde 1958 el Espectrofotómetro Dobson (Figura 1) ha sido desarrollado para formar una red a nivel mundial. El instrumento mide el valor de la columna total de ozono con una precisión del 2 al 3% [2] para elevaciones solares mayores a 15°. Este es un instrumento grande, que recibe dos haces de luz, se controla manualmente y basándose en el método de diferencia de absorción en la banda ultravioleta de Huggins, en donde en el ozono presenta una fuerte absorción. El principio de la medida depende de la relación de la intensidad de la luz del sol a dos longitudes de onda. La combinación de pares usados es “a sol directo” (doble par AD) 305.5 -325.4; 317.6 - 339.8 nm.

En el primer par, la primera longitud de onda (305.5 nm) es atenuada en la alta atmósfera por el ozono y reduce su intensidad al llegar a la superficie de la tierra, mientras que la segunda longitud de onda (325.4 nm) no es absorbida por el ozono, por lo tanto, a través de una diferencia comparativa de las intensidades, podemos determinar el ozono total. En la práctica tomamos el par AD debido a que la dispersión actúa en forma similar en la longitud de onda A y D. Esto nos lleva a un mejor resultado de la absorción de ozono y como afecta la radiación luminosa que nos llega.

La derivación de las ecuaciones matemáticas que se usa para calcular el ozono total por el Espectrofotómetro Dobson se puede encontrar en el trabajo de Dobson [3].

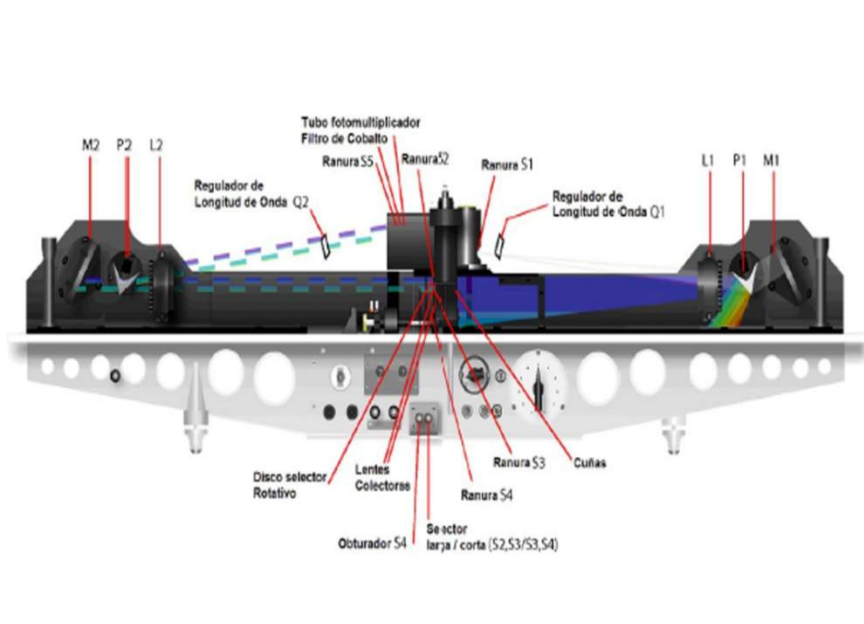


Figura1. Espectrofotómetro Dobson





### MEDICIÓN CON EL ESPECTROFOTÓMETRO DOBSON

Son cuatro instrumentos instalados a lo largo de la Argentina. Su ubicación geográfica, así como el tiempo histórico de medición para cada uno de los equipos, se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Lugar Geográfico y series de tiempo históricos para este trabajo, Dondel es la latitud,  $f$  es la longitud,  $H$  la altura de la estación, #D el identificador del instrumento a nivel global y  $t$  las serie de tiempo.

SITIO	$\lambda$	$\phi$	H	#D	$\tau$
Buenos Aires	34°35'S	58°29'O	25	097	10/1965 - 08/2013
Comodoro Rivadavia	45°47'S	62°28'O	47	133	09/1995 - 08/2011
Ushuaia	54°50'S	68°18'O	12	131	09/1994 - 08/2013
Marambio	64°14'S	56°37'O	0	099	01/1998 -08/2013

### CALIBRACIÓN DE LOS ESPECTROFOTÓMETRO DOBSON

Las calibraciones de los Espectrofotómetros Dobson se realizan según protocolos publicados [4] en el Manual de Operación de los Espectrofotómetros Dobson, editado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM). En dicho manual menciona dos tipos de calibración que son “relativas y absolutas”.

Las calibraciones relativas se realizan una vez por mes y constan de tres procedimientos.

1. Ajustes de las ópticas. Los componentes ópticos de los Dodson (lentes, prismas las ranuras, etc.) a menudo se desajustan, debido a defectos de fabricación o por el paso del tiempo, por lo tanto, hay que corregir constantemente este inconveniente.
2. Calibración de Q. Los Espectrofotómetros Dobson, tienen dos palancas designadas Q1 y Q2, las cuales giran y hacen controlan los pares de longitud de onda A, B, C, C', D. Estos se ajustan cada vez que se realiza una medición, debido a la variación de la temperatura que modifica el índice de refracción del cuarzo y la dilatación del metal.
3. Calibración de la cuña óptica. Con esta calibración se determina las tablas de densidad de la cuña que se relaciona con la lectura del disco-R del instrumento, mediante la razón logarítmica del haz de longitud de onda, o simplemente las tablas  $R$  VS  $\log(I/I') + K$ , donde  $K$  es la constante del instrumento. Este tipo de calibración se realiza debido a que la transmisión relativa de la cuña óptica debe ser conocida para estimar con alto grado de precisión la intensidad relativa de los haces de longitud de onda en los cuales se efectúa la observación.



Las calibraciones absolutas se realizan de tres maneras distintas: Primero, intercomparando dos instrumentos directamente, obviamente uno de ellos debe ser un patrón estándar. Segundo; efectuando tipos especiales de observaciones de sol directo. Tercero; usando lámparas de un instrumento calibrado para calibrar otro instrumento no calibrado.

### LOS DATOS

Las observaciones son una combinación de las medidas de las diferencias de pares de longitud de onda. En este trabajo se ha usado los pares de longitud de onda A y D, para la obtención de los valores de Ozono Total.

En el campo experimental, se sabe que una sola medida no es suficiente, es necesario por lo menos hacer dos para tener una mayor precisión en el resultado, de esta manera también conocemos la evolución en el día del ozono total y la estabilidad atmosférica, tales como la presencia de aerosoles en la atmósfera. Para las estaciones nombradas, se realizan medidas con frecuencia horarias, siempre y cuando se den las condiciones apropiadas, durante los 365 días del año.

Para este trabajo solo se han considerado medidas a Sol Directo (DS), las cuales se basan en la física misma de la medida. También es importante mencionar que otras técnicas que se usan tienen su base en la estadística, formadas a partir de las mediciones a Sol Directo con observaciones Cenitales; Zenith Blue (ZB) y Zenith Cloud. Para usar el más alto rango posible del instrumento, se realiza con un bajo  $\mu$  ( $m$ ) (Masa de Aire Óptica de la Capa de Ozono)

Entonces, las mediciones del par doble AD a DS con un filtro de cuarzo pulido en la ventana de entrada (AD-DSGQP) son las más confiables y por lo tanto las más usadas. Los tipos de observaciones en un momento dado, dependen de las condiciones del cielo, el ángulo cenital solar (SZA) y de las características propias del instrumento. Por ejemplo, las observaciones AD-DSGQP solo se realizan a cielo despejado y con el sol alto en el zenit ( $m < 3.0$  o el SZA  $< 70$  grados). Cuando la elevación del sol es mayor de  $80^\circ$  (SZA =  $10^\circ$  o  $m = 1.015$ ), el director solar (periscopio) del instrumento resulta inútil y por lo tanto las observaciones AD-DSGGQP no se pueden realizar.

### PROCESAMIENTO DE LOS DATOS

El ozono total representa al espesor total de la columna de ozono mediante Unidades Dobson (UD) definida como el espesor óptico de 0.001 mm a temperatura y presión estándar. Las series de tiempo se componen de las desviaciones de cada valor, respecto a la media de toda la serie mensuales de ozono total. Se minimiza las variaciones estacionales, examinando las tendencias a través de ventanas móviles de 3 años de las series de tiempo. En los cuatro casos, se observa un



bajo coeficiente de correlación, indicativo que las líneas de tendencias solo tienen pequeños cambios en el porcentaje de variación del Ozono Total.

Se calcula el ciclo intraestacional, es decir, como varía la cantidad de ozono y las variaciones que se presentan mes a mes durante todo el año. Posteriormente se realiza a la serie de datos un análisis espectral, con el objetivo de observar cualquier otra posible variación, aparte de la del ciclo estacional.

Por último se utiliza un filtrado de datos a través de series de Fourier para el análisis espectral.. Con ésta técnica podemos conocer los factores que están influyendo en la COT en los cuatro puntos de medición.

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Un resumen de la estadística obtenida se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. La estadística básica de los cuatro puntos de medición. N=número de datos,  $\bar{X}$  = Media,  $s^2$  = Varianza,  $s$  = desviación Estándar, Mi = valor Mínimo y Mx = Valor Máximo.

	N	$\bar{X}$	$\sigma^2$	$\sigma$	Mi	Mx
<b>OCBA</b>	562	283	285.7	19.6	246	332
<b>CRv</b>	206	291	550.9	23.4	247	349
<b>Ush</b>	212	287	392.2	19.8	247	369
<b>Mbi</b>	184	258	1355.4	36.8	165	354

Los valores medios de la COT son muy similares para los cuatro puntos de medición, siendo el mayor valor para CRv y el menor para MBI. De la misma manera, la valores mayores de dispersión se encuentra en MBI y los menores los comparten OCBA y Ush. El valor promedio mensual mínimo se presenta en MBI y el valor máximo lo presenta Ush, pero muy similar en MBI. Esto se observa mejor en la figura 2 donde se muestra el esquema del comportamiento de las cuatro estaciones de medición.

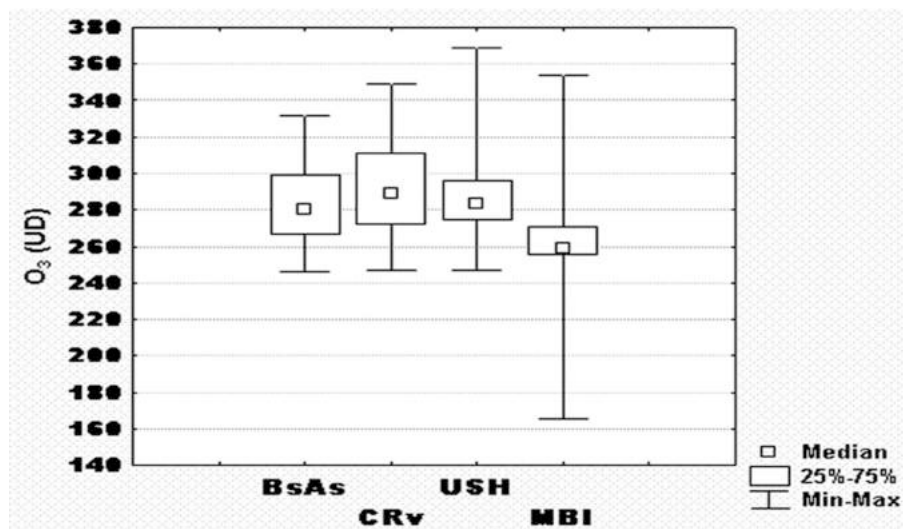


Figura 2. Se muestra la media de todas las series, los cuantiles entre 25% y 75%, así como los valores Máximos y Mínimos.



La mayor amplitud se presenta en Mbi, debido a que al inicio de la primavera se forma el Agujero de Ozono, es decir, la destrucción de ozono es por debajo de los 220 UD, mientras que el resto del año tenemos transporte de ozono desde el trópico. Ush se encuentra en el borde del vórtice Polar, lo que hace que principalmente en primavera, se acumule ozono transportado del ecuador, debido a que no puede ingresar al vórtice por las diferencias de temperatura y muy contadas ocasiones el agujero de ozono pasa por la ciudad de Ushuaia, modulando así la estadística.

Las tendencias de la COT se muestran en la figura 3. Se observa que en el OCBA, CRv y Mbi, un aparente decrecimiento con  $-0.086$ ,  $-0.61$  y  $-0.10$  por año. Caso contrario sucede en Ush que la tendencia de la serie de tiempo se incrementa  $+0.13$  por año. En otras palabras, el porcentaje de cambio equivale en el OCBS a un decrecimiento de  $0.3\%$  por década. La estación CRv ha disminuido a  $2.08\%$  por década. La estación Mbi se ha reducido en  $0.4\%$  por década. Finalmente, le estación Ush ha incrementado el  $0.4\%$  por década.

La variabilidad interanual hace que el análisis de las tendencias sea notablemente sensible a la longitud de las series de tiempo [5]. Particularmente la causa de la variabilidad interanual en los cuatro puntos de medición, se debe primordialmente a la variabilidad de los patrones de la circulación estratosférica relacionados a la anomalía de los flujos de la actividad de las ondas planetarias desde la troposfera, emisión de sustancias de tipo antropogénicas que afectan el ozono en la estratosfera, emisiones volcánicas, flujos solares y en la Oscilación Cuasi-Bienal (QBO).

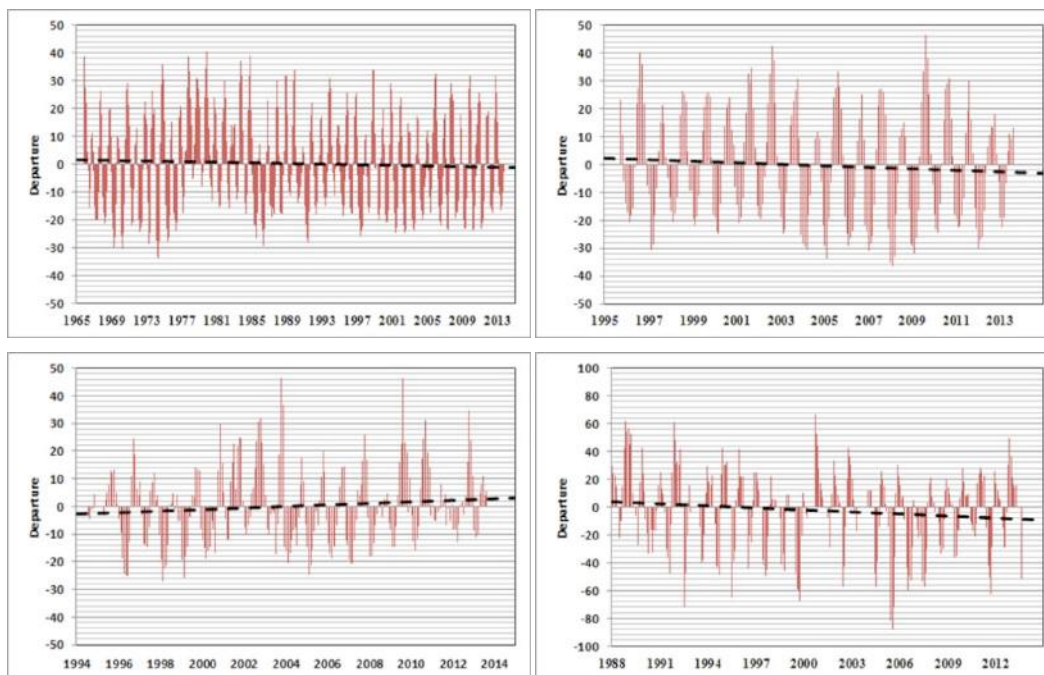


Figura 3. Tendencias de las series de tiempo de COT: Arriba a la izquierda, OCBA. Arriba a la derecha, CRv. Abajo a la izquierda, Ush. Abajo a la derecha, Mbi.



Las correlaciones de las pendientes en los cuatro casos son bajas, debido a la alta variabilidad interanual en las series de tiempo. La variabilidad interanual está definida por las cuatro estaciones del año, máximas desviaciones en verano e invierno, mientras que cercanas a bajos valores en las estaciones de transición; primavera y otoño.

La mayor componente de la variación de COT en medias latitudes es el ciclo estacional, el cual es controlado por el balance entre el transporte asociado con la circulación media diabática de la estratosfera, mejor conocida como la circulación Brewer-Dobson y la pérdida fotoquímica en esas latitudes [6]. En la figura 4 se muestran la variación estacional en los cuatro puntos de medición. La evolución mensual sobre OCBA y CRv son muy similares y se caracterizan por una disminución hacia los meses de Enero, Febrero, Marzo y Abril (Fin del verano e inicio del Otoño), cuando la Fotoquímica domina sobre el transporte. Es decir, conforme avanza el otoño, disminuye el flujo de radiación solar, por lo tanto decrece la actividad fotoquímica y crece el efecto del transporte sobre el fotoquímico. La acumulación de ozono se desarrolla en los meses de Agosto, Septiembre, Octubre y Noviembre (Fin del Invierno y toda la primavera) en esta situación es cuando el transporte predomina sobre la fotoquímica. De esta manera se tiene este ciclo año con año.

En el OCBS el valor mayor de COT es en el mes de Septiembre, 332 UD y el valor mínimo se tiene en Marzo con 246 UD. Mientras que en CRv el valor mayor se encuentra en el mes de Octubre, presentando 349 UD y el valor mínimo en el mes de Febrero, mostrando 247 UD. Los resultados son consistentes con algunos de los trabajos efectuados en el Hemisferio Norte, la diferencia es que los valores de la COT son mayores, debido a que existen más ondas planetarias que transportan más ozono, ondas que se generan a partir de la mayor cantidad de masa continental, mientras que en el Hemisferio Sur, hay menos ondas que en el Hemisferio Norte, por lo tanto menos transporte y menos cantidad de ozono [7].

Las observaciones obtenidas en Ush son consideradas distintas a las dos estaciones anteriores, en el sentido de su ubicación. La estación VAG Ushuaia se encuentra en la primavera al borde del vórtice polar (Agujero de Ozono) y durante esta estación del año, se pretende estudiar los mecanismos de transporte que arrastra el aire hacia latitudes medias en la fase de disolución del vórtice y estudiar el grado de aislamiento de la frontera de dicho vórtice donde el gradiente de Vorticidad Potencial (PV) es máximo.

El comportamiento de la COT en Ush muestra que los primeros 8 meses del año (Enero a Agosto) el comportamiento es muy similar al OCBA y CRv. Es decir, los primeros 4 meses del año (Enero, Febrero, Marzo y Abril) el fenómeno que predomina es la fotoquímica (Mayor flujo solar) por encima del transporte. Posteriormente en Mayo, Junio, Julio y Agosto (Menor flujo solar) con la finalización del otoño e inicio del invierno, empieza a dominar el transporte sobre la fotoquímica, lo que hace incrementar y acumular los valores de la COT. Durante los meses de Septiembre, Octubre y Noviembre, termina el invierno y empieza la primavera, lo que conlleva al inicio de la



formación del Agujero de Ozono, situación que perturba al ciclo estacional en Ush. El agujero de ozono o vórtice polar, no es simétrico y sufre deformaciones y elongaciones, por lo cual dicho agujero de ozono, tiende a pasar por la Ciudad de Ushuaia, en repetidas ocasiones durante este período. El ozono acumulado que no puede entrar al vórtice, gira alrededor de él y también tiende a pasar por la ciudad de Ushuaia. Todo esto hace que exista una gran variabilidad, valores diarios por debajo de 220 UD y valores altos arriba de 360 en períodos muy cortos, que comparados que comparados con las otras estaciones, son los más grandes.

La Estación Antártica Marambio se encuentra en la Península Antártica, lo que dificulta en la época de invierno realizar las observaciones con el Espectrofotómetro Dobson (ver figura 4) debido a la oscuridad, intenso frío y fuertes vientos. En la altura, los vientos fuertes (Jet polar) forman un anillo alrededor de la Antártida, lo cual atrapa el ozono y algunas sustancias destructoras del mismo, impidiendo salida y entrada de masas de aire. Al iniciar la primavera, en septiembre, la radiación solar inicia la cadena de reacciones dentro del vórtice polar, reduciendo la cantidad de ozono a valores por debajo de las 220 UD, formándose de esta manera, el Agujero de Ozono. Esta situación permanece hasta Octubre y mediados de noviembre. Posteriormente, a finales de Noviembre, la masa de aire caliente dentro, rompe con el vórtice Polar y entran masas de aire rico en ozono, que se mezclan con las masas de aire pobre en ozono, resultando un incremento en los valores de dicho gas y la finalización de la temporada de Agujero de Ozono. La gran amplitud de la variación estacional confirma que la COT es afectada por el comportamiento dinámico del Vórtice Polar y las condiciones de la Onda Planetaria [8][9].

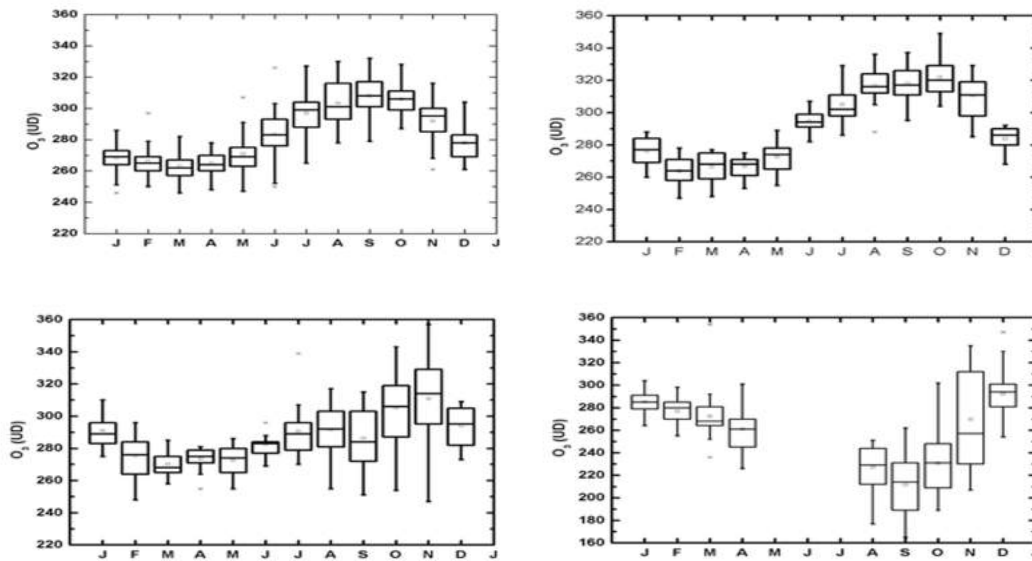


Figura 4. Variación estacional para los cuatro puntos de Medición. Arriba a la Izquierda, OCBS. Arriba a la derecha, CRv. Abajo a la Izquierda, Ush y Abajo a la derecha, Mbi.

El análisis espectral de las cuatro series de tiempo de las medias mensuales de la COT se pueden observar en la figura 5. En los gráficos se muestran algunos de los mecanismos que podrían afectar la variación de las concentraciones de la COT. Como factor común, en los cuatro esquemas se observa que el pico predominante es a los 12 meses (cada año) que representa la variación estacional causada debido a la circulación meridional. Adicionalmente en los cuatro casos presentan el efecto de la Oscilación Cuasi Bienal (QBO) aproximadamente con un ciclo de 2.5 a 3 años y el ciclo de manchas solares de 11 años. Para el caso de OCBA y CRv, los picos más altos después del ciclo anual es de 2.3 años (28.4 meses) y 1.8 años (21.6 meses), respectivamente. Pero en Ush y Mbi están presentes las señales de la QBO, eliminar con picos menores, indicando que existen otros factores que tienen mayor influencia. Para Ush el pico tiene un período de 1.75 años (20.7 meses) y para Mbi es más definido con 2.3 años (28 meses). La influencia del ciclo solar es mucho más definida en el OCBA, que en CRv. Presentando un período de 11.8 años (142 meses) y 9 años (108 meses), respectivamente. Ush y Mbi están más al sur, pero también presentan concordancia con el ciclo solar, mostrando una periodicidad de 9.5 años (114 meses) y 9 años (108 meses). En los cuatro casos presentan picos en la baja frecuencia (alta periodicidad) lo que puede representar, es la tendencia secular de la COT para todo el lapso de los datos. Esta tendencia secular es probable que sea el resultado de la emisión antropogénica de los CFC's. Algunos resultados similares se han encontrado en el hemisferio norte, donde hay una estrecha relación y la COT está asociada con la variabilidad estacional, la QBO y el ciclo de manchas solares [10]. Finalmente, Ush y Mbi presentan un ciclo intraestacional de 6 meses, lo



que podría sugerir la presencia del vórtice polar, pero habría que estudiar más a fondo para concluir fehacientemente.

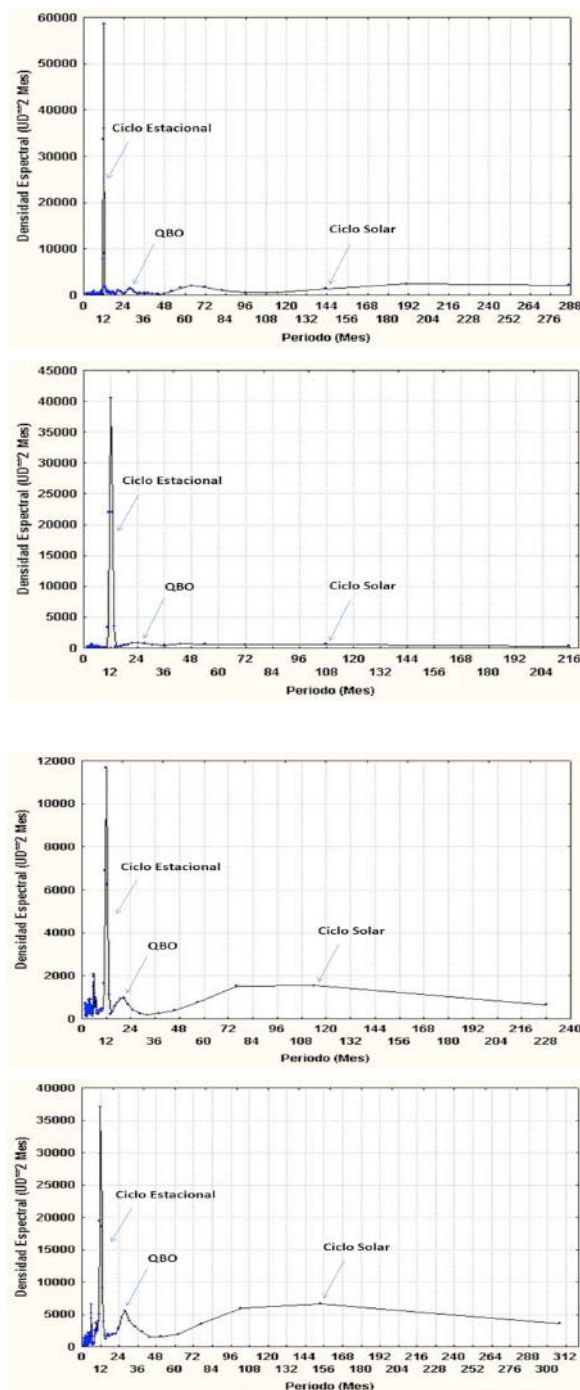


Figura 5. Periodogramas obtenidas de las series de tiempo de la COT. a) OCBS. b) CRv. c) Ush y d) Mbi.





## CONCLUSIÓN

Se analizaron las series de tiempo de distintas longitudes de las medias mensuales de la COT para cuatro puntos de medición en la Argentina, utilizando Espectrofotómetros Dobson, de las cuales se obtuvo la estadística básica de cada una de ellas. Las cuatro estaciones tienen características distintas en latitud, salvo OCBA y CRv que pertenecen a latitudes medias. Ush que está al borde de formación del Vórtice Antártico y Mbi que se encuentra dentro del mismo. Ush y Mbi presentan la mayor dispersión de datos iniciando la primavera, debido a la formación del Agujero de Ozono. El análisis de las tendencias muestra que OCBA, CRv y Mbi son negativas, es decir, un decrecimiento aunque no significativo, mientras que en Ush la tendencia es positiva y posiblemente, se deba a que la ciudad de Ushuaia está al borde del vórtice polar y la mayoría de las ocasiones se encuentra fuera, por lo que el ozono transportado se acumula en la orilla de dicho vórtice polar. Otra característica de las tendencias es la alta variabilidad asociados con la variación interanual [11].

Los ciclos estacionales en OCBA y CRv, están bien definidos y modulados por la fotoquímica (Mínimos en Enero, Febrero y Marzo) y el transporte del ozono estratosférico (Máximos en Septiembre Octubre y Noviembre), que va desde el ecuador hasta los polos. Mientras que Ush y Mbi, presentan gran variación debido al vórtice polar.

Finalmente, el análisis espectral que muestra que en los cuatro puntos la variación estacional tiene una marcada influencia. Separadamente, en OCBA y CRv influye más la QBO que el ciclo de las manchas solares. Ocurre lo contrario en Ush y Mbi, que tienen una mayor influencia el ciclo solar sobre la QBO. Además, estas dos últimas estaciones muestran un pico interestacional de 6 meses, que posiblemente esté asociado a la formación del vórtice polar, lo cual requerirá estudios que profundicen en el tema, para confirmar ésta situación.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Braathen G. 2013 “Ozone Bulletin 2013” WMO. <https://www.wmo.int/pages/prog/arep/WMOAntarcticOzoneBulletins2013.html>.
2. Komyr W. D., R. D. Grass, and R. K. Leonard (1989) Dobson Spectrophotometer 83: A Standart for Total ozone measurement, 1962-1987, J. Geophys., Res, 94, 9847-9861, doi:10.1029/JD094iD07p09847.
3. Dobson G. M. B. (1957) “Observer Handbook for the ozone spectrophotometer” Annals of the International Geophysical Year, V, Part1, 46-89, Pergamon Presss.



4. Komyr W. D. (2008) Operation Handbook - Ozone Observation with a Dobson Spectrophotometer, GAW Report 183, World Meteorological Organization (WMO).
5. Weatherhead E. C., Reinsel C. C., Tian G. C., (1988) Factors affecting the detection of trends: Statistic considerations and applications to environmental data. *Journal of Geophysical Research* 107(D14), 17149-17161.
6. Tung K. K. & Yang H (1988) Dynamic Stability of Column Ozone, *Journal of Geophysical Research* 93, 11123-111128.
7. Anton M., Bortoli D., Cosat M. J., Kulkarni P. S., Domingues A. F., Barriopedro D., Serrano A., and Silva A. M. (2011) Temporal and Spatial variabilities of total ozone column over Portugal. *Journal ELSEVIER, Remote Sensing of Environment*, 115, 855-863.
8. Carswell A. I. Donovan, D. P. Bird, J. C. Duck, T. J. Pal, S. R. and Whiteway, J. A. (1996) Measurements at the Eureka Arctic NDSC station with a Raman DIAL system. In: A. Ansmann, and R. Neuber, (eds.) *Advances in Atmospheric Remote Sensing with Lidar*, Springer Verlag, Berlin
9. Ganguly N. D., and Joel V. (2010) Long Term Trend, Diurnal and Seasonal Variations of Atmospheric Ozone at Indian Antarctic Station Maitri. *e-Journal Earth Science India*, Vol. 3 (III) pp. 174-180.
10. Hosseinan R., and Gough W. (2000) Total Column Ozone Variability Over Toronto, Ontario Canada. *The Great Lakes Geographer*, Vol 7, No. 2.
11. Yang E. S., Cunnold D. M., Newchurch M. J., Salawich R. J., (2005) Changes in ozone trends at Southern high latitudes. *Geophys Res. Lett*, 32, L12812.
12. Basher R. E., Survey WMO-sponsored Dobson Spectrophotometer Intercomparison, WMO Ozone Rep. 19, World Meteorological Org. Geneva, 1994.
13. Bojkov R. D. Bishop I., Fielotov V. E. (1996) Total ozone trends from quality-controlled ground based data (1964-1994). *J. Geophys. Res.* 100., pp 25867-25876.
14. Bojkov R. D., and Fielotov V. E. (1995) Estimating the global ozone characteristics during the 30 years. *J. Geophys. Res.* 100, 16537- 18551.



# Efecto del Cambio de Uso del Suelo en las temperaturas máximas y mínimas, en la Región Centro de Sudamérica, mediante el Modeloclimático Regional PRECIS.

Carbajal, Benítez Gerardo <sup>(1), (2)</sup> y Torrero, Mariana <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas e Ingeniería, PEPACG, Pontificia Universidad Católica Argentina. Av. Alicia Moreau de Justo 1300 C1107AAZ. CABA - Argentina

<sup>(2)</sup> Departamento de Ciencias de la Atmósfera y Geofísica -GIDyC- Servicio Meteorológico Nacional. Av. De los Constituyentes 3454. CP.1427.CABA - Argentina.

E-mail: gcarbajal@smn.gov.ar, gcarbajal7@gmail.com

**Palabras Claves:** Cambio de Uso de Suelo, Temperaturas Máximas y Mínimas, PRECIS.

## RESUMEN

Los Modelos Climáticos Globales (MCG) ofrecen una alternativa viable para reproducir patrones climáticos, pero una de sus principales desventajas es su baja resolución que llega a ser de 200 a 300 Km. Una alternativa para reducir la escala, para observar efectos más locales y regionales, son los Modelos Climáticos Regionales (MCR) que cuentan con una alta resolución que llega a ser de 22 y/o 50 Km.

El objetivo de este trabajo es mostrar el efecto cualitativo y cuantitativo, en el clima de la región (posibles cambios de clima), en particular las temperaturas extremas (Máximas y Mínimas), debido a la actividad en el cambio de uso de suelo en el Centro de Sudamérica,

Para este trabajo se usa las salidas estacionales de los MCG ECHAM4 y ERA40, los cuales son reprocesados por el MCR PRECIS, reduciendo la escala de 250 Km a 50 Km. También se usan tres escenarios de deforestación, que son: a partir de 1978, un actualizado al año 2000 y finalmente una proyección propuesta para el año 2030. El periodo de tiempo es de 1961 al 2000. Para la validación se usa la serie de datos observacionales CRU data, que son re-grillados a la misma resolución para su análisis. Finalmente, los datos son testeados con el método t-Student, debido a que las temperaturas se comportan como una distribución normal.

Los resultados muestran que el efecto de cambio de uso de suelo, intensifican las temperaturas máximas en la estación de invierno con cambios de +2.5°C (ERA40) y +2.8°C (ECHAM4), siendo estos cambios estadísticamente significativos. También, hay incremento en las temperaturas mínimas en la estación invernal de hasta +2°C (ERA40) y +2.5°C (ECHAM4) siendo los cambios estadísticamente significativos. Otra conclusión es que durante las cuatro estaciones del año, el efecto es más local que regional. El cambio de uso de suelo no solo produce aumentos de



temperatura, sino también algunas zonas de enfriamiento que alcanzan los  $-2^{\circ}\text{C}$ , particularmente en la Argentina, siendo estadísticamente significativos.

## INTRODUCCIÓN

La región centro de Sudamérica, en la que comprende gran parte del Amazonas, tiene una participación importante en la regulación del clima global y regional, de tal manera que el remover el bosque, parcial o totalmente, implicaría un cambio del clima. De tal forma, la transformación del bosque a cultivos o pastizales, reduce la rugosidad aerodinámica del suelo, por lo que no captan la precipitación en la parte superior de los árboles y al extraer la raíz no absorben la humedad del suelo como normalmente lo hacen, no hay flujos de humedad y estos cambios provocan que la evapotranspiración disminuya, lo que trae como consecuencia el incremento de la temperatura en la superficie. Como la radiación reflejada aumenta (se incrementa el albedo) los flujos de calor latente y sensible, decrecen, debido a la reducción de la radiación absorbida por la superficie, resultando un enfriamiento de la columna atmosférica, lo cual induce a que la circulación térmica sea de subsidencia, consecuentemente esto reduce la convección, la nubosidad y por lo tanto la precipitación. La importancia relativa de esos procesos depende del albedo superficial subyacente y la disponibilidad de humedad, que varían con la estación del año y la localización [1] [2] y [3].

Un ejemplo del efecto del cambio de uso de suelo que afecta el clima global, es el cambio de los patrones espaciales y temporales de las tormentas, ya que modifican los flujos superficiales de calor (aumento) y vapor de agua. Esta alteración de los flujos afecta la capa límite atmosférica y por lo tanto la energía disponible para las tormentas. El cambio en los patrones espaciales de las tormentas trae como consecuencia alteraciones en el calentamiento en la troposfera regional, que están directamente relacionados con los patrones de circulación atmosféricos y oceánicos, incluyendo el movimiento e intensidad a gran escala y sistemas meteorológicos de baja presión, por lo que la mayoría de las tormentas podrían ocurrir en la tierra y no en el océano, además de aumentar en proporción de 1 a 10 [4].

El decrecimiento de la precipitación se asocia al aumento del albedo y reducción de la evapotranspiración que se debe a la baja rugosidad aerodinámica de la superficie, pérdida de área de las hojas que captan humedad y poca profundidad de las raíces de la soja y los pastizales, comparada con el bosque. Algunas tendencias encontradas son: reducción de la precipitación en la temporada seca de 16% para la pastura y 24% para la soja. La reducción de la precipitación puede crear las condiciones favorables para alterar la estructura del bosque y de esta manera conducir al proceso de Savannización.



Debido a que en la región centro de Sudamérica es una de las zonas más intensas en el mundo en cuanto a cambio de uso de suelo y la importancia política, social, económica y ambiental que esto implica, se propone usar el MCR PRECIS (HADLEY CENTER MET OFFICE) para evaluar el impacto que esta actividad provoca en el clima de la región. De tal manera que nuestro objetivo es mostrar el efecto cualitativo y cuantitativo, en el clima de la región (posibles cambios de clima), en particular las temperaturas extremas (Máximas y Mínimas), debido a la actividad en el cambio de uso de suelo en el Centro de Sudamérica,

## MÉTODOS O DESARROLLO EXPERIMENTAL

### Planteo del problema

Varios trabajos se han desarrollado en torno al tema del cambio de uso de suelo y el impacto que esto provoca en el clima presente y futuro. En ellos se marca la importancia que tiene la actividad agrícola en Sudamérica, en donde gran cantidad de áreas en estado natural se han perdido en años recientes, debido principalmente al gran desarrollo y expansión de las fronteras agropecuarias que cubren vastas extensiones de terreno. Por ejemplo el cultivo de la soja y los pastizales que se usan para el ganado. Este fenómeno no solo ocurre en Sudamérica, también en otros países como EE.UU, dentro de Asia y África.

Desde los 80's, el desarrollo económico y social, justificó la actividad del cambio de uso de suelo sin considerar el aspecto ambiental. Recién en los 90's estudios mediante Modelos Climáticos Globales demostraron cómo la actividad impacta tanto en el ciclo hidrológico de la región, el ciclo de carbono, como otros gases de efecto invernadero (Metano y Óxido Nitroso).

Recientemente, es al sur y este de la Amazonía Brasileña, en el centro de Sudamérica donde la frontera agrícola ha sido más activa en términos de pérdida total de bosques e intensidad de quema, y se ha denominado "arco de la deforestación" [5].

Con datos observacionales y Modelos de Climáticos Global (MCG) se ha podido dar un panorama más amplio de la implicancia del cambio de uso en el clima de la región centro de Sudamérica [6], [7] y [8]. Pero, es muy importante remarcar el inconveniente en el uso de dichos MCG, tal es su baja resolución, aproximadamente 200 a 300 Km. Por lo tanto, no son suficientes para poder describir la topografía regional, ni los procesos físicos como el forzamiento a mesoescala asociado con montañas, líneas costeras, lagos y características de vegetación, que influyen fuertemente en los climas locales [9], [10] y [11].

En los últimos años, para representar el clima regional y local, de una manera mucho más real, surgen los Modelo Climáticos Regionales (MCR). Que debido a su alta resolución (25 a 50 km) son



más adecuados para representar efectos climáticos en zonas más pequeñas. Situación que algunos autores han aprovechado para realizar estudios del impacto del uso de suelo en el clima regional y en específico en el Amazonas [12] y [13].

#### **EL MCR PRECIS.**

El MCR PRECIS (Providing REgional Climates for Impacts Studies) es un sistema derivado de la tercera generación de un MCR del Hadley Center, el cual ha sido configurado para que pueda correr con dominio de cualquier área de la Tierra y trabajar sobre una simple computadora personal. El PRECIS es de distribución totalmente gratuita para científicos de países que se encuentran en vías de desarrollo y que se encuentran envueltos en la problemática de vulnerabilidad y adaptación al cambio de clima. El modelo se presenta como una herramienta muy útil para gobernantes que requieren de tomar decisiones políticas en cuanto al cambio climático.

El MCR PRECIS conduce los datos del Modelo Climático Global (MCG) ECHAM y Reanálisis del Centro Europeo de Meteorología (ECMWF) ERA40. Lo que produce una vasta cantidad de datos climáticos incluyendo la Temperatura Máxima y Mínima, para periodos pasado reciente, presente y futuro, que va desde 1961 hasta el 2000. Debido a la alta resolución del MCR PRECIS se pueden representar países pequeños e islas como por ejemplo las del Caribe.

La selección del dominio se realiza en base a que en esta zona se presenta una intensa actividad en cuanto a cambio de uso de suelo, ya que se está modificando la cobertura vegetal, cambiando de bosque tropical a tierras de cultivo (principalmente soja) y pastizales para alimentar al ganado. Las características de la región;  $n_x=95$  y  $n_y=95$  entre  $3.24^\circ\text{N}$ ,  $38.08^\circ\text{S}$  y  $282.27^\circ$ ,  $325.90^\circ$  longitud, Las condiciones iniciales y de contorno asignados a los puntos de malla se han calculado a partir de los datos del ECHAM4 y ERA40, de donde se extraerán los datos con los cuales se abarca Brasil, Paraguay, Bolivia, Perú y Norte de Argentina, que son los lugares donde se presenta la mayoría de la deforestación de la región, incluyendo parte del Amazonas. La resolución espacial de  $D_x=D_y=50\text{ Km}^2$  ( $0.44 \times 0.44$  grados) y la resolución temporal va a ser campos diarios de los cuales se calculan los datos estacionales de la Temperatura Máxima y Mínima. (Ver Figura 1) [15].

#### **Escenarios de deforestación.**

El PRECIS tiene la ventaja de que se puede cambiar la cobertura superficial, es decir, se puede forzar al PRECIS para modificar la cobertura vegetal, y cambiar la parte de bosque por tierras de



cultivo y/o por pastura para el ganado, como ocurre realmente y de ésta forma actualizar el mapa de cobertura vegetal de la región.

Se tiene en el PRECIS incluido el mapa de vegetación al 1978, por lo tanto se actualiza al año 2000 y una proyección al 2030 [16] y [17] respectivamente. Ver figura 2.

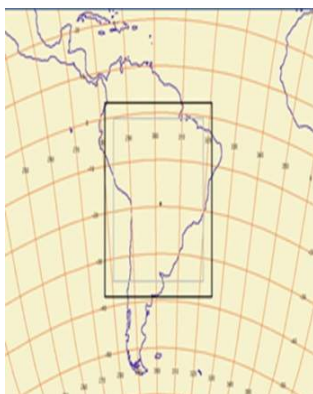


Figura 1. Dominio seleccionado.

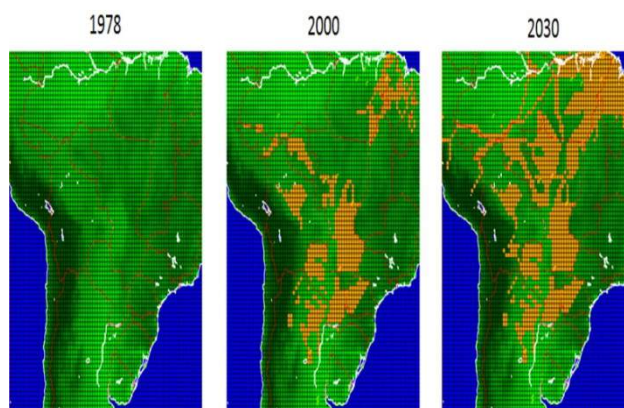


Figura 2. En la primera imagen (Izquierda), aparece el modelo con la cobertura que el modelo tiene. La segunda imagen (central), presenta el cambio de uso de suelo, emulando lo ocurrido en la actualidad (mapa de vegetación 2000). Finalmente, la tercera imagen, se observa una deforestación hipotética para el año 2030.

### Validación del PRECIS.

Una parte muy importante antes de iniciar con el análisis, es la verificación de que el MCR PRECIS y el dominio elegido están reproduciendo los patrones estacionales de la Temperatura Máxima y Mínima.

La validación de usa como una propuesta [13] en donde ellos para un periodo de 30 años (1961-1990) comparan el MCR PRECIS con los datos del re-análisis NCEP/NCAR para la parte de circulación y para la parte de superficie usan datos CRU, para dos estaciones del año, primavera



e invierno. Nosotros comparamos 40 años de datos (1961 - 2000) con los datos de la Universidad del Este de Anglia Climatic Research Unit (CRU, TS 2.1), que tienen una resolución  $Dx=Dy=60 \text{ Km}^2$ .

### A) Temperaturas Máximas.

Los sesgos entre los datos CRU y PRECIS conduciendo a los datos del ECHAM4 (en adelante; P-ECH4) de las temperaturas máximas se muestran en la figura 3. Donde se muestran las cuatro estaciones del año, presentando las mayores diferencias en la cordillera andina, alcanzando diferencias negativas de  $-6^\circ\text{C}$  y en la costa Oeste (Chile) con diferencias positivas de  $+4^\circ\text{C}$ .

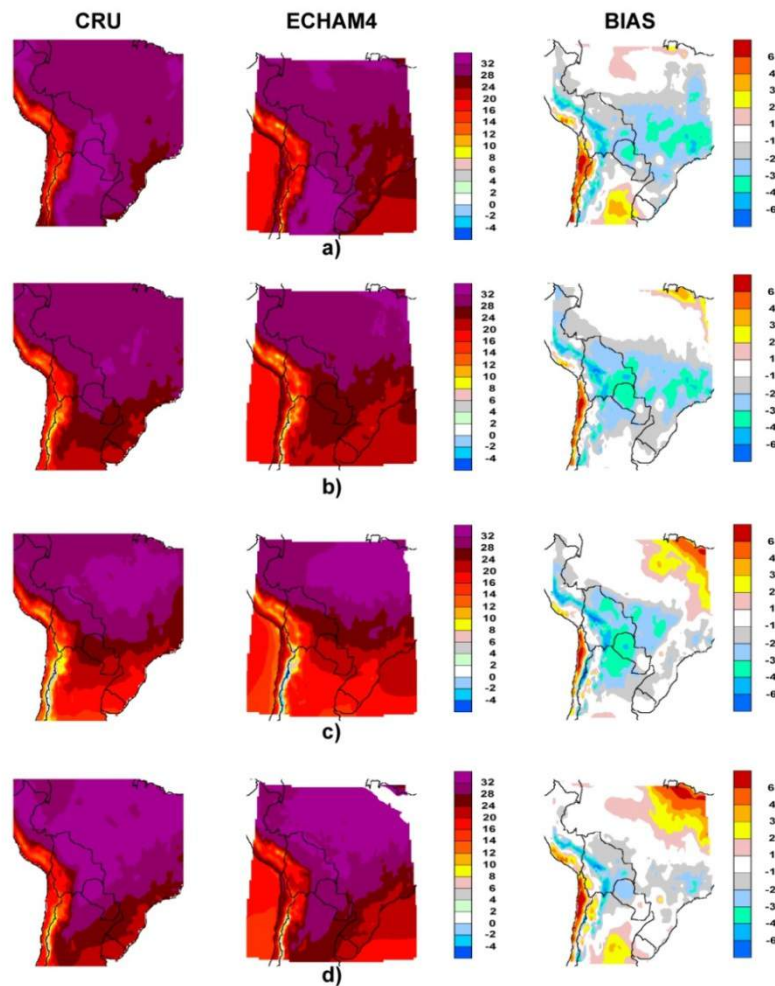


Figura 3. Temperaturas Máximas. Sesgos entre los valores observacionales CRU y el PRECIS (ECHAM4). Cada fila representa una estación del año. a) Verano, b) Otoño, c) Invierno, y d) Primavera.

En la franja central de la zona, el P-ECH4 tiende a subestimar los valores observacionales CRU con diferencias de hasta  $-3^\circ\text{C}$ , específicamente en las estaciones de Verano, Otoño e Invierno. Otra situación que el P-ECH4 muestra, es sobrestimación de la parte norte de la Argentina con un





valor máximo  $+3^{\circ}\text{C}$ . Finalmente, la parte noreste en Brasil, también es sobreestimada con valores arriba de  $+4^{\circ}\text{C}$  durante las estaciones de Otoño, Invierno y Verano.

En la figura 4 se muestran los sesgos de los datos observacionales CREU y el PRECIS conduciendo a los datos del ERA40 (en adelante; P-ER40). Las diferencias máximas nuevamente se observan en la cordillera y la costa oeste (Chile), con los mismos valores que P-ECH4. Una mejor representación en la parte de Argentina, excepto en el verano y valores más bajos en la franja central del dominio.

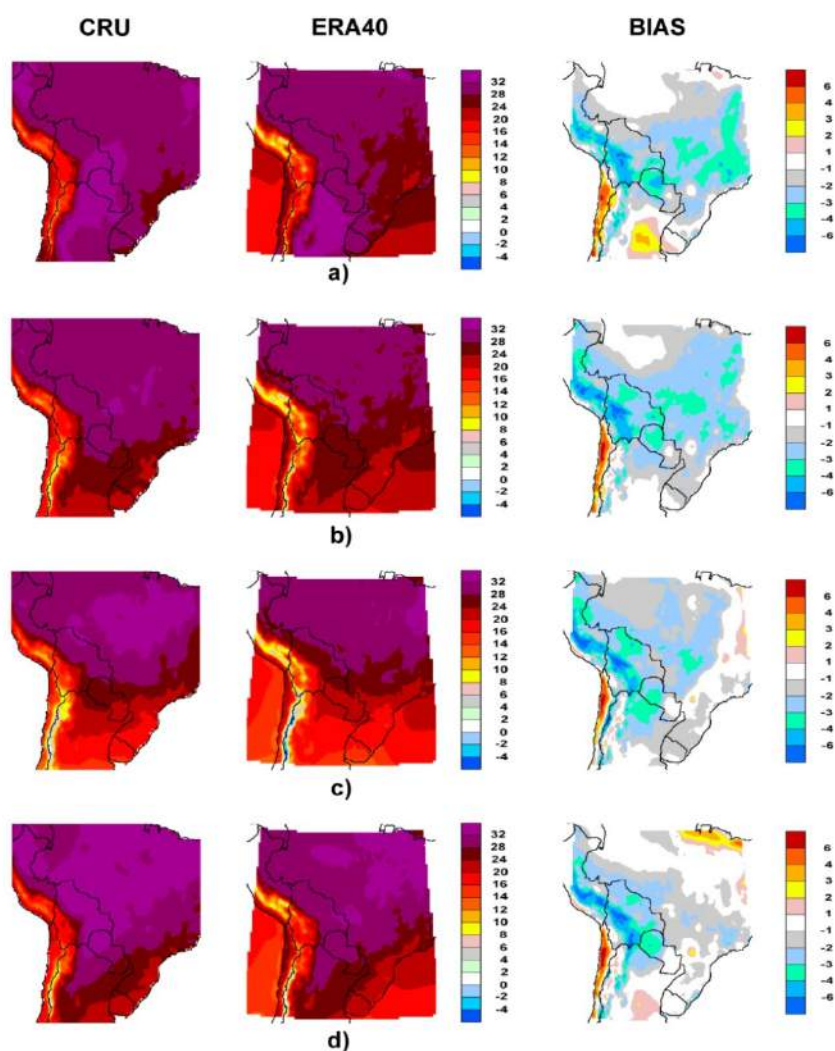


Figura 4. Temperaturas Máximas. Sesgos entre los valores observacionales CRU y el PRECIS (ERA40). Cada fila representa una estación del año. a) Verano, b) Otoño, c) Invierno, y d) Primavera.

En términos generales, los datos P-ER40 son mejor representados que los P-ECH4. Aún los Modelos Climáticos Regionales, presentan dificultades en representar las zonas montañosas o de alta



complejidad topográfica, tal es el caso de los Andes y la zona alta de Bolivia. Si observamos algunos trabajos [15] muestra que le PRECIS subestima a la intensidad de corriente en chorro de capas bajas y en las zonas altas y los campos de viento no son bien representados en las zonas cordilleranas y Bolivia, por lo tanto la precipitación es afectada y no llega lo suficiente para modular las temperaturas máximas [15], [18] y [19].

**B) Temperaturas Mínimas.**

En la figura 5 se muestran los sesgos de los datos CRU con respecto al P-ECH4, Nuevamente se observa la problemática de representar la cordillera, subestimado los valores y en términos generales el P\_ECH4 está sobrestimado la mayor parte de la región con valores mayores de hasta +4°C, sobretodo en la región centro y norte de la Argentina.

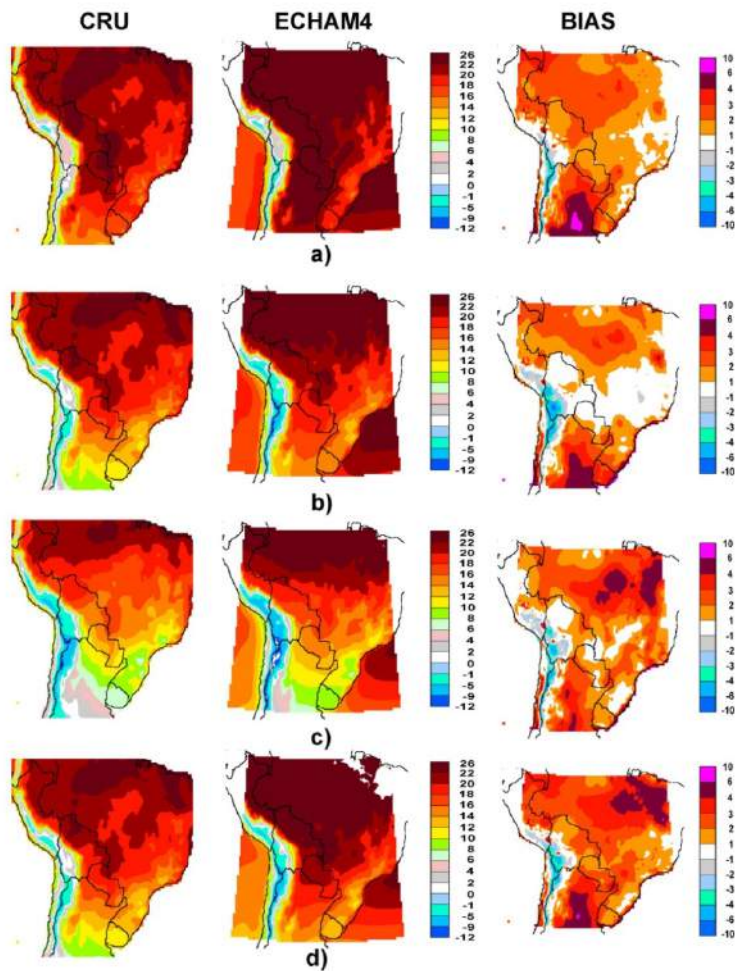


Figura 5. Temperaturas Mínimas. Sesgos entre los valores observacionales CRU y el PRECIS (ECHAM4). Cada fila representa una estación del año. a) Verano, b) Otoño, c) Invierno, y d) Primavera.



En la figura 6 se presentan las Temperaturas Mínimas pero con P-ER40. Las representaciones son mejores que las P-ECH4, aunque en algunas zonas, P-ER40 continua la sobrestimación pero no tan marcada como la P-ECH4. En otoño puede ser la mejor representación y nuevamente la cordillera es subestimada y el norte y centro de la Argentina es sobrestimada con valores arriba de +4°C.

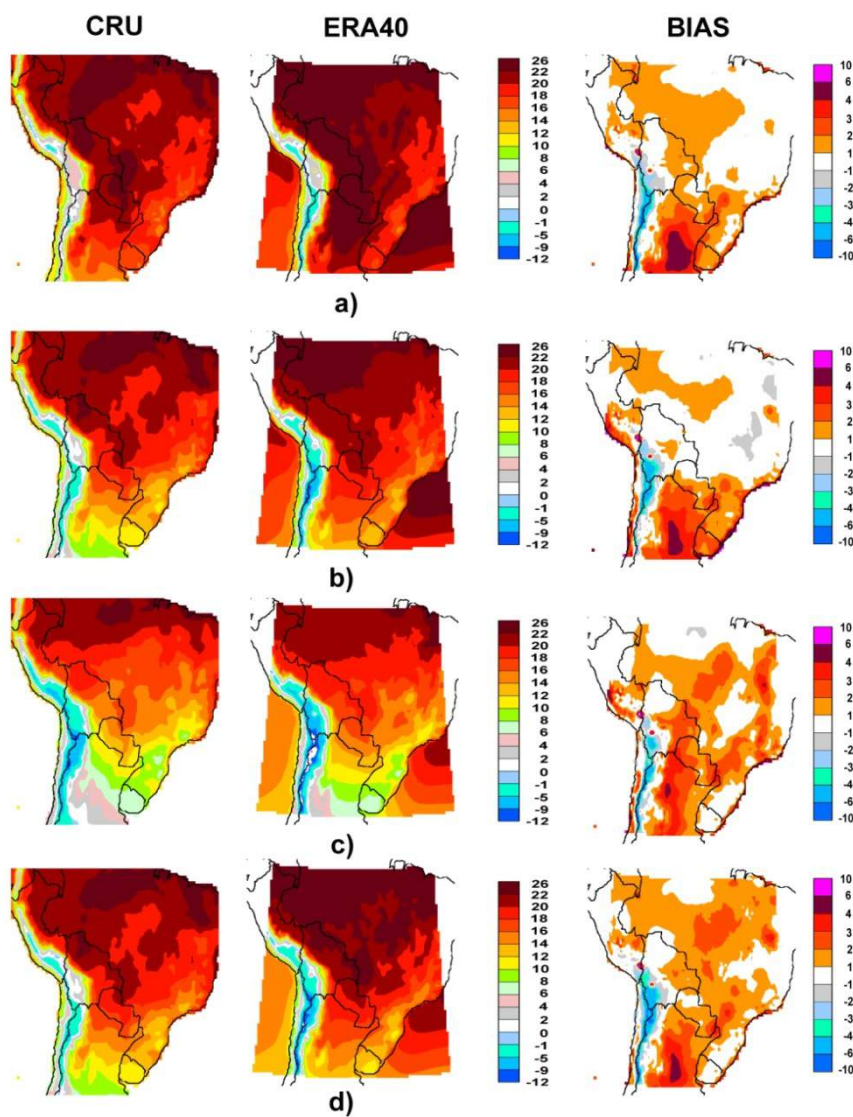


Figura 6. Temperaturas Mínimas. Sesgos entre los valores observacionales CRU y el PRECIS (ERA40). Cada fila representa una estación del año. a) Verano, b) Otoño, c) Invierno, y d) Primavera.



**RESULTADOS**

En la figura 7 se muestra el impacto que cambio de uso de suelo tiene en la temperaturas máximas con el P-ECH4 y la figura 8 son resultados del P-ER40. Las diferencias más notables en ambos casos, se observan en la estación de invierno con calentamientos (valores positivos) de hasta +2.5°C, siendo estas diferencias estadísticamente significativas. En la estación de primavera predomina en la región enfriamientos (valores negativos) y calentamientos, particularmente en el centro y norte de la Argentina calentamientos de +0.5°C y hasta de +1°C que llegan a ser estadísticamente significativos. En las estaciones de verano e invierno se observan en general enfriamientos, no mayores a -1.5°C y unos pequeños calentamientos en Bolivia que llegan a ser significativos.

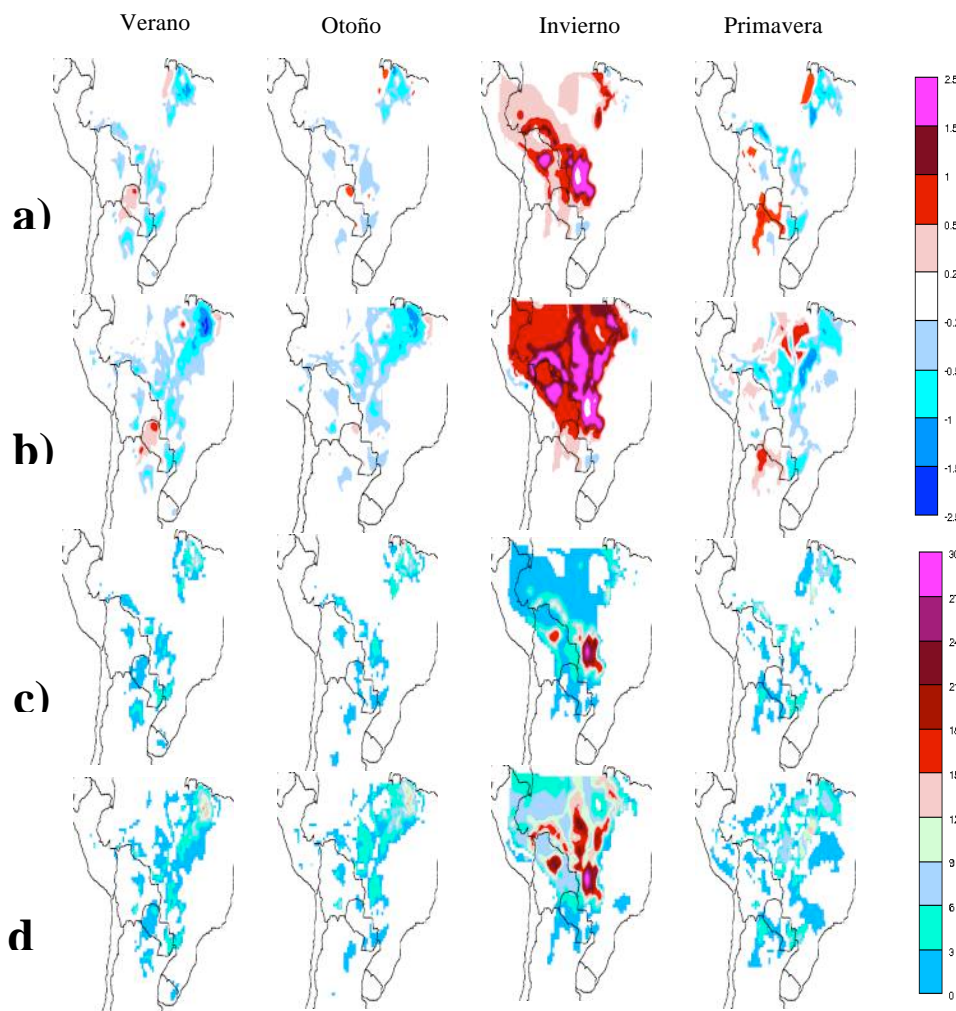


Figura 7. Diferencias (filas a y b) y significancia (filas c y d) de Temperaturas Mínimas. P-ECH4, Con los Escenarios de deforestación año 1998 menos a) año 2000, b) 2030, c) 2000, y d) 2030. La escala de las diferencias muestra con valores negativos enfriamientos y con valores positivos calentamientos. La escala de significancia muestra la magnitud de dicha significancia.



En términos generales, los dos P-ECH4 y P-ER40 muestran que los cambios de temperaturas máximas siguen las líneas del cambio de uso de suelo y se acentúan con calentamientos en la estación de invierno, llegando a afectar la región.

Las diferencias también muestran una componente estacional, es decir, en la estación de invierno el cambio de uso de suelo genera en términos generales calentamientos, acentuados en el centro de la región en el sur de Brasil límite con Bolivia. En la primavera se empieza a debilitar el calentamiento y algunas zonas presentan enfriamientos que se acentúan en las estaciones de verano y otoño. La única zona que afecta el cambio de uso de suelo con calentamiento durante las cuatro estaciones del año es Bolivia.

Las Temperaturas Mínimas se presentan en las figuras 9 y 10, con P-ECH4 y P-ER40 respectivamente. Se observa que el efecto del cambio de uso de suelo es menor en las Temperaturas Mínimas que en las Máximas.

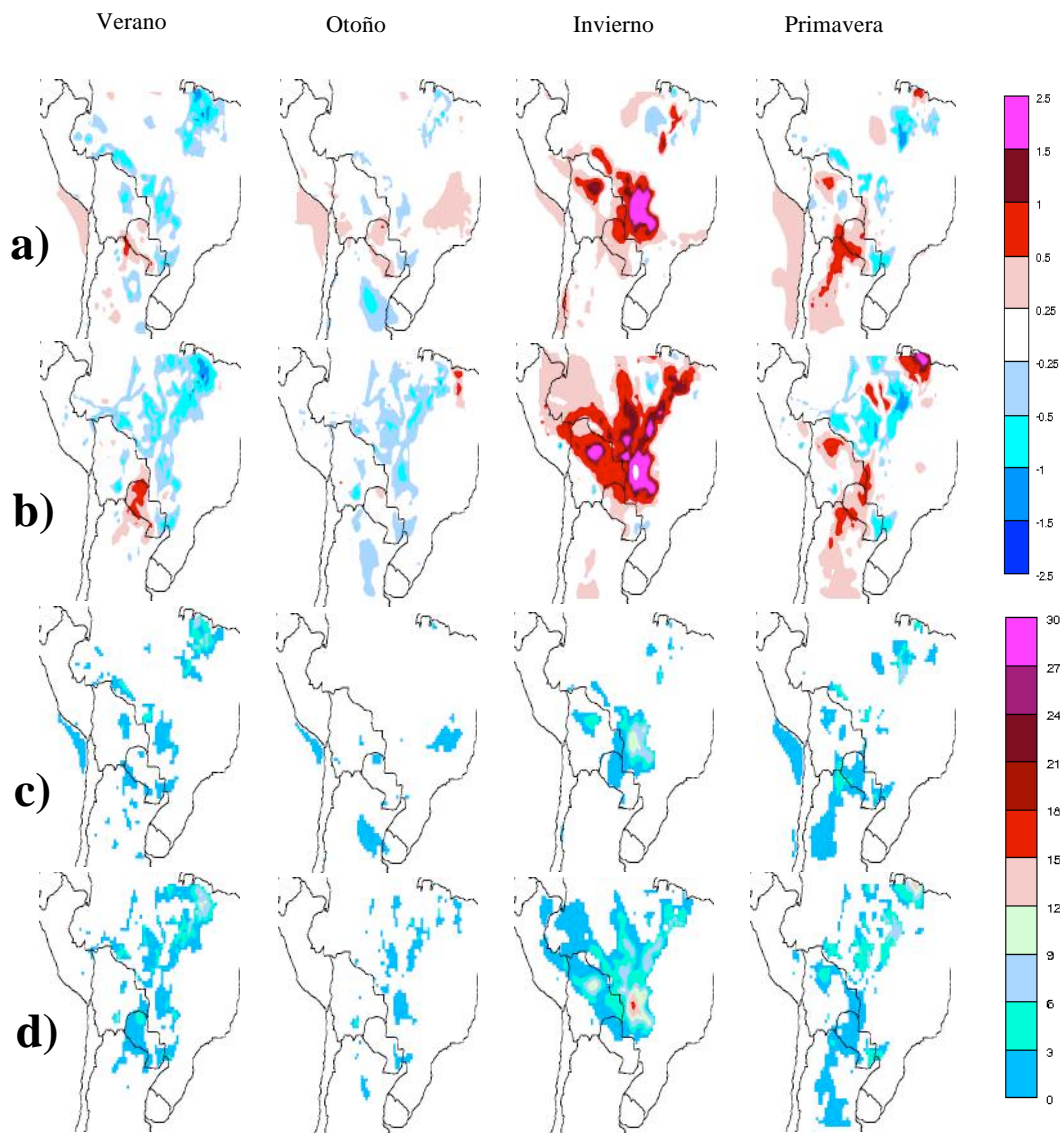


Figura 8. Diferencias (filas a y b) y significancia (filas c y d) de Temperaturas Mínimas. P-ER40, Con los Escenarios de deforestación año 1998 menos a) año 2000, b) 2030, c) 2000, y d) 2030. . La escala de las diferencias muestra con valores negativos enfriamientos y con valores positivos calentamientos. La escala de significancia muestra la magnitud de dicha significancia.

En las cuatro estaciones del año, con los dos modelos P-ECH4 y P-ER40, predominan los calentamientos, siendo más intensos y estadísticamente significativos en invierno y siguiendo las líneas del cambio de uso de suelo (diferencias de hasta +2 °C). En primavera el modelo P-ER40 es más intenso, sobretodo en la franja que cruza del noreste al centro de Brasil, pero los cambios apenas son de +1 °C. Durante el verano y otoño, los calentamientos no superan los +0.5 °C.

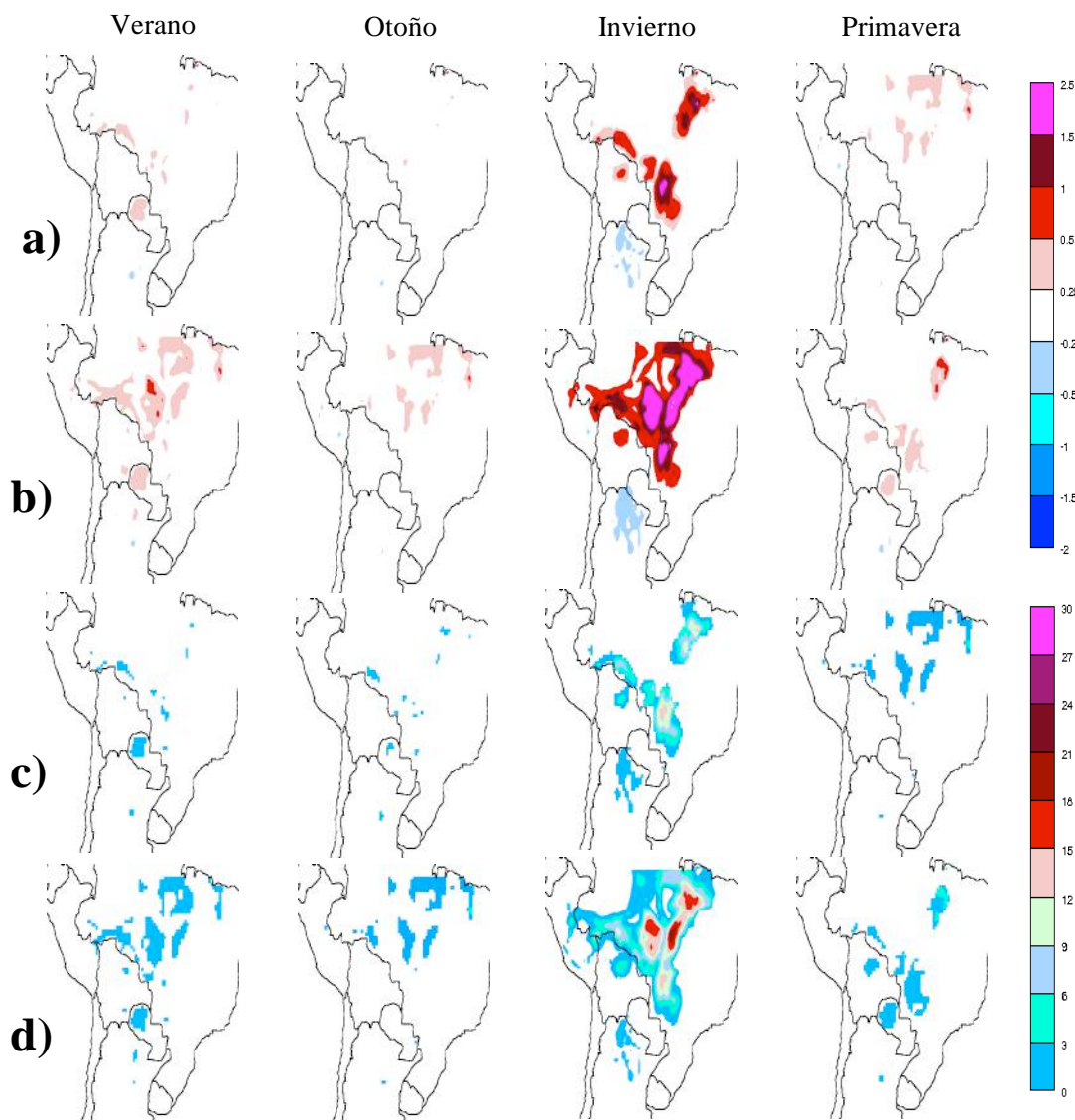


Figura 9. Diferencias (filas a y b) y significancia (filas c y d) de Temperaturas Mínimas. P-ECH4, Con los Escenarios de deforestación año 1998 menos a) año 2000, b) 2030, c) 2000, y d) 2030. . La escala de las diferencias muestra con valores negativos enfriamientos y con valores positivos calentamientos. La escala de significancia muestra la magnitud de dicha significancia.

### CONCLUSIÓN

Los datos de los modelos P-ECH4 y P-ER40 muestran que el cambio de uso de suelo impacta más las temperaturas máximas que las mínimas. La estación del año más sensible a dicho efecto es el invierno, tanto para las temperaturas máximas y mínimas, en este aspecto, algunos autores



relatan que debido a los efectos del cambio climático, los inviernos tienden a ser más cálidos. En la mayoría de los casos el impacto del cambio de uso de suelo en las temperaturas máximas y mínimas, fueron estadísticamente significativas.

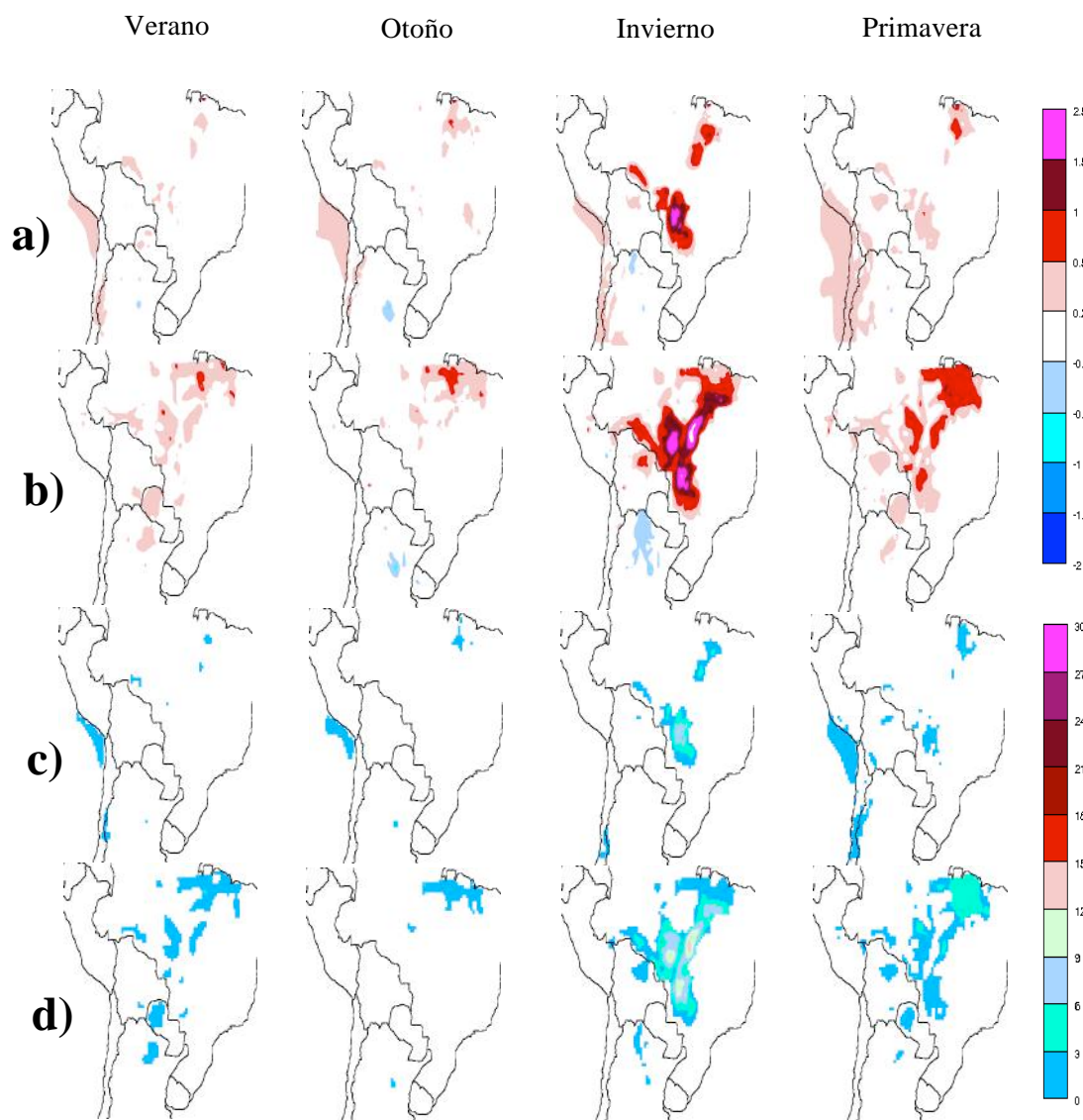


Figura 10. Diferencias (filas a y b) y significancia (filas c y d) de Temperaturas Mínimas. P-ER40, Con los Escenarios de deforestación año 1998 menos a) año 2000, b) 2030, c) 2000, y d) 2030. . La escala de las diferencias muestra con valores negativos enfriamientos y con valores positivos calentamientos. La escala de significancia muestra la magnitud de dicha significancia.





El cambio de uso de suelo al ser una actividad antropogénica, tiene una notación beneficiosa para sectores económicos y en algunos casos para los sectores sociales, pero por lo visto, hay una implicancia ambiental muy negativa.

Se requiere continuar con más estudios e incluir más modelos, para realizar un ensamble de modelos que arrojen resultados más precisos.

## REFERENCIAS

1. Betts R. A., (2001), "Biogeophysical impacts of land use on present-day climate: near-surface temperature change and radiative forcing" *Atmospheric Science Letters*, 1, doi:10.1006/asle.2001.0023.
2. Costas M. H., Yanagi S. N. M., Sousa P. J. O. P., Rivero A. and Rocha E. J. P. (2007) "Climate Change in Amazonia caused by Soybean Cropland Expansion, as Compared to Caused by Pastureland Expansion", *Geophys. Res. Lett.*, 34, L07706, doi:10.1029/2007/GL029271.
3. Sampaio G., Nobre C., Heil Costa M., Satyamurty P., Silvera Soares-Filo B. and Cardoso M. (2007) "Regional Climate Change over Eastern Amazonia Caused by Pasture and Soybean Cropland Expansion" *Geophys Res. Lett.*, 34, L17709, doi:10.1029/2007GL030612.
4. Pielke R. A. Sr. (2005) "Land Use and Climate Change", *Science*, 310, 1625-1626.
5. Morton D. C., DeFries R. S., Shimabukuro Y. E., Anderson L. O., Arai E., del bon Espirito-Santo F., Freitas R. and Morissette J. (2006) "Cropland Expansion Changes Deforestation Dynamics in the Southern Brazilian Amazon", *PNAS*, 103, No. 39, 14637-14641.
6. Nuñez, Solman MS, Cabré MF (2006) mean climate and annual cycle in a regional climate change experiment over Southern South America. II: Climate change scenarios (2081-2090), *Proceedings of 8 ICSHMO*, Foz do Iguazu, Brazil, April 24-28, 2006, pp 325-331.
7. Werth D. and Avissar R. (2002) "The Local and Global Effects of Amazon Deforestation", *JGR*, 107, No. D20, 8087.
8. Feddema J. J., Oleson K. W., Bonan G. B., Mearns L. O., Buja L. E., Meehl G. A. and Washington W. M. (2005) "The Importance of Land-Cover Change in Simulating Future Climates", *Science*, 310, 1674-1678.
9. Correira F. W., Alvala R. C., and Manzi A. O. (2006) "A GCM Simulation of Impact of land Cover Changes in the Amazonia on Regional Climate", *Proceeding of 8 ICSHMO*, Foz di Iguazu, Brasil, INPE, PP 873-878.
10. Bhaskaran B., Jones R. G., Murphy J. M. and Noguer M. (1996) "Simulation of the Indian Summer Monsoon Using a Nested Regional Climate Model: Domain Size Experiments", *Climate Dynamics*, 12:573-587.



11. Rupa Kumar K., Sahai A. K., Krishna Kumar K., Patwardhan, Mishra P. K., Revadekar J. V., Kamala K. and Pant G. B. "High-Resolution Climate Change Scenarios for India for the 21st Century", *Current Science*, 90, vol. 3, 334-345, 2006.
12. Golding N. And Betts R., (2008), "Fire Risk in Amazonia due to Climate Change in the HadCM3 Climate Model: Potential Interaction with deforestation", *Global Biogeochemical Cycles*, 22, GB407, doi:10.1029/2007GB003166.
13. Da Rocha R. P Morales C. A., Cuadra S. and Ambrizzi T., (2009), "Precipitation Diurnal Cycle an Summer Climatology assessment over South American: An Evaluation of Regional Climate Model", *J. Geophys. Res.*, 114, D10108, doi:10.1029/2008JD010212.
14. Alves M. L. and Marengo J. (2009) "Assessment of regional seasonal predictability using the PRECIS regional climate modeling system over South America" *Theor. Appl. Climatol.*, DOI 10.1007/s00704-009-0165-2.
15. Canziani P. O., and Carbajal Benitez G. (2012) "Climate Impacts of Deforestation/Land-Use Changes in Central South America in the PRECIS Regional Climate Model: Mean Precipitation and Temperature Response to Present and Future Deforestation Scenarios". *The Scientific World Journal*, Volume 2012 (2012), Article ID 972672,doi:10.1100/2012/972672.
16. Eva H. D., Miranda E. E., Di Bella C. M., Gound V., Huber O., Sgranzaroli M., Jones S., Coutinho A., Dorado A., Guimaraes M., Elvidge C., Achard F., Betward A. S., Bartholomé E., Baraldi A., De Grnadi G., Vogt P., Fritz S. and Harley A., 2002, "A vegetation map of South America", EUROPEAN COMMISSION JOINT RESEARCH CENTER. EUR 20159 EN. [www.cobveget.cnpm.embrapa.br/resulta/relat/vegetation.pdf](http://www.cobveget.cnpm.embrapa.br/resulta/relat/vegetation.pdf).
17. Nepstad D. C., Stickler C. M., Soares-Fhilo B. and Merry F., (2008), "Interaction Among Amazon Land Use, Forest and Climate: Prospects for a Near Term Forest Tipping Point", *Phil. Trans. R. Soc.*, 363, 1737-1746, doi:10.1098/rstb.2007.0036.
18. Alves M. L. and Marengo J. (2009) "Assessment of regional seasonal predictability using the PRECIS regional climate modeling system over South America" *Theor. Appl. Climatol.*, DOI 10.1007/s00704-009-0165-2.
19. Marengo J.A., Jones R., Alves L. M. and Valverde M. C. (2009), "Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system", *International journal of Climatology*, DOI:10.1002/joc.1863.



# Nuevas evidencias de actividad Neotectónica en Lomas De Jocolí y Cordón Barda Negra, Mendoza, Argentina. Aportes al Peligro Sísmico Local.

Carini, Federico D.(1), Orive, Omar R.(1), Cisneros, Héctor (1),(2); Muñoz, Brian L.(1)

(1) Universidad Nacional de San Luis, Ejército de los Andes 950, San Luis, Argentina.

(2) Universidad Nacional de Cuyo, Centro Universitario - M5502JMA. Mendoza, Argentina.

E-mail: fdcarini@gmail.com

**Palabras Clave:** Neotectónica, Peligro Sísmico, Cuaternario, Estructuras de deformación, Mendoza, Sismicidad.

## RESUMEN

El antepaís andino de las provincias de San Juan y Mendoza, ubicadas en el centro-Oeste de Argentina, está caracterizado por deformaciones asociadas a la sub-horizontalización de la placa de Nazca ( $28^{\circ}\text{S}$ - $33^{\circ}\text{S}$ ), subductante por debajo de la placa Sudamericana. En esta región se concentra una importante actividad sísmica potencialmente destructiva asociada a fallamientos corticales activos con evidencias presentes en el registro geológico, histórico e instrumental. La zona de estudio se ubica en las cerrilladas de Jocolí y Barda Negra, situadas 35 Km al Norte de la ciudad de Mendoza y 15 Km al Noroeste de Villa Tulumaya (Lavalle). Corresponden a suaves lomadas relacionadas a escarpes de flexura que afectan a sedimentos Plio - pleistocenos, genéticamente vinculados a una prolongación austral no aflorante de los corrimientos de Loma Negra y Las Peñas. La actividad simultánea de estas estructuras a la sedimentación es evidente por los estratos de crecimiento observados. Sobre el faldeo oriental, en cortes de terreno naturales y artificiales, se analizaron evidencias de actividad Neotectónica en sedimentos arenoconglomerádicos fluviales y aluviales de edad cuaternaria comprobada, sin morfologías diagnósticas claras en superficie. Las estructuras descritas corresponden a una serie de plegamientos centimétricos apretados con planos axiales volcados, fallas inversas y pliegues de arrastre asociados. Las anomalías de drenaje al sur de la cerrillada Barda Negra evidencia la prolongación austral de la estructura principal. Estas observaciones revisten gran relevancia debido a la cercanía de centros urbanos, que convierten al sector en una importante fuente de peligro sísmico para la población.



## CONTEXTO GEOLÓGICO-GEOMORFOLÓGICO

La cerrilladas Lomas de Jocolí y Cordón Barda Negra están localizadas en el piedemonte oriental de la Precordillera de Mendoza (Argentina) en el extremo sur de la Sierra Las Peñas - Las Higueras, ubicadas en el extremo meridional del segmento tectónico de subducción subhorizontal pampeano (27° - 33°S) [1] [2] [3], coincidente con la posición actual del frente orogénico andino [4]. Las mismas poseen un rumbo general meridional y una disposición curva en planta.

Las principales evidencias de deformaciones cuaternarias de los alrededores están concentradas en los corrimientos de Las Peñas y las Higueras [5] [6] y falla La Cal (asociada al Corrimiento Las Higueras) al oeste de la zona de estudio [7] entre otras.

A partir de datos sedimentarios se puede inferir que el conjunto de estructuras analizadas en el área de estudio han evolucionado dentro de un ambiente pedemontano de abanicos aluviales con pendiente al oriente y en un contexto climático árido (<300 mm anuales) similar al actual.

## GEOLOGÍA LOCAL

Las cerrilladas se encuentran constituidas principalmente por bancos sedimentarios poco consolidados compuestos por conglomerados, areniscas y en menor medida fangolitas correlacionados tentativamente con las Formaciones Mogotes [8] de edad pliocena superior-pleistocena inferior o La Invernada (Fm. LI) [9] de edad Pleistoceno superior.

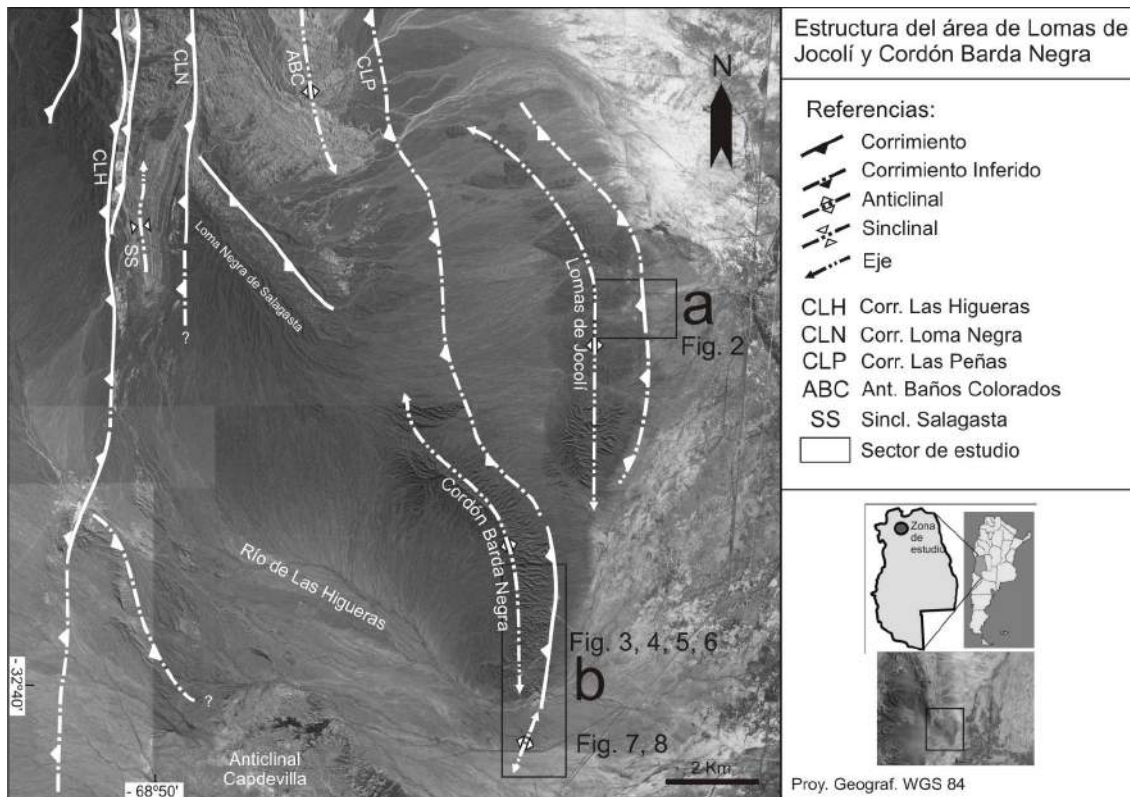


Figura 1: Mapa del extremo sur de la Sierra Las Peñas - Las Higueras donde se destacan las principales estructuras tectónicas. Modificado de [9] y [10].

**METODOLOGIA**

Se efectuaron trabajos de gabinete donde se recopiló bibliografía de la zona de estudio e interpretación de imágenes satelitales. Durante la campaña de campo se relevaron datos geomorfológicos, sedimentarios y estructurales. La estratigrafía observada durante la campaña fue descrita y correlacionada a unidades identificadas anteriormente por otros autores [8] [9]. Las estructuras tectónicas analizadas fueron relevadas mediante brújula geológica y cinta métrica, mapeadas utilizando como apoyo imágenes satelitales y GPS, y fotografiadas en afloramientos naturales y artificiales (canteras de áridos).

**CARACTERISTICAS ESTRUCTURALES DE LA ZONA DE ESTUDIO**

Las estructuras descritas en la zona de estudio corresponden a fallas inversas, pliegues de arrastre y plegamientos mesoscópicamente continuos.



En el sector analizado de las Lomas de Jocolí (sector “a” en el mapa de la Figura 1) se identificaron cinco fallas inversas paralelas con un diseño tipo echelon buzantes aroximadamente  $40^\circ$  al Poniente (Figura 2) identificándose una de buzamiento opuesto. Los desplazamientos verticales relativos oscilan entre los 0,30 m a 1 m. Estas observaciones coinciden con las expuestas por [10], quienes además destacan la existencia de corrimientos ciegos y pliegues mesoscópicos de propagación de falla.

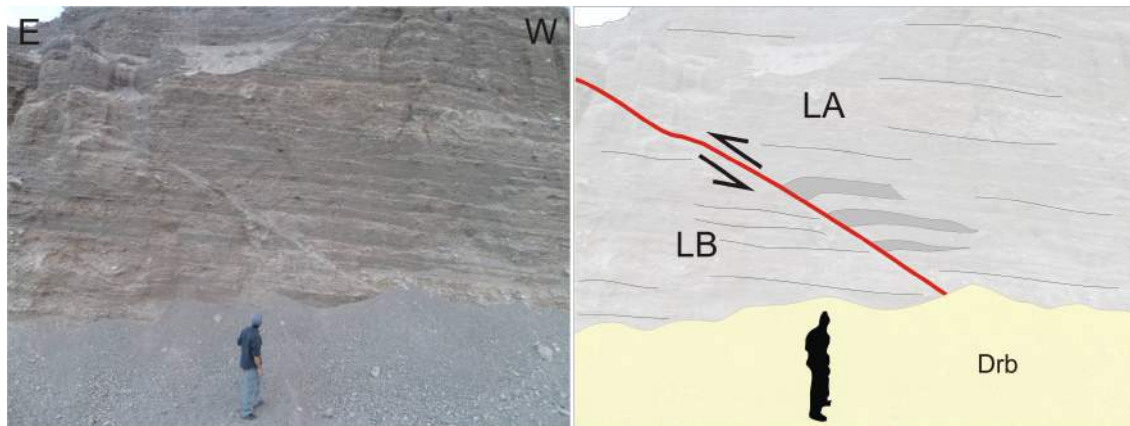


Figura 2: Falla Inversa que afecta a bancos areno conglomerádicos en el faldeo oriental de Lomas de Jocolí. LA: Labio Alto. LB: Labio Bajo. Drb: Derrubio.

En el sector de estudio “b” (ver mapa de Figura 1), en el ámbito del Cordón Barda Negra, se observaron fallas y pliegues que afectan diferencialmente a las Formaciones sedimentarias anteriormente descritas. La Figura 3 muestra las principales estructuras del sector.

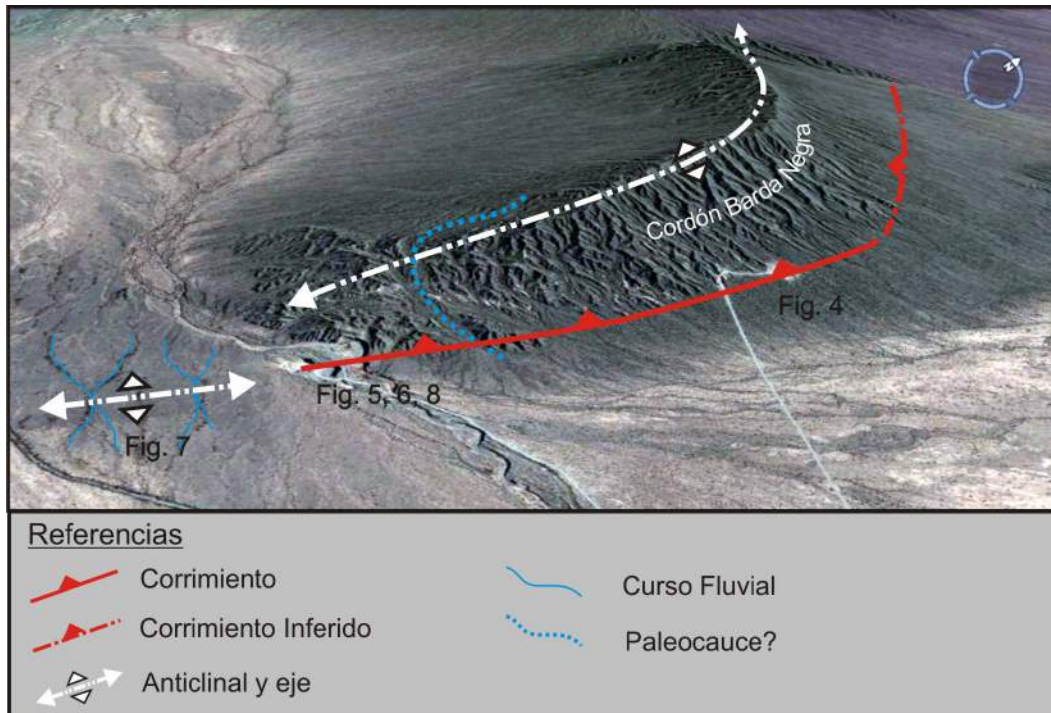


Figura 3: Vista Oblicua del Cordón Barda Negra donde se grafican las principales estructuras observadas. Se destaca la presencia de anomalías en el drenaje y un posible cauce abandonado (paleocauce?). Imagen base Google Earth. No a escala.

En una labor minera del sector fue posible observar la existencia de una falla inversa con vergencia el SE (215/45 NW) que desarrolla una importante zona de cizalla, concentrada en el labio elevado, de al menos 3 metros constituida por material fangoso color pardo y clastos conglomerádicos con sus ejes mayores orientados paralelamente al/a los plano/s de falla. La actividad inversa de esta estructura generó una flexura de los bancos areno - conglomerádicos, conformado pliegues de arrastre (Figura 4 a; a.1) Tentativamente y para una mejor conceptualización, esta Falla es denominada Falla Barda Negra.

Sobre un perfil orientado latitudinalmente con cara libre al Sur, se observó una serie de plegamientos volcados, con curvaturas de charnela cerrada (30° a 70°), mesoscópicamente continuos y en estrecha relación a la anterior estructura afectando a bancos areno-conglomerádicos subhorizontales (Figura 4 c; d; e). Una observación más detallada permite discriminar los diferentes comportamientos de estos bancos sedimentarios ante la deformación, dependiendo principalmente de la composición y plasticidad de la matriz, de modo que los de matriz fangosa (matiz sostén) generan pliegues mesoscópicamente continuos sin orientación de clastos, mientras que los ortoconglomerados sufren un reordenamiento de sus clastos con una orientación de sus ejes mayores concordantes al plegamiento (Figura 4 e; e.1). Los planos axiales



de los pliegues tienen una vergencia al Este (en el sector occidental del perfil) (Figura 4 d; d1) y Oeste (en el sector oriental del perfil) (Figura 4 e; e1), ambos con un buzamiento de 40°, mientras que sus ejes buzantes alrededor de 25° al S. El desplazamiento vertical producido por cada pliegue es variable con valores máximos de 40 cm (Figura 4 e; d.1).

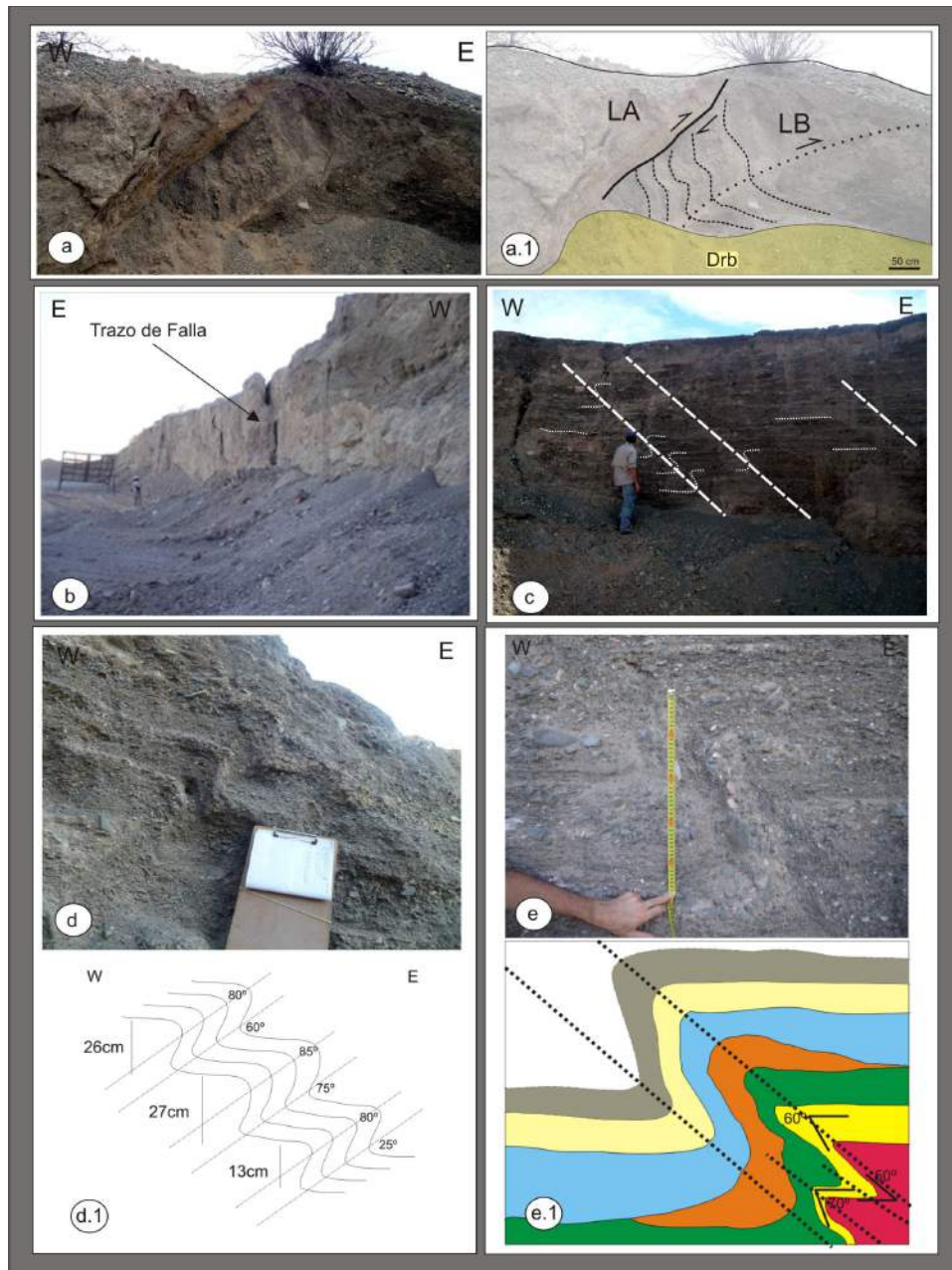


Figura 4: a; a.1- Fotografía e interpretación de la falla Barda Negra; LA: Labio alto, LB: Labio bajo, Drb: Derrubio. b- Trazo de la falla Barda Negra, descubierto por actividad extractiva de una cantera de áridos. c- Perfil donde se destacan los planos de falla y plegamientos. d- Pliegues con planos axiales buzantes al Oeste. d.1- Esquema con medidas reales de los pliegues buzantes al Oeste. e; e.1- Fotografía y esquema donde se diferencian los distintos bancos sedimentarios y medidas angulares de las charnelas.





En el extremo sur del Cordón Barda Negra (Sur del sector “b” del mapa), en afloramientos naturales y artificiales sobre el Río de Las Higueras, se identificaron plegamientos y fallas, los primeros de tipo de arrastre (en labio alto y bajo) asociados a fallas menores de ángulo moderado y vergencia oeste, con desplazamientos relativos verticales de aproximadamente 30 cm (Figura 5).

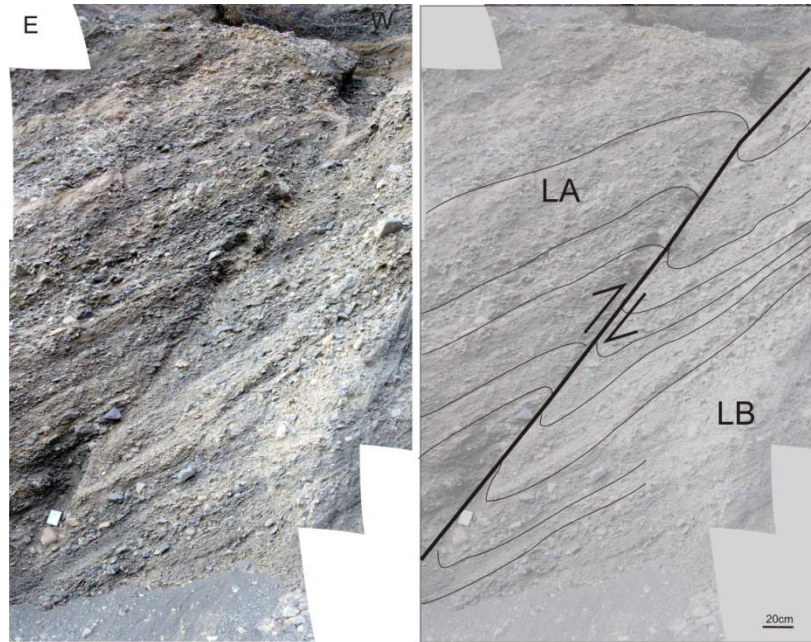


Figura 5: Falla Inversa antitetica a falla Barda Negra. Notar La flexura de los bancos sedimentarios en labio alto (LA) y labio bajo (LB).

En una labor minera bajo el nivel superficial del lecho del Río de Las Higueras (posterior a Fm. LI?) se observó una falla de la cual no se encontró expresión superficial local, corresponde de una falla inversa con un buzamiento de 40° al Oeste que afecta a bancos de escasa potencia de ortoconglomerados y arenas conglomeradicas no consolidados con estratificación subhorizontal (Figura 6), con desarrollo de una brecha de falla de aproximadamente 30 cm de potencia. Su ubicación y características geométricas hacen suponer que se corresponde a la falla Barda Negra

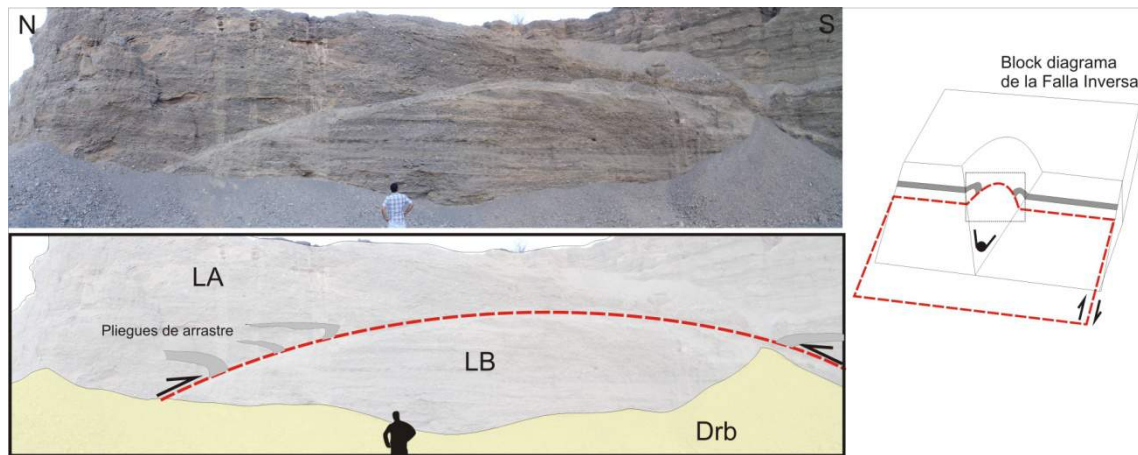


Figura 6: Fotografía e interpretación de la falla Barda Negra. El block diagrama explica la aparente curvatura del plano de fallo de la fotografía y pliegues de arrastre opuestos como resultado del corte de terreno. LA: Labio alto. LB: Labio bajo.

Al sur de las cerrilladas, el análisis de imágenes satelitales permite distinguir anomalías locales en la red de drenaje fluvial (Figura 3, 7) que hacen suponer una prolongación austral del corrimiento mayor descrito en el sector sur del Cordón Barda Negra. Como puede observarse, los cauces aguas arriba de la estructura se unen para aumentar su poder erosivo y así lograr incidir más profundo en el terreno y atravesar el desnivel “abovedado” generado por la falla no aflorante que impide su natural esorrentía (control activo), una vez sorteado este obstáculo los cauces pierden potencial erosivo y divergen aguas abajo, generando en su conjunto patrones “dicotómicos”. Esta morfología es diagnósticamente típica de anticlinales por propagación de fallas ciegas.



Figura 7: Anomalías en el drenaje por control activo de una estructura no aflorante (prolongación austral de la falla Barda Negra). Imagen base Google Earth.

En el flanco occidental del extremo sur del Cordón Barda Negra pueden ser observadas estructuras con geometrías tipo onlap (Figura 8), que sugieren que durante la depositación de la Fm. LI la tasa de levantamiento de la/s estructura/s era menor que la tasa de sedimentación.



Figura 8: Estratos de crecimiento (on lap) en el extremo sur de la cerrillada Barda Negra.

### IMPLICANCIAS EN EL PELIGRO SÍSMICO LOCAL

Las evidencias sedimentológicas-estructurales (onlap), estructurales (fallas y pliegues) y geomorfológicas (cerrillada, drenajes anómalos), en conjunto con el registro sedimentario, permiten inferir la existencia de estructuras tectónicamente activas durante el cuaternario. Estudios de campo de mayor detalle, en conjunto con el análisis sísmico instrumental y datos de subsuelo podrían ser de importancia para verificar su posible vinculación con el Corrimiento Las Peñas [9] el cual presenta un potencial sismogénico de 7 Mw [11]. Aunque no pueda vincularse a este corrimiento, existe amplio consenso en la comunidad científica, sobre la base de datos empíricos, que los terremotos de magnitud  $M > 6,5$  y profundidades menores de 30 km producen comúnmente deformaciones en la superficie topográfica [12], por lo que este valor puede considerarse válido para estimar su potencial sismicidad mínima capaz de producir las evidencias descritas para la zona de estudio.

La temporaneidad de los eventos es otro factor importante a ser analizado, hasta el momento no se cuenta en el registro sísmico instrumental o relatos históricos con evidencias que permitan atribuirle a esta estructura algún evento sísmico de magnitud considerable, su actividad sismogénica se ve sujeta a la situación de que al encontrarse en una región de intraplaca (o bajas tasas de deformación) los intervalos de recurrencia intersísmico sobrepasan el millar de años, y por lo tanto supera por mucho cualquier registro histórico o instrumental; dentro de este concepto, su aparente inactividad puede representar un gran peligro sísmico.

Por lo tanto las evidencias brevemente expuestas en este trabajo, sumado a la cercanía de centros urbanos, convierten a las estructuras descritas en una importante fuente de peligro sísmico para la región.



## AGRADECIMIENTOS

Se agradece al proyecto Principales Estructuras Neotectónica Argentinas (PENA) (Director Carlos Costa), y a Bethman y Pabla por la movilidad facilitada.

## BIBLIOGRAFIA

1. Barazangi, M.; Isacks, B. 1976. Spatial distribution of earthquakes and subduction of the Nazca plate beneath South America. *Geology*, 4: 686-692.
2. Jordan, T.; Isacks, B.; Allmendinger, R.; Brewer, J.; Ramos, V.; Ando, C. 1983. Andean tectonics related to geometry of subducted Nazca plate. *Geological Society of America Bulletin*, 94: 341-361.
3. Ramos, V.A.; Cristallini, E.O.; Pérez, D.J. 2002. The Pampean flat-slab of the Central Andes. *Journal of South American Earth Sciences*, 15: 59-78.
4. Ramos, V. 1988. The tectonics of the Central Andes; 30° to 33°S latitude. In *Processes in Continental Lithospheric Deformation* (Clark, S.; Burchfiel, C.; editors), Geological Society of America, Special Paper, 218: 31-54.
5. Cortés, J.; Costa, C. 1996. Tectónica Cuaternaria en la desembocadura del Río de las Peñas, Borde oriental de la Precordillera de Mendoza. In *Congreso Geológico Argentino*, No. 13, Actas, 2: 225-238. Buenos Aires.
6. Costa, C.; Gardini, C.; Diederix, H.; Cortés, J. 2000. The Andean thrust front at Sierra de Las Peñas, Mendoza, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 13: 287-292.
7. Mingorance, F. (2006), "Morfometría de la escarpa de falla histórica identificada al norte del cerro La Cal, zona de falla La Cal, Mendoza", *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, vol. 61, núm. 4, pp. 620-638.
8. Sepúlveda, E., López, H., 1998. Descripción geológica de la Hoja 3369-II Mendoza, provincia de Mendoza. SEGEMAR, Buenos Aires, Boletín 252. p. 75.
9. Ahumada E., 2006. La estructura del extremo sur de la sierra de Las Peñas-Las Higueras, Precordillera de Mendoza. *Asociación Geológica Argentina. Serie: Publicación especial N° 6*. p. 11-17.
10. Cortes J.M., Pasini M.M., Prieto M. C., 2012. Propagación y Migración de la Estructura Cuaternaria del Frente Montañoso Precordillerano En La Sierra de Las Peñas, Mendoza. XVIII Congreso Geológico Argentino, Neuquén. S12. Tectónica Andina.



11. SEGEMAR (Servicio Geológico Minero Argentino), 2002. Carta de Peligrosidad Geológica: 3369-II Mendoza. Boletín N° 324. V. A. Programa Nacional de Cartas Geológicas y Temáticas de la República Argentina 1:250.000. Provincias de Mendoza y San Juan.
12. McCalpin, J. 1996. Paleoseismology. Academic Press: 588 p. London.



# Caracterización de la actividad sismovolcánica en el Volcán Peteroa, Mendoza.

Casas, J. A <sup>(1)</sup>, Badi, G. A <sup>(1)</sup>, Manassero, M.C <sup>(1)</sup>, Ruigrok, E <sup>(2)</sup>, Gomez, M <sup>(3)</sup>, Draganov, D<sup>(2)</sup>, Ruzzante, J <sup>(3)</sup>, Torres, D<sup>(3)</sup>

<sup>(4)</sup> *Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata, Argentina.*

<sup>(5)</sup> *Department of Geoscience and Engineering, Delft University of Technology, Netherlands.*

<sup>(6)</sup> *ICES, CNEA, Buenos Aires, Argentina.*

E-mail: [augustotkd@carina.fcaglp.unlp.edu.ar](mailto:augustotkd@carina.fcaglp.unlp.edu.ar)

## RESUMEN

Uno de los elementos que mejor caracteriza a la dinámica volcánica es su sismicidad asociada. La dinámica eruptiva es controlada por el movimiento y acción de fluidos (magma, agua o gases) que interactuando con su entorno rocoso generan diversas señales sísmicas que evolucionan según el estado de actividad. La forma de onda, el contenido de frecuencias y la duración de estas señales estarán relacionados con las características de los fluidos y con las dimensiones y tipología del medio sólido que los confina.

El objetivo del presente trabajo es caracterizar la actividad sismovolcánica del volcán Peteroa, pcia. de Mendoza, y localizar sus fuentes sismogénicas para conocer e interpretar su comportamiento y aplicarlo al asesoramiento de su vigilancia. Se analizan datos provistos por una antena sísmica de 6 estaciones instaladas en las cercanías del volcán Peteroa, por el Proyecto de cooperación internacional MalARRgue (TUDelft-ICES) durante un período de un año.

El análisis en tiempo y frecuencia permite distinguir los eventos para luego modelar la posible fuente actuante relacionándola con el estado de actividad del volcán. En el presente trabajo se ha desarrollado una secuencia de procesamiento que permite visualizar los registros, analizar la evolución de su contenido espectral, filtrarlos a fin de identificar los eventos y obtener los valores de los parámetros necesarios para la localización y la confección del catálogo. La localización de las fuentes se realiza, en esta primera instancia, mediante inversión de tiempos de arribo o análisis comparativo del movimiento de partículas entre estaciones según los tipos de eventos considerados. Durante el año 2012, en el volcán Peteroa, se han detectado eventos volcanotectónicos asociados a fracturas, eventos de largo período y explosiones asociados a transitorios de presión, desgasificación y a fenómenos hidrotermales y tremor de largo período.



## INTRODUCCIÓN

El principal objetivo de la sismología volcánica consiste en entender la dinámica de los sistemas magmáticos activos para caracterizar el comportamiento eruptivo y los peligros asociados. El mapeo de los conductos de magma, cuantificación del transporte del mismo y la investigación de los eventos sísmicos, en conjunto con sus variaciones temporales, son cruciales para la comprensión de los mecanismos que desencadenan las erupciones [1].

Este estudio se origina en el marco del proyecto de cooperación internacional MalARRgue para la caracterización y monitoreo de la subsuperficie en la región de Malargüe mediante interferometría sísmica [2]. En el mismo, se instaló durante el año 2012, una red de 39 estaciones del programa IRIS-PASSCAL (EEUU), seis de las cuales se ubicaron en el flanco oriental del volcán Peteroa. Se tiene de este modo una herramienta de gran utilidad que permite registrar, identificar y caracterizar la actividad sísmica asociada al volcán así como analizar su evolución a lo largo del período de registro. Se pretende alcanzar un conocimiento integral de la sismicidad asociada al volcán Peteroa, caracterizar el medio subsuperficial de la estructura del mismo y analizar variaciones en su comportamiento durante el período de registraci3n. El conocimiento adquirido ser3 de utilidad en el asesoramiento para la implementaci3n de su vigilancia volc3nica, sobre todo teniendo en cuenta que el fin 3ltimo del proyecto MalARRgue es la instalaci3n de una red de estaciones permanentes en el 3rea.

## MARCO TE3RICO

### El Volc3n Peteroa y su Ambiente Geodin3mico

El Complejo Volc3nico Planch3n-Peteroa (CVPP) se ubica en la cordillera de los Andes a los 35° 15' S y 70° 35' W en la parte Sur de la Cordillera Principal (Figura 1.a). Este es un complejo elongado con varias calderas superpuestas, de importante erosi3n glacial e incluye tres cumbres principales: el volc3n Planch3n al norte, el volc3n Peteroa en el centro y el cerro El Pe3n3n al sur (volc3n El Azufre).



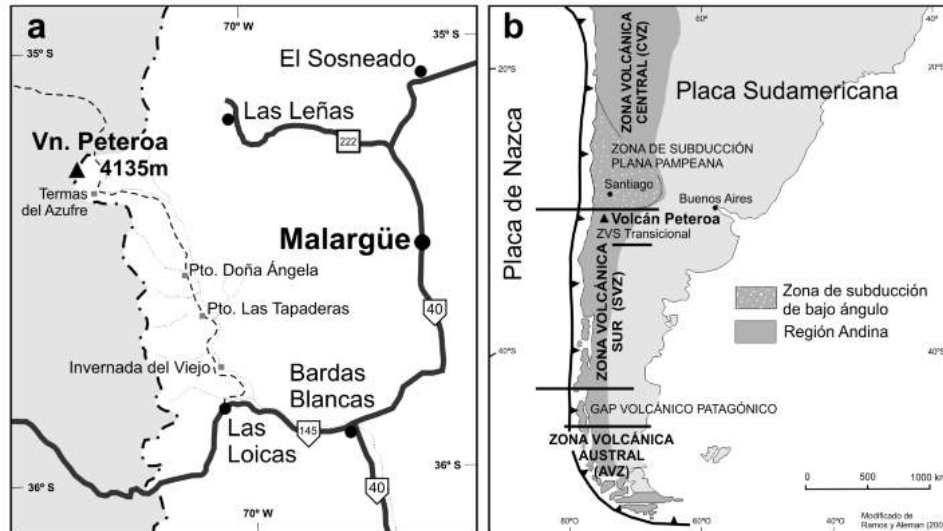


Figura 1. a) Mapa de ubicación del volcán Peteroa y localidades cercanas; b) ubicación del volcán Peteroa en el contexto de las Zonas Volcánicas de la cordillera de los Andes. Fuente: 'La erupción del volcán Peteroa (35°15'S, 70°18'O) del 4 de septiembre de 2010'; [6]

Existe un control espacial de calderas, estratovolcanes y manifestaciones termales determinados por estructuras NW-SE y NE-SW, que tienen su desarrollo en la Faja Plegada y Corrida de Malargüe [3]. Por estas fallas los magmas ascienden y se estancan en niveles magmáticos cada vez más someros y diferenciados.

En cuanto a la construcción y evolución del CVPP, según el modelo aceptado [4] [5], la actividad eruptiva comienza en el Pleistoceno en un edificio volcánico inicial, de mayor volumen, denominado El Azufre. Luego, se da lugar a la generación del Planchón I, a 6 km al N del anterior, a partir de un conducto distinto. Este sufre un proceso de derrumbamiento de su estructura generando un hemicrater de visión hacia el W, con presencia de lahares de alcance hasta 75 km hacia esa dirección. Conforme la actividad volcánica, surge la generación del Planchón II, dentro del aparato colapsado. La secuencia culmina con la generación del volcán Peteroa, ubicado a 95 km NW de la ciudad de Malargüe y 45 km SW del valle de Las Leñas y asociado a la actividad más reciente. Esta última etapa correspondería a un desplazamiento hacia el sur de la actividad del complejo.

En la actualidad el sistema activo del CVPP corresponde únicamente al Volcán Peteroa, que dentro del registro de su actividad histórica cuenta con una veintena de eventos eruptivos,



mayormente débiles, entre los cuales destacamos: en 1837, una erupción durante la cual se habrían emitido lavas y lahares que habrían arrastrado bloques de hielo hacia el río Teno; en 1991, una erupción freatomagmática con una columna eruptiva baja, expulsando cenizas a kilómetros de distancia y provocando contaminación en las aguas del río Claro y formación de lahares; en 2010 y 2011, erupciones menores explosivas freatomagmáticas con emisiones de gases, vapor de agua y cenizas [6] [7]. En el Peteroa opera un sistema hidrotermal alimentado por la fusión del casquete glacial y la infiltración de las aguas freáticas que interactúan con rocas sobrecalentadas. Las fuentes termales de esta región volcánica serían: 1) cámaras magmáticas someras (4 km) de los estratovolcanes activos; 2) zonas de alta permeabilidad, asociada a las fallas inversas activas de la Faja Plegada y Corrida de Malargüe [8].

### **RIESGO Y MONITOREO DEL CVPP**

El concepto de riesgo volcánico hace referencia a la cuantificación del impacto negativo que un determinado proceso generaría sobre un espacio antrópico expuesto. De aquí, que este concepto involucra las variables peligrosidad, vulnerabilidad y exposición. Es decir, la probabilidad de ocurrencia en un determinado lugar e intervalo de tiempo, de algún suceso asociado al sistema volcánico; la cuantificación del daño que provocaría dicho suceso y la distribución areal de la población permanente o turística y los bienes asociados.

Para el análisis de riesgo, debe considerarse información multidisciplinaria en su amplio espectro, principalmente aquella que surge de antiguas erupciones y comportamiento del sistema volcánico antes, durante y después de las mismas. La sismicidad de un volcán es uno de los elementos que mejor caracteriza la dinámica del mismo [9] [10]. Se ha comprobado que en muchos volcanes antes de la ocurrencia de una erupción se tiene un incremento de sismicidad con características que evolucionan con el proceso [11] [12] [13].

Particularmente, el CVPP se ha manifestado en su historia evolutiva con sucesos como flujos de lava, caída de tefra, flujos y oleadas piroclásticas frías y calientes, formación de lahares, crecidas y flujo de detritos volcánicos, actividad sísmica local, emisión de gases, lluvia ácida, alteración fisicoquímica de las aguas [4] y distintos efectos secundarios provenientes de muchos de ellos, contribuyendo de alguna manera a la cuantificación del riesgo. Hasta el momento, el monitoreo del Peteroa es realizado por el Observatorio Volcanológico de los Andes del Sur dependiente del Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile (OVDAS-SERNAGEOMIN) que cuenta con estaciones sismológicas desplegadas sobre el flanco occidental del volcán. La actividad sísmica registrada hasta este trabajo en el CVPP se caracteriza mayormente por eventos VT (Volcano-Tectónicos) con fuentes sismovolcánicas ubicadas principalmente hacia el NE del



volcán activo acompañados de eventos LP (Largo Período) y episodios de TR (Tremor Volcánico) estable de largo período.

La ubicación relativa de la población permanente o turística en la zona, la ubicación estimada de las áreas sismogénicas volcanotectónicas y la falta de información local, incrementan el riesgo. Es por esto, que sin dudas es necesario monitorear al Peteroa ya que la sismología volcánica ha mostrado ser una herramienta eficiente para la prevención.

### EVENTOS SISMOVOLCÁNICOS

Una región volcánica es capaz de producir diferentes señales sísmicas en función del tipo de fuente actuante, la que a su vez suele estar relacionada con el estado de actividad del volcán. El movimiento y acción de fluidos (magma, agua o gases) interactuando con su entorno rocoso generan diversas señales sísmicas con duración, forma y contenido de frecuencias característicos. Un análisis de sus formas de onda permite distinguirlos para luego modelar la posible dinámica de sus orígenes. De este modo pueden reconocerse terremotos Volcano-Tectónicos (VT), Eventos de Largo Periodo (LP), Tremor Volcánico (TR), Híbridos (HY) y Explosiones (EX), de acuerdo a las clasificaciones más difundidas [14] [15]. A modo de resumen, podemos nombrar las características principales de estas formas de onda:

**-VT:** Sus características en cuanto a forma de onda y origen son similares a los sismos tectónicos locales. En general, el registro de un VT posee comienzos impulsivos de ondas P y S, con un contenido de altas frecuencias (10-30 Hz) las cuales disminuyen conforme el tiempo. La diferencia de tiempos de arribo entre P y S es de alrededor de 1 a 3 seg indicando la cercanía de la fuente asociada y sus magnitudes suelen ser menores a las de los sismos tectónicos ( $M_w \leq 4$ ). Los VT pueden ser clasificados a su vez en profundos, con claros arribos de P y S de carácter impulsivo, y superficiales, con arribos poco claros de ondas S y menores frecuencias que los profundos. La aparición de los VT suele darse en forma de enjambre sísmico, es decir, una secuencia de numerosos terremotos agrupados en el tiempo, de tamaño similar y compartiendo una misma zona sismogénica [16].

**-LP:** Son señales típicamente asociadas a áreas volcánicas. Se caracterizan en general por no poseer fases definidas y tener un comienzo emergente con amplitud que crece gradualmente hasta alcanzar un máximo decreciendo luego para generar una coda que puede durar desde varios segundos hasta minutos. Su espectro posee máximos bien definidos a bajas frecuencias, en general menores que 5Hz, además, el hecho de que el contenido espectral muestre muy poca variación entre estaciones, indica que es un efecto de fuente más que de trayectoria y/o sitio.



Por otro lado, las características de los LP pueden variar de un volcán a otro e incluso pueden encontrarse diferentes familias de LP asociados a fuentes e intervalos de actividad diferentes en un mismo sistema volcánico. Observaciones realizadas en diferentes volcanes muestran que estas señales pueden asociarse tanto a actividades magmáticas como hidrotermales. La localización de sus fuentes generalmente es somera sobre todo cuando se observa actividad fumarólica. En varios volcanes se han observado eventos con frecuencias muy por debajo de 1 Hz, denominados como ULP y VLP ('Ultra Long Period' y 'Very Long Period') [15].

- **TR:** Es una vibración sostenida del suelo cerca de volcanes activos, que mantiene amplitudes constantes con duraciones desde decenas de minutos hasta decenas de años [17] [18]. Sus frecuencias pueden ser tan bajas como 0.02 Hz y llegar hasta 10 Hz mostrando uno o varios picos dominantes en dicho espectro. Las velocidades de movimiento del suelo observadas son variadas llegando hasta mínimos de algunos micrómetros por segundo en volcanes basálticos [17]. No se identifican fases P o S, lo que dificulta su localización y modelado de fuente. Se han planteado numerosos mecanismos generadores de tremor que involucran cambios de presión en un fluido, variaciones en el flujo, geometría de conductos y/o grietas, ebullición hidrotermal, etc. Posiblemente el origen esté dado por uno de ellos o la combinación de varios.

- **EX:** Quizás sean las señales más características dentro de un proceso eruptivo ya iniciado. Como su nombre lo indica, se registran tras la ocurrencia de explosiones volcánicas. Esto permite identificarlas fácilmente ya que se acompañan de actividad que puede visualizarse en el cráter e incluso señales infrasónicas y deformación. Algunas EX muestran el mismo contenido espectral que los LP pero se distinguen por la presencia de la onda aérea [19]. Esto podría reflejar un mismo mecanismo de fuente que difiere en su profundidad (profunda para los LP, superficial para las EX). Por lo general las EX tienen dos arribos definidos. El primero asociado a las ondas internas generadas en la explosión o su combinación en ondas superficiales con un aumento rápido de amplitud y frecuencia y el segundo asociado a la onda de choque, aérea o sónica con una clara velocidad de propagación de 343 m/s. Es difícil establecer una descripción sismológica general de estos eventos ya que sus características difieren de un volcán a otro dependiendo de parámetros como composición del magma, presencia o ausencia de sistema hidrotermal, dimensiones y geometría de los conductos, entre otros.

- **HB:** Sus formas de onda reúnen características de los VT y LP aunque los aspectos dominantes (en amplitud y duración) generalmente se relacionan a los LP. Tienen un comienzo impulsivo en una amplia banda de frecuencias (incluso mayores que 10 Hz) donde a veces pueden identificarse fases P y S, las cuales se encuentran asociadas a una fractura con mecanismo de doble cupla. Luego sigue una señal con forma de onda, duración y contenido espectral similar a los LP. Suelen aparecer en procesos pre-eruptivos inminentes aunque hay excepciones.



## METODOLOGÍAS

### Caracterización

La caracterización de la actividad sismovolcánica es un proceso que debe realizarse trabajando simultáneamente en el dominio del tiempo y la frecuencia.

En el dominio del tiempo importan la presencia o ausencia de tiempos de arribo definidos, la duración de los eventos y sus variaciones de amplitud. El monitoreo de amplitud en tiempo real ha logrado predecir erupciones volcánicas en varios volcanes.

En el dominio de la frecuencia, el contenido espectral y su variación en el intervalo de tiempo que dura cada evento (espectrograma) permiten distinguir las clases de eventos y asociarlos a mecanismos de fuente de dislocación o procesos en fluidos. A su vez, el análisis espectral a través de períodos largos de actividad sísmica ayuda a identificar variaciones en el mecanismo de fuente o su localización [15]. Ambas técnicas utilizadas en conjunto, componen una herramienta eficaz para la caracterización de la actividad sismovolcánica.

En el caso del CVPP, al ser este el primer conjunto de datos sismovolcánicos obtenidos sobre el flanco oriental, se deberán realizar ambos análisis en forma manual. Una vez identificados los tipos de eventos asociados al CVPP podrán incorporarse métodos de detección automática (MDA). Existen MDA como los basados en análisis de redes neuronales o también los Modelos Ocultos de Markov que han demostrado ser útiles en varios volcanes [20] [21]. Todos ellos requieren la medición de parámetros en el dominio del tiempo y la frecuencia y su comparación con aquellos de eventos preestablecidos. De este modo, contando con registros en tiempo real, se podrá implementar el monitoreo sismovolcánico del CVPP. Su combinación con resultados de otras disciplinas como la geoquímica de fluidos, el análisis de deformaciones y la termometría, permitirá una posible predicción de procesos eruptivos y la minimización del riesgo.

### Localización

La heterogeneidad y anelasticidad características del suelo en zonas volcánicas provocan una gran absorción de energía de las ondas sísmicas en el corto período. Por otra parte, la topografía generalmente escarpada dificulta una buena distribución de estaciones en torno a las zonas epicentrales.

Los métodos tradicionales de localización de la fuente sísmica basados en la inversión de tiempos de viaje de las ondas resultan útiles fundamentalmente en el caso de los VT donde los arribos quedan claramente definidos al ser establecidos por la llegada de ondas internas [22]. En este



caso, debe proporcionarse una estructura de velocidades de ondas P y S común a todas las estaciones y asegurarse una buena distribución acimutal de las estaciones alrededor de las áreas epicentrales. En oportunidades pueden utilizarse también para la localización de eventos LP, HB y EX restringiendo las velocidades de las ondas y siempre que sus tiempos de arribo sean claros [23].

Los análisis de polarización de ondas directas han demostrado ser una buena herramienta para la localización de los VT pero también de los eventos originados por la dinámica de fluidos cuando son claramente registrados por varios receptores de tres componentes distantes unos pocos kilómetros entre sí [24] [25]. En este caso deben asumirse un medio homogéneo e isótropo y el tipo de polarización (longitudinal o transversal) que espera encontrarse en las ondas. El análisis de la covarianza entre pares de componentes del registro de una estación permite establecer una dirección de procedencia de la señal. La comparación de las trayectorias obtenidas en diferentes estaciones resulta en la delimitación del área probable de la fuente sismovolcánica.

Los arrays han demostrado ser capaces de detectar y localizar señales de interés en las condiciones más adversas, buscando la máxima coherencia de las señales registradas en los diferentes sensores del array. La mayoría de los métodos resuelven ambas cuestiones simultáneamente para estimar la dirección de donde procede la señal y la velocidad aparente con la que sus frentes de onda se propagan a través del array. El método de la correlación cruzada de retraso cero ha sido utilizado en el análisis de varios tipos de señales sísmicas [26] y ha demostrado su utilidad para determinar la fuente sismogénica de los VT y del TR en varios volcanes, tal como en Copahue [27]. Para su aplicación deben considerarse la relación entre la geometría del array y las longitudes de onda analizadas y debe asegurarse un efecto de sitio común a todas las estaciones.

## APLICACIONES Y RESULTADOS

### Datos

El presente trabajo es un análisis preliminar de los datos obtenidos por seis estaciones del arreglo instalado por el proyecto MalARRgue en enero 2012 y por un período de un año. Las estaciones fueron provistas por el programa IRIS-PASSCAL y cuentan con sensores de tres componentes y corto período (2 Hz) Sercel-L22, adquirentes Reftek modelo 130B, control de tiempo GPS, panel solar y baterías para la alimentación. La Fig. 2 muestra la distribución de las estaciones de la red P utilizadas. Los datos adquiridos en cada estación, en forma continua a una frecuencia de muestreo de 100 Hz, se almacenaron en archivos de una hora de duración y formato mseed.



Figura 2. Distribución geográfica de estaciones y distancias al volcán. Realizado con GoogleEarth2013

### Desarrollo de Secuencias de Procesamiento

Para este trabajo se partió de secuencias de procesamiento ya disponibles, que fueron adaptadas para este estudio, mediante el análisis y optimización de algoritmos y criterios. Se pretendía obtener, en su conjunto, un paquete de herramientas útil para el tratamiento sistemático de los datos sismovolcánicos, interactivo y de fácil implementación.

Se desarrollaron entonces dos series de comandos principales a los que accede el usuario, uno para caracterización de la actividad y lectura de tiempos y otro para la localización expeditiva. Cada uno de ellos utiliza subrutinas para el acceso a los datos en formato mseed. Ingresando un intervalo de tiempo de registro en la primera serie de comandos principal, se puede realizar secuencialmente y en ventanas de 5 minutos para todas las estaciones, el análisis de formas de onda y contenido espectral, filtrado en bandas de frecuencia a elección, identificación y caracterización de señales y lecturas de tiempos de arribo, confeccionando automáticamente con ellos el listado que servirá de entrada a la secuencia dedicada a la localización. La segunda serie de comandos principal realiza el análisis del movimiento de partículas que permite identificar direcciones de propagación de las ondas asumiendo polarizaciones longitudinales o transversales según el tipo de evento y fase considerados. La localización de la fuente puede estimarse bajo la hipótesis de una velocidad de propagación constante.

Por su parte, las subrutinas cumplen con las tareas de leer los archivos de una hora de duración por estación, sincronizar los registros de las diferentes estaciones del array, llenar gaps, remover tendencias en la amplitud, quitar la respuesta instrumental para obtener el movimiento del suelo ya sea en velocidad o desplazamiento y extraer intervalos de tiempo correspondientes a los eventos seleccionados filtrando los datos de acuerdo a las características particulares de cada tipo de evento.



El sincronismo de los datos consiste en asegurar el mismo tiempo de inicio en los registros de todas las estaciones para cada hora y permite la comparación de los mismos en forma simultánea facilitando la identificación de eventos.

La respuesta instrumental es la limitación que imprime la estación a las ondas en cuanto a su contenido de frecuencias, por cuestiones de construcción, pero a su vez es la amplificación de amplitudes para hacerlas visibles en los registros. En este caso se removió el efecto del instrumento mediante división espectral para recuperar el movimiento del suelo incluso para frecuencias por debajo de la frecuencia de corte. En este proceso deben suavizarse los bordes de las ventanas temporales y acotar los intervalos de frecuencia recuperados a fin de evitar los efectos que pueden alterar los tiempos de arribo de las ondas.

### **Sismicidad Registrada en el CVPP**

A continuación se presentan los resultados preliminares del análisis de los registros continuos en tres componentes para todas las estaciones del array P.

El CVPP presenta eventos de tipo VT con tiempos S-P inferiores a 2s y amplitudes en frecuencias de hasta 40 Hz. Se observan numerosos eventos con características muy similares, claros arribos de P y S y duraciones que no superan los 9 s. La Figura 3 muestra las tres componentes del registro de un VT en la estación PV01 y el espectrograma de la componente vertical. En el período analizado los VT representan un 17.93 % del total de los eventos identificados.



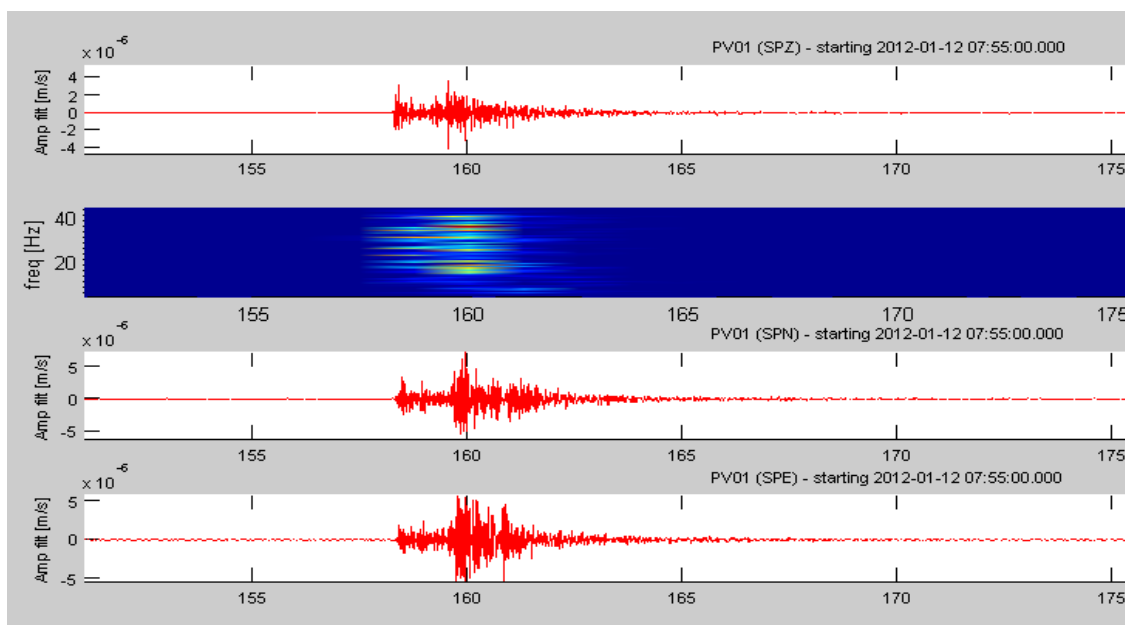


Figura 3. Ejemplo de evento VT, correspondiente al volcán Peteroa el día 12-1-2012.

Se detectaron un gran número de LP con duraciones y amplitud variables que representan el 64.79% del total de los eventos identificados. En muchos casos los LP aparecen sobreimpuestos al tremor de fondo. Las frecuencias dominantes de los LP se encuentran entre 0.8 y 2 Hz y sus duraciones pueden variar entre pocos segundos y hasta un minuto. La Figura 4 presenta los registros de un LP en las tres componentes de la estación PV02. Puede observarse un aumento gradual de la amplitud hasta alcanzar un máximo y luego un decaimiento lento formando una larga coda. Los LP del CVPP

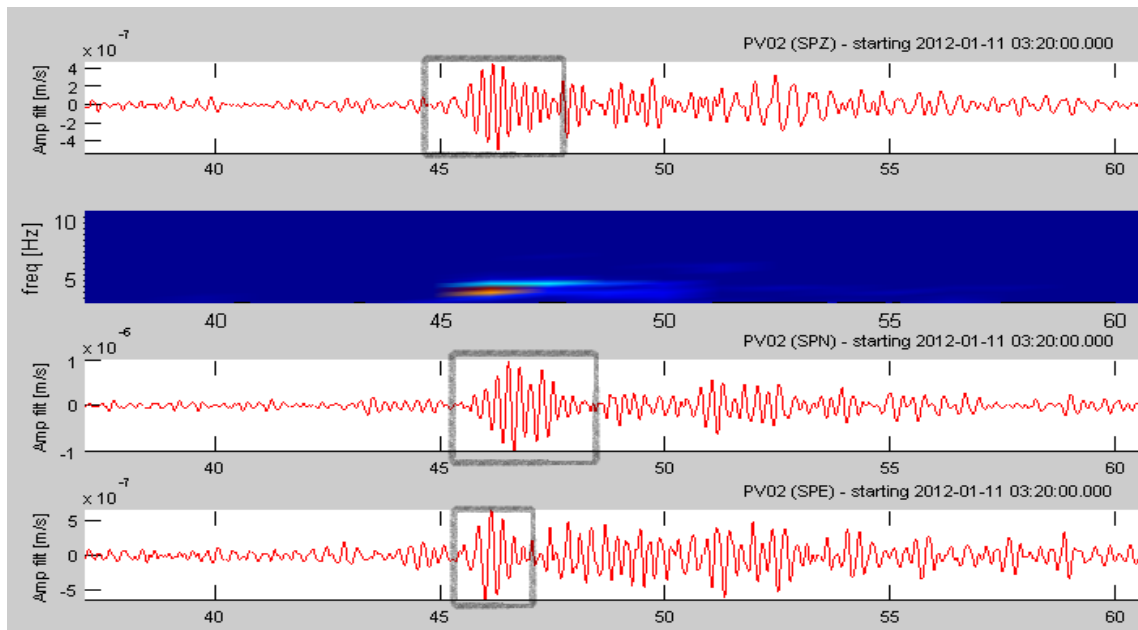


Figura 4. Ejemplo de evento LP, correspondiente al volcán Peteroa el día 11-1-2012. Aquí puede observarse el mismo dentro del TR del que forma parte.

resultan similares a los registrados en Copahue con señales casi monocromáticas y en oportunidades con comienzos con frecuencias más altas que las correspondientes al máximo de amplitud [28] aunque en otras ocasiones presentan comienzos tipo VLP como los registrados en el volcán Cotopaxi [29].

El TR característico del CVPP es de largo período como se observa en la Figura 5. En oportunidades se registraron episodios de tremor en todas las estaciones con duraciones de hasta varios días y contenido de frecuencia por debajo de 2 Hz. Eventualmente el tremor toma el aspecto de una sucesión de LP que no pueden distinguirse. Se consideró TR volcánico solo cuando la señal era coherente en todas las estaciones del array. En

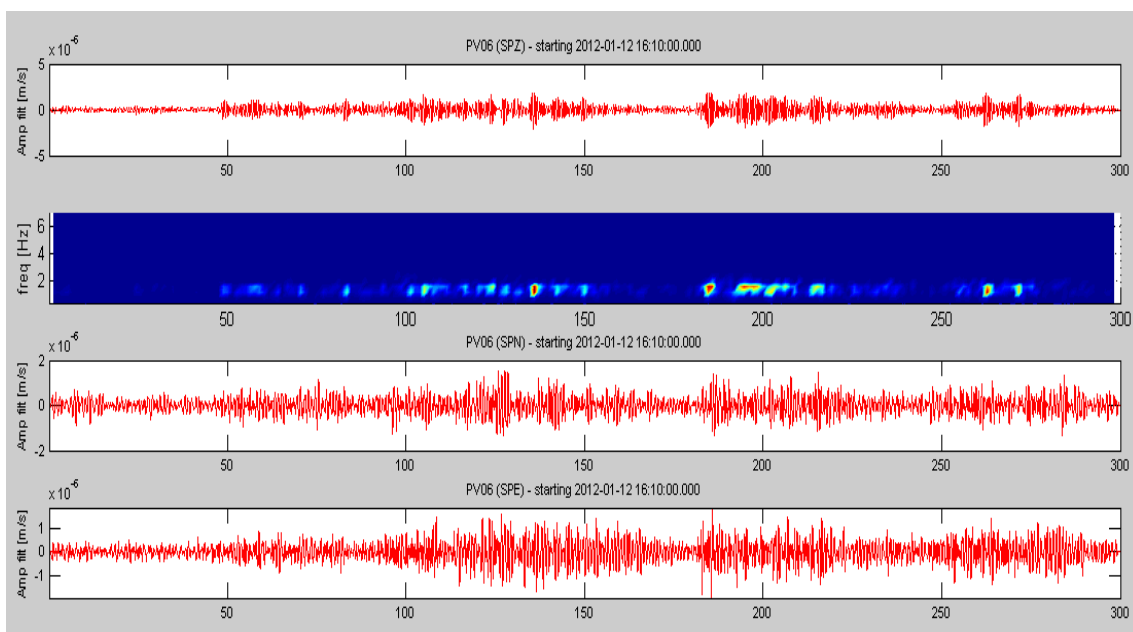


Figura 5. Ejemplo de evento TR, correspondiente al volcán Peteroa el día 12-1-2012. Se observa así, el TR de amplitud variable en el tiempo y para un ancho de frecuencias fijas.

algunas estaciones se observan señales tipo tremor en altas frecuencias producto de su cercanía a fuentes de ruido como la corriente de un arroyo, la presencia de ganado, el tránsito en la ruta 226, los generadores y la actividad en el puesto de Gendarmería.

Se han registrado numerosos eventos tipo EX con contenido espectral de largo período y duraciones de hasta 100 s que representan el 17.28% de los eventos. Se observa claramente la llegada de una onda primaria impulsiva de baja amplitud comparada con la onda secundaria que suele registrarse unos 20-30 s después (Figura 6). La primera onda es la que viaja por el subsuelo mientras que la segunda se asocia a la onda aérea o sónica viajando a 343 m/s. Estos eventos se asumen con un origen similar a los LP pero en fuentes muy superficiales. Las EX registradas en CVPP presentan las mismas características que las registradas en Copahue durante la crisis del año 2012 que fueron observadas y escuchadas por los habitantes de Caviahue [28].

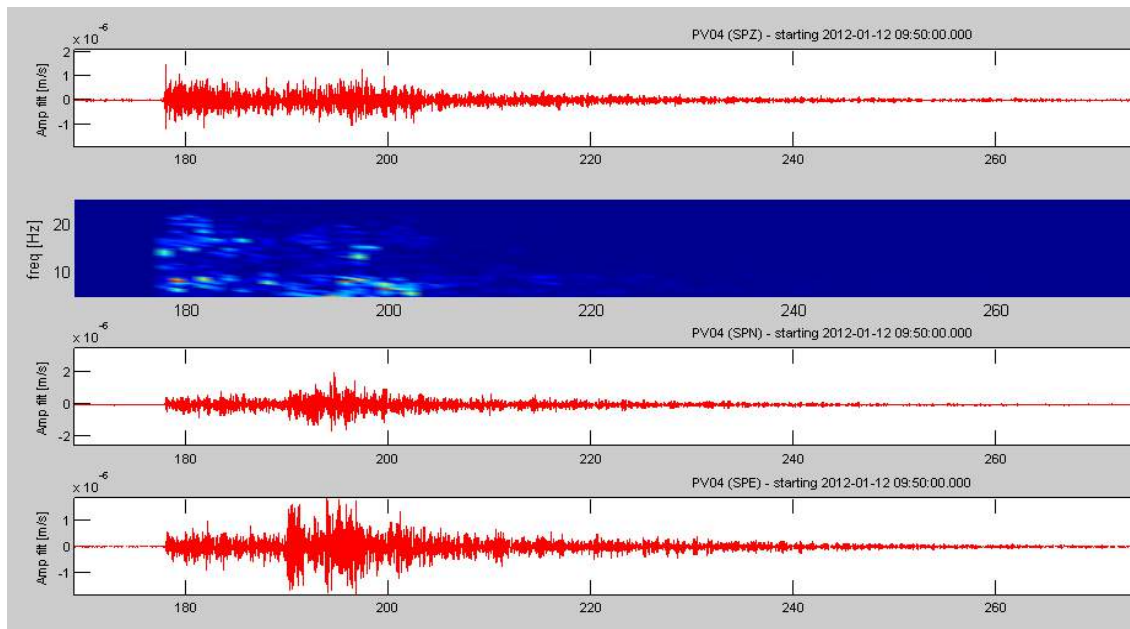


Figura 6. Ejemplo de evento EX, correspondiente al volcán Peteroa el día 12-1-2012. Se observa entonces la separación entre los arribos así como la coda característica.

### Localización de Fuentes

La localización de los VT mediante inversión de tiempos de arribo de ondas P y S se realizó con el programa Hypocenter [22] y un modelo unidimensional de velocidad adaptado de [30]. En la Figura 7 (círculos rojos) se presentan los epicentros obtenidos en esta localización preliminar que se distribuyen hacia el NE del cráter activo tal como había estimado el SERNAGEOMIN. Las profundidades de los focos resultaron ser someras (hasta cientos de metros desde superficie). Del mismo modo se localizaron las EX hallándose una distribución regional de los mismos que no convergía al CVPP. Sin embargo ninguno de estos eventos fue hallado en los catálogos de sismicidad regional. Estos resultados sumados a las bajas frecuencias de estos eventos confirmaron su clasificación como EX, en las que el segundo arribo debía ser la onda aérea. Asumiendo una velocidad del sonido en el aire de 343 m/s y fijando la profundidad de la fuente en la superficie se obtuvieron las localizaciones que se presentan en la Figura 7 (círculos amarillos). Esta distribución muestra buena relación con la ubicación de las fuentes hidrotermales y fumarolas conocidas presentando una dirección promedio N15E que se aproxima a la traza de la falla El Fierro, responsable de la existencia de los CVPP y CVDGQA (Complejo Volcánico Descabezado Grande - Quizapu - cerro Azul) [8].

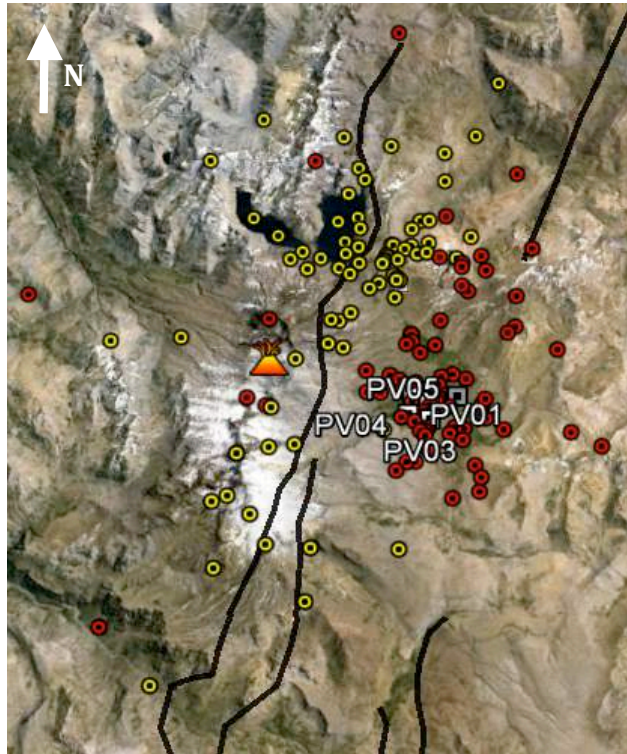


Figura 7. Localización preliminar de eventos VT (círculos rojos) y EX (círculos amarillos) registrados por el array P (PV0i,  $i=1:6$ ). Puede observarse aquí la disposición del sistema de fallas asociado (líneas de color negro), siendo el corrimiento El Fierro aquel que se ubica a lo largo de la zona de estudio dejando las estaciones de registro al E y el volcán al O [8] [31].

La localización mediante el análisis del movimiento de partículas se realizó estimando la covarianza y el ajuste lineal de las componentes tomadas de a pares en cada estación. En cada evento se obtuvo el desplazamiento del suelo filtrado en el intervalo de frecuencias predominantes y se seleccionó una ventana que incluyera al menos dos ciclos de la onda directa. Admitiendo un medio con velocidad constante, se encontraron direcciones de propagación para cada estación y la intersección de las mismas para todas las estaciones permitió estimar un área probable de origen. Los resultados para cada evento se obtienen de la secuencia de procesamiento como se muestra en la Figura 8. En el mapa y los perfiles EZ y NZ se observan las estaciones, los desplazamientos proyectados sobre el plano correspondiente y las direcciones que se obtienen del ajuste.

En el mapa de la Figura 9 se comparan las distribuciones epicentrales de los VT según la localización por inversión de tiempos (círculos rojos) y el análisis de movimiento de partículas (círculos blancos). Es notable la coincidencia en cuanto a la proximidad de ambas distribuciones al array.

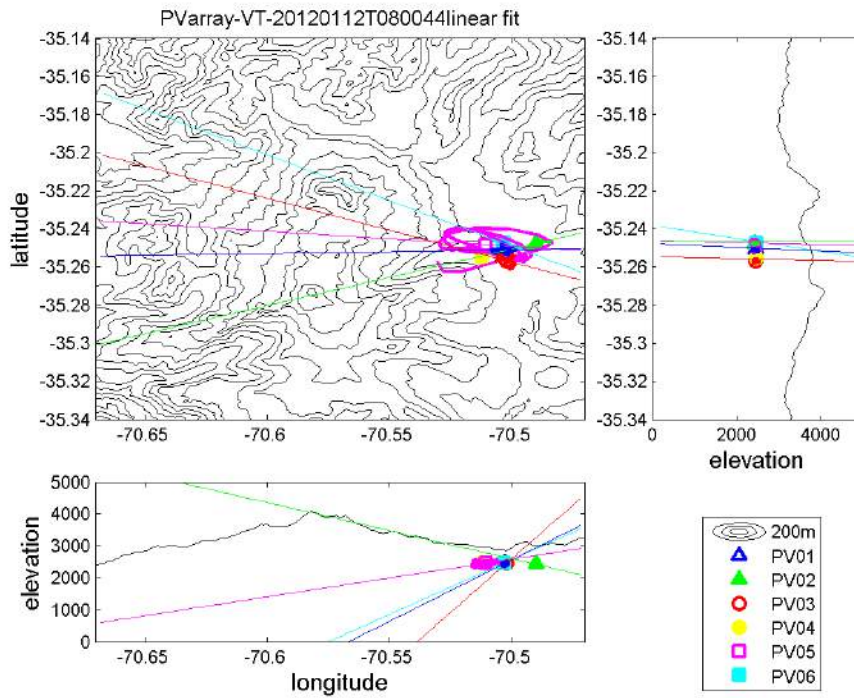


Figura 8. Ejemplo de localización mediante el análisis del movimiento de partículas para la onda P de un VT. Para cada estación, se muestran en un mismo color su movimiento de partículas proyectado en el mapa y perfiles y las direcciones de propagación.

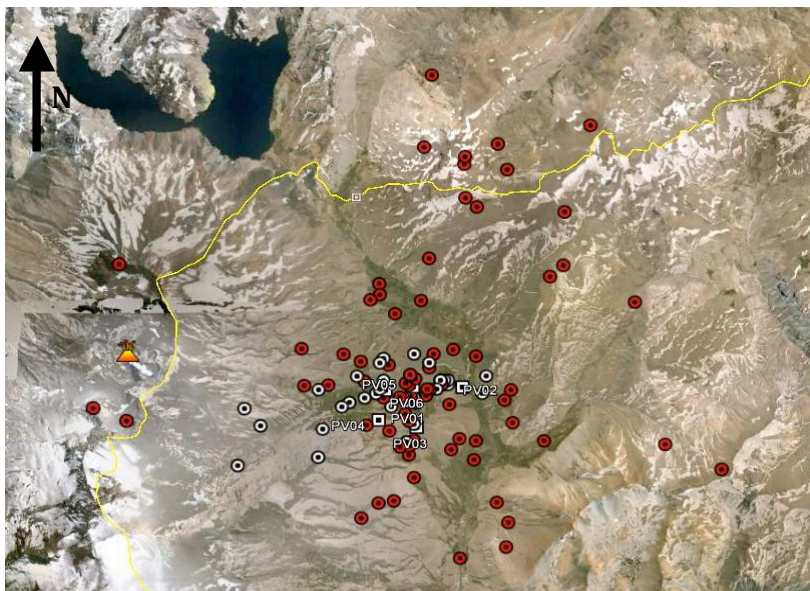


Figura 9. Comparación de epicentros de eventos VT localizados por inversión de tiempos de arribo (círculos rojos) y análisis del movimiento de partículas (círculos blancos).



## DISCUSIÓN

Este es el primer análisis de sismicidad realizado en el Volcán Peteroa con datos de estaciones temporales sobre el flanco oriental instaladas por el Proyecto MalARRgue a unos 6 km del cráter activo. Para este trabajo se ha desarrollado un paquete de secuencias de comandos bajo entorno Windows pero fácilmente adaptable a Linux, que permiten el análisis de datos sismovolcánicos en formato estándar de manera interactiva así como su localización expeditiva mediante análisis de polarización de ondas. La salida de dichas secuencias permite confeccionar rápidamente catálogos de eventos y mapas de localización. El análisis de los registros de las seis estaciones sísmicas del array P confirma que el Volcán Peteroa presenta una actividad sísmica abundante con presencia de eventos VT, LP, EX y TR. En el período analizado se observa que aproximadamente el 17.93 % de los eventos registrados son VT. Las localizaciones preliminares tanto por inversión de tiempos como por movimiento de partículas coinciden en cuanto a una distribución de focos someros y cercanos al array. Un 17.28% de los eventos está constituido por EX, más energéticas que los VT. Se han localizado 80 EX por inversión de tiempos de recorrido teniendo en cuenta que el segundo arribo corresponde a la onda aérea. Los resultados muestran buena correlación con la distribución de fuentes hidrotermales y fumarolas y un alineamiento con la falla El Fierro responsable de la existencia del CVPP.

Los LP representan el 64.79% de los eventos sísmicos identificados y tienen amplitudes que varían a lo largo del período analizado. Las fuentes estimadas tanto por inversión de tiempos como por movimiento de partículas se han visto influenciadas por el modelo de velocidad y por la distribución de las estaciones, por lo que se hace necesaria la aplicación de técnicas de array para su localización.

El primer paso a seguir en este trabajo consiste en adaptar las técnicas de array para la localización, ya que no requieren un recubrimiento acimutal y permiten seguir a una onda a través del array sin necesidad de comienzos impulsivos. Se espera de este modo mejorar significativamente las localizaciones, especialmente para el caso de los LP. Así mismo se deberá completar el análisis de las formas de onda para todo el período de registro, identificar las familias de eventos que caracterizan al CVPP mediante correlación de trazas en cada estación y detectar posibles cambios en su estado de actividad a través del análisis de la evolución temporal del contenido espectral para toda la sismicidad registrada.



## AGRADECIMIENTOS

Se agradece especialmente el apoyo otorgado por Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de Argentina. Parte de este trabajo se concretó con el apoyo del PICT 2007-001769: "Emisión Acústica y Precursores Sísmicos". También agradecemos a IRIS PASSCAL por haber provisto el equipo sísmico.

## REFERENCIAS

1. Chouet, B., 2003. Volcano Seismology. *Pure Appl. Geophys.* 160, 739-788.
2. Draganov, D., M. Gómez, E. Ruigrok, D. Torres, J. Ruzzante, 2012. Diseño y avance del Proyecto MalARRgue. *Actas Trabajos Completos E-ICES 7* (José Ruzzante et al. Eds), 1a ed., Buenos Aires, Comisión Nacional de Energía Atómica - CNEA, 127-131.CD-ROM. ISBN 978-987-1323-27-2
3. Cembrano, J., L. Lara, 2009. The link between volcanism and tectonics in the southern volcanic zone of the Chilean Andes: A review. *Tectonophysics* 471(1-2):96-113.
4. Tormey, D., F. Frey, L. Lopez-Escobar, 1989. Geologic history of the active Azufre-Planchón-Peteroa Volcanic Center (35° 15'S, southern Andes) with implications for the development of compositional gaps. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 44(1-4): 420-430.
5. Haller, M.J., H.A Ostera, A.H. Pesce, M. Gardini, A. Folgueras, 1994. Vulcanoestratigrafía reciente y eruptividad del volcán Peteroa. *Congreso Geológico Chileno*, N 7, Concepción, Actas 1, 319-323.
6. Haller M.J., C. Risso, 2011. La erupción del Volcán Peteroa (35°15'S, 70°18'O) del 4 de septiembre de 2010. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 68 (2): 295 - 305.
7. Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), 2013. <http://www.sernageomin.cl/volcan.php?ild=37>.
8. Benavente Zolezzi, O.M., 2010. Actividad Hidrotermal asociada a los Complejos Volcánicos Planchón-Peteroa y Descabezado Grande-Quizapu-Cerro Azul, 36°S y 37°S, Zona Volcánica Sur, Chile. Memoria para optar al título de geólogo, Universidad de Chile, 204 pp.
9. Chouet, B., 1992. A Seismic Model for the Source of Long-period Events and Harmonic Tremor. *Volcanic Seismology* (eds. P. Gasparini, R. Scarpa, and K. Aki). Springer-Verlag, New York. 133-156.





10. McNutt, S. R., 1999. Seismic Monitoring. *Encyclopedia of Volcanoes*. (Ed. Chief H. Sigurdsson). Academic Press, 1095-1119.
11. Lahr, J. C., B.A. Chouet, C.D. Stephens, J.A. Power, R.A. Page, 1994. Earthquake classification, location, and error analysis in a volcanic environment: implications for the magmatic system of the 1989-1990 eruptions at Redoubt Volcano, Alaska. *J. Volcanol. and Geoth. Res* 62, 137-151.
12. Ibáñez, J. M., E. Carmona, J. Almendros, G. Saccorotti, E. Del Pezzo, M. Abril, R. Ortiz, 2003. The 1998-1999 seismic series at Deception Island volcano, Antarctica. *J. Volcanol. and Geoth. Res.* 128, 65-68.
13. Patanè, D., G. Barberi, O. Cocina, O. De Gori, C. Chiarabba, 2006. Time-resolved seismic tomography detects magma intrusions at Mount Etna. *Science* 313, 821, doi: 10.1126/science.1127724.
14. Ibáñez, J.M., E. Carmona, 2000. Sismicidad volcánica. *Curso Internacional de Volcanología y Geofísica Volcánica*. Astiz, M., García, A. (ed.). 269-282.
15. Wassermann, J., 2011. Volcano Seismology. In P. Bormann (Ed.), *New Manual of Seismological Observatory Practice (NMSOP)* (68 pp.). Potsdam: Deutsches
16. Benoit, J.P., S.R. McNutt, Global Volcanic Earthquake Swarm Database and Preliminary Analysis of Volcanic Earthquake Swarm Duration. *Annali di Geofisica*, v. XXXIX, p. 221-229, 1996
17. Carniel, R., M. Di Cecca, D. Rouland (2003), Ambrym, Vanuatu (July-August 2000): Spectral and dynamical transitions on the hours-to-days timescale, *J. Volcanol. Geoth. Res.* 128, 1-3, 1-13, DOI: 10.1016/S0377-0273(03)00243-9.
18. Jones, J.P., 2009. Subband Investigation of Continuous Volcanic Tremor. *PhD Thesis*, University of Washington, 227 pp.
19. McNutt, S. R., Observations and analysis of B-type earthquakes, explosions, and volcanic tremor at Pavlof Volcano, Alaska, *Bull. Seis. Soc. Amer.*, v. 76, pp.153-175, 1986
20. C. Benítez, J. Ramírez, J. C. Segura, J. M. Ibáñez, J. Almendros, A. García-Yeguas, 2007. Continuous HMM-based seismic event classification at Deception Island, Antarctica. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, V. 45, No. 1, 138-146.
21. Curilem, G., J. Vergara, G. Fuentealba, G. Acuña, M. Chacón. 2009. Classification of seismic signals at Villarrica volcano (Chile) using neural networks and genetic algorithms. *J. Volcanol. Geoth. Res.* 180, 1-8.



22. Ottemöller, L., P. Voss, J. Havskov, 2012. SEISAN EARTHQUAKE ANALYSIS SOFTWARE FOR WINDOWS, SOLARIS, LINUX and MACOSX. Department of Earth Science, University of Bergen and Geological Survey of Denmark and Greenland. 379 pp.
23. Power, J.A., S.D. Stihlerb, R.A. Whitec, S.C. Morand, 2004. Observations of deep long-period (DLP) seismic events beneath Aleutian arc volcanoes; 1989-2002. *J. Volcanol. Geoth. Res* 138. 243- 266
24. Ruiz, M., 2003. Analysis of particle motion recorded by three components seismic stations. *GEOP 523* Final Report. 9 pp.
25. Almendros, J., B. Chouet, 2003. Performance of the Radial Semblance Method for the Location of Very Long Period Volcanic Signals. *Bull. Seism. Soc. Am.* 93, 5, 1890-1903.
26. Del Pezzo, E., J.M. Ibáñez & M. La Rocca, 1997. Observations of high frequency scattered waves using dense arrays at Teide volcano, Bull. Seism. Soc. Am., 87, 1637-1647.
27. Ibáñez, J. M., E. Del Pezzo, C. Bengoa, A. Caselli, G. Badi, J. Almendros, 2008. Volcanic tremor and local earthquakes at Copahue volcano, Southern Andes, Argentina. *J. Volcanol. Geoth. Res.* 174, 284-294. ISSN: 0377-0273.
28. Bengoa 2013, Estudio de la sismicidad volcano-tectónica del volcán Copahue, cordillera neuquina. Tesis de Doctorado en Geología. Facultad de Cs. Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. En preparación.
29. Marquez, S.M., 2012. Caracterización de los sismos de muy largo período en el Volcán Cotopaxi y sus implicaciones. *Tesis de grado en Geofísica*, Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata, 69 pp.
30. Bohm, M.; Lüth, S.; Asch, G.; Bataille, K.; Bruhn, C.; Rietbrock, A.; Wigger, P. 2002. The Southern Andes between 36°S and 40°S latitude: seismicity and average velocities. *Tectonophysics*, Vol. 356, p. 275-289.
31. Gonzales Contreras, A.C, Selman D.C, 2008. Análisis estructural entre los valles del río Tinguiririca y Teno, Cordillera Principal de Chile central: Microsismicidad y geología superficial

Este trabajo participa en el “CONCURSO PARA JÓVENES INVESTIGADORES”



# Listado de algunas especies vegetales hiperacumuladoras de metales pesados, presentes en el Departamento de Malargüe.

Castaño-Gañán A.R.

*International Center for Earth Sciences-Comisión Nacional de Energía Atómica, Cmte Rodríguez esq. Esquivel Aldao, Malargüe, Mendoza, Argentina.*

E-mail: [aganan@cnea.gov.ar](mailto:aganan@cnea.gov.ar)

## RESUMEN

Existe un conjunto de especies vegetales con cualidades especiales para la recuperación de suelos contaminados con metales pesados, muchas de esas especies están en Malargüe de manera natural o introducida. Malargüe posee una diversidad potencial de plantas “hiperacumuladoras” disponibles para investigación experimental.

## INTRODUCCIÓN

“Las especies de plantas útiles para la fitorremediación deben cumplir algunos requisitos: (a) rápido crecimiento; (b) producir alta biomasa; (c) y ser tolerantes a la contaminación” (1), este es un concepto ampliamente conocido.

La tecnología de fitorremediación se inspiró en la existencia de un grupo de especies de plantas llamadas hiperacumuladoras (2). (Baker and Brooks (1989) definieron la hiperacumulación de metales por dos lados (i) la concentración del elemento acumulado en un organismo puede ser mayor que el encontrado en el suelo, y (ii) la cantidad del elemento puede ser mayor que lo usual para ese organismo.

La fitoestabilización es un proceso mediante el cual se reduce la movilidad de los contaminantes y previene la migración de metales a aguas subterráneas o al aire, también reduce su biodisponibilidad hacia la cadena alimenticia. Esta técnica también se utiliza para reforestar sitios disturbados que carecen de vegetación debido a las altas concentraciones de contaminantes, las plantas tolerantes a los metales se utilizan para restaurar y de esa manera disminuir la migración potencial de la contaminación con la erosión del viento y de la lixiviación de contaminantes del suelo a aguas subterráneas. En algunos casos de fitoestabilización, los



metales pueden ser transformados a menos biodisponibles y por consiguiente a formas menos tóxicas (3).

Estas especies de plantas, en su mayoría, pertenecen a los siguientes órdenes taxonómicos: Poales, Malpighiales, Fabales, Rosales, Brassicales, Caryophyllales, Solanales y Asterales (4), (5).

(6), identificaron especies de plantas, como buenas fitorremediadoras de radionucleidos como el cesio, estroncio y uranio). A continuación se presenta un listado de algunas plantas hiperacumuladoras presentes en el departamento Malargüe, las cuales las han probado con éxito en otros lugares con diversas problemáticas ambientales

### LISTADO DE ESPECIES CÓMUNES

a. Maíz (*Zea mays*): Esta especie dentro de las poaceas es la que más biomasa produce. La cual es tolerante a metales pesados y al petróleo.



b. Trigo (*Triticum aestivum*) y c. Cebada (*Hordeum vulgare*): Algunos de estos cultivares son recomendados para fitorremediación de suelos con altos contenidos de sal.



Varias especies de los géneros d. *Festuca* ye. *Agrostis*: son pastos caracterizados por sus altos nivele de tolerancia a metales pesados, acumulándolos básicamente en las raíces.



f. Titora (*Scirpus sp*): ha sido probada para remediar pantanos con altos niveles de Zn.





g. Álamos (*Populus nigra*, *P. deltoides*) y h. Sauces (*Salix Spp*): Utilizados para remediación de metales pesados y contaminantes orgánicos. Poseen un sistema radicular profundo, rápido crecimiento y fácil propagación. Además contribuyen a la descontaminación del aire en zonas urbanas.



i. Molle (*Schinus roigii*): (7) se postula la consideración de planta Indicadora de la presencia de Uranio.





j. Alfalfa (*medicago sativa*) y k. trébol (*Melilotus Indica*): La lista de leguminosas tolerantes a contaminantes es amplia, estas dos especies ayudan a remediar sitios con presencia de selenio y metaloides como arsénico.



l. Falsa acacia (*Robinia pseudoaccacia*): esta especie además exuda al suelo flavonoides, lo que estimula el desarrollo de microorganismos que ayudan a degradar los contaminantes orgánicos persistentes (PAHs y PCBs).





m. Las rosas, y el n. arbusto crataegus (*Pyracantha coccinea*) Además de tolerantes a la polución



son útiles en el biomonitordeo de Cd, Pb y Zn.

Las brasicáceas o crucíferas, presenta géneros potenciales para remediación en Malargüe, como el género o. *Iberis* yp. *Thlaspi* con capacidad de hiperacumular Talio.



q. Clavellina (*Armeria maritima*): Buena captadora de plomo y tolerante a otros metales pesados, cultivada en jardines y pionera en sitios posindustriales.





r. Tamarisco (*Tamarix gallica*):Excelentes capacidades de fitoextracción y estabilización de dunas.



s. Girasol (*Helianthus annuus*): Interesante por su alta capacidad de acumulación de biomasa, tolerancia a la sequia, captura uranio y antimonio.



## REFERENCIAS

1. Pilon-Smits E (2005) Phytoremediation. *Annu Rev Plant Biol* 56:15-39
2. Brooks RR (1998) Plants that hyperaccumulate heavy metals. CAB International, University Press, Cambridge, p 380
3. Berti, WR y Cunningham, SD Fitoestabilización de metales. En: I. Raskin y BD Ensley eds. *fitorremediación de metales tóxicos: el uso de plantas para limpiar el medio ambiente*. New York, John Wiley & Sons, Inc., 2000, p. 71-88
4. Bremer B, Bremer K, Chase MW, Fay MF, Reveal JL, Soltis DE, Soltis PS, Stevens PF (2009) An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. *Bot J Linn Soc* 161:105-121
5. Chase MW, Reveal JL (2009) A phylogenic classification of the land plants to accompany APG III. *Bot J Linn Soc* 161:122-127
6. Tang, S., Willey, N.J., 2003. The uptake of Cs by species of Amaranthaceae and Asteraceae from two Chinese soils. *Plant Soil*. 250, 75-81.
7. Ruiz Leal, A. 1972. Flora popular mendocina. *Deserta* 3:1-296. Chiapella, J. & Ezcurra, C. -1999- La flora del Parque Provincial Tromen, Provincia del Neuquén, Argentina. - *Multequina* 8, 51-60



# Incremento en la Eficiencia Computacional para la Predicción de Incendios Forestales.

Caymes-Scutari, P <sup>1,2</sup>, Tardivo, M <sup>1,2,3</sup>, Méndez-Garabetti, M <sup>1,2</sup> y Bianchini, G<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Investigación en Cómputo Paralelo/Distribuido (LICPaD).

Departamento de Ingeniería en Sistemas de Información.

Facultad Regional Mendoza. Universidad Tecnológica Nacional

<sup>2</sup>Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

<sup>3</sup>Departamento de Computación, Universidad Nacional de Río Cuarto

E-mail: pcaymesscutari@frm.utn.edu.ar

## RESUMEN

Cada año, en diferentes locaciones del país y el mundo, acaecen incendios forestales que impactan negativamente en el ecosistema, generan pérdidas de diversa índole y representan una gran amenaza para los seres humanos. Es por ello que la propagación de incendios forestales constituye el objeto de estudio de diversas ramas de la ciencia y la ingeniería, las cuales conforman diferentes pilares para la comprensión de dichos fenómenos en el afán de brindar herramientas capaces de prevenirlos y/o combatirlos. En la actualidad, el manejo de los incendios forestales se realiza en gran medida por medio de herramientas computacionales, dada la potencia alcanzable, así como la comodidad y riesgo nulo de realizar experimentos a través de simulaciones y/o reproduciendo grabaciones de incendios reales. Entre las herramientas existentes para la predicción se encuentra ESS (Evolutionary-Statistical System), un método computacional basado en Análisis Estadístico, Algoritmos Evolutivos (AEs) y Computación de Alto Rendimiento (HPC). Cada una de dichas componentes aporta buena parte al método: la Estadística, permite explotar el espacio de búsqueda en pos de una solución fiable, los AEs orientan la búsqueda, y el HPC ofrece la infraestructura para la gran cantidad de cómputo a realizar. No obstante, también introducen diversos efectos negativos ajenos al método de predicción en sí. Dado que las componentes estadística y evolutiva ya han sido tratadas con anterioridad, en este trabajo se aborda la sintonización de la componente HPC, ya que involucra la utilización de múltiples recursos computacionales, no siempre utilizados de forma eficiente. Hallar el equilibrio entre volumen de trabajo a computar, equipamiento involucrado, carga dinámica del entorno de ejecución, tiempo de respuesta esperado, etc., constituye una tarea no trivial que requiere el uso de técnicas de sintonización dinámica, que permitan adaptar el



proceso de predicción al estado particular del entorno de ejecución, disminuyendo además los efectos negativos del uso innecesario de equipamiento electrónico y sus emisiones.

## INTRODUCCIÓN

Cada vez resulta más frecuente que desde las diversas ramas de las ciencias y la ingeniería se recurra a la ciencia computacional a fin de resolver los problemas que abordan. A través de factores como el modelado matemático, la simulación, la visualización, la programación y la computación de alto rendimiento, la ciencia computacional permite el estudio de problemas que normalmente resultan muy complejos, demandantes de tiempo y espacio (en términos de memoria y almacenamiento), e incluso muy peligrosos por los riesgos humanos y/o ambientales que conllevan [1]. Algunos de los factores antes mencionados cobran importancia a la hora de valorar su aporte a la ciencia. El modelado consiste en la representación matemática y en la aplicación de métodos para el análisis de problemas complejos del mundo real a fin de realizar predicciones acerca de lo que debería suceder de acuerdo a ciertas acciones en función de los valores asumidos por el sistema. A su vez, a través de la simulación, los modelos son implementados en la forma de programas computacionales, con parámetros de entrada que describen al modelo y permiten interpretarlo para obtener un resultado que representa el comportamiento esperado del sistema bajo esas condiciones de partida. Sin embargo, es frecuente que las herramientas de simulación arrojen resultados ciertamente distantes del comportamiento real del fenómeno simulado, dado que existen diversas fuentes de error (en cuanto a la precisión): errores, asunciones o cotas en la formulación del modelo, errores algorítmicos o lógicos en la implementación computacional, limitaciones relacionadas con la representación numérica, la precisión, el redondeo y el truncamiento, etc. Lamentablemente, aún cuando la formulación del modelo y el algoritmo de implementación estén libres de errores, es muy difícil que el simulador ofrezca una salida siempre fiel a la situación real que se desea representar, dada la incertidumbre introducida tanto por las expresiones matemáticas como por la representación numérica de las computadoras, ya que ambas presentan limitaciones intrínsecas a la dificultad o impedimento de medir, cuantificar y/o representar todos los aspectos o parámetros involucrados en el sistema bajo estudio. Existen diferentes métodos para la reducción de incertidumbre, los cuales permiten reducir los efectos negativos provocados por esa infinidad de escenarios no representables matemática ni computacionalmente. De esta manera, la reducción de incertidumbre constituye un proceso muy importante para lograr predicciones más acordes a la realidad, que permitan constituir herramientas confiables para asistir a los sistemas de toma de decisiones. El presente artículo se centra en la sintonización de un método de reducción de incertidumbre, denominado ESS, el cual descansa sobre tres pilares: la



estadística, la computación evolutiva y la computación de alto rendimiento. La estadística ofrece la posibilidad de estudiar tendencias en el comportamiento del sistema bajo diversas condiciones. La computación evolutiva permite orientar la búsqueda hacia una predicción más precisa (y en consecuencia suele reducir además los tiempos de ejecución). La computación paralela ofrece la infraestructura para explotar y desplegar el espacio de búsqueda, en tiempos humanamente razonables. La sintonización constituye un proceso mediante el cual pueden modificarse, ajustarse, mejorarse y/o calibrarse los diferentes parámetros y aspectos involucrados en el sistema, que permitan alcanzar resultados de calidad, en un tiempo menor, y con una utilización de recursos más eficiente.

Año tras año, los incendios forestales constituyen un problema que ocasiona grandes daños desde el punto de vista ecológico-ambiental, como desde el humano, social y económico [2]. El riesgo aun se incrementa cuando las condiciones meteorológicas son extremas, con estaciones secas, temperaturas elevadas y/o fuertes vientos. Por ejemplo, en la Argentina se producen incendios forestales con cierta frecuencia, los cuales suelen afectar a los bosques autóctonos, impactando indefectiblemente en el ecosistema. Un ejemplo concreto lo constituyen los numerosos incendios ocurridos recientemente en varias provincias del país en simultáneo, arrasando en total más de 110000 hectáreas de bosques y pastizales. Las consecuencias fueron nefastas especialmente en la zona serrana de la provincia de Córdoba (Figura 1), en la cual los incendios persistieron durante varios días, siendo necesario evacuar a la población dado que las llamas alcanzaron a más de 40 viviendas, incluso hiriendo a varias personas.



Figura N° 1. Animales calcinados en Calamuchita, Córdoba. [3].

Lamentablemente, buena parte de los incendios se origina por causas antrópicas [4]: deforestación, quema de basura, quemas premeditadas, accidentes, etc. El fenómeno de los incendios forestales no sólo provoca pérdidas y daños irreversibles a nivel de bosques y zonas



verdes, sino que además posee un gran impacto en la salud humana y ambiental. Es por ello que el proceso de lucha contra el fuego intenta valerse de distintos tipos de herramientas y recursos para la prevención, la predicción, la detección y monitorización, el manejo y la lucha contra el fuego propiamente dicha.

En este contexto, la clase de investigación presentada en este trabajo constituye una importante mejora en las herramientas para la prevención y predicción de incendios forestales, dado que ayuda a mejorar la utilización de los recursos informáticos. Por ello, la sintonización dinámica resulta fundamental para mejorar el rendimiento de los métodos computacionales previamente desarrollados.

En lo que sigue del artículo se presenta, primeramente, una breve clasificación de los métodos de predicción y se proveen los detalles del método ESS. En segundo lugar se presentan las distintas aproximaciones para la sintonización de aplicaciones, en relación a los aspectos generales a tener en cuenta. Dado que el presente trabajo se centra en la sintonización dinámica basada en modelos de rendimiento, en tercer lugar se documenta el modelo de rendimiento considerado en este estudio, para posteriormente describir los experimentos realizados y documentar los resultados alcanzados. Finalmente se analizan dichos resultados y se presentan las conclusiones del trabajo.

## MÉTODOS DE PREDICCIÓN

En la presente sección se brinda una breve clasificación de los métodos de predicción aplicados a incendios forestales, partiendo desde lo que llamamos Predicción Clásica o aplicación clásica de un simulador de comportamiento de incendios forestales, pasando por los métodos *Data-Driven* (o conducidos por datos) de única solución y los de solución solapada múltiple, dentro de los cuales se encuentra el Método Estadístico-Evolutivo (ESS) sobre el cual se ha realizado la experimentación y sintonización descrita en el presente trabajo.

### PREDICCIÓN CLÁSICA

Básicamente, la Predicción Clásica consiste en utilizar cualquier simulador de comportamiento de incendios para evaluar la posición del frente de fuego luego de un determinado intervalo de tiempo. El simulador debe alimentarse con todos los parámetros requeridos (vegetación, condiciones meteorológicas, área de ignición, etc.), para luego ponerse en funcionamiento y así predecir la línea de fuego en el instante de tiempo siguiente. Este esquema es representado en la Figura 2. En el mismo,  $M$  corresponde al modelo de comportamiento de incendios, el cual es



considerado como una caja negra. ER0 es el estado real del incendio en el tiempo  $t_0$  (frente de fuego inicial), mientras que ER1 se corresponde con el estado del frente de fuego real en el tiempo  $t_1$ . Luego de aplicar los parámetros y ER0 a M, el estado del frente de fuego predicho se representa a través de EP, el cual se espera que coincida con ER1. Sin embargo, debido a la complejidad del modelo de comportamiento del fuego, este esquema de trabajo no suele ofrecer un resultado lo suficientemente aproximado a la realidad como para considerarlo una herramienta de trabajo confiable. Algunos ejemplos de predicción clásica son [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11].

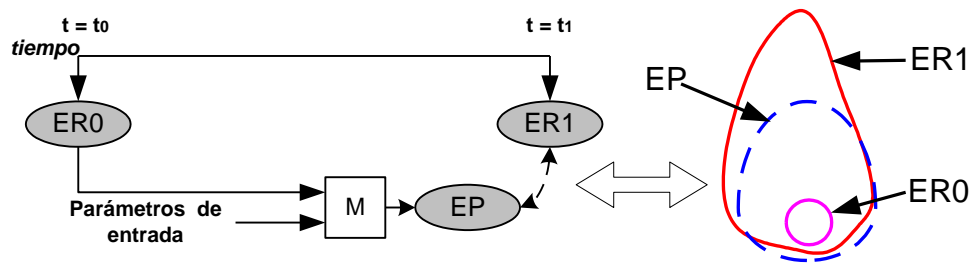


Figura N° 2. Diagrama esquemático para la Predicción Clásica (ERX: estado real en tiempo X, M: modelo, EP: estado propuesto por el modelo)

## MÉTODOS CONDUCTOS POR DATOS

Existen multiplicidad de algoritmos diseñados para examinar el espacio de búsqueda y hallar una solución a un problema, pero tales métodos no son robustos (por ej. Búsqueda exhaustiva, Búsqueda Local, Algoritmos Voraces, Divide y Vencerás, Ramificación y Poda, etc.). Algunos de los algoritmos o estrategias mencionados garantizan hallar la solución, otros no, pero todos comparten algo en común: o garantizan hallar la solución global, a un costo muy alto (por ejemplo en tiempo de procesamiento) o tienen la tendencia a caer en un óptimo local.

Por lo expuesto, resulta de interés la aplicación de heurísticas modernas, las cuales son frecuentemente usadas en las geociencias (por ej. en la predicción del clima y en hidrología entre otras). En general, los métodos desarrollados [12, 13, 14, 15, 16], operan sobre un gran número de valores de entrada y, por medio de algún tipo de optimización, se enfocan en la búsqueda de un único conjunto de valores que describa el comportamiento de la mejor manera posible. En otras palabras, el objetivo de la optimización es hallar un conjunto de valores, de forma tal que si estos valores se aplican al modelo en cuestión (que normalmente puede haber sido implementado en un simulador), sería posible describir correctamente el comportamiento

previo, es decir, el comportamiento que ha sido utilizado para calibrar o hallar el conjunto de parámetros. Por lo tanto, normalmente se espera que el mismo conjunto de valores pueda ser utilizado para describir el comportamiento de un futuro inmediato. A los sistemas que aplican este tipo de metodología se los conoce como *Data Driven Methods* (DDM) o Métodos Conducidos por Datos.

Esquemáticamente, los DDM operan sobre una etapa que llamaremos Etapa de Calibración (EC). En la Figura 3 puede apreciarse cómo los DDM trabajan sobre grandes cantidades de valores (diferentes combinaciones de entradas que producen diversos escenarios). Esta característica es la que explica el tiempo extra que requieren para poder computar toda la información.

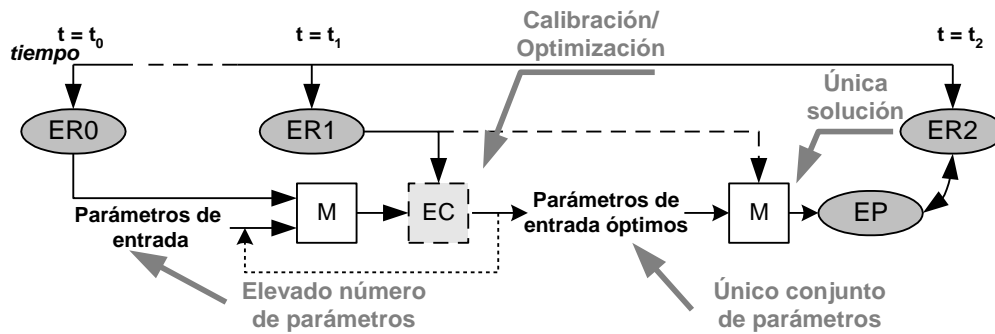


Figura N° 3. Diagrama esquemático de los Métodos Conducidos por Datos (ERX: estado real en tiempo X, M: modelo, EC: etapa de calibración, EP: estado propuesto por el modelo).

Sin embargo, a pesar de que los DDM mejoran los resultados que se obtienen con la aproximación clásica, estos adolecen de un mismo problema: encuentran un único conjunto de valores, y para aquellos parámetros que cambian dinámicamente, el valor hallado en general no resulta de utilidad para describir correctamente el comportamiento del modelo en cuestión.

### MÉTODOS CONDOCIDOS POR DATOS CON SOLUCIÓN SOLAPADA MÚLTIPLE

Esta clase de métodos, subsanan los problemas originados por la unicidad del conjunto de parámetros de entrada de los DDM comentados anteriormente. Dos casos concretos son  $S^2F^2M$  [17,18] y ESS [19]. Ambos pertenecen a una nueva rama de DDM que realiza predicciones considerando el solapamiento de diversos casos o combinaciones de parámetros.

Dado que el presente trabajo se ha realizado sobre ESS, nos concentraremos sólo en la descripción de este último.





- **Evolutionary-Statistical System:** Este método combina la fortaleza de tres componentes: estadística, algoritmos evolutivos y paralelismo, el cual se ha dado en llamar Sistema Estadístico Evolutivo (o *Evolutionary-Statistical System*, ESS) [19]. Corresponde a una mejora del método  $S^2F^2M$  relacionada con la introducción de características de Algoritmos Evolutivos Paralelos [20] en la etapa de calibración. La etapa estadística de la metodología agrupa todos los resultados de una serie de casos que surgen como combinación de los posibles valores resultantes (dentro de rangos válidos) de los parámetros que exhiben incertidumbre. Es claro que existe un cierto porcentaje de casos que no aportan un valor significativo al resultado, ya sea por resultar redundantes, o porque se alejan demasiado de la realidad. Para resolver este problema es que se ha decidido aplicar algoritmos evolutivos (AEPs), los cuales son métodos de optimización y búsqueda de soluciones inspirados en los postulados de la evolución biológica. En ellos se mantiene un conjunto de entidades que representan posibles soluciones (cada una denominada 'individuo') las cuales se mezclan, y compiten entre sí, de tal manera que las más aptas son capaces de prevalecer a lo largo del tiempo, evolucionando hacia mejores soluciones cada vez. Como puede observarse en la Figura 4, el sistema está dividido en dos etapas generales: una Etapa de Optimización (EO) que implementa el Algoritmo Evolutivo Paralelo (caja AEP), y una Etapa de Calibración (EC) que se encarga de la aplicación del método estadístico. EO itera hasta que la población ha alcanzado cierto nivel de calidad. Entonces se aplica cada individuo a  $M$  y se calcula su valor de fitness en paralelo. Esto es debido a que se cuenta con dos clases de etapas AEP: la arquitectura de ESS está basada en el paradigma Master/Worker [24]. En cada iteración, el master distribuye un individuo por worker; la simulación del modelo y la evaluación del fitness se aplican sobre cada individuo (tareas llevadas a cabo por los workers), retornando los resultados al master. Este proceso se repetirá hasta que cada individuo en la población haya sido tratado. Finalmente, el AEP del master evoluciona la población. Estos resultados agregados constituyen la entrada de la Etapa Estadística (caja EE). Similarmente a  $S^2F^2M$ , la salida de EE (un mapa de probabilidad) tiene un doble propósito. Por una parte, los mapas de probabilidad se utilizan como entrada de la etapa BK (búsqueda de  $K_{ign}$ ) para hallar el valor actual de  $K_{ign}$  (un valor clave necesario para efectuar la predicción), que se utilizará en el siguiente tiempo de predicción. En esta etapa, se utiliza una función de fitness (FF) para evaluar el mapa de probabilidad. Por otra parte, la salida de EE también ingresa a la etapa de predicción (FP), que se encargará de generar el mapa de predicción tomando en consideración el  $K_{ign}$  hallado en un tiempo previo. Todo este proceso se repetirá mientras el sistema sea alimentado con información acerca de los distintos estados del modelo a lo largo del tiempo.

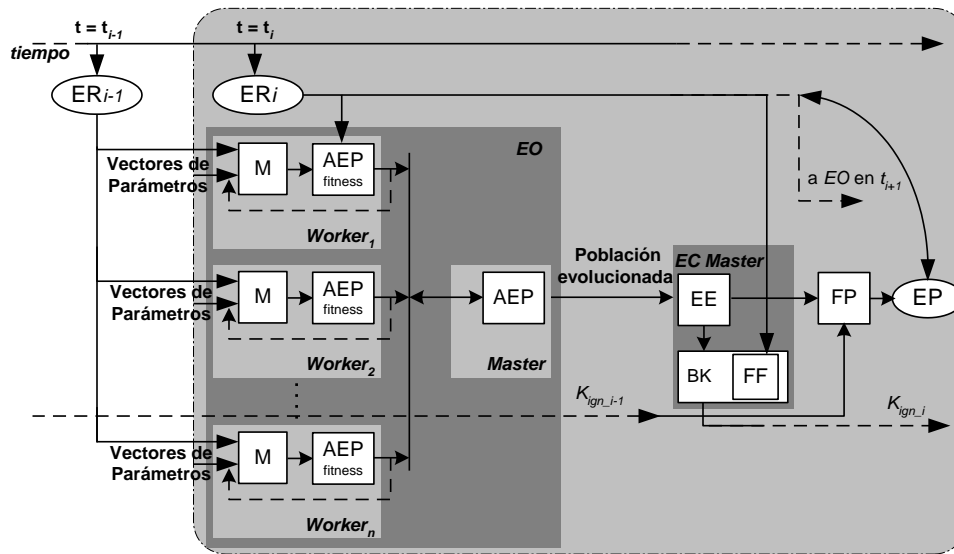


Figura N° 4. Diagrama esquemático del método estadístico-evolutivo (ERX: estado real en tiempo X, M: modelo, EO: etapa de optimización, EC: etapa de calibración, AEP: algoritmo evolutivo paralelo, EE: etapa estadística, BK: búsqueda de  $K_{ign}$ , FF: función Fitness, FP: etapa de predicción, EP: estado propuesto por el modelo).

### SINTONIZACIÓN DE RENDIMIENTO

La computación de alto rendimiento (*High Performance Computing* o HPC, por sus siglas en inglés) ofrece un gran potencial en cuanto a velocidad y/o tamaño del problema a abordar; no obstante, el desarrollo de aplicaciones paralelas constituye una tarea no trivial y debe realizarse de una forma específica para posibilitar su ejecución en un sistema paralelo. El desarrollo de aplicaciones paralelas involucra un conjunto de aspectos adicionales a los funcionales -a saber la descomposición, la asignación, la escalabilidad, entre otros- que es preciso considerar para obtener el mejor rendimiento. Estas cuestiones deben considerarse más aún cuando el sistema sobre el que se ejecutan las aplicaciones paralelas es distribuido (dado que existen retardos inherentes a la transmisión de los datos) o cuando se trata de un sistema no dedicado, compartido o heterogéneo en el que el rendimiento de cada nodo individual puede variar (dificultando la homogeneidad en cuanto a condiciones de ejecución entre distintas ejecuciones del mismo programa). El principal objetivo de quien recurre al paralelismo es resolver el problema considerado en el menor tiempo posible utilizando un cierto mínimo de recursos del sistema. En este contexto, el rendimiento de aplicaciones paralelas es un aspecto clave ya que la diferencia entre el rendimiento esperado y el real no debería ser significativa. Por ello, una vez que una aplicación paralela ha sido implementada, debe testearse sistemáticamente desde el punto de vista funcional para garantizar su correctitud, para luego afrontar una fase de sintonización (también denominada calibración u optimización) con el fin de asegurar que no



existan cuellos de botella durante la ejecución de la aplicación, y así lograr el objetivo de proveer el mejor rendimiento.

La Sintonización de una aplicación constituye el proceso por el cual el comportamiento y el funcionamiento del programa se mejora o ajusta de acuerdo a las características del problema, del estado del entorno de ejecución, el conjunto de datos de entrada, etc., de forma tal de alcanzar una ejecución más eficiente en términos de utilización de recursos y de tiempo de ejecución esperado. La utilización eficiente de los recursos impacta no sólo en la calidad y el significado que puedan cobrar los resultados alcanzados, sino también en la reducción de la utilización innecesaria de recursos. Si bien toda aplicación -sea esta secuencial o paralela- puede someterse al proceso de sintonización, la teoría y la tecnología de sintonización de software se ha desarrollado en fuerte conexión con la computación de alto rendimiento dada la demanda de mayor poder computacional tanto por parte de la ciencia computacional como de la ingeniería, y soportada por un incesante progreso de la tecnología de las arquitecturas de hardware de alto rendimiento [21, 22]. El proceso de optimización o sintonización requiere el análisis de rendimiento de la aplicación para ajustar los parámetros críticos de la misma. El proceso de sintonización implica varias fases. En primer lugar, durante una fase de **monitorización** debe registrarse un conjunto de métricas o información acerca del comportamiento de la aplicación. En segundo lugar, se realiza un **análisis** del rendimiento en base a la información recolectada a fin de hallar cuellos de botella, deducir sus causas y determinar las acciones necesarias para su eliminación. Finalmente, deben aplicarse los cambios apropiados en el código de la aplicación para solucionar los problemas y mejorar la *performance*, lo cual efectiviza la **sintonización** en sí misma.

Entre las tres fases mencionadas, la tarea esencial y a la vez más complicada del proceso de sintonización es el análisis de rendimiento. Cabe destacar que en la práctica pueden hallarse cuellos de botella en diferentes niveles dependiente del tipo de problema que se trate: nivel de aplicación, nivel de librería de comunicación, nivel de sistema operativo, nivel de hardware. Como consecuencia, los desarrolladores están forzados a dominar la aplicación, las diferentes capas de software involucradas y el comportamiento del sistema distribuido si desean alcanzar una implementación buena y eficiente. Ello constituye un requerimiento muy restrictivo, especialmente cuando se trata de usuarios no expertos en este tipo de tecnologías. Además, la computación paralela evoluciona desde sistemas paralelos homogéneos hacia sistemas distribuidos heterogéneos que extienden las dificultades significativamente. Muchos de los sistemas paralelos presentan condiciones dinámicas debido a su heterogeneidad, o por ser sistemas de tiempo compartido, o simplemente porque dependen de la entrada de datos de la aplicación en cada momento. Esto implica que un conjunto de potenciales cuellos de botella



pueden variar en diferentes ejecuciones. Todas estas cuestiones hacen del proceso de sintonización de rendimiento una tarea difícil y costosa, especialmente para programadores no expertos, dado que requiere un alto grado de experiencia para mejorar significativamente el rendimiento de la aplicación. Dado que el cómputo de alto rendimiento es uno de los pilares del sistema ESS presentado en este trabajo, resulta oportuno sintonizar en este caso la eficiencia con la que se utilizan los recursos computacionales. En este trabajo se presenta una aproximación dinámica a la sintonización del sistema ESS, es decir que el comportamiento de ESS ha sido ajustado durante su ejecución. A continuación se presentan distintas estrategias de sintonización las cuales, en general, pueden clasificarse dentro de dos grandes aproximaciones:

**Sintonización Estática:** el proceso de sintonización se lleva a cabo una vez que la aplicación ha concluido su ejecución y se dispone de la información de toda la ejecución. La Figura 5 ilustra esta aproximación. El análisis de rendimiento se ejecuta *post mortem*, y en función de los resultados encontrados se introducen modificaciones en el código fuente de la aplicación, la cual es recompilada y relinkeada para su próxima ejecución. Este tipo de sintonización resulta adecuada en dos situaciones diferentes: cuando se quiere ajustar problemas de rendimiento y la aplicación se ejecuta siempre bajo condiciones idénticas (es decir que el escenario de ejecución es reproducible y por ende los ajustes realizados de acuerdo a una cierta ejecución permitirán alcanzar beneficios en ejecuciones futuras) o bien cuando se desea ajustar parámetros del funcionamiento metodológico del algoritmo en sí (es decir, aquellos aspectos que no hacen a una mera mejora en cuanto en rendimiento sino a la calibración del programa).

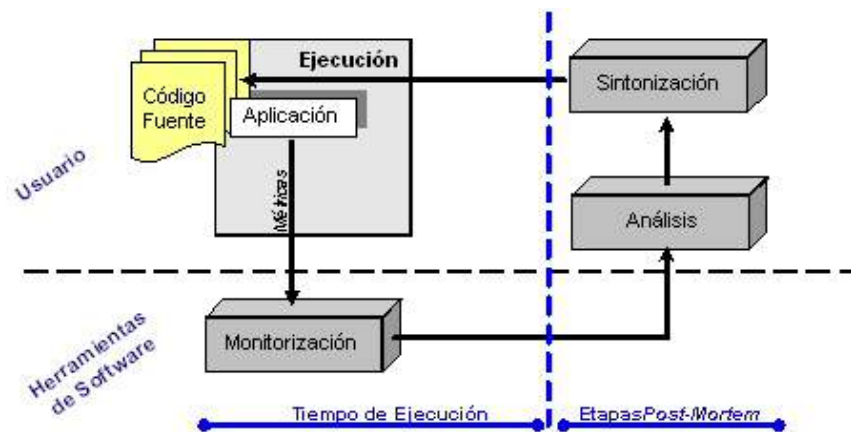


Figura N° 5. Funcionamiento básico de la Aproximación Estática de Sintonización.

**Sintonización Dinámica:** el proceso de sintonización se lleva a cabo *on the fly*, es decir al mismo tiempo que la aplicación se ejecuta. La Figura 6 grafica el tipo de sintonización



dinámica. En general, la efectividad de esta aproximación descansa en la noción de que los problemas de rendimiento surgen con cierta localidad temporal y espacial, lo que significa que un problema que se manifiesta en un instante dado tiene grandes probabilidades de persistir en el futuro cercano. Es por ello que normalmente su aplicabilidad se dé en aplicaciones iterativas, es decir, aquellas aplicaciones que dado un conjunto de datos de entrada realizan un procesamiento por pasos (o iteraciones), dependientes cada uno de los resultados del paso previo. En este escenario, mientras se ejecuta la iteración  $i$  se monitoriza la información requerida para evaluar el comportamiento de la aplicación durante ese periodo de tiempo. Al finalizar la iteración  $i$ , se lleva a cabo el análisis de la información y se realizan las sintonizaciones necesarias acordes a los resultados arrojados por el análisis, a fin de solventar el problema existente bajo la suposición de localidad. Entonces, si el problema detectado en la iteración  $i$ -ésima persiste en la iteración  $i+1$ -ésima, esta última podrá ejecutarse más eficientemente como beneficio de las acciones de sintonización aplicadas. Este tipo de sintonización resulta adecuada cuando el comportamiento de la aplicación depende del conjunto de datos de entrada (dado que las características y/o volumen de los datos a tratar incluso en cada iteración puede no ser uniforme a lo largo de toda la aplicación o de diferentes ejecuciones entre sí), y en aquellos casos en que el entorno de ejecución es compartido y/o heterogéneo (ya que el escenario de ejecución es difícilmente reproducible).

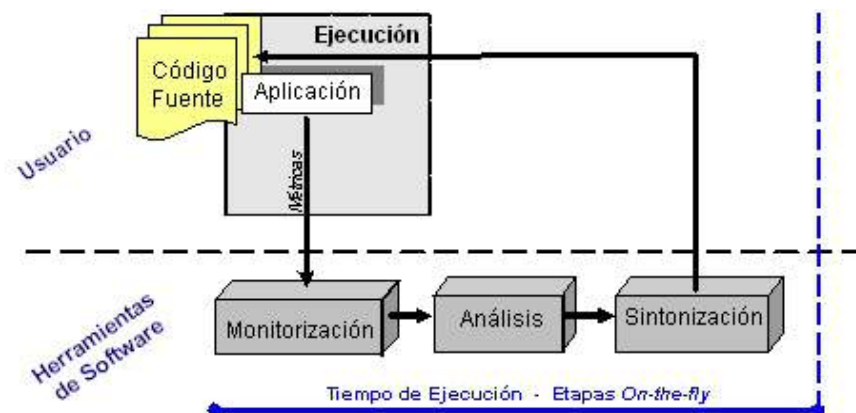


Figura N° 6. Funcionamiento básico de la Aproximación Dinámica de Sintonización.

Como se mencionó anteriormente, uno de los pilares de ESS está constituido por la computación de alto rendimiento. En un trabajo antecedente, ya se ha abordado la sintonización estática de algunos de los parámetros de funcionamiento del método [23], a fin de alcanzar resultados



predictivos más precisos respecto del escenario real. Por su parte, en este trabajo se aborda la sintonización de aspectos que hacen a una ejecución más eficiente, y por lo tanto más útil en cuanto al compromiso entre tiempo de ejecución y cantidad de recursos involucrados, y es por ello que se ha centrado el análisis en la cantidad óptima de nodos computacionales que debe considerar la aplicación en cada iteración. La fase de monitorización se lleva a cabo durante la etapa de Optimización (recuadro EO en la Figura 4), mientras que las fases de análisis y sintonización se ejecutan durante la etapa de calibración del ESS (recuadro EC en la Figura 4). En la siguiente sección se describe en mayor detalle el problema de rendimiento considerado y la forma de abordar su solución.

### **PROBLEMA CONSIDERADO - MODELO DE RENDIMIENTO**

Por sus características, ESS fue diseñado de acuerdo al modelo de algoritmo paralelo denominado Master/Worker [24]. Si bien dicho modelo resulta aplicable a gran número de aplicaciones de diferente naturaleza (y por ello es ampliamente utilizado) es frecuente que los resultados alcanzados no concuerden con los esperados, debido a la dificultad existente para determinar cuál es la cantidad de recursos computacionales necesarios para tratar el volumen de datos corriente. Por un lado, si no se utiliza una cantidad suficiente de workers el master incurre en largos períodos ociosos hasta que los workers -sobrecargados por el trabajo- se hallan en condiciones de enviar los resultados. Por otro lado, si se utilizan demasiados workers, la descomposición del problema tiende a trabajar con una granularidad más fina, con lo que las comunicaciones saturan el sistema. Dicho problema de rendimiento es bien conocido, y ha sido modelado matemáticamente en [25], modelo que ha sido considerado en este trabajo. En las aplicaciones que obedecen al modelo Master/Worker resulta crucial el estudio de su comportamiento y rendimiento en función de la cantidad de workers involucrados en la ejecución. La determinación del número de workers adecuado para una aplicación en un ambiente particular no resulta una tarea sencilla, aunque sí puede modelarse matemáticamente bajo ciertas suposiciones:

- El proceso master distribuye los datos disponibles entre los workers, espera las respuestas de éstos y eventualmente envía un nuevo conjunto de tareas a los workers, lo que significa que la aplicación podría ser iterativa.
- La aplicación es homogénea, es decir que todas las tareas deberían tener aproximadamente el mismo tamaño.

Los parámetros del modelo están dados por:



- $tl$  = latencia de la red, en milisegundos ( $ms$ ).
- $\lambda$  = costo de comunicar un byte (relación inversa del ancho de banda), en  $ms/byte$ .
- $v_i$  = tamaño de las tareas enviadas al worker  $i$ , en bytes.
- $v_m$  = tamaño de los resultados enviados por cada worker al master, en bytes.
- $V$  = volumen total de datos ( $\Sigma(v_i + v_m)$ ), en bytes.
- $n$  = número actual de workers en la aplicación.
- $tc_i$  = tiempo de cómputo del worker  $i$ , en  $ms$ .
- $Tc$  = tiempo total de cómputo ( $\Sigma(tc_i)$ ), en  $ms$ .
- $Tt$  = tiempo total insumido por una iteración de la aplicación, en  $ms$ .
- $N_{opt}$  = número de workers necesario para minimizar el tiempo de ejecución.

$Tt$  es la magnitud que se desea minimizar y su modelado involucra todos los parámetros antes mencionados. A partir de la derivación de  $Tt$ , se obtiene la expresión que modela  $N_{opt}$ , es decir el número óptimo de workers:

$$N_{opt} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\lambda V + 4Tc}{tl}} \quad \text{Expresión (1)}$$

Los detalles del modelo y la obtención de las expresiones pueden consultarse en [25]. Los valores de los parámetros necesarios para el cálculo de  $Tt$  deben medirse en determinados momentos de la ejecución:

- $tl$  y  $\lambda$ . Deben calcularse al comienzo de la ejecución y deberían actualizarse periódicamente para permitir que el sistema se adapte a las condiciones de carga de la red.
- $v_i$ . El tamaño de las tareas debe capturarse cuando el master envía tareas a los workers.
- $v_m$ . El tamaño de los resultados o respuestas debe capturarse cuando el master recibe resultados de los workers.
- $tc_i$ . Debe medirse el tiempo que los workers insumen en procesar cada tarea para calcular el tiempo total de cómputo ( $Tc$ )



Para el caso de ESS se ha optado por abordar la sintonización dinámica a través de un modelo matemático de rendimiento, dado que reduce la toma de decisiones a la utilización de la Expresión (1) para determinar el número óptimo de workers. Esto ofrece el beneficio de la toma de decisiones concisa, primordial en un sistema que intenta proveer una predicción en un tiempo razonable. En la siguiente sección se describen los diferentes escenarios de ejecución considerados y se muestran los resultados.

## EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

En esta sección se presentan los experimentos realizados y los resultados obtenidos para un caso de estudio. La evolución del incendio se considera a pasos discretos a fin de poder representar los sucesivos estados del frente de fuego a lo largo del tiempo, constituyendo cada paso una iteración. Por lo tanto, se consideran distintos instantes de tiempo  $t_0$ ,  $t_1$ ,  $t_2$ ... etc. Para este trabajo particular, dicha discretización es la que posibilita la aplicación de la sintonización dinámica dentro de la etapa de calibración de la predicción del sistema ESS (recuadro EC en la Figura 4) a fin de ajustar el funcionamiento de la aplicación para el siguiente instante de tiempo en función del estado en el tiempo corriente. Los experimentos se realizaron en base a los siguientes parámetros: 10 individuos en la población, 80% de criadores, 60% de probabilidad de cruzamiento, 50% de probabilidad de mutación, 200 iteraciones máximo por paso, y umbral de fitness del 70%. El entorno de ejecución de los experimentos está constituido por un cluster compuesto por 10 nodos AMD64 2G RAM unidos por Red Gigabit Ethernet de 1000 Mbs.

Dado que el estudio se centra en el análisis de la eficiencia en la utilización de los recursos computacionales, se definieron diferentes escenarios de ejecución a fin de valorar la utilidad y efectividad de la sintonización dinámica:

- ESS ejecutado sobre una cantidad fija de nodos en un entorno de ejecución dedicado (es decir que durante la ejecución de ESS no hay ninguna otra aplicación en ejecución del mismo u otros usuarios), lo cual asegura la máxima disponibilidad de los nodos a la resolución del problema. Este escenario se desdobra para distintas cantidades fijas: 1, 3, 5 y 9 nodos. En los últimos tres casos mencionados, uno de los nodos aloja al proceso master, mientras que los restantes implementan a los workers que realizan el cómputo paralelo en sí.
- ESS ejecutado con sintonización dinámica en un entorno dedicado. La ejecución de ESS comienza con 10 nodos (el máximo número de nodos disponibles) y en las sucesivas iteraciones (instantes de tiempo) el proceso de sintonización se ocupa de ajustar la cantidad de nodos utilizados a fin de evitar sobrecargas o períodos ociosos.





- ESS ejecutado sobre una cantidad fija de nodos en un entorno de ejecución no dedicado (es decir que el sistema está sobrecargado con carga de trabajo adicional a la de la propia aplicación). Este escenario también se desdobra en diferentes ejecuciones con cantidades fijas de nodos (1, 3, 5 y 9).
- ESS ejecutado con sintonización dinámica en un entorno no dedicado. La ejecución comienza con 10 nodos y a lo largo de la ejecución de ESS se halla habilitada la sintonización dinámica a fin de dar respuesta a las condiciones de carga que varían en el entorno de ejecución.

Como se mencionó anteriormente, la sintonización dinámica adquiere mayor sentido en aquellos ambientes de ejecución que presentan condiciones diferentes a lo largo de la ejecución de una aplicación, y es por ello que se han diseñado diferentes tipos de experimentos. Los últimos dos escenarios descritos (ejecutados en un entorno no dedicado) permiten reflejar el impacto de la carga adicional sobre el tiempo de ejecución de la aplicación, y valorar las ganancias alcanzadas a través de la sintonización dinámica. Por su parte, los primeros escenarios (cantidad fija de nodos sobre un entorno dedicado) brindan un punto de referencia sobre el comportamiento propio de la aplicación, y el segundo escenario (cantidad sintonizada de nodos en entorno dedicado) ofrece una noción de cuál es la sobrecarga que representa la utilización de la sintonización dinámica frente a los beneficios que se alcanzan mediante su utilización. Para una comparación justa de los resultados, las condiciones de ejecución de cada experimento son controladas a fin de poder reproducir cada escenario de ejecución. Todos los experimentos se ejecutaron en un entorno dedicado, sobre el que se simuló el entorno no dedicado (para los últimos escenarios) a través de la inyección sintética de carga controlada en el sistema de ejecución. Asimismo, la semilla para generar números aleatorios se dejó fija de modo de lograr experimentos más equiparables en cuanto a similaridad de casos. Para cada escenario, se repitieron los experimentos en 10 oportunidades, cuyos respectivos promedios se presentan a continuación.

En la Tabla I se documentan los tiempos promedios de ejecución para cada caso de estudio en un entorno dedicado. La primera columna indica la cantidad fija de nodos utilizados o bien la versión sintonizada. En la figura 7 se grafican dichos resultados.

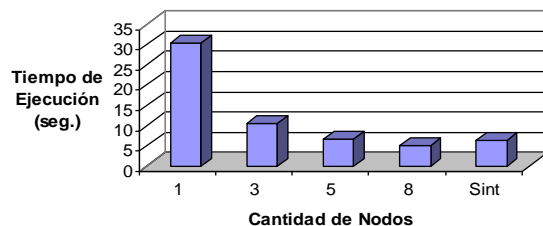


Figura N° 7. Tiempos de Ejecución en entorno dedicado

Caso	T. Ejec.
1	30,24288
3	10,34204
5	6,692691
9	5,097151
ESS+Sint	6,322195

Tabla I. Tiempos de Ejecución en entorno dedicado (en segundos)

Para el caso ESS+Sint, el sistema fue variando la cantidad de nodos de acuerdo al volumen de cómputo involucrado en cada iteración, dando como resultado la siguiente secuencia: 10 (la cantidad de nodos iniciales, un nodo dedicado al master y 9 a los workers); dado que la primera iteración procesa un volumen de información elevado en relación a otras iteraciones, se establece la necesidad de contar con 8 workers para la siguiente iteración. A partir de la segunda iteración, por las características del espacio de búsqueda hay un menor volumen de procesamiento cuestión a la que el sistema es sensible y ajusta la cantidad de workers a 2, 3, 4, 3 para las siguientes 4 iteraciones, y previendo la utilización de 3 workers en caso de que continuase la ejecución.

Análogamente, la Tabla II y la Figura 8 presentan los resultados obtenidos en un entorno no dedicado. La aplicación se ejecuta en seis iteraciones sucesivas, y la carga inyectada al sistema durante la ejecución aparece en la segunda iteración, persistiendo hasta la quinta iteración. La cantidad de nodos utilizados en cada iteración en el caso ESS+Sint varió automáticamente según el siguiente esquema: en la primera iteración se utilizaron los 10 nodos con los que se inició la ejecución, 9 de ellos dedicados a ejecutar procesos workers, y en base al volumen de trabajo



efectuado, en la iteración siguiente se volvieron a utilizar 9 workers. En dicha iteración aparece la carga adicional al sistema, lo cual a pesar de tratarse de una iteración con menor carga de trabajo, requiere para la siguiente iteración la utilización de 8 workers. Similarmente, en la iteración 4 se utilizan 8 workers, en la quinta 6 workers y en la sexta 5 workers. En la última iteración desaparece la carga adicional, por lo que el proceso de sintonización establece el número óptimo de workers en un valor de 3, en caso de que hubiera una próxima ejecución, coincidiendo con el valor establecido en la versión sobre el entorno dedicado.

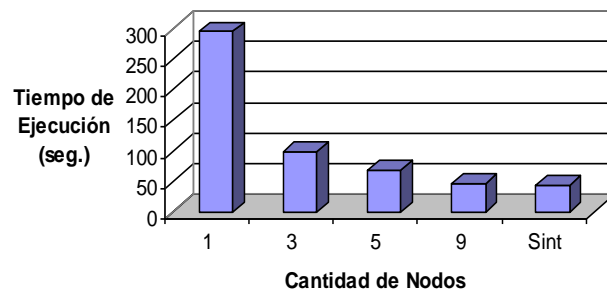


Figura N° 8. Tiempos de Ejecución en entorno no

Caso	T. Ejec.
1	293,85
3	99,02
5	67,68
9	44,81
ESS+Sint	44,18

Tabla II. Tiempos de Ejecución en entorno no dedicado (en segundos) dedicado

Del análisis de los resultados presentados, primeramente cabe destacar que la adaptabilidad del número de workers de acuerdo al volumen de trabajo de cada iteración que se vislumbra en el caso denominado ESS+Sint en entorno dedicado es adecuado dadas las características del incendio. Este caso puede considerarse como referencia en cuanto al volumen de trabajo



presente en cada iteración. Para los demás casos, puede observarse que el incremento en la cantidad de nodos conlleva una esperable reducción en el tiempo de ejecución tanto en un entorno dedicado como en uno no dedicado, si bien no siempre se utilizan todos los nodos involucrados de la manera más eficiente cuando su cantidad es fija. En los casos con cantidad fija de nodos y con carga adicional (segundo grupo de experimentos), el tiempo de ejecución se penaliza notoriamente por la sobrecarga de los nodos. Por su parte, aquellos casos en los que ESS se ejecutó con sintonización, el tiempo total de ejecución es equiparable a los mejores tiempos de ejecución alcanzados con cantidades fijas de workers, pero con el valor agregado de que sólo se utilizan los recursos cuando son realmente necesarios. Ello representa una gran ventaja dado que vuelve al sistema más adaptable a las necesidades de cada ejecución. En este caso, posibilita que la predicción del comportamiento del incendio pueda realizarse en un tiempo razonable con una utilización eficiente de los recursos. Por su parte, la utilización del modelo de rendimiento anteriormente presentado ofrece un método de decisión conciso, muy conveniente en este tipo de predicciones, en las que el tiempo de respuesta resulta crucial. En base a dicho modelo, para casos de incendios forestales de mayores dimensiones, se ha detectado la necesidad de contar con cantidades muy superiores de nodos (fuera del alcance del proyecto), razón por la que en este trabajo se presentan sólo los experimentos iniciales.

## CONCLUSIONES

La predicción de incendios forestales involucra diferentes aspectos que hacen a la precisión y la efectividad del método de predicción utilizado. En este trabajo se presenta una versión del sistema ESS que incorpora capacidades para la sintonización de la cantidad de nodos computacionales utilizados a lo largo de todo el proceso de predicción de acuerdo a las condiciones y volumen de trabajo. La sintonización se efectúa de forma automática y dinámica, es decir que la aplicación está enriquecida con el software necesario para estudiar las condiciones de ejecución de cada paso y en base al cual se toman decisiones para mejorar la eficiencia global del sistema. En particular, se ha abordado el ajuste del número de workers utilizado para implementar la fase paralela del método, basando el análisis y las decisiones en la utilización de un modelo matemático de rendimiento que, de acuerdo a ciertas métricas como la latencia, el volumen de datos y el tiempo de cómputo, permite calcular cuántos nodos son necesarios para dar respuesta a tales necesidades. Se diseñaron diferentes experimentos que permiten observar tanto que es posible habilitar la sintonía de ESS con las condiciones variables del entorno de ejecución como así también alcanzar una ejecución sintonizada más eficiente en un tiempo razonable. Estos resultados confirman la utilidad de incluir la sintonización dinámica en sistemas de predicción con ciertas restricciones de tiempo. Como trabajo futuro, se propone



profundizar el proceso de sintonización, a través de la consideración de nuevos modelos de rendimiento, y las implicancias en el abordaje de casos de estudio de mayores dimensiones.

## REFERENCIAS

1. Shiflet, G. Shiflet, 2006, *Introduction to Computational Science - Modeling and Simulation for the Sciences*, Princeton University Press.
2. P. Morgan, C. Hardy, T.W. Swetnam, M.G. Rollins, D.G. Long, 2001, Mapping fire regimes across time and space: Understanding coarse and finescale fire patterns, *International Journal of Wildland Fire*, 10, 329-342.
3. Diario La Nación. La situación en Córdoba controlada: sólo queda un foco de incendio activo. <http://www.lanacion.com.ar/1619899-la-situacion-en-cordoba-controlada-solo-queda-un-foco-de-incendio-activo> (Accedido en octubre de 2013)
4. M.A. Cochrane, 2002, *Se extienden como un reguero de pólvora*, Publicado por el Programa de las Naciones unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).
5. G.L. Ball, D.P. Guertin, 1991, FIREMAP – fire and the environment: ecological and cultural perspectives, March 20-24 1990, Knoxville, TN. USDA Forest Service, pp. 215-218, (Asheville, NC).
6. G. Wallace, 1993, A numerical fire simulation model, *In. J. Wildland Fire*, 3 (2), 111-116.
7. M.A. Finney, 1998, FARSITE: Fire Area Simulator-model development and evaluation, Res. Pap. RMRS-RP-4, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, pp. 47, (Ogden, UT).
8. J. Jorba, T. Margalef, E. Luque, J. Campos da Silva, D.X. Viegas, 1999, Parallel Approach to the Simulation of Forest Fire Propagation, *Proc. 13 International Symposium 'Informatik fur den Umweltschutz' der Gesellschaft Fur Informatik (GI)*, pp. 69-81.
9. P.L. Andrews, C.D. Bevens, R.C. Seli, 2003, BehavePlus Fire Modeling System, Version2,0: User's Guide, Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-106WWW, Department of Agriculture, ForestService, Rocky Mountain Research Station, Ogden, UT, 2003, pp.132.
10. A.M.G. Lopes, M.G. Cruz, D.X. Viegas, 2002, FireStation - An integrated software system for the numerical simulation of wind field and fire spread on complex topography, *Environmental Modelling & Software*, 17 (3), 269-285.



11. L.M. Ribeiro, D.X. Viegas, A.G. Lopes, P. Mangana, P. Moura, 2006, Operational application of a decision support tool in fire management in Portugal, *Forest Ecology and Management*, 234 (Supplement 1), S243.
12. Abdalhaq, 2004, *A methodology to enhance the Prediction of Forest Fire Propagation*, Ph. D Thesis, Universitat Autònoma de Barcelona (Spain).
13. K.J. Beven, J. Freer, 2001, Equifinality, data assimilation, and uncertainty estimation in mechanistic modelling of complex environmental systems, *Journal of Hydrology*, 249, 11-49.
14. [14] J. Mandel, L.S. Bennethum, M. Chen, J.L. Coen, C.C. Douglas, L.P. Franca, C.J. Johns, M. Kim, A.V. Knyazev, R. Kremens, V. Kulkarni, G. Qin, A. Vodacek, J. Wu, W. Zhao, A. Zornes, 2005, Towards a Dynamic Data Driven Application System for Wildfire Simulation, *LNCS*, 3515, 632-639.
15. S. Thorndahl, K.J. Beven, J.B. Jensen, K. Schaarup-Jensen, 2008, Event based uncertainty assessment in urban drainage modelling, applying the GLUE methodology, *Journal of Hydrology*, 357 (3-4), 421-437.
16. J. Piñol, R. Salvador, K. Beven, 2002, Model Calibration and uncertainty prediction of fire spread, *Forest Fire Research & Wildland Fire Safety*, On CD-ROM, Millpress.
17. G. Bianchini, M. Denham, A. Cortés, T. Margalef, E. Luque, 2010, Wildland Fire Growth Prediction Method Based on Multiple Overlapping Solution, *Journal of Computational Science (JOCS)*, 1 (4), 229-237.
18. G. Bianchini, M. Denham, A. Cortés, T. Margalef, E. Luque, 2006, Improving forest-fire prediction by applying a statistical approach, *Forest Ecology and Management*, 234 (supplement 1) pp. S210.
19. G. Bianchini, P. Caymes Scutari, 2011, Uncertainty Reduction Method Based on Statistics and Parallel Evolutionary Algorithms. Proceedings of High-Performance Computing Symposium - 40 JAIIO (HPC 2011, ISSN: 1851-9326) pp. 1- 4.
20. D.E. Goldberg, 1994, Genetic and evolutionary algorithms, Come of age, *Communications of the ACM*, 37(3), 113-119.
21. K. Naono, K. Teranishi, J. Cavazos, R. Suda, 2010, *Software Automatic Tuning - From Concepts to State-of-the-Art Results*, Springer.
22. R. Buyya, 1999, *High Performance Cluster Computing - Architectures and Systems*, Prentice Hall.



23. G. Bianchini, P. Caymes-Scutari, 2012, Mejora de la predicción de la propagación de incendios forestales mediante el análisis de la calibración de los parámetros evolutivos del sistema estadístico-evolutivo 'ESS'. *Actas del ICES 8* (en prensa).
24. T. Mattson, B. Sanders, B. Massingill, 2004, *Patterns for Parallel Programming*, Addison-Wesley.
25. E. César, J. Sorribes, E. Luque, 2004, Modeling Master-Worker Applications with POETRIES, *IEEE 9<sup>th</sup> International Workshop HIPS 2004*, IPDPS, pp 22-30.



# Caracterización de la Subsuperficie en la Región de Malargüe usando Interferometría Sísmica.

Draganov, Deyan<sup>1</sup>, Nishitsuji, Yohei<sup>1</sup>, Ruigrok, Elmer<sup>1</sup>, Gómez, Martín<sup>2</sup>, Lepore, Simone<sup>1</sup>, Ruzzante, José<sup>2</sup>, Torres, Dario<sup>2</sup>, Wapenaar, Kees<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Applied Geophysics and Petrophysics, CITG, TU Delft, Holanda

<sup>2</sup>Proyecto ICES, CAC, Comisión Nacional de Energía Atómica, Argentina.

E-mail: [mpgomez@cnea.gov.ar](mailto:mpgomez@cnea.gov.ar)

## RESUMEN

La región de Malargüe es activa tectónicamente, pero poco estudiada. La fuerza responsable del tectonismo es la zona de subducción de Nazca. Para obtener imágenes de la subsuperficie de la región y entender mejor su estructura tectónica, incluso la placa de Nazca, se instaló un array sísmico de 38 estaciones de período corto. Durante un año, al array grabó el ruido sísmico ambiental en forma continua, incluyendo sismos locales, regionales y telesísmicos. Las estaciones se dividieron en dos subarrays - el P-array, ubicado en el flanco oriental del volcán Peteroa, y el T-array situado sobre una meseta en el este de la ciudad de Malargüe. Para caracterizar la subsuperficie y obtener imágenes sísmicas con alta resolución, se utilizará el método de la interferometría sísmica, que permite crear fuentes virtuales situadas en el lugar de cada estación sísmica a partir del ruido sísmico o los sismos. Teniendo redes densas de fuentes virtuales y de sensores, se podrán obtener imágenes de la distribución de las velocidades y de las reflectividad de la subsuperficie. En este trabajo, se muestra el primer análisis de los datos escritos por la red T. Se analizaron los telesismos grabados que en próximos trabajos se van a estudiar con interferometría sísmica.

## INTRODUCCIÓN

La estimación estructural de sedimentos y del basamento es de fundamental importancia para la exploración de recursos, estimaciones de riesgos geológicos y de otros aspectos geofísicos. La estimación contribuye no solo al entendimiento de aspectos técnicos de la tectónica, sino también a la elección de los parámetros para posibles futuros





procesamientos sísmicos, p. ej. deconvolución predictiva, resultado del cual podría ser usado para realizar imágenes de estructuras subsuperficiales debajo del basamento. Las mejores imágenes de las estructuras profundas, pero también de los sedimentos y el basamento, se pueden obtener usando los métodos sísmicos de la exploración con fuentes activas, en la superficie como dinamita o vibradores sísmicos. Pero no siempre es posible usar fuentes activas. Además, para hacer imagen de estructuras profundas, se necesitan fuentes muy fuertes, las cuales pueden causar daño a la población y a la naturaleza. Por eso, es deseable tener métodos alternativos, como la interferometría sísmica, que reemplazan las fuentes activas en la superficie por fuentes pasivas.

### Interferometría sísmica

Sean dos sismómetros en la superficie y fuentes en la subsuperficie (en un límite lejano que encierre los sismómetros). Las señales de cada fuente se reciben en los dos sismómetros y se correlacionan. Se repite para todas las fuentes y se suman los diferentes resultados de la correlación juntos. El resultado es la función de Green (respuesta impulsiva) entre los dos sismómetros como si uno de ellos fuese una fuente [1-3]. Este método de obtener la función de Green de fuentes virtuales se llama interferometría sísmica. La respuesta obtenida contiene la reflexión en la subsuperficie. La reflexión de las estructuras en la subsuperficie es lo que se usa para obtener imágenes de la subsuperficie con resolución alta usando los métodos de la sísmica exploratoria.

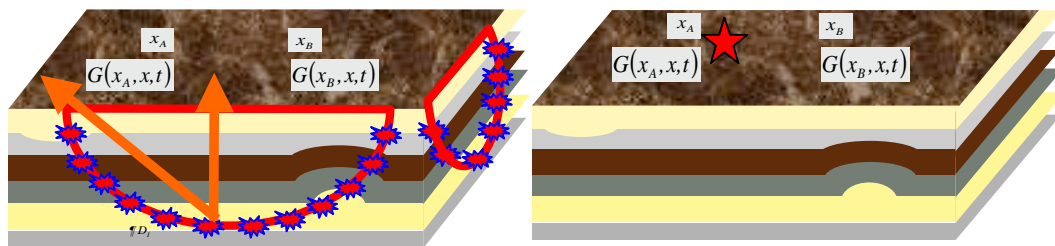


Fig.1. El método de la interferometría sísmica permite obtener la función de Green entre dos sismómetros como si uno de ellos fuese una fuente (derecho). Para esto es necesario correlacionar y sumar las señales recibidas en los sismómetros de cada uno de las fuentes en la subsuperficie (izquierda).



Las fuentes en la subsuperficie que se pueden utilizar con la interferometría sísmica son, por ejemplo, los sismos locales, regionales, los telesismos, pero también el ruido ambiental.

### Desarrollo Experimental

Para obtener imágenes de la subsuperficie de la región, durante 2012 se instaló un array sísmico de 38 estaciones de período corto (hasta 2 Hz). Las estaciones se obtuvieron a préstamo a través de PASSCAL (Program for Array Seismic Studies of the Continental Lithosphere). Durante un año, el array grabó el ruido sísmico ambiental en forma continua, incluyendo sismos locales, regionales y telesismos. Las estaciones se dividieron en dos subarrays: el P-array, ubicado en el flanco oriental del volcán Peteroa, y el T-array situado sobre una meseta en el este de la ciudad de Malargüe (Ruigrok et al., 2012).

En la Fig. 2 se observa un mapa de la región de Malargüe en el cual están marcadas las posiciones de cada estación sísmica del T-array. Usando interferometría sísmica, sus estaciones serán convertidas en fuentes virtuales. La respuesta reflectiva será recibida por todas las estaciones del T-array. Como fuentes en la subsuperficie, primero se usan telesismos y sismos globales (ambos generados muy lejos del array).



Fig. 2. La geometría del T-array. El T-array consiste de dos partes - TE, apuntando hacia este, y TN, apuntando hacia norte.



Dado que estas fuentes de sismos están muy lejos, para la interferometría sísmica los diferentes arribos serán como ondas planas y se consideran como diferentes fuentes.

Según el diseño del array, habrá regiones desde las cuales se detecten distintos tipos de fases. En la Fig. 3 se muestran las regiones desde donde se pueden registrar arribos PKP y PKIKP (que pasaron por el núcleo de la Tierra durante su camino al array), el arribo directo P y el arribo PcP (que se reflejo desde el núcleo).

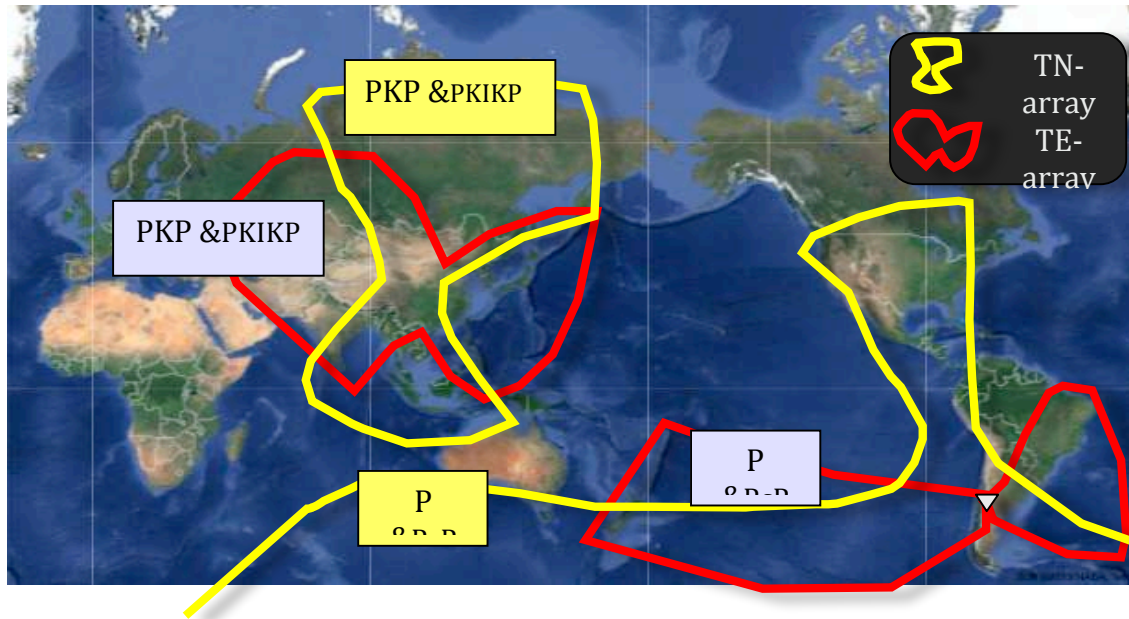


Fig. 3. Distribución de las zonas que contribuyen fases telesísmicas y globales detectadas por las partes TE y TN del T-array.

### Análisis de los sismos, resultados y discusión

Durante el año de grabación del ruido sísmico ambiental, se registraron arribos telesísmicos y globales cuyos epicentros deberían estar incluidos en la Fig. 3 previamente mostrada. En la Fig. 4 se observan los epicentros para los sismos con magnitud MW mayor que 5.5 que han sido detectados por el array. Con la parte TN se observaron 222 arribos y con la parte TE - 203. Los datos de los sismos lejanos (distancia epicentral mas que 120 grados) fueron extraídos de la base JWEED (IRIS) para el período comprendido entre el 16 de enero y el 22 de diciembre de 2012. En la Fig. 5 se muestran las señales observadas de dos sismos lejanos en la estación TE-11 del T-array. Se puede ver que el sismo de magnitud 5.5 está casi al nivel del ruido ambiental. Por eso, en este trabajo se estudian solo sismos más fuertes que MW 5.5.

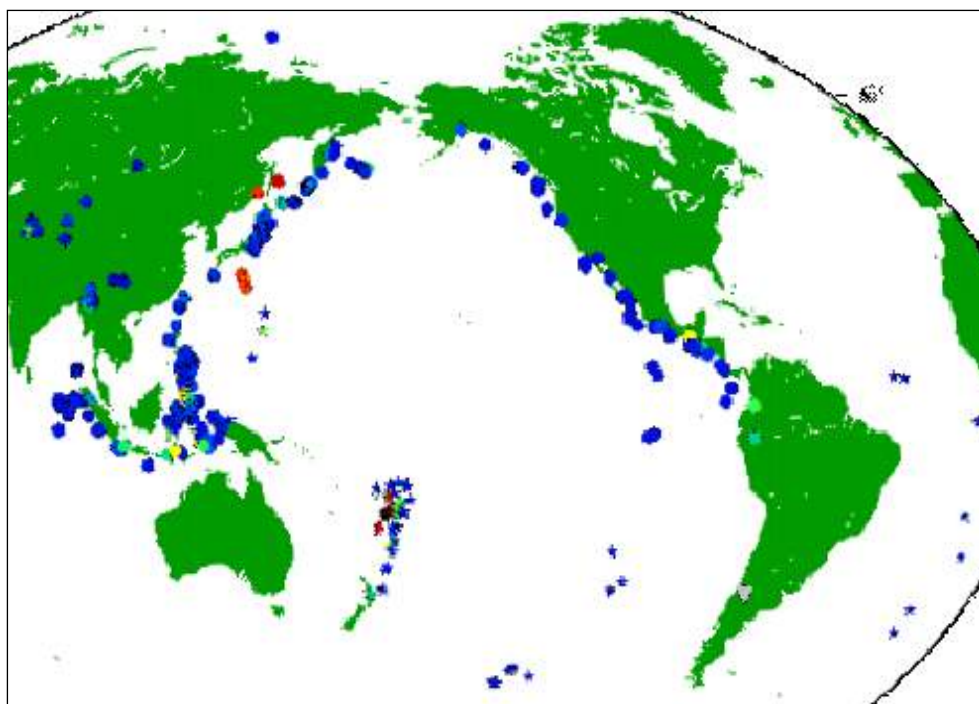
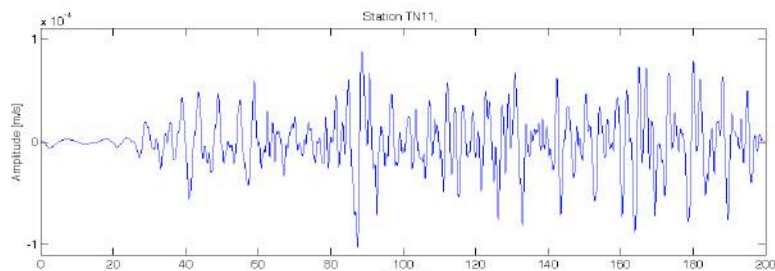
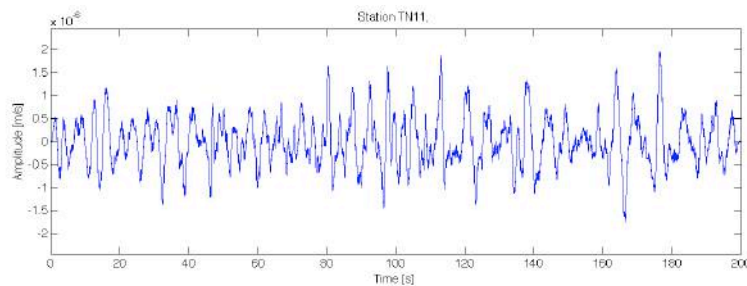


Fig. 4. Sismos de magnitud MW mayor a 5.5 detectadas por las partes TN y TE del T-array.



MW 8.6



MW 5.5

Fig. 5. Señales de dos sismos lejanos de distintas magnitudes en la estación TE-11 del T-array.



Antes de usar los sismos elegidos con interferometría sísmica, es necesario elegir una banda de frecuencias, en la cual las señales de los sismos tengan su mejor relación señal ruido. En la Fig. 6, se observan los espectros de sismos con diferentes magnitudes. Se puede ver que en la banda entre 0.3 Hz y 1.5 Hz, para sismos más fuertes que 5.5, es posible la identificación de los diferentes arribos. Por eso, para el procesamiento siguiente, hemos elegido usar esta banda.

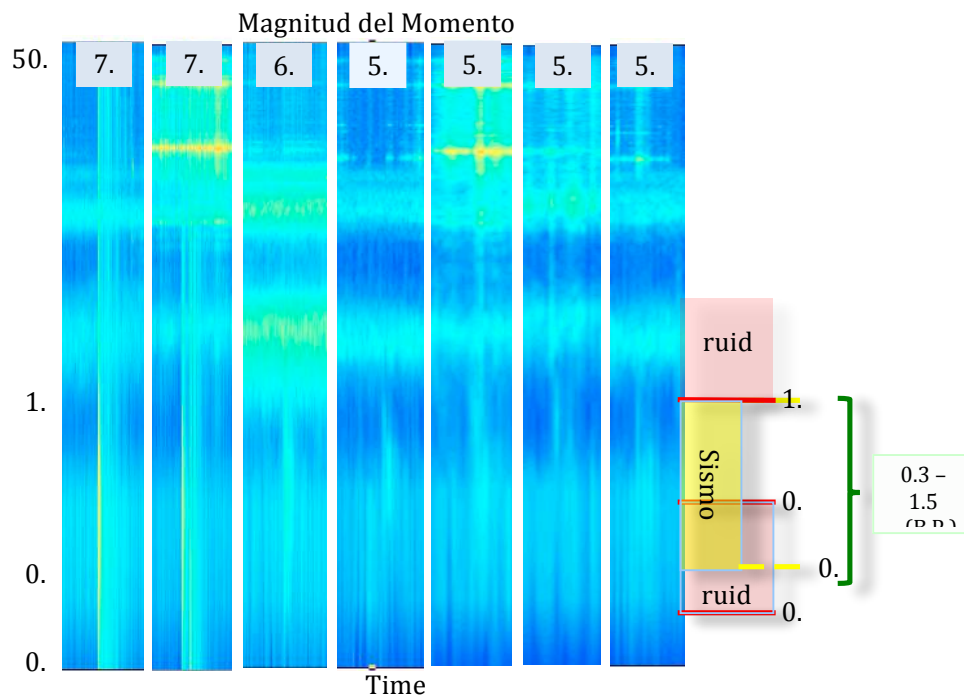


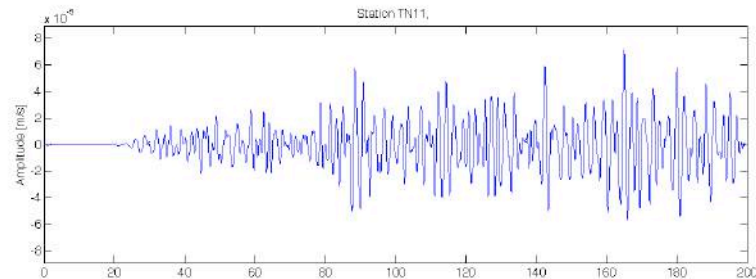
Fig. 6. Espectros de unos sismos lejanos en la estación TE-11 del T-array.

La Fig. 7 muestra las señales de los sismos de la Fig. 5 después de filtrar los datos en la banda 0.3-1.5 Hz. Se observa, que las diferentes fases (arribos) ya se pueden ver también para el sismo de MW 5.5.

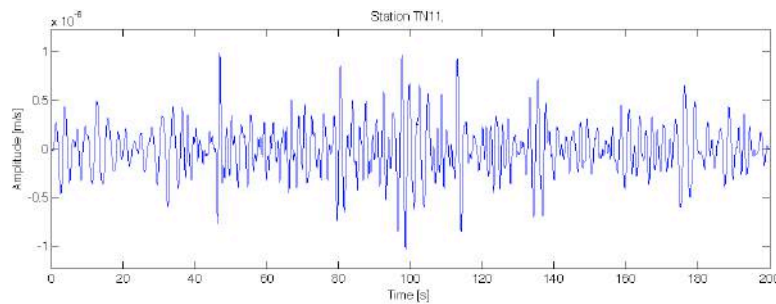
Después de aplicar el filtro de frecuencias, se deben identificar los diferentes arribos que son necesarios para la aplicación de la interferometría sísmica. En este caso, estos arribos son las fases P, PcP, PKP y PKIKP. Como señal de una fuente en la subsuperficie, se usará una ventana en el tiempo extraída de la señal sísmica que empieza con una de las fases mencionadas y termina antes del siguiente arribo que nos interesa. La Fig. 8 muestra un ejemplo de un sismo de magnitud 7.5 del cual usaremos dos ventanas de señales - la naranja y la violeta - por separadas como señales de dos fuentes pasivas en la subsuperficie.



Los tiempos de arribo aproximados de las fases que nos interesan para cada sismo registrado, estaban calculados usando el modelo de velocidades IASP91 [5]. En esta manera, para la parte TN del T-array hemos elegido 160 sismos. De estos, como primera prueba, hemos elegido 72 sismos con arribos parecidos para usar con la interferometría sísmica.



MW 8.6



MW 5.5

Fig. 7. Ídem Fig. 5, pero después de filtrar las señales entre 0.3 Hz y 1.5 Hz.

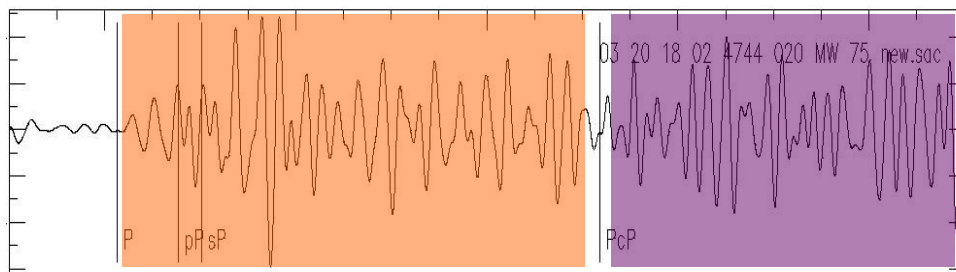


Fig. 8. Señal filtrada de un sismo de Mw 7.5 registrado por el componente vertical de una estación del T-array. Los tiempos de arribos aproximados de las fases P y PcP están indicados con líneas verticales.



Aplicando autocorrelación por separado a las señales naranja y violeta, repitiendo esto para las señales filtradas de los 72 sismos elegidos, y al fin sumando los diferentes resultados correlacionados, se obtiene un resultado representando la respuesta reflectiva recibida con sismómetro y fuente virtual coincidentes. El resultado que hemos obtenido en esta manera para todas las estaciones de la parte TN del T-array está mostrado (en el tiempo) en la Fig. 9. Este es un primer resultado que todavía necesita más procesamiento de datos como la deconvolución de la onda de la fuente virtual. Igualmente se puede especular que se ven estructuras a alrededor de los 10 s y entre los 50 a 60 s. La primera podría ser el límite de Mohorovicic (Moho), mientras que la segunda podría estar representando a la placa de Nazca.

Para convertir los resultados mostrados en la Fig.9, en imágenes de las estructuras en profundidad, todavía faltaría aplicar un procesamiento de datos que incluya suprimir la función temporal de la fuente virtual, haciendo deconvolución predictiva para eliminar posibles múltiplos, migración en el tiempo y conversión de los tiempos en profundidades.

El mismo procesamiento, usando interferometría sísmica con autocorrelación, se aplicara también para la parte TE del T-array.

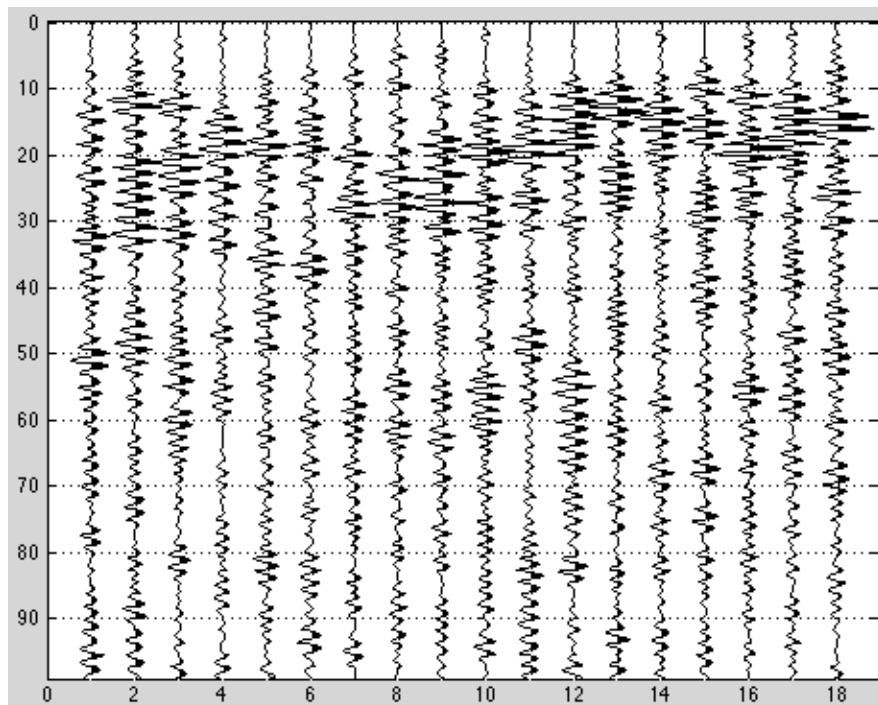


Fig. 9. Resultados de la aplicación de interferometría sísmica con autocorrelación representando la respuesta reflectiva con sismómetro y fuente virtual coincidentes para cada estación sísmica de la parte TN del T-array.



Otros procesamientos que se planean realizar con los datos son:

- Aplicar correlación cruzada para el T-array.
- Obtener imágenes en profundidad por los dos métodos e interpretarlos juntos.
- Aplicar interferometría sísmica al ruido ambiental (sin sismos) para la reconstrucción de las ondas de superficie entre las estaciones de los P-array y T-array.
- Inversión de las ondas de superficie para obtener la distribución de las velocidades de las ondas S debajo de los arrays.

## REFERENCIAS

[1] Wapenaar, K., and J. Fokkema, 2006, Green's function representations for seismic interferometry: *Geophysics*, 71, no. 4, SI33-SI46, doi: 10.1190/1.2213955.

[2] Wapenaar, K., D. Draganov, and J. O. A. Robertsson, eds., 2008, *Seismic interferometry: History and present status*: SEG.

[3] Schuster, G. T., 2009, *Seismic interferometry*: Cambridge University Press.

[4] Ruigrok, E., D. Draganov, M. Gómez, J. Ruzzante, D. Torres, I. López Pumarega, N. Barbero, A. Ramires, A. R. Castaño Gañan, K. van Wijk, and K. Wapenaar, 2012, Malargüe seismic array: Design and deployment of the temporary array: *The European Physical Journal Plus*, 127, 126, doi: 10.1140/epjp/i2012-12126-7.

[5] Kennett, B. L. N., and E. R. Engdahl, 1991, Traveltimes for global earthquake location and phase identification: *Geophysical Journal International*, 122, 429-465.





# Aspectos Sinérgicos de la nueva era digital de los Observatorios Magnéticos de la República Argentina.

Gianibelli, J (1) (2), Quaglino, N (1), Gil, M. I (2), Nollas, F (2), García, E (3), Rodríguez, G (3), Pinciroli, E (4) y Pelliciuoli, S (4)

(1)Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Departamento de Geomagnetismo y Aeronomía, UNLP 1900 La Plata, Argentina.

(2)Servicio Meteorológico Nacional. 25 de Mayo 658. CABA. Argentina

(3)Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Departamento de Electrónica, UNLP 1900 La Plata, Argentina.

(4)Observatorio Geofísico de Trelew. Bajada Perdomo, 9100 Trelew, Argentina.

E-mail: [geofisicogianibelli@yahoo.com.ar](mailto:geofisicogianibelli@yahoo.com.ar)

## RESUMEN

La sinergia quiere decir literalmente “trabajo en conjunto”. Actualmente se refiere al fenómeno en el cual el efecto de la influencia o trabajo de dos o más agentes actuando en conjunto es mayor al esperado considerando a la suma de las acciones de los agentes por separado. En el presente trabajo se realiza un análisis de los aspectos sinérgicos aplicados por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), el Departamento de Geomagnetismo de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP) e instituciones internacionales en los cambios de gestión, capacitación y organización para una nueva era digital donde se aprecia la utilización de la información y sus resultados, en los aspectos científicos e industriales. A su vez, se hacen observaciones acerca del avance que representa para los Observatorios Magnéticos Permanentes (OMP) el pasar de instrumentos analógicos, cuyos magnetogramas se realizaban en papel fotográfico, a contar con instrumental que registre de forma continua y en formato digital, las componentes del Campo Magnético Terrestre (CMT). Se comenta además la participación y aportes de estos OMP en modelos numéricos como el International Geomagnetic Reference Field (IGRF).

**Palabras Claves:** Observatorios Magnéticos Permanentes, IGRF, Campo Magnético Terrestre, INDIGO



## INTRODUCCIÓN

A medida que la comunidad científica fue entendiendo la necesidad de medir el CMT en todas sus componentes, la cantidad de OMP a nivel mundial fue aumentando permitiendo estudiar su comportamiento y variaciones en el tiempo y espacio. La figura 1 muestra la evolución de los OMP en todo el mundo para distintos años [1], mostrando un aumento en la densidad de los mismos y poniendo de manifiesto, en cada caso, la preponderancia del hemisferio norte sobre el sur.

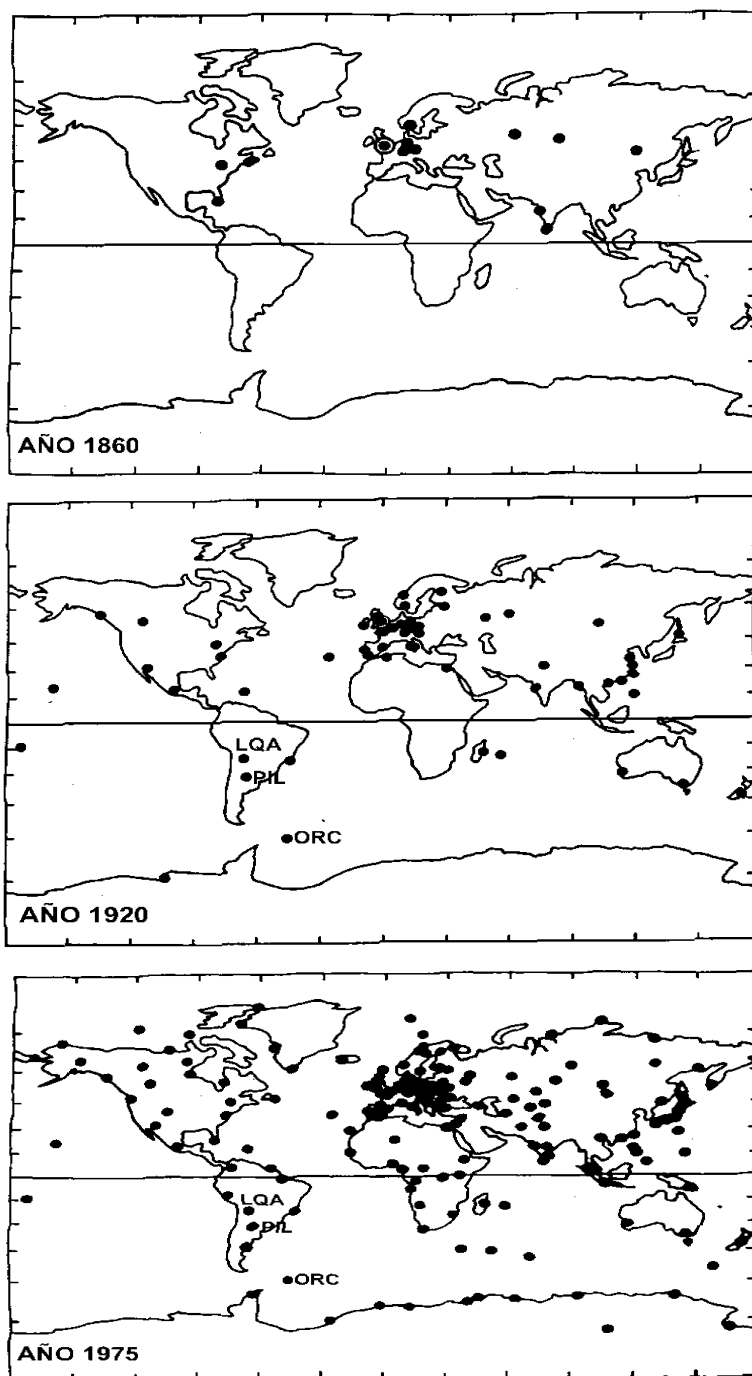


Figura 1: Evolución de los OMP a nivel mundial. Pueden dilucidarse los observatorios pertenecientes al SMN y el de Trelew [1].

El SMN (en ese momento Oficina Meteorológica Argentina) inicia las actividades de la disciplina del Geomagnetismo en 1904 con la instalación de un OMP en Pilar (Córdoba) y otro en las Islas Orcadas del Sur (Antártida Argentina), a los que les continuó, en 1917, la instalación de

instrumental magnético en La Quiaca (Jujuy), este último discontinuado desde la década del 80 por falta de mantenimiento y mal funcionamiento del instrumental. Posteriormente la Universidad Nacional de La Plata (UNLP), a través del Departamento de Geomagnetismo dependiente del Observatorio Astronómico de La Plata (UNLP), instala dos OMP entre 1957 y 1961, en Trelew (Chubut) y Las Acacias (Buenos Aires), constituyendo con esto una amplia red de OMP sobre el territorio argentino como se muestra en la figura 2.

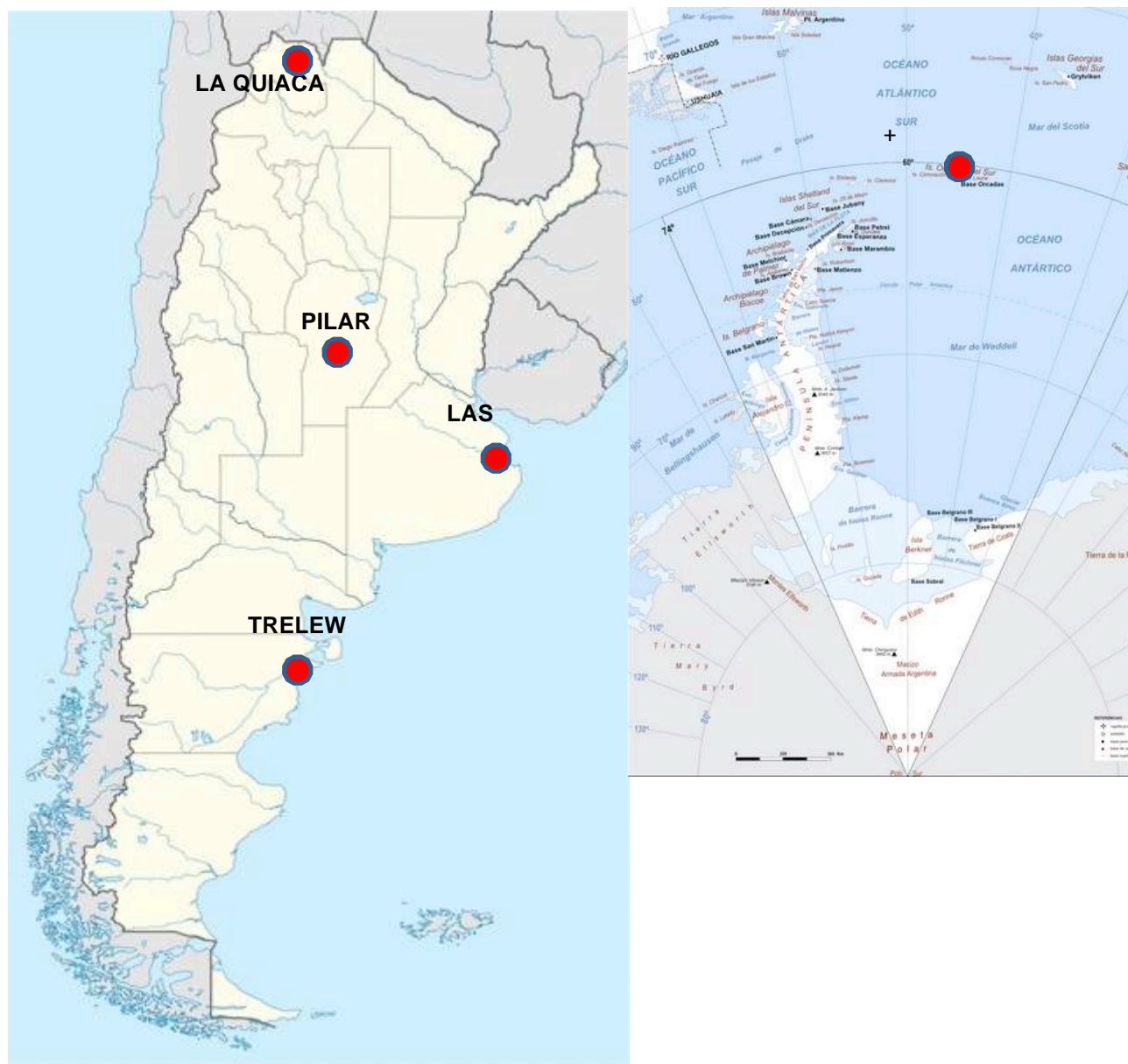


Figura 2: Ubicación geográfica de los OMP pertenecientes al SMN y la UNLP



Cabe aclarar que, tanto los OMP pertenecientes al SMN como a los de la UNLP, contaron en sus comienzos con instrumental analógico para registrar las variaciones temporales de los elementos geomagnéticos hasta que, en el año 1993, el OMP de Trelew actualizó los equipamientos instalando instrumental digital, convirtiéndose así en el primer OMP con medidas digitales. Posteriormente en 2003 se digitaliza el Observatorio de Las Acacias y recientemente entre 2011 y 2012 los de Pilar e Islas Orcadas del Sur respectivamente.

## DESARROLLO

Los OMP no solo son utilizados por los científicos para estudiar el comportamiento del campo geomagnético y sus variaciones, sino también para poder desarrollar modelos matemáticos que simulen los comportamientos observados con la finalidad de poder predecir la evolución del CMT en el futuro y también para realizar estudios que permitan entender el mismo hacia el pasado. Uno de los principales modelos utilizados por los científicos es el IGRF, el cual utiliza un desarrollo en armónicos esféricos del potencial escalar magnético como se muestra en la ecuación 1.

$$V(r, \phi, \theta) = a \sum_{\ell=1}^L \sum_{m=-\ell}^{\ell} \left(\frac{a}{r}\right)^{\ell+1} (g_{\ell}^m \cos m\phi + h_{\ell}^m \sin m\phi) P_{\ell}^m(\cos\theta) \quad \text{Ecuación 1}$$

Los coeficientes de Gauss se actualizan cada 5 años, basándose en las observaciones de los OMP, por lo que contar con una cantidad mayor de estos proporciona un mejor modelo de referencia. Basándose en esta premisa, la utilización de instrumental digital en estos observatorios permite una transferencia mucho más fácil y ágil entre los generadores de datos (OMP) y los usuarios, entendiéndose a estos como centros mundiales de datos, científicos, empresas privadas, etc. La comunicación entre la comunidad científica es de vital importancia, permitiendo conocer los avances en materia de conocimientos y aspectos tecnológicos. En el caso de los OMP pertenecientes al SMN, el contacto con la British Geological Survey (BGS) y el Real Instituto Meteorológico de Bélgica permitió que en el año 2011 se instalen instrumentos digitales en el observatorio de Pilar y, a la brevedad, en las Islas Orcadas (ambos donados por la BGS) permitiendo a estos observatorios pertenecer a la red INTERMAGNET. La misma es una red internacional de observatorios magnéticos que monitorean el comportamiento del CMT en distintos lugares del planeta. El sistema instalado en estos observatorios es el sistema INDIGO

(Intermagnet Digital Geomagnetic Observatory) el cual está compuesto por un magnetómetro GEM GSM90 Overhauser de precesión protónica [2] con una resolución de 0,1 nT, un variómetro fluxgate de tres componentes EDAFM105 y un teodolito DIM EDA D/I fluxgate.

El contar con instrumental digital acarrea de forma implícita muchas actividades de parte de las instituciones encargadas de los observatorios. Por empezar es indispensable contar con un departamento de electrónica, el cual pueda solucionar posibles problemas en los elementos electrónicos de los instrumentos. Por otra parte contar con observatorios que posean instrumental digital permite una actividad científica mucho más eficiente lo cual se traduce automáticamente en más proyectos y programas de investigación y, a su vez, integra a la Argentina como aportador de datos en los centros mundiales de datos así como permite su conexión con redes locales e internacionales. Un resumen en forma de organigrama se muestra en la figura 3, en la que se muestra las relaciones entre los OMP y redes, universidades, actividad académica e investigativa, y aplicaciones de los mismos.

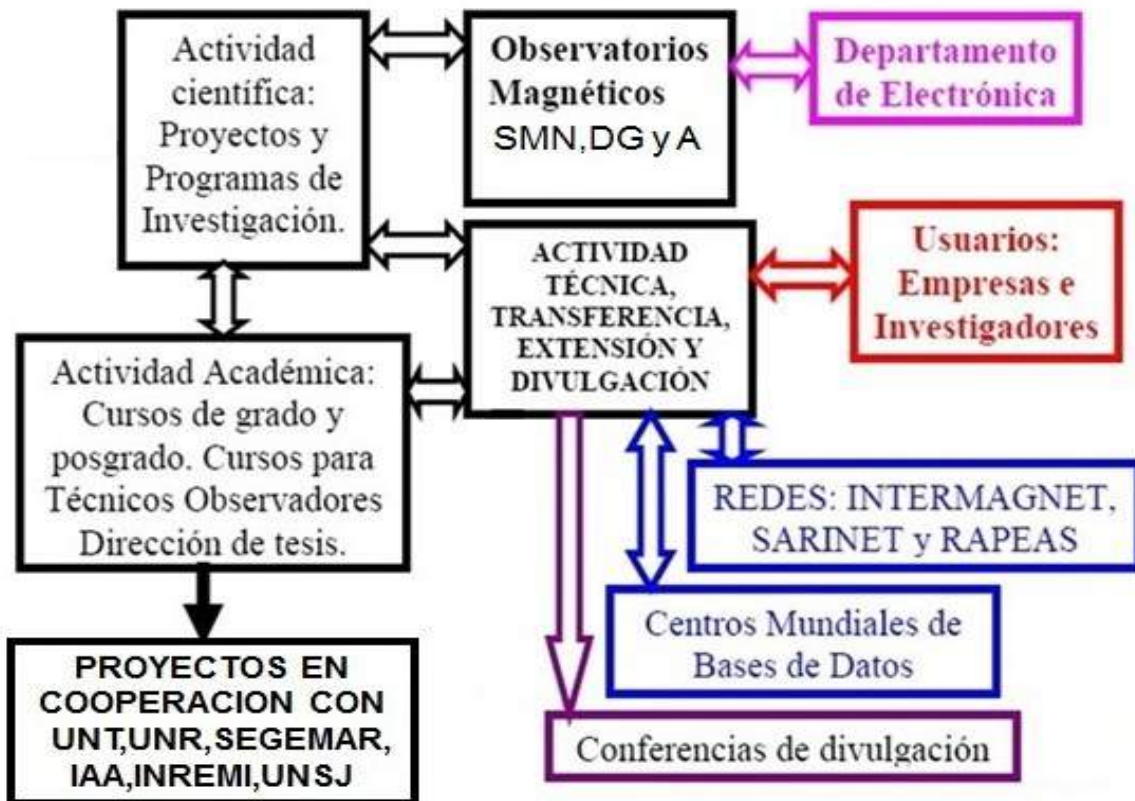


Figura 3: Organigrama de la actividad sinérgica en el ámbito nacional e internacional que describe la interacción de las diferentes instituciones relacionadas con la actividad geomagnética



## RESULTADOS

El estudio de ciertos fenómenos y acontecimientos asociados con el geomagnetismo y la climatología espacial se ve fortalecido tanto por la vinculación entre instituciones como por la digitalización de los instrumentos que miden las componentes del CMT. Es ampliamente conocido dentro de la comunidad científica la irregularidad en el campo observado dentro de una extensa región de América del Sur, el Océano Atlántico y el sur del continente africano. Esta singularidad en el campo, denominada Anomalía Magnética del Atlántico Sur (AMAS) y cuyo centro se encuentra desplazándose hacia el norte argentino [3], corresponde a una disminución considerable de la intensidad del campo como se muestra en la figura 4 obtenido a partir del modelo IGRF. EL comportamiento de esta anomalía es de gran interés para los científicos por su relación con las corrientes internas que se desarrollan en el manto externo del núcleo y las posibles teorías que explican el fenómeno y es por esto que, desde el SMN, se busca restituir nuevamente el OMP de La Quiaca y, a su vez, colocar una mayor cantidad de OMP con instrumental digital para poder estudiar el comportamiento de esta alteración del CMT, los cuales se sumen a los ya existentes para conformar una red aun mayor de observatorios que permita estudiar la evolución temporal del campo denominada Variación Secular.

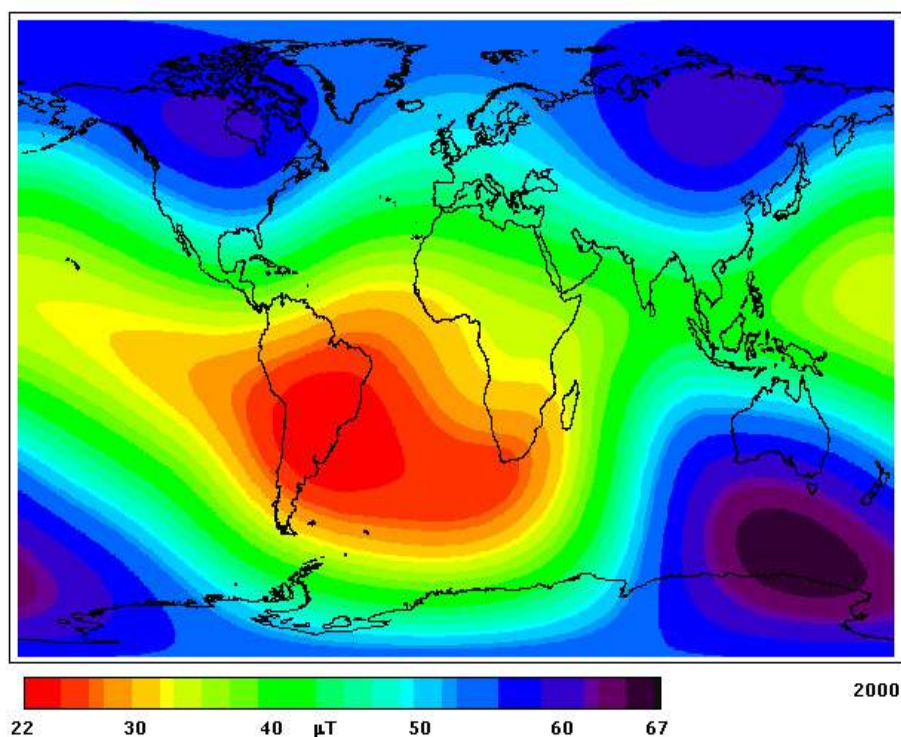


Figura 4. Mapa mundial de isocintas de la intensidad total del campo geomagnético ( $F$ ) obtenido del modelo IGRF donde se observa una disminución en la zona del AMAS.



Es de vital importancia contar con modelos matemáticos que representen el comportamiento del CMT con la mayor exactitud posible. El IGRF representa una muy buena alternativa para este fin como puede verse en las figuras 5 y 6 donde se comparan las mediciones de la intensidad total del campo (F) y la declinación (D) realizadas en Pilar con las obtenidas a partir del modelo. Puede verse que en ambos casos el comportamiento es similar encontrándose diferencias del orden de 0,4%. Es por esto que la digitalización de los instrumentos utilizados en los OMP representa una trascendental mejora en la puesta en común de los datos y la utilización de los mismos.

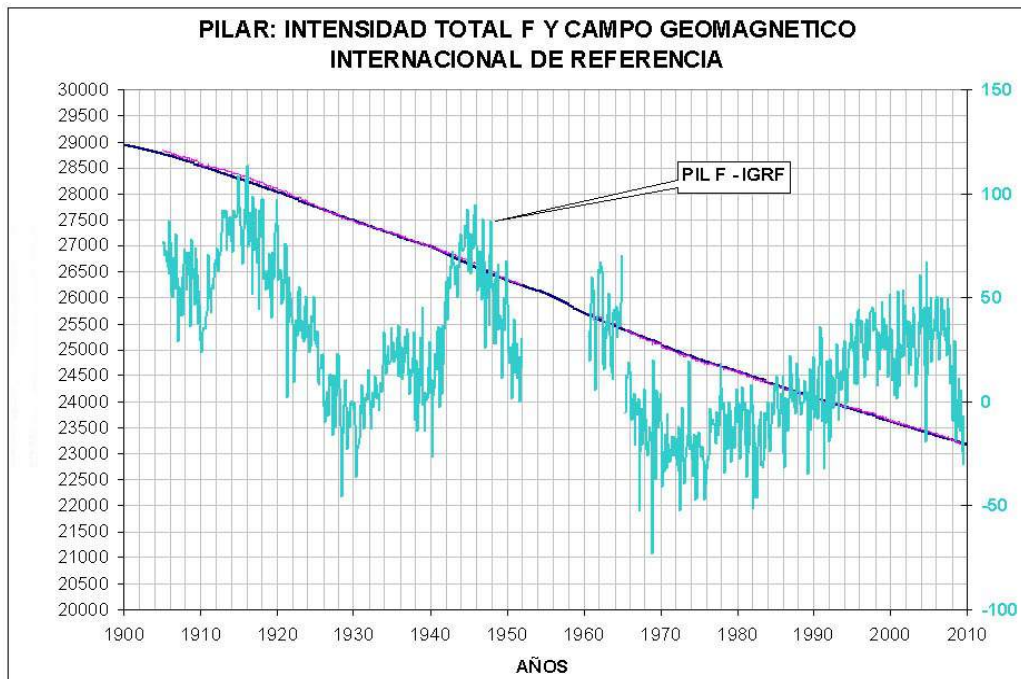


Figura 5: Comparación entre los promedios mensuales de las observaciones de F realizadas en Pilar y el modelo IGRF.



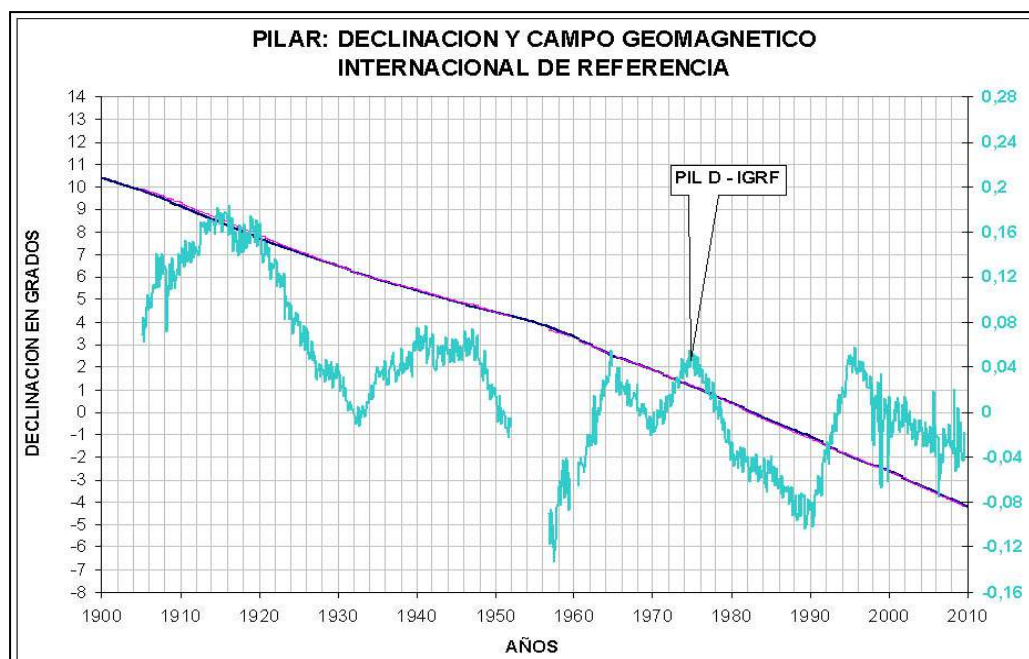


Figura 6: Comparación entre los promedios mensuales de las observaciones de declinación realizadas en Pilar y el modelo IGRF.

## CONCLUSIONES

Tanto la conexión entre distintas instituciones relacionadas con el geomagnetismo como la digitalización de los instrumentos utilizados en los OMP permite una mayor precisión en los datos y mayor frecuencia en la toma de los mismos lo que proporciona un mejor conocimiento del comportamiento del CMT. A su vez, es posible obtener mayor estabilidad y facilidad en el manejo y obtención de los datos para fines investigativos. Principalmente está relacionado de forma íntima con una mejora en los resultados obtenidos por los modelos numéricos, lo que hace posible conocer las componentes del CMT en cualquier punto del planeta. Cabe recalcar que un OMP funcionando de forma aislada no contribuirá al mejoramiento del estudio del campo, por lo que la comunicación y conexión entre distintos organismos e instituciones que operen observatorios magnéticos es indispensable para enriquecer el conocimiento del CMT.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Malin S.(1987) Geomagnetism Vol 1 Academic press N.Y.pp 38-40



2. J. Jancowski and C. Suckdorff (1996). Guide for Magnetic Measurements and Observatory Practice. Pub by IAGA. Warsaw 1996, pp1-235.
3. G. Hartmann and I. Pacca (2009). Time Evolution of the South Atlantic Magnetic Anomaly. Anais da Academia Brasileira de Ciencias 81 (2) pp.243-255.



# Anomalías encontradas en los Parámetros Registrados en la Estación de Medición de la Terma del Volcán Peteroa.

Guzmán, C<sup>1</sup>, Hucailuk<sup>1</sup>, C, Tamasi<sup>2</sup>, M, Martínez Bogado<sup>2</sup>, M y Torres, D<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento Proyecto Centro Internacional para Estudios de la Tierra, Centro Atómico Constituyentes, Comisión Nacional de Energía Atómica, Buenos Aires, Argentina.

<sup>2</sup>Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, CONICET

Departamento Energía Solar - Gerencia de Investigación y Aplicaciones No Nucleares - CNEA.

E-mail: guzman@cnea.gov.ar

## RESUMEN

En el complejo Planchón-Peteroa ubicado en el departamento de Malargüe, lindando con la República de Chile y al pie del Volcán Peteroa, se encuentra el laboratorio multiparamétrico del ICES. Distante de dicho lugar hay una geoterma en la cual se toman los registros de determinadas variables como ser la concentración de CO<sub>2</sub>, radiación solar, temperatura de agua, etc. Estos valores son colectados a través de sensores y sus registros son guardados en dataloggers y pueden transmitirse, a su vez, de forma on-line por una conexión de tipo wifi hasta una antena satelital y de ahí hay internet.

El objetivo del siguiente trabajo es tratar de analizar las posibles correlaciones que pueden existir entre las anomalías observadas en los registros y eventos de origen natural como pueden ser sismos volcánicos u otro tipo de eventos.

Se graficaron las distintas variables registradas en una misma ventana temporal, se buscaron informes de actividad sísmica tanto en el INPRES como en el OVDAS y se ubicaron temporalmente estos eventos dentro de la ventana temporal de análisis.

La correlación de los datos permitió detectar la evolución del CO<sub>2</sub> de la terma con antelación a un sismo volcánico de baja intensidad registrado.

## INTRODUCCIÓN

El Volcán Peteroa se encuentra en el departamento de Malargüe, al sur de la provincia de Mendoza y forma parte del complejo Planchón-Peteroa, el cual limita con la República de Chile. La zona sólo es accesible en temporada estival por factores meteorológicos adversos, es totalmente despoblada y el camino de montaña en su mayor parte es ripio. En la base del Volcán, a 2500 m de altura, el ICES-CNEA posee un laboratorio multiparamétrico separado por unos 80 m del puesto fronterizo de Gendarmería Nacional. A 2 km de dicho lugar, adentrándose en el peñón



en dirección este-oeste, hay una geoterma en la cual se realizan registros de determinadas variables como ser la medición de la concentración de CO<sub>2</sub>, radiación solar, temperatura de agua, etc. [1]. Hay estudios de medición de gases difusos y concentrados en la zona que demuestran a través de un análisis isotópico que una parte importante de la concentración de CO<sub>2</sub> es de origen magmático [2].

#### **DESARROLLO EXPERIMENTAL**

La variación de la concentración de CO<sub>2</sub> registrada en la estación existente en la terma, se midió mediante un sensor electrónico comercial en el rango de hasta 5000 ppm cada 2 horas y almacenado en un dataloger.

En lo que respecta a la radiación solar en dicha zona, se midió con un radiómetro fotovoltaico desarrollado en el Departamento Energía Solar de CNEA. Se registraron, a su vez, los posibles cambios de temperatura de la fuente termal y la temperatura ambiente.

Estos dispositivos son autónomos debido a que su alimentación se realiza mediante paneles solares que cargan una batería de acumuladores; los datos son recolectados en un sistema de almacenamiento resguardado de las inclemencias climáticas. Además, se cuenta con un enlace wifi hasta la estación y desde ahí los datos pueden ser enviados por internet a través de una antena satelital instalada en la base. En la figura 1, se muestra un esquema de lo descripto anteriormente.

El abastecimiento energético en la estación está generado mediante paneles solares y complementado con un aerogenerador.

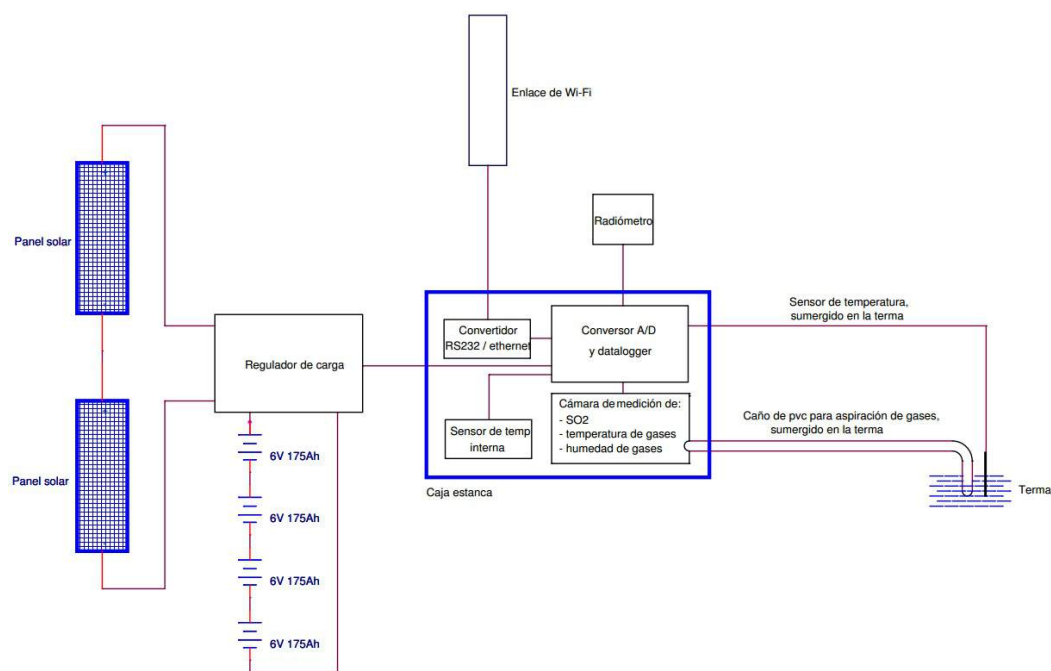


Figura 1. Abastecimiento energético en la Estación.

La respuesta de cualquier sensor fotovoltaico no es plana y depende de la longitud de onda de la radiación, lo cual limita su uso a la determinación de valores diarios de la irradiación global una vez que se ha comparado estadísticamente su comportamiento con el de un piranómetro termoeléctrico y determinado su constante media. Sin embargo, su bajo costo y su respuesta casi instantánea los hace particularmente útiles para integrar una red de bajo costo como radiómetros secundarios para interpolar estaciones termoeléctricas o para la detección de pequeñas fluctuaciones rápidas.

Entre los meses de marzo y agosto de 2012 y abril a julio de 2013 se midió la radiación solar con un radiómetro fotovoltaico desarrollado en CNEA con sensor de silicio. Estos radiómetros tienen varios años de desarrollo y son utilizados por distintos grupos de investigación en condiciones ambientales diversas [3]. Este solarímetro se encontraba instalado en la estación científica junto con los demás instrumentos y debido al largo período de tiempo que se encuentra el equipamiento sin asistencia de personal, se programó para que se tomaran datos cada 2 hs.

#### Presentación de los datos obtenidos

Se grafican los datos que se pudieron obtener en el período 2010-2013. Los registros no se encuentran completos en la secuencia tiempo debido a que tanto las condiciones climatológicas como el desarrollo y prueba de equipos hacen que no siempre se pueda mantener todo funcionando como se esperaría. De todas maneras, se sigue trabajando para lograr un registro continuo.

Sobre los gráficos se superponen los sismos registrados con su respectiva profundidad y magnitud, datos obtenidos por el INPRES y el OVDAS.

En el gráfico de la figura 2, se muestra la evolución de la concentración del gas CO<sub>2</sub> en el período febrero-marzo del 2010. En el mismo se observa una saturación en el valor de 4000 ppm, esto se debe a que es el rango máximo del sensor. Los datos fueron colectados por un equipo preliminar que se había desarrollado con una autonomía limitada.

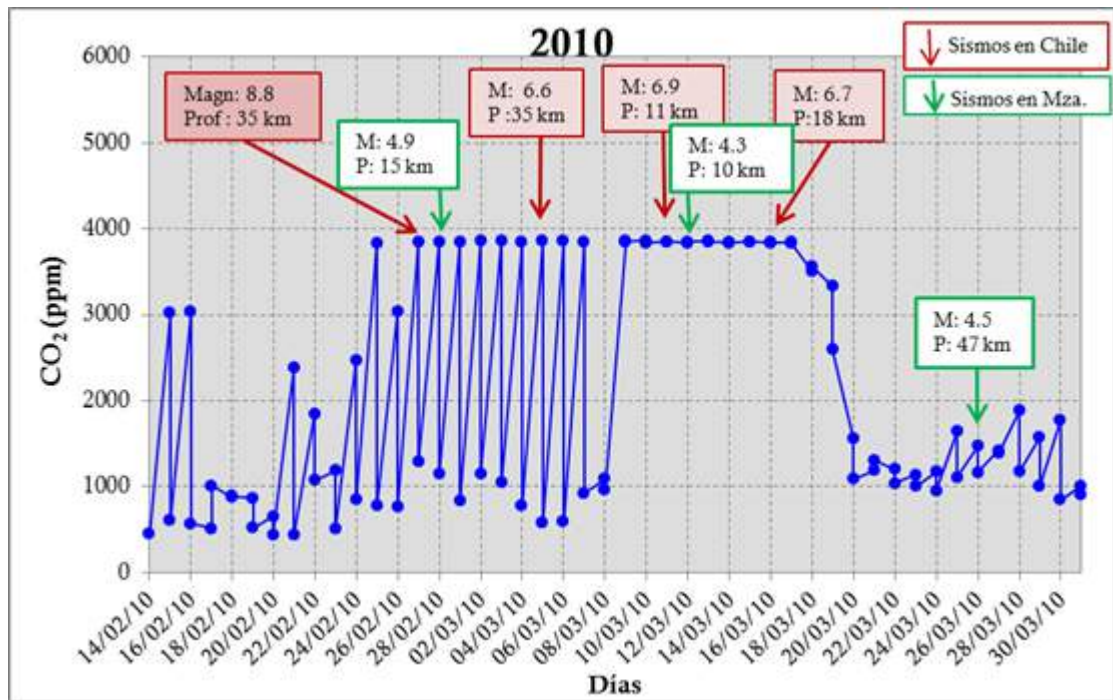


Figura 2. Evolución del registro de CO<sub>2</sub> en la terma desde el 14/02/10 al 30/03/10.

En la figura 3, se ve una ventana de evolución temporal más prolongada del registro de la evolución del CO<sub>2</sub> que se obtuvo con el equipo instalado in situ en la terma. Se observa una saturación en un valor cercano a los 5000 ppm aunque si bien se cambió el sensor por uno de rango superior al usado en 2010, éste tampoco alcanzó.

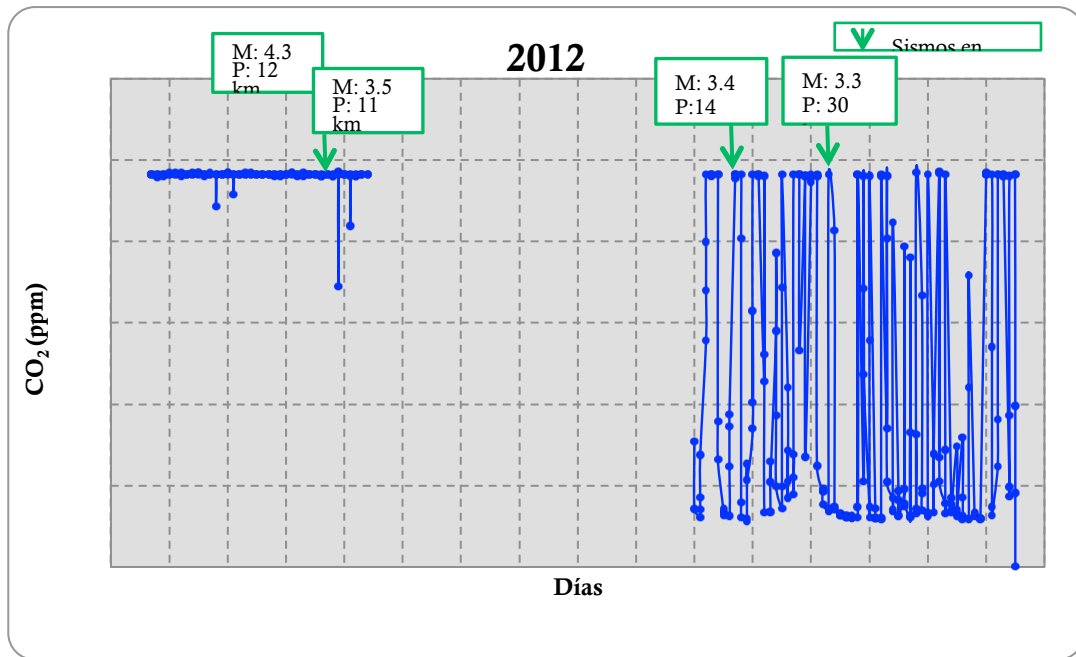


Figura 3. Evolución del registro de CO<sub>2</sub> en la terma en el año 2012.

En la figura 4, se muestra la evolución en el registro de CO<sub>2</sub> durante dos meses consecutivos del año 2013 que no presenta interrupciones en la toma de datos. Allí se observa la misma saturación que en el año anterior, motivo por el cual se piensa ampliar aún más el rango de medición del equipo.

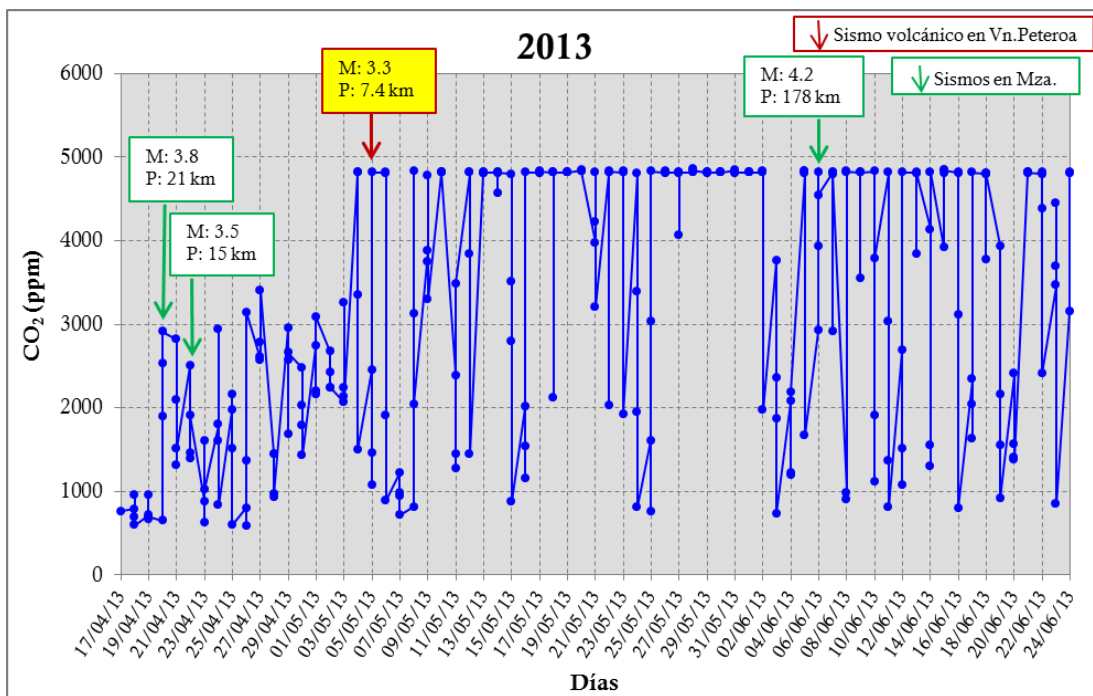


Figura 4. Evolución del registro de CO<sub>2</sub> en la terma desde el 17/04/13 al 24/06/13.

En los gráficos de las figuras 5, 6 y 7 se muestran a modo de ejemplo valores instantáneos tomados en el período 2012 y 2013. En los gráficos se pueden observar algunos puntos anómalos con radiación mayor que la que se registra en promedio. Estos puntos pueden deberse a un efecto ocasionado por las nubes que podrían actuar como espejo reflejando la radiación y así aumentar la radiación que llega a la superficie.



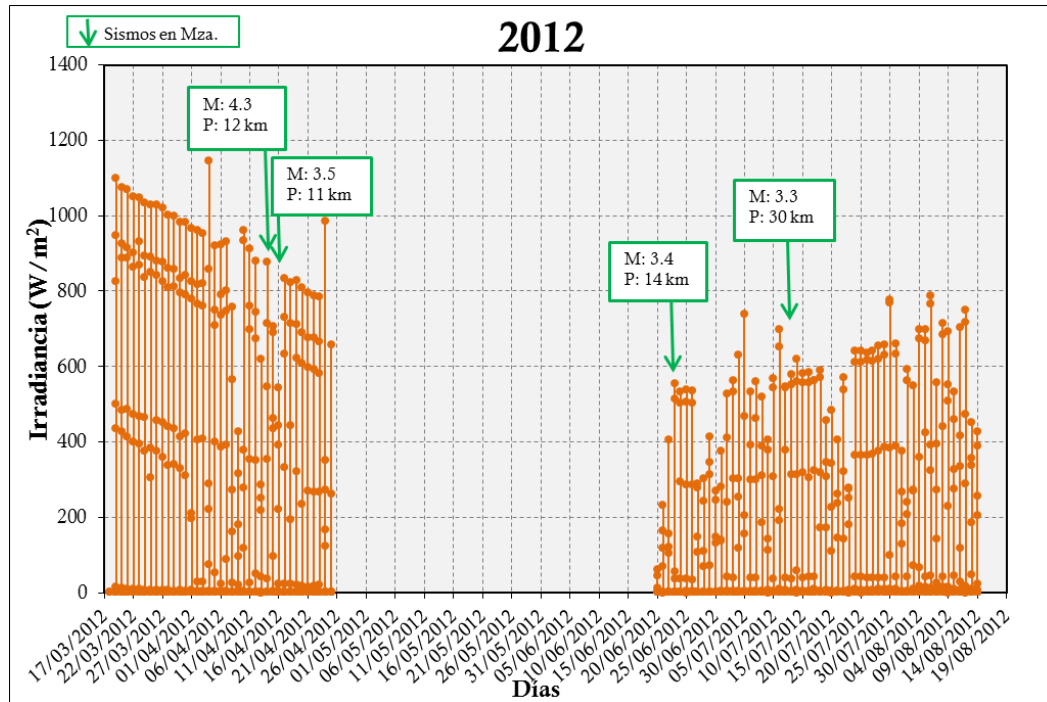


Figura 5. Registro de la radiación solar, periodos 17/03/2012 al 16/04/2012 y 20/06/2012 al 19/08/2012

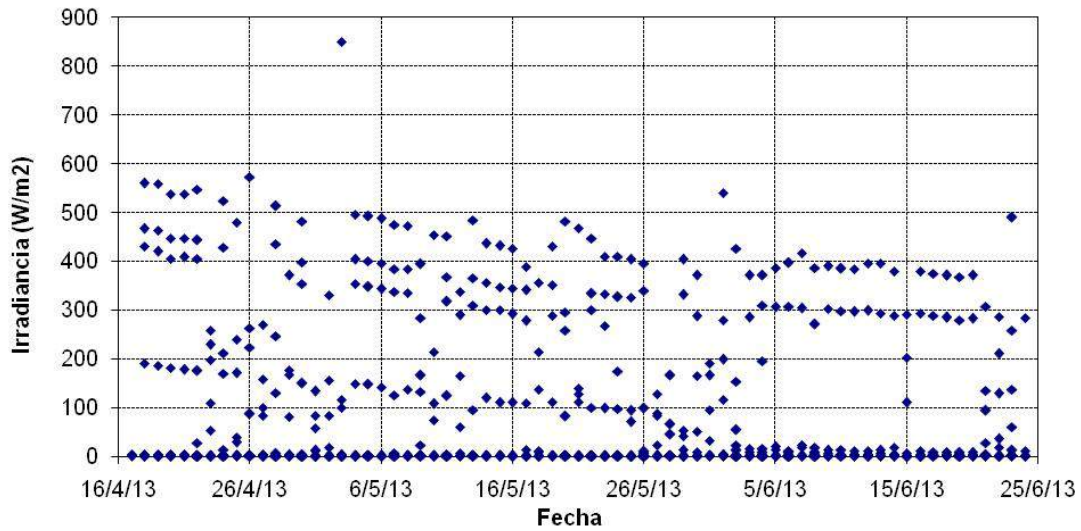


Figura 6. Irradiancia entre el 16/04/2013 al 25/06/2013

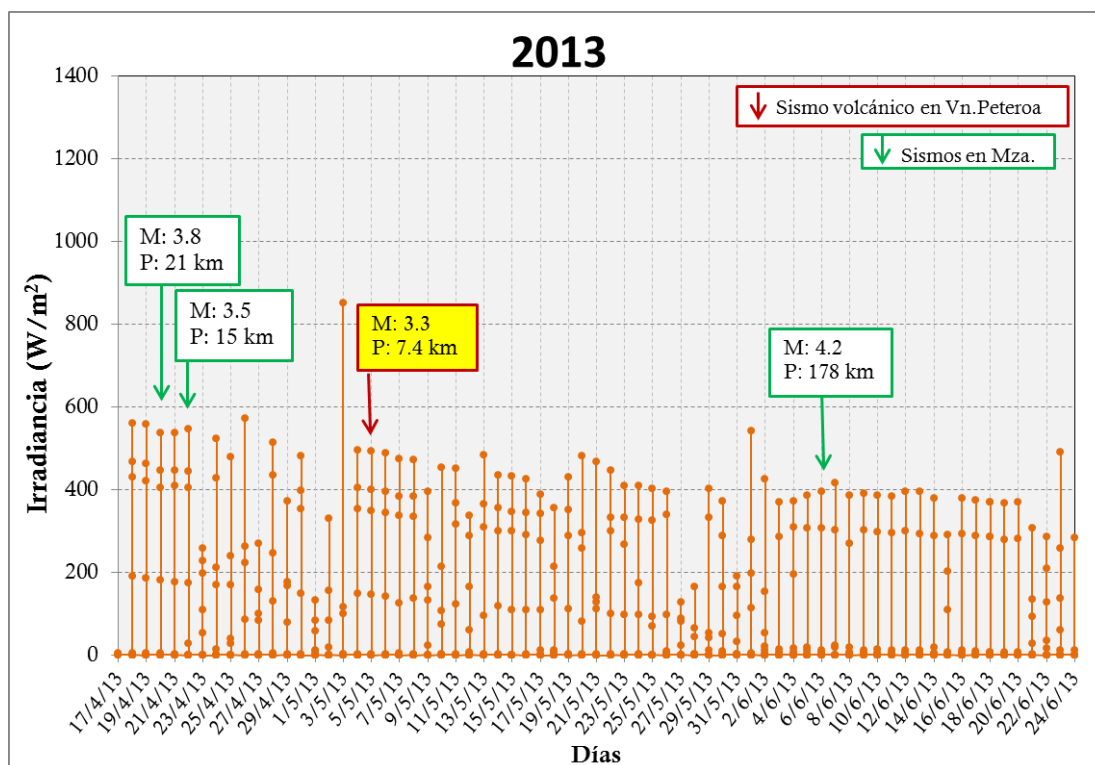


Figura 7. Irradiancia entre el 17/04/2013 al 24/06/2013

**Análisis de Datos**

En este trabajo, que es preliminar, se superpuso en la evolución temporal de los parámetros registrados la actividad sísmica reportada por diferentes fuentes de una zona de influencia determinada. Los eventos de origen sísmicos se tomaron con su magnitud y profundidad, diferenciándolos como sismos producidos en Mendoza en general y sismos de origen volcánicos en el mismo complejo Planchón Peteroa. Se trata de ver si existe algún tipo de correlación entre esta actividad sísmica y la evolución de dichos parámetros. Se puede observar que, la mayoría de los eventos se producen cuando los valores registrados de la concentración CO<sub>2</sub> es alta. En algunos casos, se puede ver un amesetamiento que se origina desde un poco antes de que aparezca el evento.

**CONCLUSIONES**

Cabe destacar que estos son los primeros datos registrados en la estación terma y que para tratar de entender fenómenos del tipo geológico es necesario contar con una buena estadística y esto implica información desde hace cientos de años atrás.



En lo que respecta a los sismos de tectónica de placas, como el acaecido el 27 de febrero de 2010 en Chile, se puede apreciar en los datos de la concentración de CO<sub>2</sub> un aumento paulatino de la misma previa a la fecha del sismo (ver Fig.2) llegando al límite de saturación del instrumental. Dicho comportamiento abarca toda la ventana temporal de las réplicas asociadas con este proceso.

En lo que respecta al sismo volcánico, reportado por el observatorio chileno OVDAS, Observatorio Vulcanológico Andes del Sur, el 5 de mayo del 2013, con una actividad de magnitud 3,3 M<sub>L</sub> en el Volcán Peteroa, previo a esta fecha se observa un incremento de la concentración de CO<sub>2</sub> llegando a nivel de saturación del sensor por encima de las 4500 ppm (Fig 4). Es de destacar que conjuntamente con lo anteriormente citado se pudo apreciar un aumento en la irradiancia registrada por el radiómetro, colocado también en la estación terma, el día 3 de mayo del 2013 (Fig.6 y Fig.7).

Esto conlleva a que se podría asociar la actividad sísmica en gráficos de evolución de los diversos parámetros medidos en el Estación Terma y da lugar a seguir trabajando en esa línea para encontrar un modelo que los correlacione con una mejor estadística.

#### REFERENCIAS

- [1] Torres D., Guzmán C., Sanchez H. Campaña al Volcán Peteroa 2012, actas de trabajos completos E-ICES 8 Mar del Plata octubre 2012 ISBN 978-987-1323-33-3, pág. 404-410.
- [2] Sanci R., Panarello H., Ostera H. 2010 Flujo de dióxido de carbono en el flanco oriental del Volcán Peteroa, Andes del sur. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 27, núm. 2, p 225-237.
- [3] Bolzi C.G., Martínez Bogado M. G., Tamasi M. J. L., Grossi Gallegos H., Righini R. (2008). Desarrollo de radiómetros fotovoltaicos de bajo costo en la CNEA. En Actas del IX Congreso Panamericano de Iluminación Luxamérica 2008, organizado por la Asociación Argentina de Luminotecnia, Rosario, Santa Fe, Argentina, Tomo I pp. III-38 a III-45.



# La Cartografía Social como herramienta de diagnóstico de riesgos en el territorio. Caso del Barrio Flores Sur.

Lambarri<sup>1)</sup>, José; Molina<sup>1)</sup>, Emilia; Vaccarino<sup>1)</sup>, Emilce; Miner<sup>1)</sup>, Gabriel y Barón, Jorge<sup>1</sup>

1) ICES Regional Mendoza, Padre Contreras, N° 1400, Mendoza, Argentina.

E-mail: ices@uncu.edu.ar

## RESUMEN

El presente trabajo es un aporte al conocimiento relativo a la Gestión de Riesgo de Desastres (GRD) en Mendoza y surge de la necesidad de que la temática cobre la debida importancia dentro de la sociedad en general. Pero, convencidos de que la vulnerabilidad social define espacios más o menos riesgosos ante el impacto de alguno de los conocidos fenómenos naturales con probabilidad de ocurrencia en la provincia, se ha decidido desarrollar la propuesta en un territorio con condiciones de elevada vulnerabilidad social.

Así mismo, la intención es romper con el esquema tradicional de acción verticalista y asistencialista que en la práctica reduce a los grupos sociales a actores pasivos, casi víctimas de la naturaleza; de modo que mediante el uso de la cartografía social, se intentará lograr una concientización, discusión, participación y organización comunitaria en materia de GRD.

## INTRODUCCIÓN

En la ciudad de Mendoza se pueden presentar diferentes situaciones derivadas de la ocurrencia de fenómenos naturales y/o acciones antrópicas, que tienen posibilidad de afectación individual o colectiva en cuanto a daños físicos, materiales y económicos que alteran el funcionamiento cotidiano de determinado grupo social. En base a ello, la preparación y organización de la sociedad son fundamentales a la hora de afrontar una emergencia, así como las medidas previas que se puedan implementar para reducir los riesgos.

Un aspecto fundamental para lograrlo es la incorporación de una cultura de prevención de riesgos y fortalecer la organización comunitaria; una propuesta para contribuir a ello es llevar a cabo un proceso de construcción del conocimiento donde la experiencia y el espacio vivido se conjugan con el saber técnico. Esto es, la aplicación de la cartografía social que aparece como una propuesta conceptual y metodológica que permite aproximarse al territorio y elaborar un conocimiento colectivo e integral del mismo mediante la reflexión compartida para consolidar lecturas y visiones del mismo, lo cual conduce a generar conciencia sobre la realidad, los



conflictos y capacidades que la comunidad posee y, de ese modo generar complicidades, roles y responsabilidades frente a futuros escenarios, en este caso, de riesgo de desastre.

En tal sentido, se ha trabajado en el Barrio Flores Sur, en Mendoza, mediante la elaboración de un mapa comunitario de riesgos de su entorno, en el que además de señalar los peligros, también se identifican los recursos existentes para hacer frente a una emergencia; esto permitirá plantear acciones conjuntas de respuesta en un espacio y tiempo específicos.

#### **OBJETIVOS**

- Aplicar una propuesta de cartografía social orientada a la GRD en el Barrio Flores sur, Mendoza.
- Promover la toma de conciencia en GRD como parte fundamental para la disminución de la vulnerabilidad social individual y colectiva.
- Elaborar un mapa comunitario de riesgos asociados en el Barrio Flores Sur.

#### **MARCO CONCEPTUAL**

La premisa sobre la cual parte el proyecto es que los desastres son multicausales (Hewitt, 1983) y que éstos son un proceso construido socialmente, es decir, que las relaciones de producción - económicas, políticas y culturales - son las causas de fondo que determinan la conformación de la vulnerabilidad social diferencial y los espacios riesgosos, que quedan en evidencia ante la ocurrencia de algún evento natural (propio de la dinámica local) o antrópico, situación que da pie a la posibilidad de un desastre.

En ese sentido, varios autores coinciden en apuntar que la vulnerabilidad social es el factor primordial que determina una relación de causa-efecto en un desastre, y ésta se refiere a una serie de condiciones y características diferenciadas de la sociedad, o subconjuntos de la misma que le predisponen a recibir daño frente a la ocurrencia de algún evento, así como la dificultad para su posterior recuperación (Macías 1999; Lavell, 2002).

Ahora bien, a la par de la vulnerabilidad social, existe otro elemento que es necesario analizar dentro del proceso de construcción del desastre, éste es el riesgo, y es entendido como “una noción que se refiere a un virtual (potencial) cambio negativo, representado por una condición de daño o pérdida de cualidades” (Macías, 2008); dichos cambios pueden ser físicos, psicosociales o culturales y están relacionados con las condiciones en la sociedad y su distribución está en general condicionada por el diferencial acceso a los recursos (Lavell, 2002; Hewitt en Calderón, 2001).



Ambos conceptos, uno dependiente del otro, terminan por definir las condiciones en que cierto grupo social se encuentra frente a un *peligro*, definido como la ocurrencia de un evento detonador con posibilidad de causar daño.

### GESTIÓN DE RIESGO DE DESASTRES

En ese panorama más integral en la mirada de los desastres, en las últimas dos décadas se ha planteado a la Gestión de Riesgo de Desastres (GRD) como “un proceso social complejo cuyo fin último es la reducción o la previsión y control permanente del riesgo de desastre en la sociedad, en consonancia con, e integrada al logro de pautas de desarrollo humano, económico, ambiental y territorial, sostenibles. Admite, en principio, distintos niveles de coordinación e intervención que van desde lo global, integral, lo sectorial y lo macro-territorial hasta lo local, lo comunitario y lo familiar” (Lavell, 2003).

Tal visión ha sido punto de partida para emprender políticas y acciones encaminadas a la reducción del riesgo, debido al carácter integral y multisectorial que posee. De hecho, desde la Organización de las Naciones Unidas se ha promovido una serie de convenios y programas que apuntan a atender esta situación<sup>17</sup>, a los cuales se han sumado la mayoría de sus miembros mediante planes conjuntos. Incluso, en Argentina se ha buscado mejorar las capacidades de GRD a nivel nacional y local mediante el Programa Nacional de Prevención y Reducción de Riesgos y Desastres y Desarrollo Territorial, ejecutado por la Subsecretaría de Planificación Territorial del Ministerio de Planificación Federal; y particularmente en Mendoza, se ha promulgado la Ley Provincial 8051 de Ordenamiento Territorial, en la que dentro de otros fines, contempla la GRD como uno de los ejes principales.

En materia de acción y coordinación frente a situaciones de desastre, la responsabilidad recae en la Dirección Nacional de Protección Civil<sup>18</sup>, sin embargo a nivel operativo en la provincia de Mendoza no se cuenta con los recursos necesarios para el adecuado desarrollo de sus labores, además de continuar con la estructura jerárquica y verticalista que caracteriza a todos los sistemas de su tipo en el mundo, es decir, el “modelo de comando y control” (Dynes, 1994), el

---

<sup>17</sup>Declaración del “Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales” (DIRDN) para los años 1990-1999; Conferencia Mundial sobre la Reducción de los Desastres Naturales en Yokohama, Japón en 1994; Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres en el año 2000; Marco de Acción de Hyogo en la Conferencia Mundial 2005 sobre la Reducción de Desastres en Kobe, Japón.

<sup>18</sup>Según Decreto 1697/2004, la responsabilidad de la Dirección Nacional de Protección Civil es implementar las acciones tendientes a preservar la vida, los bienes y el hábitat de la población ante desastres de origen natural o antrópico, coordinando el empleo de los recursos humanos y materiales del Estado Nacional en las etapas de mitigación, respuesta y reconstrucción (<http://www.mininterior.gov.ar>).



cual surge del paralelismo con las guerras, en el sentido de utilizar los recursos para hacer frente no a los bombardeos enemigos, sino a los “ataques” de la naturaleza; en ese modelo de acción, la sociedad está limitada a ser un ente receptor de alertas e indicaciones sobre qué hacer en caso de alguna emergencia.

Por otro lado, si bien es cierto que se ha intentado fomentar una cultura preventiva, en la práctica se encuentra lejos de concretarse, pues desde la academia y demás actores involucrados en la GRD no se ha logrado generar un cambio en la visión ni en la concientización participativa. Es necesario, que mediante la práctica se generen los conocimientos y estrategias para disminuir la vulnerabilidad social y el riesgo en primera instancia y, responder de mejor manera ante la posible ocurrencia de un evento con efectos dañinos; es así que la cartografía social aparece como una herramienta que contribuye a lograr ese objetivo.

### **CARTOGRAFÍA SOCIAL**

La cartografía social es una propuesta conceptual y metodológica que permite aproximarse al territorio y construir un conocimiento integral de éste mediante la participación colectiva, a través del empleo de instrumentos técnicos y vivenciales; es una herramienta que sirve para construir conocimiento a través de la elaboración de mapas, es decir, de la representación de la realidad pasando por un proceso de comunicación entre los participantes que cuentan con diferentes tipos de saberes que confluyen para llegar a una imagen colectiva del territorio (SENA, 2009). Así mismo, al basarse en la conciencia sobre los conflictos y capacidades tanto individuales como colectivas, da pie a la reflexión compartida para visualizar determinado aspecto frente a un tiempo y espacio específicos con la intención de proyectar acciones hacia el futuro.

El espectro de mapas que se pueden realizar es tan amplio como las relaciones existentes en el territorio y cada uno responde a una necesidad específica de un grupo social; en este caso se ha planteado aplicar una metodología orientada a la identificación de peligros y riesgos asociados, así como los recursos existentes para hacer frente a una posible situación de emergencia en un barrio con elevada vulnerabilidad social en la ciudad de Mendoza.

Al revisar el estado del arte en la temática encontramos que en varios países existen experiencias de trabajo con resultados interesantes, una de éstas es la realización del “Mapa Comunitario de Riesgos” (Fondo de Prevención y Atención a Emergencias, 2010) en Bogotá, Colombia, del cual se retoman y reproducen algunos elementos, pues consideramos que el modelo es funcional y contribuye a dar respuesta a los objetivos de éste proyecto.



### METODOLOGÍA DE TRABAJO EN LA EXPERIENCIA DEL BARRIO FLORES SUR, MENDOZA

La primer instancia fue el acercamiento a la comunidad para realizar la exposición de la propuesta de trabajo; para lograrlo, hubo un encuentro con la Mesa de Gestión del Barrio Flores Sur, la cual está integrada por representantes de distintas organizaciones sociales y educativas con actividades territoriales permanentes de las cuales participan los habitantes de ese barrio y contiguos<sup>19</sup>. Hubo una recepción favorable e interés para abordar la temática y trabajar con la propuesta, de modo que la invitación y convocatoria fue abierta a la comunidad para integrarse al espacio y tiempo del grupo de “apoyo escolar a adolescentes” en el Centro Comunitario San José.

El trabajo se desarrolló mediante un taller dividido en cuatro sesiones con la intención de abordar paulatinamente los contenidos teóricos, conceptuales y metodológicos relativos a la GRD necesarios para la elaboración del mapa. Cabe señalar que, finalmente los participantes del taller fueron exclusivamente los chicos del grupo de apoyo escolar acompañados por docentes del propio Centro San José.

Las sesiones del taller fueron abordadas mediante breves exposiciones introductorias para, posteriormente, dar paso a actividades prácticas<sup>20</sup>, cuyos contenidos generales se describen en el siguiente cuadro:

Sesión del Taller	Contenido
I	Peligros Naturales y Antrópicos.
II	Conceptos: Peligro, Riesgo, Vulnerabilidad, Recurso, Desastre.
III	Territorio y Cartografía; Cartografía Social.
IV	Elaboración del mapa.

Las actividades de las primeras tres sesiones se desarrollaron en el Centro Comunitario mismo y tenían como objetivo introducir los conceptos básicos a los participantes; posteriormente, desde la tercera sesión se enfocó al modelo para la cartografía social aplicada a la GRD, el cual se describe a continuación:

<sup>19</sup>Entre las organizaciones que integran la Mesa de Gestión y que participaron se encuentran: Asociación Campo Flores, Centro Comunitario San José CCT N° 6-302, CEBA 3-126 “Profesor Fabián Testa” y Jardín Maternal.

<sup>20</sup> Las actividades se acompañaron con materiales audiovisuales, así como materiales gráficos didácticos como el Cuyún (<http://www.imd.uncu.edu.ar/paginas/index/cuyun>), actividades lúdicas, y materiales de trabajo complementarios al mapa (fichas y plano).





El modelo propone dos momentos: primero, el recorrido por el barrio mediante la organización de los participantes que se dividen y conforman de grupos de trabajo (con el objetivo de abarcar el barrio en su totalidad), en este caso se conformaron dos grupos y cada uno abarcó igual número de calles y manzanas, que se especificaron en ese instante; cada grupo debe contar con un responsable de cumplir determinada tarea -sin embargo, todos participan activamente en las mismas- que corresponden de la siguiente manera:

-Responsable de la ficha de registro de riesgos asociados a peligros con probabilidad de ocurrencia en el barrio, los cuales han sido previamente identificados (en función del conocimiento empírico y los contenidos del taller) y se ha determinado utilizar una ficha para cada uno de los casos (sismo, viento zonda y aluvión); además de la vulnerabilidad; probabilidad de ocurrencia y ubicación (Figura 1);

-Responsable del registro de recursos con los que se cuenta, descripción y ubicación. Esta tarea se realiza mediante otra ficha (Figura 2).

-Responsable de las memorias y observaciones durante el recorrido.

-Responsable de la identificación cartográfica preliminar en el plano del barrio, el cual sólo contiene elementos de referencia como calles, manzanas e infraestructura que sirve como orientación (Figura 3).

Peligro	Riesgos Asociados	Vulnerabilidades frente a los peligros	Probabilidad de Ocurrencia			Ubicación
			1	2	3	

- 1- Posible: Nunca ha sucedido pero podría suceder.
- 2- Probable: Ya ha ocurrido, puede volver a suceder.
- 3- Inminente: Evidente, tiene alta probabilidad de ocurrir.

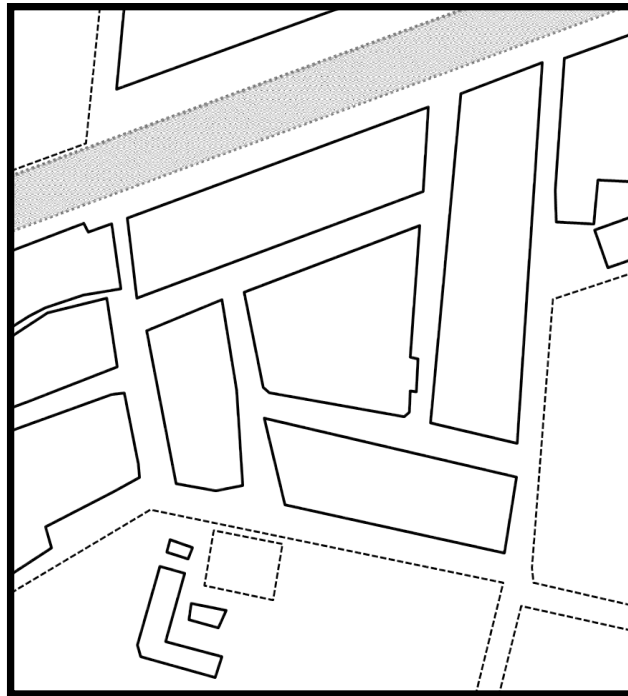
Figura 1. Ficha para la identificación de peligros, riesgos asociados, vulnerabilidad y probabilidad de ocurrencia.

RECURSO	DESCRIPCIÓN	UBICACIÓN

Figura 2. Ficha para la identificación de recursos.



De ese modo, se determina un tiempo para realizar el recorrido por la zona asignada y llevar a cabo las tareas para identificar los elementos indicados anteriormente. Es importante apuntar que el uso de las fichas y memorias es fundamental pues es parte de la sistematización de datos que sirven como base para la elaboración del mapa final, así como respaldo y profundización de información de lo que se describe en el mismo; son pues, materiales complementarios a consultar a la par del mapa comunitario de riesgos.



*Figura 3. Plano base del Barrio Flores Sur.*

Posterior a ello, en un segundo momento, todos los participantes confluyen en el mismo espacio para realizar el intercambio de información, puntos de vista, discusión, sistematización de datos, categorización de lo relevado y el vaciado de la información en el plano.

En el mapa final (Figura 4), podemos distinguir cartográficamente la localización de los elementos de riesgo, de acuerdo a cuatro categorías que corresponden a cada uno de los peligros identificados, así como los recursos con los que se cuenta. Esto se identifica de la siguiente manera:



Elemento identificado	Color que lo representa
Riesgo por sismo	Rojo
Riesgo por viento zonda	Negro
Riesgo por aluvión	Azul
Recurso	Verde

**MAPA COMUNITARIO DE RIESGOS DEL BARRIO FLORES SUR, MENDOZA.**



Figura 4. Mapa comunitario de riesgos del barrio Flores Sur, Mendoza.

Una vez concluida la elaboración del mapa, se da pie a un momento para su análisis y discusión acerca de la percepción de los habitantes acerca de los riesgos identificados, con ello se pueden plantear estrategias para contribuir a su disminución y/o mitigación, en este caso, de acuerdo a lo observado, se ha propuesto lo siguiente de parte de los participantes:

**Para el caso de sismo:**

- Señalar rutas de evacuación y puntos de reunión.
- Señalar elementos flamables y puntos de corte de gas y energía eléctrica.



- Limpiar y asegurar elementos pesados ubicados en altura y techos de viviendas (ladrillos y tanques de agua principalmente).

- Contar con alarma sísmica.

**Para el caso de viento zonda:**

- Hacer un pedido a la municipalidad para que pude los árboles cuyas ramas son quebradizas o están en contacto con los cables eléctricos.

- Fijar correctamente las chapas de los techos en las casas.

- Hacer la recomendación a los vecinos para limpiar basuras y objetos inestables en los techos.

- Tener canales informativos de las condiciones del viento.

**Para el caso de aluvión:**

- Pedido a municipalidad para mantenimiento de acequias y canales.

- Concientizar a los vecinos para mantener limpios los canales de flujo de agua.

- Reforzar el puente peatonal que cruza el zanjón.

- Poner señalamientos de alerta en el cruce peatonal y vehicular del zanjón.

- Contar con una alarma de alerta.

Por otro lado, se puede mencionar que tras la evaluación de recursos disponibles, pueden parecer mínimos, pero resultan valiosos para un momento de emergencia, así mismo estos coinciden con los lugares en donde confluye gran parte de los habitantes de ese barrio y contiguos, en donde de distintas maneras ya existen redes de comunicación y acción, pero no se termina de cobrar conciencia de ello en lo referente al tema; se ha resaltado también, que son acciones que los propios vecinos pueden llevar a cabo, para contribuir a la disminución del riesgo de desastres.

Finalmente, se ha puesto énfasis en la importancia que tiene sociabilizar el mapa y sus resultados con el resto de los vecinos que no ha participado en su elaboración para que tenga una mayor llegada. Sin embargo, lo óptimo sería que en un futuro se siga trabajando con la herramienta a partir de una mayor convocatoria y participación en general, así como darle seguimiento y fortalecer la organización y redes sociales existentes para concretar las propuestas.

**REFLEXIÓN FINAL**

El resultado del proyecto lo encontramos satisfactorio, pues ha cumplido con los objetivos propuestos. La cartografía social ha generado un espacio de encuentro entre un sector de habitantes y organizaciones referentes en el barrio, en donde el mapa comunitario de riesgos



como producto es un gran aporte para contribuir a la disminución de la vulnerabilidad social y los riesgos asociados a los peligros que tienen probabilidad de ocurrencia en el Barrio Flores Sur. Sin embargo, encontramos más valioso aún el momento de intercambio de conocimientos en los talleres, en la fase de elaboración, discusión y planteamiento de estrategias donde se pone de manifiesto la interiorización y concientización sobre la realidad de ese grupo social ante el riesgo, en el que se han identificado como componente esencial en la construcción y disminución del mismo.

#### **BIBLIOGRAFÍA**

- Calderón, Georgina (2001) *Construcción y reconstrucción del desastre*, Plaza y Valdés, México.
- Dynes, Russell (1994) *Disastrous assumptions about community disasters*, University of Delaware Disaster Research Center.
- Hewitt, Kenneth (1983) *The idea of calamity in technocratic age*, en K. Hewitt (ed.) *Interpretations of Calamity*, Allen & Unwin Inc., Boston.
- Lavell, Allan (2002) “Sobre la Gestión del Riesgo: Apuntes hacia una Definición”
- Lavell, Allan (2003) “La gestión local del riesgo. Nociones y precisiones en torno al concepto y la práctica” CEPREDENAC-PNUD, Guatemala, Guatemala.
- Macías, Jesús (1999) *Desastres y Protección Civil, problemas sociales, políticos y organizacionales*, CIESAS, México.
- Macías, Jesús, (2008) *Reubicaciones por desastre. Análisis de intervención gubernamental comparada*. CIESAS, México.
- Servicio Nacional de Aprendizaje (2009) *Formación en gestión ambiental y cadenas productivas sostenibles. Herramienta de trabajo en cartografía social*, Colombia.



# La investigación, la tecnología y el turismo sostenible para descubrir: Patagonia “Otra”.

Landini, Walter<sup>1</sup>, Finotti, Franco<sup>2</sup>, Rissicini, Claudio<sup>3</sup>, Barbieri, Rubéns<sup>4</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Ciencias de la Tierra Universidad de Pisa, Italia*

<sup>2</sup>*Fundación Museo Cívico de Rovereto (Trento), Italia*

<sup>3</sup>*Coordinador Red de Museos Pangea, Italia*

<sup>4</sup>*Museo de Cipolletti, Río Negro, Argentina.*

E-mail: landini@dst.unipi.it

## RESUMEN

La Red de los Museos naturalísticos italianos Pangea, durante una primera expedición (año 2005) en el norte de Patagonia (Valle de El Cuy) ha descubierto, en los sedimentos del Cretácico Superior (Fm. Anacleto), un nivel con alta concentración de restos fósiles de esqueletos de dinosaurios titanosaurios. Este importante yacimiento se inserta en un contexto naturalístico de valor internacional; está asociado con el gran potencial paleontológico de todo el territorio rionegrino, bien conocido en la literatura ya en el final del siglo XIX. Pangea, en colaboración con varias instituciones científicas de Argentina (Universidad de Río Negro, Museos Paleontológicos de General Roca y de Cipolletti, con el gobierno (Provincia de Río Negro, Municipio de General Roca) y empresas privadas, ha desarrollado el proyecto integrado Patagonia “Otra”. Este proyecto se divide en tres líneas de acción: Patagonia Ciencia (Patagonia Science); Patagonia Paisaje (Patagonia Landscape) y Patagonia adentro (Patagonia Inside). Aquí se ilustra con más detalles la línea de “Patagonia adentro”, dedicada al desarrollo turístico de la zona.

La documentación de estas investigaciones (paleontológica y geofísica) en el Valle de El Cuy (Río Negro) se ha presentado en muchos Congresos ICES (2008; 2009, 2010 y 2012), en algunas conferencias en Italia (Landini et alii) y en trabajos de tesis.

**Parabras claves:** Pangea, Argentina, Provincia de Río Negro, patrimonio natural, desarrollo cultural y turístico.

## INTRODUCCIÓN

La Red de los Museos naturalísticos italianos Pangea a partir de 2006 comenzó su trabajo con una investigación paleontológica en la Provincia de Río Negro (Patagonia). Esta actividad llevó al descubrimiento, en el sector norte del valle de El Cuy, de un importante depósito de restos de dinosaurios (Titanosaurios) atribuibles al Cretácico Superior (Formación Anacleto; Hugo y Leanza, 2001). La alta concentración de restos óseos en buen estado y con frecuencia en conexión



anatómica, en un frente fósilífero (Fig. 1) amplio acerca de 1.000 m por 2 m de potencia, permite indicar el sitio con el nombre "Valle de los Titanos" (Landini y Rissicini, 2008).

En el curso de las excavaciones realizadas en los años 2005, 2008 y 2010 y de la exploración (2004, 2008, 2010, 2012, 2013), las actividades paleontológicas fueron apoyadas por la investigación geofísica orientada al desarrollar de métodos no invasivos y expeditos (geoeléctrica pasiva y activa, sísmica pasiva, fotogrametría para la producción de relieves 3D, sensoriamiento remoto,...) para el conocimiento del suelo y del subsuelo (Finotti et al., 2009; Finotti et al. 2010, 2011, 2013). Estos estudios de gran alcance han permitido, contextualmente con las actividades de excavación en el "Valle de los Titanos", localizar en las zonas cercanas otras evidencias paleontológicas importantes que se refieren siempre al Cretácico Superior, con las formaciones de Bajo de la carpa, Anacleto y Allen. El conjunto de estos recientes descubrimientos ha permitido definir toda la zona, ya conocida en la literatura, como un contexto natural, paleontológico y paisajístico de gran interés internacional, hasta el punto de estimular la creación de una propuesta para el desarrollo del territorio también en clave turística.



*Fig. 1. Vista panorámica del sitio llamado "El Valle de los Titanos", en la parte norte del valle de El Cuy, en la Provincia de Río Negro (Argentina).*

### **EL PROYECTO PATAGONIA "OTRA"**

La propuesta, incluida en el Proyecto *Patagonia "Otra"* ha sido elaborada por Pangea en acuerdo con las instituciones provinciales y locales (Provincia de Río Negro y la Municipalidad de General Roca) y con las instituciones científicas y culturales (Universidad de Río Negro, Museos de las Ciencias Naturales y de General Roca, Museo Provincial y de Cipolletti).

El proyecto *Patagonia "Otra"*, centrándose principalmente en torno a temas de desarrollo territorial, gracias a una oferta turística de importancia nacional e internacional, también incluye aspectos estrictamente científicos (investigación en paleontología, geofísica y geoquímica) y la planificación y gestión de la tierra (procesamiento de mapas temático-digitales y censo del patrimonio histórico-naturalístico).

Estamos convencidos de que un proyecto integrado que combina la ciencia, la tecnología, el patrimonio natural y la historia, será un punto de referencia significativo para el turismo respetuoso y sostenible. Por otra parte la participación de los interlocutores institucionales argentinos, nacionales y locales, y de los grupos organizados, públicos y privados, es la base para que el proyecto pueda al mismo tiempo preservar y mejorar el patrimonio paleontológico único y



la belleza natural de la zona del Río Negro, y generar los procesos económicos virtuosos, convirtiéndose en una fuerza motriz para el crecimiento local.

El proyecto está dividido en tres unidades operativas distintas, identificadas en la siguiente manera:

- "Patagonia Science" (Ciencia y Tecnología);
- "Patagonia Landscape" (gestión y planificación del territorio);
- "Patagonia Inside" (desarrollo del turismo).

#### **“Patagonia Science”**

La investigación, llevada a cabo en la Provincia de Río Negro, se ha centrado en la paleontología de vertebrados, los estudios geofísicos aplicados a la investigación paleontológica y la documentación (y protección) del territorio. Estos estudios son conducidos por una red de museos y departamentos universitarios italianos que trabajan en el campo de la paleontología, de la geofísica y la conservación y mejora del patrimonio cultural y ambiental, en colaboración con las instituciones culturales y científicas argentinas. Los resultados de los trabajos ya han sido publicados en forma preliminar (Finotti et al., 2009, 2010, 2011, 2013).

#### **“Patagonia Landscape”**

En los últimos años se ha comprendido que el patrimonio paleontológico, al igual que el natural, el histórico y arqueológico, es un recurso importante y peculiar también para el conocimiento, la promoción y el desarrollo de un territorio. Por consiguiente su conservación y mejora pueden desempeñar un papel estratégico en el desarrollo de políticas adecuadas de gestión del patrimonio cultural, y ofrecer una nueva oportunidad de activar - a nivel de las economías locales - círculos virtuosos.

En este sentido la Provincia de Río Negro juega un papel estratégico también en el plano internacional, para la frecuencia de los descubrimientos de fósiles de dinosaurios, en algunos casos atribuibles a verdaderos yacimientos paleontológicos (*“KonservatLagerstätte”*).

Sin embargo la considerable extensión espacial (más de 200 000 kilómetros cuadrados), la muy baja densidad de población (unos 650.000 habitantes, 3.25 hab/km<sup>2</sup>) que se reúne en unos pocos centros urbanos, el difícil manejo de todo el territorio por falta de personal capacitado, la falta de apoyo tecnológico y de instrumentos operativos para el control de los patrimonio, y algunas veces la falta también de personal local calificado, debilitar cualquier acción dirigida al desarrollo y al crecimiento, mientras el territorio es vulnerable.

Por tanto antes de cualquier acción de gestión y desarrollo de la zona se necesitan el censo y la catalogación del enorme patrimonio natural e histórico de la Provincia de Río Negro.





### Los métodos

Paleontólogos, geofísicos y ingenieros de Pangea por un lado, y paleontólogos y arqueólogos argentinos por otro lado han dado ya los primeros pasos para el inventario y catalogación de la historia paleontológica y arqueológica del territorio de Río Negro.

Los productos de estas actividades fueron en parte puestos a disposición en base de datos (archivos digitales y sistema WebGIS) por la Fundación Museo Civico de Rovereto (TN - Italia), también valorados e incluidos en el sitio web dedicado "Pangea".

En el futuro se utilizarán tecnologías y plataformas comunes, informáticas y digitales para estandarizar las metodologías de investigación para el seguimiento y el censo del patrimonio ambiental. Durante el año 2013 la investigación ha combinado las actividades de investigación sobre el terreno con el reconocimiento de la plataforma aérea ("*drone*"), con el fin de cubrir grandes áreas en tiempos reducidos y de manera significativa para conseguir una instantánea de la condición local incluyendo las características de la superficie. Los sectores más interesantes y sensibles, caracterizados por la presencia en la superficie de los especímenes, fueron posteriormente objeto de inspecciones detalladas. Ambas acciones, la primera de proximidad con la investigación directa sobre el terreno y la segunda remotizada (Fig. 2), son compatibles con la utilización de equipos GPS para trabajar en las plataformas GIS (Sistema de Información Geográfica).

A partir de los datos geográficos, puntuales y areales, se crean tarjetas de base de datos con información de interés (tipo de datos recogidos, tipo de evidencia, ...) y con materiales de documentación (imágenes, vídeos, bibliografía, ...). Estas tarjetas se pueden actualizar a través del tiempo, incluso mediante el acceso en línea dedicada (con la posibilidad de teletrabajo).

El objetivo es producir un sistema de información geográfica digital conectado a la cartografía digital, consiguiendo una imagen lo más realista posible y dinámica (siempre actualizable) de las potencialidades de la zona, gracias a las tecnologías innovadoras ahora disponibles en el campo de la cartografía geotemática.

El uso de metodologías (por ejemplo el sensoriamiento remoto desde pequeñas plataformas aéreas como drones) que permiten gestionar y controlar más fácilmente que en el pasado grandes extensiones territoriales permite incluir en las actividades del censo de una vez no sólo los aspectos paleontológicos y arqueológicos, sino también la vegetación, la fauna, la geomorfología y la geología.



*Fig. 2. Una fase del relieve con drone (en este caso un quadricóptero con mando a distancia) en el Valle de la Luna, comandado por un técnico de la Fundación Museo Cívico de Rovereto con finalidades demostrativas.*

### **“Patagonia Inside”**

En relación a la gestión y al desarrollo del turismo de la zona, sugerimos entre los diferentes modelos de turismo lo que se refiere al turismo sostenible y responsable. El objetivo es un "turismo que puede perdurar en el tiempo, susceptible de coincidir las expectativas de los residentes con las de los turistas, sin disminuir la calidad de la experiencia turística y sin dañar los valores ambientales de la zona. El potencial paleontológico del territorio de la Provincia de Río Negro, que consiste esencialmente en extraordinarios hallazgos dinosaurianos y especialmente en el reciente descubrimiento del " Valle de los Titanos", permite activar, incluso dentro del modelo de turismo responsable y sostenible, un segmento específico dedicado al turismo científico dirigido a académicos, estudiantes, personas que hacen un stage, turistas aculturados y viajeros curiosos. Este tipo de oferta se centra en la participación directa en las excavaciones y en el censo de restos y evidencias paleontológicas, arqueológicas y naturales. En la práctica, se tiene la intención de crear una especie de "Gimnasio paleontológico y natural", cuya misión es dar cuerpo e imagen, alta y de calidad, de lo que nos gusta llamar "Patagonia Otra".

Este segmento específico de la industria del turismo genera en la provincia de Río Negro, ya internacionalmente conocida por algunos valores turísticos (volcanes, lagos, ...) una nueva "cadena de valor" que distingue y caracteriza al territorio. Los flujos generados por esta cadena, aunque no comparables a los del turismo de masas, son a la vez más accesibles y continuos durante todo el año gracias a la especificidad y a la naturaleza de la oferta, y requieren estructuras de apoyo adecuadas (alojamiento, catering, transporte, guías o expertos, asistencia técnica y logística) para la realización de actividades científicas y de recreo. Entre otras cosas,



concretamente se tendrán que crear laboratorios en el ámbito de los estudios preliminares geológicos, paleontológicos y climáticos. Se está planeando también la creación de un pequeño planetario para la astronomía, gracias a una favorable ubicación (prácticamente no hay contaminación lumínica, y condiciones climáticas perfectas).

Estamos convencidos de que esta "cadena de valor" tiene su propio atractivo y es capaz de responder a preguntas científicas específicas y calificadas. Sin embargo, debido a su carácter de "nicho", el impacto en el nivel local en términos de valor añadido en el tejido económico y social puede ser modesto. Para que esta "cadena de valor" pueda expresar su potencial y aumentar significativamente el atractivo turístico de la zona, debe integrarse con la oferta turística existente. De hecho, a pesar de la presencia de importantes recursos naturales, una de las debilidades de la oferta turística general de la Provincia de Río Negro (con excepción por la zona andina), es la distribución localizada de los recursos, con amplios espacios y grandes distancias entre los sitios de interés. Por lo tanto, en un sistema territorial con recursos dispersos arealmente, la inclusión de esta "cadena de valor" puede ayudar a formar una "red de valor" que eleva y refuerza la imagen de la zona dando mayor unidad.

La implementación de esta "cadena de valor" ayuda a reunir los recursos del patrimonio local, generando una masa crítica sobre la que construir una red, una estrategia y una imagen. En este contexto, para el desarrollo del proyecto es estratégica una consolidación de las relaciones con las instituciones públicas locales, culturales y científicas, con los gobiernos provinciales y municipales, así como con el sistema económico terciario y el espíritu empresarial.

#### **EL CAMPO - ESCUELA Y EL CENTRO TURÍSTICO DEL "VALLE DE LOS TITANOS"**

Como ya se ha mencionado la Patagonia en general, y la Provincia de Río Negro en particular, se afirman cada vez más a la atención internacional por su patrimonio paleontológico extraordinario. Desde los primeros descubrimientos hace más de un siglo, hay cada día informes de descubrimientos de restos fósiles. Después de doscientos años de investigación, sólo el 10 % del patrimonio sigue siendo enterrado. En el record paleontológico hasta ahora publicado sobre este área hay numerosos holotipos de dinosaurios y/o de otros reptiles del Mesozoico (espécimen sobre los que se han establecido nuevos taxones para la ciencia), que determinan el peso científico a nivel internacional (Bonaparte 1996, Huene 1929, Juárez Valieri et al. 2011, Leanza et al. 2004, Lydekker 1893, Powell 1986 y 2003, Wilson et al. 2003). Sin embargo aunque hayan descubrimientos sorprendentes, en la mayoría de los casos los informes de nuevos hallazgos interesan los restos en la superficie, más o menos aislados, en gran parte erosionados y alterados por la acción de los agentes atmosféricos.



### **El yacimiento del “Valle de los Titanos”**

Esta disposición superficial de los restos, con elementos óseos puntuales y erosionados, es la que se observó en el momento del descubrimiento realizado por Pangea en el sector norte del valle de El Cuy (año 2005). Desde el año 2006, con la continuación de la investigación junto con los paleontólogos argentinos fue identificado el nivel fosilífero de donde procede la mayoría de estos restos esparcidos en la superficie. Este nivel de 1,5 - 2 m de espesor, incluido en la Formación Anacleto (Cretácico Superior), corre a lo largo de una gran meseta. Desde las primeras excavaciones llevadas a cabo en varios lugares, se puso en evidencia la presencia de esqueletos de titanosaurios en posición anatómica original y en buenas condiciones. El análisis de los restos en la superficie y los resultados de los ensayos, se admiten en primera instancia para estimar la presencia de una alta concentración de esqueletos de titanosaurios a lo largo de un frente de unos 150 metros lineales (Finotti et al. 2009, 2010, 2011). Una encuesta reciente (2012) llevada a cabo después de las lluvias torrenciales y enormes que se han vertido en la zona en los primeros meses del año, ha permitido identificar en el nivel fosilífero nuevos y numerosos hallazgos. Con estas evidencias ahora es posible asignar al yacimiento fósilífero una extensión lineal de unos 1000 metros (Finotti et al., 2013).

Las condiciones especiales de disposición, la alta concentración en un nivel de espesor limitado, el buen estado de conservación, la abundancia de restos, generalmente atribuibles a titanosaurios presentes con distintos grupos de edad, además del descubrimiento de los huesos pertenecientes a dinosaurios terópodos, permite considerar este sitio un verdadero “*Konservat Lagerstätte*”.

### **El potencial del sitio**

El sitio del "Valle de los Titanos", por su contenido paleontológico y el paisaje natural en el que se ubica, tiene un alto potencial científico, educativo y turístico.

### **Potencial científico**

La extensión del depósito asociada a la abundancia de hallazgos fósiles permite realizar estudios multidisciplinarios (paleontología, geología, estratigrafía y cartografía geológica, análisis geofísicos y geoquímicos, etc), con participación de investigadores, estudiantes graduados y estudiantes universitarios italianos y argentinos. El "Valle de los Titanos", como ya se mencionó, fue durante las campañas de excavación también un área de prueba para el desarrollo de algunas aplicaciones geofísicas (geoeléctricas, sísmicas y análisis de imágenes) dirigidas a la investigación paleontológica. Por otra parte, además del levantamiento topográfico (clásico y con láser escáner) que nos ha permitido construir una base cartográfica digital de detalle, se midieron - con métodos métricos para la reconstrucción 3D - tanto los restos como el sitio de excavación.



### **Potencial educativo**

El fácil acceso a la zona fosilífera, las condiciones de disposición y de conservación, y la consistencia numérica de los hallazgos, permiten iniciar planes de acción plurianuales con carácter educativo y didáctico, en los distintos niveles. En particular, el contexto ambiental en el que se coloca el sitio ofrece las condiciones adecuadas para el establecimiento de una escuela, un campo paleontológico permanente.

### **Potencial turístico**

El alto valle de El Cuy, bajo el aspecto del paisaje y de la naturaleza, representa una sección transversal de la Patagonia, fiel y auténtica, y puede convertirse en un importante punto de referencia para el desarrollo de planes de uso y gestión dedicados a un turismo sostenible de tipo científico.

### **El campo - escuela y la educación**

En relación con el potencial científico, didáctico y turístico del "Valle de los Titanos", se ha propuesto la construcción, directamente en el sitio, de un campo - escuela paleontológico permanente (Fig. 3) de valencia internacional, que también tiene las funciones de centro turístico operativo. Este campo ha sido diseñado como un modelo de sostenibilidad energética (paneles solares, microturbinas eólicas,...) y ambiental (reciclaje, compostaje y fitorremediación). Este campo debidamente equipado es el centro para la realización de pasantías, cursos de corta duración para grupos de jóvenes estudiantes, y para la realización de las actividades del "Gimnasio naturalístico - paleontológico" reservadas a los turistas. La escuela hace actividades teóricas y prácticas sobre la excavación estratigráfica y paleontológica, con un énfasis en la integración de los métodos tradicionales de investigación, excavación, reconocimiento territorial con las más innovadoras tecnologías de diagnóstico paleontológico (modelado virtual en 2D y 3D, gestión y tratamiento de los datos de excavación paleontológica) y con el uso de instrumentación geofísica de apoyo a la investigación paleontológica. A los diversos laboratorios dedicados a las actividades geológicas y paleontológicas se une una estación meteorológica preparada para detectar y controlar en el tiempo (de manera manual y automática) los datos meteorológicos, tanto con fines educativos como científicos.



Fig. 3. Ilustración del Campo - escuela paleontológica Internacional que se prevé en el proyecto Patagonia "Otra".

### La Educación Ambiental: una nueva cultura para una nueva economía

Otro elemento estratégico del proyecto es la relación entre el campo - escuela y la población local. Creemos que, con el fin de explotar económicamente el patrimonio natural extraordinario y único de la provincia de Río Negro, es necesario promover un nuevo paradigma de desarrollo a través de un fuerte rescate cultural y basado en la explotación de los recursos locales.

Para traducir esta riqueza en oportunidades económicas es necesario fomentar iniciativas viables y sostenibles por el ambiente. Esto es posible gracias al desarrollo de políticas específicas destinadas a la promoción de comportamientos virtuosos, individuales y colectivos.

Se puede hacer mucho a nivel de la enseñanza, y la educación ambiental es el instrumento fundamental para la sensibilización de toda la población, y en particular de los jóvenes, a una mayor responsabilidad hacia los temas de la protección de la naturaleza del medio ambiente, del patrimonio paleontológico, de la contaminación y de las emergencias ambientales, de modo que todos participen más con las políticas del gobierno del territorio.

### La formación profesional: un nuevo servicio para una nueva economía

El desarrollo de políticas para la protección, gestión y mejora del patrimonio local (natural paleontológico, histórico) requiere la presencia de expertos del sector y guías preparados y actualizados. El Centro operativo, con su equipo y laboratorios didácticos, puede volverse en el lugar para capacitar operadores ambientales y turísticos, con conocimiento y experiencia específicos para el desarrollo del turismo científico, cultural y sostenible, la organización de



actividades - también de valor social - compatibles con el medio ambiente y la comunicación turística.

## CONCLUSIONES

El Campo - escuela Internacional con la función de Centro de Turismo que usted quiere lograr - a la invitación y estímulo también a las mismas realidades institucionales locales - en el sector norte del valle de El Cuy (Río Negro), en el "Valle de los Titanos" (descubrimiento por investigadores de la red de museos Pangea en 2005), puede convertirse en un instrumento, importante y calificado, para la gestión y el desarrollo de un territorio de gran atractivo internacional como la Patagonia, pero extremadamente frágil y expuesto a diversos tipos de riesgo.

La participación en el proyecto de las instituciones científicas locales (Universidad de Río Negro), de los Museos Paleontológicos (de General Roca y de Cipolletti), de las Administraciones Públicas (Provincia de Río Negro y Municipalidad de General Roca) aseguran una presencia continua en el territorio, y garantizan la realización de actividades de investigación (encuesta paleontológica y geofísica) y el censo de los recursos naturales. Las actividades son apoyadas y seguidas a distancia por los investigadores de la red de museos italianos Pangea. Por último, la apertura de una industria turística centrada en el segmento científico que pertenece al Campo - escuela, puede generar flujos que, aunque no significativos, pueden ser continuos durante todo el año y fomentar el desarrollo de circuitos económicos en el ámbito local.

## Gracias

Damos las gracias a: G. Sirotti, de la Municipalidad de Rovereto (Trento, Italia); A. Dardani, colaborador de la Fundación Museo Civico de Rovereto; R. Juárez, paleontólogo de la Provincia de Río Negro; la Embajada de Italia en Argentina, en las figuras del ex embajador W. G. La Tella y del agregado científico G. Paparo.

## REFERENCIAS

- BONAPARTE J.F. (1996) - Cretaceous tetrapods of Argentina. In: Arratia G., Contributions of Southern South America to Vertebrate Paleontology. Münchner Geowiss. Abh. (A) 30: 73-130.
- FINOTTI F. LANDINI W. (2009) - Las investigaciones de la red museal Pangea: desde el descubrimiento del "Valle de los Titanos" hasta el control y valorización del territorio (El Cuy, Río Negro). Encuentro Internacional del ICES (2008). Actas E-ICES 4.



- FINOTTI F. LANDINI W. E ZANDONAI F. (2010) - Enfoque multitemporal para la indagación y la valorización geo-ambiental de la Pompei de los dinosaurios “Valle de los Titanos” (El Cuy, Rio Negro). Encuentro Internacional del ICES (2009). Actas E-ICES 5, 99-104.
- FINOTTI F. LANDINI W., ZANDONAI F., ZEN E. (2011) - Las investigaciones de la Red Museal Pangea. La Red Pangea en el “Valle de los Titanos”: desde la modelación 3D al Atlas de los Dinosaurios online. Encuentro Internacional del ICES (2010). Actas E-ICES 6.
- FINOTTI F., FIORETTI A. M., LANDINI W., TONELLI A., ZANDONAI F. (2013) - Las investigaciones de la red museal Pangea Nuevos descubrimientos paleontológicos y geoquímicos en el yacimiento de dinosaurios del Valle de los Titanos (EL CUY, RIO NEGRO). Actas E-ICES 8, in press.
- HUENE, VON F. (1929) - Los saurisquios y ornitisquios del Cretácico Argentino. Anales del Museo de La Plata 3: 194.
- HUGO C.A., LEANZA H.A. (2001) - Hoja Geologica 3969-IV, General Roca. Provincias de Rio Negro y Neuquén. Instituto de Geología y Recursos Naturales, Servicio Geológico Minero Argentino. Boletín 308, 64 pp. Buenos Aires.
- JUAREZ VALIERI R.D., CALVO J.O., RIOS DIAZ S.D. (2011) - Sauropods crossing formations: biostratigraphical implications for Patagonian faunal assemblages. In: Calvo J.O., Porfiri J.D., González.
- LANDINI W., RISSICINI C. (2008) - Alla scoperta dei dinosauri. Ed Milanna, 87.
- LEANZA H.A., APESTEGUIA S., NOVAS F.E., DE LA FUENTE MS. (2004) - Cretaceous terrestrial beds from the Neuquén Basin (Argentina) and their tetrapod assemblages. *Cretaceous Res.* 25 (1): 61-85.
- LYDEKKER R. (1893) - The dinosaurs of Patagonia. Anales del Museo de La Plata 2: 1-14.
- POWELL J.E. (1986) - Revision de los Titanosauridae de America del Sur. Doctoral thesis, Facultad Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Tucuman. 340 pp.
- POWELL J.E. (2003) - Revision of South American titanosaurid dinosaurs: palaeobiological, palaeobiogeographical and phylogenetic aspects. *Records of the Queen Victoria Museum* 111: 94.
- WILSON J.A., UPCHURCH P. (2003) - Revision of Titanosaurus, the first dinosaur genus with a «Gondwanan» distribution. *J Syst Palaeontol.* 1: 125-160.





# Características hidrológicas y ambientales de un sector de la Planicie Costera del Río de la Plata medio (Argentina).

Melo, Marisol (1,2) y Cellone, Francisco (1)

(1) *Cátedra de Hidrología General, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata (UNLP), Calle 64 N° 3. La Plata, Argentina.*

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

E-mail: marisolmelo@fcnym.unlp.edu.ar; fcellone@yahoo.com.ar

## RESUMEN

En un sector de la planicie costera del Río de la Plata comprendido en el Partido de Magdalena Provincia de Buenos Aires, se reconocen distintas unidades hidrogeomorfológicas: planicie costera intermareal, planicie costera propiamente dicha y cordones conchiles. Estos últimos fueron modificados por la acción antrópica (actividad minera, agropecuaria y expansión urbana) alterando la morfología del paisaje. El objetivo del trabajo es evaluar las características hidrológicas y ambientales en sectores de la planicie costera naturales y modificados por la actividad antrópica. Se realizaron interpretaciones de imágenes satelitales, fotografías aéreas, cartas topográficas y se efectuaron relevamientos de campos geológicos y geomorfológicos. Las características hidrológicas se determinaron a partir de mediciones de niveles y muestras de agua superficial y subterránea. Los resultados evidencian que la modificación de la geomorfología original del área condiciona fuertemente el comportamiento hidrológico y las características ambientales de este sector de la planicie costera. La conservación de los cordones de conchilla es de suma importancia debido a que constituyen una importante reserva de agua dulce en la región que abastece a los habitantes y es el sustento de diversas especies autóctonas.

## INTRODUCCIÓN

Las características hidrodinámicas e hidroquímicas de los flujos de agua superficial y subterránea en ambientes de planicies costeras están condicionadas principalmente por la morfología del terreno, las propiedades hidráulicas de los sedimentos y la acción antrópica.

La planicie costera del Río de la Plata ubicada en el litoral noreste de la provincia de Buenos Aires se originó como consecuencia de las oscilaciones en el nivel del mar ocurridas durante el Holoceno. Si bien su formación se asocia a procesos sedimentarios de baja energía se reconocen



dentro de ella cordones conchiles asociados a depósitos de playa de alta energía [1]. Regionalmente, la planicie costera es una zona deprimida con cotas inferiores a los 5 m snm y con una pendiente cercana a 0,03 %. El clima de la región es húmedo, mesotérmico con nula o pequeña deficiencia de agua [2]. El área de estudio se localiza en un sector de dicha planicie, sobre la región costera del partido de Magdalena (Figura 1).

El desarrollo socioeconómico de la región a principios del siglo XX se basó en gran medida en la explotación minera de los cordones de conchilla. Estos cordones constituyen ambiente de relevancia en la planicie costera ya que son reservorios de agua dulce y el sustento de los bosques dominados por *Celtis tala* y *Scutia buxifolia* (talares), principales comunidades boscosas de la Provincia de Buenos Aires. La actividad minera junto con la agrícola - ganadera, condujo a la degradación de este ecosistema, siendo los talares reemplazados por pastizales.

En la actualidad los cordones de conchilla han perdido su morfología original y vegetación autóctona características por lo que se dificulta su identificación tanto en los relevamientos de campo como en la aerofotointerpretación. Asimismo, la falta de regulación en la actividad minera determinó que no exista en la actualidad un registro concreto de las superficies y volúmenes explotados.

El objetivo del trabajo es evaluar las características hidrológicas y ambientales en sectores de la planicie costera naturales y modificados por la actividad antrópica.



Figura 1. Ubicación del área de estudio.



## METODOLOGÍA

En base a la carta topográfica de Magdalena a escala 1:50.000, imágenes satelitales del área y relevamientos de campo se han identificado las distintas unidades geomorfológicas dentro de la planicie costera. Se seleccionaron dos áreas con distinto grado de impacto antrópico para evaluar las modificaciones en las características ambientales. Toda esta información se ha volcado en un Sistema de Información Geográfica.

Se han tomado muestras de agua subterránea dentro de las distintas unidades para realizar su caracterización química. En el laboratorio se determinaron los valores de pH, conductividad eléctrica y la concentración de iones mayoritarios (bicarbonato, carbonato, cloruro, sulfato, nitrato, sodio, calcio, magnesio y potasio) según los métodos establecidos por la American Public Health Association [3].

La clasificación de los tipos de agua se efectuó a partir de gráficos de Piper [4].

Se confeccionaron esquemas que comparan el comportamiento hidrológico teórico en zonas naturales y afectadas por la actividad antrópica.

## RESULTADOS

En función de las características hidrogeológicas y geomofológicas se identificaron tres unidades hidrogeomorfológicas: planicie costera intermareal, cordones de conchillas y planicie costera propiamente dicha (Figura 2).

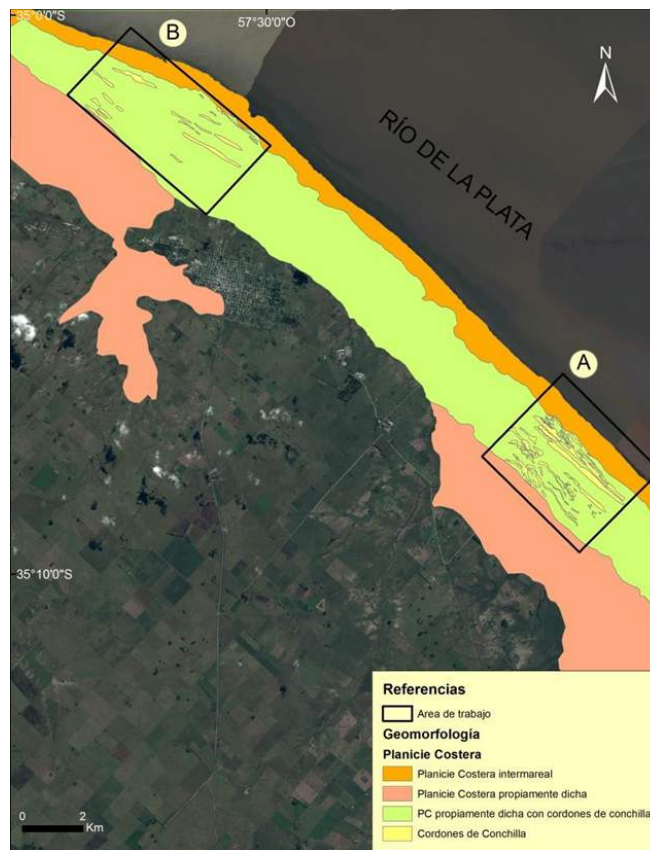


Figura 2. Unidades hidrogeomorfológicas del área de estudio.

La planicie costera intermareal es la franja adyacente al Río de la Plata ubicada por debajo de la cota de 2,5 m snm. Está constituida por sedimentos arcillosos que le confieren una baja permeabilidad. Es un área inundable, con agua en superficie durante gran parte del año. En ella las oscilaciones mareales provenientes del estuario del Río de la Plata influyen sobre el nivel freático. Esto condiciona la presencia de abundante vegetación, como por ejemplo, comunidades de espartillares, espadañas, lirios, etc. El tipo de agua es bicarbonatada cálcica a clorurada (Figura 3), con una conductividad eléctrica media de 2228  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y un valor medio de pH de 7,25.

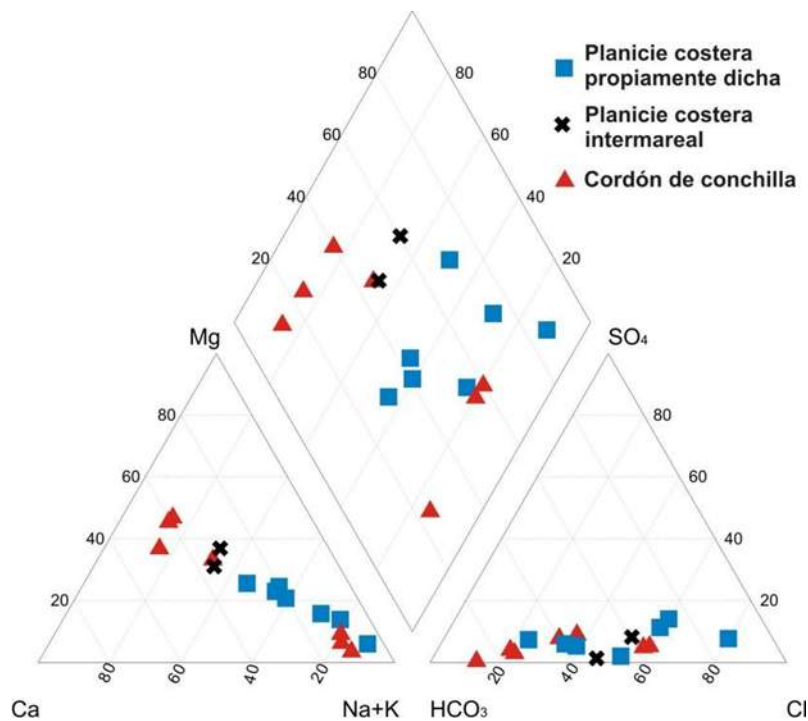


Figura 3. Gráfico de clasificación de aguas de Piper para las distintas unidades hidrogeomorfológicas en la planicie costera.

La planicie costera propiamente dicha, actualmente sin influencia de las oscilaciones mareales, presenta sedimentos arcillo limosos los cuales le otorgan una permeabilidad de baja a media. La vegetación asociada a este tipo de ambiente está constituida por una comunidad de pradera salada (por ejemplo, *Distichlis scoparia* y *Distichlis spicata*). El agua subterránea somera se encuentra generalmente a menos de un metro de profundidad y es predominantemente bicarbonatada sódica tendiente a clorurada sódica (Figura 3) con valores medios de conductividad eléctrica de 2229  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Esta unidad hidrogeomorfológica constituye una zona de conducción y de descarga de los flujos subterráneos hacia el Río de la Plata, que pese a su media a baja permeabilidad también es recargada a partir de la infiltración del agua de lluvia.

Dentro de esta unidad hidrogeomorfológica pueden diferenciarse sectores donde se desarrollan cordones de conchilla. Su litología está constituida por restos de valvas y arenas con una permeabilidad de media a alta. Esto permite una mayor infiltración del agua de lluvia y su almacenamiento, motivo por el cual representan zonas de recarga preferencial en el ámbito de la planicie costera. El agua subterránea somera en estas unidades es de baja salinidad (con conductividades eléctricas medias de 1512  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y es de tipo predominantemente bicarbonatada con facies tanto cálcicas a sódicas (Figura 3).



De las tres unidades hidrogeomorfológicas identificadas, los cordones conchiles son los más impactados por la actividad antrópica. Para evaluar las modificaciones en las características hidrológicas y ambientales de esta unidad se seleccionaron dos áreas, una con comportamiento natural (sector A) y otra alterada por la acción antrópica (sector B).

En el sector A (Figura 2) los cordones conservan su fisonomía original y constituyen geformas dómicas de relieve positivo con cotas que se encuentran aproximadamente entre los 2,5 y 4 m snm. En este sector se han podido distinguir dos grupos de cordones de conchilla con orientación espacial y morfología característica: el grupo 1 (Figura 4) presenta una orientación sub paralela entre sí y a la costa actual y formas rectilíneas con anchos promedios de 140 m. En el grupo 2 (Figura 4) los cordones conchiles son más angostos, con un ancho promedio de 54 m, formas sinuosas y orientación NW- SE. Independientemente de la distinción entre los dos grupos, en este sector de condiciones naturales, los cordones conchiles se hallan cubiertos por la comunidad del talar, constituyentes de una de las escasas formaciones boscosas de la Región Pampeana.



Figura 4. Detalle de los cordones de conchilla en el sector A del área de estudio.

La elevada permeabilidad determina que actúen como áreas de recarga autóctona directa donde el almacenamiento de agua subterránea ocurre en forma de lentes debido a su morfología dómica



positiva por sobre la planicie costera (Figura 5 a). El flujo subterráneo acompaña la topografía, con un movimiento desde la cresta del cordón hacia los bordes descargando en la planicie costera adyacente.

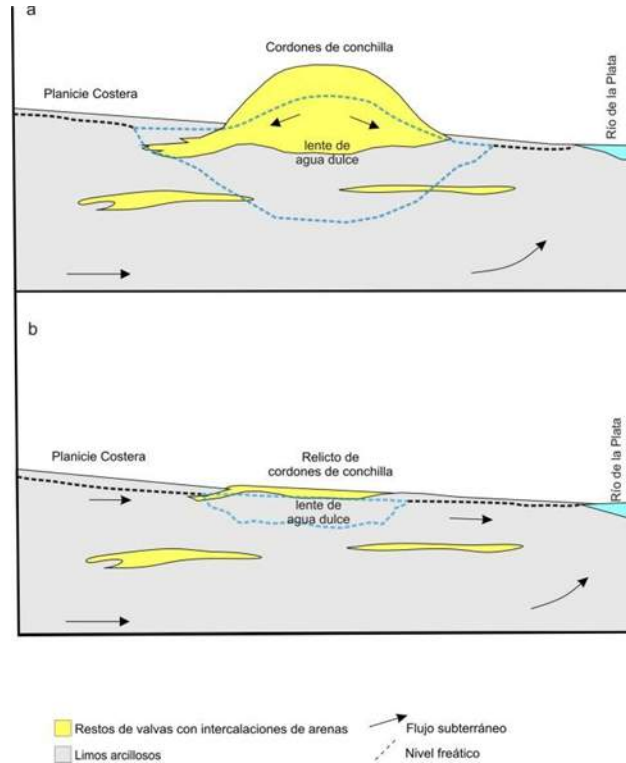


Figura 5. Esquemas del flujo subterráneo en a) condiciones naturales y b) luego de la modificación antrópica.

El sector B (Figura 2) representa un área modificada por la acción antrópica en donde los cordones de conchilla han sido explotados por la minería, las actividades agropecuarias o urbanizados. Actualmente se observan como suaves ondulaciones dominadas por pastizales o cultivos, donde la cota topográfica rara vez supera los 2,5 m snm, o como excavaciones irregulares donde en ocasiones el agua freática aflora. En ellos, sólo suelen visualizarse pequeños relictos de la comunidad de talares característica de este ambiente. En todos los casos, se pierde la estructura dómica positiva que favorece el almacenamiento de agua dulce en forma de lentes (Figura 5b) y las áreas pasan de ser zonas de recarga preferencial a ser zonas de tránsito del flujo subterráneo. Pese a que son áreas poco elevadas, en periodos lluviosos el agua de lluvia infiltra y se acumula en estos sectores. No obstante, en periodos secos tienden a salinizarse por el ingreso del flujo subterráneo desde la planicie costera adyacente, razón por la cual no constituyen áreas de reservas de agua dulce de importancia.



## CONCLUSIONES

El estudio realizado permitió reconocer dentro de la planicie costera unidades hidrogeomorfológicas (planicie costera intermareal, cordones de conchillas y planicie costera propiamente dicha) donde las características ambientales que regulan el desarrollo de la vegetación están relacionadas a la hidrodinámica e hidroquímica del agua subterránea somera.

El análisis de sectores naturales y antropizados evidenció que los cordones de conchillas son las unidades hidrogeológicas más afectadas por la actividad antrópica. La eliminación de las estructuras dómicas que favorecen la recarga y acumulación del agua de lluvia alteran tanto la dinámica como la química del agua subterránea y en consecuencia las condiciones ambientales naturales que permiten el desarrollo de la vegetación autóctona. Con estas modificaciones antrópicas también se contribuye al detrimento de las principales reservas de agua dulce de la región.

## REFERENCIAS

- [1] Violante, R.; Parker, G. 2000. El Holoceno en las regiones marinas y costeras del noreste de la Provincia de Buenos Aires. Revista de la Asociación Geológica Argentina 55, 337-351.
- [2] Martínez, O. R.; Hurtado M. A.; Giménez, J. E. 2006. Caracterización ambiental de los humedales costeros del Río de la Plata. Provincia de Buenos Aires, Argentina. Revista UnG - Geociencias V.5, N.1, 55-64.
- [3] American Public Health Association. 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th ed. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, Washington, DC.
- [4] Piper A M. 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analysis. American Geophysical Union Trans 25:914-923.

**Este trabajo participa en el “CONCURSO PARA JÓVENES INVESTIGADORES”**





# Electromagnetic signals associated with L'Aquila Mw 6.3 Earthquake by means of L'Aquila Geomagnetic Observatory, and Duronia electromagnetic station, data.

Meloni, A (2), Palangio, P (1), Di Lorenzo, C (1), and Villante, U (3)

(1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, L'Aquila, Italy, (2) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Roma, Italy, (3) Università degli Studi di L'Aquila, Italy.

E-mail:antonio.meloni@ingv.it

## ABSTRACT

On April 6, 2009 at 01:32:39 UT a destructive earthquake occurred west of L'Aquila, Italy, several single shocks were located at the shallow depth interval of about 2-10 km. Main shock local magnitude was  $M_w=6.3$ . Several powerful aftershocks also occurred the following days. The epicentre of the main shock was only 6 km away from the Geomagnetic Observatory of L'Aquila. This Geomagnetic Observatory furnishes magnetic field data, in various frequency bands from DC to ULF. This data set was used for investigations of possible relations between magnetic field recordings and the earthquake occurrence. Also an independent station located at Duronia, about 100 km SE of L'Aquila, was used for the investigation; magnetic and electromagnetic data from 2008 to 2009, were used for this study. Only a very feeble coseismic effect (only observable because the event was at night and then artificial noise was very low) was detected and can reasonably be attributable to a seismic origin phenomenon.

## THE EARTHQUAKE

L'Aquila earthquake struck the city of L'Aquila (Abruzzo, Italy) on April 6, 2009 at 01:32:39 UT, with a main shock magnitude  $M_w= 6.3$ . The focal mechanism indicates a pure normal faulting mechanism and the ruptured fault is ~15 km long, NW-trending and  $\sim 45^\circ$  SW-dipping fault, located between 2 and 10 km in depth. Such normal faulting is typical for the Apennines region. L'Aquila, the capital of Abruzzo, together with surrounding villages, suffered most damage. There have been several thousand foreshocks and aftershocks since December 2008, more than thirty of which had a Richter magnitude greater than 3.5. It is the deadliest earthquake to hit Italy since the 1980 Irpinia earthquake, it killed 309 people. The distribution of aftershocks, defines a complex NW trending extensional structure. The extent of aftershocks coincides with the surface trace of the Paganica fault, a poorly known normal fault that, after the event, has been quoted



to accommodate the extension of the area. A migration of seismicity to the north on an echelon fault that can rupture in future large earthquakes, was observed. In Figure 1 a map of instrumental seismicity in the period 1980-2009 from INGV Catalogue, is reported. The April 2009 remarkable events (day 6,  $M_w=6.3$ ; day 7  $M_w=5.3$ ; and day 9  $M_w=5.1$ ) took place in a silent region at the Southern end of the Northern Apennine extensional belt. Complete Figure 1 and other details for this earthquake can be found in [1].

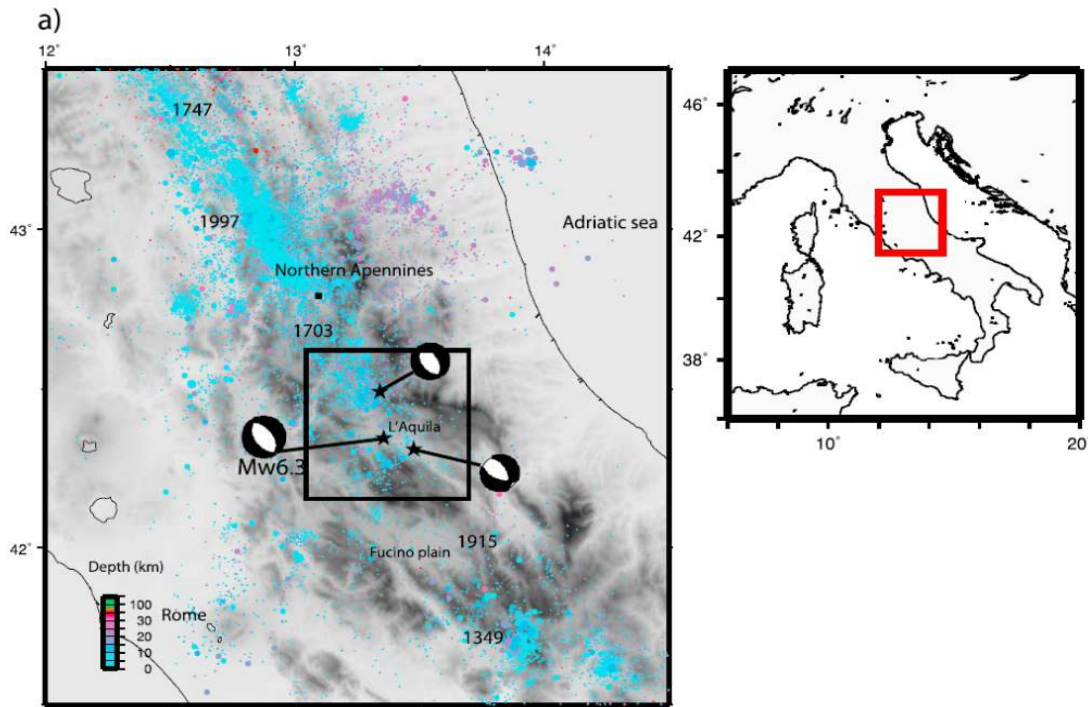


Figure 1: Map of instrumental seismicity in the period 1980-2009 from INGV Catalogue. The April 2009 remarkable events are indicated by stars. The three  $M_L > 5$  earthquakes took place in a silent region at the Southern end of the Northern Apennine extensional belt (adapted from Chiarabba et al, 2009).

#### MAGNETOMETER DATA I

In this work we tried to look for possible relations between the earthquake and magnetic field natural recordings. We have used all available magnetic data that were under acquisition in L'Aquila observatory and other magnetometer data available at the time in the surrounding.

In the years several papers appeared in the literature that have put in relation magnetic field data and earthquakes. Some authors have also claimed precursory effects for earthquakes. For example magnetic ULF data were found as earthquake precursor signals in literature. When found, such signals, might basically consist of one or more of the following aspects: a) A substantial increase in the noise background starting from days to several weeks preceding the



earthquake, covering almost the entire ULF range (this was the case for Loma Prieta, Spitak, Guam, Alum Rock, earthquakes, see for example [2], followed by an anomalous dip in the range 0.2-5 Hz starting one day ahead the earthquake (this was the case at Loma Prieta). b) An increase to a high level of activity in the range  $\approx 10$ -50 mHz starting a few hours before the earthquake (also observed at Loma Prieta, see [3]. c) A broad maximum of the “polarization parameter”  $R2 = PZ/PH$  about one month before the earthquake (PZ and PH being the integrated power of the vertical magnetic component, Z, and of the North/South magnetic component, H, in the approximate range of frequency  $\approx 10$ -100 mHz) this was the case at Guam, [4], Alum Rock [5] and the emission of presumably earthquake associated waves with main frequency in the range 20-50 mHz (observed at Guam). d) An ongoing decrease of the slope of the power spectrum during the process of earthquake preparation (1-1.5 month) and an increase of the fractal dimension (Guam, Biak, see [6]). e) An increased occurrence of negative or positive (or a combination of positive and negative) pulses of short duration, identified on the East/West component (D) approximately 15 days before the earthquake (observed at Alum Rock).

In order to check ‘a posteriori’ if any of these cases was observed for L’Aquila earthquake, we checked data from the Observatory. Tri-axial fluxgate and induction magnetometers are regularly at work at L’Aquila ULF station. Measurements from both instruments are recorded at a sampling frequency of 1 Hz by the same acquisition system. Fluxgate magnetometer has a rms instrumental noise of  $\sim 20$  pT in the frequency band 1-500 mHz; Induction magnetometer has an amplitude/frequency response almost linear ( $\sim 6$  Volt/nT/Hz) in the frequency range 0-0.2 Hz. The rms instrumental noise is  $\sim 1$  pT (Pc1),  $\sim 1$  pT (Pc2),  $\sim 3$  pT (Pc3),  $\sim 5$  pT (Pc4),  $\sim 10$  pT (Pc5). The rms of the quantization noise is less than 0.5 pT in the frequency range 1-500 mHz. In order to proceed with the analysis, data have been organized in frequency bands corresponding to the Pc1-Pc5 classification. For the higher frequency bands (Pc1-Pc2) we mostly considered measurements from the induction magnetometer, more suitable for higher frequency fluctuations (see also the rms noise), and measurements from both instruments in the other bands (Pc3-Pc5). Within the limits of the present investigation, we did not find any compelling evidence for any of the ULF features which have been proposed as earthquake precursors (reported as ‘a’ to ‘e’ above), in that even if some of our observations, in certain cases, appear consistent with some typology of magnetic variation of the kind of previous findings, after a direct inspection of raw data, this hypothesis was dismissed. In fact possible positive cases were in reality always interpretable in terms of the general magnetospheric conditions or contamination by lightning or caused by artificial sources. In particular, one of the most relevant claimed effects, the polarization ratio  $R2$ , was taken in consideration. One month before the earthquake, a sharp change in the magnetic field elements appeared; this in absence of careful analysis of the high resolution data and comparison with other measurements, would have been erroneously



interpreted in terms of a possible lithospheric process, see Figure 2. But the full data direct inspection and analysis, brought to exclude this possibility. In fact also in this case, looking in detail the raw data, we found a clear spike of evident artificial origin, non attributable to the earthquake, that was the cause of the suspected anomaly.

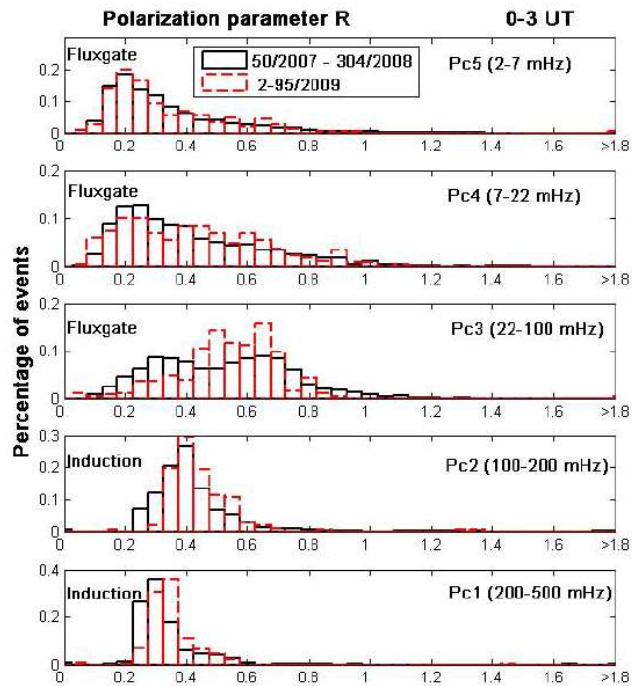


Figure 2: Histogram of the polarization parameter  $R_2$ . Black line data for 2007-2008, red line data for January 5 April 2009 (adapted from Villante et al., 2010).

However we should say that the expected ULF disturbances related to earthquakes (if any) were generally found to be very weak in intensity and difficult to be detected ([7],[8],[9]). Moreover even if the case of L'Aquila earthquake magnitude can be considered strong for the average Italian territory magnitudes, this value is not so strong for the most studied areas referred in the international literature. In addition long data set and sophisticated signal processing methods (and experience) are required to evaluate the source of ULF emission. For this reason even if we did not find evidence of ULF magnetic effects associated to this earthquake, in our opinion, whatever the answer, a better understanding of the possible identification of ULF geomagnetic signals (in general) related to earthquakes represents an important aspect which deserves more significant scientific studies, see [10].

## MAGNETOMETER DATA II

Since the end of 2007 a new magnetic and electromagnetic field monitoring station has been in operation in central Italy in a village called Durlonia (DUR). Durlonia (see Figure 3) has a very low electromagnetic background noise and hosts several electromagnetic instruments: Tri-axial fluxgate magnetometer, Tri-axial high frequency search-coil magnetometer, Tri-axial low frequency search-coil magnetometer, Scalar magnetometer (Overhauser) and a Telluric electric potential measurement system. Taking advantage from this station installation, its data were used to compute total magnetic field  $F$  differences: 1 s data between AQU and DUR observing systems (0.01 nT resolution), here shown in Figure 4, for a restricted time window around the earthquake occurrence on day April 6, 2009.

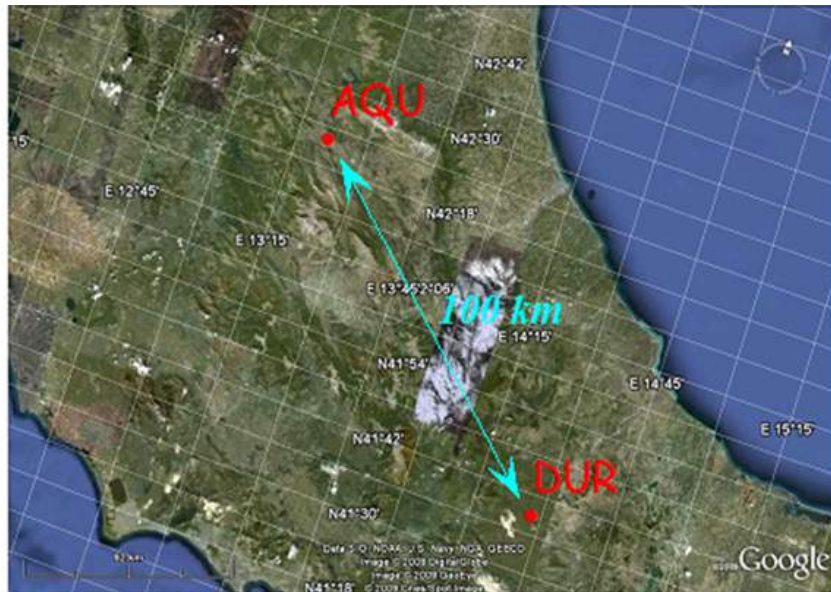


Figure 3: Since the end of 2007 a new electromagnetic field monitoring station has been in operation in Central Italy in a village called Durlonia. Durlonia has very low electromagnetic background noise and hosts: Tri-axial fluxgate magnetometer, Tri-axial high frequency search-coil magnetometer, Tri-axial low frequency search-coil magnetometer, Scalar magnetometer (Overhauser) and Telluric electric potential measurement system.

A co-seismic impulse at the earthquake time (01.32 UT) was detected, this could be due to a magnetic effect following an impulse, reasonably due to a seismic origin phenomenon (see Figure 4). The amplitude of the coseismic signal observed, presumably generated in the focal length, is very small, below 100 pT, and other effects, even if L'Aquila point of observation is virtually above the hypocenter, are not detectable outside the time window 21-03 UT (see [11]).

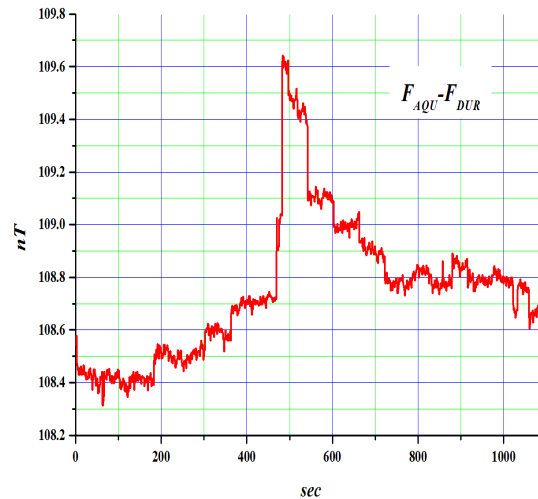


Figure 4: Total magnetic field  $F$  differences 1 s data between AQU and DUR observing systems (0.01 nT resolution) for a restricted time window around the earthquake occurrence time, here at sec 480, on day April 6, 2009. A co-seismic impulse at the earthquake time (01.32 UT) was detected and could be due to magnetic effect following an impulse reasonably due to a seismic origin phenomenon.

Spectral window of observability is extremely limited, the transient coseismic shows a decay time of 50-100 seconds compatible with electrokinetic effects: the groundwater flowing through the rocks could produce electrokinetic interactions between the fluid and the rock pores. An electrokinetic phenomenon (see [12]) is a possible candidate to magnetic signals generation in the lithosphere. An earthquake can in fact generate electric charges in different ways, one of these is that the groundwater flowing through the rocks could produce electrokinetic interactions between the fluid and the rock pores.

#### CONCLUSIONS

On April 6, 2009 at 01:32:39 UT a strong earthquake occurred west of L'Aquila, Italy, main shock local magnitude was  $M_w = 6.3$ . Several powerful aftershocks also occurred the following days. The epicentre of the main shock was only 6 km away from the Geomagnetic Observatory of L'Aquila that furnishes data, in various frequency bands from DC to ULF. This data set was used for investigations of possible relations with the earthquake. Also an independent station located at Duronia, about 100 km SE of L'Aquila was used for the investigation; magnetic and electromagnetic data from 2008 to 2009, were used for this study.

From an analysis of Magnetometer data in the ULF band, we came to the conclusion that: a) No detectable increase in the noise background preceding the earthquake was observed in the entire ULF range (such as found for example instead in Loma Prieta, Spitak, Guam, Alum Rock). b) No



increase to a high level of activity in the range  $\approx 10\text{-}50$  mHz starting few hours before the earthquake (case found in Loma Prieta, Spitak). c) No broad maximum of the “polarization parameter”  $R2 = PZ/PH$  before the earthquake (PZ and PH being the integrated power of the vertical component, Z, and of the North/South component, H, in the approximate range of frequency  $\approx 10\text{-}100$  mHz; Guam, Bovec) was also found.

From Magnetometer data difference obtained comparing AQU and DUR stations, we found that a very feeble coseismic effect (only observable because the event was at night and then artificial noise was very low) was detected and can reasonably be attributable to a seismic origin phenomenon. Total field difference decay in the coseismic magnetic transient shows a time constant of 50-100 s typical of an electrokinetic origin, see also [11].

## REFERENCES

- [1] C. Chiarabba, A. Amato, M. Anselmi, P. Baccheschi, I. Bianchi, M. Cattaneo, G. Cecere, L. Chiaraluce, M. G. Ciaccio, P. De Gori, G. De Luca, M. Di Bona, R. Di Stefano, L. Faenza, A. Govoni, L. Improta, F. P. Lucente, A. Marchetti, L. Margheriti, F. Mele, A. Michelini, G. Monachesi, M. Moretti, M. Pastori, N. Piana Agostinetti, D. Piccinini, P. Roselli, D. Seccia, and L. Valoroso, (2009): The 2009 L'Aquila (central Italy) MW6.3 earthquake: Main shock and aftershocks, *Geophysical Research Letters*, Vol. 36, L18308, Doi:10.1029/2009gl039627.
- [2] Fraser-Smith, A. C., A. Bernardi, P. R. McGill, M. E. Ladd, R. A. Helliwell, and O. G. Villard, Jr., (1990): "Low-Frequency Magnetic Field Measurements near the Epicenter of the Ms 7.1 Loma Prieta Earthquake," *Geophys. Res. Letters*, 17,1465-1468.
- [3] Molchanov, O.A., Kopytenko, Y. A., Voronov, P.M., Kopytenko, E.A., Matiashvili, T.G., Fraser-Smith, A.C. and Bernardi, A. (1992). Results of ULF magnetic field measurements near the epicenters of the Spitak ( $M_s = 6.9$ ) and Loma Prieta ( $M_s = 7.1$ ) earthquakes: Comparative analysis. *Geophysical Research Letters* 19: doi: 10.1029/92GL01152. issn: 0094-8276.
- [4] Prattes, G., Schwingenschuh, K., Eichelberger, H. U., Magnes, W., Boudjada, M., Stachel, M., Vellante, M., Wesztergom, V., and Nenovski, P. (2008): Multi-point ground-based ULF magnetic field observations in Europe during seismic active periods in 2004 and 2005, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 8, 501-507, , <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/8/501/2008/>.
- [5] Bleier T., C.Dunson, M.Maniscalco, N.Bryant, R.Bambery, and F.Freund (2009): 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, [www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/9/585/2009/doi:10.5194/nhess-9-585-2009](http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/9/585/2009/doi:10.5194/nhess-9-585-2009).
- [6] Hayakawa, M., Ito, T., Hattori, K., and Yumoto, K. (2000): ULF electromagnetic precursors for an earthquake at Biak, Indonesia on 17 February 1996, *Geophys. Res. Lett.*, 27, 1531-1534.



- [7] Harada, M., Hattori, H., and Isezaki, N. (2004): Transfer function approach to signal discrimination of ulf geomagnetic data, Elsevier, Phys.Chem. Earth, 29, 409-417.
- [8] Hattori, K. and Hayakawa, M. (2007): Recent progress and state of the art of seismo-electromagnetics, IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials, 127(1), 4-6.
- [9] Nenovski, P., Blagoeva, I., Vellante, M., Villante, U., Schwingenschuh, K., Boudjada, M., and Wesztergom, V (2007): Identification of sources of geomagnetic variations using detrended fluctuation analysis (DFA), WDS'07 Proceedings of Contributed Papers.
- [10] U. Villante, M. De Lauretis, C. De Paulis, P. Francia, A. Piancatelli, E. Pietropaolo, M. Vellante, A. Meloni, P. Palangio, K. Schwingenschuh, G. Prattes, W. Magnes, and P. Nenovski (2010): The 6 April 2009 earthquake at L'Aquila: a preliminary analysis of magnetic field measurements, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 10, 203-214.
- [11] C. Di Lorenzo, P. Palangio, G. Santarato, A. Meloni, U. Villante, and L. Santarelli (2011): Non-inductive components of electromagnetic signals associated with L'Aquila earthquake sequences estimated by means of inter-station impulse response functions, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 11, 1047-1055.
- [12] Simpson, J. J. and Taflove, A (2005): Electrokinetic effect of the LomaPrieta earthquake calculated by an entire-Earth FDTD solution of Maxwell's equations, Geophys. Res. Lett., 32, L09302, doi: 10.1029/2005GL022601.





# Predicción del comportamiento de incendios forestales mediante aplicación de modelo de islas a ESS\*.

Méndez, M-Garabetti<sup>1,2</sup>; Bianchini<sup>1</sup>, G; Tardivo, M.L.<sup>1,2,3</sup> y Caymes-Scutari, P<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Investigación en Cómputo Paralelo/Distribuido (LICPaD). Departamento de Ingeniería en Sistemas de Información. Facultad Regional Mendoza. Universidad Tecnológica Nacional

<sup>2</sup>Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

<sup>3</sup>Departamento de Computación, Universidad Nacional de Río Cuarto

E-mail: miguelmendezgarabetti@gmail.com

## RESUMEN

Si bien las causas que dan lugar a los incendios forestales son variadas, en particular la época estival tiende a incrementar la aparición de los mismos, causando grandes daños en todo el mundo. Las consecuencias suelen ser muy graves, destacándose entre ellas: pérdidas de vidas humanas, daños a la flora, la fauna y al suelo. Las pérdidas económicas son difíciles de estimar debido a la gran cantidad de sectores que pueden ser afectados a corto o largo plazo, pero los recursos ambientales de toda zona afectada por incendios son considerablemente damnificados. Por este motivo, resulta de gran interés trabajar en la reducción de los efectos negativos de los incendios forestales, y una manera de hacerlo es aportar al desarrollo de tecnologías que permitan hacer una evaluación de riesgos en situaciones donde el siniestro ya ha iniciado y se pretenda determinar cuál puede ser su probable curso. Para llevar a cabo esta tarea se necesita recurrir al uso de modelos que permitan simular el fenómeno, lo que generalmente es llevado a cabo en ambientes computacionales. Sin embargo, los modelos suelen presentar una serie de limitaciones tanto por la gran cantidad de parámetros de entrada que requieren, como por la incertidumbre que puedan llegar a presentar debido a la imposibilidad de cuantificarlos en tiempo real. Herramientas tales como ESS (Sistema Estadístico Evolutivo) se enfocan en reducir la incertidumbre de los parámetros de entrada para lograr una mejor predicción. Particularmente, ESS lo logra por medio de la combinación de estadística y algoritmos evolutivos paralelos en su versión de Única Población y Evaluación en Paralelo. Con el objetivo de mejorar la calidad de las predicciones y los tiempos de respuesta que ofrece ESS, se propone implementar una nueva versión del mismo substituyendo el esquema de paralelización de la metaheurística por un Modelo de Islas con Múltiples Poblaciones y Migraciones.

---

\* Este trabajo ha sido financiado por Conicet mediante el proyecto PIP 11220090100709, por la UTN a través del proyecto UTN1194, y por ANPCyT mediante el proyecto PICT PRH 2008-00242.



## INTRODUCCIÓN

El fuego, además de poseer aspectos positivos que lo volvieron herramienta fundamental en el desarrollo de las civilizaciones al igual que otros elementos de la naturaleza, también presenta aspectos desfavorables. Principalmente, cuando por falta de control, éste se extiende generando lo que habitualmente se conoce como incendio. Éstos incendios, cuando consumen la vegetación de áreas forestales, se denominan incendios forestales [1], los cuales generan grandes daños, destacándose entre ellos: pérdidas de vidas humanas, daños a la flora, la fauna y al suelo [2]. Las pérdidas económicas son difíciles de estimar debido a la gran cantidad de sectores que pueden verse afectados a corto o largo plazo, pero, en general, los recursos ambientales de toda zona afectada por incendios suelen ser considerablemente damnificados.

Los incendios forestales se producen con mayor frecuencia en época estival, donde se incrementa la sequedad, las temperaturas y/o el viento, lo que en conjunto facilita la propagación del fuego destruyendo así extensas superficies. Debido a las pérdidas y daños que pueden producir los incendios forestales, es que en el proceso de lucha contra los mismos se trabaja constantemente en el desarrollo de herramientas, sistemas, estrategias, etc., que permitan reducir los efectos negativos que ocasionan. Entre estos podemos encontrar: estrategias de evacuación, tecnologías para la extinción del fuego, cortafuegos, simuladores de incendios, etc. Estas herramientas suelen utilizarse en distintas etapas del proceso de lucha contra incendios como es el caso de: prevención, predicción, detección, y monitorización de incendios.

Cuando hablamos de predicción de incendios forestales, el objetivo de tal proceso consiste en intentar pronosticar el comportamiento de la propagación de un incendio forestal ya iniciado, con la idea de conocer con antelación las zonas que presentarán más riesgo de ser alcanzadas por el fuego y tomar decisiones y/o medidas de acuerdo a ello. La simulación de la propagación de incendios forestales es una tarea compleja desde el punto de vista computacional, tanto por la complejidad involucrada en los modelos utilizados, como así también por la necesidad de contar con métodos numéricos y una administración correcta y eficiente de los recursos para obtener los resultados.

Desde el punto de vista de los modelos implicados, resulta común observar en gran cantidad de áreas de la ciencia el uso de modelos para representar diferentes sistemas físicos. Por lo general, tales modelos deben ser alimentados con ciertos parámetros de entrada que representan condiciones particulares de lo que se pretende modelar, brindando una salida que informe acerca de la evolución del sistema conforme avanza el tiempo. Generalmente, estos modelos son implementados en sistemas computacionales que, debido a la gran cantidad de datos y la complejidad de las operaciones efectuadas sobre ellos, suelen aplicarse sobre recursos computacionales de alto rendimiento para poder resolver el problema en el menor tiempo posible. Actualmente, debido a los beneficios de la computación paralela/distribuida, el ámbito



científico se ha volcado a la utilización de esta tecnología debido a la creciente necesidad de resolver problemas de mayor envergadura.

Sin embargo, la implementación de modelos en ambientes computacionales suele presentar ciertas limitaciones relacionadas con la gran cantidad de parámetros de entrada con los cuales los modelos deben ser alimentados, y a la vez se suma el inconveniente de que algunos parámetros suelen presentar cierto grado de incertidumbre a raíz de la imposibilidad de poder medirlos en tiempo real. Esta incertidumbre existe debido a que el comportamiento del incendio depende tanto de parámetros estáticos, como el tipo de vegetación en la zona donde se ha producido el incendio y la pendiente del terreno, como así también de ciertos parámetros de comportamiento dinámico como la velocidad y dirección del viento y las condiciones de humedad en la vegetación.

Por este motivo es que la reducción de incertidumbre de los parámetros de entrada representa un aspecto fundamental en la predicción de fenómenos naturales. En este trabajo puntualmente aplicado a la reducción de incertidumbre en la predicción del comportamiento de incendios forestales, permitiendo que se realicen predicciones más acordes a la realidad.

El presente artículo se centra en la aplicación del Modelo de Islas [3] al algoritmo evolutivo paralelo del método de reducción de incertidumbre conocido como Sistema Estadístico Evolutivo (ESS) [4, 5], el cual basa su funcionamiento en análisis estadístico, algoritmos evolutivos paralelos y computación paralelo/distribuida. El análisis estadístico ofrece la posibilidad de estudiar tendencias en el comportamiento del sistema bajo diversas condiciones. Los algoritmos evolutivos paralelos permiten orientar la búsqueda brindando una predicción más precisa, y la computación paralela/distribuida brinda infraestructura necesaria para poder llevar a cabo el proceso en tiempos razonables.

En la siguiente sección se presenta una breve introducción a la Predicción Clásica. Seguidamente se proveen los detalles del método ESS incluyendo una descripción breve de los algoritmos evolutivos paralelos. Posteriormente se comentan los detalles de la nueva implementación de ESS utilizando el modelo de islas, y en la sección de Experimentación se documentan los experimentos realizados y sus respectivos resultados. Finalmente, se presentan las conclusiones del trabajo.

## **PREDICCIÓN CLÁSICA**

En términos generales, la Predicción Clásica consiste en evaluar la evolución del frente de fuego de un incendio, luego de un determinado intervalo de tiempo, haciendo uso de algún tipo de simulador. Un esquema general de este tipo de metodología de predicción se puede observar en la Figura 1.

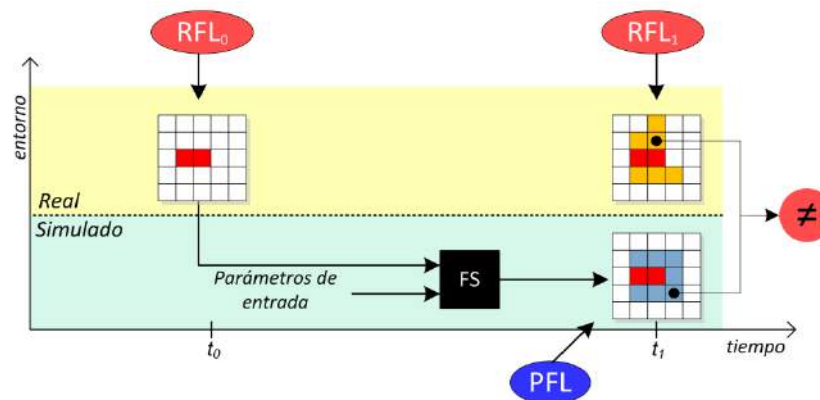


Figura 1. Predicción Clásica. (RFLX: estado real en tiempo X, FS: simulador de propagación de incendios forestales, PFL: Estado de la línea de fuego propuesta por el modelo).

Como puede verse, el simulador de incendios FS, debe alimentarse con todos los parámetros que representan las condiciones actuales del incendio (condiciones del viento, vegetación, características de la superficie, etc.) denominados parámetros de entrada, y el estado inicial del incendio  $RFL_0$  en el instante de tiempo  $t_0$ . Posteriormente a la ejecución, el simulador proporciona la predicción de la línea de fuego PFL para el instante  $t_1$ , la cual se espera que coincida con el estado real del incendio para dicho instante de tiempo, representada en la figura como  $RFL_1$ .

Sin embargo, debido a la complejidad del modelo de comportamiento del fuego, la incertidumbre en los parámetros de entrada, y debido a que la predicción está basada en una única simulación, esta metodología de predicción por lo general no ofrece una predicción lo suficientemente aproximada a la realidad como para ser considerada una herramienta confiable para la toma de decisiones. Algunos ejemplos de predicción clásica son [6, 7, 8, 9, 10, 11 y 12]. Debido a las limitaciones de esta metodología de predicción, diversos métodos han sido desarrollados con el objetivo de mitigar las limitaciones de la Predicción Clásica. Algunos ejemplos de estos métodos son [13, 14, 15 y 16].

### SISTEMA ESTADÍSTICO EVOLUTIVO

El Sistema Estadístico Evolutivo (ESS) [4, 5] es un método de reducción de incertidumbre que corresponde a los *Data Driven Methods with Multiple Overlapping Solution* (DDMMOS) o Métodos Conducidos por los Datos con Solución Solapada Múltiple. Este método centra su funcionamiento en el uso de Algoritmos Evolutivos Paralelos (PEAs) [3] para guiar la búsqueda, Análisis Estadístico [17] para calibrar los resultados, y Computación de Alto Rendimiento para optimizar la búsqueda en términos de tiempo. ESS corresponde a una mejora de una metodología anterior denominada Statistical System for Forest Fire Management ( $S^2F^2M$ ) [18, 19]. ESS logra mejorar la calidad de



predicción de  $S^2F^2M$  mediante la incorporación de las características de los PEAs al método, los cuales se describen en las subsecciones siguientes.

### **Algoritmos Evolutivos Paralelos (PEAs)**

Los Algoritmos Evolutivos (EAs) son considerados un método eficiente de búsqueda inspirado en la teoría de la evolución biológica para la resolución de problemas de optimización [20]. En términos generales, el proceso consiste en iteraciones denominadas generaciones, donde un determinado grupo de posibles soluciones -denominados individuos- conforman una población, la cual evoluciona imitando los principios de selección natural y supervivencia del más apto con el objetivo de que la población converja a una buena solución [21]. En el mejor de los casos tal solución será la óptima, pero por lo general se define un valor que representa el límite de lo que sería una solución aceptable.

Cada EA puede representar las soluciones de diferentes maneras: permutaciones, cadenas binaras, números enteros, números reales, matrices de números de punto flotante, etc. [22, 23]. Además, por cada individuo se calcula un valor de aptitud que representa qué tan buena es una solución para el problema en cuestión. Los EAs permiten que las buenas soluciones tengan mayor probabilidad de reproducirse para poder generar nuevas soluciones, lo que se logra mediante operadores genéticos: cruzamiento, mutación y reemplazo.

### **Selección**

El operador de selección escoge aquellos individuos que formarán parte del subconjunto de progenitores de la nueva generación. Este proceso debe favorecer a los más aptos, de modo que en cada generación la población se aproxime más al óptimo global del problema. Posterior a la selección de los progenitores, estos son sometidos al proceso de reproducción para generar a los nuevos individuos.

### **Reproducción**

Dos son los operadores de reproducción, uno de ellos es el operador de recombinación o cruce, que actúa sobre pares de individuos creando otro par de individuos. Este operador realiza un intercambio de información esperando que se exploten las mejores características presentes en la población actual. El otro operador es el de alteración o mutación, que actúa sobre un solo individuo. Este proceso consiste en realizar una pequeña modificación en alguno de los genes del individuo, introduciendo cierto grado de diversidad en la búsqueda del algoritmo.



### Reemplazo

El reemplazo consiste en determinar qué individuos de la población actual serán reemplazados por los descendientes. En forma similar a la selección, para realizar el reemplazo también existen distintos criterios: una opción típica suele ser reemplazar de forma inmediata los progenitores con los descendientes, otra opción es reemplazar a aquellos que posean características más similares a los descendientes o por último reemplazar aquellos individuos que posean los peores valores de aptitud.

### Paralelización de los EAs

Desde el punto de vista de paralelización de los EAs, existen tres diferentes aproximaciones: Única Población y Evaluación en Paralelo, Única Población y Vecindarios Solapados, y Múltiples Poblaciones y Migración [3]. En el esquema de Única Población y Evaluación en Paralelo, se trabaja con un paradigma del tipo Master-Worker [24, 25], con una población panmíctica donde la única carga de procesamiento que es distribuida a los workes es la evaluación de la aptitud de los individuos. La segunda aproximación consiste en trabajar con una población espacialmente estructurada, donde los operadores genéticos se limitan a un pequeño vecindario, pero los mismos se superponen permitiendo una interacción entre todos los individuos. Y por último, el Modelo de Islas opera con múltiples poblaciones donde los operadores genéticos se aplican entre individuos de la misma isla, y cada cierto tiempo o generaciones se intercambian individuos entre las diferentes islas en un proceso denominado migración.

El PEA de ESS corresponde al esquema de Única Población y Evaluación en Paralelo. Con dicha implementación se obtuvieron mejores resultados que con  $S^2F^2M$ . En el presente trabajo se ha implementado a ESS con el modelo de Múltiples Poblaciones y Migración, dando por resultado al sistema que se ha denominado ESS-IM [26].

### Metodología del Sistema Estadístico Evolutivo

ESS basa su funcionamiento en Análisis Estadístico, donde la combinación de varios factores (parámetros de entrada) define un escenario. En este caso, cada escenario está representado por un individuo en una población de posibles soluciones. Un esquema general de ESS puede observarse en la Figura 2. A grandes rasgos podemos observar que el sistema se encuentra dividido en dos grandes etapas: por un lado se encuentra la Etapa de Optimización (OS), la cual es llevada a cabo tanto en el nodo Master (OSMaster) como así también en cada uno de los Workers (OSWorker<sub>n</sub>). La primera de ella se encarga de coordinar la evolución de la población de individuos mediante el algoritmo evolutivo paralelo (cuadroPEA) iterando hasta que la población alcance cierto nivel de aptitud y la segunda realiza la evaluación de la aptitud de los individuos en paralelo (cuadro PEA<sub>F</sub>). Por el otro lado, la Etapa de Calibración (CS) consta de una Etapa



Estadística (SS), la cual es alimentada con la población evolucionada que es proporcionada por la etapa OS en su conjunto (OSWorker<sub>n</sub> y OSMaster). La salida de SS (un mapa de probabilidad) se utiliza para dos propósitos, uno de ellos es en la etapa SK (búsqueda del valor clave de ignición  $K_{ign}$ ) para calcular el patrón de comportamiento del incendio  $K_{ign}$ , el cual será utilizado para realizar la predicción en el próximo instante de tiempo, la evaluación de la aptitud de los resultados se lleva a cabo en la etapa que implementa la función de fitness (FF).

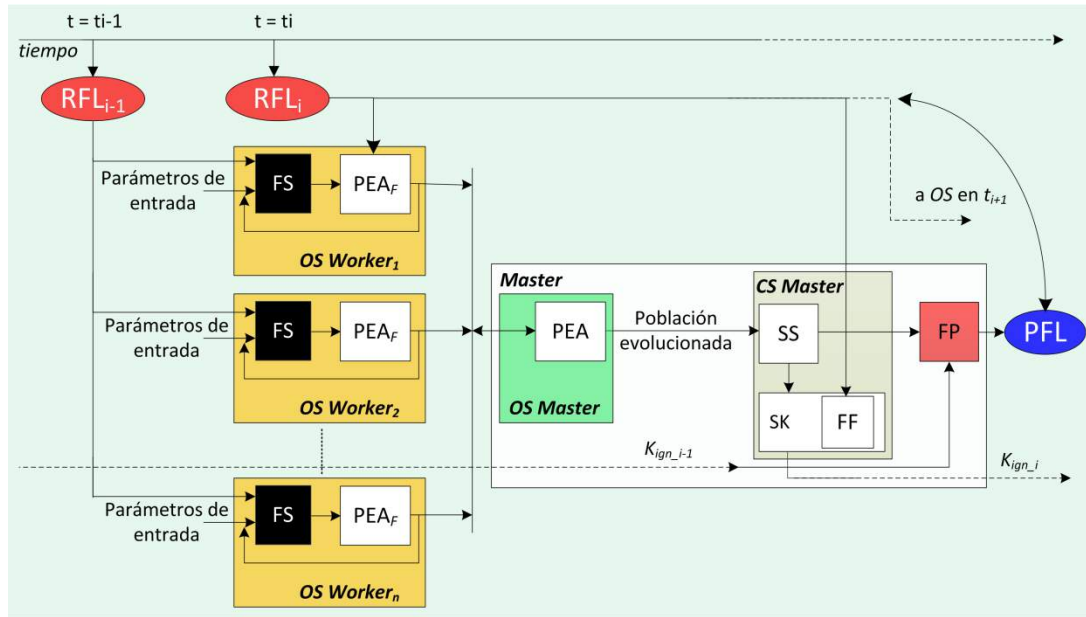


Figura 2. Diagrama esquemático del Sistema Estadístico Evolutivo (RFLX: estado real en tiempo X, FS: simulador de propagación de incendios forestales, OS: Etapa de Optimización, CS: Etapa de Calibración, PEA: Algoritmo Evolutivo Paralelo, SS: Etapa Estadística, SK: Búsqueda de  $K_{ign}$ , FF: Función Fitness, FP: Etapa de Predicción, PFL: Estado de la línea de fuego propuesta por el modelo).

La salida de SK en tiempo  $t_i$  se combina con el mapa de probabilidad proporcionado por SS en tiempo  $t_{i+1}$  para generar la predicción en la etapa FP. Es importante notar que la calibración para el instante de tiempo  $t_{i+1}$  se solapa en  $t_i$  con los cálculos de predicción.

ESS está basado en un modelo Master-Worker [20, 21], donde en cada iteración el proceso Master distribuye los individuos a cada uno de los Workers, quienes realizan la evaluación de la aptitud de los individuos en forma paralela para luego retornar los resultados al Master. Luego de que toda la población ha sido evaluada, el Master evoluciona la población, incluye los resultados parciales y realiza la predicción para cada instante de tiempo.



**SISTEMA ESTADÍSTICO EVOLUTIVO CON MODELO DE ISLAS**

Con el objetivo de mejorar la calidad de predicción alcanzada por ESS, se incrementó el nivel de paralelismo del PEA de dicho método, pasando de un esquema de Única Población y Evaluación en Paralelo a otro de Múltiples Poblaciones y Migración (también conocido como Modelo de Islas) debido a que este esquema aumenta la diversidad en el PEA. Esta nueva implementación se ha denominado Sistema Estadístico Evolutivo con Modelo de Islas (ESS-IM).

ESS-IM, al igual que ESS, está basado en el paradigma Master-Worker. Sin embargo, esta nueva implementación utiliza dicho paradigma en dos niveles: **Master-WorkerL1** y **Master-WorkerL2**, tal como puede observarse en la Figura 3.

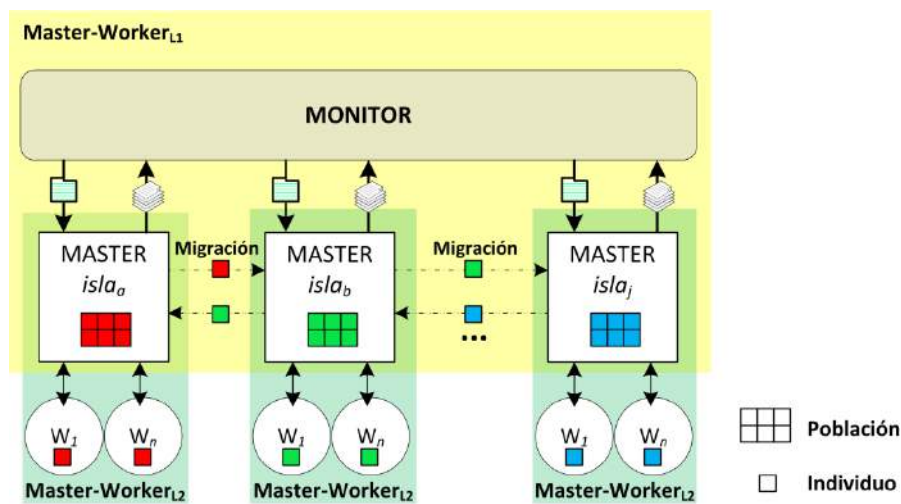


Figura 3. Modelo de comunicación y representación del tratamiento de la población. (Master-WorkerL1: Nivel 1 de Master-Worker, Master-WorkerL2: Nivel 2 de Master-Worker).

Por un lado, en el nivel 1 (**Master-WorkerL1**), el Monitor se encarga de inicializar cada una de las islas al comienzo de la ejecución, luego recibe los resultados de cada una de las islas y por último lleva a cabo la predicción del comportamiento del incendio para cada paso de simulación (es decir, los sucesivos instantes de tiempo en los que se realiza la predicción). Por otro lado, el nivel 2 (**Master-WorkerL2**), está compuesto por diferentes instancias de este esquema, donde cada isla contiene un proceso Master y su respectivo grupo de Workers. El Master de cada isla distribuye los individuos a los Workers, un individuo en ESS-IM representa un conjunto particular de parámetros de entrada que alimentan al modelo.

Los Workers, por su parte, llevan a cabo la simulación y la evaluación de la aptitud de cada uno de los individuos en paralelo, retornando los resultados a su respectivo Master. Cada Master, además, es responsable de llevar a cabo la evolución de la población y de efectuar las migraciones de los individuos entre las distintas islas, en función de la topología de comunicación



y los parámetros de migración configurados. Es importante remarcar que la evolución de las islas se efectúa en paralelo.

Un esquema detallado del funcionamiento del ESS-IM se presenta en la Figura 4. Puede observarse que el sistema cuenta con dos Etapas de Optimización (**OS-Worker** y **OS-Master**), dos Etapas de Calibración (**CS-Master** y **CS-Monitor**) y una Etapa de Predicción (**FP**). La etapa **OS-Worker** lleva a cabo la porción del Algoritmo Evolutivo Paralelo (**PEA<sub>F</sub>**) que efectúa la evaluación de la población mediante la función de fitness. La etapa **OS-Master** opera en cada una de las islas, siendo responsable de llevar a cabo la evolución genética, operación que se realiza iterando hasta que la población alcanza cierto nivel de calidad. Esta etapa también es encargada de efectuar la migración de individuos. La etapa **CS-Master** se encarga de implementar el método estadístico [18]. La salida de **SS** (un mapa de probabilidad) se utiliza para doble propósito. Por un lado, los mapas de probabilidad son usados como entrada por **SK** (Búsqueda de  $K_{ign}$ : valor clave de ignición, un número usado para efectuar la predicción) para realizar la búsqueda del valor clave de ignición  $K_{ign}$ , que será utilizado en el próximo instante de predicción. En esta etapa, la función de fitness (**FF**) es utilizada para evaluar el mapa de probabilidad. Por otro lado, la salida del **SS** ingresa junto con los valores  $K_{ign}$  calculados por las  $j$  islas a **CS-Monitor**.

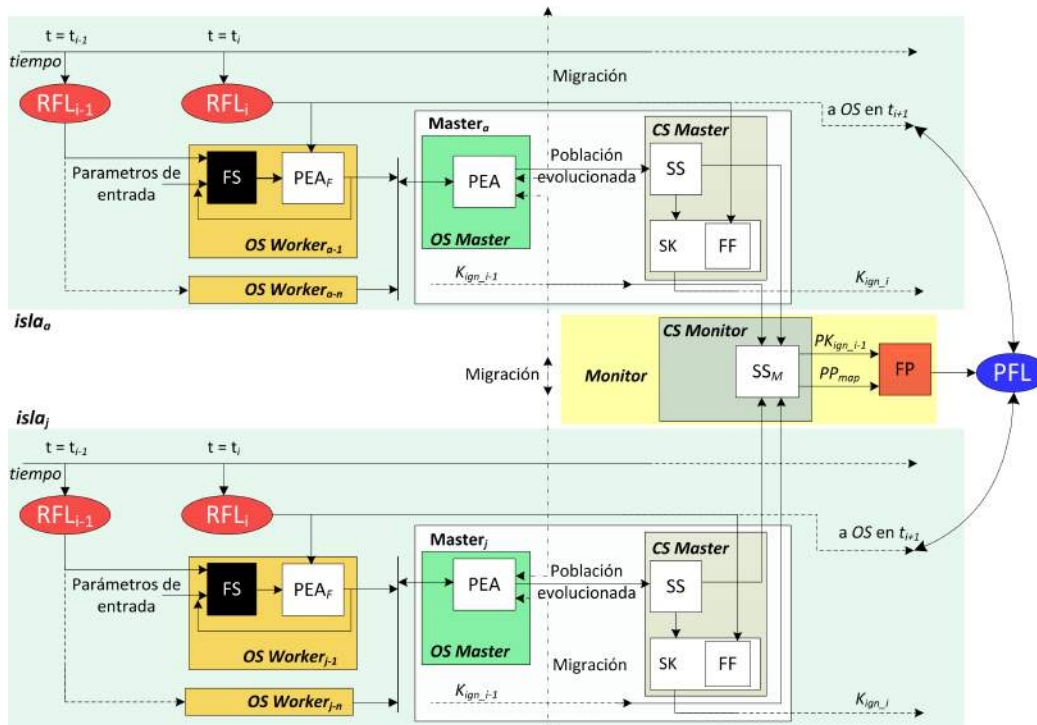


Figura 4. Diagrama esquemático del Sistema Estadístico Evolutivo con Modelo de Islas. (RFLX: estado real en tiempo  $X$ , FS: simulador de propagación de incendios forestales, OS: Etapa de Optimización, CS: Etapa de Calibración, PEA: Algoritmo Evolutivo Paralelo, PEA<sub>F</sub>: Algoritmo Evolutivo Paralelo (evaluación de fitness), SS: Etapa Estadística, SK: Búsqueda de  $K_{ign}$ , FF: Función Fitness, FP: Etapa de Predicción, PFL: Estado de la línea de fuego propuesta por el modelo, SS<sub>M</sub>: Etapa Estadística (Monitor), P<sub>map</sub>: Mapa de Probabilidad).



Existen diferentes criterios para el diseño de CS-Monitor. Una opción es elegir el mejor  $K_{ign}$  de todas las islas, para lo cual es necesario sincronizar todas las islas. Otra opción consiste en calcular un solo  $K_{ign}$  basado en un mapa estadístico que considere los mapas estadísticos de cada población. Por último, utilizar sólo el primer valor de  $K_{ign}$  que se encuentre. Debido a la existencia de las diferentes alternativas mencionadas, en este trabajo se efectúa la predicción teniendo en cuenta el mejor de los  $K_{ign}$  para el paso actual de simulación.

## EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados obtenidos luego de aplicar ESS-IM a seis casos reales de estudio de quemas controladas las cuales fueron realizadas en el campo, puntualmente en Serra de Louçã (Gestosa, Portugal) en el marco del proyecto SPREAD [27]<sup>21</sup>. Con el objetivo de verificar si el incremento de paralelismo en el PEA ofrece mejoras en la calidad de predicción, los resultados del ESS-IM se han comparado con los producidos por la versión anterior ESS y su predecesor S<sup>2</sup>F<sup>2</sup>M.

Para cada uno de los experimentos se han definido pasos de tiempo discretos para representar el avance del frente de fuego. En la Tabla I, junto con la información de las dimensiones y pendiente para cada uno de los casos de estudio utilizados, se pueden observar los valores de tiempo inicial y final de cada simulación y su respectivo valor de incremento.

<i>Caso</i>	<i>Ancho (metros)</i>	<i>Largo (metros)</i>	<i>Pendiente (grados)</i>	<i>Tiempo inicial (minutos)</i>	<i>Incremento (minutos)</i>	<i>Tiempo final (minutos)</i>
519	89	91	21	2,5	2,5	12,5
520	89	109	21	2,0	2,0	14,0
533	95	123	21	4,0	2,0	12,0
534	75	126	19	2,0	3,0	9,0
751	60	90	6	2,0	2,0	10,0
752	60	90	6	6,0	2,0	10,0

Tabla I. Dimensiones, pendientes, tiempos e incrementos de cada caso de prueba.

En función de los valores de incremento de cada experimento descrito en la Tabla I, los pasos de incremento (pasos discretos definidos) para cada caso puntual quedan definidos tal como puede observarse en la Tabla II.

<sup>21</sup> Estos experimentos han sido de gran utilidad para apoyar el desarrollo de nuevos conceptos, modelos y métodos en diversas áreas de la gestión de incendios forestales.



Caso	Experimento	Cantidad de pasos	Inicio de cada paso de simulación					
			Paso1	Paso2	Paso3	Paso4	Paso5	Paso6
519	1	4	2,5	5	7,5	10	-	-
520	2	6	2	4	6	8	10	12
533	3	5	2	4	6	8	10	-
534	4	6	3	4	5	6	7	8
751	5	4	2	4	6	8	-	-
752	6	4	2	4	6	8	-	-

Tabla II. Pasos de simulación y descripción de cada intervalo para cada experimento.

Es importante tener en cuenta que para fines de calibración y predicción, los tres métodos aquí comparados necesitan una línea de fuego real adicional a la que precisa la predicción clásica, por lo que no pueden proporcionar predicciones al finalizar el primer paso. En dicho instante estos métodos aplican la etapa de calibración CS. Por esta razón las gráficas siguientes muestran los resultados a partir de la predicción generada en el *Paso2* (predicción realizada entre  $t_1$  y  $t_2$ ).

### Comparación de resultados

Por un lado, teniendo en cuenta el conocimiento acerca de los experimentos y de los modelos de Rothermel [28] para algunos de los parámetros, ciertos rangos se han especificado (en particular en aquellos parámetros que presentan incertidumbre), y por otro, parte de esta información se ha medido durante el experimento, y el resto se ha tomado de los valores estándar usados por BehavePlus [29].

Los distintos experimentos corresponden a quemas iniciadas en distintos puntos de la superficie del terreno. Después de la ejecución de los métodos, los valores de fitness encontrados se muestran en la Figura 5, donde un valor de fitness igual a 1 indicaría una predicción perfecta, y por el contrario un valor cercano a 0 una predicción deficiente.

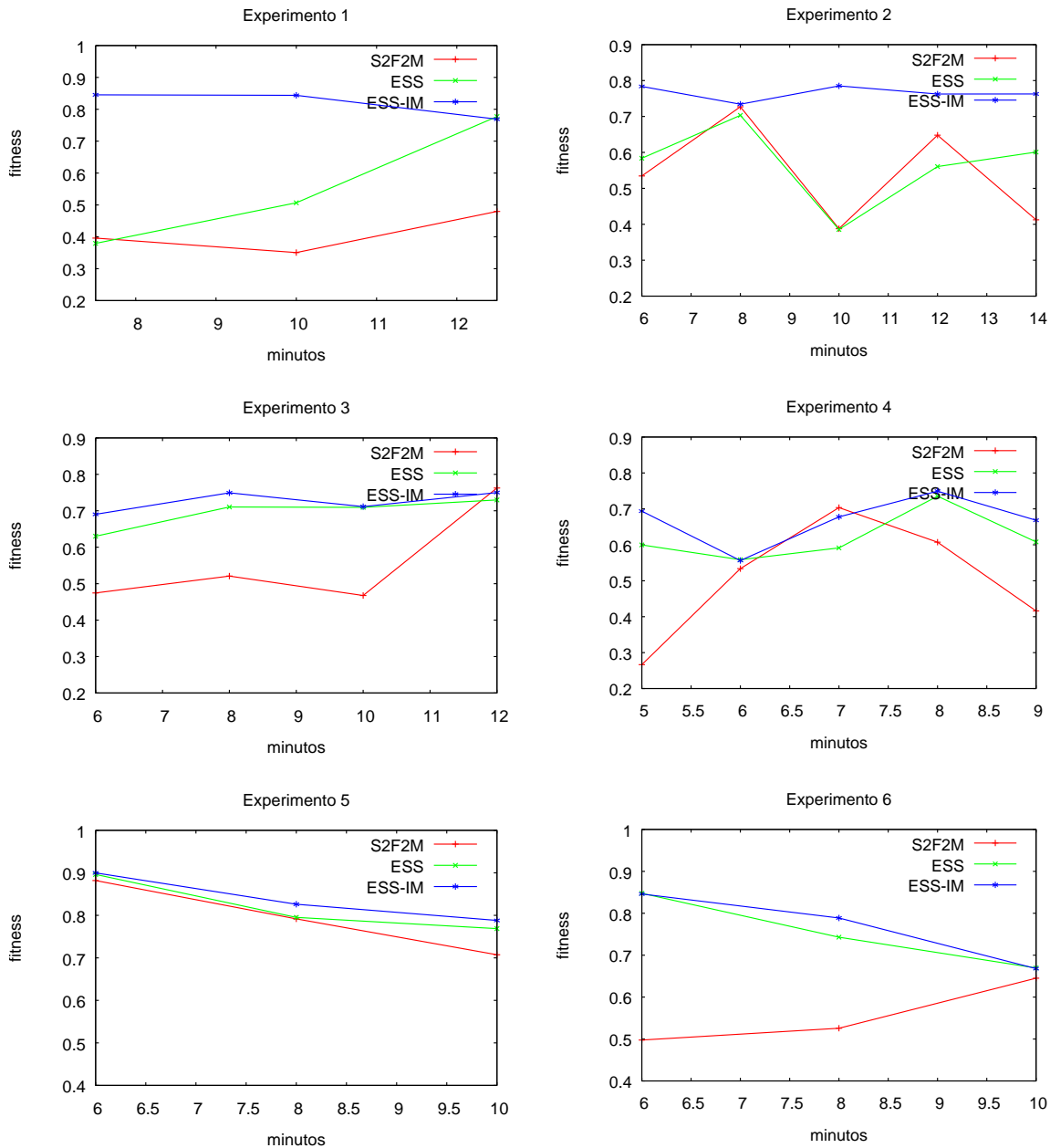


Figura 5. Experimentos 1 a 6, comparación de calidad de predicción obtenida para cada método. (Experimento 1: Caso 519, Experimento 2: Caso 520, Experimento 3: Caso 533, Experimento 4: Caso 534, Experimento 5: Caso 751 y Experimento 6: Caso 752).

Podemos ver que en los seis casos, ESS-IM tiene un mejor rendimiento en comparación con la implementación anterior. Sin embargo, en momentos puntuales, los valores obtenidos son levemente inferiores a los resultados de alguno de los otros métodos (como sucede en el Experimento 1 en el minuto 12,5, en el Experimento 3 en el minuto 12 y en el Experimento 4 en el minuto 7). Es importante destacar que los valores indicados tanto para el ESS-IM y ESS son el promedio de diez ejecuciones, no así para S<sup>2</sup>F<sup>2</sup>M ya que brinda una salida determinista.



Por último, la experimentación previamente descrita fue llevada a cabo en un cluster de computadoras Linux (22 nodos con procesadores Intel-Q9550, 4G de memoria RAM y Gigabit Ethernet), bajo un entorno MPI [28].

## CONCLUSIONES

En este trabajo se describe una nueva implementación del método de reducción de incertidumbre conocido como Sistema Estadístico Evolutivo (ESS). Esta versión incrementa el paralelismo del algoritmo evolutivo paralelo (PEA) logrando una importante mejora en la calidad de predicción, en contraste con las versiones anteriores del método. Esta aproximación del método se denomina Sistema Estadístico Evolutivo con Modelo de Islas (ESS-IM), debido a que se distingue de su predecesor por trabajar con el concepto de islas, donde el PEA en vez de trabajar con una única población de individuos trabaja con múltiples poblaciones o islas, aumentando así la diversidad de la población y permitiendo generar soluciones de mayor calidad y por ende predicciones más confiables.

ESS-IM combina análisis estadístico con las capacidades proporcionadas por los algoritmos evolutivos paralelos y el poder de cálculo de la computación de alto rendimiento, logrando resultados que mejoran a los alcanzados por las implementaciones anteriores (ESS y S2F2M). Tanto ESS-IM como ESS han sido descritos a largo del presente trabajo. Ambos corresponden a métodos para reducir la incertidumbre en los parámetros de entrada, en este caso aplicado a la predicción de la propagación de incendios forestales. Pero debido a sus características podrían aplicarse a otros modelos de propagación como inundaciones o avalanchas.

Si bien se han obtenido resultados muy favorables en esta implementación del ESS-IM, quedan temas por analizar como lo son la existencia de diferentes formas de aplicar el método estadístico al trabajar con diferentes poblaciones, o incluso las diferentes alternativas para la realización de la fase de predicción del fuego, y también la influencia de las diferentes estrategias de migración y las posibilidades de topologías de comunicación entre las islas. Por tales motivos, estudios posteriores deberán centrarse, por un lado, en considerar las diferentes alternativas de implementación del método con el objetivo de seguir mejorando la calidad de predicción del mismo, y por otro, en trabajar en el análisis y puesta a punto del método para obtener la configuración que brinde los mejores resultados posibles y compararlo con otros métodos existentes.

## REFERENCIAS

- [1] D.M. Molina, J. Blanco, M. Galan, E. Pous, J.B. García, D. García, 2009. Incendios Forestales: Fundamentos, Lecciones Aprendidas y Retos de Futuro. *Editorial AIFEMA*, ISBN 978-84-613-7860-9.



- [2] P. Morgan, C. Hardy, T.W. Swetnam, M.G. Rollins, D.G. Long, 2001. Mapping fire regimes across time and space: Understanding coarse and finescale fire patterns, *International Journal of Wildland Fire.*, **10**, 329-342.
- [3] E. Cantú Paz, 1998. A survey of Parallel Genetic Algorithms. *Calculateurs Parallèles, Réseaux et Systems Repartis.*, **10**(2), 141-171.
- [4] G. Bianchini, P. Caymes Scutari, 2011. Uncertainty Reduction Method Based on Statistics and Parallel Evolutionary Algorithms. *Proceedings of High-Performance Computing Symposium - 40 JAIIO (HPC 2011, ISSN: 1851-9326)* 1-4.
- [5] G. Bianchini, M. Méndez-Garabetti, P. Caymes-Scutari, 2012. Evolutionary-Statistical System for Uncertainty Reduction Problems in Wildfires. XVIII CACIC, *XII Workshop de Procesamiento Distribuido y Paralelo (WPDP)*. ISBN: 978-987-1648-34-4, 230-238.
- [6] G. Wallace, 1993. A numerical fire simulation model. *Int. J. Wildland Fire.*, **3** (2), 111-116.
- [7] M.A. Finney, 1998. FARSITE: Fire Area Simulator-model development and evaluation, Res, Pap, RMRS-RP-4, U.S. Department of Agriculture, *Forest Service, Rocky Mountain Research Station*, 47.
- [8] J. Jorba, T. Margalef, E. Luque, J. Campos da Silva, D.X. Viegas, 1999. Parallel Approach to the Simulation of Forest Fire Propagation, *Proc, 13 International Symposium 'Informatik fur den Umweltshutz' der Gesellschaft Fur Informatik (GI)*, 68-81.
- [9] P.L. Andrews, C.D. Bevens, R.C. Seli, 2003. BehavePlus Fire Modeling System, Version2,0: User's Guide, Gen, Tech, Rep, RMRS-GTR-106WWW, Department of Agriculture, *ForestService, Rocky Mountain Research Station*, 132.
- [10] A.M.G. Lopes, M.G. Cruz, D.X. Viegas, 2002. FireStation - An integrated software System for the numerical simulation of wind field and fire spread on complex topography, *Environmental Modelling & Software*, **17** (3), 269-285.
- [11] L.M. Ribeiro, D.X. Viegas, A.G. Lopes, P. Mangana, P. Moura, 2006. Operational application of a decision support tool in fire management in Portugal, *Forest Ecology and Management*, **234** (Supplement 1), S243.
- [12] G.L. Ball, D.P. Guertin, 1991. FIREMAP – fire and the environment: ecological and cultural perspectives, March 20-24 1990, Knoxville, TN, *USDA Forest Service*, 215-218.
- [13] B. Abdalhaq, 2004. A methodology to enhance the Prediction of Forest Fire Propagation, Ph, D Thesis, *Universitat Autònoma de Barcelona* (Spain).
- [14] K.J. Beven, J. Freer, 2001. Equifinality, data assimilation, and uncertainty estimation in mechanistic modelling of complex environmental systems, *Journal of Hydrology*, **249**, 11- 49.
- [15] J. Mandel, L.S. Bennethum, M. Chen, J.L. Coen, C.C. Douglas, L.P. Franca, C.J. Johns, M. Kim, A.V. Knyazev, R. Kremens, V. Kulkarni, G. Qin, A. Vodacek, J. Wu, W. Zhao, A. Zornes,



2005. Towards a Dynamic Data Driven Application System for Wildfire Simulation, *LNCS*, **3515**, 632-639.
- [16] S. Thorndahl, K.J. Beven, J.B. Jensen, K. Schaarup-Jensen, 2008. Event based uncertainty assessment in urban drainage modelling, applying the GLUE methodology, *Journal of Hydrology*, **357** (3-4), 421-437.
- [17] D.C. Montgomery, G.C. Runger, 2002. Probabilidad y Estadística aplicada a la Ingeniería. Limusa Wiley.
- [18] G. Bianchini, M. Denham, A. Cortés, T. Margalef, E. Luque, 2010. Wildland Fire Growth Prediction Method Based on Multiple Overlapping Solution, *Journal of Computational Science*, **1** Issue 4, 229-237.
- [19] G. Bianchini, A. Cortés, T. Margalef, E. Luque, 2006. Improved prediction methods for Wildfires using High Performance Computing: A comparison, *LNCS3991*, Part I, 539-546.
- [20] D. Goldberg, 1989. Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning. Addison-Wesley Longman Publishing Co. Inc. Boston.
- [21] C. Darwin, 1859. On the Origin of Species by Means of Natural Selection. Murray, London.
- [22] A.E. Eiben, J.E. Smith, 2003. Introduction to Evolutionary Computing. *Springer*.
- [23] J. Holland, 1975. Adaptation in Natural and Artificial Systems. University of Michigan Press.
- [24] A. Grama, A. Gupta, G. Karypis, V. Kumar, 2003. Introduction to Parallel Computing. Second Edition. *Pearson*.
- [25] T. Mattson, B. Sanders, B. Massingill, 2005. Patterns for Parallel Programming. Addison-Wesley.
- [26] M. Méndez-Garabetti, G. Bianchini, M.L. Tardivo, P. Caymes-Scutari, 2013. Evolutionary-Statistical System with Island Model for Forest Fire Spread Prediction. *HPCLatAm 2013, Session: Evolutionary Computation & Scheduling*, 61-64.
- [27] D.X. Viegas, 2004. (Coordinator) et al., Project Spread - Forest Fire Spread Prevention and Mitigation. <http://www.algosystems.gr/spread/>
- [28] W. Gropp, E. Lusk, A. Skjellum. 1999. Using MPI - Portable Parallel Programming with the Message-Passing Interface. Second edition. The MIT Press.

**Este trabajo participa en el “Concurso Jóvenes Investigadores”.**



# Perfiles físicos y químicos de las fuentes de emisión de PM<sub>10</sub> en el polo industrial de Ing. White, Bahía Blanca, Argentina.

Morales Del Mastro, A<sup>1,2</sup>; Dawidowski, L<sup>1,2</sup>; Pereyra<sup>3</sup>, M; Smichowski, P<sup>1,4</sup>; Pagani<sup>5</sup>, M; Sorrivias<sup>6</sup>, V; H. Bajano<sup>1</sup>, H; Gómez, D<sup>1,2</sup>; Jimenez Rebagliati, R<sup>1</sup>; Marrero<sup>1</sup>, J; Londonio, A<sup>1</sup>; Lucchi, L<sup>5</sup>.

<sup>1</sup>Gerencia Química, Centro Atómico Constituyentes, Comisión Nacional de Energía Atómica

<sup>2</sup>Instituto de Investigaciones en Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional de San Martín

<sup>3</sup>Instituto de Química del Sur. Universidad Nacional del Sur

<sup>4</sup>Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

<sup>5</sup>Comité Técnico Ejecutivo. Municipalidad de Bahía Blanca

<sup>6</sup>Unidad de Administración Territorial. CONICET

E-mail: anabellamorales@cnea.gov.ar

## RESUMEN

El creciente interés en el estudio del material particulado atmosférico se vincula al impacto tanto a la salud humana como a los ecosistemas. Esto resulta relevante para los habitantes de la zona de Ing. White y la ciudad de Bahía Blanca, ya que los resultados de las mediciones continuas de calidad del aire realizadas por la Municipalidad desde 1997, indican la ocurrencia reiterada de valores de concentración de material particulado suspendido  $\leq 10 \mu\text{m}$  (PM<sub>10</sub>) por encima de las normas de calidad de aire establecidas. En este trabajo se presentan los resultados de la primera etapa de un proyecto, cuyo objetivo general es identificar las fuentes principales de emisión de PM<sub>10</sub> en la zona utilizando técnicas de modelación inversa. Para ello se tomaron muestras ambientales en las capas superficial y sub-superficial de los distintos tipos de suelos de la zona cubriendo un área de alrededor de 10000 km<sup>2</sup> y muestras en las distintas fuentes de emisión identificadas: (1) los conductos de emisión de las principales fuentes industriales de tipo puntual: una central térmica, una refinería y una planta de producción de urea; (2) en las fuentes difusas: dos plantas de acopio, acondicionamiento y despacho de distintos tipos de granos. Estas muestras se analizaron utilizando técnicas de microscopía electrónica para su caracterización física, obteniendo su perfil morfológico, la relación carbono-azufre promedio de las muestras y la distribución de tamaños. Las concentraciones de metales y metaloides (Al, As, Ba, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Ti, V y Zn) fueron determinadas mediante plasma óptico acoplado inductivamente (ICP-OES). Sobre la base de esta información se construye una base de datos que será utilizada en los estudios de identificación de fuentes de emisión.





## INTRODUCCIÓN

El Comité Técnico Ejecutivo (CTE) de la Municipalidad de Bahía Blanca tiene una extensa experiencia en mediciones de calidad del aire y emisiones de las fuentes presentes en la zona industrial del Polo Petroquímico ubicado en la localidad de Ing. White (Figura 1). Desde abril de 2002 mantiene en ejecución el Programa Integral de Monitoreo (P.I.M.) formulado en el marco de lo establecido por el artículo 9º de la Ley 12530, que incluye el control y monitoreo de cuerpos receptores de agua y a la atmósfera. Los resultados de los sucesivos años de mediciones continuas de calidad del aire, desde el 2002 a la fecha, indican la ocurrencia reiterada de valores de concentración material particulado suspendido  $PM_{10}$ , en diferentes zonas de Ing. White y Bahía Blanca, que superaron las normas de calidad de aire para protección de la salud, establecidas en el Anexo III del Decreto 3395/96 reglamentario de la Ley 5965/58. Por otra parte, el inventario de emisiones atmosféricas de la zona de Ing. White y Bahía Blanca, desarrollado por el CTE, indica que las posibles fuentes de emisión son de origen natural e industrial, comerciales y transporte, entre otras. Una de las situaciones de particular relevancia son las tormentas de polvo originadas en un proceso de desertificación creciente en áreas cercanas a la ciudad, anteriormente dedicadas a la actividad agropecuaria. Como respuesta a esta problemática, la Municipalidad de Bahía Blanca, desde el área de Epidemiología Ambiental, ha publicado un trabajo científico [1] donde se discute la potencial asociación de la contaminación atmosférica debida a  $PM_{10}$  con la mayor prevalencia de síntomas indicadores de asma en la zona de Ing. White. Frente a estos resultados se tomaron las primeras acciones de evaluar el origen y composición del  $PM_{10}$ , a efectos de disponer información para la toma de decisiones en la gestión de la calidad del aire local.

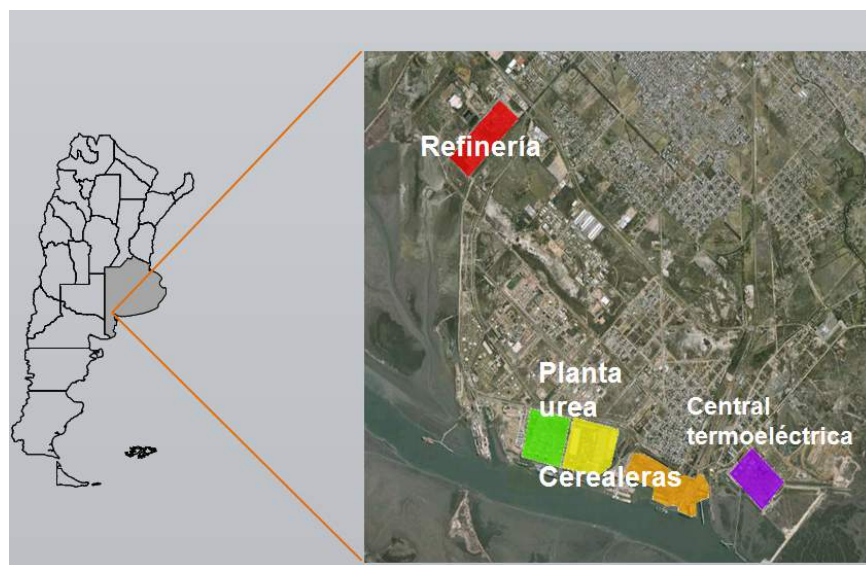


Figura 1: Ubicación de las fuentes industriales de emisión de Material Particulado en Ing. White. Bahía Blanca



Las fuentes principales de emisión de material particulado con impacto en el área de estudio son las fuentes industriales, tanto puntuales como difusas; y el suelo que ya sea por la acción del viento o por resuspensión de partículas depositadas en las calles por donde circulan vehículos, suele tener una presencia significativa en toda la zona de la ciudad de Bahía Blanca. Las fuentes fijas mayoritarias identificadas en el área de estudio son: (1) una central térmica, que posee un conducto de emisión asociado a la caldera de generación; (2) un craking catalítico presente en una refinería; (3) dos hornos que forman parte del sistema de refinación de petróleo de la misma refinería; (4) una caldera instalada en una planta de procesamiento de granos; (5) dos granuladores que forman parte de una planta de producción de urea; (6) los galpones de la misma planta, que por manipulación del material presentan emisiones difusas del producto terminado; y (7) los sistemas de transporte y manipuleo de granos de distintas empresas instaladas en el polo, que despachan distintos tipos de cereales, pero mayormente soja, girasol y trigo. Otra fuente con impacto potencial en el material particulado medido son las emisiones vehiculares. En este trabajo no se analizan las emisiones de este tipo de fuentes debido a que existe extensa información bibliográfica al respecto [2, 3, 4]. Este trabajo constituye el primer paso del estudio de la identificación del rol de estas fuentes en calidad del aire de la zona industrial de Ingeniero White, y del área urbana de Bahía Blanca. Se presenta aquí su caracterización física y química que será luego utilizada como base en la aplicación de modelos de receptores que permitirán, aplicando técnicas estadísticas, cuantificar los aportes a la calidad del aire.

## DESARROLLO EXPERIMENTAL

### Muestreo de emisiones en fuentes industriales

Desde el punto de vista del muestreo existen tres tipos de fuentes industriales de emisión presentes en la zona de estudio: (1) aquellas que poseen conductos de emisión con orificio adecuado para la toma de muestra de material particulado, (2) aquellas que tienen conductos pero no tienen dichos orificios y (3) las que no poseen sistema de aspiración de las partículas emitidas y por lo tanto las emisiones son de tipo difusas. En el primer caso la toma de muestra se realizó aplicando la norma JIS Z8808 de la Asociación de Estándares del Japón, utilizando un equipo Dustac Sampler modelo ESA-302CT-20N de Okano Works Ltd, tomando las muestras en filtros de fibra de vidrio. En el segundo caso se tomaron muestras de partículas de los sistemas de control de emisiones, que luego fueron resuspendidas y la fracción  $PM_{10}$  captada en un equipo de calidad del aire, siguiendo la metodología descrita por Carvacho y col. [5]. En el caso de las fuentes difusas se optó por realizar la toma de muestra en un punto cercano al sitio donde se realiza la actividad con metodología EPA, method IP-10A[6] utilizando una bomba de muestreo marca SKC, modelo Leland Legacy, con cabezal de muestreo marca SKC, modelo PEM (Personal



Environmental Monitor, PEM®), con un rango de flujo de muestreo de entre 4 y 6 L.min<sup>-1</sup>. En todos los casos se tomaron muestras adicionales en filtros de policarbonato que fueron utilizados en el análisis morfológico.

#### Muestreo de emisiones del suelo

Se tomaron muestras superficiales y sub-superficiales en sitios seleccionados en función de las características del uso del terreno (industrial, agropecuario y desértico) considerando además las direcciones predominantes de los vientos (abarcando desde el sector NNE hasta el sector SO) (ver Figura 2). De manera adicional en la selección de los sitios se tuvo en cuenta la caracterización de la cobertura vegetal, discriminando situaciones de alta, mediana o nada de cobertura.

Las muestras superficiales fueron tomadas entre 0 y 20cm con pala tipo hélix, con cabezal de toma-muestras de acero inoxidable. A partir de cada una de estas muestras se sub-muestrearon con pala de plástico las porciones que fueron envasadas en bolsas de polietileno, rotuladas y almacenadas para todas las determinaciones fisicoquímicas. La capa sub-superficial fue tomada de la misma manera, excavando con pala hélix, a profundidades de entre 50 y 75cm.

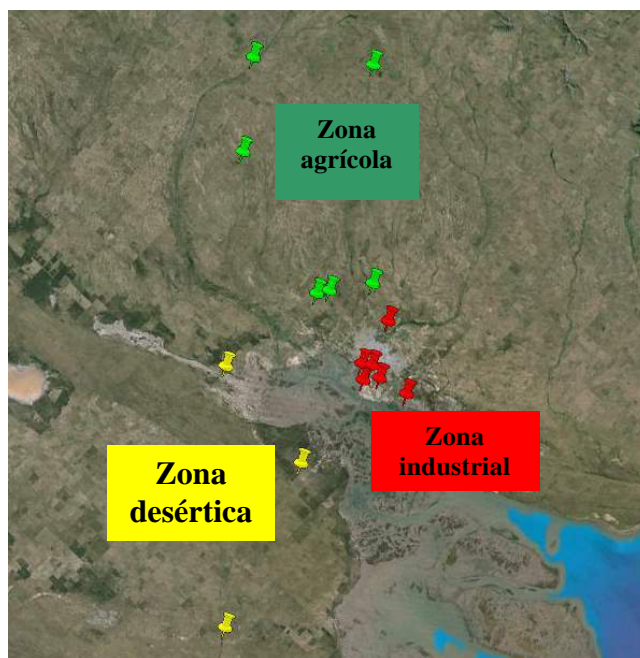


Figura 2: Ubicación de los sitios de muestreo de suelos

#### Tratamiento de las muestras

Para la determinación de metales y metaloides en las fuentes de emisión, los filtros recolectados fueron atacados con una mezcla ácida de 6 mL de HCl, 2 mL de HNO<sub>3</sub> y 1mL HF. Para lograr la



correcta digestión fueron tratados en microondas utilizando una secuencia de potencia variable: 250 W (5 min.); 0 W (5 min.); 400 W (10 min.); 600 W (5 min.). Este ciclo se repitió dos veces, y posteriormente se dejaron las muestras confinadas por 24 horas. Para evitar la corrosión del equipo de medición, un espectrómetro PerkinElmer 5100, al retirar los vasos de Teflón® del digestor de microondas se eliminaron gran parte de los ácidos por evaporación en una plancha calefactora. Después de la reducción del volumen se llevaron las muestras digeridas a un volumen final de 25 mL con agua deionizada. En esta solución se determinaron los siguientes analitos por ICP OES: Ca-Mg-Fe-Al-As-Cu-Mo-Mn-Ni-Cd-Co-Cr-Ba-Ti-V-Sb-Pb y Zn.

Todas las muestras de suelo, superficiales y sub-superficiales, fueron secadas en estufa durante dos horas a 105°C. Luego se unieron en proporciones equivalentes las que provenían de áreas con características similares, quedando de esta manera representada el área total y sometidas a un fraccionamiento por tamaño de partícula, obteniéndose 3 fracciones: fracción A de 37  $\mu\text{m}$ , fracción B de 37-50  $\mu\text{m}$ , y fracción C: > 50  $\mu\text{m}$  (fracción residual). En este trabajo se presentan los resultados del análisis de las fracciones A y B. Las soluciones para su posterior análisis por espectrometría de emisión óptica con fuente de plasma (ICP OES) fueron realizadas mediante una digestión ácida de cada muestra: se pesaron 0,5 g de muestra y se agregaron 9 mL de una mezcla ácida de: 2 mL  $\text{HNO}_3$ , 6 mL de  $\text{HCl}$  y 1 mL de  $\text{HF}$ . Se siguió luego un procedimiento similar que el aplicado para las fuentes de emisión, sólo que las muestras de suelos, una vez digeridas y evaporado el solvente, fueron llevadas con agua deionizada a un volumen final de 50 mL. Se determinaron los mismos analitos que para el caso anterior. Los resultados obtenidos fueron validados con el material de referencia certificado NIST 2709 (San Joaquin Soil).

Para la determinación de iones en suelos, se tomó una fracción de muestra de 0,5 g y se realizó una extracción con 50 mL de agua deionizada. La solución acuosa así obtenida fue analizada con un equipo Konik KNK-500A de cromatografía líquida de alta performance. Para resolver los cationes  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{Ca}^{2+}$ , se utilizó una columna analítica Hamilton PRP-800, con una solución  $\text{CuSO}_4$  2 mM como fase móvil. Para resolver los aniones  $\text{F}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$  se utilizó una columna Hamilton PRP-X100, y una solución de  $\text{C}_8\text{H}_5\text{KO}_4$  4,5 mM como fase móvil. Se utilizó un detector UV indirecto a  $\lambda = 220$  nm para cationes, y  $\lambda = 265$  nm para aniones. Se utilizaron caudales de flujo de 1,2  $\text{ml min}^{-1}$  con control de temperatura a 30°C. Los resultados analíticos fueron validados empleando material de referencia certificado NIST-SRM 1648 (urban particulate matter), que fue sometido a los mismos procedimientos analíticos que las muestras colectadas.

#### **Análisis morfológico con técnicas de microscopía electrónica**

Se realizaron las observaciones sobre el filtro original, con un depósito de oro, empleando una evaporadora de metales en plasma de argón, marca PELCO 91000. Las imágenes fueron adquiridas mediante un microscopio electrónico de barrido (LEO Evo 40VP) y se realizó sobre las mismas un



análisis de distribución de tamaños empleando un software de análisis de imágenes AnalySIS (Soft-imaging System GmbH, Münster, Germany).

#### **Microanálisis de rayos x por energía dispersiva (EDX)**

Para la determinación de la composición química elemental se analizaron tres microáreas tomadas al azar, a 200X de magnificación a fin de tener representatividad en los resultados. El análisis cualitativo fue realizado mediante el método Standardless. De cada una de las muestras se obtuvieron las composiciones porcentuales en peso de carbono y azufre.

#### **RESULTADOS**

Los perfiles químicos obtenidos para las fuentes de emisión de tipo puntual, presentes en la zona de estudio, se presentan en la Tabla I, y los correspondientes a las fuentes difusas en la Tabla II. Las concentraciones de los metales y metaloides en suelos superficiales se muestran en la Figura 3 y sub-superficiales en la Figura 4, clasificados en mayoritarios y minoritarios. Sólo se muestra la fracción A (< 37 mm) ya que la fracción B (37 mm < B < 50 mm) presenta una distribución de concentraciones similar. El Sb en todos los casos arrojó valores inferiores al límite de detección (< 0.3 mg g<sup>-1</sup>).



Elemento	Central Térmica	Refinería			Caldera planta de acopio de granos	Granulador 1 planta de producción de urea	Granulador 2 planta de producción de urea
		Cracking catalítico	Horno 201-B	Horno 101-B			
Al	4997	101077	7600	7171	ND	ND	ND
As	43	153	34.7	24.2	ND	ND	ND
Ba	680	35.2	153	< 10	ND	ND	ND
Ca	3564	366	2867	562	ND	ND	ND
Cd	< 1.5	< 1.5	< 1.5	< 1.5	ND	ND	ND
Co	183	48.3	207	85.3	ND	ND	ND
Cr	29.4	188	66.7	73.6	68	ND	ND
Cu	44.6	15.7	38.8	20.3	160	230	8665
Fe	6948	3170	3267	766	ND	ND	ND
Hg	2.1	1.11	3.08	3.96	ND	ND	ND
Mg	12178	157	287	<10	ND	ND	ND
Mn	68.1	22.2	41.3	20.3	30	ND	ND
Mo	20.8	12.9	27.3	20.3	ND	ND	ND
Ni	1970	58.7	387	51.4	70	ND	ND
Pb	22.6	27.4	18.7	14.5	53	307	ND
Sb	< 7.0	7.2	< 7.0	< 7.0	ND	ND	ND
Ti	143	83.6	27.3	18.4	ND	ND	ND
V	1766	248	1567	1066	ND	ND	ND
Zn	211	48.3	287	<10	242	190	ND

Tabla I: Perfiles químicos de las fuentes de emisión de tipo puntual

ND = No determinado. Valores expresados en mg g<sup>-1</sup>

Incertidumbre analítica: es 3% para todos los elementos cuantificados



Elemento	Soja	Girasol	Trigo	Galpón planta de producción de urea
<b>Al</b>	NC	NC	NC	NC
<b>As</b>	89.3	300	< 35	< 35
<b>Ba</b>	NC	NC	< 55	< 55
<b>Ca</b>	NC	NC	8700	< 55
<b>Cd</b>	< 30	< 30	< 35	< 35
<b>Co</b>	< 30	< 30	< 35	< 35
<b>Cr</b>	NC	NC	1100	< 55
<b>Cu</b>	< 25	< 25	< 25	NC
<b>Fe</b>	22700	7800	7600	NC
<b>Hg</b>	ND	ND	ND	ND
<b>Mg</b>	NC	NC	3800	11000
<b>Mn</b>	571	100	176	< 30
<b>Mo</b>	< 35	< 35	< 35	< 35
<b>Ni</b>	< 30	< 30	324	NC
<b>Pb</b>	< 35	< 35	< 35	< 35
<b>Sb</b>	< 35	< 35	< 35	< 35
<b>Ti</b>	1500	425	204	< 55
<b>V</b>	NC	NC	< 55	< 55
<b>Zn</b>	NC	NC	< 55	< 55

Tabla II: Perfiles químicos de las fuentes de emisión difusas

ND = No determinado. ND = No cuantificado. Valores expresados en  $\text{mg g}^{-1}$

La incertidumbre analítica es 3% para todos los elementos cuantificados

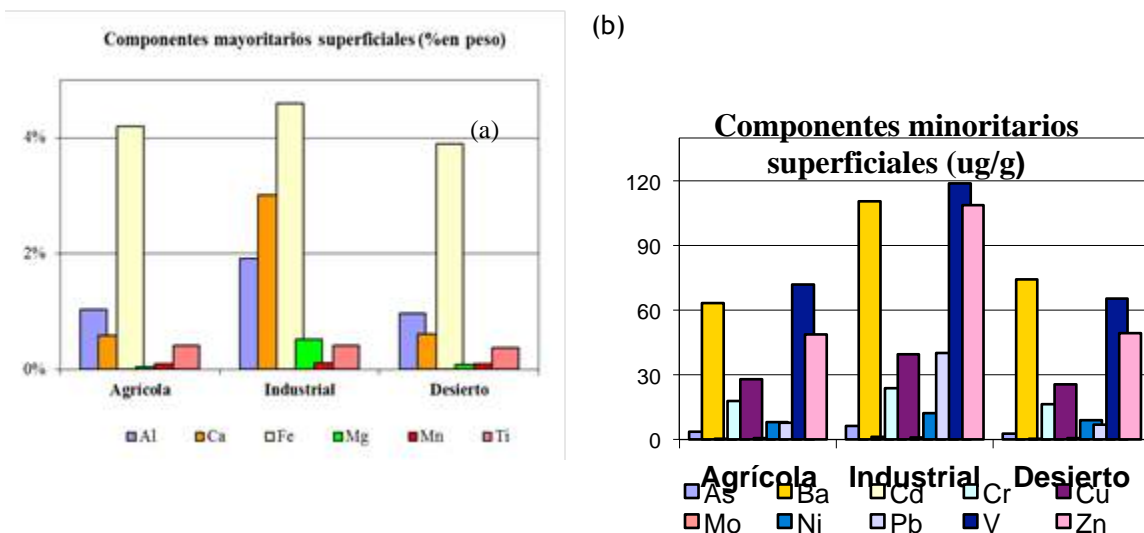


Figura 3: Componentes mayoritarios (a) y minoritarios (b) en suelos superficiales

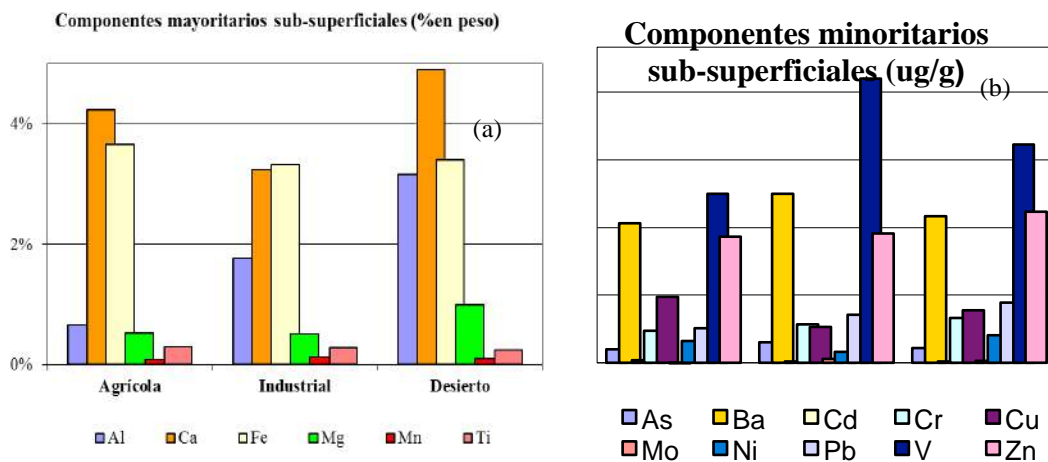


Figura 4: Componentes mayoritarios (a) y minoritarios (b) en suelos sub-superficiales

Los resultados de las concentraciones de iones obtenidas en las muestras de suelos, se presentan en las Tablas III y IV, correspondientes a los valores medidos en los suelos superficiales y sub-superficiales respectivamente.





Muestra	Fluoruro (µg/g)	Cloruro (mg/g)	Nitrato (µg/g)	Sulfato (mg/g)	Sodio (mg/g)	Potasio (mg/g)	Amonio (µg/g)
1B	105 ± 8,98	0,78 ± 0,01	301 ± 27,5	0.47 ± 0.03	0,73 ± 0,01	0,89 ± 0,01	ND
9B	ND	33,8 ± 0,30	ND	113 ± 2.17	27,0 ± 0,01	2,48 ± 0,16	ND
25A	93,1 ± 3,25	14,5 ± 0,11	151 ± 12,4	18.6 ± 0.17	14,3 ± 0,35	0,68 ± 0,02	ND
25B	25,4 ± 8,05	19,8 ± 0,21	175 ± 10,4	14.1 ± 0.01	15,5 ± 0,01	0,71 ± 0,03	ND
27A	10,9 ± 1,90	0,39 ± 0,01	162 ± 17,9	1.57 ± 0.03	1,39 ± 0,01	0,83 ± 0,02	ND
27B	<LOD	0,36 ± 0,02	143 ± 9,76	1.53 ± 0.08	1,30 ± 0,01	0,76 ± 0,02	ND
23A	ND	34,2 ± 0,41	215 ± 9,53	9.79 ± 0.80	14,8 ± 0,70	1,39 ± 0,04	ND
23B	27,7 ± 5,48	41,9 ± 0,59	370 ± 69,1	10.1 ± 0.36	17,3 ± 0,35	1,23 ± 0,01	ND
28A	22,0 ± 1,69	0,50 ± 0,01	169 ± 14,3	2.01 ± 0.03	1,15 ± 0,01	0,12 ± 0,01	ND
28B	18,3 ± 3,98	0,49 ± 0,03	178 ± 5,35	1.94 ± 0.13	1,02 ± 0,03	0,11 ± 0,01	ND

Tabla III: Concentración de iones medidos en los suelos superficiales.

Muestra	Fluoruro (µg/g)	Cloruro (mg/g)	Nitrato (µg/g)	Sulfato (mg/g)	Sodio (mg/g)	Potasio (mg/g)	Amonio (µg/g)
IB	21,4 ± 2,66	0,46 ± 0,01	97,7 ± 8,76	1.46 ± 0.03	1,41 ± 0,01	1,24 ± 0,01	129 ± 1,66
IIA	25,8 ± 1,94	7,97 ± 0,02	131 ± 4,45	3.26 ± 0.06	4,02 ± 0,01	0,78 ± 0,01	ND
IIB	29,6 ± 6,73	8,02 ± 0,13	82,3 ± 5,65	3.12 ± 0.09	3,80 ± 0,01	0,76 ± 0,02	ND
IIIA	15,3 ± 5,24	0,45 ± 0,01	43,7 ± 7,59	0.20 ± 0.01	0,37 ± 0,01	0,38 ± 0,01	ND
IIIB	16,2 ± 3,02	0,33 ± 0,01	69,2 ± 21,1	0.14 ± 0.02	0,27 ± 0,01	0,40 ± 0,01	ND
IVA	15,4 ± 4,64	2,04 ± 0,01	< LOD	2.61 ± 0.02	1,35 ± 0,07	0,35 ± 0,01	ND
IVB	< LOD	2,30 ± 0,08	< LOD	2.71 ± 0.15	1,44 ± 0,07	0,36 ± 0,01	ND
VA	18,4 ± 6,22	7,23 ± 0,01	< LOD	7.39 ± 0.33	6,77 ± 0,14	0,44 ± 0,01	ND
VB	16,5 ±	7,33 ±	< LOD	6.46 ±	6,34 ±	0,45 ±	ND



	2,18	0,01		0.16	0,28	0,01	
--	------	------	--	------	------	------	--

Tabla IV: Concentración de iones medidos en los suelos sub-superficiales

En la Tabla V se presentan los resultados obtenidos de las relaciones C/S de las distintas fuentes analizadas. Por la dificultad asociada a la toma de muestra en conductos a altas temperaturas, tanto en el caso de la Central Térmica, como en las fuentes presentes en la refinería (cracking y hornos) no fue posible tomar muestras para su caracterización microscópica.

Tipos de fuentes	Fuentes	Relación C/S
Industriales	Caldera planta acopio granos	0,8
	Granuladores planta prod. urea	3,6
	Galpón planta prod. urea	0,5
	Acopio soja	11,9
	Acopio girasol	13,1
	Acopio trigo	15,6
Suelos	Desierto	4,2
	Agrícola	8,7
	Industrial	3,9

Tabla V: Relación C/S

En las Figuras 5 a 7 se presentan las imágenes obtenidas para las plantas de acopio de cereales: soja, girasol y trigo respectivamente. El estudio de distribución de tamaños mostró para el caso de la soja que el 85% de las partículas son menores a 4 µm; para el girasol, el 88% presentaron tamaños entre 0,25 y 4 µm; mientras que en el caso del trigo, el 90% resultaron entre 0,25 y 0,50 µm.

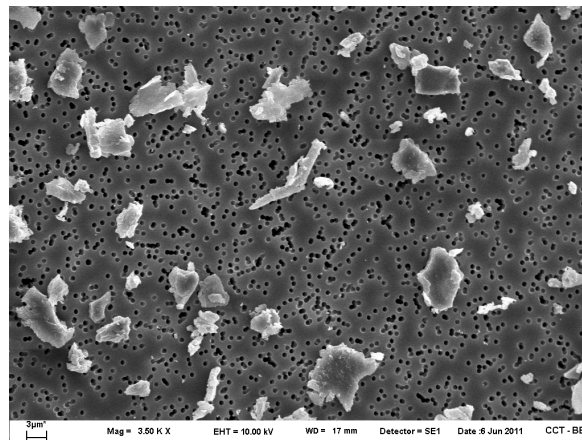


Figura 5: Micrografía de las partículas de la planta de acopio de soja

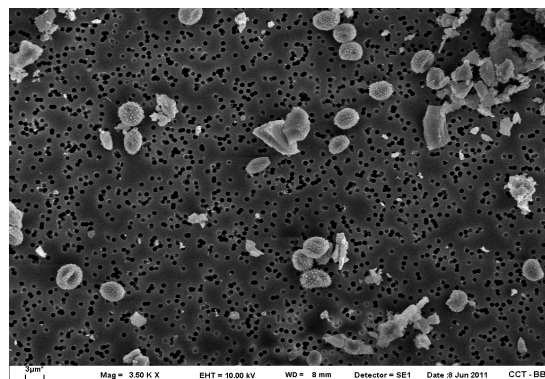


Figura 6: Micrografía de las partículas de la planta de acopio de girasol



Figura 7: Micrografía de las partículas de la planta de acopio de trigo

En la Figura 8 se presenta la morfología de las partículas de la otra fuente difusa, que es un depósito de producto terminado de la planta de producción de urea. Las partículas colectadas muestran una distribución de tamaño variable, con el 82% de inferior a 4  $\mu\text{m}$ .



Figura 8: Micrografía de las partículas de la planta de producción de urea



## DISCUSIÓN

Los elementos marcadores de cada una de las fuentes dependen de la configuración presente en el área de estudio. Aquellos elementos con marcada presencia en una de las fuentes y ausencia en las otras, pueden considerarse indicadores de la fuente en cuestión. Para las fuentes industriales analizadas en este estudio se realizó la siguiente identificación:

- Central térmica; Mg, Ni y V
- Cracking catalítico: Al y V
- Granuladores de la planta de producción de urea: Cu
- Galpón de la planta de producción de urea: Mg
- Plantas de acopio, soja: Fe y Ti
- Plantas de acopio, girasol: As, Fe y Ti
- Plantas de acopio, trigo: Ca, Cr, Fe y Mg

Por tratarse de industrias con residuos de tipo orgánico los perfiles de los granuladores y de las plantas de acopio muestran poca presencia de metales y metaloides. Por esa razón los elementos previamente indicados mayormente se vinculan a los únicos elementos encontrados. Se destaca la variabilidad observada entre las dos muestras analizadas en los granuladores de la planta de urea, ya que mientras que en el granulador 1 se detectaron Cu, Pb y Zn, en el granulador 2 se encontró sólo Cu, pero en una proporción mucho mayor que en la muestra anterior. Por esa razón se considera entonces al Cu como trazador de esta fuente para la configuración del lugar de estudio.

En el caso de los suelos los componentes mayoritarios fueron los esperados: Al, Ca, Fe, Mg, Mn y Ti, tanto en la capa superficial como así también en la capa sub-superficial. En la capa más profunda se encontró mayor concentración de Ca en los tres sectores, pero principalmente en el desierto. Los siguientes elementos fueron encontrados en proporciones muy inferiores a los anteriores, As, Ba, Cd, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, V y Zn. En el sector industrial, se encontraron las mayores concentraciones de Ba, V y Zn, tanto en superficie como en la capa sub-superficial. Mientras que en el sector agrícola y desértico, este grupo de elementos se hallaron en concentraciones menores y similares entre sí.

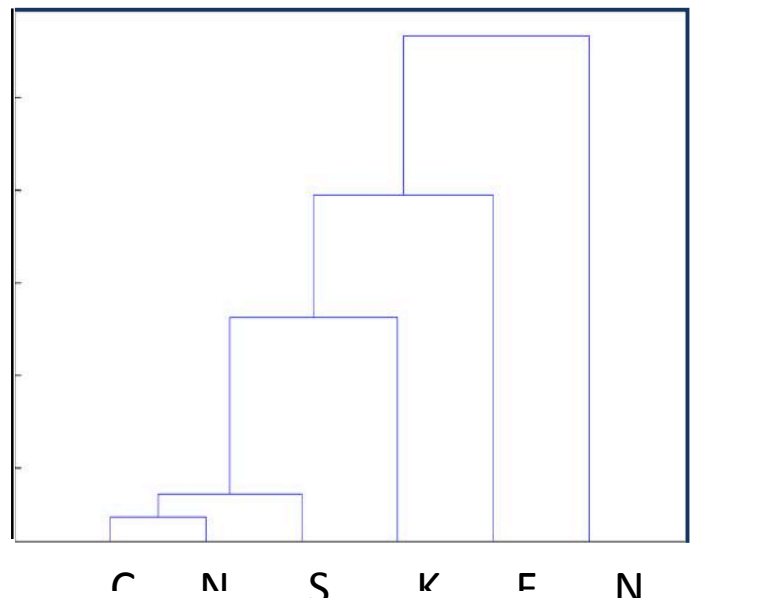
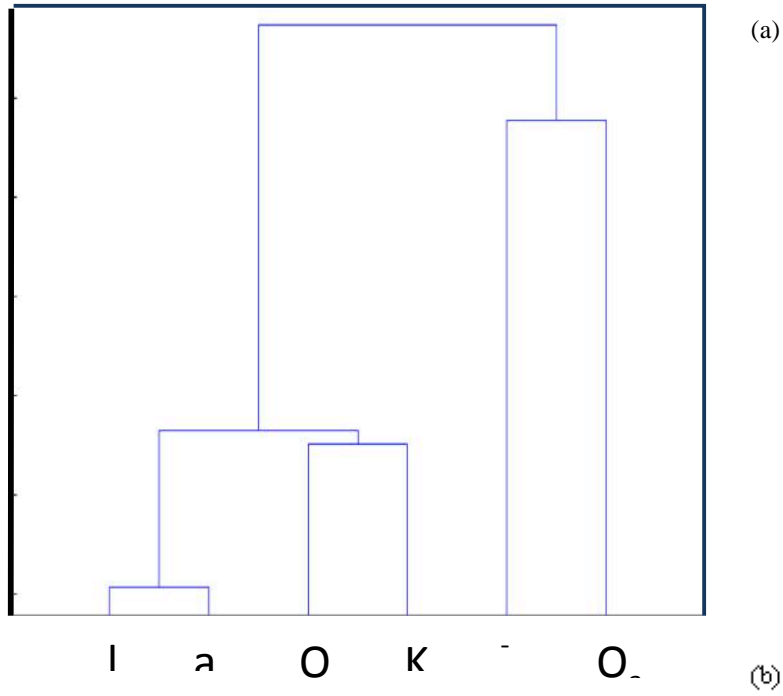


Figura 9: Gráficos de agrupamientos de iones solubles en agua.

(a) Suelos superficiales (b) Suelos sub-superficiales.

En cuanto a los iones el principal resultado obtenido está vinculado a una mayor presencia de nitratos en la capa superficial, comparándola con la sub-superficial. Esto puede ser atribuido a la



importancia del uso de fertilizantes en la composición de los suelos de la zona. En la Figura 9 se presentan los gráficos de agrupamientos de aniones y cationes, tomando como medida la distancia euclídeana. Se observa que en las muestras superficiales se presentan tres grupos bien definidos: (1)  $\text{Cl}^- - \text{Na}^+$ ; (2)  $\text{SO}_4^{2-} - \text{K}^+$ ; (3)  $\text{F}^- - \text{NO}_3^-$ . El primer grupo se reproduce también en los suelos sub-superficiales, mientras que los otros grupos no aparecen. Sin embargo, por tratarse de una localización costera, es de esperar que los aerosoles marinos tengan también presencia en las muestras de calidad de aire. Los resultados de este estudio indican que la presencia conjunta de estos iones no podrá ser utilizada de por sí como marcador de los aerosoles marinos, como suele indicarse en la bibliografía [7].

Respecto al análisis elemental de la relación carbono/azufre, en la figura 10 se puede observar que este parámetro se puede utilizar como indicador de las plantas de acopio de granos.

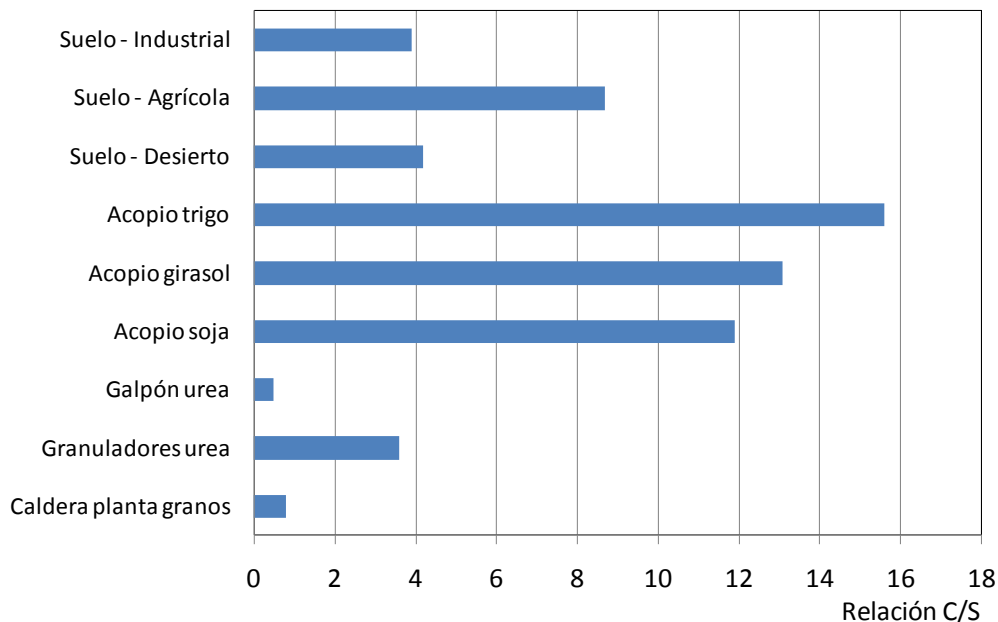


Figura 10: Relación Carbono/Azufre de las distintas fuentes

## CONCLUSIONES

En este trabajo se presenta, por primera vez, la caracterización física y química de las partículas emitidas por las distintas fuentes presentes en un área extensa de la Argentina caracterizada por ser un conglomerado urbano de tamaño mediano en la jerarquía de ciudades del país, y es una zona de interés donde convergen los impactos de la desertificación, la intrusión marina, la actividad industrial y el transporte vehicular. Se identificaron los elementos trazadores de cada una de las fuentes industriales así como de los distintos tipos de suelos de las áreas cercanas. La



notoria presencia de nitratos en las capas superficiales de todos los suelos analizados podrá ser utilizada como marcador del impacto en los aerosoles atmosféricos presentes en Bahía Blanca de todas las actividades que supongan la remoción de suelos.

El V, usualmente utilizado como trazador de las centrales térmicas y las refinerías, debido a la presencia de ambos tipos de fuentes no alcanza por sí solo para indicar las actividades de ambas fuentes. En este estudio se obtuvo que la presencia combinada de V y Al puede utilizarse para identificar las actividades de la refinería, mientras que el V, Mg y Ni son marcadores de la Central Térmica.

Los resultados de este estudio muestran, además, que la relación carbono/azufre es un indicador útil para discriminar el aporte de fuentes de baja concentración de compuestos inorgánicos. Este resultado es relevante para el área de estudio, en donde existe una importante actividad agrícola y donde se encuentra instalada una de las plantas de producción de urea más grandes de Sudamérica.

#### Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por la Municipalidad de Bahía Blanca y por los subsidios PICT-2011-Nº 1195 de la ANPCyT y PIP 486 (CONICET).

#### REFERENCIAS

- [1]Carignano C., Elosegui L., Abrego M. P., Spagnolo S., Esandi M. E., Frapichini R. y Reissing O. E. 2003. Prevalencia de asma y síntomas indicadores en tres barrios de la ciudad en el marco de una encuesta de propósitos múltiples. *Archivos de Asma e Inmunología Clínica*; 34; 4; 119-128.
- [2]Fujiwara F., Rebagliati R. J., Marrero J., Gómez D., & Smichowski P. 2011. Antimony as a traffic-related element in size-fractionated road dust samples collected in Buenos Aires. *Microchemical Journal*, 97(1), 62-67.
- [3]Smichowski P., Gómez D.R., Dawidowski L.E., Giné M.F., Sánchez Bellato A.C., Reich. S.L. 2004. Monitoring trace metals in urban aerosols from Buenos Aires city. Determination by plasma-based techniques. *Journal of Environmental Monitoring* 6, 286-294.
- [4]Smichowski P., Gómez D., Frazzoli C., & Caroli S. 2008. Traffic-related elements in airborne particulate matter. *Applied Spectroscopy Reviews*, 43(1), 23-49.
- [5]Carvacho O., Ashbaugh L., Brown M., Flocchini R. 2004. Measurement of PM<sub>2.5</sub> emission potential from soil using the UC Davis resuspension test chamber. *Geomorphology* 59 75-80.
- [6]U.S.EPA, IP-10A Method. 1990. "Determination of Fine Particulate Matter in Indoor Air using Size-Specific Impaction". *Compendium of methods for the Determination of Air Pollutants in Indoor Air*. Environmental Protection Agency (EPA). USA.



[7]M. Dos Santos, L. Dawidowski, P. Smichowski, A.G. Ulke, D. Gómez, 2012. Factors controlling sea salt abundances in the urban atmosphere of a coastal South American megacity. *Atmos. Environ.*, 59, 483-491.





# Evaluación de la calidad del aire de la ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca mediante el empleo de *Parmotrema austrosinense* como biomonitor.

Ocampo, A.I, Moyano, R.G, Coronel, R.J, Acosta, W.D, Segura, L.J.M, Cañas, M.S.

*Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas. Universidad Nacional de Catamarca. Maximio Victoria N° 55. (4700) S.F.V. de Catamarca, Argentina.*

E-mail: marthacanas@tecno.unca.edu.ar

**Palabras Clave:** Azufre, Malondialdehído, Índice de polución, Liquen.

## RESUMEN

El empleo de monitores biológicos o “biomonitorio” es una herramienta valiosa para la gestión de la calidad del aire y una alternativa válida para muchas ciudades. Los líquenes son sensibles a la polución y por lo tanto resultan muy apropiados para tal fin. En este trabajo se evalúa la calidad del aire de San Fernando del Valle de Catamarca mediante el biomonitor *Parmotrema austrosinense* (Zahlbr.) Hale. Talos liquénicos se colectaron en un área poco antropizada y se trasplantaron en bolsa al sitio de colección (Colpes) y a sitios de monitoreo con distintas características ambientales distribuidos en toda la ciudad. Luego de tres meses de exposición, se analizó el contenido de malondialdehído (MDA) como parámetro de respuesta, y de azufre como parámetro de acumulación. Además, se calculó un índice de polución (I.P.). Las muestras trasplantadas al área urbana mostraron contenidos de MDA y azufre significativamente superiores a los de aquéllas trasplantadas al sitio de colección. Así mismo, en las muestras urbanas se observaron mayores valores del I.P. respecto de las muestras de Colpes, lo cual estaría indicando cierto grado de afectación de la calidad del aire de la ciudad. Dentro de la misma, se observaron mayores valores de concentración de MDA, azufre y valores del I.P. en líquenes trasplantados a sitios cercanos al río del Valle, probablemente debido al efecto combinado de polutantes urbanos y condiciones de humedad atmosférica. Se observaron también elevados valores de MDA y del I.P. en talos trasplantados a sitios de alto tránsito, indicando una relativamente baja calidad de aire en estos sitios.



## INTRODUCCIÓN

En San Fernando del Valle de Catamarca (Argentina) viene observándose un significativo deterioro de la calidad del aire causadas por fuentes de emisión locales y regionales; a pesar de ello no se cuenta con suficiente información sobre los niveles de elementos tóxicos en el ambiente, como así tampoco sobre la caracterización de áreas contaminadas, posibles fuentes de emisión y la contribución que éstas representan.

La evaluación de la calidad atmosférica mediante el empleo de organismos, constituye uno de los tópicos más recientes de la Química Ambiental y se denomina bioindicación o biomonitoreo. Un bioindicador, es un organismo que reacciona a una dinámica ambiental específica mediante cambios observables y cuantificables. Midiendo estos cambios, como respuesta a una forma especial de polución pueden extraerse conclusiones sobre la fuente de emisión, y posiblemente su intensidad (dada como la relación entre el grado de polución y los cambios mensurables en el bioindicador); así como de la calidad global de ese ambiente [1].

El uso de biomonitores de contaminación atmosférica representa una importante contribución a la gestión de la calidad del aire teniendo en cuenta que las reacciones de organismos vivos reflejan los efectos causados por todos los contaminantes atmosféricos y constituyen una expresión de las condiciones ambientales [2]. Inventariar estas reacciones permite realizar predicciones sobre los estados ambientales previos y presentes, así como detectar efectos sinérgicos y antagónicos de los contaminantes atmosféricos presentes en un área [3].

Evaluar la calidad del aire mediante especies líquenicas resulta muy apropiado si se considera su comportamiento ecofisiológicos de respuesta ante fenómenos de polución. Así, las condiciones ambientales cambiantes generan modificaciones en los patrones químico-fisiológicos de líquenes, los que para garantizar su supervivencia, deben adaptarse y mantener su homeostasis. Esto puede ser alcanzado gracias a la capacidad de acumular sustancias potencialmente tóxicas, o de generar a partir de éstas otros productos de menor toxicidad.

En Argentina, Cañas et al. (1997) [4] han establecido la capacidad bioindicadora de tres especies de *Parmotrema* a contaminantes atmosféricos urbanos. Una de ellas, *P. austrosinense*, ha sido utilizada como biomonitora de calidad de aire en la provincia de Catamarca: en regiones áridas y semiáridas del departamento Belén [5], en la zona minera del oeste [6, 7] y en el área central de la capital de la provincia [8, 9].

En este trabajo se evalúa la calidad del aire de San Fernando del Valle de Catamarca mediante el biomonitor *Parmotrema austrosinense* (Zahlbr.) Hale mediante el análisis de parámetros tales como concentración de malondialdeído (MDA), contenido de azufre (S) y un índice de polución (I.P) correspondientes a la primera campaña de un muestreo anual realizado durante el período 2011-2012.



## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio y sitios de muestreo

La ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca, se encuentra a los 28° 28' 02" S y 65° 46' 51" O, a una altura de 545 m s.n.m. Está ubicada en el denominado Valle Central de Catamarca, extensa depresión tectónica delimitada al oeste por la Sierra de Ambato-Manchao y al este por la Sierra de El Alto- Ancasti. Su límite norte está dado por las últimas estribaciones de las Sierras de Fariñango y Gracianas, las cuales descienden hasta hundirse en el relleno cuartario un poco al norte y este, respectivamente, de la ciudad capital. Fitogeográficamente, corresponde a la Región del Chaco Árido [10], Provincia Chaqueña [11]. El clima es semi-árido, con un promedio de precipitación anual que oscila entre los 300 y 360 mm y concentración estival. La temperatura media anual para la ciudad capital es de 20,2 °C [12]. Los vientos predominantes son del NEE y del S y SO.

El Municipio de Catamarca comprende el área urbana (10 % de la superficie departamental) y un área rural, pudiendo distinguirse en el mismo tres grandes unidades territoriales: el sistema serrano, el sistema pedemontano y el sistema fluvial del Río del Valle. Cuenta con una población de 160.058 habitantes [13], a la cual deben agregarse los pobladores de los departamentos aledaños (Valle Viejo y Fray Mamerto Esquiú, con 28.291 y 11.751 habitantes, respectivamente), los cuales conforman el "Gran Catamarca".

Estructuralmente, en la ciudad pueden distinguirse las siguientes áreas: a) nodo multifuncional a escala urbano-regional, asentado sobre trazado fundacional; b) área pericentral compacta y consolidada, con geometría paralela al trazado original; c) área intermedia de extensión más reciente, con quiebres en su trazado derivados de accidentes topográficos, hidrográficos y otros (traza antiguo aeropuerto); d) áreas de extensión mediante planes de viviendas (norte y sur), que rompen la compacidad histórica de la planta urbana produciendo grandes vacíos intermedios. Así mismo, en el sector sur de la ciudad se reconoce una zona de asentamiento industrial, que por su localización constituye un sector terminal de la ciudad. En esta zona se localiza, además, la Planta Municipal de Volcado y Tratamiento de Residuos Sólidos Urbanos (Basurero Municipal).

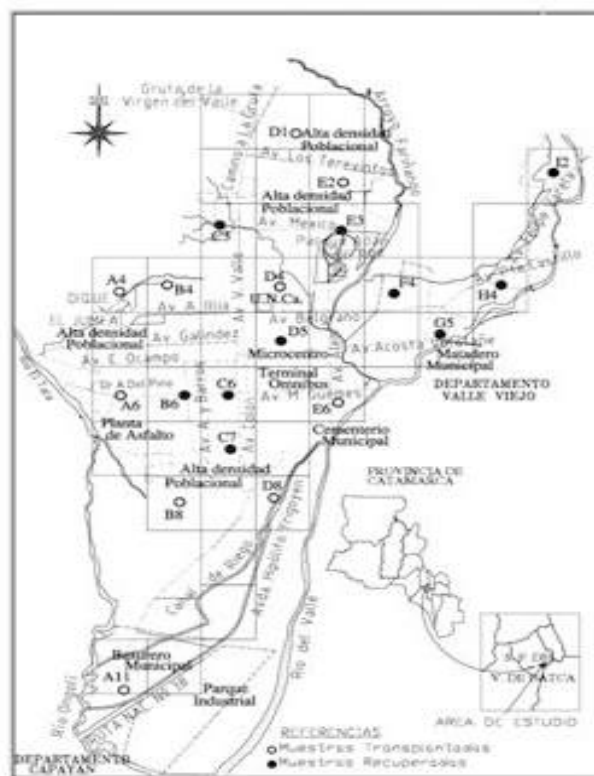


Figura 1: Ubicación de los sitios de monitoreo en San Fernando del Valle de Catamarca.

### Material líquénico y transplante

En julio de 2011, se colectaron talos de la especie líquénica *Parmotrema austrosinense* (Zahlbr.) Hale en una zona con bajo nivel de antropización (cerca de Colpes, Catamarca). Los talos fueron acondicionados, dispuestos en bolsas de tul de nylon [14] y posteriormente trasplantados a cada sitio de monitoreo, a tres metros sobre el nivel del suelo sobre postes (tres bolsas líquénicas en cada sitio). A modo de control se trasplantaron bolsas líquénicas ( $n = 6$ ) al sitio de colección. Luego de tres meses de exposición, las muestras correspondientes a 10 de los 20 sitios fueron recuperadas. En el laboratorio, los líquenes fueron triturados a fin de lograr homogeneidad, y se colocaron en freezer a  $-4^{\circ}\text{C}$  hasta su análisis.

### Análisis químicos:

Los parámetros químicos-fisiológicos analizados se realizaron a partir de tres submuestras independientes extraídas de cada bolsa líquénica y comprendieron:

#### Cuantificación de MDA:

En sistemas biológicos, la presencia de productos de oxidación tales como malondialdehído (MDA) está directamente relacionada con el comienzo de la peroxidación de ácidos grasos insaturados



[15]. Todas las membranas biológicas son sensibles a los procesos oxidativos generados por radicales libres, y entre los contaminantes atmosféricos que pueden iniciar estas reacciones se encuentran el O<sub>3</sub> y SO<sub>2</sub>[16]. Se midió la concentración de MDA mediante un método colorimétrico [17] de acuerdo a González y Pignata [14] y se expresó en μmol/g P.S.

#### *Contenido de azufre (S):*

Una de las principales características de los líquenes es su capacidad de acumular distintos elementos tales como metales trazas, elementos radioactivos y azufre, como así también a que son sensibles a diferentes polutantes particulados y gaseosos, particularmente SO<sub>2</sub> [18]. Las variaciones en el contenido de azufre han sido estudiadas en diversas especies liquénicas expuestas a polutantes atmosféricos [14, 19, 20], las cuales han permitido identificar sitios con distintos niveles de azufre en el aire. El contenido de azufre de los talos liquénicos se determinó a través de un método turbidimétrico [14] y se expresó en mg/g P.S.

#### *Índice de Polución (I.P.):*

El I.P. fue calculado según la ecuación desarrollada por González y Pignata (1994) [14]. En el mismo se incluyen parámetros químico-fisiológicos tales como el índice de feofitización: Feofitina a/Clorofila a (Feof. a/Clor. a) y el contenido de malondialdehído (MDA); y azufre como parámetro de acumulación:

$$I.P. = [(Feof. a/Clor. a) + (S_T/S_B)] (MDA_T/MDA_B)$$

Donde Feof. a corresponde a la concentración de feofitina a expresada en mg/g P.S.; Clor. a corresponde a la concentración de clorofila a en mg/g P.S.; S es el contenido de azufre en mg/g P.S.; mientras que MDA es la concentración de malondialdehído en μmol/g.P.S. El subíndice T corresponde a las determinaciones realizadas en cada una de las muestras trasplantadas, mientras que el subíndice B, corresponde a aquellas realizadas sobre la muestra basal.

Los resultados obtenidos en las determinaciones de los parámetros químicos Feof. a, y Clor. a utilizados en el cálculo de este índice se encuentran publicados en Córdoba et al. (2012) [21] y no se muestran en el presente trabajo.

#### **Análisis estadísticos**

Los datos correspondientes a los distintos parámetros fisiológicos se analizaron mediante análisis de la varianza (ANOVA) para la comparación entre sitios de transplante. Cuando las diferencias fueron significativas a un  $p < 0,05$ , se aplicó el test de Tukey de comparaciones múltiples.



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se presentan los resultados obtenidos para los parámetros cuantificados en *P. austrosinense* trasplantada al sitio de colección y a 10 sitios dentro de la ciudad de S.F.V. de Catamarca. Las muestras trasplantadas al área urbana mostraron contenidos de MDA y azufre significativamente superiores a los de aquéllas trasplantadas al sitio de colección. Así mismo, en las muestras urbanas se observaron mayores valores del I.P. respecto de las muestras de Colpes. Dado que el incremento en los valores de estos parámetros en líquenes se asocia a la presencia de polutantes atmosféricos urbanos [4, 14, 22], estos resultados estrían indicando cierto grado de afectación de la calidad del aire de la ciudad respecto del área de colección, tal como fuera reportado previamente [21].

		MDA ( $\mu\text{mol/g P.S.}$ )	S ( $\text{mg/g P.S.}$ )	I.P.	
Sitio de colección	Colpes	0,103 $\pm$ 0,0134	0,667 $\pm$ 0,078	1,750	$\pm$ 0,115
	C3	0,141 $\pm$ 0,014 bcd	0,653 $\pm$ 0,140 a	2,317	$\pm$ 0,191 a
	E3	0,104 $\pm$ 0,004 a	1,254 $\pm$ 0,113 bcd	2,340	$\pm$ 0,184 ab
	F4	0,143 $\pm$ 0,007 cd	0,638 $\pm$ 0,064 a	2,310	$\pm$ 0,094 a
	H4	0,159 $\pm$ 0,014 d	0,948 $\pm$ 0,189 abc	3,027	$\pm$ 0,410 abc
	I2	0,130 $\pm$ 0,006 abcd	1,360 $\pm$ 0,190 cd	3,031	$\pm$ 0,243 abc
Sitios urbanos	D5	0,156 $\pm$ 0,017 d	1,042 $\pm$ 0,082 abcd	3,193	$\pm$ 0,363 bc
	B6	0,156 $\pm$ 0,019 d	0,829 $\pm$ 0,057 ab	2,831	$\pm$ 0,489 abc
	C6	0,123 $\pm$ 0,005 abc	0,919 $\pm$ 0,155 abc	2,416	$\pm$ 0,277 abc
	C7	0,109 $\pm$ 0,007 ab	0,929 $\pm$ 0,028 abc	2,207	$\pm$ 0,132 a
	G5	0,133 $\pm$ 0,005 abcd	1,442 $\pm$ 0,322 d	3,251	$\pm$ 0,325 c
	Media $\pm$ D.S.	0,135 $\pm$ 0,020	1,001 $\pm$ 0,276	2,692	$\pm$ 0,41
ANOVA					
Colpes vs. urbano *		p < 0,001	p < 0,001	p < 0,001	
Entre sitios urbanos **		p < 0,001	p < 0,001	p < 0,001	

Tabla 1. Valores de Media  $\pm$  D.S. para los parámetros cuantificados en *P. austrosinense* trasplantada al sitio de colección y a S.F.V. de Catamarca (sitios urbanos). Se presentan los resultados de los ANOVA, donde los grados de libertad (g.l.) para cada análisis son: \* g.l. = 1; \*\* g.l. = 9. Los sitios urbanos seguidos de una misma letra no difieren a un p < 0,05 (Test de Tukey).

Dentro de la ciudad, se observó una mayor concentración de MDA en el sitio H4, ubicado sobre una calle transitada en una zona baja cercana al río del Valle. Así mismo fue elevada en el sitio



D5, ubicado en una calle muy transitada del microcentro de la ciudad; como así también, en el sitio B6 que está ubicado en una avenida de alto tránsito de la zona alta de la ciudad. Los valores elevados de concentración de MDA en líquenes trasplantados a los sitios mencionados estarían reflejando estrés oxidativo producido por polutantes de origen vehicular. En el punto H4 es probable que, además, se produjera sobre el biomonitor un efecto combinado de polutantes urbanos y condiciones de humedad atmosférica. Según González et al. (1998, 2003) [23, 24], condiciones de elevada humedad atmosférica en áreas cercanas al río Suquía, potenciaron el efecto producido por polutantes atmosféricos en líquenes trasplantados a la ciudad de Córdoba.

El contenido de azufre fue mayor en líquenes trasplantados al sitio G5, ubicado en proximidades de la Avenida Acosta Villafañe (ruta provincial n° 33) y del matadero municipal. Es ésta una zona de asentamientos informales con viviendas precarias a la vera del río del Valle, donde es continua la quema de basura y el uso de leña como combustible de uso doméstico. Así mismo, el contenido de azufre fue elevado en el sitio I2, ubicado en Banda de Varela, en cercanías del río del Valle. En un estudio realizado con *Canomaculina consors* como biomonitor [25] también se observaron contenidos de azufre relativamente altos en este sitio, aunque la fuente de emisión se desconoce al momento.

La aplicación de técnicas de trasplante a situaciones complejas tales como áreas urbanas requiere, no sólo de la cuantificación de varios parámetros en el líquen, sino también de una combinación de éstos a través de índices que sean sensibles a las modificaciones de la calidad atmosférica que se pretende evaluar [27]. En este sentido, el índice de polución (I.P.) propuesto por González y Pignata (1994) [14] ha resultado muy útil para determinar calidad de aire mediante el empleo de *P. austrosinense* y otras especies de líquenes [7, 14, 22, 26]. En este estudio, el mayor valor de I.P. se obtuvo para muestras trasplantadas al punto G5, siendo así mismo elevado para aquéllas trasplantadas al sitio D5 (asentamientos cercanos al río y microcentro, respectivamente). Por tanto, y de acuerdo al I.P., estos serían los sitios de menor calidad de aire de los 10 considerados en este estudio. Córdoba et al. (2012) [21] arribaron a conclusiones similares, a través del análisis de otros parámetros biomarcadores de estrés por polución en las mismas muestras de *P. austrosinense*. Para el sitio G5, y a semejanza de lo inferido para el sitio H4, los mayores niveles de estrés detectados en los talos trasplantados podrían deberse al efecto producido por polutantes urbanos potenciados por las condiciones de humedad atmosférica. Para el sitio D5, los resultados estarían mostrando el efecto producido por polutantes de origen vehicular.

## CONCLUSIONES

Sobre la base de los parámetros analizados en *P. austrosinense*, se infiere un cierto grado de afectación de la calidad de aire en San Fernando del Valle de Catamarca durante el período de



estudio, en comparación con el área donde los líquenes fueron colectados. Dentro de la ciudad los sitios ubicados en cercanías del río del Valle resultaron más afectados en relación con la calidad de aire, probablemente debido al efecto combinado de polutantes urbanos y condiciones de humedad atmosférica. La respuesta químico-fisiológica del biomonitor indicaría así mismo una baja calidad de aire en sitios de la ciudad caracterizados por altos niveles de tránsito vehicular, principal fuente de polutantes atmosféricos en la ciudad.

## REFERENCIAS

- [1] B. Markert, 1993. Instrumental Analysis of Plants. En: *Plants as Biomonitors - Indicators for Heavy Metals in the terrestrial Environment*. B. Markert, ed., VCH, Weinheim, pág. 65-103.
- [2] W. J. Maning y W.A. Feder, 1980. *Biomonitoring Air Pollutants with Plants*, Applied Science Publishers, London.
- [3] M. Kovács, 1992. *Biological indicators in environmental protection*, Ellis Horwood, New York.
- [4] M.S. Cañas, L. Orellana and M.L. Pignata, 1997. *Annales Botanici Fennici*, **34**, 27-34.
- [5] L.I. Palomeque, C.B. Mohaded Aybar, A.I. Ocampo, P. Severini y M.S. Cañas, 2006. Evaluación de la calidad de aire en un sector del departamento Belén (Catamarca) mediante el empleo de *Parmotrema austrosinense* como biomonitora. En: *Investigaciones Docentes en Ingeniería*. Editorial Sarquís, pág.189-192.
- [6] C.B. Mohaded Aybar, A.I. Ocampo, R.L. Villegas y M.S. Cañas, 2008. Comparación de la respuesta química de dos especies liquénicas transplantadas a la región minera del oeste de Catamarca. En: *Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA*. Ed. ECU UNCa. Tomo I, pág. III-71-75.
- [7] C.B. Mohaded Aybar, A.I. Ocampo, L.I. Palomeque y M.S. Cañas, 2010. Determinación del contenido de azufre y un índice de polución en dos especies liquénicas transplantadas a la región minera del oeste de Catamarca. En: *Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA*. Ed. EUNSa - EdiUNJu, pág. 201-205.
- [8] A.I. Ocampo, R.C. Jasan, C.B. Mohaded Aybar, R.G. Moyano, S.K. Córdoba, R.R. Plá y M.S. Cañas, 2011. Relación entre el nivel de tránsito vehicular y el contenido de elementos traza en líquenes transplantados al área central de la ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca. En: *Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA*, Editorial Científica Universitaria, Tomo 1, pág. 557-564.
- [9] A.I. Ocampo, C.B. Mohaded Aybar, R.G. Moyano, V.A. Álvarez, W.D. Acosta y M.S. Cañas. 2011. Análisis de la respuesta fisiológica de *Parmotrema austrosinense* transplantada al área central de San Fernando del Valle de Catamarca, Actas del 7° Encuentro del "International Center of Earth Sciences" (E-ICES 7), Malargüe, Argentina.





- [10] J. Morello, L. Sancholuz y C. Blanco, 1977. Estudio macroecológico de los Llanos de la Rioja, *IDIA*, **34**, 242-248.
- [11] A.L. Cabrera, 1976. *Regiones fitogeográficas argentinas*. *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Ganadería*, ACME, Buenos Aires.
- [12] M.C. Morlans, 1995. Regiones naturales de Catamarca: Provincias Geológicas y Provincias Fitogeográficas, *Revista de Ciencia y Técnica UNCa*, **2(2)**, 1-42.
- [13] Instituto Nacional de Estadísticas y Censos - INDEC, 2010. *Censo Nacional de Población, hogares y viviendas*, Serie A, Número 1.
- [14] C.M. González y M.L. Pignata, 1994. The influence of air pollution on soluble proteins, chlorophyll degradation, MDA, sulphur and amounts of heavy metals in a transplanted lichen, *Chemistry and Ecology*, **9**, 105-113.
- [15] M.A. Mehelman y C. Borek, 1987. Toxicity and biochemical mechanisms of ozone. *Environmental Research*, **42**, 36-53.
- [16] J.F. Mead, 1987. Free radical mechanism of lipid damage and consequences for cellular membrane. En: *Free Radicals in Biology*. W.A. Pryor, ed., London, Academic Press, pág.76-122.
- [17] R.L. Heath y L. Packer, 1968. Photoperoxidation in isolated chloroplast. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acids peroxidation, *Archives of Biochemistry and Biophysics*, **125**, 189-198.
- [18] V. Ahmadjian, 1993. *The Lichen Symbiosis*, John Wiley and Sons, New York.
- [19] J. Garty, Y. Cohen y N. Kloog, 1998. Airborne elements, cell membranes, and chlorophyll in transplanted lichens, *Journal of Environmental Quality*, **27**, 973-979.
- [20] A. Vingiani, P. Adamo y S. Giordano, 2004. Sulphur, nitrogen and carbon content of Sphagnum capillifolium and Pseudevernia furfuracea exposed in bags in the Naples urban area, *Environmental Pollution*, **129**, 145-158.
- [21] S.K. Córdoba, A.I. Ocampo, R.G. Moyano y M.S. Cañas, 2012. Análisis del contenido de ácido lecanórico y pigmentos fotosintéticos en líquenes trasplantados a San Fernando del Valle de Catamarca, *Producciones Científicas de la Facultad de Tecnología III*, Editorial Científica Universitaria UNCa, pág. 87-94.
- [22] C.M. González y M.L. Pignata, 1996. Biomonitoring of air pollutants from traffic and industries employing *Ramalina ecklonii* (Spreng.)Mey. and Flot. in Córdoba, Argentina. *Environmental Pollution*, **91(3)**, 269-277.
- [23] C.M. González, L.C. Orellana, S.S. Casanovas y M.L. Pignata, 1998. Environmental conditions and chemical response of a transplanted lichen to an urban area. *Journal of Environmental Management*, **53**, 73-81.



- [24] González, C.M., M.L. Pignata y L. Orellana, 2003. Applications of redundancy analysis for the detection of chemical response patterns to air pollution in lichen, *The Science of the Total Environment*, **312**, 245-253.
- [25] J.M. Hernández, A.I. Ocampo y M.S. Cañas, 2013. Análisis de parámetros químico-fisiológicos en el líquen *Canomaculina consors* trasplantado a San Fernando del Valle de Catamarca en dos estaciones del año. Actas del Noveno Encuentro Internacional E-ICES 9, Malargüe, Argentina.
- [26] A.I. Ocampo, J.M. Hernández, R.G. Moyano, V.A. Álvarez, W.D. Acosta, y M.S. Cañas, 2012. Aplicación de dos índices liquénicos en la evaluación de la calidad del aire del área central de San Fernando del Valle de Catamarca. 2012. Trabajos completos presentados en las VIII Jornadas de Ciencia y Tecnología de Facultades de Ingeniería del NOA. S.M. de Tucumán, Argentina. Formato digital.
- [27] C. Gries, 1996. Lichens as indicators of air pollution. En: *Lichen Biology*, T. H. Nash III, ed., University Press, Cambridge, pág. 240-254.



# Oxidación química de recortes de perforación de la industria petrolera.

Peralta, Dario; Gobbi, Maria Florencia; Videla, Maria Silvina; Vardaro, Sergio.

*Laboratorio de Bioprocesos, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo, Centro Universitario, Parque General San Martín, Mendoza, Argentina.*

E-mail: [darioperaltaroca@hotmail.com](mailto:darioperaltaroca@hotmail.com), [mfgobbi25@gmail.com](mailto:mfgobbi25@gmail.com), [svidela@uncu.edu.ar](mailto:svidela@uncu.edu.ar), [svardaro@uncu.edu.ar](mailto:svardaro@uncu.edu.ar)

## RESUMEN

Uno de los residuos generados en la perforación de pozos de petróleo son los recortes o cuttings. Estos están conformados por material excavado y por los fluidos utilizados para perforar. La información existente referida a los componentes químicos presentes en los recortes de perforación permite revelar principalmente dos contaminantes a tratar para una adecuada disposición de estos residuos. Los mismos son los altos niveles de hidrocarburo y sales presentes en lodos de perforación originados por emulsiones inversas, y los altos niveles de sales para el caso de lodos de perforación de base acuosa. Entre las alternativas técnicas para tratar los recortes de perforación podemos mencionar: separación física, biorremediación, incineración, desorción térmica, rellenos de seguridad, estabilización, solidificación, oxidación química, entre otras. En este trabajo nos propusimos evaluar la oxidación química de recortes de perforación en base agua tomando como indicador la disminución de los hidrocarburos totales de petróleo (TPH). El saneamiento de residuos a través de la oxidación química implica transformar las moléculas orgánicas presentes en los mismos mediante la adición de un agente oxidante. El producto de la oxidación será dióxido de carbono y agua o un producto intermedio que puede ser menos tóxico que el original. Para el estudio se realizaron ensayos de laboratorio con un recorte de perforación en base agua que contenía 4360 ppm de TPH. Se ensayaron tres oxidantes químicos: peróxido de sodio, permanganato de potasio y peróxido de hidrógeno más sulfato ferroso. Los resultados obtenidos permitieron concluir que la oxidación química resulta una técnica factible de aplicar a los recortes de perforación en base agua considerando que se alcanzaron porcentajes de remoción de los hidrocarburos presentes superiores al 80%.

**Palabras Clave:** Recortes de perforación, hidrocarburos, oxidación química.



## INTRODUCCIÓN

### Recortes de perforación

En las operaciones de perforación de pozos petroleros, ya sea de exploración o explotación, se produce un fluido de recorte o lodo, el cual es continuamente bombeado y retornado hacia el equipo ubicado en la superficie. La operación de perforación requiere el uso de productos químicos que auxilien para prevenir la entrada y migración de los fluidos formados. El impacto ambiental de estos residuos depende de la formulación del fluido de recorte y de las mezclas que forma con los hidrocarburos. Las formulaciones utilizadas como fluidos de recorte pueden agruparse en dos tipos: fluidos de recorte base aceite y fluidos de recorte base agua, siendo estos últimos los que ensayaremos en el presente trabajo. [1]

Si bien las operaciones de perforación modernas generan diversas opciones para la eliminación de residuos, la mayor parte de los mismos se asocia con el material excavado o recorte del pozo. La combinación de concientización ambiental creciente, las nuevas regulaciones en materia de vertidos y situaciones de perforación desafiantes, condujo a la industria del petróleo y el gas a desarrollar nuevas tecnologías de fluidos de perforación y manejo de residuos para respaldar los nuevos diseños de pozos de avanzada, fomentando al mismo tiempo el cuidado del medio ambiente.

En este trabajo se considera como recorte a aquel residuo originado por la operación de perforación no reutilizado en el pozo. Una gestión inadecuada de los mismos puede originar graves complicaciones en la operación de los sectores destinados al tratamiento de suelos. Dentro de las alternativas técnicas para tratar los recortes de perforación según EPA y Drilling Waste Management Information System podemos mencionar: separación física, biorremediación, incineración, desorción térmica, rellenos de seguridad, estabilización, solidificación y oxidación química entre otros.

### Oxidación Química

El saneamiento de residuos a través de la oxidación química implica transformar las moléculas orgánicas presentes en los mismos mediante la adición de un agente oxidante. El producto de la oxidación será dióxido de carbono y agua o un producto intermedio que puede ser menos tóxico que el original. Estos productos intermedios podrán ser susceptibles de ser tratados posteriormente mediante diversos métodos biológicos. La oxidación química de los residuos es una tecnología capaz de destruir un amplio rango de moléculas orgánicas, incluyendo COV's clorados, mercaptanos, fenoles y moléculas inorgánicas tales como cianuro.

Las reacciones de oxidación y reducción se producen en parejas, constituyendo una reacción redox global. Para el tratamiento de residuos peligrosos mediante la oxidación química es



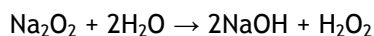
añadido un agente reactivo para oxidar los componentes de interés de los residuos, los cuales actúan como agentes reductores. [2] Los agentes oxidantes son no específicos y reaccionarán con cualquier agente reductor presente en la corriente residual. Por lo tanto, cuando otros compuestos orgánicos diferentes al de interés están en bajas concentraciones, estos procesos son los más económicos. Aunque típicamente la oxidación química se aplica en residuos peligrosos líquidos y aguas subterráneas contaminadas, también los suelos pueden ser susceptibles de estos procesos.

El medio ambiente bajo el cual tiene lugar las reacciones redox tiene gran influencia en su efectividad. Los parámetros que pueden ser utilizados para cuantificar el rendimiento en los tratamientos de residuos peligrosos son la energía libre de las reacciones y el potencial de oxidación reducción (POR). Los factores tales como temperatura y pH, la presencia de catalizadores y la concentración de otros reactivos influenciarán la selección del agente oxidante y determinarán si la relación costo-rendimiento del tratamiento es factible. [2]

### **Agentes Oxidantes**

#### *Peróxido de Sodio.*

Debido a su gran poder oxidante, el peróxido de sodio es utilizado para blanquear pulpa de madera en la industria del papel. Este reactivo se hidroliza como hidróxido de sodio más peróxido de hidrógeno de acuerdo con la reacción:



El peróxido de hidrógeno formado de esta manera se descompone rápidamente en la solución básica resultante, produciendo agua y oxígeno. Esta reacción es marcadamente exotérmica y puede producir la combustión completa de hidrocarburos. El  $\text{Na}_2\text{O}_2$  también produce combustión de un gran número de líquidos orgánicos al contactarlos (específicamente los alcoholes y glicoles), y genera una reacción violenta en presencia de metales en polvo.

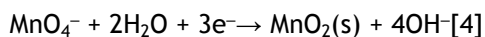
Si bien no se ha encontrado bibliografía respecto del uso de este oxidante para el tratamiento de suelos o recortes de perforación contaminados con hidrocarburos, se decidió incluirlo en el trabajo para poder verificar su uso potencial.

#### *Permanganato de Potasio.*

El permanganato de potasio es el oxidante más prometedor para los tratamientos in situ. La velocidad de oxidación es relativamente lenta, lo cual beneficia su aplicación en campo, pues permite su entrada en el medio poroso sin antes reaccionar con la materia orgánica. Típicos subproductos de la destrucción de los hidrocarburos son dióxido de carbono y agua, manganeso disuelto y óxido de manganeso precipitado. [3] Debido a la acidez del subproducto, los suelos con pobre amortiguación pueden bajar el pH del agua. Las limitaciones del uso del permanganato



son: su selectividad para los etilenos clorados, la producción de óxidos de manganeso que reducen la permeabilidad y la liberación de protones que solubilizan a algunos metales. La reacción química que se lleva a cabo durante la oxidación química con permanganato de potasio se expresa como:

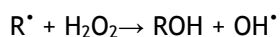
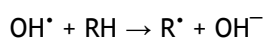
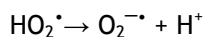
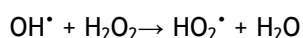
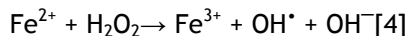


El permanganato es el más atractivo de los oxidantes para uso subterráneo por ser más soluble en agua que el peróxido de hidrógeno, sin la vida limitada o dependencia del pH, de éste o del ozono.

#### *Reactivo de Fenton.*

El proceso Fenton clásico utiliza peróxido de hidrógeno, también conocido como agua oxigenada, que actúa como agente oxidante, e ión ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ ) en calidad de catalizador. El papel del  $\text{Fe}^{2+}$  consiste en descomponer al peróxido de hidrógeno para dar lugar a los radicales hidroxilo ( $\text{OH}^*$ ), que es la especie que realmente va a atacar a los contaminantes. La reacción óptima de generación de los radicales ocurre bajo condiciones de pH relativamente bajo (de 2 a 4). El proceso Fenton ha resultado efectivo para degradar compuestos alifáticos y aromáticos clorados, PCB's, nitroaromáticos, colorantes azo, clorobenceno, fenoles, fenoles clorados y formaldehído.

El reactivo de Fenton actúa durante el proceso de oxidación según:



En los casos en los que el proceso de oxidación química no se realice en suelos ricos en minerales naturales a base de hierro es necesario asegurar la presencia de esta especie metálica. Esto se consigue mediante la adición de sales como sulfato ferroso. Las ventajas de este método son varias:

- El reactivo usado es barato, fácilmente disponible y manipulable y los productos de descomposición son oxígeno y agua.
- El  $\text{Fe}^{2+}$  es abundante y no tóxico.
- La química del proceso (reactivo de Fenton), se ha sabido por más de 50 años y su aplicabilidad a una variedad amplia de contaminantes está bien documentada.
- El proceso se aplica y se controla fácilmente.



- La oxidación química no produce ningún residuo y se puede adaptar al grado de retiro del contaminante deseado. Esto permite que sea utilizado en forma sinérgica con otras tecnologías como lavado y biotratamiento del suelo.

Una de las limitaciones para su aplicación es la movilidad del reactivo de Fenton cuando se introduce en el subsuelo. En primer lugar, el peróxido de hidrógeno es inestable en este medio y se descompone de forma rápida por reacción con los componentes naturales del suelo (materia orgánica y minerales de metales de transición), generando oxígeno y agua. Este consumo improductivo del peróxido de hidrógeno hace que la concentración del oxidante disminuya drásticamente desde el punto de inyección hasta la zona donde está localizada la contaminación. Debido a esto, el proceso de oxidación Fenton in situ implica la inyección de altas concentraciones de peróxido de hidrógeno en las que hay que tener en cuenta, no sólo la demanda estequiométrica para la degradación del contaminante, sino también las reacciones con el propio suelo que ejercen una demanda natural del oxidante. [5]

## DESARROLLO EXPERIMENTAL

### Objetivo

En este trabajo nos propusimos:

- Ensayar la oxidación química de recortes de perforación en base agua tomando como indicador la disminución de los hidrocarburos totales de petróleo (TPH).
- Evaluar el rendimiento en el uso de tres oxidantes utilizados para el saneamiento aguas subterráneas y residuos líquidos contaminantes.

### Recorte

Se transportaron 20 litros de un recorte de perforación en base agua proveniente de un yacimiento ubicado en Neuquén. En el laboratorio se lo trasvasó a un recipiente plástico con capacidad de 36 litros, se le incorporó agua y se homogeneizó. El recorte se caracteriza por tener 4360 mg/kg de hidrocarburos totales de petróleo, 63,3% de humedad, pH igual a 9,4 y una conductividad de 5,2 mS/cm.



### Diseño de experimentos

Se prepararon 12 frascos de 1 litro, con boca ancha y cierre hermético, en los cuales se colocó 150 g. de recorte de perforación y se corrigió el pH a un valor de 4 a través del agregado de 45 ml de ácido clorhídrico al 10%. [7]

Se evaluó el efecto de tres reactivos oxidantes:

- 1) A tres frascos se les incorporaron 5,6 g. de peróxido de sodio.
- 2) A tres frascos se les incorporaron 16 g. de permanganato de potasio.
- 3) A tres frascos se les incorporó reactivo de Fenton, el cual consiste en una solución preparada con 6,5 g. de sulfato ferroso en 30 ml de agua a 100°C acidificada a un valor de pH igual a 3. En un primer paso se incorporó la solución al recorte de perforación e inmediatamente después se agregaron 13,25 ml de peróxido de hidrógeno.

El reactivo oxidante se incorporó en todos los casos por medio de agitación con varilla de vidrio para homogeneizar la mezcla. En cada frasco se introdujo un vial con 20 ml de hidróxido de sodio 0,5 M y se lo dejó suspendido sin que toque directamente la superficie del recorte de perforación. Se cerró herméticamente cada frasco y se colocó en estufa de cultivo a 50° C. Los viales con hidróxido de sodio fueron retirados cada 24 hs para determinar el dióxido de carbono producido.

Antes de colocar los nuevos viales se destaparon los frascos durante media hora. A continuación se introdujeron dichos viales, se cerraron nuevamente los frascos y se volvieron a incubar hasta el día siguiente. Tres frascos con viales de hidróxido de sodio pero sin suelo se utilizaron para control. [8]





### Análisis físicos y químicos

El contenido de humedad del suelo se determinó siguiendo la norma ASTM D 2216-05. El pH en suelo se obtuvo mediante la técnica ISO10390:1994 Ed.1 y la conductividad eléctrica en suspensión 1:1 siguiendo las recomendaciones descritas por el Instituto de Calidad de Suelos, 1999. [6] El contenido de hidrocarburos totales de petróleo se midió por la técnica EPA 418.1 Modificado Solvente. La materia orgánica se determinó por calcinación en mufla a 650°C.

## RESULTADOS

### Tratamiento 1

En este tratamiento se incorporó peróxido de sodio, el cual se encuentra en forma de sólido granulado de color amarillo a blanco. Al ser incorporado y mezclado con el recorte de perforación produjo burbujeo con aumento de volumen, de temperatura y desprendimiento de gases al momento de entrar en contacto. No se observó cambio de color y el recorte se volvió más húmedo. Al abrir los frascos, luego de un período de incubación de 24 hs, se observó una superficie resquebrajada y de apariencia seca. Sin embargo, al homogeneizar previo a la incorporación de una nueva dosis de peróxido de sodio, el lodo volvía a adquirir su consistencia inicial.

	TPH (ppm)	Materia Orgánica (%)	Producción de CO <sub>2</sub> (mg C-CO <sub>2</sub> /kg recorte)
Inicial	4360	2,58	-
Final	ND*	0 ± 0,01	5,1

\*ND = No Detectado. Límite de detección 500 ppm

Tabla 1. Datos de TPH, materia orgánica y CO<sub>2</sub> producido para tratamiento con peróxido de sodio.



En los datos obtenidos se observa una oxidación completa de los hidrocarburos y de la materia orgánica presente en el recorte de perforación.



Durante el período de incubación se observó una baja producción de dióxido de carbono en los dos primeros días de tratamiento y no se detectó dióxido de carbono en los dos días restantes. Esto indica que el reactivo oxidante actúa sobre el recorte al instante de ser incorporado.

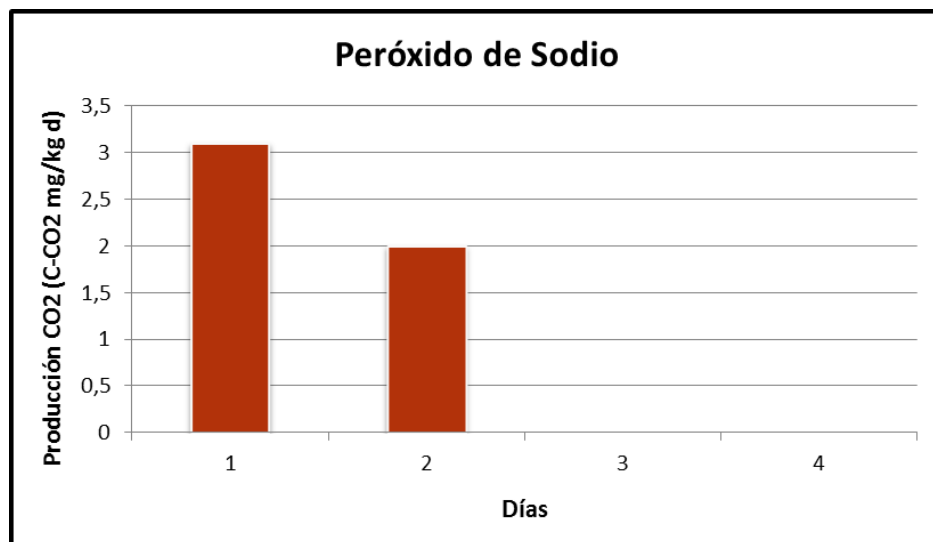


Figura 1. Producción de CO<sub>2</sub> para tratamiento con peróxido de sodio.

## Tratamiento 2

En este tratamiento se incorporó permanganato de potasio. El mismo es un sólido cristalino, brillante y de color violeta, el cual al ser incorporado y mezclado con el recorte de perforación



no produjo desprendimiento de gases ni aumento de temperatura sino que se observó una coloración violácea del material tratado. Cuando se procedió a abrir el frasco con una incubación de 24 hs, se observó en la superficie del lodo una fase líquida en suspensión, la cual se homogeneizó previo a la incorporación del oxidante.

	TPH (ppm)	Materia Orgánica (%)	Producción de CO <sub>2</sub> (mg C-CO <sub>2</sub> /kg recorte)
Inicial	4360	2,58	-
Final	ND	0 ± 0,01	140,6

\*ND = No Detectado. Límite de detección 500 ppm

Tabla 2. Datos de TPH, materia orgánica y CO<sub>2</sub> producido para tratamiento con permanganato de potasio.

Queda demostrado que se llevó a cabo la oxidación completa tanto de los hidrocarburos como de la materia orgánica presente en el recorte de perforación.



En este tratamiento se generaron 140 mg C-CO<sub>2</sub>/kg en la totalidad de los días, siendo el primero el de mayor producción. Esto indica que el permanganato de potasio produce una oxidación más lenta que el peróxido de sodio, por lo cual puede registrarse a lo largo de las 24 hs de incubación.

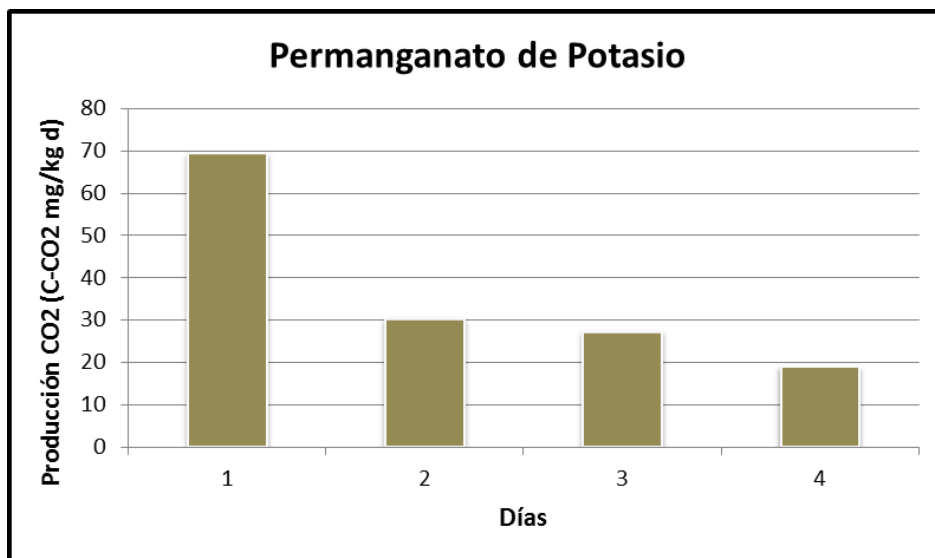


Figura 2. Producción de CO<sub>2</sub> para tratamiento con permanganato de potasio.

### Tratamiento 3

En este tratamiento se incorporó peróxido de hidrógeno como agente oxidante y sulfato ferroso en solución acuosa acidificada como catalizador, el cual presenta un color verde claro. Para su incorporación al recorte de perforación se agregó en primer lugar la solución de sulfato ferroso, se homogeneizó e inmediatamente después se incorporó el peróxido de hidrógeno. Durante este procedimiento se produjo cambio de color del lodo tornándose marrón claro, y una gran efervescencia acompañada de aumento de temperatura y emanación de vapores. Los mismos presentaron color anaranjado el primer y segundo día de tratamiento y color blanco los dos días restantes. En este tratamiento la oxidación química se llevó a cabo casi exclusivamente en fase líquida como consecuencia de los grandes volúmenes de reactivo que se incorporaron en dicha fase. Al abrir los frascos para el recambio de viales, se observó que los mismos se encontraban cubiertos en su totalidad con lodo, lo que indicaría que durante el tiempo de incubación continuó produciéndose efervescencia de manera vigorosa.

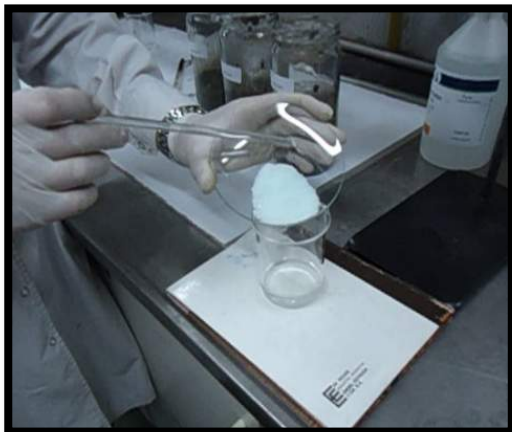
	TPH (ppm)	Materia Orgánica (%)	Producción de CO <sub>2</sub> (mg C-CO <sub>2</sub> /kg recorte)
Inicial	4360	2,58	-
Final	ND	0 ± 0,01	571,6

\*ND = No Detectado. Límite de detección 500 ppm

Tabla 3. Datos de TPH, materia orgánica y CO<sub>2</sub> producido para tratamiento con reactivo de fenton.



En la tabla anterior se aprecia una oxidación completa de los hidrocarburos así como también de la materia orgánica presente en el recorte de perforación.



La producción de dióxido de carbono estuvo por encima de los 570 mg C-CO<sub>2</sub>/kg durante los 4 días de incubación. Estos valores fueron superiores a lo que estimábamos medir, lo que indica que se superó la capacidad de captación del hidróxido de sodio contenido en los viales. Esto es señal de que el reactivo de Fenton actúa vigorosamente desde el instante de su incorporación y continúa de esa misma manera durante el tiempo de incubación.

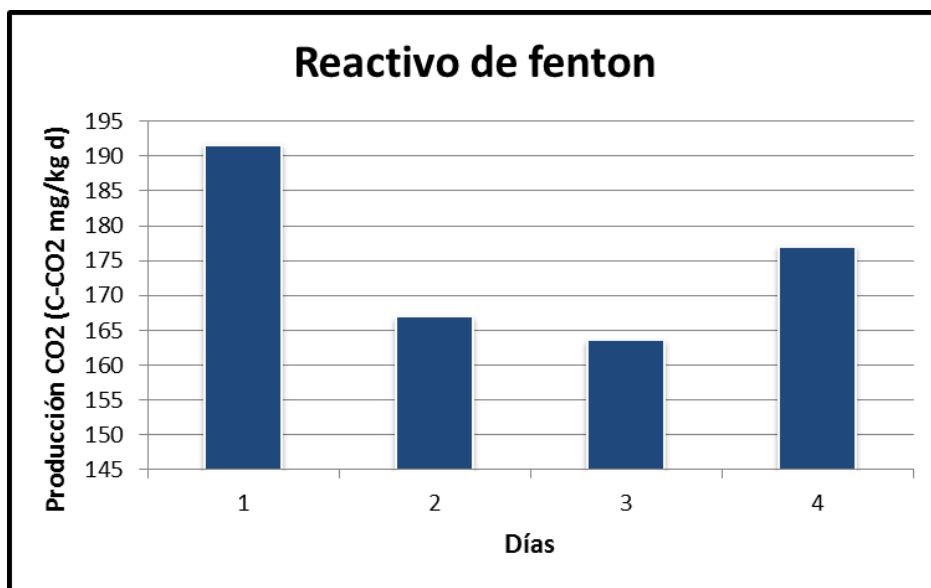


Figura 3. Producción de CO<sub>2</sub> para tratamiento con reactivo de fenton.



## CONCLUSIONES

En este estudio se investigó la influencia de tres agentes reactivos en la oxidación química de lodos de perforación contaminados con hidrocarburos. Los ensayos de oxidación química realizados permiten concluir que:

1. Los tres oxidantes utilizados disminuyeron la concentración de hidrocarburos totales por debajo del límite de detección de la técnica utilizada.
2. En los tres tratamientos la materia orgánica fue oxidada en forma completa.
3. El agente oxidante que produjo mayor cantidad de dióxido de carbono durante el tiempo de incubación fue el reactivo de Fenton lo cual indica un proceso oxidativo continuo en los 4 días de tratamiento, mientras que para el permanganato de potasio la reacción fue mayor en el primer día de ensayo. En base a esto concluimos que el peróxido de sodio es el agente oxidante de acción más rápida.
4. De los tres oxidantes utilizados el peróxido de sodio fue el que menos cambios físicos produjo en el lodo, además de ser el de mayor facilidad de aplicación y menor producción de vapores.
5. Con los datos obtenidos en este ensayo el oxidante recomendado para un tratamiento in situ de oxidación química sería el peróxido de sodio.

El siguiente paso en esta investigación será reducir las dosis de oxidantes utilizadas para obtener así datos más precisos sobre los rendimientos de cada uno y evaluar otras técnicas analíticas que permitan hacer el seguimiento en detalle de la reacción de oxidación.

## REFERENCIAS

- [1] Maura Margarita teutli-León, Alejandro César Ruiz Tagle, Karla Rodríguez-Zamora, Iván Gavito, Martha Patricia Gonzáles-Araoz, M. Teresita Oropeza-Guzmán. Tecnol. Ciencia Ed. (IMIQ) 18(2): 81-89, 2003. Remediación de suelos contaminados por hidrocarburos y de lodos de recorte mediante electrólisis, compuestos oxidantes y zeolitas naturales.
- [2] Michael D. LaGrega, Phillip L. Buckingham, Jeffrey C. Evans, McGraw-Hill, 1998. Gestión de los residuos tóxicos: tratamiento, eliminación y recuperación de suelos.
- [3] Olivia Martínez Pérez. Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas, Instituto Politécnico Nacional. Tesis: Remediación química de suelos y aguas contaminadas con hidrocarburos ligeros.
- [4] The Interstate technology & regulatory council in situ chemical oxidation team, 2005. Technical and regulatory guidance for in situ chemical oxidation of contaminated soil and groundwater. Second Edition.



- [5] Romero A., Santos A., Cordero T., Rodríguez-Mirasol J., Rosas J. M., Vicente F. (2011). Soil remediation by Fenton-like process: Phenol removal and soil organic matter modification. *Chem. Eng. J.* 170(1): 36-43.
- [6] Instituto de Calidad de Suelos. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica, 1999. Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del suelo.
- [7] García, C., 2003. Técnicas de análisis de parámetros bioquímicos en suelos: medida de actividades enzimáticas y biomasa microbiana, Ed. Mundi- prensa libros, 310-346.
- [8] Fernández Linares, C.; Rojas Avelizapa, N.; Et al., 2006. Manual de Técnicas de Análisis de Suelos Aplicadas a la Remediación de Sitios Contaminados. Instituto Mexicano del Petróleo. Secretaria de Medio Ambiente y recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología.



# Aportes locales y regionales al aerosol atmosférico del área metropolitana de Buenos Aires.

Pereyra, V<sup>1</sup>, Dawidowski, L<sup>1, 2, 3</sup>, Smichowski, P<sup>2, 4</sup> y Gómez, D.R<sup>1, 2, 3</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional de San Martín

<sup>2</sup>Gerencia Química, Centro Atómico Constituyentes, Comisión Nacional de Energía Atómica

<sup>3</sup>Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires

<sup>4</sup>Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

E-mail: vpereyra@cnea.gov.ar

## RESUMEN

Se realizó un estudio para evaluar los niveles de metales, metaloides, iones, y carbono negro (CN) de muestras de  $PM_{2,5}$  colectadas en el área metropolitana de Buenos Aires (AMBA) a lo largo de una transecta de tres puntos, representativa de buenas condiciones de mezcla para esta cuenca atmosférica que recibe aportes urbanos y suburbanos.

Se seleccionaron tres sitios de monitoreo: Costa Salguero (CS), en la costa del Río de la Plata; Parque Centenario (PC), en el centro geográfico de la Ciudad de Buenos Aires; e INTA Castelar (IC) en la zona periurbana.

Se colectaron 400 muestras de 24 horas de  $PM_{2,5}$  durante 18 meses (Agosto/08 - Diciembre/09), en filtros de teflón de 0,45  $\mu m$ , utilizando un muestreador Airmetrics (5 L  $min^{-1}$ ).

La evaluación del aporte regional de aerosoles a la cuenca atmosférica del AMBA se realizó empleando la función fuente de contribución potencial (potential source contribution function, PSCF) que combina la distribución estadística de los niveles de concentración medidos con la proveniencia de las masas de aire a cada sitio durante el período de muestreo. Se calcularon retro trayectorias de 3 días con una frecuencia de 6 horas utilizando el modelo NOAA - HYSPLIT.

Nuestros resultados muestran que el nivel de  $PM_{2,5}$  es influenciado tanto por actividades locales urbanas como por el transporte de escala regional. Los niveles de  $PM_{2,5}$  aumentan desde la costa hacia el interior. La fracción de CN está generalmente correlacionada con la concentración gravimétrica (CG) de  $PM_{2,5}$  y exhibe un nivel máximo en la zona urbana (PC) probablemente vinculado al impacto de las emisiones del transporte automotor. La influencia oceánica y la continental en la dirección NE-SW constituyen aportes regionales diferenciados. El primero se refleja en concentraciones relativamente bajas de  $PM_{2,5}$ , CN y relativamente altas de aerosol marino mientras que ocurre lo contrario bajo la influencia continental.





## INTRODUCCIÓN

Las partículas constitutivas de los aerosoles emitidas directamente (primarias) o formadas en la atmósfera (secundarias), se encuentran distribuidas en un amplio rango de formas y tamaños que abarca desde los nanómetros hasta los micrómetros y consisten en una mezcla generalmente compleja de materiales que pueden contener metales y metaloides, ácidos, material biológico y otros compuestos orgánicos e inorgánicos. La composición química difiere usualmente según los distintos tamaños y aún entre partículas dentro del mismo rango de tamaño. Las partículas primarias son emitidas como líquidos o sólidos por fuentes tales como quema de biomasa, combustión incompleta de combustibles fósiles, resuspensión de polvos (de la calle, minerales y suelo) generada por erosión eólica o por acción del transporte automotor, aerosol marino y materiales biológicos (fragmentos de plantas, polen, etc.). Las partículas secundarias se forman mediante reacciones gas-sólido en la atmósfera (formación de nuevas partículas por nucleación y condensación de precursores gaseosos) [1].

Los aerosoles atmosféricos influyen sobre el balance energético de la Tierra, el ciclo hidrológico, la circulación atmosférica, y la abundancia de gases traza. A pesar de ello, la capacidad científica para cuantificar sus múltiples impactos que abarcan desde los riesgos para la salud humana hasta la formación de nubes puede considerarse aún incipiente. Sin embargo, las observaciones in situ, las mediciones satelitales y los modelos han evaluado los aerosoles atmosféricos bajo diferentes enfoques y contribuido para comprender su rol en la contaminación atmosférica local y regional y el cambio climático.

Las partículas emitidas por fuentes antropogénicas alcanzan en el ambiente urbano concentraciones tales que pueden afectar directamente la salud humana. La primera preocupación acerca de los efectos adversos del material particulado en suspensión tuvo en cuenta la concentración gravimétrica de la totalidad de las partículas. Luego se comenzó a prestar atención a su tamaño sobre todo en relación con su alcance a distintas secciones del aparato respiratorio, dado que diversos estudios epidemiológicos evidenciaron una asociación directa entre la exposición humana a  $PM_{10}$  (partículas con diámetro aerodinámico,  $d$ , menor a  $10 \mu m$ ) y a  $PM_{2,5}$  ( $d < 2,5 \mu m$ ) e incrementos de la morbilidad y mortalidad [2, 3, 4].

Los aerosoles provenientes de actividades humanas juegan un rol fundamental en el régimen climático local y regional por forzamiento radiativo tanto directo como indirecto, con el consecuente perjuicio de importantes factores sociales y económicos, como por ejemplo los ciclos hidrológicos regionales [5]. De modo que la caracterización de condiciones de emisión y recepción locales y regionales es fundamental para comprender e interpretar la situación con respecto a la exposición a los aerosoles en nuestra región y a su influencia en el balance radiativo de la Tierra.



El entorno urbano, es donde reside la mayoría de la población mundial y donde se consume una importante proporción de la energía, es también el ámbito donde los habitantes se encuentran más expuestos a la contaminación atmosférica. Las *megaciudades* (población > 10 millones de habitantes) se diferencian de las áreas urbanas de menor dimensión no sólo por la densidad de población sino también por las escalas de su economía, infraestructura y los impactos ambientales asociados [6]. Entre otras características, las megaciudades emergen como focos concentrados de emisión y recepción de gases y partículas atmosféricas y contribuyen significativamente a la contaminación atmosférica y al cambio global. El AMBA, compuesta por la ciudad de Buenos Aires (CBA) y los 24 distritos vecinos pertenecientes a la provincia de Buenos Aires, cuenta con más de 18 millones de habitantes. Las emisiones específicas del AMBA y especialmente las de la CBA reflejan el modo en que las megaciudades actúan como puntos concentrados de emisión de contaminantes y evidencian la necesidad de llevar a cabo estudios sistemáticos para estos conglomerados urbanos [6, 7, 8].

#### **Estudio de los aportes locales y regionales al aerosol atmosférico del AMBA**

En este contexto, el presente trabajo se propone evaluar no solo los aportes locales sino también los regionales a los niveles de aerosoles urbanos en la cuenca atmosférica del AMBA. Para este fin se consideraron tres sitios de muestreo con características diferenciadas para observar fenómenos asociados con: (i) la interface ciudad-río (Costa Salguero), (ii) conglomerado urbano (Parque Centenario) y (iii) periferia suburbana (INTA Castelar). Esta disposición de puntos de muestreo y las condiciones meteorológicas cambiantes durante el período anual de muestreo posibilitan la evaluación de los aportes de material particulado del conglomerado urbano a zonas vecinas prototípicas (río y periferia menos urbanizada) y viceversa.

#### **Objetivo general y objetivos particulares**

El objetivo general del proyecto en el cual se encuentra enmarcado este trabajo, es evaluar el perfil físico y químico de las partículas atmosféricas en suspensión a nivel de superficie (2 a 4 m de altura) a lo largo de un trayecto que conecta tres sitios clave en el AMBA: costa del río de la Plata, centro geográfico de la ciudad de Buenos Aires, periferia suburbana con condiciones de ventilación alta.

Objetivos específicos del estudio: (i) determinar la composición gravimétrica y las principales características morfológicas de las partículas colectadas de tamaño menor a 2,5  $\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{2,5}$ ) y de tamaño menor a 10  $\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ ); (ii) determinar la composición química de los principales componentes de  $\text{PM}_{2,5}$  y  $\text{PM}_{10}$  (minerales abundantes en la corteza terrestre, elementos marcadores del tránsito vehicular, materia carbonosa, compuestos inorgánicos secundarios y



aerosol marino); (iii) dilucidar el vínculo entre fuentes potenciales de partículas atmosféricas y los niveles medidos en los tres sitios de monitoreo mediante modelos (a) estadísticos (de receptores) y (b) de dispersión a escala regional; (iv) aportar al conocimiento de las fuentes potenciales de partículas y del transporte atmosférico a escala regional y local que contribuyen a los niveles medidos de concentración gravimétrica y composición química.

### **Importancia de los marcadores químicos evaluados en el aerosol atmosférico**

En términos generales, los componentes predominantes de las partículas en suspensión son el aerosol marino, el carbono negro o carbono elemental, diversos compuestos orgánicos, los nitratos, sulfatos y el polvo mineral. Cada uno típicamente contribuye entre un 10 y un 30 % de la masa total. Sin embargo, la abundancia relativa de los diferentes componentes puede variar en uno o más órdenes de magnitud con la localización y las condiciones meteorológicas. De esta variabilidad surge que no existe un aerosol global y en cambio sí una superposición de capas y plumas de aerosoles regionales a menudo independientes. Cada una de ellas proviene de fuentes singulares que tienen diferentes patrones espaciales y estacionales así como características microfísicas y químicas. Esta diversidad ha llevado a la comunidad científica abocada al estudio de los aerosoles a diferenciar los siguientes tipos de entornos en función del origen, la distribución y el tipo de aerosoles: (i) urbano, (ii) suburbano, (iii) capa límite marina contaminada, (iv) capa límite marina limpia, (v) concentración de fondo en la baja troposfera, (vi) aerosoles continentales provenientes de procesos de erosión en áreas desérticas, y (vii) aerosoles continentales provenientes de la quema de la biomasa [1].

En el presente trabajo se estudian los siguientes marcadores químicos:

- Carbono negro
- Cationes  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{NH}_4^+$

Las partículas de CN (hollín), tienen un rol crucial en el fenómeno de cambio climático principalmente debido a que son capaces de absorber la radiación solar, conduciendo a un calentamiento de la atmósfera y afectando a su vez al ciclo hidrológico [9, 10]. Se ha reportado además, que las partículas de CN actúan como núcleos de condensación de nubes (CCN) una vez que se tornan en partículas hidrofílicas [11]. El CN tiene un rol importante en la química troposférica debido a su naturaleza porosa y adsorptiva lo que proporciona sitios activos para numerosas transformaciones químicas [12, 13, 14]. Desde el punto de vista de la salud y porque generalmente son submicrónicas, son asociadas a enfermedades pulmonares por su alta penetración en el tracto respiratorio y por la presencia potencial de elementos tóxicos. El aporte principal de CN a la atmósfera lo constituyen las reacciones de combustión, por ejemplo la quema de biomasa y el producto de la combustión de fuentes móviles (transporte automotor, aviones, embarcaciones) y fijas (centrales térmicas, calefacción). Al ser un producto de la



combustión incompleta, las emisiones de CN dependen tanto del combustible como de la tecnología de combustión. En consecuencia, las propiedades ópticas de los aerosoles asociadas con los niveles de CN dependen de las contribuciones relativas de las fuentes de combustión y de su nivel de eficiencia.

La quema de biomasa a cielo abierto es una práctica común en toda Sudamérica y si bien puede producirse por causas naturales (rayos) proviene principalmente del accionar humano. En nuestro país existen áreas que suelen tener mayor densidad de quemas (sudeste de Salta, Tucumán, región fronteriza entre Santiago del Estero, Chaco y Santa Fe) y las emisiones resultantes se transportan a grandes distancias. Debido a la circulación atmosférica generada por la presencia de la Cordillera de los Andes, las emisiones de quemas en el oeste de Brasil al sur del Amazonas, Bolivia y Paraguay generan ríos de humo que cubren el norte de Argentina (Salta, Chaco, Formosa, Misiones) durante períodos prolongados en la temporada de quemas. En algunas ocasiones, con la ocurrencia del jet de capas bajas, los ríos de humo se desplazan hacia al sur, alcanzando incluso la ciudad de Bahía Blanca. Estas situaciones de viento norte coinciden con las condiciones meteorológicas propicias para la quema en el centro-norte de Argentina, cuyas emisiones se suman a la corriente general.

El potasio ha sido ampliamente utilizado como trazador atmosférico de la quema de biomasa, aunque existen otros marcadores como algunos compuestos orgánicos (levoglucosano), que poseen una alta correlación con la quema. El potasio posee además otras fuentes de emisión como las partículas del suelo, la sal marina, la combustión de carbón, la cocción de carne y la industria [15, 16, 17, 18].

El sodio constituye el trazador principal del aerosol marino. Los niveles de aerosol marino en la atmósfera tienen un rol importante en varios procesos atmosféricos físicos y químicos a escala urbana, regional y global. El aerosol marino está compuesto principalmente de cloro (Cl) y sodio (Na) y además transporta otros elementos químicos [19, 20]. Infiuye en la transferencia radiativa de forma directa dispersando la radiación solar y de forma indirecta constituyendo CCN aumentando así la reflexión en el tope nuboso [21]. En la atmósfera, a partir del aerosol marino se liberan especies de cloro que participan de ciclos formación y remoción de ozono [22, 23], lo cual reviste preocupación para las poblaciones ubicadas en zonas costeras.

Los compuestos de nitrógeno en la atmósfera tienen numerosas fuentes, tanto naturales como antropogénicas. Una vez emitido a la atmósfera, el  $\text{NH}_3$  puede convertirse a  $\text{NH}_4^+$  particulado en función de la concentración de ácidos en la atmósfera, la velocidad de esta conversión no es del todo conocida. El principal destino en la atmósfera para el  $\text{NH}_3$  es su incorporación al  $\text{NH}_4^+$  particulado [24, 25]. Las principales fuentes son los excrementos de animales domésticos y los fertilizantes, pero los océanos, la quema de biomasa y cultivos también son importantes [26].



## METODOLOGÍA

A continuación se describen las metodologías aplicadas para la selección de los sitios de monitoreo, los tratamientos efectuados a las muestras una vez colectadas y las técnicas analíticas utilizadas para la determinación de la CG, CN e iones. Asimismo, se detallan las herramientas utilizadas para el análisis de los datos obtenidos.

### Selección de sitios de muestreo

Los sitios de muestreo fueron seleccionados en zonas representativas de la emisión local y de la recepción de los aerosoles regionales. Para ello se tuvieron en cuenta la distribución espacial de emisiones estimadas en los inventarios disponibles, la información sobre los niveles de partículas atmosféricas en la CBA y la distribución de velocidad y dirección de viento en el AMBA.

Se estudiaron datos meteorológicos (dirección e intensidad de vientos, período 1996:2007) correspondientes a estaciones que pertenecen al Servicio Meteorológico Nacional ubicadas en la región de estudio o cercanas a la misma (SMN Ortúzar, SMN Aeroparque y SMN Ezeiza). A partir del análisis estadístico de los datos meteorológicos, se observó que las direcciones de viento más frecuentes durante el verano corresponden al sector NE-E mientras que en el invierno aumentan las frecuencias correspondientes al sector S-W. Para las estaciones continentales (Ortúzar y Ezeiza), se observó una predominancia anual de vientos NE (~14%) y en la estación costera (Aeroparque), de la dirección E (~16%). Esta diferencia indica que cuando el viento ingresa desde el río a la zona urbana cambia ligeramente de dirección. A efectos de la definición de la ubicación de los puntos de muestreo, se tomó la dirección NORESTE como la del viento predominante en la región.

En suma, los sitios elegidos en base a lo mencionado precedentemente fueron: Costa Salguero-CS, Parque Centenario-PC (Museo Argentino de Ciencias Naturales) e INTA Castelar- IC (Figura I).

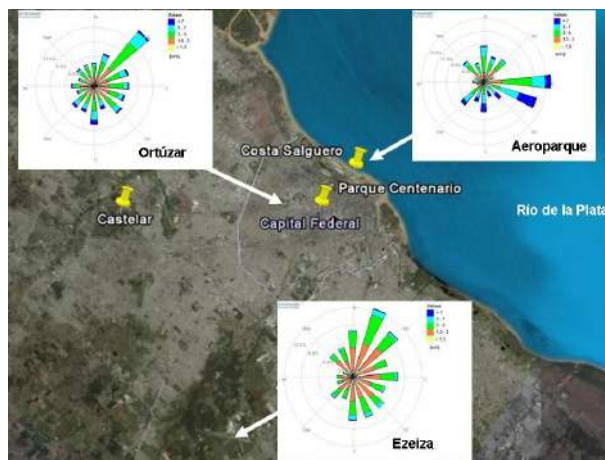


Figura I. Ubicación de los sitios de muestreo seleccionados.



Los tres sitios cubren un área de aproximadamente 500 km<sup>2</sup>, y presentan distintivas características:

1. CS - en la costa del Río de la Plata, recibe la influencia del Océano Atlántico Sur a través del amplio estuario del Río de la Plata y las emisiones de la ciudad. El sitio linda la Av. Rafael Obligado Costanera que posee un intenso tráfico vehicular y de camiones. Además se encuentra cercano al Aeropuerto Jorge Newbery y a dos centrales térmicas.
2. PC - se encuentra en un área abierta (parque público) en el centro geográfico de la CBA, representa las condiciones de exposición urbanas promedio.
3. IC - ubicado en los alrededores de la CBA, representa las condiciones prototípicas suburbanas. El sitio de muestreo se encuentra cercano a dos autopistas, Au. Acceso Oeste y Au. Camino del Buen Ayre, localizado en el predio perteneciente al INTA Castelar, el cual posee un amplio espacio verde que se encuentra inserto en un barrio de casas quintas.

#### **Colección y tratamiento de las muestras**

La campaña de monitoreo tuvo una duración de 18 meses, en el mes de agosto de 2008 se colocaron los equipos en los sitios de Costa Salguero y en Parque Centenario, y en el mes de septiembre se incorporó el sitio de INTA Castelar. Se tomaron un total de 400 muestras hasta fines de diciembre del 2009.

En cada sitio de monitoreo se colectaron muestras de 24 horas, cada tres días, de PM<sub>2,5</sub> y una vez al mes de PM<sub>10</sub> en filtros de teflón de 0,45 µm de tamaño de poro, utilizando equipos portátiles Airmetrics Minivol (5 L/min) colocados entre 2 y 4 metros de altura.

Para la determinación de la CG del material particulado los filtros fueron estabilizados (control de humedad, temperatura y estática) previo a la toma de la muestra y pesados, repitiendo el procedimiento una vez cargados con las partículas. La masa se determinó utilizando una microbalanza electrónica Sartorius modelo ME 5-F. La concentración de CN de las muestras fue determinada con un reflectómetro Smokestain Reflectometer M43D en una etapa posterior a la de la pesada de los filtros.

Los filtros luego fueron tratados en una extracción secuencial donde se extrajo primero la fracción soluble, seguida luego de una extracción ácida. Para la extracción acuosa se colocaron los filtros en botellas de polipropileno de 125 ml marca Nalgene y se adicionaron 12 ml de agua desionizada. Los elementos solubles fueron extraídos utilizando un baño ultrasónico (Cleanson) por 60 minutos, luego el sobrenadante fue filtrado con filtros para jeringa de 26 mm, con membrana de poro de 0,45µm y colocado en tubos Falcon®. Estos filtrados fueron utilizados para determinar iones solubles, metales y metaloides. Los filtros fueron tratados posteriormente para



una extracción ácida, no detallada en el presente trabajo, en la cual se determinaron metales y metaloides mediante la técnica de ICP-OES.

Todo el material de vidrio y plástico utilizado fue lavado previamente con agua desionizada, remojados en una solución de ácido nítrico 10% (v/v) por 24 h, y enjuagados numerosas veces con agua desionizada.

Para la determinación de iones en agua, se utilizó un equipo Konik (Barcelona, España) KNK-500A de cromatografía líquida de alta performance. Para la separación y determinación de los cationes  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{Ca}^{2+}$ , se utilizó una columna analítica Hamilton PRP-800. Se utilizó una solución 2 mM de sulfato de cobre (Aldrich) como fase móvil. Para la separación y determinación de los aniones  $\text{F}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$  se utilizó una columna Hamilton PRP-X100. Se utilizó como fase móvil una solución de biftalato de potasio 4,5 mM (Merck). Se utilizó un detector UV indirecto a  $\lambda = 220 \text{ nm}$  para cationes, y  $\lambda = 265 \text{ nm}$  para aniones. Se utilizaron caudales de flujo de  $1,2 \text{ ml min}^{-1}$  para aniones y cationes, con control de temperatura a  $30^\circ\text{C}$ . Los resultados analíticos fueron validados empleando material de referencia certificado: NIST-SRM 1648 urban particulate matter, que fue sometido a los mismos procedimientos analíticos que las muestras colectadas.

#### Análisis de Datos

Para cada sitio de muestreo se estudió la consistencia estadística para descartar datos atípicos teniendo en cuenta los errores experimentales. Se estudiaron correlaciones temporales y espaciales atendiendo a la variabilidad temporal y espacial de las diferentes especies químicas.

Para realizar el análisis del aporte regional de fuentes al  $\text{PM}_{2,5}$  medido se utilizó la función fuente de contribución potencial (potential source contribution function, PSCF) [20] que calcula la probabilidad de que una fuente se encuentre ubicada en una latitud  $i$  y una longitud  $j$ , ecuación (1), la misma representa una cuantificación de una fuente de área potencial que eleva los niveles de concentración medidos en un sitio receptor específico. En nuestro estudio la PSCF combina los datos de composición medidos de CN,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{K}^+$  en el material particulado, con retro trayectorias de parcelas de aire, de forma de incorporar información meteorológica regional al análisis de receptores. Las retro trayectorias se calcularon con una duración de tres días y una frecuencia de seis horas utilizando el modelo NOAA-HYSPLIT.

$$(1) \quad PSCF(i, j) = \frac{m(i, j)}{n(i, j)}$$

Se analizaron correlaciones entre las composiciones medidas y las condiciones meteorológicas para detectar la presencia/ausencia de fuentes locales mayoritarias y patrones de aporte de distintas zonas de influencia. Para evaluar los aportes de fuentes locales al  $\text{PM}_{2,5}$  medido, además



se realizaron rosas de vientos de los tres sitios de medición con datos meteorológicos aportados por el Servicio Meteorológico Nacional (Estaciones: Aeroparque, Ortúzar y Ezeiza). Se evaluaron las rosas de vientos en función de cuartiles de concentración de CG, CN, Na<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y K<sup>+</sup>. Para esto se utilizó la función windRose del paquete OpenAir, programa R.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Nuestros resultados evidenciaron un distintivo patrón de concentraciones gravimétricas mostrando niveles superiores de PM<sub>2,5</sub> desde la costa hacia los sitios más continentales (Tabla I). Las concentraciones de CN presentan un patrón similar en los sitios continentales (PC e IC), y niveles significativamente más bajos en la costa del Río de la Plata (CS). La fracción de CN en PM<sub>2,5</sub> fue superior en el sitio urbano (PC), lo cual es indicativo del impacto de las emisiones vehiculares en el contenido de CN. Las medianas de la relación CN/PM<sub>2,5</sub> fueron del orden: PC (0,20) > IC (0,16) > CS (0,1). Los niveles de CN en la zona costera fueron un 50 % menor que los encontrados en el centro geográfico de la CBA, sin embargo, los niveles en el sitio periurbano fueron significativos.

	PM <sub>2,5</sub>	CG	CN	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
CS	Mínimo	2,92	0,18	0,02	0,03	2,0 10 <sup>-4</sup>
	Mediana	8,89	0,92	0,27	0,20	0,07
	Promedio	10,1	1,41	0,30	0,24	0,15
	Máximo	35,0	7,67	0,90	0,69	1,72
PC	Mínimo	5,69	0,58	0,03	0,05	0,01
	Mediana	12,4	2,52	0,24	0,21	0,12
	Promedio	14,1	2,98	0,31	0,25	0,16
	Máximo	58,8	11,7	1,13	0,86	1,01
IC	Mínimo	4,01	0,51	0,02	0,02	0,01
	Mediana	14,0	2,29	0,22	0,21	0,16
	Promedio	15,9	2,94	0,28	0,27	0,33
	Máximo	71,2	14,7	2,08	0,98	5,92

Tabla I. Estadística descriptiva de las concentraciones medidas ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) de PM<sub>2,5</sub>, CN, sodio, amonio y potasio para los sitios de monitoreo CS, PC e IC.

La Figura II muestra las rosas de vientos para cada cuartil de concentración de CN para cada sitio. Se observa que a mayores intensidades de viento, disminuyen las concentraciones de CN (cuartil inferior, 1Q), asimismo, se observa que la calma influye aumentando los niveles medidos de CN (cuartil superior, 4Q), siendo los porcentajes de calma para el 4Q del 8 % para CS, 22 % para PC y 15 % para IC, esto es consistente con un aporte de contaminación de tipo antropogénico, y no natural de tipo erosivo (dependiente de la intensidad de corte del viento), lo cual aporta más





evidencia de que el tránsito automotor es la principal fuente a los niveles de CN medidos.

Los análisis de correlación entre las concentraciones medidas muestran una elevada correspondencia entre CG y CN, manifestando, por lo tanto, un comportamiento similar al exhibido en las rosas de vientos de CN.

Las Figuras III, IV y V muestran el resultado de la utilización de la PSCF para cada sitio, para los elementos sodio, potasio y amonio. En el caso del sodio, se observa de forma contundente el aporte de aerosol marino incluso en el sitio más continental (IC), mostrando una importante penetración debido al transporte regional fundamentalmente por altas intensidades de viento. El  $K^+$  en cambio, exhibe un comportamiento inverso, los niveles superiores medidos se encuentran asociados a fuentes continentales, sugiriendo un débil aporte marino, y una contribución más significativa de fuentes como la quema de biomasa, entre otras. La quema de biomasa es una práctica usual en la agricultura, en la Figura VI se muestra una foto satelital del día 25 de agosto de 2009, donde se pueden identificar numerosos focos de incendio (puntos rojos) con plumas de dispersión visibles de los humos emitidos como consecuencia, y en la Figura VII se exponen las retrotrayectorias calculadas para la misma fecha donde se observa el origen de las masas de aire arribadas ese día, que provienen del norte del continente. Para el  $NH_4^+$ , también se observa gran aporte de origen continental a las altas concentraciones medidas, probablemente debido al uso de fertilizantes en la agricultura y a la práctica de la ganadería, aunque se puede observar un aporte marino menos importante pero presente. Sin embargo para los niveles bajos no se observó un aporte diferenciado significativo.

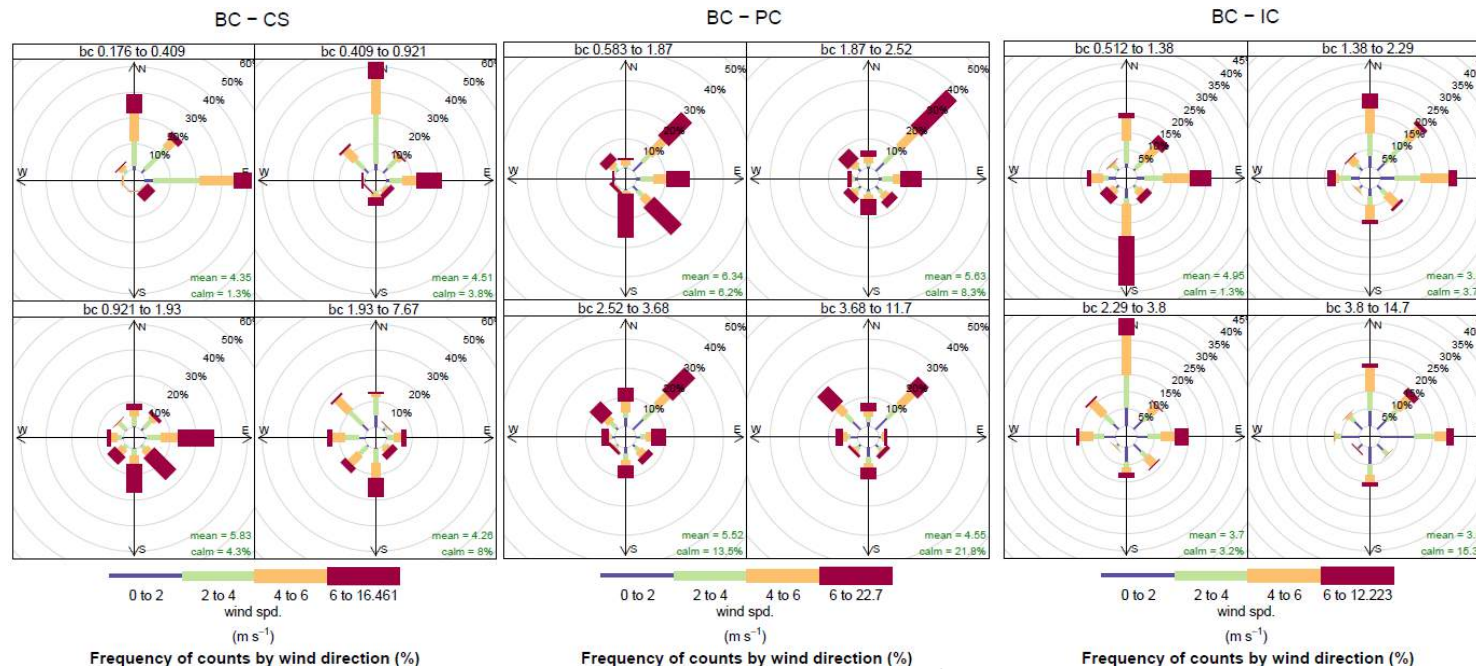


Figura II. Rosas de viento para los cuartiles de concentración de CN ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) para CS, PC e IC respectivamente.

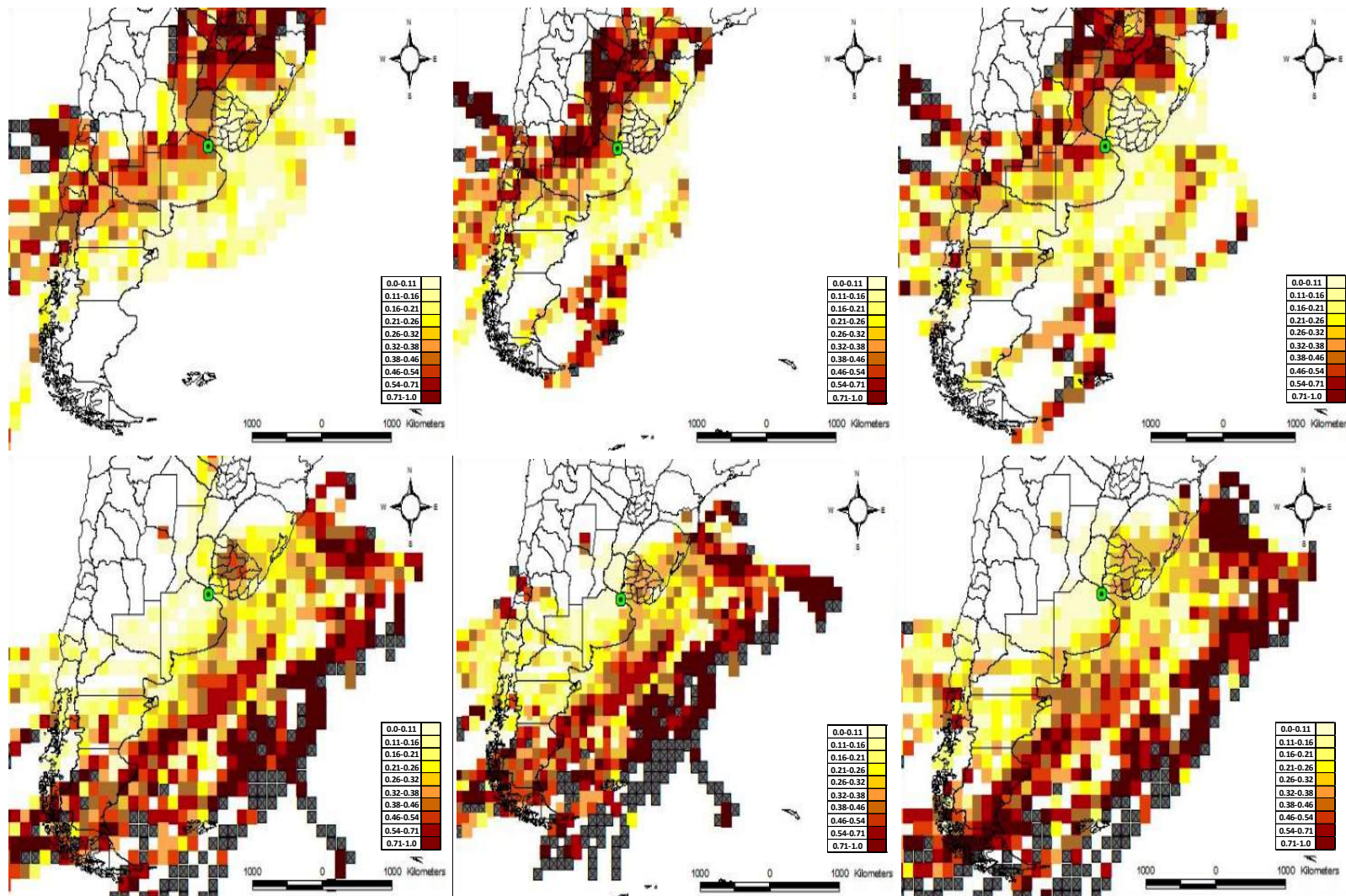


Figura III. PSCF definida en la ecuación (1). Se muestran los cuartiles inferior ( $1Q$ , arriba) y superior ( $4Q$ , abajo), para la concentración de  $Na^+$  medida ( $\mu g m^{-3}$ ) para CS (izquierda), PC (medio) e IC (derecha), ( $n = 1$  y  $n(i, j) \leq 3$ ).

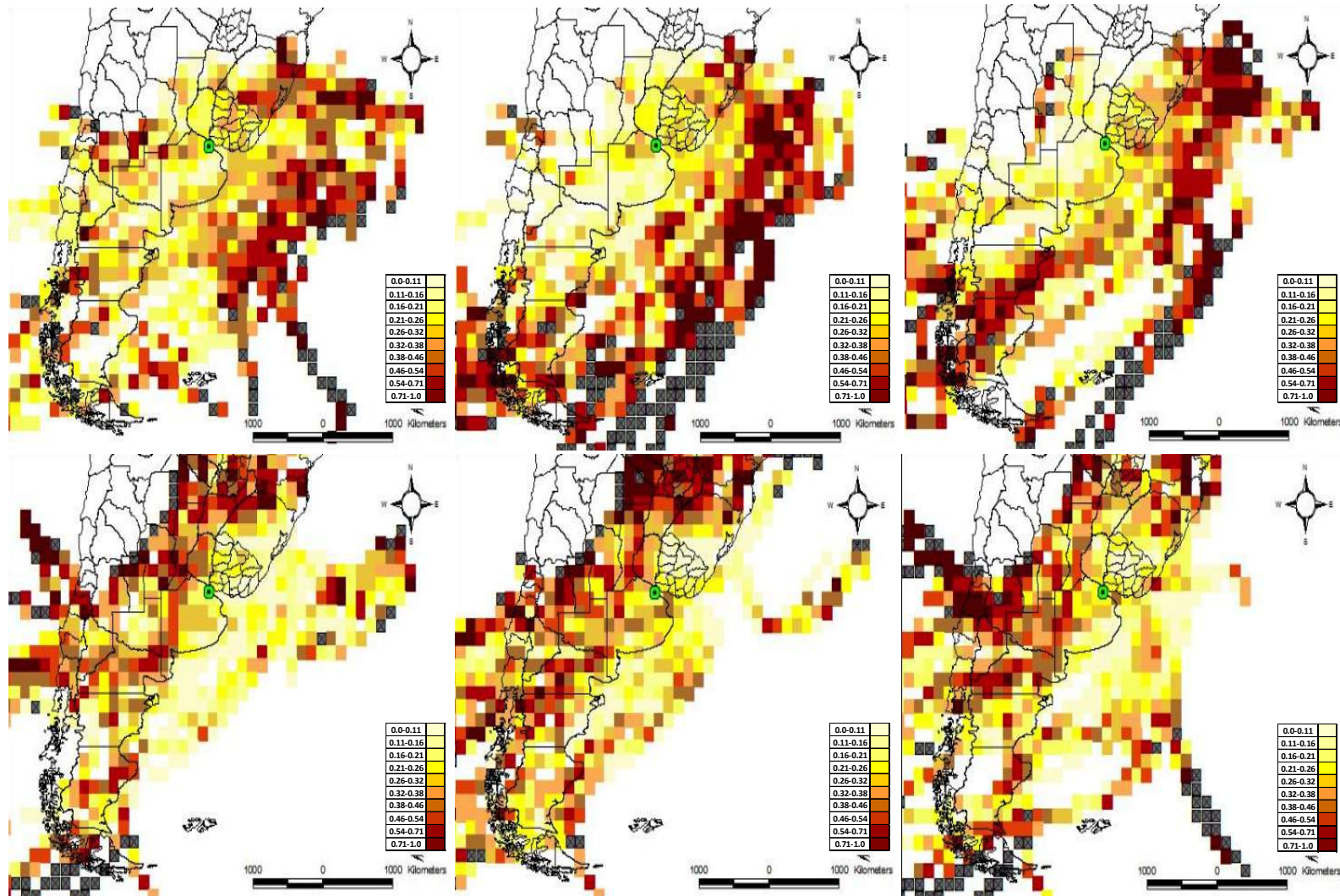


Figura IV. PSCF definida en la ecuación (1). Se muestran los cuartiles inferior (1Q, arriba) y superior (4Q, abajo), para la concentración de  $K^+$  medida ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) para CS (izquierda), PC (medio) e IC (derecha), ( $\square = 1$  y  $n(i, j) \leq 3$ ).

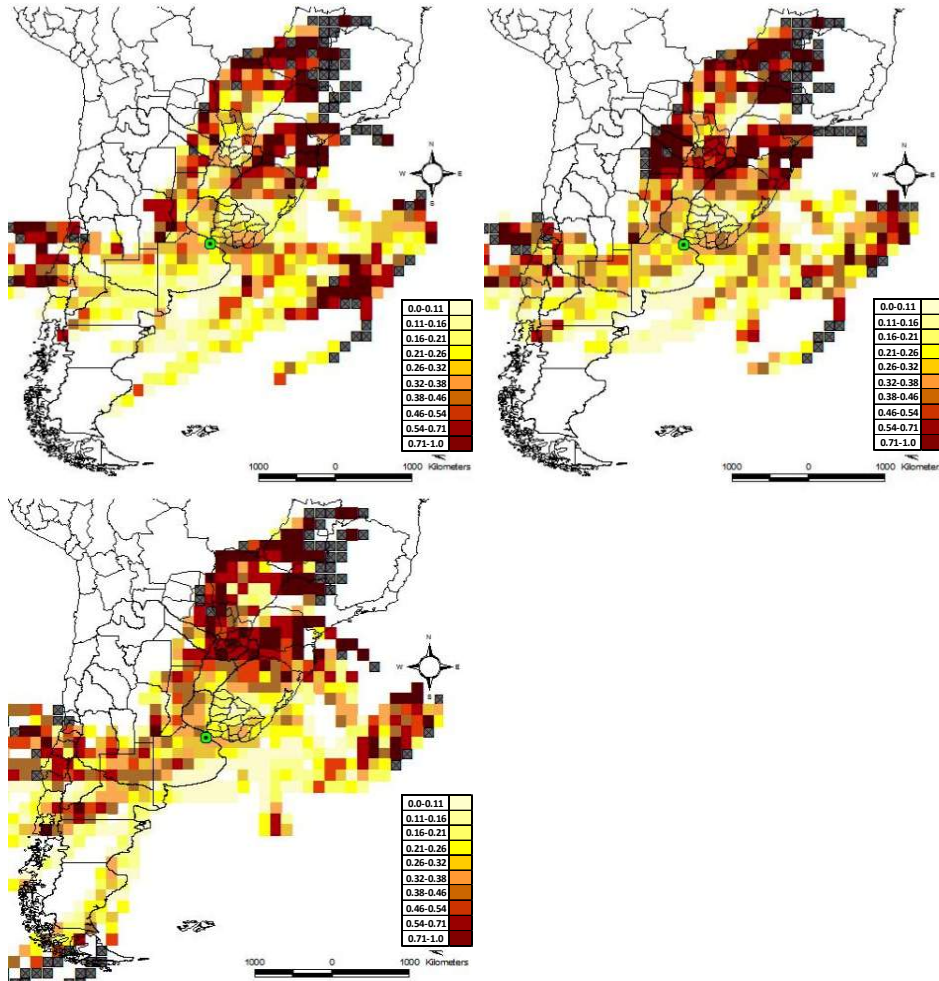


Figura V. PSCF definida en la ecuación (1). Se muestran el cuartil superior (4Q), para la concentración de  $NH_4^+$  medida ( $\mu g m^{-3}$ ) para CS (arriba izquierda), PC (arriba derecha) e IC (abajo), ( $\square = 1$  y  $n(i, j) \leq 3$ ).

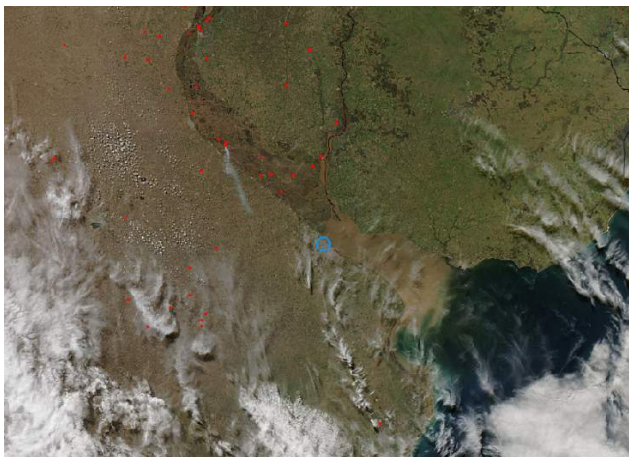


Figura VI. Foto satelital del 25 de agosto de 2009. Fuente: AERONET- CEILAP BA AQUA

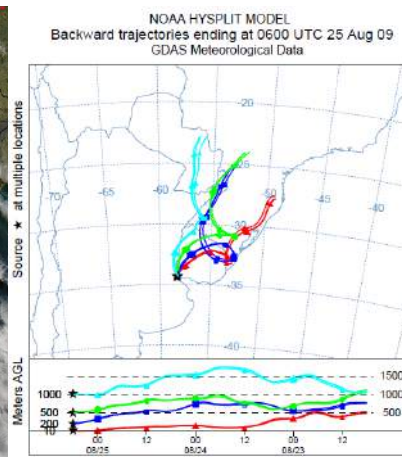


Figura VII. Retro trayectorias calculadas para CS, PC e IC a 10, 200, 500 y 1000 mts. 25 de agosto de 2009 6 UTC. NOAA-HYSPLIT MODEL



## CONCLUSIONES

Nuestros resultados hasta el momento muestran que el nivel de  $PM_{2,5}$  es influenciado tanto por actividades locales urbanas como por el transporte de escala regional.

La fracción de CN está generalmente correlacionada con la concentración gravimétrica de  $PM_{2,5}$  y exhibe un nivel máximo en la zona urbana (PC) muy probablemente vinculado al impacto de las emisiones del transporte automotor.

La influencia oceánica y la continental en la dirección NE-SW constituyen aportes regionales diferenciados. El primero se refleja en concentraciones relativamente bajas de  $PM_{2,5}$ , CN, potasio y amonio, mientras que ocurre lo contrario bajo la influencia continental. Para el amonio medido se observa además un ligero aporte marino, en particular en la zona costera. En el caso del sodio, se observa una influencia marina significativa especialmente a altas intensidades de viento.

La PSCF resultó útil entonces para diferenciar aportes regionales, particularmente los aportes oceánico y continental. Por otro lado, las rosas de vientos locales, evaluadas según los niveles de concentración medidos, resultaron efectivas para discernir además la dependencia de la intensidad de viento y la calma en los niveles de  $PM_{2,5}$ , CN y sodio.

## Agradecimientos

Proyectos: PICT 1195 (Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica) y PIP 486 (CONICET).

Servicio Meteorológico Nacional

## REFERENCIAS

- [1] F. Raes, R. Van Dingenen, E. Vignati, J. Wilson, J.P. Putaud, J.H. Seinfeld, P. Adams, 2000. Formation and cycling of aerosols in the global troposphere, *Atmos. Environ.*, 34, 4215-4240.
- [2] D.W. Dockery, C.A. Pope, X. Xu, J.D. Spengler, J.H. Ware, M.E. Fay, B.G. Ferris, Jr F.E. Speizer, 1993. An association between air pollution and mortality in six US cities. *N. Engl. J. Med.*, 329, 1753-1759.
- [3] C.A. Pope, M.J. Thun, M.M. Namboodiri, D.W. Dockery, J.S. Evans, F.E. Speizer, C.W. Jr Heath, 1995. Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of US adults. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.*, 151, 669-674.
- [4] J. Schwartz, D.W. Dockery, L.M. Neas, 1996. Is daily mortality associated specifically with fine particles? *J. Air. Waste Manag. Assoc.*, 46, 927-939.
- [5] G. Brasseur, R. Prinn, A. Pszenny, 2003. Atmospheric chemistry in a changing world. *The IGBP Series Springer*.
- [6] B.R. Gurjar, J. Lelieveld, 2005. New directions: megacities and global change. *Atmos.*



*Environ.*, 39, 391-393.

[7] GURME, 2003. Proyecto de la Vigilancia Atmosférica Global de investigación meteorológica y sobre el medio ambiente urbano, Organización Meteorológica Mundial, Ginebra, [www.wmo.ch/web/arep/gaw/urban.html](http://www.wmo.ch/web/arep/gaw/urban.html).

[8] IAI, 2004. Los Diez Primeros Años del IAI: Observaciones, Mediciones, Comprensión y Documentación de los Cambios Ambientales en las Américas, Informe IAI/ID.27.S/2004, Instituto Interamericano sobre Cambio Global, São José dos Campos.

[9] S. Menon, J. Hansen, K. L. Nazaren, Y. Leo, 2002. Climate effects of BC aerosols in China and India. *Science*, 297 (5590), 2250-2253.

[10] P.D. Safai, S. Kewat, P.S. Praveen, P.S.P. Rao, G.A. Momin, K. Ali, P.C.S. Devara, 2007. Seasonal variation of black carbon aerosols over a tropical urban city of Pune, India. *Atmos. Environ.*, 41, 2699-2709.

[11] S. Twomey, 1977. Atmospheric Aerosols. *Elsevier Publ.*, New York.

[12] R.S. Disselkamp, M.A. Carpenter, J.P. Cowin, 2000. A chamber investigation of nitric acid-soot aerosol chemistry at 298 K. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 37, 113-123.

[13] W. Fedel, D. Matter, H. Burtscher, A. Schmidt-Ott, 1995. Interaction between carbon or iron aerosol particulates and ozone. *Atmospheric Environment*, 29, 967-973.

[14] K.M. Latha, K.V.S. Badrinath, 2004. Correlation between BC aerosols, carbon monoxide and tropospheric ozone over a tropical urban site. *Atmospheric Research*, 71, 265-274.

[15] M.O. Andreae, 1983. Soot carbon and excess fine potassium long-range transport of combustion-derived aerosols. *Science*, 220, 1148-1151.

[16] J.G. Watson, J.C. Chow, 2001. Source characterization of major emission sources in the Imperial and Mexicali Valleys along the US/Mexico border. *Science of the Total Environment*, 276, 33-47.

[17] J.G. Watson, J.C. Chow, J.E. Houck, 2001. PM<sub>2.5</sub> chemical source profiles for vehicle exhaust, vegetative burning, geological material, and coal burning in Northwestern Colorado during 1995. *Chemosphere*, 43, 1141-1151.

[18] J.E. Pachon, R.J. Weber, X. Zhang, J.A. Mulholland, A.G. Russell, 2013. Revising the use of potassium (K) in the source apportionment of PM<sub>2.5</sub>. *Atmospheric Pollution Research*, 4, 14-21.

[19] F.J. Millero, 2004. Physicochemical controls on seawater. Holland. H.D., Turekian, K.K. (Eds.), *Treatise on Geochemistry*. Elsevier, Amsterdam (Chapter 6.01).

[20] M. Dos Santos, L. Dawidowski, P. Smichowski, A.G. Ulke, D. Gómez, 2012. Factors controlling sea salt abundances in the urban atmosphere of a coastal South American megacity. *Atmos. Environ.*, 59, 483-491.

[21] Y.J. Yoon, P. Brimblecombe, 2002. Modelling the contribution of sea salt and dimethyl sulfide derived aerosol to marine CCN. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2, 17-30.

[22] B.J. Finlayson-Pitts, 2003. The tropospheric chemistry of sea salt: a molecular-level view of the chemistry of NaCl and NaBr. *Chemistry Reviews*, 103, 4801-4822.



- [23] H.D. Osthoff, J.M. Roberts, A.R. Ravishankara, E.J. Williams, B.M. Lerner, R. Sommariva, T.S. Bates, D. Coffman, P.K. Quinn, J.E. Dibb, H. Strak, J.B. Burkholder, R.K. Talukdar, J. Meagher, F.C. Fehsenfeld, S.S. Brown, 2008. High levels of nitryl chloride in the polluted subtropical marine boundary layer. *Nature Geoscience*, 1, 324-328.
- [24] B.J. Finlayson-Pitts, J.N. Pitts, 1986. Atmospheric Chemistry. *Wiley-Interscience*, New York, p. 1098.
- [25] R.B. McCulloch, G.S. Fewa, G.C. Murray Jr., V.P. Aneja, 1998. Analysis of ammonia, ammonium aerosols and acid gases in the atmosphere at a commercial hog farm in eastern North Carolina, USA. *Environmental Pollution*, 102, SI (1998) 263-268.
- [26] W.A.H. Asman, M.A. Sutton, J.K. Schjorring, 1998. Ammonia: emission, atmospheric transport and deposition. *New Phytol.*, 139, 27-48.





# Posibles escenarios de riesgo frente a la caída de cenizas volcánicas, en el modelo ganadero de la cuenca alta y media del Rio Grande, Malargüe, Mendoza.

Ramires, A <sup>(1)</sup>; Elissonde, A <sup>(2)</sup>, Trombotto Liaudat D <sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> *International Center for Earth Sciences (ICES) Regional Malargüe, Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA).*

<sup>(2)</sup> *Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional de Cuyo, Parque General San Martín, Mendoza, Argentina.*

<sup>(3)</sup> *Unidad Geociología, departamento de Ciencias de la Criósfera y Geología del Cuaternario, IANIGLA-CCT-. Mendoza.*

E- mail: airamires@cnea.gov.ar

## RESUMEN

La provincia de Mendoza, concretamente el departamento de Malargüe, vivió una de las erupciones más violentas del siglo XX, en la década del 30, cuando explotó violentamente el volcán Quizapu ubicado en Chile, a pocos km del límite argentino- chileno, al oeste de Malargüe.

La magnitud del evento y la gran vulnerabilidad de la sociedad de la época, generaron importantes pérdidas económicas y efectos en el contexto sociocultural y en el ambiente de la región.

El proyecto de investigación que se presenta, forma parte de un trabajo de tesis de posgrado sobre Ordenamiento Territorial<sup>22</sup>. El mismo hace referencia al impacto que podría sufrir la actividad ganadera en la cuenca alta y media del río Grande, Malargüe, Mendoza, frente al riesgo potencial por caída de tefras (cenizas volcánicas) del Complejo Volcánico Planchón.- Peteroa.

En esta publicación, sólo se muestran los escenarios de riesgo planteados, a partir del análisis de la peligrosidad del volcán, el funcionamiento del modelo ganadero regional, de acuerdo a los espacios socioculturales en los que se desenvuelve: la invernada, la veranada y el camino trashumante, y la vulnerabilidad del mismo, con el objeto de comprender los patrones que podrían ser modificados y/o alterados, frente a la ocurrencia de la amenaza.

---

<sup>22</sup> *La Carta Europea de Ordenación del Territorio CEMAT (1983), define a la Ordenación del Territorio como la "expresión espacial de las políticas económicas, sociales, culturales y ecológicas de la sociedad. Es a la vez una disciplina científica, una técnica administrativa y una política concebida como un enfoque interdisciplinario y global cuyo objetivo es un desarrollo equilibrado de las regiones y la organización física del espacio, según un concepto rector".*



## OBJETIVO

- Generar escenarios de riesgo de diversa magnitud a partir de los contextos sociales del modelo ganadero.

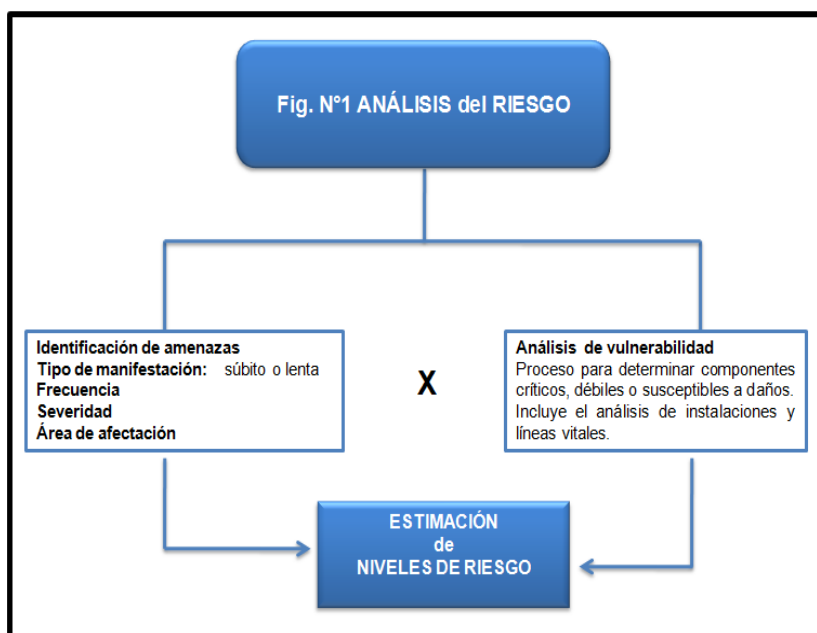
## METODOLOGÍA

Se realiza el análisis del riesgo según la metodología planteada en la Figura 1. Posteriormente, se identifican y describen los escenarios de riesgo (dos) uno de mínima y otro de máxima caída de cenizas volcánicas. En este último se tienen en cuenta los dos espacios sociales más relevantes de la práctica ganadera: la invernada y la veranada.

El tratamiento espacial de los datos y la salida final se realizan a través del uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Finalmente se esbozan las conclusiones.

Figura 1



## DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La Cuenca<sup>23</sup> del Río Grande se ubica al oeste del departamento de Malargüe, casi íntegramente en el distrito Río Grande (90%) y un pequeño sector (10%) que comprende al CVPP y sus adyacencias en el distrito Malargüe. Desde la ciudad de Malargüe se accede a través de la RN40, luego la RN145 conecta el suroeste de la misma, mientras que la RP226 permite el acceso al noroeste. Figura 2.

Es la más extensa de la provincia, al suroeste se une con la Cuenca del Río Barrancas para dar nacimiento al Río Colorado que es un colector de gran importancia que atraviesa toda la zona centro-sur de la Argentina y desagua en el Océano Atlántico.

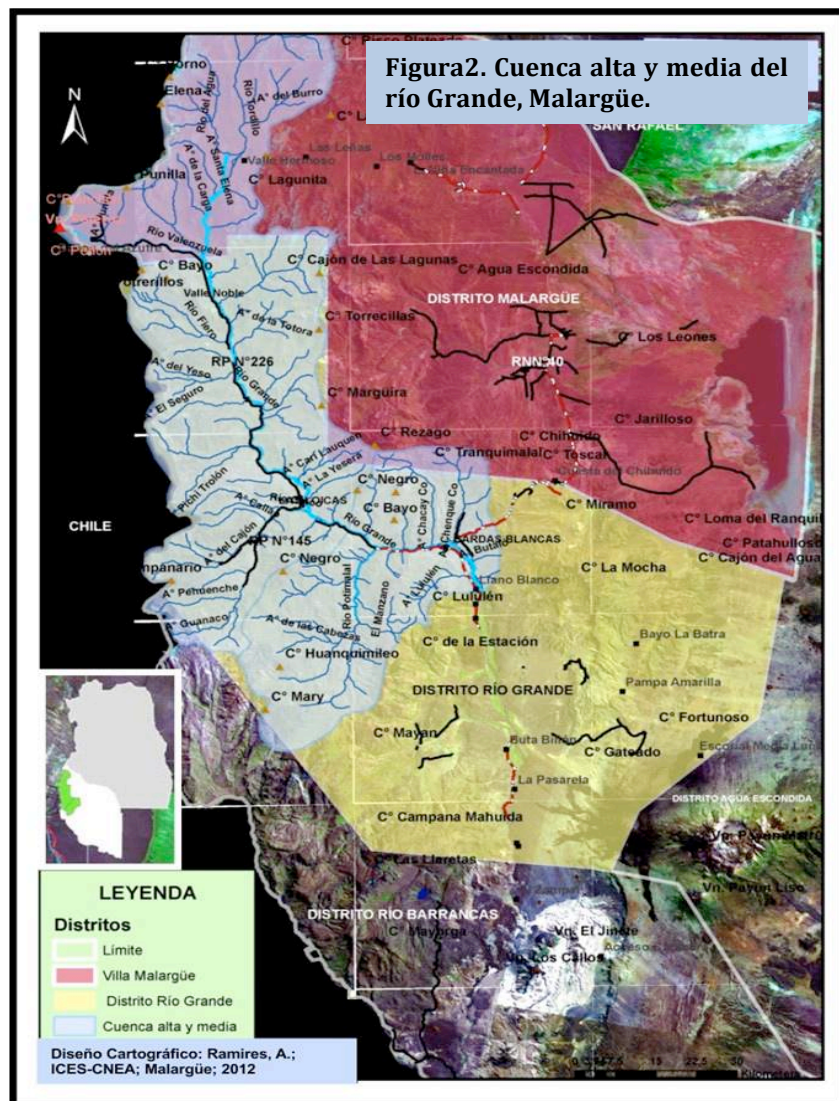
<sup>23</sup> Se entiende por cuenca hidrográfica en este trabajo, a "cualquier área en la que la condición última es el drenaje hacia un punto, coincidente éste con la parte más baja de la cuenca". Elissonde (2006).



El área de estudio comprende una extensión de unos 100km de largo por unos 70 km ancho siendo el límite norte el C° La Punilla(3267msnm), donde nacen los arroyos que conforman la subcuenca del río Valenzuela en la inmediaciones del Complejo Volcánico Planchón Peteroa (CVPP) mientras que el límite sur lo constituye el C° Mary (3626 msnm). Figura 2.

El límite oeste, está constituido por las altas cumbres de la cordillera principal, aproximadamente desde el Paso Vergara hasta el Cordón de Mary, en las nacientes de la subcuenca del río Potimalal, en un frente cordillerano de unos 130 km. Hacia el este el límite lo conforma un conjunto de cordones montañosos integrados por el C° Lagunita (3588 msnm), hasta aproximadamente el C° Tranquimalal (2637msnm). Las elevaciones de este sector constituyen la divisoria con las cuencas de los ríos Salado y Malargüe.

Se considerará a los fines de este trabajo cuenca alta y media del río Grande al sector que se extiende desde el Complejo Planchón- Peteroa hasta la cabecera distrital Bardas Blancas, incluyendo el paraje Chenque Co por su proximidad y fuerte vinculación con esta localidad.





## ESCENARIO DE RIESGO

El escenario de riesgo es la representación de la interacción de los diferentes factores de riesgo (amenaza y vulnerabilidad) en un territorio y en un momento dados.

Debe representar y permitir identificar el tipo de daños y pérdidas que puedan producirse en caso de presentarse un evento peligroso en unas condiciones dadas de vulnerabilidad, en este caso una erupción volcánica.

Es un punto de referencia teniendo en cuenta los indicadores de alerta precoz y experiencias similares del pasado, porque sienta las bases para todo el proceso de planificación posterior de la fase de emergencia.

En otras palabras es la descripción de las características de un evento detonador específico con los consecuentes efectos directos e indirectos esperados.

Debe contemplar la imprevisibilidad, especialmente en las amenazas de origen volcánico, donde existe un cierto grado de incertidumbre científica respecto del comportamiento de los fenómenos volcánicos.

El desarrollo de un escenario requiere que:

- Se tengan en cuenta todas las posibilidades (hay que imaginar situaciones de riesgo);
- se limite el número de opciones (1 ó 2 suelen ser lo normal), de otro modo el proceso de planificación será demasiado complicado.
- se utilice el concepto del peor escenario, este aspecto es fundamental ya que un escenario de máximo riesgo permite manejar situaciones intermedias o menores.

Para este caso, los escenarios se proponen según el patrón de organización que tiene la actividad ganadera en el valle del río Grande: la veranada y la invernada.

Se plantean, uno de mínima y otro de máxima precipitación de tefras volcánicas para cada uno de éstos contextos socios productivos.

Con el objeto de no generar demasiados escenarios y porque no existen diferencias sustanciales en el nivel de riesgo, la trashumancia será considerada dentro del modelo planteado para la veranada.

### Riesgo en Escenario de Mínima

Se plantea un escenario para todos los contextos sociales del puestero<sup>24</sup> ya que para una hipótesis de mínima caída de cenizas no se modifican significativamente los niveles de riesgo de la cuenca.

En la tabla I, se distinguen los niveles para cada una de las cuencas fluviales que corresponden a las veranadas<sup>25</sup>, ya que presentan niveles de peligro diferentes. En el caso de la invernada los niveles para ambas variables se mantienen en los distintos sectores de la cuenca, por lo tanto se agrupa en una única zona.

<sup>24</sup> En el sur de Mendoza, se entiende por puestero al grupo social que se dedica o ha dedicado a la cría de cabras. Ovando (2011).

<sup>25</sup> Veranada, unidad socio-productiva temporaria del puestero o criancero, emplazada generalmente cerca de un curso de agua, tales como un río, un arroyo o una vega.



Los desplazamientos trashumantes se consideran dentro de la veranada porque la fragilidad del arreo como el nivel de peligro es similar en este espacio social.

Tabla I: Nivel de riesgo para las áreas de veranada e invernada.			
Área	Nivel de peligro	Nivel de vulnerabilidad	Nivel de riesgo
Cuenca Valenzuela	Medio	Alto	Medio
Cuenca valle superior del Río Grande	Bajo	Alto	Medio
Cuencas Altas río Chico y A° Potimalal	Muy bajo	Alto	Bajo
Cuenca media del río Grande (incluye cuenca inferior del río Chico y Potimalal)	Muy Bajo	Medio	Bajo

En la veranada, se incrementa significativamente el número de unidades productivas en la cuenca ya que se duplican pasando de unos 90 asentamientos en invierno a unos 190 en verano.

La figura3, muestra el siguiente escenario de riesgo con dos áreas claramente diferenciadas en caso de producirse erupciones similares a las ocurridas en 1991 y 2010/11.

1. Medio nivel de riesgo: abarca el área adyacente al volcán desde la base del mismo hasta los 25/30 km donde desemboca el río Valenzuela con el curso principal del río Grande. Este sector tiene muy alta vulnerabilidad y está totalmente expuesta a todos los peligros volcánicos (gases tóxicos, flujos u oleadas piroclásticas, lahares y tefras de diversa granulometría). En caso de erupción inminente, se debe realizar la evacuación inmediata de los asentamientos localizados en la base del volcán (Puesto Los Ciegos de la familia Aburto, Grupo El Azufre de Gendarmería Nacional y baños termales El Azufre).

Las veranadas situadas hasta 30 km. de distancia del foco emisor (cerca de 15 unidades productivas) están expuestas a la caída de cenizas, tal como sucedió en la erupción de 1991, donde la acumulación registrada fue de 1,5 a 3 cm hasta la localidad de Valle Noble, sitio en el que se ubica el campamento de vialidad provincial, utilizado en esta oportunidad como unidad de base para albergar a los puesteros y gendarmes que debieron abandonar las inmediaciones del volcán. (Informe Memorandum N° 55 Seccional 24 Malargüe de la Policía de



Mendoza, año 1991) y entrevistas a puesteros trashumantes<sup>26</sup> 2011). En este episodio se replegaron a este refugio veinticinco (25) personas, dejando pertenencias y animales en la zona. No fue necesaria la evacuación a la localidad de Las Loicas, distante a 100 km. No se reportaron pérdidas de ganado por este evento, aunque sí existen numerosos relatos orales sobre el impacto en la calidad del agua, especialmente en la cuenca del río Valenzuela, debido a la turbidez y cambios en su composición química. No obstante, una erupción más prolongada (de dos meses), podría contaminar el recurso hídrico y provocar ciertos efectos adversos en el ganado y la población.

Cabe citar que en la erupción de 1991, los pobladores adoptaron medidas preventivas utilizando cloro para el agua de consumo humano. Existieron tres casos de afecciones respiratorias y oculares en niños y un anciano.

El resto del tramo hasta Las Loicas, que concentra el 80% de las veranadas de la cuenca a pesar de su alta vulnerabilidad, la baja densidad de la pluma volcánica, no generará efectos adversos mayores. De persistir el evento (dos meses) provocaría problemas de visibilidad y en algunos casos irritación ocular y respiratoria en los moradores.

Este sector concentra el 80% de los movimientos trashumantes. La figura 3 muestra la distribución y los tipos predominantes de desplazamientos clasificados de acuerdo a la distancia a recorrer. Dominan los circuitos de media (45%) y larga distancia (20%). Independiente de estos valores, todos los circuitos se podrían ver afectados ya que durante el arreo<sup>27</sup> transitan por el valle principal del río Grande o por la franja intercuenca río Grande - río Malargüe, áreas de mayor probabilidad de dispersión de la pluma volcánica, como lo muestra la figura 3.

En este escenario planteado, el arreo tendrá inconvenientes ya que el éxito del mismo, depende totalmente del medio natural. El principal problema se relacionaría con el movimiento de animales durante la precipitación de cenizas volcánicas debido al polvo que levantan al caminar potenciando la inhalación de trizas con las consecuencias en la salud expresadas en otros capítulos. Otro problema será la escasa visibilidad para continuar el camino. Ambas situaciones retardarían la llegada a las áreas de destino.

**2. Bajo nivel de riesgo:** comprende las veranadas de las cuencas superiores del río Chico y Poti Malal, la vulnerabilidad es alta pero el nivel de peligro es bajo ya que las unidades productivas no están expuestas a la pluma volcánica, la dirección predominante del viento es NW y W, existen muy pocas posibilidades de que la ceniza siga una trayectoria norte-sur y son las más alejadas del foco emisor. El número de puestos estacionales es menor que en el caso anterior (cerca del 20%). No existen registros de dificultades en los eventos eruptivos descritos.

---

<sup>26</sup> Trashumante, puestero que se desplaza al inicio del verano con su ganado hacia valles de altura, ubicados en esta cuenca por encima de los 1.600 msnm hasta los 2.500 msnm, aproximadamente. El retorno a las áreas de invernada se produce en otoño.

<sup>27</sup> Arreo, conjunto de animales (especialmente caprinos) que se traslada durante la trashumancia.



Las zonas de invernadas<sup>28</sup> que se extienden el valle medio del río Grande, incluyendo las cuencas inferiores de los ríos Chico y Poti Malal, fig. N°27, se ubican dentro de esta categoría. Ante un evento eruptivo los puestos ubicados a la vera del río Grande son más susceptibles por estar situados en el área de dirección dominante de la pluma volcánica.

Una situación que podría complicar este escenario es, si ocurre durante la etapa reproductiva, por los cuidados que requieren las hembras y las crías, sobre todo necesidad de alimento. Los inconvenientes podrían suscitarse por las condiciones ambientales del lugar, ya que es la época de mayor frecuencia de vientos que podrían afectar las vías respiratorias y generar problemas oculares más que de acceso a pasturas o agua. Agudizándose por el polvo que se levanta en los corrales durante las tareas que se realizan en las primeras horas de la mañana y en las últimas de la tarde.

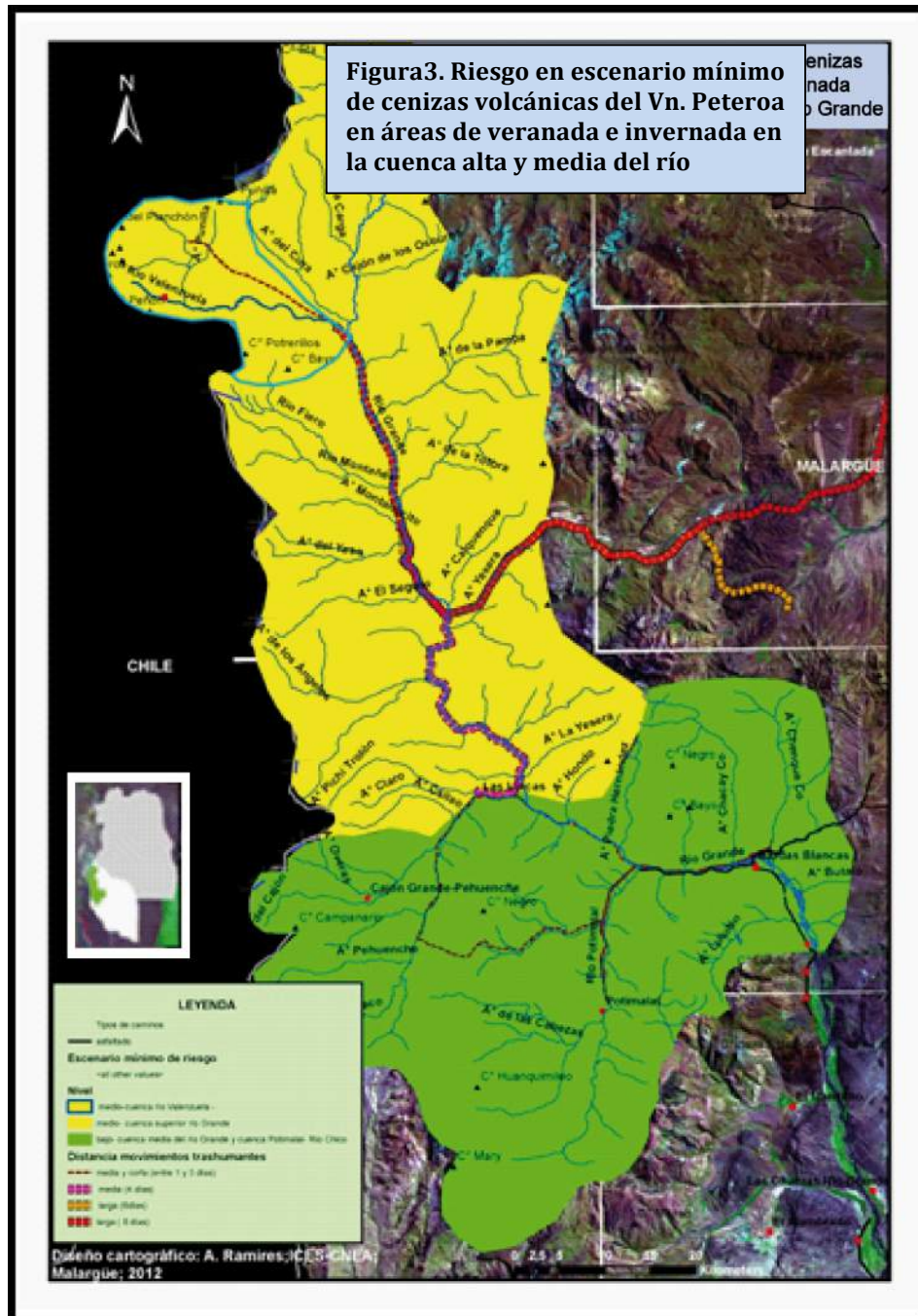
En cuanto a la trashumancia, el sector de veranada que corresponde a las cuencas altas de los ríos Chico y Poti Malal, tienen menor porcentaje de trashumantes (no superan al 20%), dominan los itinerarios de media distancia con baja probabilidad de exposición a la pluma volcánica en la primera parte del camino. Esta situación que cambia a medida que el arreo ingresa a la cuenca media del río Grande (área de invernada) ya que aumenta su exposición al peligro. A pesar de esto, no habría efectos adversos importantes.

Cabe mencionar que en la primer fase eruptiva del volcán (setiembre- octubre de 2010) coincidió con el movimiento trashumante que practican hacia los valles altos del río Grande una minoría de puesteros (4) antes del periodo reproductivo, con el objeto de iniciar este proceso en las veranadas, debido a la sequía prolongada que afecta a las áreas de invernada. Estas veranadas se ubican a más de 35 km. en línea recta del volcán, en las inmediaciones de Valle Noble. Durante el mes y medio que duró el evento no se registraron efectos adversos en el ganado ni problemas de salud en los habitantes. En abril de 2011 se registró un leve episodio (VEI < 1) irregular que duró entre 2 a 4 días con una pluma volcánica que no superó los 1.000 m de altura. Tampoco se reportaron daños en los animales durante el circuito trashumante, de los pocos ganaderos que venían descendiendo. Para esa época cerca del 90% ya había regresado a las invernadas.

De los contextos analizados, la veranada y el camino trashumante del valle superior del río Grande son los más vulnerables, mientras que la zona de invernada tiene una mayor capacidad de resiliencia para afrontar este escenario debido a la menor fragilidad de sus factores de vulnerabilidad.

---

<sup>28</sup> *Invernada, espacio socio productivo donde transcurre la vida de la familia durante gran parte del año (entre 7 u 8 meses al año). Está ubicada en valles bajos de la cuenca por debajo de los 1600 msnm. ó en planicies o mesetas que se extienden al este del departamento donde las temperaturas no son tan extremas y las precipitaciones nivreas menos intensas.*



**Riesgo en Escenario de Máxima**

Para este escenario se diferencian los contextos de invernada y veranada ya que por la magnitud de la erupción que se plantea, el evento generará impactos distintos. La trashumancia se considera dentro del mismo porque el nivel de riesgo es similar.

**En la veranada**

La tabla II y el mapa figura4, muestra los niveles de riesgo para las diferentes cuencas que se corresponden con las áreas de veranada dentro de la cuenca. En la clasificación se agregan las categorías “extremo y severo” porque son escenarios verdaderamente catastróficos,





debidos a la violencia de la erupción, que superan lo que se considera como “alto o muy alto”.

Tabla II Nivel de riesgo para áreas de veranadas			
Área	Nivel de peligro	Nivel de vulnerabilidad	Nivel de riesgo
Cuenca Valenzuela	Extremo	Alto	Extremo
Cuenca valle superior del Río Grande	Severo	Alto	Severo
Cuencas altas río Chico y A° Potimalal	Alto	Alto	Alto
Cuenca media del río Grande	Alto	Medio	Medio

1. Nivel extremo de riesgo: sector totalmente devastado, evacuación inmediata de los puesteros y grupo de Gendarmería Nacional. Muerte de todas las cabezas de ganado existentes en el lugar, (vacunos y reproductores caprinos) que domina en esta zona. Quedan totalmente sepultados y destruidos por las oleadas y flujos piroclásticos los edificios de Gendarmería Nacional del Escuadrón 29 Malargüe, instalaciones de Baños El Azufre, del ICES Argentina y el puesto de veranada Los Ciegos. La vertiente que provee agua al grupo de gendarmería e ICES, queda enterrada en las capas de material volcánico. Los lahares se encauzan por los arroyos (Peñón, Cerrillos Negros y Los Baños) que nacen en los glaciares del volcán y que son tributarios del río Valenzuela, colmatándose de material piroclástico y generando desbordes que tapizan el valle glaciario con vegetación herbácea. No existen fuentes de agua disponibles.

2. Severo nivel de riesgo: comprende gran parte de la cuenca superior del río Grande hasta la localidad de Las Loicas. Abarca unos 55 km de largo por unos 35 km de ancho. Concentra el 80% de los puestos de veranada. La gran cantidad de acumulación de cenizas entre 40 y 60 cm. sepulta los pastos y tapa las vertientes, el río Grande y numerosos tributarios están colmatados de material lapillítico (pómez) y ceniza, dificultándose enormemente el acceso al agua para el ganado que desesperado bebe el agua contaminada de estas fuentes. Los animales quedan ciegos, se producen severos problemas respiratorios muchos mueren por inanición. Los caprinos por ser animales de ramoneo pueden comer las hojas de arbustos más altos pero por su hábito de pastorear profundo son los que consumen más cenizas, lo mismo sucede con los equinos que además sufren serios daños en el pelaje. Se producen numerosas



mueren por caquexia debido al daño de las trizas en el aparato digestivo. El ganado menor tiene dificultades para desplazarse debido a la acumulación de cenizas en el pelo, muchos caen, no pueden levantarse y mueren. Debido a la oscuridad reinante los animales se desorientan y mueren perdidos en el campo.

Se extiende una epidemia de sarna debido a las infecciones que se producen en el pelaje.

Se pierde el 90% de las cabezas de ganado del sector. En las inmediaciones del Valle de Los Patos y Valle Noble, con mayor espesor de cenizas las pérdidas son totales.

Se desploman los techos de todos los riales<sup>29</sup>, en algunos el espesor llega a los 80 cm. Los veranadores<sup>30</sup> se refugian debajo de rocas grandes, se cubren con los aperos del caballo.

La mayoría abandona las veranadas y salen con las provisiones básicas en busca de ayuda a pie ya que el grosor de la capa impide el paso de los cabalgares que aún están vivos.

Los puesteros que deciden quedarse deben destapar las aguadas y colar el agua para poder beberla ya que no llega la ayuda a las veranadas que están alejadas de las rutas principales.

Días posteriores los helicópteros no logran identificar los precarios puestos debido a la acumulación de arena y a la escasa visibilidad ya que el viento produce la re movilización constante de las partículas provocando verdaderas tormentas de polvo.

Los pocos animales vivos están en malas condiciones de salud, la ayuda con forraje, no llega porque los caminos están intransitables y se cuenta con escasa maquinaria vial local para realizar el despeje de caminos.

Los ríos y arroyos no pueden cruzarse por el peligro que representan los lahares secundarios, además los cabalgares no pueden caminar porque la arena volcánica en ciertos sectores llega a los 50 cm.

Los pobladores tienen serias afecciones respiratorias y oculares debido a la exposición a las partículas. La única protección utilizada son pañuelos y chalinas para proteger nariz y boca. Además de problemas digestivos por el consumo de agua contaminada. Reciben los primeros auxilios cinco días después en el centro de salud de Las Loicas y en la ciudad de Malargüe.

3. Nivel de riesgo alto: comprende la cuenca alta de los ríos Chico y Poti Malal, abarca unos 50 km. de largo por 25 km. de ancho. La acumulación de cenizas oscila entre los 5 y 10 cm. de acumulación. A pesar de la violencia de la erupción, es el área menos afectada de la cuenca y alberga el 15% de los puestos de veranada. La vegetación herbácea (vegas y mallines) es la más castigada y afecta especialmente a los bovinos; algunos pastizales del genero de la Pappostipa que superan los 20 cm. sirven para la alimentación de equinos y caprinos. Cabe recordar que en la erupción del Cordón Caulle Puyehue las pérdidas de forraje fueron del 15 al 30% en coirones de 20 cm. de altura con una acumulación de 4 a 5 cm. de cenizas. En este caso la reducción de este tipo de pastizales sería del orden del 60%.

---

<sup>29</sup> *Rial o ruca, vivienda estacional de la veranada; se trata de un monoambiente de pequeñas dimensiones, donde se ubica en un rincón el fogón y algunos enseres domésticos. Generalmente, se construye al reparo de una barda o arbusto del lugar, con recursos de la zona.*

<sup>30</sup> *Veranador, puestero que practica la trashumancia en áreas de veranada.*



Si bien esto favorece, se potencia la ingesta de cenizas con las consecuencias a mediano plazo en la dentadura. La supervivencia de los caprinos se debe básicamente al ramoneo de arbustos del género de las adesmias (vulgarmente conocidas como colimamil y choique mamil). No obstante, producto de los daños que provocan las cenizas en el ganado (similares al caso anterior) se produce la muerte del 70% del ganado.

Los cursos fluviales descienden turbios con gran cantidad de ceniza en suspensión pero son las únicas fuentes de consumo para el ganado. Los pobladores se proveen de las escasas vertientes que logran encontrar, única fuente de agua para consumo.

Se reportan afecciones respiratorias y oculares en las personas mayores, similares al caso anterior.

Las veranadas más cercanas a rutas de acceso salen en busca de ayuda. Los primeros auxilios al área se producen cinco días después del evento, la ayuda consiste en forraje, agua, alimentos, barbijos y medicamentos. Los centros de distribución son el destacamento de Gendarmería Nacional Sección Poti Malal y Las Loicas ubicados a 30 km. en línea recta de las veranadas más distantes. Los productores que logran resguardar algunos caballos y cuentan con fardos de pastos se desplazan a estos sitios en búsqueda de provisiones, algunos que poseen medio de transporte tratan de avanzar lentamente a los sitios de destino haciéndose muy complicada la transitabilidad por la ceniza acumulada, la escasa visibilidad y los trastornos mecánicos que genera en los vehículos.

4. Medio nivel de riesgo: es el sector menos vulnerable, ya que en esta época del año es muy escaso el número de cabezas de ganado (3%) del total. No obstante se registra una mortandad cercana al (60%), entre los productores que no practican trashumancia. Las muertes se generan por las mismas causas expresadas en los casos anteriores.

Los equinos utilizados para el trabajo (entre 2 y 3) se resguardan en pesebreras y galpones y los pocos caprinos que se dejan en las internadas para consumo de carne también se protegen en estos sitios, aunque muchos se pierden en el campo y no regresan debido a los problemas de visibilidad. En este sector del valle la mayoría de los crianceros cuentan con pequeños potreros de alfalfa (2.500 m<sup>2</sup>) y ya han realizado el primer corte, esta reserva (unos 40 fardos) es utilizado para suplementar durante los primeros diez días a cabras (cuyo número oscila entre 25 y 35) y a los cabalgares. Los potreros quedan cubiertos de cenizas y se pierden los próximos cortes de pasto.

Las fuentes de agua resultan fuertemente castigadas.

Respecto a los pobladores, las mujeres son las que residen en los puestos en esta época del año y son ellas las que se encargan de las primeras medidas de protección del ganado. En personas mayores y niños se registran cuadros respiratorios reciben los primeros auxilios en el centro de salud de Bardas Blancas y posteriormente son trasladados al Hospital Regional Malargüe.

Los puestos más cercanos acuden a Bardas Blancas y a Las Loicas para aprovisionarse de agua por grifo ya que estas localidades cuentan con una pequeña red por cañería. Sólo se utiliza lo



indispensable para bebida, lavado y cocción de alimentos porque las cisternas no tienen gran capacidad y además no están en condiciones de bombear porque está cortado el suministro de energía eléctrica.

Los puestos distantes a estos núcleos urbanos (entre 10 y 17 km. aproximadamente) que no cuentan con pozo o vertiente, deben colar y hervir el agua antes de consumirla. Se reportan problemas gastrointestinales en estos habitantes.

Los 20 cm. de ceniza acumulada causa el derrumbe de viviendas más precarias. Las familias son evacuadas a la escuela albergue.

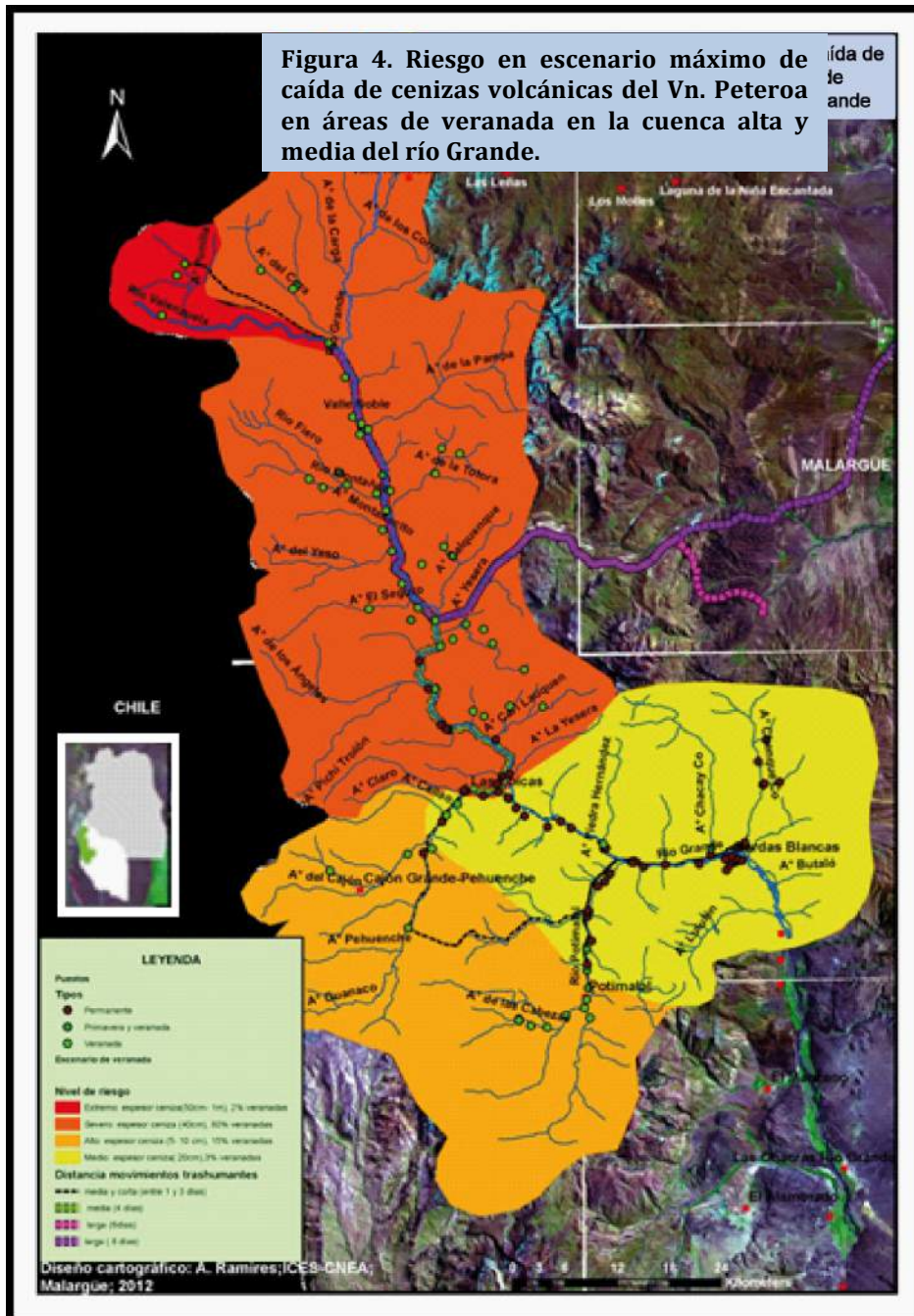
A pesar de ser la zona más accesible dentro de la cuenca, debido a la intransitabilidad de las la asistencia llega tres días después del evento.

Respecto de la trashumancia, el desplazamiento se hace imposible ya que el grosor de las cenizas impide el movimiento del ganado, además del polvo que levanta agravando las consecuencias en la salud y acentuándose la sed de los piños que están desorientados.

Los puesteros abandonan el arreo y están perdidos no ubican la huella, están sedientos y con problemas respiratorios y oculares. Buscan resguardo en algún refugio temporario o rocas grandes para salvar sus vidas con los suministros básicos que llevan para el trayecto, especialmente el agua para consumo que les alcanza para una jornada. Tratan de salvaguardar sus caballos y mular /es de carga para tratar de salir de sitio una vez que cese la precipitación de cenizas.

Se muere el (90%) de las cabezas de ganado.

El sector más comprometido es el valle superior del río Grande, (riesgo severo) ya que reúne el (80%) de los movimientos de trashumancia de toda la cuenca.





## En la invernada

Tabla IV Nivel de riesgo para el área de invernada			
Área	Nivel de peligro	Nivel de vulnerabilidad	Nivel de riesgo
Cuenca media del río Grande	Alto	Medio	Alto
Cuenca inferior de los ríos Chico y Potimalal	Alto	Medio	Alto

1. Nivel alto de riesgo: en este escenario el área de invernada abarca una zona continua (figura5) ya que tanto el valle medio del río Grande como las cuencas inferiores de los ríos Chico y Poti Malal manifestarán niveles semejantes de vulnerabilidad, aunque el peligro será levemente menor en estas últimas, no obstante la categoría de riesgo no cambia. Alberga cerca de 30.000 cabezas de ganado de las cuales el 85% son caprinos.

En el período invernal cerca del (70%) del piño son hembras en estado de gestación. La capa de 20 cm. cubre totalmente las pasturas que en esta estación son poco vigorosas por estar secas. La única fuente de alimentación son los arbustos que también tienen escaso aporte alimenticio. Cabe recordar que en la reciente erupción del Cordón Caulle- Puyehue, en coirones en estado pobre cuya altura alcanza los 5cm., las pérdidas de forraje con acumulaciones de 4 a 5 cm. fueron del (70 a 80%). En este caso la reducción de los pastizales alcanzaría el 100%. Por lo tanto, los piños están más flacos de lo normal. La falta de pastura y agua es mortal.

El reducido stock de pastos artificiales con que cuentan las unidades productivas (un promedio de 200 fardos de pasto) no alcanza para suplementar al ganado sobreviviente, sumado a la falta de instalaciones adecuadas (comederos, piletas con agua limpia, galpones o corrales protegidos) lo que ocasiona la muerte masiva de los mismos, debido a los daños ya conocidos que provocan las cenizas volcánicas. Se pierde el 80% de las existencias ganaderas. El (20%) restante necesita urgente suplementación con forraje artificial y cuidados sanitarios, especialmente en cabras preñadas para evitar la pérdida del embarazo por abortos. Se prevé en el corto plazo la aparición de casos de pérdida de dentición por el efecto abrasivo de las trizas.

El promedio de caprinos por productor en este valle oscila entre 800 a 600 chivas, si sobrevive el (20%) unas 200 chivas, se necesitan 40 fardos de pasto para un mes, teniendo en cuenta que con un fardo se alimentan unas 20 chivas por semana. Sin tener en cuenta el forraje para los cabalgares, bovinos y ovinos que logren sobrevivir.



Hay puestos que pierden todo el capital. Se produce el abandono generalizado de más del (50%) de los puestos.

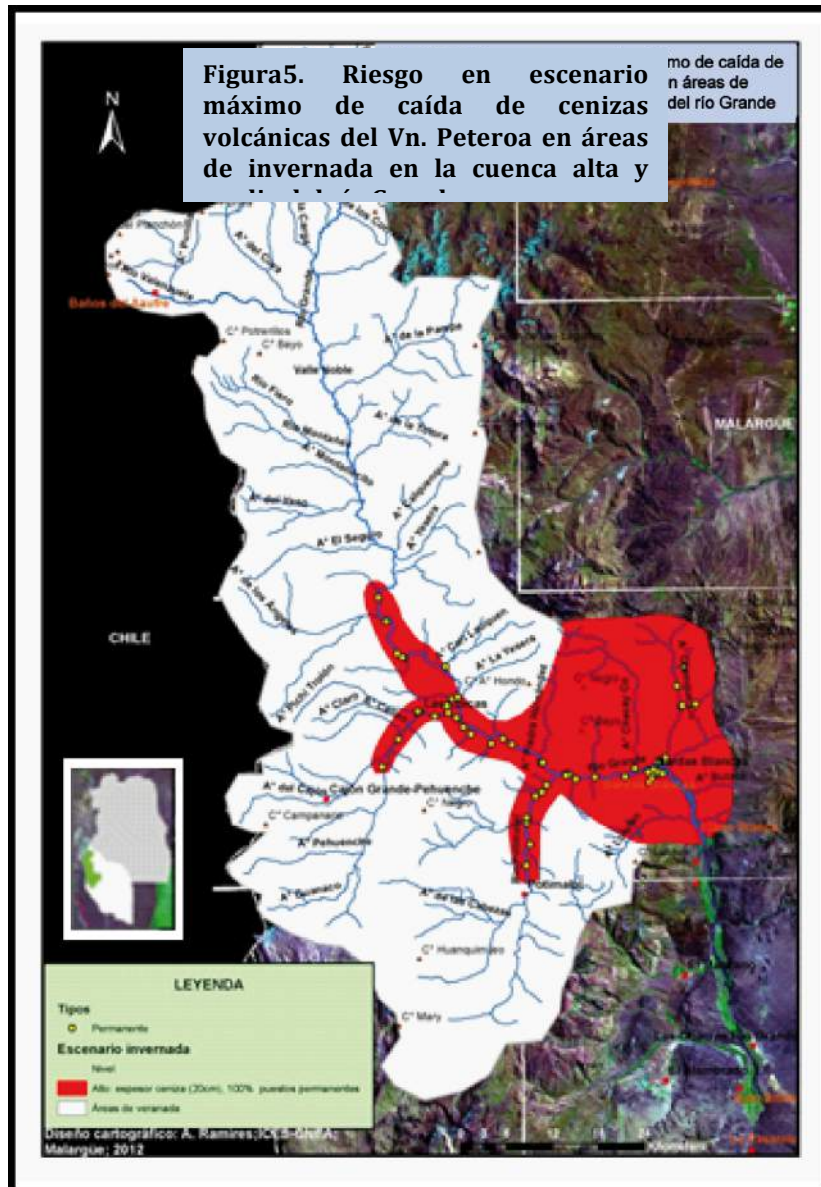
El escaso número de ganado que aún está vivo, (la mayoría son cabrillonas preñadas), necesita ser trasladado a otras provincias no afectadas por el evento. No se consiguen campos para talaje dentro de la provincia, los ganaderos deben acudir a la provincia del Neuquén que no ha sido afectada por el evento, los costos de arrendamiento son elevados y deben contratar camiones para su traslado.

El valor del forraje se triplica y las asociaciones ganaderas de la zona no acceden a precios más bajos y la oferta es insuficiente.

Respecto a la población se reportan casos de afecciones respiratorias fundamentalmente en ancianos y niños como en los escenarios anteriores y las dificultades con el acceso a fuentes de agua son similares. El (50%) de las viviendas se derrumban los techos ya que son planos y sólo el (30%) son de chapa de zinc. Las familias son evacuadas en la escuela albergue, salón comunitario y en domicilios de parientes de la localidad.

Si bien es el tramo más conectado de la cuenca, las dificultades que causa el espesor de cenizas en los caminos dificulta enormemente la transitabilidad que sumados a los problemas que tiene todo el departamento por el evento, la ayuda tarda en arribar a la zona. Las primeras provisiones llegan cinco días después del evento.

El territorio más extenso de la cuenca, que corresponde al valle superior del río Grande, en esta época del año no posee puestos de veranada por lo que el riesgo es bajo ya que no hay ganado expuesto a la catástrofe. No obstante, esta zona no mantendrá la aptitud ecológica que tenía previa al desastre y no podrá ser utilizada durante la próxima veranada ya que tiene acumulaciones extraordinarias de cenizas que alcanzan en áreas cercanas al volcán el metro de altura.



## CONCLUSIÓN

A partir de lo analizado se obtienen las siguientes conclusiones para cada una de las zonas de la cuenca:

### Escenario de mínima y máxima caída de cenizas en veranada

#### En el valle superior del río Grande

- Los sectores más afectados son el valle alto del río Grande. Una mínima caída de ceniza con VEI 2 afectará fundamentalmente los primeros 25 km. del volcán debiendo ser evacuados los puesteros del área. En el resto del tramo no provocará impactos significativos que pongan en riesgo al ganado.
- Una máxima precipitación de cenizas con una erupción VEI entre 5 y 6 causará pérdidas totales del ganado por la magnitud del evento y la alta vulnerabilidad que





tiene este modelo en esta época del año con el 80% de las unidades productivas del área de estudio.

- Respecto de la trashumancia, esta zona, aglutina la mayoría de los circuitos trashumantes (de corta, media y larga distancia) es el más vulnerable, los mismos quedarían totalmente expuestos durante una erupción. La situación sería catastrófica en un escenario de gran violencia con pérdidas totales, mientras que en el de mínima retrasaría el arreo por las condiciones de visibilidad y el impacto que provocaría el polvo levantado por el ganado al tratar de desplazarse.

#### En el valle medio del río Grande

- La cuenca media en los dos escenarios tiene un nivel de riesgo menor ya que el número de cabezas de ganado disminuye masivamente y son muy pocos los puesteros que no practican trashumancia en este sector.

#### En las cuencas altas de los ríos Chico y Poti Malal

- El nivel de riesgo es bajo porque es la zona menos expuesta a la pluma volcánica. En el de máxima, el nivel de riesgo es alto ya que por la magnitud del evento las cenizas llegarán a estos sitios pero en menor cantidad en comparación con las otras áreas afectadas. El número de puestos de veranadas es disminuye significativamente.

### **Escenario de mínima y de máxima caída de cenizas en internada**

#### En el valle superior del río Grande y cuencas altas de los ríos Chico y Potimalal

- Muestran bajo nivel de riesgo porque ante la ocurrencia de los sucesos no habrán productores en el área.

#### En el valle medio del río Grande

- Este sector tiene el riesgo más alto, porque reúne el mayor número de puestos permanentes y las actividades centrales del manejo caprino (gestación y reproducción). En una erupción violenta como la descrita tendrá pérdidas cercanas al (80%) y se abandonaría la actividad ganadera en la región.

El análisis realizado pone en evidencia la gran vulnerabilidad física, técnica, económica y social de este modelo ganadero debida a la crisis estructural que perdura desde principios del siglo XX y a patrones culturales que impiden la incorporación de nuevas formas de producción más acordes al contexto actual en el que se encuentra inmerso. Por lo tanto tiene una baja capacidad de resiliencia para afrontar un evento volcánico, especialmente si es de gran magnitud porque depende casi exclusivamente del medio natural.

La vulnerabilidad técnica y económica son las más relevantes ya gran parte de la respuesta ante una erupción violenta, dependerá del tipo y calidad de la infraestructura con la que cuentan los puestos para resguardar el ganado durante y después del evento (bebederos, comederos, galpones, corrales techados acordes al número de cabezas de ganado, medios de transportes para traslado de ganado, potreros artificiales, etc.) y de la capacidad financiera de los productores para solventar gastos extras que surgirán en ese momento, tales como



compra de forraje, granos, agua, vacunas, asistencia sanitaria, alquiler de campos para pastaje, circuito de comercialización para vender de manera rápida en estos casos, entre otros aspectos. Estos factores mejorarían enormemente su capacidad de respuesta más allá de la magnitud del peligro. Ninguna unidad de producción del área de estudio cuenta con estas condiciones de producción descritas.

Un manejo diferente del ganado y el equipamiento de los puestos, en especial los temporarios, contribuirían a disminuir la vulnerabilidad, principalmente de aquellas veranadas distantes de las rutas y caminos que conectan la cuenca, a las que sólo se accede a caballo. Frente a una contingencia mayor la ayuda no llegará rápidamente debiendo contar el Estado con otros medios alternativos como helicópteros para brindar los primeros auxilios, siempre y cuando la visibilidad y las cenizas lo permitan ya que ocasionan serios daños a los motores, y hélices. En un escenario de máxima caída de tefras sería imposible llegar a tiempo con asistencia. Tampoco podría trasladarse por camiones el poco ganado que sobreviva al evento.

Respecto de la trashumancia este contexto es muy vulnerable, máxime si el evento ocurre durante el ascenso a los valles de altura, ya que el éxito del arreo depende exclusivamente de las condiciones del entorno. Un 50% de los trayectos se localizan en zonas de difícil accesibilidad, condición que los obligará a auto evacuarse en un episodio similar al ocurrido en abril de 1932, para salvar las vidas de los arreadores ya que el ganado desafortunadamente deberá ser abandonado.

En un episodio de mínima caída de cenizas volcánicas, generará retraso de los arreos, sed, afecciones respiratorias y oculares leves en animales y personas.

Una situación a contemplar es si el evento se desencadena durante el ascenso a los valles de altura ya que en esa época los piños y rebaños viajan en peores condiciones alimenticias, (madres flacas) y las crías con escaso desarrollo (tienen apenas dos meses) por lo tanto el recorrido es más lento.

El retorno es más rápido ya que el ganado ha engordado y las crías son más grandes, generalmente se acorta entre dos a tres días el trayecto. Esto disminuye la vulnerabilidad porque están en mejores condiciones para afrontar el evento.

Una mención especial merece la vivienda rural, fundamentalmente el ríal de las veranadas, ya que es totalmente vulnerable. En el escenario de mínima (VEI 2), se suscitarán inconvenientes porque las cenizas ingresarán por diversos sectores y generarán polvo en suspensión de manera permanente, causando dificultades en la salud de sus moradores. En un evento de máxima precipitación de cenizas, los techos de las rucas se desplomarán quedando los habitantes totalmente expuestos a la amenaza, generando problemas respiratorios, oculares y dermatológicos en los mismos. Además de originarse otra serie de inconvenientes como la protección de fuentes de agua, alimentos y abrigo.

Los puestos que cuentan con una calidad edilicia mayor, también sufrirán daños ya que predominan los techos planos.



El diseño de la vivienda rural, con espacios separados, potenciará el ingreso de cenizas al interior de la misma, especialmente en días de vientos que son frecuentes en esta zona.

En síntesis el modelo ganadero actual de la cuenca alta y media del río Grande es altamente vulnerable ante la caída de cenizas volcánicas. Una erupción prolongada de meses con un VEI=2 provocaría pérdidas y cambios en la organización de las actividades que realiza el puestero en cada uno de sus contextos.

Un escenario de máxima peligrosidad con un VEI entre 5 y 6 modificará profundamente la organización territorial del modelo con consecuencias trágicas que provocarán el abandono de esta actividad y la desaparición de la gran mayoría de los puestos en esta cuenca.

## REFERENCIAS

- [1] Alto Comisionado de las Naciones Unidas para Refugiados, 2002. Manual para situaciones de Emergencia. Gestión de las situaciones de Emergencia: Planificación de Contingencia.
- [2] Bendini M. y Alemany C., 2005. Los crianceros trashumantes en Neuquén, E: GESA 5-INTA NCRCRD, Buenos Aires, Editorial La Colmena.
- [3] Gómez Orea, D., 2002. Ordenación Territorial. Ediciones Mudi-Prensa y Editorial Agrícola Española, S.A, Madrid.
- [4] Gudiño, M., 2005. Introducción al Ordenamiento Territorial. Mendoza, Ed. Mimeo.
- [5] Haller M., Risso C., Ramires A., 2011. Volcán Peteroa: Geología y Actividad Eruptiva 2010-2011 y Vulnerabilidad de la Población. Cuadernos ICES4, CNEA-ICES-UNCUYO.
- [6] Haller M.; Risso C., 2011. La Erupción del Volcán Peteroa (35°15'S, 70°18'W) del 4 de septiembre de 2010, Revista de la Asociación Geológica Argentina 68 (2): 295 - 305.
- [7] Naranjo, Haller, Ostera, Pesce, Sruoga, 1999. En Boletín N° 52, "Geología y Peligros del Complejo Volcánico Planchón- Peteroa, Andes del Sur (35°15'), Región del Maule, Chile- Provincia de Mendoza, Argentina, Servicio Nacional de Geología y Minería, Chile.
- [8] Naranjo J. y Haller M., 2002. Erupciones holocenas principalmente explosivas del volcán Planchón, Andes del sur (35°15'S), En: Revista Geológica de Chile, Vol. 29, No. 1, p. 93-113.
- Ovando E., Ramires A., 2009. Recuerdos de Ceniza. El impacto de la erupción del Quizapu (1932) en Malargüe a través de los testimonios orales, IX Encuentro Nacional y III Congreso Internacional de Historia Oral de la República Argentina, Dirección General de Patrimonio e Instituto Histórico, Buenos Aires, Argentina.
- [9] Ruiz, A., Barba, D., Yepes H. y Hall M., 2004. Las nubes de ceniza del volcán Tungurahua entre octubre 1999 y septiembre 2001, Instituto Geofísico Departamento de Geofísica, Escuela Politécnica Nacional, Investigaciones en Geociencias, volumen N° 1, Quito Ecuador.
- [10] Sruoga P., Ibañez G., 1995. Lluvia de tefra y su incidencia en el medioambiente. Ejemplos de la provincia de Mendoza, 1° Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio, Actas I: 185-196, Río Cuarto.



[11] Trombotto D., Penas P., Blöthe J., Hernández J., 2012. Monitoreo termo-geomorfológico de la cumbre del Complejo Volcánico Peteroa, Mendoza, Argentina. Cuadernos ICES6, Ruzzante, Pumarega eds., CNEA-ICES-UNCUYO.



# 10Be: Un trazador de la subducción de sedimentos marinos en arcos volcánicos.

Rodrigues<sup>1,2</sup>, D; Padilla<sup>3</sup>, S; Balpardo<sup>2</sup>, C; Alcade<sup>3</sup>, J; Arazi<sup>1,2</sup>, A; Chamizo Calvo<sup>3</sup>, E; Fracchia<sup>2</sup>, D; López Gutierrez<sup>3</sup>, J.M; Gomez Guzmán, J.M<sup>3,4</sup>; Martí, G.V<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Consejo Nacional de investigaciones Científicas y Tecnológicas - CONICET, Rivadavia 1917, C.A.B.A., Argentina.

<sup>2</sup>Comisión Nacional de Energía Atómica, Av. Gral. Paz, 1499, Bs. As., Argentina.

<sup>3</sup>Centro Nacional de Aceleradores, C/T. Alva Edison, 7, 41092, Sevilla, España.

<sup>4</sup>Technische Universität München, Physics Department, James-Franck-Str. 1, Garching, Alemania.

E-mail: darodrig@tandar.cnea.gov.ar

## RESUMEN

La subducción de sedimentos marinos es un proceso aún no totalmente entendido para el cual coexisten distintos modelos que deben ser validados con datos empíricos. Para esto, el <sup>10</sup>Be es un trazador ideal. Este radionucleido es producido en la atmósfera por los rayos cósmicos y pasa a los océanos y a la superficie terrestre por precipitación húmeda. Desde allí, es incorporado a los sedimentos marinos y puede ser introducido en el manto terrestre mediante subducción. La presencia de <sup>10</sup>Be en los magmas de arcos volcánicos es una clara evidencia de que los sedimentos están siendo reciclados por efecto de la subducción, ya que la semivida del <sup>10</sup>Be es geológicamente muy corta para que este elemento esté presente en el manto. El objetivo del presente trabajo es determinar la concentración de <sup>10</sup>Be en cenizas eruptadas por volcanes de los Andes en Argentina y compararla con la correspondiente a una muestra de retroarco, que se supone carente de material reciclado. Para ello se procesaron químicamente las muestras a fin de extraer y concentrar el berilio que contenían, y se midió la concentración de Be mediante espectrometría de masas (ICP) y la relación isotópica mediante la técnica de espectrometría de masas con acelerador (AMS). Los resultados indican que la cantidad de <sup>10</sup>Be en cenizas volcánicas es significativamente mayor a la presente en la muestra de retroarco. Sin embargo, los valores en cenizas resultaron significativamente mayores que los valores típicos en roca volcánica de arco. La hipótesis más fuerte es la contaminación con <sup>10</sup>Be atmosférico ocurrida probablemente en el lapso entre la erupción y el depósito de las cenizas. Para corroborarlo se planean nuevas mediciones, esta vez en cenizas previamente lavadas con ácidos débiles para eliminar los aerosoles adsorbidos en superficie.

## INTRODUCCIÓN

La aplicación de radionucleidos como trazadores de procesos se ha extendido desde la química analítica hasta los estudios medioambientales. En el primer caso, suelen utilizarse radionucleidos de corta vida media  $\tau$ , ya que con un relativamente bajo número de núcleos  $N$  se obtiene una actividad  $A=N/\tau$  medible por los métodos convencionales (espectrometría gama, centelleo líquido, etc.). Sin embargo, cuando se pretende utilizar radionucleidos como



trazadores de procesos cuyos tiempos característicos son mucho mayores, resulta necesario recurrir a radionucleidos de vida media larga, de otro modo la cantidad de radionucleidos caería rápidamente por debajo del límite de detección.

Si se desea estudiar procesos geológicos cuyos tiempos característicos son del orden de los millones de años, se debe recurrir a radionucleidos cuya vida media  $\tau$  sea del mismo orden. Para obtener una actividad medible de estos radionucleidos por métodos convencionales, se requerirían muy altas concentraciones, de modo tal de compensar su bajísima probabilidad de decaimiento.

Otra forma de medir concentraciones es mediante la espectrometría de masas convencional (MS). Esta técnica permite contar los núcleos sin necesidad de esperar a que decaigan, sin embargo se encuentra limitada por la interferencia de moléculas y átomos con igual masa (isóbaros).

Si se quiere estudiar un proceso geológico debe utilizarse un radionucleido natural que ya esté presente en el sistema. En este caso, no se tiene control sobre la concentración inicial del trazador, pudiendo resultar muy baja al finalizar el proceso.

Como vemos, son muchas las exigencias impuestas al trazador, dificultándose encontrar un buen candidato, esto es: un radionucleido natural que se encuentre en concentraciones adecuadas y cuya vida media sea lo suficientemente larga como para que sobreviva a todo el proceso que se desea estudiar.

Con el advenimiento de la técnica de espectrometría de masas con aceleradores (AMS) se mejoraron significativamente los límites de detección de radionucleidos de larga vida media [1] posibilitando estudios con trazadores en concentraciones extremadamente bajas, del orden de una parte en  $10^{15}$ .

### **Motivación geológica**

La subducción de sedimentos marinos es un proceso aún no totalmente entendido para el cual coexisten distintos modelos que deben ser validados con datos empíricos [2, 3].



Figura 1: Representación esquemática de la subducción de la placa de Nazca debajo de la placa continental extraído de [4].

Para esto, el  $^{10}\text{Be}$  es un trazador ideal. Este radionucleido es producido en la atmósfera por los rayos cósmicos [5] y pasa a los océanos y a la superficie terrestre por precipitación húmeda.

Gracias al transporte realizado por las aguas y sedimentos superficiales el  $^{10}\text{Be}$  llega al fondo oceánico. Finalmente, los sedimentos marinos ricos en  $^{10}\text{Be}$  son parcialmente incorporados durante la subducción de la placa de Nazca debajo de la placa continental [6].

Durante la década de 1980, se realizaron estudios aplicando la técnica de AMS para determinar la concentración de  $^{10}\text{Be}$  en magmas de arcos volcánicos. Los resultados mostraron que las concentraciones de este radionucleido en magmas de arcos volcánicos generados por subducción es significativamente mayor que la presente en magmas donde no hay reciclado de sedimentos [2, 3, 7].

La presencia de  $^{10}\text{Be}$  en los magmas de arcos volcánicos se constituyó en una clara evidencia de que los sedimentos están siendo reciclados por efecto de la subducción, ya que la semivida del  $^{10}\text{Be}$  (1,387 m.a.) [8] es muy corta para que este elemento esté presente en el manto (ver figura 1).

En este trabajo nos propusimos extender el estudio ya realizado en rocas volcánicas a cenizas volcánicas de la cordillera de los Andes, utilizando para ello cenizas eruptadas por volcanes cuyas rocas nunca fueron analizadas por esta técnica.

## DESARROLLO EXPERIMENTAL

### Técnica de Medición

Como hemos discutido, el  $^{10}\text{Be}$  es un excelente trazador para el estudio del reciclado de sedimentos marinos durante la subducción de la placa de Nazca. Sin embargo, su



concentración natural al finalizar el proceso resulta inferior a los límites de detección de la MS y las muestras no presentan una actividad medible.

Es en ese punto donde aparece la técnica de AMS en escena, ya que esta técnica permite medir relaciones isotópicas  $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$  del orden de  $10^{-15}$ . Esto se logra gracias a dos ventajas que son consecuencia de la alta energía que los aceleradores le proveen a las partículas. Por un lado, las moléculas se rompen al atravesar una región con gas (reduciendo la interferencia isobárica molecular). La función principal de este gas es el intercambio de carga de las partículas previo a su segunda etapa de aceleración. Por otro lado, es posible utilizar métodos de detección propios de la física nuclear para la detección individual de partículas diferenciando isóbaros atómicos. En nuestro caso de interés, se distingue  $^{10}\text{Be}$  de  $^{10}\text{B}$ .

**Extracción química del Be**

Para la determinación de la relación isotópica del  $^{10}\text{Be}$  en las muestras de interés, es necesario en primer lugar realizar la extracción química del Be presente en la muestra.

Debido a que la concentración de Be en cenizas volcánicas es del orden de 1 ppm, la cantidad de Be presente en 10 gramos de muestra (10 mg de Be) no es suficiente para trabajar en forma confiable y segura. Es por ello que debe agregarse a la muestra material portador, esto es, Be prácticamente libre de  $^{10}\text{Be}$ . En nuestro caso utilizamos un material de Be cuya relación isotópica  $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$  resultó menor que  $10^{-14}$ , mientras que los valores esperados en las muestras son del orden de  $10^{-10}$ .

Si bien el agregado de material portador es necesario para realizar la extracción química del elemento de interés, redundando en una reducción de la relación isotópica de la muestra a medir. Sin embargo,

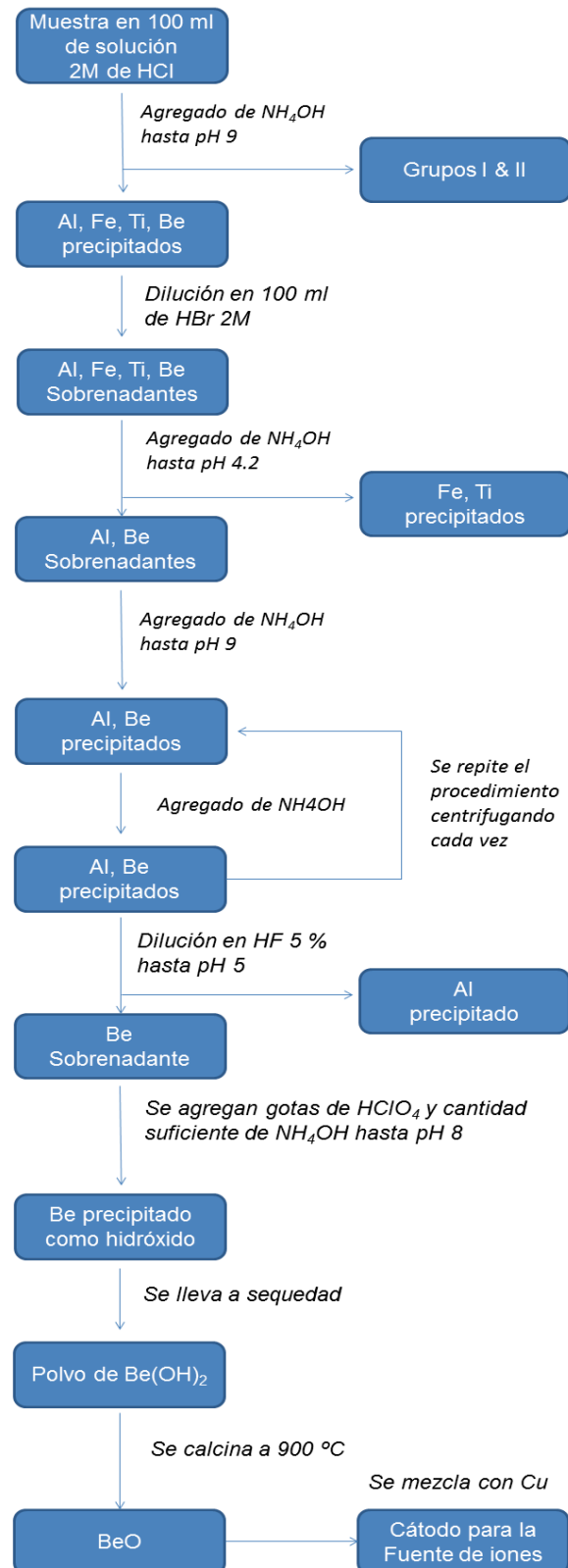


Figura 2: Marcha química utilizada para la extracción de Be.





debido a la alta sensibilidad de la técnica de AMS, esto no representa un problema.

En este trabajo en particular, mientras que las concentraciones originales en las muestras corresponden a valores del orden de  $10^{-10}$ , los valores medidos están comprendidos en el rango de  $10^{-12}$  debido al agregado de portador. De todos modos, sigue encontrándose muy por encima del límite de concentración medible de la técnica para este radioisótopo actualmente del orden de  $10^{-15}$ .

El procedimiento químico utilizado para la extracción fue el seguido por Tera y colaboradores [2]. El mismo consiste en una serie de precipitaciones realizadas en diferentes medios ácidos (ver figura 2).

El punto crítico del proceso es realizar precipitaciones muy sensibles en relación a los valores de pH para lograr la separación de los elementos de interés, como por ejemplo la etapa de separación de Fe y Ti (ver figura 2). La dificultad para llevar adelante este proceso con la precisión requerida conlleva a un rendimiento de extracción relativamente bajo. Como resultado, la corriente obtenida en la fuente de iones del acelerador se ve disminuida por la presencia de contaminantes en la muestra final. Además, la aplicación de esta técnica conlleva el uso de HF y HBr lo que exige extremas condiciones de seguridad.

#### **Muestras estudiadas**

Se realizaron análisis en cenizas eruptadas por los volcanes Peteroa (erupción de septiembre de 2010), Puyehue (erupción de junio de 2011), Quizapú (erupción de abril de 1932), y Hudson (erupción de agosto de 1991), además de una muestra de lava tomada en la Payunia, en el sureste de la provincia de Mendoza, un claro ambiente de retroarco. En la figura 3 se ubican las localidades muestreadas dentro el contexto de la placa Sudamericana.

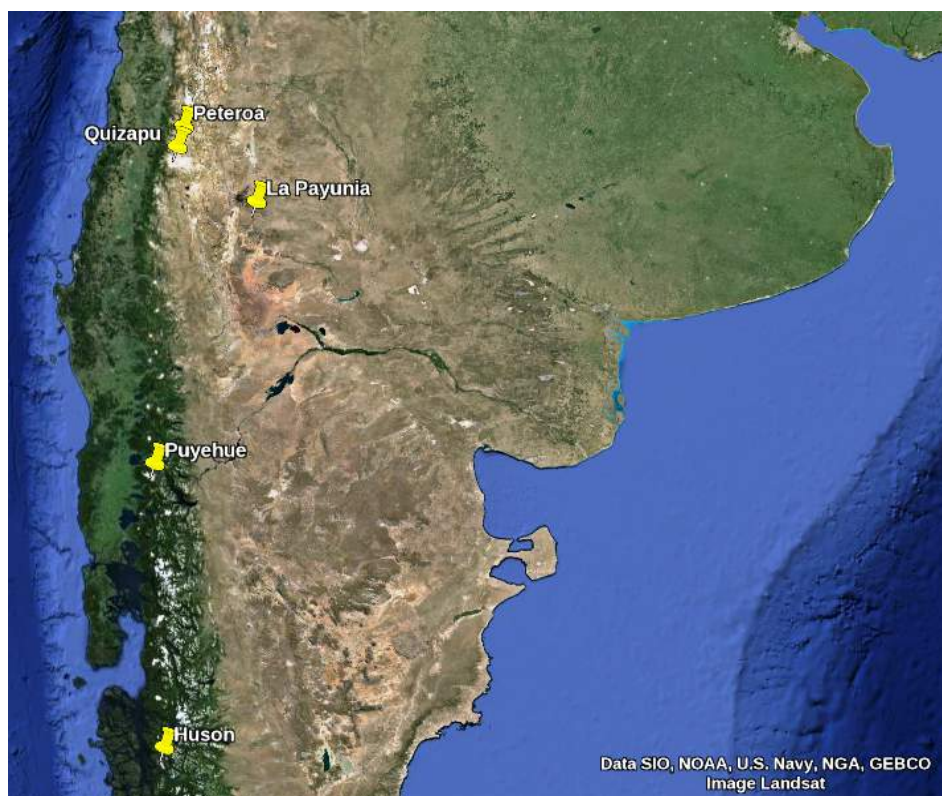


Figura 3: Ubicación geográfica de los volcanes que dieron origen a las cenizas estudiadas en este trabajo.

### Determinación de la relación isotópica $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$

Las mediciones realizadas para la determinación de la relación isotópica  $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$  se llevaron a cabo en el Centro Nacional de Aceleradores (CNA) de Sevilla, España. Para ello se utilizó el acelerador SARA, un acelerador tipo Tandatron de 1 MV de tensión de terminal [1, 9].

Para evitar la interferencia del isóbaro estable  $^{10}\text{B}$  durante la detección se aprovechó la diferencia en el número de protones  $Z$  con el radionucleido de interés. A tal fin, luego de la etapa de aceleración, se interpuso una folia de nitruro de silicio ultra delgada (500 nm) en el camino del haz. Por poseer el  $^{10}\text{B}$  ( $Z=5$ ) un protón más que el  $^{10}\text{Be}$  ( $Z=4$ ), pierde mayor energía al interactuar con la folia. Mediante el uso de un deflector electrostático es posible sintonizar el radionucleido de interés, suprimiendo en gran medida el isóbaro interferente.

Debido a la gran diferencia en número a favor del  $^{10}\text{B}$ , una fracción de este último siempre consigue también alcanzar el detector que se encuentra al final de la línea. Una vez más es necesario diferenciar  $^{10}\text{B}$  de  $^{10}\text{Be}$ , y para ello es que SARA cuenta con una cámara de ionización de ánodo segmentado que permite diferenciar partículas según su número de protones.

Es así que fue posible contar literalmente de a uno los núcleos de interés y normalizar el valor por la corriente de su isótopo estable  $^9\text{Be}$ , medida en intervalos de corta duración durante la medición. El número de  $^{10}\text{Be}$  registrados en el detector dividido por la cantidad de átomos de Be contados como corriente estable es una medida de la relación isotópica que se quiere determinar a menos de un factor de corrección provenientes de la trasmisión del haz a



través del acelerador que también se determina midiendo una muestra patrón de concentración bien conocida.

Por su parte, la concentración de Be presente en las muestras se determinó mediante la técnica de ICP (*Inductively Coupled Plasma*) encontrándose todas las muestras con valores de concentración entre 0,8 y 1,2 ppm.

Finalmente, conociendo la cantidad de material portador agregado, la relación isotópica  $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$  en la muestra colocada en el cátodo del acelerador y la concentración de  $^9\text{Be}$  por gramo de muestra, calculamos la concentración de  $^{10}\text{Be}$  por gramo de muestra.

## RESULTADOS Y DISCUSION

En la figura 4 presentamos los resultados obtenidos después de determinar la concentración de  $^{10}\text{Be}$  presente en las muestras.

La primera diferenciación se presenta en los valores obtenidos para cenizas (correspondientes a volcanes de un arco generado por subducción) y la muestra de retroarco. Las cenizas presentan valores entre 300 y 500 millones de átomos de  $^{10}\text{Be}$  por gramo, mientras que la muestra de retroarco no supera los 70 millones de átomos de  $^{10}\text{Be}$  por gramo.

En la figura se graficaron dos puntos etiquetados como Puyehue 1 y Puyehue 2. La diferencia entre estas dos muestras radica en su tratamiento químico. La primera fue lavada durante 90 minutos con agua desionizada en un agitador siguiendo el protocolo descrito por Witham y colaboradores [10]. Este lavado tuvo como objetivo separar el  $^{10}\text{Be}$  de origen atmosférico que pudo haberse adherido a la superficie de las partículas de ceniza durante la erupción, dejando sólo el  $^{10}\text{Be}$  presente en el magma. Este último debería encontrarse en los silicatos que conforman las cenizas y no adherido a su superficie. Si bien el valor obtenido para la muestra Puyehue 1 es inferior al de la muestra Puyehue 2, resulta mayor que el obtenido para la muestra del Peteroa y en el mismo orden de magnitud que las otras dos muestras de volcanes estudiadas.

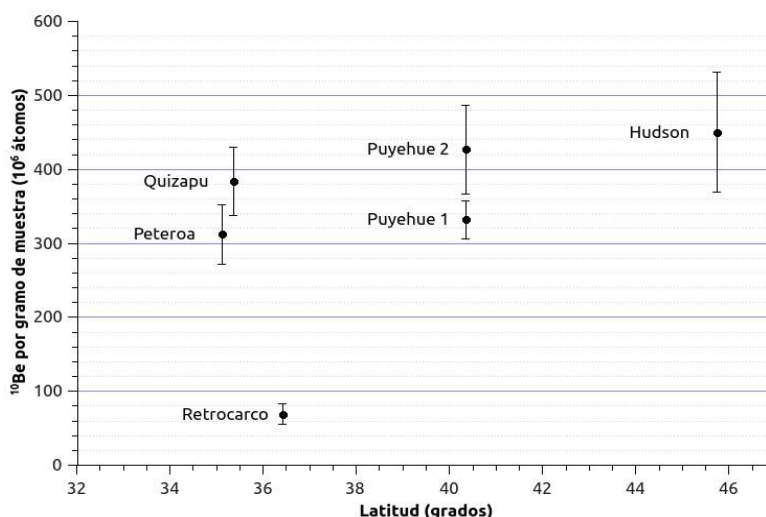


Figura 4: Concentraciones de  $^{10}\text{Be}$  por gramo de muestra presente en las cenizas estudiadas.



Las concentraciones de  $^{10}\text{Be}$  por gramo observadas en las muestras estudiadas son significativamente más altas que las encontradas en la bibliografía para roca volcánica en la región [2, 3]. Sin embargo, la evidencia de  $^{10}\text{Be}$  reciclado durante la subducción sigue presente en las cenizas analizadas ya que los niveles de este radionucleido son significativamente mayores que los medidos en la muestra de retroarco.

Las diferencias con los valores en rocas pueden asociarse a posibles adsorciones superficiales que no pudieron ser removidas con el lavado realizado. A fin de evitarlas completamente, se prevén nuevas mediciones luego de un tratamiento adicional con ácidos débiles previo a la extracción química del Be.

### CONCLUSIONES

Hemos determinado la concentración de  $^{10}\text{Be}$  por gramo en cenizas eruptadas por cuatro volcanes del orógeno Andino: Peteroa, Puyehue, Quizapu y Hudson, y en una quinta muestra de basalto de la zona de retroarco.

Los valores observados en las cenizas son significativamente más altos que los correspondientes a la muestra de retroarco. Esto es compatible con la presencia de  $^{10}\text{Be}$  en los magmas de arco, el cual proviene del reciclado de sedimentos marinos durante la subducción. En cambio, las rocas de retroarco no deberían contener  $^{10}\text{Be}$  debido a que su ubicación respecto del orógeno no permite que sean contaminadas con sedimentos marinos.

Cabe mencionar que los valores previamente determinados en roca volcánica de la región son significativamente menores y si bien en este trabajo estudiamos cenizas y de volcanes sobre los que nunca se realizaron este tipo de mediciones, nos intriga y compromete a buscar una explicación para dicha diferencia. En principio, la asociamos a la presencia de  $^{10}\text{Be}$  atmosférico adsorbido en la superficie de las partículas de ceniza durante la erupción, hipótesis que será testada realizando un lavado con ácidos débiles previo al procesamiento químico de la muestra.

### AGRADECIMIENTOS

Las muestras fueron tomadas y cedidas para este estudio por el Dr. Miguel Haller (Payunia y Puyehue), el Lic. Gabriel Orozco (Quizapu), el Ing. Darío Torres (Peteroa) y el Lic. Leandro Murruni (Hudson) a quienes se agradece la gentileza. Nuestro agradecimiento también al Lic. Agustín Londonio por el ataque químico de las muestras para su posterior medición por la técnica de ICP y los consejos que ayudaron al desarrollo de la química involucrada en este trabajo.

### REFERENCIAS

- [1] Ruiz-Gómez et al. Nucl. Instr. and Meth. B, 268, Issues 7-8, 733-735 (2010).
- [2] Tera et al. Geochim. Cosmochim. Acta, 50, 535-550 (1986).
- [3] Morris et al. Geochim. Cosmochim. Acta, 53, 3197-3206 (1989).



- [4] <https://www.uclm.es/profesorado/egcardenas/subduccion.htm>
- [5] Nagai, Tada, T. Kobayashi. Nucl.Instr. and Meth.172, Issues 1-4, 796-801 (2000).
- [6] McHargue et al. Reviews of Geophysics, 29, 141-158 (1991).
- [7] Dreyer et al., Journal of Petrology, 1761-1782 (2010).
- [8] Korschinek et al. Nucl. Instr. and Meth.B, 268, 187-191 (2010).
- [9] Chamizo et al. Nucl. Instr. and Meth. B, 266, Issue 10, 2217-2220 (2008).
- [10] Witham et al. Journal of Volcanology and Geothermal Research Vol. 141, Issues 3-4, 299-326 (2005).



# Diversidad de líquenes (Hongos Liquenizados) en rocas volcánicas de la Reserva Provincial La Payunia, Mendoza.

Rodriguez<sup>1</sup>, J. M; Estrabou<sup>1</sup>, C; Copetti, M<sup>1</sup> y Papú, O<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> CERNAR/IIByT - CONICET-Universidad Nacional de Córdoba.

<sup>2</sup> ICES-ICA-UNCUYO

E-mail: juanmacor@yahoo.com.ar

## RESUMEN

Dentro de las regiones montañosas, los afloramientos rocosos constituyen hábitats particularmente importantes desde el punto de vista de conservación de la biodiversidad y para diversos estudios bioclimáticos, de biomonitoreo o sucesión primaria. En zonas de afloramientos rocosos se desarrollan comunidades de líquenes extensas, diversas y relativamente complejas, formadas por uno o varios estratos de líquenes. Las características particulares de la Reserva Provincial La Payunia la hacen propicia para el desarrollo de los líquenes ya que ocupan gran parte de la superficie rocosa descubierta formando parte del paisaje visual. El objetivo de este trabajo es identificar las especies de líquenes que crecen en la Reserva y realizar un primer inventario de diversidad de este grupo de organismos. Se seleccionaron 9 sitios de muestreo abarcando la mayor cantidad posible de ambientes que presenta la Reserva. Se tuvieron en cuenta altitud, tipos de sustrato (composición de las rocas), vegetación entre otras variables. En cada sitio se coleccionaron muestras de líquenes en diferentes microhábitats. Se estimó la cobertura total de líquenes en porcentaje. La colección de especímenes se realizó hasta que no se encontraron nuevos taxones. Los mismos fueron identificados mediante análisis de rutina (morfológicos, anatómicos y químicos). Se identificaron un total de 35 especies pertenecientes a 10 familias. Predominaron los líquenes crustosos y foliosos con notables variaciones de acuerdo a los diferentes sitios de colección. Se mencionan 17 especies no citadas previamente para la provincia de Mendoza. Además de colaborar con los objetivos de conservación, estos resultados permitirán el desarrollo de estudios posteriores sobre la ecología de las comunidades liquénicas y su potencial uso como bioindicadores del impacto ambiental de las actividades productivas que se realizan en inmediaciones de ésta área protegida.

## INTRODUCCIÓN

Las áreas montañosas tienen un papel incuestionable como reservorios de la diversidad regional y global [1] debido a que combinan distribuciones discontinuas con variaciones edafo-climáticas resultantes de los gradientes altitudinales [2]. Dentro de las regiones montañosas, los afloramientos rocosos constituyen hábitats particularmente importantes



desde el punto de vista de conservación de la biodiversidad y para diversos estudios bioclimáticos, de biomonitoreo, o sucesión primaria.

En zonas de afloramientos rocosos se desarrollan comunidades de líquenes extensas, diversas y relativamente complejas, formadas por uno o varios estratos de líquenes crustosos, foliosos y/o fruticulosos [3]. Los afloramientos rocosos son considerados ambientes extremos pero estables [4]. Los líquenes están entre los organismos mejor adaptados a estos hábitats [5] y prosperan a pesar de estar sometidos a un continuo estrés debido a la exposición solar, a cambios en la disponibilidad de agua, fuertes vientos y disturbios antropogénicos o naturales [6].

Las diferentes escalas brindan diferentes perspectivas a la hora de analizar los determinantes estructurales de las comunidades liquénicas [7] [8]: a grandes escalas el clima, la altitud y las unidades de vegetación influyen en la distribución de las especies. A pequeña escala, además de la competencia interespecífica, entre las variables que regulan la composición de las comunidades de líquenes saxícolas se mencionan la pendiente de los afloramientos, la exposición, el enriquecimiento de nutrientes por parte de animales, la composición geoquímica de la roca, la microtopografía del sustrato y el tamaño de la superficie rocosa [9] [10] [11], por lo que estos factores deben ser tenidos en cuenta a la hora de interpretar resultados.

Los líquenes son muy buenos indicadores ambientales producto de su lento metabolismo, su dependencia total del agua y nutrientes disponibles en el aire, la absorción y acumulación de contaminantes entre otras características. Sin embargo el uso de estos bioindicadores encuentra una primera dificultad en la falta de conocimiento sobre su diversidad en importantes regiones del país. Entonces un primer paso al estudio de los líquenes es la identificación de las especies y de su distribución. Luego se deben encarar estudios ecológicos que permitan conocer la estructura de las comunidades y las variables que las modelan para entender los cambios que ocurren cuando existen disturbios en el sistema (contaminación, cambios en el uso de suelo, incendios, etc.). Entonces, a partir de una diversidad conocida y de los cambios que provocan las modificaciones ambientales se pueden determinar especies sensibles y tolerantes a los diferentes niveles de disturbio así como el avance o retroceso del ambiente en el cual se realizan estas observaciones. En Argentina a pesar del conocimiento limitado en cuanto a la diversidad liquénica se han realizado importantes avances en el estudio y uso de los líquenes como indicadores ambientales [12] [13] [14].

La Reserva Provincial La Payunia se encuentra en el sur de la provincia de Malargüe con una superficie de 450000 ha. Entre los principales recursos que motivan su conservación está el paisaje ya que es la región del planeta con mayor densidad de volcanes [15]. Además desde el punto de vista biogeográfico se encuentra en una transición entre la estepa Patagónica y el Monte a la vez que existe un gradiente altitudinal que llega hasta los 3600 metros. Esta diversidad de ambientes sumado a la disponibilidad de afloramientos de roca basáltica



permiten el desarrollo de comunidades diversas pero de gran variabilidad entre los diferentes sectores de la reserva.

El objetivo de este trabajo es identificar las especies de líquenes que crecen en diferentes ambientes de la Reserva La Payunia (Malargüe - Mendoza) y proveer de herramientas taxonómicas (descripciones de especies y claves dicotómicas) para su posterior uso en estudios de ecología y biomonitoreo.

## MÉTODOS

En noviembre de 2012 se realizó una campaña de colección de líquenes en la Reserva Natural La Payunia en la provincia de Mendoza. Previamente se seleccionaron sitios de muestreo abarcando la mayor cantidad posible de ambientes de la Reserva. Se tuvieron en cuenta altitud, tipos de sustrato (composición de las rocas), vegetación entre otras variables.

Los sitios seleccionados fueron 8 y sus características se detallan en la Tabla I.

N° Sitio	Nombre	Coordenadas	Altura msnm	Vegetación
1	La Calle	36° 26' 26,2'' S 69° 22' 53,4'' O	2214	Pastizal con arbustos de <i>Larrea</i> spp.,
2	La Calle	36° 26' 25,8'' S 69° 23' 04,3'' O	2222	Pastizal con arbustos. Cobertura escasa.
3	La Calle	36° 26' 24,4'' S 69° 23' 05,5'' O	2223	Pastizal con arbustos. Cobertura escasa.
4	La Calle	36° 26' 22,6'' S 69° 23' 07,2'' O	2225	Pastizal con arbustos. Cobertura escasa.
5	C° Fortunoso	36° 15' 24,4'' S 69° 24' 06,3'' O	1747	Pastizal con arbustos. Zona de explotación de hidrocarburos. Cobertura escasa.
6	La Olla	36° 08' 09,9'' S 69° 07' 46,7'' O	1615	Arbustal abierto de <i>Larrea</i> y <i>Schinus</i> . Cobertura media.
7	Laguna	36° 07' 16,2'' S 69° 28' 12,3'' O	2360	Pastizal con elementos altoandinos. Cobertura escasa.
8	Ruta Prov. 181 Camino a la Batra	36° 03' 36,3'' S 69° 29' 49,6'' O	2151	Arbustal y pastizal. Cobertura media.

Tabla I: Sitios de colección de líquenes de la Reserva La Payunia en la provincia de Mendoza.

En cada sitio se coleccionaron muestras de líquenes en diferentes microhábitat. Se estimó la cobertura total de líquenes en porcentaje. La colección de especímenes se realizó hasta que no se encontraron nuevos taxones. Los mismos fueron identificados en campo utilizando lupas





y reacciones puntuales de color con KOH (Hidróxido de Potasio al 10 %) o Hipoclorito de Sodio en concentración comercial.

Para una identificación genérica o específica las muestras se trasladaron provisoriamente al laboratorio del Centro de Ecología y Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional de Córdoba para realizar análisis morfológico y anatómico. Para un análisis detallado de los compuestos químicos presentes en el talo, se empleó la técnica de cromatografía en capa delgada (TLC) siguiendo el protocolo descrito por Culberson et al. [16] y White & James, [17].

Se elaboró una clave dicotómica de géneros y se presenta una pequeña descripción de los taxones identificados que son novedades para el país o la región. Finalmente se elaboró una guía fotográfica de líquenes para la Reserva (se adjunta en Anexo).

## RESULTADOS y DISCUSIÓN

Hasta el momento se identificaron un total de 32 especies, 17 géneros pertenecientes a 10 familias (Tabla II) todas del grupo de los ascolíquenes (Ascomycota liquenizados). Todos los líquenes coleccionados son crustosos o foliosos no encontrandoencontrándose hasta el momento líquenes fruticulosos. La mayoría de los líquenes son saxícolas dado que la roca expuesta es el principal hábitat disponible para estos organismos (Figura 1). Los géneros *Umbilicaria* y *Lepraria* también fueron encontrados en suelo. Solo los géneros *Candelaria* y *Lepraria* fueron hallados en la base de los arbustos. Los géneros mejor representados son *Xanthoparmelia* y *Acarospora* con 8 y 5 especies respectivamente.

Especie	Familia	Sitio/s	Frecuencia %*
<i>Acarospora altoandina</i>	Acarosporaceae	6	12,5
<i>Acarospora boliviana</i>	Acarosporaceae	1, 6	25
<i>Acarospora chrysops</i>	Acarosporaceae	2	12,5
<i>Acarospora strigata</i>	Acarosporaceae	6	12,5
<i>Acarospora xanthophana</i>	Acarosporaceae	1, 2, 7	37,5
<i>Caloplaca saxicola</i>	Teloschistaceae	1, 2, 4, 5, 6	62,5
<i>Caloplaca arenaria</i>	Teloschistaceae	7	12,5
<i>Candelaria cf. fibrosa</i>	Candelariaceae	3, 5	25
<i>Candelariella vitellina</i>	Candelariaceae	2, 4, 6	37,5
<i>Flavoparmelia caperata</i>	Parmeliaceae	7	12,5
<i>Flavoparmelia hysomii</i>	Parmeliaceae	6	12,5
<i>Lecanora polytropa</i>	Lecanoraceae	4	12,5
<i>Lecanora sp.</i>	Lecanoraceae	2, 5	25
<i>Lecidea sp.</i>	Lecideaceae	2, 4, 7	37,5
<i>Lepraria sp.</i>	Stereocaulaceae	4	12,5



<i>Paraparmelia</i> sp.	Parmeliaceae	2, 4	25
<i>Phaeophyscia chloantha</i>	Physciaceae	6	12,5
<i>Punctelia punctilla</i>	Parmeliaceae	6	12,5
<i>Punctelia stictica</i>	Parmeliaceae	6	12,5
<i>Rhizocarpon geographicum</i>	Rhizocarpaceae	4	12,5
<i>Rhizoplaca melanophthalme</i>	Physciaceae	1, 2, 5, 6, 7, 8	75
<i>Rinodina thiomela</i>	Physciaceae	6	12,5
<i>Umbilicaria</i> sp.	Umbilicaceae	2, 4, 6	37,5
<i>Xanthoparmelia cordillerana</i>	Parmeliaceae	6, 8	25
<i>Xanthoparmelia ferraroiana</i>	Parmeliaceae	6	12,5
<i>Xanthoparmelia flavescentireagens</i>	Parmeliaceae	3	12,5
<i>Xanthoparmelia hypopsila</i>	Parmeliaceae	6	12,5
<i>Xanthoparmelia mahuiana</i>	Parmeliaceae	2, 8	25
<i>Xanthoparmelia mougeotii</i>	Parmeliaceae	4	12,5
<i>Xanthoparmelia skottsbergiana</i>	Parmeliaceae	2	12,5
<i>Xanthoparmelia wrightiana</i>	Parmeliaceae	6	12,5
<i>Xanthoria candelaris</i>	Teloschistaceae	1	12,5

Tabla II: Especies identificadas en los diferentes sitios de colección de la Reserva La Payunia en la provincia de Mendoza. Los detalles de los sitios se encuentran en la Tabla 1. \*La frecuencia corresponde a la relación de presencia de las especies en los 8 sitios muestreados.

El sitio de colección más diverso en cuanto al número de especies es el número 6 “La olla” (Tabla III). Allí la diversidad de hábitat disponible para los líquenes lo hacen propicio para un buen desarrollo de estos organismos. Existen rocas verticales en sitios más húmedos que llegan a tener una cobertura del 100 % de líquenes y también roquedales expuestos con presencia de otras especies que resisten estas condiciones.

Otra zona muy diversa es “La Calle”, comprendido entre los sitios 1 y 4. Aquí la presencia de grandes afloramientos rocosos permite el crecimiento de un buen número de especies.

Los sitios con menor número de especies fueron “La Batra” y Cerro Fortunoso, probablemente debido a condiciones de mayor aridez o al efecto de la actividad de extracción de petróleo. Esto último debe estudiarse en profundidad en trabajos futuros.



N° Sitio	N° de especies	% Cobertura líquénica
1	5	80
2	11	80
3	2	80
4	9	90
5	4	80
6	16	70 - 100
7	5	30 - 50
8	3	30 - 50

Tabla III: Riqueza de especies y cobertura líquénica estimada en cada uno de los sitios de colección.



Figura 1: Comunidad de líquenes sobre basalto en Sitio 5.

Los trabajos previos de diversidad de líquenes en la provincia de Mendoza dan cuenta de un importante número de especies presentes principalmente en la Cordillera de los Andes [18] [19] [20] [21]. Sin embargo en el presente trabajo las siguientes especies son citas nuevas para la provincia: *Acarospora altoandina*, *A. boliviana*, *A. strigata* y *A. xanthophana*, *Caloplaca saxicola*, *Flavoparmelia haysomii*, *Lecanora polytropa*, *Phaeophyscia cloantha*, *Rhizocarpon geographicum*, *Rhizoplaca melanophthalme*, *Rinodina thiomela*, *Xanthoparmelia flavescensireagens*, *X. hypopsila*, *X. mahuiana*, *X. skottsbergiana*, *X. wrightiana* y *Xanthoria candelaris*.



Descripciones completas de las especies mencionadas anteriormente se pueden encontrar en [21] [22] [23] [24] [25] [26] [27] [28]

De un total de 32 especies identificadas 17 son ampliaciones de distribución a la provincia de Mendoza lo que indica que existe una diversidad de líquenes importante y no descubierta en la provincia y específicamente en la región de Payunia. Trabajos sobre la vegetación de Payunia dan cuenta de la particularidad biogeográfica del área debido al ecotono entre la región Patagónica y la del Monte [29] algo que también puede observarse en líquenes. Sin embargo es importante mencionar que no han sido muestreados los sectores más altos de la Reserva de la Payunia que pueden mostrar especies diferentes a las mencionadas en este trabajo. Además no todos los géneros fueron identificados a nivel de especie ya que el trabajo de reconocimiento continúa.

### Clave de géneros

- 1 Liquen corticícola (crece sobre corteza)
  - 2 Talo anaranjado a amarillento, escumuloso, *Candelaria cf. fibrosa*
  - 2´ Talo verde a verde azulino, lepraroide *Lepraria sp.*
- 1´ Liquen saxícola (crece sobre roca)
  - 3 Talo folioso
    - 4 Talo con pseudocifelas en la superficie superior *Punctelia*
    - 4´ Talo sin pseudocifelas en la superficie superior
      - 5 Talo color verde claro a verde amarillento
        - 6 Color verde opaco, lóbulos anchos (> 5mm) *Flavoparmelia*
        - 6´ Color verde brillante, lóbulos angostos (< 5mm) *Xanthoparmelia*
    - 5´ Talo gris mineral
      - 7 Talo umbilicado, unido al sustrato en un solo punto central *Umbilicaria*
      - 7´ Talo no umbilicado, unido al sustrato en varios puntos
        - 8 Talo muy pequeño (5 mm), reacción de KOH negativa en corteza *Phaeophyscia cloantha*
        - 8´ Talo grande (40 mm), reacción de KOH amarilla en corteza *Paraparmelia sp.*
  - 3´ Talo crustoso o escumuloso
    - 9 Talo escumuloso
      - 10 Talo anaranjado, reacción de KOH púrpura en corteza *Xanthoria candelaris*



- 10' Talo verde amarillento a verde claro, reacción de KOH negativa  
*Rhizoplaca melanophtalme*
- 9' Talo crustoso
- 11 Talo y apotecios color anaranjado - rojizos, reacción de KOH púrpura  
*Caloplaca*
- 11' Talo y apotecios de otro color, reacción de KOH negativa o nunca púrpura
- 12 Talo amarillo
- 13 Apotecios negros, esporas muriformes y marrones  
*Rizocarpon geographicum*
- 13' Apotecios concoloros con el talo o levemente más oscuros, esporas simples y hialinas  
*Acarospora*
- 12' Talo de otro color
- 14 Talo color marrón  
*Acarospora*
- 14' Talo de otro color
- 15 Apotecios lecanorinos (con borde talino)  
*Lecanora*
- 15' Apotecios lecideinos, negros  
*Lecidea*

## CONCLUSIONES

Las características particulares de la Reserva la hacen propicia para el desarrollo de los líquenes y estudios de diversidad, ecología y biomonitoreo. Ocupan gran parte de la superficie rocosa descubierta formando parte del paisaje visual.

Se sugieren los siguientes estudios a futuro:

- Explorar áreas no visitadas con potencial para el desarrollo de otro tipo de comunidades liquénicas (alturas mayores a los 2500 msnm).
- Diseñar y realizar un estudio comunitario para reconocer los patrones de colonización liquénicas.
- Diseñar y realizar un estudio de crecimiento de las especies más comunes de la Reserva.
- Evaluar el posible uso de los líquenes como indicadores ambientales en zonas de producción hidrocarburífera.



## REFERENCIAS

- [1] A. Burke, 2002. Island-matrix relationships in nama Karoo inselberg landscapes Part I: Do inselbergs provide a refuge for matrix species? *Pl. Ecol*, 160, 79-90.
- [2] C. M. Jacobi, F. Carmo, R. Vincent and J. R. Stehmann, 2007. Plant communities on ironstone outcrops: a diverse and endangered Brazilian ecosystem. *Biodivers.Conserv.*,16, 2185-2200.
- [3] R. I. Lewis Smith, 1995. Colonization by lichens and the development of lichen-dominated communities in the maritime Antarctic. *Lichenologist*,27(6), 473-483.
- [4] P. Grime, E. R. Rincon and B. E. Wickerson, 1990. Bryophytes and plant strategy theory. *Bot. J. Linn. Soc.*,104, 175 - 186.
- [5] T. H. III, Nash, 2006. *Lichen Biology*. Cambridge University Press, Cambridge.
- [6] T. Bjelland, 2003. The influence of environmental factors on the spatial distribution of saxicolous lichens in a Norwegian coastal community, *J. Veg. Sci.*, 14(4), 525-534.
- [7] S. E. Favero-Longo and R. Piervittori, 2000. Measuring the biodiversity of saxicolous lichens above timberline with reference to environmental factors: the case-study of a Natura 2000 site of western Alps. *Phytocoenologia*,39 (1), 51-78.
- [8] C. J. Ellis and B. J. Coppins, 2010. Integrating multiple landscape-scale drivers in the lichen epiphyte response: climatic setting, pollution regime and woodland spatial-temporal structure. *Divers.Distrib.*,16, 43-52
- [9] J. J. Armesto and L. C. Contreras, 1981. Saxicolous lichen communities: nonequilibrium systems? *American Naturalist*, 118, 597-604.
- [10] E. John and M. R. T. Dale, 1991. Determinants of spatial pattern in saxicolous lichen communities. *Lichenologist*, 23, 227-236.
- [11] R. A. Armstrong, 2002. The effect of rock surface aspect on growth, size structure and competition in the lichen *Rhizocarpon geographicum*. *Environ. Exp. Bot.*,48, 187-194
- [12] M. S. Cañas, L. Orellana, M. L. Pignata, 1997. Chemical response of the lichens *Parmotrema austrosinense* and *P. conferendum* transplanted to urban and non-polluted environments. *Ann. Bot. Fenn.*, 34, 27-34.
- [13] S. Calvelo, N. Baccala, M. A. Arribere, S. Ribeiro Guevara, D. Bubach, 1997. Analytical and statistical analysis of elemental composition of lichens. *J. Radioanal. Nucl. Ch.*, 222(1-2), 99-104.
- [14] C. Estrabou, E. Filipini, J. P. Soria, G. Schelotto, and J. M. Rodriguez, 2011. Air quality monitoring system using lichens as bioindicators in central Argentina. *Environ. Monitor. Assess.*,182 (1), 375 - 383.
- [15] R. Candia, S. Puig, A. Dalamsso, F. Videla y E. Martinez Carretero, 1993. Diseño del Plan de Manejo para la Reserva Provincial La Payunia (Malargüe Mendoza). *Multequina* 2: 5-87.
- [16] C. F. Culberson, W. L. Culberson and A. Johnson, 1981. A standardized TLC analysis of  $\beta$ -orcinol depsidones. *Bryologist*, 84 (1), 16-29.



- [17] F. J. White and P.W. James, 1985. A new guide to microchemical techniques for the identification of the lichen substances. *British Lichen Society Bulletin*, 57 (Suppl.): 1-41.
- [18] S. Calvelo y S. Liberatore, 2002. Catálogo de los líquenes de la Argentina *Kurtziana*, 29(2), 7-170.
- [19] V. Räsänen, 1941. La flora liquenologica de Mendoza (Argentina). *An. Soc. Sci. Arg.* E III, 131, 97-110.
- [20] V. Räsänen, 1948. Flora liquenologica de Mendoza (Argentina), III. *An. Soc. Sci. Arg.* E VI, 146, 379-390.
- [21] V. Räsänen y A. Ruuz Leal, 1948. Flora liquenologica de Mendoza (Argentina) II. Líquenes de la región del Cerro Aconcagua. *An. Soc. Sci. Arg.*, 4, 242-251.
- [22] T. H. III, Nash, C. Gries, J. A. Elix, 1995. A Revision of the Lichen genus *Xanthoparmelia* in South America. *Bibl. Lichenol*, 56, 157.
- [23] T. H. Nash, 2011. The Lichen Genus *rinodina* (Lecanoromycetidae, Physciaceae) in North America, North of Mexico. Ottawa: NRC Research Press. 246 pages, 2010. - *The Lichenologist* 43(3): 284-284.
- [24] J. W. Sheard, 2007. *Rinodina*. In: T. H. Nash, III, C. Gries and F. Bungartz: *Lichen Flora of the Greater Sonoran Desert Region*. Volume 3. Lichens Unlimited, Arizona State University, Tempe, pp. 395-396.
- [25] B. D. Ryan, H. T. Lumbsch, M. I. Messuti, C. Printzen, L. Sliwa, T. H. Nash, 2004. *Lecanora*. In: T. H. Nash, III, C. Gries and F. Bungartz: *Lichen Flora of the Greater Sonoran Desert Region*. Volume 2. Lichens Unlimited, Arizona State University, Tempe, pp. 176-286.
- [26] B. D. Ryan, 2002. *Rhizoplaca*. In: T. H. Nash, III, C. Gries and F. Bungartz: *Lichen Flora of the Greater Sonoran Desert Region*. Volume 1. Lichens Unlimited, Arizona State University, Tempe, pp. 442 - 448.
- [27] C. Estrabou, 1998. La Familia Parmeliaceae (Ascomycetes Liquenizados) sensu stricto de la provincia de Córdoba: estudio sistemático-biogeográfico. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina. Inédita.
- [28] K. Knudsen, J. Elix and V. Reeb, 2008. A Preliminary Study of the Genera *Acarospora* and *Pleopsidium* in South America, *Opuschula Polillichenum*, 5, 1 - 22.
- [29] E. Martinez Carretero, 2004. La provincia fitogeográfica de La Payunia. *Bol. Soc. Argent. Bot.* 39 (3-4), 195 - 226.



# ANEXO

## Guía de líquenes de la reserva provincial de La Payunia



- 1. **Acropora aureobila**  
Tubo pequeño, amarillo, formado por un solo anillo de células. Aparece en arroyos.
- 2. **Acropora bilobata**  
Tubo en forma de tubo hueco, formado por un solo anillo de células.
- 3. **Acropora elongata**  
Tubo en forma de tubo hueco, formado por un solo anillo de células, con apéndice.
- 4. **Acropora nigra**  
Tubo en forma de tubo hueco, formado por un solo anillo de células, con apéndice.
- 5. **Acropora ovata**  
Tubo en forma de tubo hueco, formado por un solo anillo de células, con apéndice.
- 6. **Calopha arvensis**  
Tubo en forma de tubo hueco, formado por un solo anillo de células, con apéndice.
- 7. **Calopha lutea**  
Tubo en forma de tubo hueco, formado por un solo anillo de células, con apéndice.
- 8. **Calopha lutea**  
Tubo en forma de tubo hueco, formado por un solo anillo de células, con apéndice.



- 9. **Calopha lutea**  
Tubo pequeño, amarillo, formado por un solo anillo de células. Aparece en arroyos.
- 10. **Calopha lutea**  
Tubo pequeño, amarillo, formado por un solo anillo de células. Aparece en arroyos.
- 11. **Calopha lutea**  
Tubo pequeño, amarillo, formado por un solo anillo de células. Aparece en arroyos.
- 12. **Calopha lutea**  
Tubo pequeño, amarillo, formado por un solo anillo de células. Aparece en arroyos.
- 13. **Calopha lutea**  
Tubo pequeño, amarillo, formado por un solo anillo de células. Aparece en arroyos.
- 14. **Calopha lutea**  
Tubo pequeño, amarillo, formado por un solo anillo de células. Aparece en arroyos.
- 15. **Calopha lutea**  
Tubo pequeño, amarillo, formado por un solo anillo de células. Aparece en arroyos.
- 16. **Calopha lutea**  
Tubo pequeño, amarillo, formado por un solo anillo de células. Aparece en arroyos.



- 17. **Calopha lutea**  
Tubo pequeño, amarillo, formado por un solo anillo de células. Aparece en arroyos.
- 18. **Calopha lutea**  
Tubo pequeño, amarillo, formado por un solo anillo de células. Aparece en arroyos.
- 19. **Calopha lutea**  
Tubo pequeño, amarillo, formado por un solo anillo de células. Aparece en arroyos.
- 20. **Calopha lutea**  
Tubo pequeño, amarillo, formado por un solo anillo de células. Aparece en arroyos.
- 21. **Calopha lutea**  
Tubo pequeño, amarillo, formado por un solo anillo de células. Aparece en arroyos.
- 22. **Calopha lutea**  
Tubo pequeño, amarillo, formado por un solo anillo de células. Aparece en arroyos.
- 23. **Calopha lutea**  
Tubo pequeño, amarillo, formado por un solo anillo de células. Aparece en arroyos.
- 24. **Calopha lutea**  
Tubo pequeño, amarillo, formado por un solo anillo de células. Aparece en arroyos.



- 25. **Calopha lutea**  
Tubo pequeño, amarillo, formado por un solo anillo de células. Aparece en arroyos.
- 26. **Calopha lutea**  
Tubo pequeño, amarillo, formado por un solo anillo de células. Aparece en arroyos.
- 27. **Calopha lutea**  
Tubo pequeño, amarillo, formado por un solo anillo de células. Aparece en arroyos.
- 28. **Calopha lutea**  
Tubo pequeño, amarillo, formado por un solo anillo de células. Aparece en arroyos.
- 29. **Calopha lutea**  
Tubo pequeño, amarillo, formado por un solo anillo de células. Aparece en arroyos.
- 30. **Calopha lutea**  
Tubo pequeño, amarillo, formado por un solo anillo de células. Aparece en arroyos.
- 31. **Calopha lutea**  
Tubo pequeño, amarillo, formado por un solo anillo de células. Aparece en arroyos.

**Glosario**

**Anillo:** grupo de células que rodea el tubo.

**Apéndice:** grupo de células que se extiende desde el tubo.

**Líquenes:** organismos que crecen en grupos y forman una estructura común.

**Forma de tubo:** tubo hueco o tubo sólido.

**Forma de anillo:** anillo simple o anillo doble.

**Forma de apéndice:** apéndice simple o apéndice doble.

**Forma de crecimiento:** crecimiento en masa o crecimiento en filamentos.

**Forma de color:** color verde, amarillo, rojo, negro, etc.



El líquen de la imagen es un ejemplo de un líquen de la reserva provincial de La Payunia.



La Payunia es una zona de gran importancia ecológica y científica. En esta zona se encuentran una gran variedad de líquenes, algunos de ellos muy raros y endémicos.

El estudio de los líquenes de la reserva provincial de La Payunia es fundamental para comprender su biodiversidad y su papel en el ecosistema.







# Evaluación de la Sustentabilidad de las Estructuras de Hormigón Armado de Edificios de Viviendas.

Rumi, L.<sup>1-3</sup>; Montero, M. C.<sup>2</sup>, Ortega, N. F.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>CONICET

<sup>2</sup>Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Bahía Blanca.

<sup>3</sup>Departamento de Ingeniería, Universidad Nacional del Sur.

E-mail: lucia\_rumi@hotmail.com

**Palabras clave:** sustentabilidad, indicadores, viviendas, construcción.

## RESUMEN

Es bien sabido cómo el sector de la construcción ejerce una enorme influencia sobre la actividad económica, el empleo y las tasas de crecimiento de un país. Sin embargo, numerosos estudios indican que la industria de la construcción es una de las más contaminantes, debido al consumo de energía y a las emisiones de CO<sub>2</sub>. Este tipo de emisiones constituye la principal causa del efecto invernadero y por ende del calentamiento global. Asimismo, el sector de la construcción consume una parte importante de los materiales extraídos del planeta.

Por estos motivos, resulta imprescindible que se estudie la forma de prevenir y reducir los impactos ambientales negativos que se generan en esta industria en todas las etapas del proceso; desde la extracción y transporte de las materias primas, hasta la construcción y demás impactos incluidos en el período de vida útil de la construcción.

En este trabajo se plantea un modelo para evaluar la sustentabilidad de las estructuras de hormigón de edificios de viviendas, siendo la primera parte de un estudio más amplio que pretende generar un modelo para analizar la sustentabilidad de todo el edificio de viviendas. Este trabajo aborda el enfoque de la resolución de los criterios para analizarlos y cuantificarlos. Se presenta una metodología para cuantificar la sustentabilidad del uso del hormigón en la construcción de viviendas, mediante el uso de indicadores que ponderen los impactos que generan los materiales componentes del hormigón armado, en su fabricación, los producidos durante la construcción de la misma, así como los generados durante la etapa de explotación. La energía utilizada durante la vida útil resulta despreciable en comparación a la energía inicial. Debido a esto, es que en el presente trabajo se abordaran sólo el estudio de los impactos generados en la etapa inicial.

**Este trabajo participa en el “CONCURSO PARA JÓVENES INVESTIGADORES”**



## INTRODUCCIÓN

Debido a los avances de la ciencia y la tecnología, la industria de la construcción ha sufrido importantes cambios, incrementando notoriamente el consumo de materias primas, es decir, se ha convertido en una de las industrias que más recursos naturales utiliza.

Es sabido que en la construcción existe una estrecha relación entre materiales, energía y recursos naturales; por ello, esta industria solo podrá ser sostenible elevando los estándares de elaboración, utilización de materiales y sus materias primas; proyectando las estructuras y edificaciones en función de la durabilidad de la obra, teniendo en cuenta la vida útil del producto final, su costo y su impacto sobre el ambiente.

Las obras analizadas en este trabajo son las construcciones de viviendas y dentro de los materiales que se emplean en ellas, el más significativo y al que en particular se refiere, es al hormigón. El mismo, si se considera por volumen, es holgadamente el material más empleado por el hombre.

El hormigón está compuesto, básicamente, por áridos gruesos y finos, cemento, aditivos y agua. Desde la extracción y fabricación de sus componentes se generan grandes cantidades de emisiones de CO<sub>2</sub> al ambiente. Estas obras pueden producir importantes afectaciones al ambiente, por ello, en este trabajo se presenta una metodología para establecer criterios de evaluación de la sostenibilidad de las mismas.

### Herramientas de evaluación:

Las *herramientas de evaluación* son aquellas que permiten estimar algunos valores de forma predictiva para establecer los parámetros dentro de los cuales deben encontrarse los datos recogidos del edificio (consumos energéticos de fabricación y transporte, emisiones de CO<sub>2</sub>, conductividad de los materiales constructivos, etc.). Para definir y respaldar estos valores existe una gran variedad de herramientas, dependiendo de la profundidad del estudio que se desee realizar. A su vez las herramientas se pueden agrupar de dos maneras [1]:

1. Las que se basan únicamente en sistemas de criterios: Se definen como un sistema de asignación de valores, a un número determinado de parámetros, en una escala que oscila entre “pequeño” y “gran” impacto ambiental. Estas herramientas son consideradas como sistemas de evaluación ambiental global, y
2. Las que incluyen herramientas que utilizan la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (LCA - Life Cycle Assessment): Resultan especialmente útiles para hacer comparaciones entre diferentes alternativas de construcciones. Desde los '90, los métodos LCA se están desarrollando para el sector de la construcción.

Previo a cualquier adaptación regional de alguno de estos sistemas, se debe promover un estudio serio sobre las condiciones locales que inciden en la sustentabilidad de las construcciones para luego revisar la conveniencia de insertar estos sistemas en el país o bien diseñar metodologías a partir de la realidad local [2].



### ADAPTACIÓN DE HERRAMIENTAS DE EVALUACIÓN AL CONTEXTO LOCAL

El intercambio y préstamo de los métodos de evaluación desarrollados en países del Primer Mundo ha sido exitosamente llevado a cabo en algunos países subdesarrollados. A pesar de los aspectos positivos que produce la incorporación de una conciencia ambiental en estos países, está comprobado que la transculturalización de técnicas que se consideran sustentables para algunos países, en otros funciona en detrimento del buen desempeño ambiental [3]. Es necesario que estos sistemas se adapten conociendo las bases culturales de sus creadores.

En países en vías de desarrollo, la problemática económica y social es mucho más preocupante que el estado en el que puede degradarse el ambiente, las prioridades son muy distintas entre países desarrollados y no. El objetivo de los países en vías de desarrollo consiste en satisfacer las necesidades básicas sin comprometer al medio ambiente [4]. Cooper define algunos inconvenientes que presentan los sistemas de evaluación para aplicarse en países en vías de desarrollo, expresa que el autor del sistema implícita o explícitamente está condicionado por ciertas circunstancias de localidad y en este caso, la globalidad y la estandarización para los países en desarrollo resulta un inconveniente, ya que omite considerar sus verdaderas prioridades y posibilidades [5].

#### Sistemas de criterios

La burocracia y los altos costos de la aplicación de los métodos de evaluación y su falta de comunicación de los resultados, opacan la finalidad de los mismos. En nuestro país la burocracia y una economía inestable no pueden considerarse un terreno fértil donde fomentar estos sistemas, por lo tanto, podría considerarse el diseño de una metodología que considere la manera de fomentar los edificios verdes sorteando estas dificultades [2].

Para definir las problemáticas ambientales de índole urbana, se puede recurrir al artículo de Di Place et al., titulado: Problemas Ambientales en Ciudades Argentinas, donde se presentan los siguientes problemas [6]:

- La falta de sistemas de agua potable que abastezcan con un volumen suficiente y una calidad aceptable a toda la población;
- La inadecuada provisión de cloacas y evacuación de excretas;
- Las dificultades para resolver la disposición y recolección de los residuos sólidos domiciliarios y los efluentes industriales;
- La contaminación del aire como consecuencia de la falta de control sobre las emisiones de las fábricas y el transporte automotor;
- La contaminación de los cursos de agua que atraviesan las ciudades, y por consiguiente la contaminación e inutilización de los acuíferos subterráneos;
- La escasez de espacios verdes, tanto para recreación como para contrarrestar la contaminación atmosférica;



- Los desastres de origen natural (inundaciones, sismos, deslizamientos, etc) debidos a la ocupación no planificada y no controlada del suelo en áreas de alto riesgo;
- El alto grado de hacinamiento (a escala de las ciudades y dentro de las viviendas);
- El rápido deterioro de las zonas peri urbanas, que crecen sin controles, ni una guía del estado;

A continuación se hace referencia a un estudio realizado por Assaf et al. [7], en el cual se ha desarrollado una adaptación del sistema LEED España a las condiciones regionales de Argentina. Se mantienen las generalidades de esta evaluación que distribuye 44 créditos, agrupados en cinco aspectos del edificio: entorno, energía, ambiente interior, manejo del agua, materiales y recursos que utiliza el edificio. En este estudio se realizaron adaptaciones de los créditos del sistema original y se redistribuyeron, de acuerdo a la Norma IRAM para Uso Racional de Energía Eléctrica, Gas y Agua en las Construcciones [8]. En este primer intento de adaptación se observaron dos intereses: basar los indicadores en una normativa existente nacional, y lograr que el sistema sea más veloz evitando el uso de herramientas informáticas de verificación. Los investigadores hicieron hincapié en los aspectos energéticos de los edificios públicos, especificando estos contenidos técnicamente. Como en otros sistemas de evaluación aquí tampoco se observa una correlación entre las opciones de diseño y el impacto ambiental que pudiera generar cada una. Sería necesario que los indicadores de la normativa nacional se traduzcan en un impacto ambiental de ciertas características, a fin que el usuario pueda reconocer fácilmente cuáles serían las opciones más sustentables.

Si se pudieran comparar los problemas ambientales enumerados anteriormente por Di Place con los criterios de sustentabilidad adoptados por LEED, podrían hacerse algunas aclaraciones [2]:

- En Argentina no se consideraría de relevancia el crédito atmósfera y energía como lo considera el LEED, se debieran establecer nuevos criterios entre los cuales el crédito agua resulta ser el más importante, seguido de cerca por los residuos domiciliarios y efluentes, la contaminación atmosférica, algunas características físicas de los espacios interiores y la conformación del edificio en la trama urbana. Es muy posible que el agua resulte ser aún más importante, por ejemplo, en aquellas zonas consideradas desérticas.
- El problema energético en Argentina no tiene su origen en el consumo excesivo, si consideramos que buena parte de la población no posee todos los servicios básicos. Es en realidad la falta del recurso, por la acción de deficientes políticas públicas. De tal manera, la energía eléctrica producida es muchas veces subvencionada por el Estado, debido a los elevados costos de la misma. Por lo tanto, no solamente es un recurso no sustentable desde el punto de vista ecológico, sino también es un recurso no sustentable económicamente para el usuario, tanto el gobierno como los ciudadanos.



- En cuanto al uso del suelo, surge el tema de la mayor densificación edilicia. En muchas ciudades los inmuebles presentan un valor económico tan elevado que solamente se consideran las inversiones desarrollando proyectos en varios niveles. Por ello, el sistema LEED consideró muy conveniente desde la perspectiva de los inversionistas la mayor densificación del terreno. En las grandes ciudades del mundo este fenómeno es muy común, pero cuando nos alejamos comienzan a emerger ciudades más pequeñas, en mayores expansiones territoriales, en donde la densificación también es buena pero desde una sola perspectiva: la falta de acceso a servicios de saneamiento, gas natural y red eléctrica. Desde la óptica social, una mayor densificación del terreno se traduce fácilmente en un mayor hacinamiento. A su vez la densificación es útil si se tienen grandes y numerosas vías de acceso y grandes territorios verdes capaces de ofrecer una cierta calidad ambiental atmosférica. Las mayores densificaciones edilicias suelen alterar la iluminación natural, las brisas, las visuales y el tránsito peatonal y vehicular.
- Los nuevos materiales llamados ecológicos, que generalmente presentan costos más elevados, pero aseguran un buen desempeño medioambiental en su ACV. Se debe destacar que los promotores de sistemas de evaluación como el LEED, son empresarios vinculados a la construcción (Green Building Council) y a los gobiernos nacionales. Es decir que una intención subyacente a estos métodos es reactivar y reorientar los mercados con la especulación financiera que genera el edificio verde. Como suele suceder, los países industrializados podrían ofrecer anticipadamente los productos ecológicos a países donde no existe una infraestructura tecnológica que los pudiera producir.
- Argentina cuenta con pocas plantas de tratamiento de residuos o plantas de reciclaje. Así es que, el principio de destinar un espacio en el edificio para la selección de los residuos puede no ser de gran utilidad a nuestro caso, a no ser que el edificio mismo realice el proceso de tratamiento o de reciclaje. En cambio, si puede considerarse la separación de los residuos, a fin de destinar una parte de ellos a actores sociales como los cartoneros.

Sería de gran importancia que estos criterios se revisen, bajo una óptica crítica, sobre todo debido al éxito que han logrado en otros países desarrollados, los cuales presentan características sociales, económicas y políticas similares. La inclusión de ciertos sistemas al contexto local podría perjudicar a la sustentabilidad y generar necesidades que realmente no existen. En los países en desarrollo, la problemática económica y social es una prioridad frente a las condiciones del ambiente; las jerarquías son diferentes para unos y otros [4].

Además, se debe considerar que si bien el problema del impacto ambiental es muy complejo, la metodología de evaluación no debe ser demasiado complicada, y debe ofrecer varias



acciones alternativas al diseño, directamente vinculadas al efecto ecológico-social-económico-ambiental.

#### **Bases de datos para análisis de ciclo de vida**

Para definir las problemáticas en cuanto a la adaptación de bases de datos no-locales para la evaluación ambiental al contexto local, se recurre a la investigación realizada por Ossés de Eicker et al. que estudian estas adaptaciones para el caso de Latinoamérica [9].

En América Latina, investigadores y organismos gubernamentales actualmente están llevando a cabo esfuerzos para recopilar datos ambientales de la industria, por ejemplo, sobre las emisiones al aire y al agua. Por otra parte, algunos pocos conjuntos de datos se han desarrollado para LCA. Sin embargo, las bases de datos ambientales locales completas siguen faltando, en general. Una de las principales razones de esta situación es la deficiencia en los datos y su recopilación de la industria en América Latina. Por ejemplo, el monitoreo de aire, agua y emisiones tóxicas de las plantas industriales es imperfecta y los equipos de vigilancia son a menudo obsoletos, por otro lado, la obtención de datos y la metodología de medición son cuestionables, y por lo general, hay una falta de personal capacitado en las instalaciones industriales.

Una estrategia para sobreponerse de las limitaciones acerca de la no existencia de bases de datos locales para Latinoamérica es la combinación de: validación de bases de datos internacionales y desarrollo de bases de datos locales. La información necesaria para los métodos de análisis puede ser obtenida por tres caminos: medida directamente, calculada, o estimada. La idoneidad de una base de datos para la evaluación ambiental de las actividades industriales está determinada por dos aspectos principales:

- La base de datos debe cumplir con los requisitos de los métodos de evaluación utilizados, en función de la disponibilidad y de las características de los datos.
- Los datos proporcionados por la base de datos han de ser aplicables a la caracterización de las actividades industriales en la zona en estudio, que puede ser muy diferente de la actividad de referencia en la base de datos.

Las bases de datos a adaptar constan de datos y metadatos. Los metadatos (datos acerca de los datos) son importantes para interpretar correctamente los datos y, por lo tanto, para un uso apropiado de los mismos. Más aún, los metadatos permiten adaptar los datos originales más apropiadamente, lo que es muy importante para la adaptación en Latinoamérica.

#### **DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN A PARTIR DE LA REALIDAD LOCAL**

En función de la problemática expresada en el punto anterior, en cuanto a la necesidad de adaptación de las metodologías desarrolladas en los países del primer mundo a la realidad local, se decidió formular una herramienta que involucra la adaptación de algunos factores y la generación de otros indicadores propios del contexto local.



Es interesante comentar que en el caso particular de la construcción, no es posible pensar en un desarrollo sostenible sin garantizar la provisión y el empleo de materiales locales, para minimizar el transporte de los mismos; actividad que implica además de aumento en los tiempos, un elevado consumo de combustible y por consiguiente mayor emisión de gases de efecto invernadero [10].

El hormigón es, después del agua, el material de mayor consumo en el mundo. Se debe tener en cuenta que para su elaboración se emplea una importante cantidad de recursos naturales, por ello, es imperioso hacer un uso eficiente del mismo, diseñando hormigones durables y reciclándolo al final de su larga vida en servicio, con lo cual se reduce la necesidad de materiales vírgenes. La manera más práctica de poner en evidencia los impactos ambientales del hormigón es mediante el estudio del consumo energético del material a lo largo de toda la vida útil de una edificación. Existen dos aspectos importantes referidos a la energía para la producción: la inicial y la utilizada durante la vida útil [11].

Para el caso del hormigón, la energía inicial incluye la requerida para la fabricación del cemento, extracción de agregados, elaboración del hormigón, transporte, colocación en obra y curado. De acuerdo con la Guía de la Edificación Sostenible del IDAE [12], los materiales cuya fabricación y puesta en obra supone un mayor consumo energético por unidad de masa son los metálicos, que necesitan grandes aportes de energía en su manufacturación. Los materiales que se utilizan en la impermeabilización y en el aislamiento del edificio también son elementos de gran consumo energético, no obstante, su uso en la construcción de viviendas es proporcionalmente menor frente a los denominados materiales tradicionales, en cuanto al peso total en la edificación se refiere. El resto de los materiales que se usan en la construcción, y que se denominan como materiales tradicionales, son los que menor consumo energético presentan por unidad de masa. No obstante, su uso masivo supone una proporción considerable con respecto al gasto energético total. Se puede apreciar el bajo coste energético de los materiales naturales: arenas, gravas, piedra y madera, frente a materiales de elaboración industrial como: el hormigón, el cemento o el acero. A pesar de que el hormigón es un material con bajo nivel de energía incorporada (su producción es eficiente y sus elementos requieren relativo bajo procesamiento), su uso masivo en las construcciones hace que sea uno de los que mayor repercusión tiene energéticamente en los edificios de vivienda cuya tipología estructural se basan en este material.

En el caso de la energía empleada durante su vida en servicio, se contempla la necesaria para el mantenimiento, operación, reparación, restauración, o reemplazo de materiales. Dado que el hormigón durable, requiere muy escaso mantenimiento a lo largo del tiempo, resultando que la energía empleada durante la fase de utilización del mismo es mínima. La energía utilizada durante la vida útil resulta despreciable, en comparación a la energía inicial. Debido a esto, es que en el presente trabajo se abordará sólo el estudio de los impactos generados en la etapa inicial.



### Criterios - indicadores

La sustentabilidad es un concepto global no restringido al ámbito de la construcción, que requiere que se satisfagan una serie de criterios ambientales, así como otros de carácter económico y social. En tal sentido, se propone un conjunto de indicadores destinados a evaluar, en forma integral, las condiciones de sustentabilidad de una construcción de hormigón, que dependerán del cumplimiento de ciertos criterios, varios de ellos basados en lo establecido por la Instrucción Española de Hormigón Estructural [13].

Para su elaboración, fue necesario en primer término, la caracterización sistémica del espacio bajo análisis. Esta tarea facilitó la posterior identificación de las variables centrales de análisis, que sirvieron de línea de base para la formulación de los indicadores destinados a evaluar y monitorear la sustentabilidad. Se espera que la concreción de estos objetivos posibilite la adopción de estrategias de gestión sustentables, de quienes tienen en su poder la toma de decisiones que mejoren o mantengan las condiciones de sustentabilidad.

### METODOLOGÍA

La metodología propuesta se desarrolla con el fin de evaluar los impactos del hormigón armado producidos durante la construcción de la obra. Para ello, se definen el Índice de Sustentabilidad del Hormigón en Edificios de Viviendas, basado en el índice *ISMA*, correspondiente al método de la Instrucción de Hormigón Estructural [13]. Para la adaptación se tuvo en cuenta el contexto local, tanto las normativas de calidad [14] como los medios y distancias de transporte. En este trabajo se consideró que es uno de los aspectos de mayor importancia para la ponderación de los indicadores, a diferencia de lo que marca la normativa española.

Se define como “Índice Sustentabilidad del Hormigón en Edificios de Viviendas” (*ISHEV*) de una construcción, al resultado de aplicar la siguiente expresión:

$$ISHEV = IP + IMRI$$

Donde:

- *IP*: Índice de productos:

$$IP = \left[ \sum_{i=1}^n CC_{Ai} \cdot V_{Ai} \right] \cdot \%_A + \left[ \sum_{i=1}^n CC_{Bi} \cdot V_{Bi} \right] \cdot \%_B + \left[ \sum_{i=1}^n CC_{Ci} \cdot V_{Ci} \right] \cdot \%_C$$

- *IMRI*: Índice de medidas para reducir los impactos:

$$IMRI = \sum_{i=1}^n CC_{IMRI i} \cdot V_{IMRI i}$$

- *A*, *B* y *C*: Representarían distintos tipos de hormigones. Por ejemplo, si se utiliza un hormigón con determinada resistencia para fundaciones y otro para columnas y vigas, y las losas se construyen con losetas prefabricadas. En este caso sería *A*: fundaciones, *B*: columnas y vigas y *C*: losas.
- $\%_A$ ,  $\%_B$  y  $\%_C$ : Cantidad relativa de cada tipo de hormigón con respecto al total.





- $CC_i$  : Coeficiente compuesto, correspondiente a cada tipo de hormigón, así como también a las medidas para reducir los impactos:

$$CC_i = \alpha_i \cdot \beta_i \cdot \gamma_i$$

- $\alpha_i$ ,  $\beta_i$  y  $\gamma_i$ : Coeficientes de ponderación de cada criterio. Se adoptaron los mismos coeficientes que los correspondientes a la norma española (Tabla I).

COEFICIENTES						
$\alpha_i$		$\beta_i$		$\gamma_i$		$CC_i$
Productos	0,60	Tipo y optimización de los productos básicos	0,55	Caracterización del hormigón	0,50	0,165
				Caracterización de las armaduras	0,50	0,165
		Preservación de recursos	0,45	Reciclado de áridos	0,40	0,108
				Optimización del cemento	0,60	0,162
Medidas para Reducir los Impactos	0,40	Impacto en el entorno humano	0,25	Control de impactos	1,00	0,100
		Impacto en el ambiente	0,75	Gestión de residuos	0,67	0,201
				Gestión del agua	0,33	0,099

Tabla I - Coeficientes de ponderación del IP, y el IMRI.

- $V_i$ : Coeficientes de valor obtenidos para cada tipo de hormigón, así como también para las medidas para reducir los impactos.

**Cálculo del IP. Determinación de los valores  $V_i$**

En el caso de los materiales y productos básicos para la construcción de una obra, este valor se obtiene a partir de los datos del tipo de material, su cantidad y calidad, distancia y tipo de transporte utilizado, multiplicando la puntuación correspondiente a cada ítem (Tabla II). Las puntuaciones que a continuación se presentan, se desarrollaron en este trabajo en base a los conocimientos propios de cada una de las disciplinas que se involucran.

1. Optimización del cemento:

- a. Cantidad:

$$\text{Puntuación} = -4^{-0,5x^2} + 0,0311x - 4,4444$$

Donde x: cantidad cemento, en peso, por m3 de Hormigón [Kg/m3]

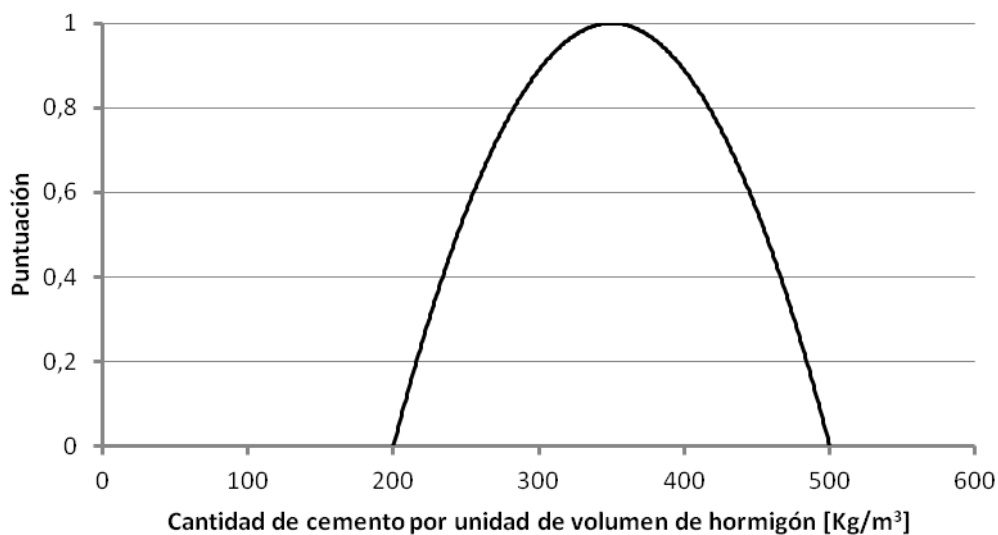


Figura 1: Puntuación para la cantidad de cemento por unidad de volumen de hormigón.

b. Calidad: Cumple ISO 14000:

Si → Puntuación = 1

No → Puntuación = 0,7

c. Transporte:

• Distancia de transporte:

$$\text{Puntuación} = 19,39 x^{-0,67}$$

Donde x: distancia de transporte [Km]

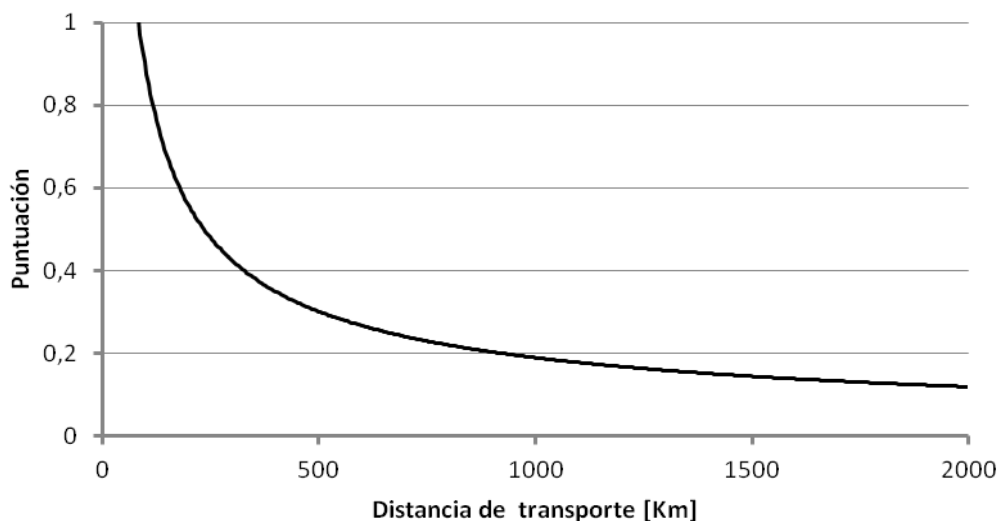


Figura 2: Puntuación para la distancia de transporte del cemento.

• Tipo de transporte:

Tren → Puntuación = 1

Camión → Puntuación = 0,7

para distancias menores a 100 Km, puntuación = 1



2. Reciclado de áridos:

a. Cantidad:

$$\text{Áridos reciclados/Totales} \leq 50\% \rightarrow \text{Puntuación} = 0,02x$$

$$\text{Áridos reciclados/Totales} > 50\% \rightarrow \text{Puntuación} = 1$$

donde:  $x = \text{Áridos reciclados} / \text{Áridos totales}$ , en peso

b. Calidad: Cumple ISO 14000:

$$\text{Si} \rightarrow \text{Puntuación} = 1$$

$$\text{No} \rightarrow \text{Puntuación} = 0,7$$

se evalúa tanto en los áridos tradicionales como en los reciclados.

c. Transporte:

• Distancia de transporte:

$$\text{Puntuación} = 5,8357 x^{-0,67}$$

Donde  $x$ : distancia de transporte [Km]

se evalúa tanto en los áridos tradicionales como en los reciclados.

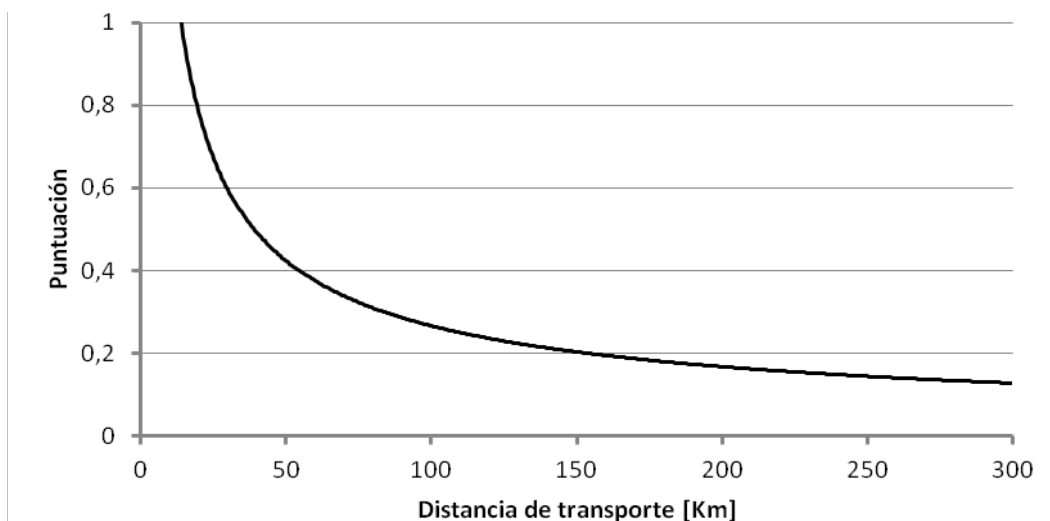


Figura 3: Puntuación para la distancia de transporte de los áridos.

• Tipo de transporte:

$$\text{Tren} \rightarrow \text{Puntuación} = 1$$

$$\text{Camión} \rightarrow \text{Puntuación} = 0,7$$

para distancias menores a 100 Km, puntuación = 1.

se evalúa tanto en los áridos tradicionales como en los reciclados.

3. Hormigón:



a. Tipo:

- Prefabricado → Puntuación = 1
- Elaborado en planta → Puntuación = 0,7
- Elaborado en obra → Puntuación = 0,5

b. Calidad: Cumple ISO 14000:

- Si → Puntuación = 1
- No → Puntuación = 0,7
- En el caso de hormigones elaborados en obra, puntuación = 0,5.

c. Transporte:

- Distancia de transporte:

$$\text{Puntuación} = 3,158 x^{-0,67}$$

Donde x: distancia de transporte [Km]

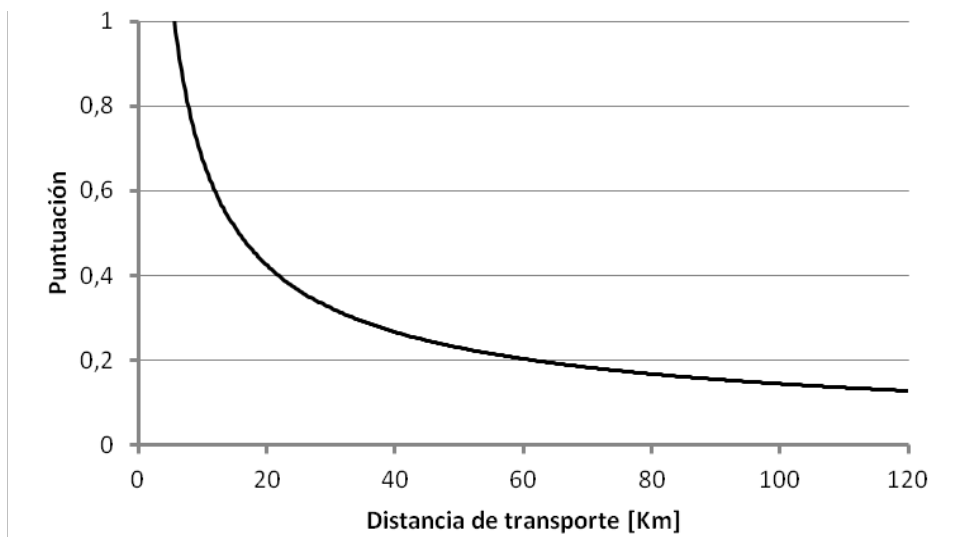


Figura 4: Puntuación para la distancia de transporte del hormigón.

4. Armaduras:

a. Calidad: Cumple ISO 14000:

- Si → Puntuación = 1
- No → Puntuación = 0,7

b. Transporte:

- Distancia de transporte:

$$\text{Puntuación} = 19,39 x^{-0,67}$$

Donde x: distancia de transporte [Km]

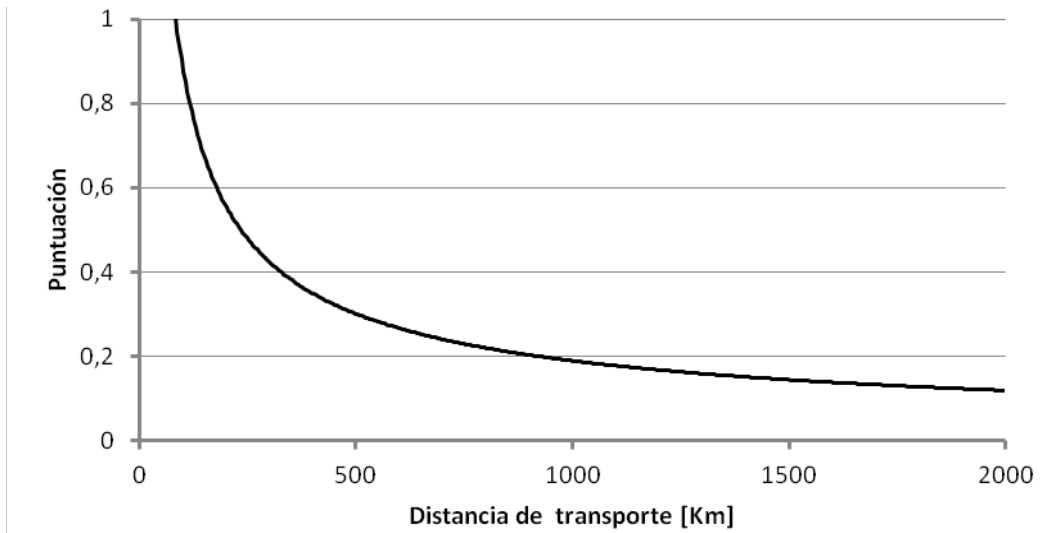


Figura 5: Puntuación para la distancia de transporte de las armaduras.

- Tipo de transporte:

Tren → Puntuación = 1

Camión → Puntuación = 0,7

para distancias menores a 100 Km, puntuación = 1.

Resumen del método de obtención del índice *IP* (Tabla II).



PRODUCTOS														
HORMIGÓN A	PRESERVACIÓN DE RECURSOS	Cantidad (optimización)			Puntuación	Calidad: cumple ISO 14000		Puntuación	Distancia de transporte (Km)	Tipo de transporte		Puntuación	CC	TOTAL
						SI	NO			Tren	Camión			
	CEMENTO	% Cemento / Hormigón											0,162	
	ÁRIDOS	% Áridos reciclados / Áridos totales											0,108	
	ÁRIDOS RECICLADOS													
HORMIGÓN B	PRESERVACIÓN DE RECURSOS	Cantidad (optimización)			Puntuación	Calidad: cumple ISO 14000		Puntuación	Distancia de transporte (Km)	Tipo de transporte		Puntuación	CC	TOTAL
						SI	NO			Tren	Camión			
	CEMENTO	% Cemento / Hormigón											0,162	
	ÁRIDOS	% Áridos reciclados / Áridos totales											0,108	
	ÁRIDOS RECICLADOS													
HORMIGÓN C	PRESERVACIÓN DE RECURSOS	Cantidad (optimización)			Puntuación	Calidad: cumple ISO 14000		Puntuación	Distancia de transporte (Km)	Tipo de transporte		Puntuación	CC	TOTAL
						SI	NO			Tren	Camión			
	CEMENTO	% Cemento / Hormigón											0,162	
	ÁRIDOS	% Áridos reciclados / Áridos totales											0,108	
	ÁRIDOS RECICLADOS													
HORMIGÓN A	PRODUCTOS BÁSICOS	Tipo			Puntuación	Calidad: cumple ISO 14000		Puntuación	Distancia de transporte (Km)	Tipo de transporte		Puntuación	CC	TOTAL
		Pre-fabricado	Planta	Obra		SI	NO			Tren	Camión			
	HORMIGÓN									NO APLICA			0,165	
	ARMADURAS												0,165	
HORMIGÓN B	PRODUCTOS BÁSICOS	Tipo			Puntuación	Calidad: cumple ISO 14000		Puntuación	Distancia de transporte (Km)	Tipo de transporte		Puntuación	CC	TOTAL
		Pre-fabricado	Planta	Obra		SI	NO			Tren	Camión			
	HORMIGÓN									NO APLICA			0,165	
	ARMADURAS												0,165	
HORMIGÓN C	PRODUCTOS BÁSICOS	Tipo			Puntuación	Calidad: cumple ISO 14000		Puntuación	Distancia de transporte (Km)	Tipo de transporte		Puntuación	CC	TOTAL
		Pre-fabricado	Planta	Obra		SI	NO			Tren	Camión			
	HORMIGÓN									NO APLICA			0,165	
	ARMADURAS												0,165	

%A =                      %B=                      %C=                      IP

Tabla II - Determinación del IP.

**Cálculo del IMRI. Determinación de los valores de Vi**

Se evalúan la aplicación o no de determinadas medidas, a través de la puntuación de la tabla III.



Sub-ítem	Puntuación de respuestas	
	Positivas	Negativas
Control de impactos	0,33	0,00
Gestión de residuos	1,00	0,00
Gestión del agua	0,50	0,00

Tabla III - Valores de puntuación para reducir los impactos del IMRI.

La sumatoria de las puntuaciones se multiplicará por el coeficiente de ponderación correspondiente a cada sub-ítem, tal como se indica en la Tabla IV.

En la tabla IV se observa un resumen del método de obtención del índice IMRI.

**MEDIDAS PARA REDUCIR LOS IMPACTOS**

CONTROL DE IMPACTOS	SI	NO	Puntuación	CC	TOTAL
Empleo de aspersores en la obra para evitar el polvo				0,100	
Utilización de pantallas u otros dispositivos de retención de polvo					
Utilización de toldos y lonas para la cobertura del material expuesto a la intemperie, incluido su transporte					

GESTIÓN DE RESIDUOS	SI	NO	Puntuación	CC	TOTAL
Residuos especiales provenientes de los aditivos utilizados				0,201	0,000

GESTIÓN DEL AGUA	SI	NO	Puntuación	CC	TOTAL
Se utilizan dispositivos de ahorro de agua en los puntos de consumo				0,099	
Se utilizan contenedores para la recogida del agua de lluvia y el posterior uso de la misma					

IMRI

Tabla IV - Determinación del IMRI.



## CONCLUSIONES

Este trabajo es parte de una tesis doctoral que pretende generar un modelo para evaluar la sustentabilidad de edificios de viviendas. En este trabajo se presentó el análisis de las consideraciones ambientales relacionadas con el hormigón armado, que es una parte importante de la sustentabilidad de una vivienda.

La metodología desarrollada es de fácil aplicación, no requiriendo conocimientos específicos, y se encuentra adecuada a la realidad de nuestro país.

En este tema se continuará trabajando, con el fin de verificar el modelo propuesto con distintos casos testigo y así realizar los ajustes necesarios al modelo propuesto.

## REFERENCIAS

- [1] H.H. Ali, S.F. Al Nsairat, 2009. *Developing a green building assessment tool for developing countries - Case of Jordan*, Building and Environment, **44**, 1053-1064.
- [2] A. Ramos Sanz, 2009. *Trasfondo teórico, confusiones y adaptaciones lejanas de los métodos de evaluación de la sustentabilidad*, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (ASADES), **13**, Río Cuarto.
- [3] R.J. Cole, 2000. *Building environmental assessment methods: assessing constructions practice. Construction management and economics*, Departamento de Arquitectura Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- [4] J. Gibberd, 2001, *The Sustainable Building Assessment Tool- assessing how buildings can support sustainability, in Developing Countries*, Continental Shift 2001, IFI Internacional Conference, 11-14. Johannesbugo.
- [5] I. Cooper, 1999. *Which focus for building assessment methods-environmental performance or sustainability?*, Building Research & Information, **27**, 321-331.
- [6] M. Di Place, S. Federovisky, y J.E. Hardoy 1991. *Problemas Ambientales en Ciudades Argentinas*. Revista Medio Ambiente y Urbanización, **37**, 3-26, Buenos Aires.
- [7] L.O. Assaf, J.C. Casado, S. de Schiller, 2007. *Una Propuesta para la Calificación Energética de Edificios Públicos*, Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente (ASADES), **11**, Buenos Aires.
- [8] IRAM, Proyecto de norma para Uso Racional de Energía Eléctrica, Gas y Agua en las Construcciones, Buenos Aires.
- [9] M. Ossés de Eicker, R. Hischer, H. Hurni, R. ZahAssaf, 2010. *Using non-local databases for the environmental assessment of industrial activities: The case of Latin America*, Environmental Impact Assessment, **30**, 145-157.
- [10] Instituto del Cemento Portland Argentino. *Eficiencia energética del hormigón para la Construcción de Viviendas Sostenibles*. Disponible en [www.concretonline.com](http://www.concretonline.com), acceso agosto 2013.
- [11] Asociación de Fabricantes de Cemento Portland. *La Industria del Cemento y la Sostenibilidad*. 2010.





[12] Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía (IDAE). *Guía de la edificación sostenible*. España. 1999.

[13] Ministerio de Fomento. Gobierno de España. *Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08)*, Madrid, 2008.

[14] Norma ISO 14001, *Sistemas de Gestión Ambiental, Requisitos con orientación a su uso*. International Organization for Standardization (ISO). 2004.



# Delimitación de la Cuenca Hidrográfica del Río Tecka - Gualjaina, Chubut, Argentina.

Torrero, M.P (1)

*'UCA, Pontificia Universidad Católica, "Santa María de los Buenos Aires" - PEPACG - Facultad de Ciencias Físico Matemáticas e Ingenierías.*

E-mail: mtorrero@uns.edu.ar

## RESUMEN

Al Oeste de la provincia de Chubut, Argentina, nace el río Tecka que aguas abajo pasa a llamarse Gualjaina. El clima de la región es árido y frío, las precipitaciones, concentradas en invierno, no superan los 200 mm anuales y la temperatura media anual es de 10 °C. La vegetación predominante es de estepa subarabustiva-graminosa. Tecka y Gualjaina son los poblados principales, este último a orillas del arroyo Lepá, principal afluente del río Gualjaina. El objetivo del trabajo es la delimitación topográfica y caracterización morfológica de la cuenca. El río desarrolla una cuenca de forma alargada con orientación Suroeste-Nor-Noreste. Nace a los 43° 35' 18" Lat. S, a los 1.350 msnm y desemboca en el Río Chubut a los 475 msnm, a los 71° 21' 03" de Long. O. Su curso es permanente, con tributarios intermitentes. El curso del río es divisor de los departamentos chubutenses de Languiño, al Este, y de Futaleufú y Cushamen, al Oeste. Los puntos más altos son el de 2.210 m en la cuenca baja, al NO, en el Cordón de Esquel y el de 1.988 m en la cuenca alta, al Oeste, en el Cerro Cucho que forma parte del Cordón Kakel. Al SE, se localizan los Cerros Montgomery (1.655 m) y Mogote (1.611 m) y al E, en la Sierra de Tecka, el Cerro Araneda (1.448 m). El área se caracteriza por el desarrollo de mallines, de gran importancia ecológica y potencial productivo, los cuales se encuentran degradados o destruidos como consecuencia de procesos naturales o por la intervención antropogénica. El análisis de las condiciones físicas de la cuenca es un aporte al conocimiento y caracterización del área. Esto contribuirá a la preservación y al desarrollo sustentable de este espacio geográfico.

## INTRODUCCIÓN

El río Tecka nace en las sierras occidentales de la provincia de Chubut, Argentina, a 1.350 msnm, a los 43° 35' 18" Lat. S y 71° 21' 03" Long. O. Fluye inicialmente en sentido O - E durante unos 45 Km, para luego tomar rumbo S - N hasta su desembocadura en el río Chubut. En la afluencia del arroyo Pescado, 43° 02' 22" Lat. S; 70° 47' 23" Long. O, el río Tecka toma el nombre de río Gualjaina; entre ambos poseen una longitud de 206 Km. Estos ríos, dan nombre a la cuenca Tecka-Gualjaina de 5.318 Km<sup>2</sup> que forma parte de la cuenca exorreica de vertiente atlántica del río Chubut (Figura 1).

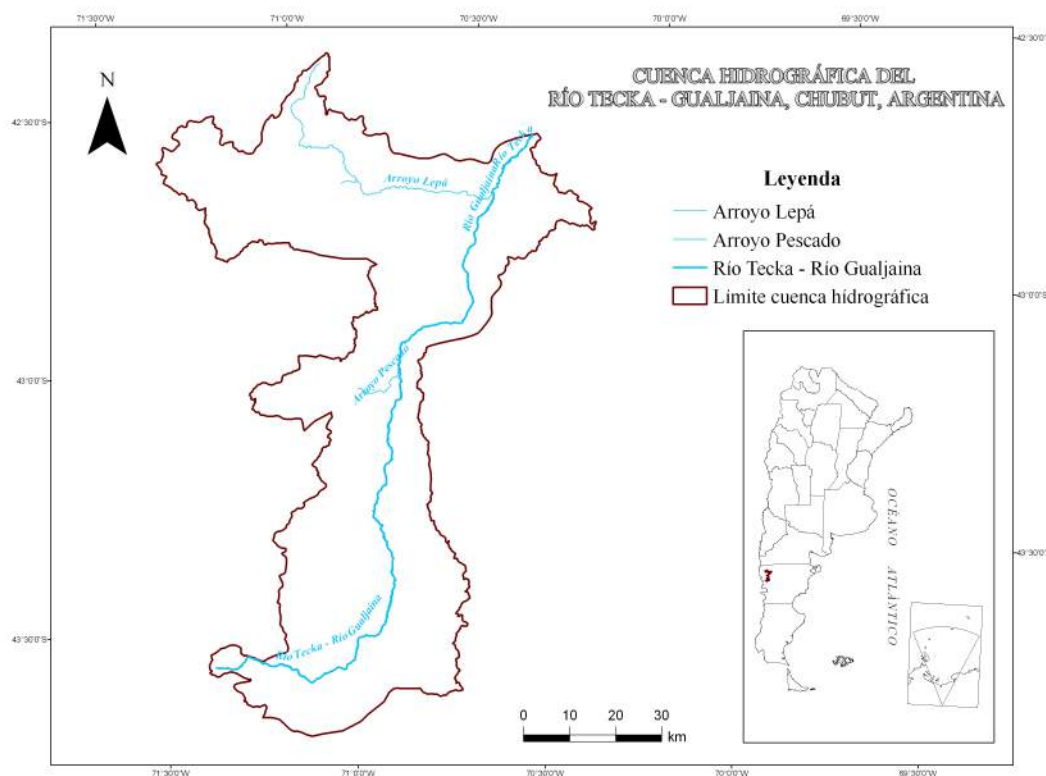


Figura 1. Cuenca del Río Tecka - Gualjaina, Chubut, Argentina.

Los puntos más altos son el de 2.210 m en la cuenca baja, al NO, en el Cordón de Esquel y el de 1.988 m en la cuenca alta, al Oeste, en el Cerro Cuche que forma parte del Cordón Kakel. Al SE, se localizan los Cerros Montgomery (1.655 m) y Mogote (1.611 m) y al E, en la Sierra de Tecka, el Cerro Araneda (1.448 m) (Figura 2). El clima de la región es árido y frío, las precipitaciones, concentradas en invierno, no superan los 200 mm anuales y la temperatura media anual es de 10 °C. El período 1993-2008 presentó condiciones de aridez y déficit hídrico con un tipo climático árido mesotérmico o estepa y un régimen del río del tipo nivo-pluvial [1]. El valle se caracteriza por una llanura aluvial con áreas cóncavas, inundables y terrazas bajas [2]. Los suelos predominantes son Aridisoles Calciortides, Natrargides, Paleoargides y Paleortides; Inceptisoles Distrandepes y Molisoles Criacuoles, Haplacuoles, Haploboroles y Haploxeroles [3]. El área se caracteriza por el desarrollo de mallines, de gran importancia ecológica y potencial productivo, los cuales se encuentran degradados o destruidos como consecuencia de procesos naturales o por la intervención antropogénica. La vegetación predominante es de estepa subarborescente-graminosa [4].

El curso del río divide los departamentos chubutenses de Languiño, al Este, y de Futaleufú y Cushamen, al Oeste. Estos dos últimos limitados entre sí por el paralelo de los 42° 52' Lat S. A nivel antrópico, se destaca la presencia de la ciudad de Tecka, cabecera del departamento Languiño, y del poblado de Gualjaina, a orillas del arroyo Lepá, principal afluente del río Gualjaina. Tecka, cuya principal actividad es ganadera y en menor medida se realiza el cultivo sobre las planicies de inundación, lo atraviesa la ruta Nacional 40, la cual cruza el río



del mismo nombre y acompaña su curso hasta su confluencia con el arroyo Pescado. La Ruta Nacional 25, por su parte, corre por el valle del arroyo Pescado y cruza el río Tecka - Gualjaina para luego tomar rumbo SE. A lo largo de su recorrido, el río atraviesa distintas áreas moldeadas a través del tiempo por numerosos procesos geológicos y morfogenéticos. El objetivo del trabajo es delimitar topográficamente la cuenca hídrica y caracterizar su morfología.

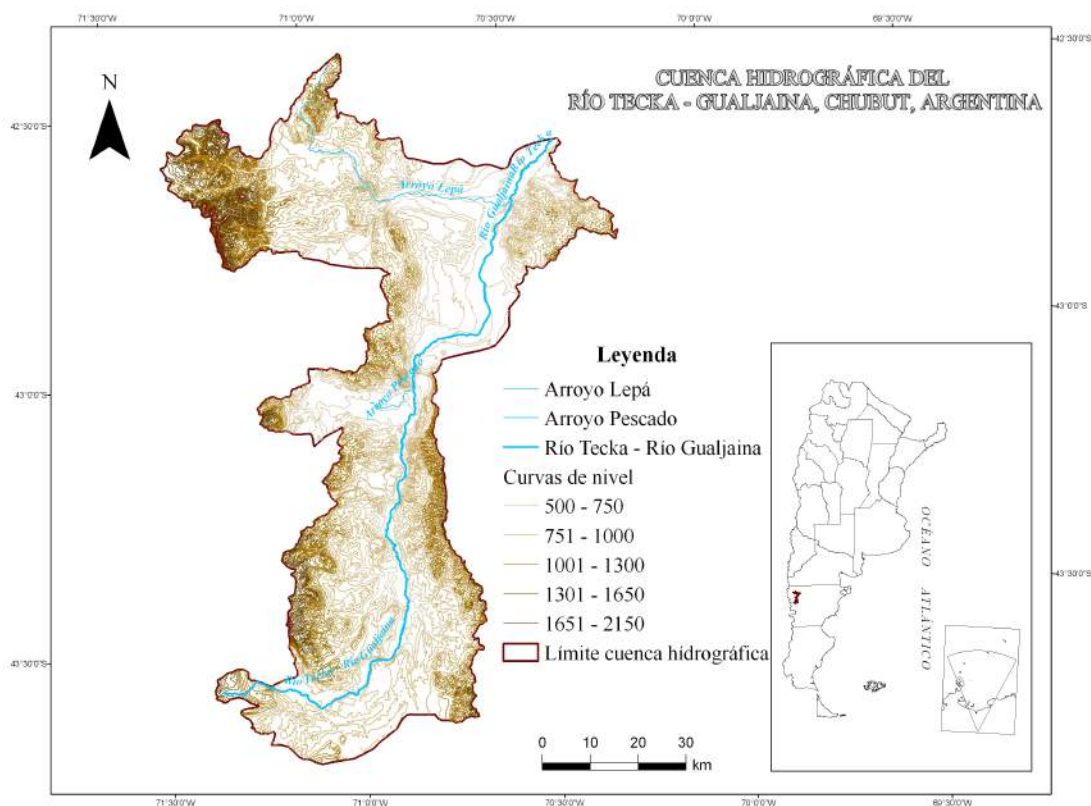


Figura 2. Cuenca del Río Tecka - Gualjaina, Chubut, Argentina. Topografía.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Planteo del Problema

En la República Argentina y particularmente en la región Patagónica, la información físico-ambiental entre otras, es escasa o inexistente. En tal sentido y a fin de poder evaluar el impacto ambiental y socioeconómico como consecuencia de los cambios climáticos y de las intervenciones antropogénicas, es necesario el conocimiento del estado actual de los sistemas geofísicos, ambientales, sociales y económicos.

Procesos de agriculturización, explotación de recursos hídricos, desertificación, deforestación, contaminación, características de los asentamientos humanos, etc., deben ser evaluados junto con parámetros ambientales y geofísicos, locales, regionales y globales. Por ello, y con el objeto de estimar el impacto en el ambiente de los procesos mencionados y sus



efectos sobre el desarrollo económico y social regional futuro, es necesario conocer los recursos naturales. En tal sentido, este trabajo forma parte del estudio integral de la cuenca del río Tecka - Gualjaina, en la provincia de Chubut. Los resultados obtenidos contribuirán al conocimiento del funcionamiento ambiental de este espacio.

### Metodología

El procesamiento de los datos se realizó con el programa ArcGis 9.3.1 [5]. La información se obtuvo de las cartas topográficas elaboradas y editadas por el Instituto Geográfico Militar [6]: Piedra Parada, 4369-7; Paraje La Horqueta, 4369-13; Cholila, 4372-11; Fofó Cahuel, 4372-12; Esquel, 4372-17; Gualjaina, 4372-18; Trevelín, 4372-23; Arroyo Pescado, 4372-24; Corcovado, 4372-29; Tecka, 4372-30; Cerro Caballada 4372-35; Putrachoique, 4372-36. La cartografía que se utilizó fueron cartas topográficas a escala 1:100.000, por ser el tipo de documento cartográfico a mayor escala que abarcaba toda el área de esta cuenca hidrográfica. Se georreferenciaron las cartas topográficas, se digitalizaron las curvas de nivel y cursos de agua.

Para la delimitación de la cuenca de drenaje se analizó la divisoria de aguas de la cuenca, siguiendo la dirección de las pendientes de acuerdo con las curvas de nivel [7]. Para la caracterización morfológica se obtuvieron el área o superficie de la cuenca, el perímetro, el relieve disponible y la longitud del río. Se calcularon también, el factor de forma y el radio de elongación. Para obtener la forma del contorno de la cuenca, se calculó el índice de compacidad o de Gravelius y coeficiente de redondez. Para determinar la forma de la cuenca se utilizaron los siguientes índices: el relieve disponible,  $\Delta H$ , la diferencia de altura entre el punto más alto ( $H_x$ ) y más bajo de la cuenca ( $H_y$ ); el de forma,  $R_f$ , cociente entre la superficie de la cuenca y el cuadrado de su longitud máxima [8, 9],  $R_f = A / L_m^2$ . En función de lo propuesto por Jardí [10] y a fin de analizar el comportamiento hidrológico de la cuenca, se decidió obtener como valor de  $L_m$ , la longitud máxima entre los puntos extremos de la cuenca siguiendo el cauce del río principal. El radio o relación de elongación,  $R_e$ , definido por Schumm como la relación entre el diámetro de un círculo de igual superficie que la cuenca y la longitud máxima de la misma ( $L$ ). El diámetro se expresa en función del área de la cuenca ( $A$ ) como [11]:  $R_e = 1,128 \sqrt{A/L}$ , valores inferiores a 1 indican que la cuenca tiene forma alargada, cuánto menor sea  $R_e$  más alargada será la forma [10]. El coeficiente de redondez,  $K$ , relaciona el área de la cuenca,  $A$ , con su longitud,  $L$ , tomando como referencia el diámetro de un círculo. Para cuencas perfectamente circulares  $K$ , toma un valor igual a la unidad y cuanto más elongada sea la cuenca, mayor será el valor de  $K$ . Esta variable fue introducida por Seyhan en 1977 [10],  $K = \pi L^2 / 4 A$ . El índice o coeficiente de compacidad o de Gravelius [12],  $K_c$ , es la relación entre el perímetro de la cuenca y la circunferencia de un círculo de igual superficie que la cuenca. Llamas [11] define la siguiente expresión:  $K_c = 0,28 * (P / \sqrt{A})$ , donde  $P$  y  $A$  son el perímetro y la superficie de la cuenca, respectivamente. El coeficiente



será igual a la unidad en cuencas perfectamente circulares pudiendo alcanzar valores próximos a 3 en cuencas muy alargadas.

Asimismo, se determinaron el tiempo de concentración y la pendiente media del cauce principal y por último, el índice de sinuosidad topográfica. El tiempo de concentración,  $T_c$ , es el tiempo que tarda en llegar, a la sección de salida de la cuenca, la escorrentía producida en la zona más alejada de dicha sección. Depende del espacio recorrido (longitud y forma de la cuenca) y de la velocidad de las escorrentías (altura de la escorrentía, pendiente de la cuenca y del cauce principal, rugosidad de la superficie). La fórmula más frecuentemente utilizada es la de Kirpich [13]  $T_c = [(0,871 L^3) / (H - h)]^{0,385}$ . En función de las características de la cuenca objeto de esta investigación y como resultado de los estudios y evaluaciones de del área ya efectuadas, se decidió aplicar la fórmula propuesta por Hathaway-Kerby [14, 15] que considera las características superficiales del terreno (Tabla I),  $T_c = (0,606 (Ln)^{0,467}) / S^{0,234}$ , donde,  $T_c$ , es tiempo de concentración en horas,  $L$ , la longitud del cauce principal hasta la divisoria,  $S$ , la pendiente media del cauce principal y  $n$ , la rugosidad en función de la vegetación.

Tipo de superficie	Valor de n
Suelo liso impermeable	0,02
Suelo desnudo	0,10
Pastos pobres, cultivos en hileras o suelo desnudo algo rugoso	0,20
Pastizales	0,40
Bosque de frondosas	0,60
Bosque de coníferas, o de frondosas con una capa densa de residuos orgánicos o de césped	0,80

Tabla I. Valor asignado a la rugosidad del terreno en función de la vegetación [14].

La pendiente media del cauce principal ( $Pm_r$ ), es uno de los indicadores más importantes en el análisis hidrográfico empleado para determinar el grado de respuesta de una cuenca a una tormenta determinada. Dado que la pendiente varía a lo largo del cauce, se definió como tal, al desnivel entre los puntos extremos de la corriente principal dividido su longitud. El orden de magnitud se obtuvo de acuerdo con la tabla II. Siendo,  $Pm_r = (H_M - H_m) / (1000 * L_r)$ , donde,  $H_M$  y  $H_m$  son las alturas máxima y mínima, en metros, respectivamente y  $L_r$ , la longitud del río principal, en kilómetros.

Pendiente media (%)	Terreno
< 1	Llano
1 - 5	Suave
5 - 8	Moderado
8 - 15	Fuerte
> 15	Escarpado

Tabla II. Magnitud de la pendiente media del río principal.



El índice de sinuosidad topográfica o coeficiente de sinuosidad,  $S_t$ , fue enunciado por Schumm [16] para reflejar el trazado del cauce como el cociente entre la longitud del valle,  $L_v$  y la del eje del río,  $L_e$ . Valores próximos a 1 indican que el cauce tiende a ser rectilíneo y valores superiores a 2 tienden a ser tortuosos, los resultados intermedios indican formas transicionales regulares o irregulares [16]. Pedraza Gilsanz [17] denomina rectilíneos y meandrosos a los cauces con índices de sinuosidad menores o superiores a 1,5 respectivamente. Las longitudes empleadas en el cálculo son proyecciones de los valores reales sobre un plano horizontal. Para calcular las dimensiones reales hay que dividir esos valores por el coseno del ángulo que forma el eje del río con la horizontal [11]. Siendo,  $S_t = L_v / L_e$ .

## DESARROLLO

La cuenca ocupa un área de 5.318 km<sup>2</sup> y un perímetro de 651 km, estas dimensiones determinan una cuenca de tamaño grande [18]. El conocimiento del área de drenaje es indispensable en el análisis hidrológico porque en función de ella se obtienen los aforos y la relación entre precipitación y caudal. El perímetro no brinda por sí solo información acerca del tamaño de la cuenca, pero es útil para comparar cuencas de igual superficie. Esta última variable está relacionada con la litología y la edad de la cuenca. Asimismo, el relieve disponible en esta superficie es de 1736,7 m.

La longitud del curso principal del río Tecka - Gualjaina es de 206 km y se obtuvo con la sumatoria del recorrido del río Tecka desde sus nacientes más su continuación con el nombre de río Gualjaina, hasta su desembocadura en el Río Chubut. Respecto a la elongación de la cuenca de drenaje, la longitud de la misma se calculó aplicando el criterio de medición empleado en los análisis hidrológicos, el cual considera la totalidad del recorrido del curso principal incluyendo la sinuosidad del mismo [10].

Asimismo, para determinar la elongación de la cuenca se consideraron el factor de forma y la razón de elongación obteniéndose un  $R_f$  de 0,13 y un  $R_e$  de 0,39. Ambos valores inferiores a 1 están indicando que la cuenca de drenaje es de forma alargada y muy alargada por el bajo valor de  $R_f$ . El contorno de la cuenca se analizó a través del coeficiente de compacidad ( $K_c$ ) que arrojó un valor de 2,5 indicando un contorno relativamente lobulado, muy alargado, para Campos [18] de tipo Clase III de forma oval-oblonga a rectangular-oblonga para la cuenca del río Tecka - Gualjaina. El coeficiente de redondez ( $K$ ) con un valor de 6,3 corrobora la forma elongada.

La cuenca del río Tecka - Gualjaina registró un tiempo de concentración de 4 h 15' valor que indica una significativa escorrentía superficial, tiempo que variará según las características de cobertura del suelo en diferentes momentos. El tiempo de concentración es el que tardaría, teóricamente, en llegar a la desembocadura una crecida propiciada por una



precipitación situada en el extremo más alejado de la cuenca. El tiempo de concentración tiene gran importancia hidrológica debido a que depende del grado de intervención humana en la cuenca. La compactación de los suelos y las canalizaciones de los cauces fluviales por un lado, reducen considerablemente el tiempo de concentración y por otra parte, facilitan la concentración más rápida de las escorrentías (formación de avenidas). Según Cuesta [19] la densidad del drenaje afecta al tipo de escorrentía y así en zonas de alta densidad, la escorrentía recorre la superficie rápidamente rebajando el  $T_c$  e incrementando el pico de crecida al haber menos infiltración.

La poca pendiente media del río, 0,42 %, que representa 22,8° del ángulo del terreno, supone un relieve llano. Esta condición, contribuiría a mitigar el impacto de una tormenta determinada. Sin embargo, ante un evento de lluvias intensas y fuertes avenidas y por las características del perfil longitudinal del río, favorecerían parcialmente el flujo de la corriente. De acuerdo con la clasificación propuesta por Saavedra [20] según la pendiente media del cauce principal, la topografía del terreno de la cuenca es de tipo llano. Sin embargo, cabe aclarar que la cuenca presenta áreas caracterizadas por el desarrollo de importantes relieves positivos.

El resultado obtenido para el índice de sinuosidad, 1,54, refleja un cauce del tipo transicional [16, 21] o meandroso según la clasificación propuesta por Pedraza Gilsanz [17].

## CONCLUSIONES

El Río Tecka - Gualjaina desarrolla una cuenca de tamaño grande y presenta un importante relieve disponible. Adquiere una forma oval-oblonga a rectangular-oblonga y un contorno relativamente lobulado. La pendiente media del río supone un relieve plano, sin embargo, la cuenca presenta en sus extremos y a lo largo de su perímetro, sectores con presencia de importantes relieves positivos, condiciones que contribuirían a incrementar el flujo de la corriente frente a la ocurrencia de intensas precipitaciones y fuertes avenidas.

El análisis realizado contribuye a incrementar particularmente, el conocimiento de las condiciones físicas de la cuenca del Río Tecka - Gualjaina, la cual forma parte de un espacio poco estudiado, la Patagonia Argentina. Un área caracterizada por la presencia de mallines, de gran relevancia económica y potencial productivo. Los resultados forman parte de un estudio integral de la cuenca que tiene como fin realizar un manejo sustentable de este espacio geográfico.





## REFERENCIAS

- [1] M. Torrero, P. Nosedá, 2010. Balance Hídrico en la Cuenca del Río Gualjaina, Argentina. RALDA.
- [2] A. M. Beeskow, H. F. Del Valle, C. M. Rostagno, 1987. *Los Sistemas Fisiográficos de la Región Árida y Semiárida de la Pcia. de Chubut*. CENPAT-SECYT, Chubut.
- [3] INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria), 1995. *Atlas de Suelos de la Rep. Arg.* Publicación en CD. Fundación ArgenINTA y Aeroterra S.A. Bs. As.
- [4] INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria), 2002. *II Áreas Agroecológicas de Chubut*. Estación Experimental Chubut.  
[http://www.inta.gov.ar/Chubut/info/documentos/varios/area\\_ecol.htm](http://www.inta.gov.ar/Chubut/info/documentos/varios/area_ecol.htm) - Consultado el día 23/03/2010.
- [5] ArcGis 9.3.1, ESRI.
- [6] IGM (Instituto Geográfico Militar), 1980-198. Cartas topográficas 1:100.000.
- [7] R. Heras, 1983. *Recursos hidráulicos. Síntesis, metodología y normas*. Cooperativa de publicaciones del Colegio de Ingenieros de caminos, canales y puertos. Madrid, 380 pp.
- [8] R. E. Horton, 1932. Drainage basin characteristics. *Transactions of the American Geophysical Union*, 13, 522-541.
- [9] R. Horton, 1945. Erosional development of streams and their drainage basins. Hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geol. Soc. Amer.*, 56. Cap. 3, 275-370.
- [10] M. Jardí, 1985. Forma de una cuenca de drenaje. Análisis de las variables morfométricas que nos la definen. *Revista de Geografía*, XIX. Departamento de Geografía de la Universidad de Barcelona, 41-68.
- [11] J. Llamas, 1993. *Hidrología General. Principios y Aplicaciones*. Azehu, Bilbao, 635 pp.
- [12] H. Gravelius, 1914. *Flusskunde*. Goschen Verlagshan dlug Berlin. En Zavoianu, I., 1985. Morphometry of Drainage Bassins. *Developments in water science*, 20. Elsevier, Amsterdam, 238 pp. ISBN 0-444-99587-0
- [13] Z. P. Kirpich, 1940. Time of Concentration of Small Agricultural Watersheds. *Civil Engineering*, 10Nº 6, 362 pp.
- [14] G. A. Hathaway, 1945. Design of Drainage Facilities. *Transactions of the American Society of Civil Engineer*, 110, 697-730.
- [15] W. S. Kerby, 1959. Time of concentration of overland flow. *Civil Eng.* 60, 174. 1959.
- [16] S. A. Schumm, 1963. Sinuosity of alluvial rivers on the great plains. *Bulletin of Geological Society of America*, 74, Nº 9.
- [17] J. de Pedraza Gilsanz, 1996. *Geomorfología, principios, métodos y aplicaciones*. Ed. Rueda. Madrid, 414 pp.
- [18] A. Campos, 1992. Proceso del Ciclo Hidrológico. *Universidad Autónoma de San Luis Potosí*. 1ª ed. San Luis Potosí, México, 22-23.



- [19] M. J. Cuesta, 2001. Dinámica erosiva en los paisajes de la cuenca del río Guadajoz (Córdoba y Jalén). *Servicios de Publicaciones de la Universidad de Córdoba*, Córdoba, 226 pp.
- [20] J. Saavedra, 2001. *Planificación Ambiental de los Recursos Forestales en la Región de la Araucanía, Chile. Definición de las Unidades Homogéneas de Gestión*. Tesis Doctotal. Universidad Politécnica de Madrid, 342 pp.
- [21] V. Antoneli, E. Lopes Thomaz, 2007. Caracterização do meio físico da bacia do Arroio Boa Vista - Guairanga-Pr. *Caminhos de Geografia Uberlândia*, 8, Nº 21. Instituto de Geografia Ufu. Programa de Pós-graduação em Geografia, 46-58. ISSN 1678-6343.



# ¿Cómo tratar la escala de abundancia/cobertura de Braun-Blanquet para el ordenamiento de la vegetación?

Torres, P.S (1) y Camiz, S (2)

<sup>1</sup>*Cátedra de Ecología Vegetal, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Rosario*

<sup>2</sup>*Dipartimento di Matematica Guido Castelnuovo, Sapienza Università di Roma.*

E-mail: patrizia662@gmail.com

## RESUMEN

El método para el estudio de la vegetación de Braun-Blanquet y su escala de abundancia/cobertura, han sido utilizados por numerosos científicos en el estudio de la vegetación mundial y es enorme la cantidad de información así generada. Sin embargo, en los últimos años se ha puesto en tela de juicio el hecho que la escala de Braun-Blanquet es ordinal y como tal no debe ser tomada como numérica. En este trabajo analizamos una matriz de vegetación herbácea del SE de la provincia de Santa Fe (Argentina), obtenida mediante una transecta y caracterizada por la presencia de tres comunidades vegetales: “flechillar”, “espartillar” y pradera salada. Los datos de vegetación se registraron con la escala de abundancia/cobertura de Braun-Blanquet, y su análisis ha sido presentado en varios trabajos, por lo tanto se conoce bien su estructura. El objetivo de este trabajo es comparar distintos tratamientos de los datos: su transformación a escalas numéricas y análisis con Componentes Principales, considerarlos en escalas categóricas y analizarlos con Correspondencias Múltiples, reducirlos a presencia/ausencia o considerarlos ordinales y emplear coeficientes ordinales y Non Metric Multidimensional Scaling. Los planos de proyección de los diferentes métodos se comparan con un test de aleatorización procusteano. Se encontró que en general, no existen diferencias significativas en las distintas proyecciones si se comparan los ejes 1 y 2. Lo mismo ocurre entre los ejes 3 y 4 entre sí. La solución más clara y explicativa desde el punto de vista ecológico es la que se obtiene con Componentes Principales con presencia/ausencia, que coincide exactamente con el resultado de escala de van der Maarel. Como no existe error metodológico en el tratamiento de los datos con presencia/ausencia sería éste el más indicado.

## INTRODUCCIÓN

J. Braun-Blanquet ha sido reconocido como el padre de la historia de la Ciencia de la Vegetación [1]. Sus dos obras más importantes Braun-Blanquet ([2], [3]) han causado una gran influencia en la práctica de campo y en el pensamiento científico de la mayoría de los ecólogos de vegetación en Europa y en otras partes del mundo ([4], [5]). La descripción y clasificación de la misma no puede ser evaluada correctamente sin hacer referencia a sus trabajos pioneros y los de sus colegas y seguidores, como los de la Escuela de Fitosociología



de Zürich-Montpellier. Si bien se tiene al presente una gran cantidad de información sobre la vegetación del mundo, mucha de la cual se ha obtenido con la aplicación del método de Braun-Blanquet, algunos autores han reconocido que la metodología presenta problemas ([6], [1]). Estas dificultades aparecen cuando se analizan numéricamente datos de vegetación obtenidos con dicho método.

El método tradicional para registrar observaciones de campo en Fitosociología es a través de una muestra de “censos”. Un censo básicamente es una lista de especies vegetales observadas en una parcela junto con una estimación de su abundancia/cobertura, abundancia, cobertura ó algún otro indicador de su importancia. La conocida escala de abundancia/cobertura de Braun-Blanquet toma 7 valores y se puede observar en la Tabla 1. Obviamente, la presencia de símbolos en la escala (+ y (+)) excluye inmediatamente la posibilidad de realizar cálculos matemáticos, por lo tanto se han sugerido varios procedimientos para convertir los valores a otras escalas que contengan solamente números ([7]). Entre ellas tenemos la de los valores medios de las clases de porcentajes de cobertura de Braun-Blanquet, la de abundancia/cobertura de van der Maarel, la de Daubenmire, la de Hult-Sernander, la de Domin, la de Doing, la de Barkman, etc. ([7]) Las dos primeras se encuentran en la Tabla 1.

Estas transformaciones resuelven el problema de los símbolos, sin embargo, de acuerdo a Podani ([1]), la nueva escala así obtenida es ordinal y como tal, ciertas operaciones con dichos valores son estrictamente inadmisibles.

De acuerdo a Podani ([1]), la mejor solución matemática del problema es elegir un coeficiente de similitud/disimilitud compatible con datos ordinales y usar métodos ordinales de análisis de datos. Por ejemplo recomienda el coeficiente  $\gamma$  de Goodman & Kruskal, el coeficiente  $\zeta$  de Kendall ([8]) ó la medida de discordancia de Podani ([9]) y como método de análisis de datos Non Metric Multidimensional Scaling ([10]). Ricotta & Avena ([11]), contrariamente a lo manifestado por Podani ([1]), sostienen que el uso de métodos multivariados convencionales (por ejemplo Análisis de Componentes Principales) para evaluar datos provenientes de dichas escalas (columnas 2 y 3 de la Tabla 1) no representa un error metodológico, ya que implica un ajuste de una “distancia topológica” entre especies. Esta afirmación no tiene ningún sentido pues en topología la noción de distancia no existe ni tampoco tiene sentido porque no sería invariante.

Otra solución es utilizar los datos como valores de presencia/ausencia, cuyo análisis no posee problemas computacionales, sin embargo, esta simplificación implica una pérdida de información ([1]). Se trata de la solución recomendada por Camiz ([6]), pues permite tratar tablas con vegetación muestreada por diferentes autores sin riesgo de sesgo debido a la diferente estimación de la cobertura por parte de ellos.

Una solución intermedia consiste en considerar la escala de abundancia/cobertura de Braun-Blanquet como una variable categórica, y aquí tenemos varias posibilidades: considerar todas las categorías (siete más el cero) o agrupar las categorías en dos grandes categorías más el



cero (columnas 4 y 5 de la Tabla 1). Como programa de análisis para estos datos se sugiere el Análisis de Correspondencias Múltiples ([12]) que se puede correr con el programa *SPAD-N* ([13]).

El uso de la escala de abundancia/cobertura de van der Maarel en el análisis de datos de vegetación ha sido más que satisfactorio ([14], [15], [16], [17]) y es más apropiado que la escala de los valores medios de las clases de porcentajes de cobertura de Braun-Blanquet. Por lo tanto, sería de interés entonces comparar ambas escalas donde la escala de medida es considerada de razón, el uso de presencia/ausencia, el uso de variables categóricas donde la escala es nominal y el uso de los coeficientes que propone Podani para datos medidos en escala ordinal. Para el caso de la escala de razón y presencia/ausencia se elige como método de ordenamiento Análisis de Componentes Principales (*PCA*), para datos nominales Análisis de Correspondencias Múltiples (*MCA*) y para datos ordinales Non Metric Multidimensional Scaling (*NMDS*).

El objetivo de este trabajo es comparar cuatro tipos de tratamiento para datos tomados en la escala de abundancia/cobertura de Braun-Blanquet, considerarlos nominales, presencia/ausencia, ordinales ó de razón, con métodos de ordenamiento apropiados a los mismos y con un mismo conjunto de datos de vegetación con estructura conocida.

## MÉTODOS

El área de estudio está situada en el valle del arroyo Saladillo, aproximadamente a 10 km al sur de las localidades de Sandford y Chabás, distrito Caseros, provincia de Santa Fe (Argentina). Cercano al río se encuentra una pradera de *Stipa hyalina*, luego pastizales altos de *Spartina densiflora* y más alejado del río, diferentes tipos de praderas halófilas ([15], [18]).

Cada 25m sobre una transecta perpendicular al arroyo, se delimitó un cuadrado de 4m<sup>2</sup> y sobre el mismo se registraron todas las especies presentes junto con una estimación de la abundancia/cobertura de cada una, empleando la escala combinada de Braun-Blanquet ([19]) (columna 1 de la Tabla 1).

Se construyó una matriz de 27 censos por 65 especies con los datos de vegetación. Los valores originales de la escala combinada de Braun-Blanquet fueron transformados a la escala de los valores medios de las clases de porcentajes de cobertura de Braun-Blanquet (matriz llamada *BB*), a la escala de abundancia/cobertura de van der Maarel (matriz *VDM*) y a datos de presencia/ausencia (matriz *PA*), perdiendo la información de la importancia de la especie en el censo. Las tres matrices de datos fueron sometidas a Análisis de Componentes Principales ([20], [21]) empleando una matriz de correlación, utilizando el paquete de programas *PC-ORD* ([22]). Para estimar el número de componentes principales significativas tuvimos en cuenta el criterio de Peres-Neto *et al.* ([23]) que considera con el mejor comportamiento a dos métodos de aleatorización basados en autovalores (Rnd-Lambda y Rnd-F) y otro basado en promedios aleatorios bajo permutación (Avg-Rnd).



Los valores originales de la escala combinada de Braun-Blanquet también fueron transformados a dos escalas nominales, una que tiene en cuenta las 7 categorías más el cero (matriz  $N7$ ) y otra que agrupa las categorías en dos grandes grupos más el cero (matriz  $N2$ ) (Tabla 1). Como programa de análisis para estos datos se utilizó Análisis de Correspondencias Múltiples con el programa *SPAD-N* ([13]).

Para el tratamiento de los datos como provenientes de una escala ordinal, como fuera sugerido por Podani ([1]), se utilizaron los coeficientes  $\gamma$  de Goodman & Kruskal (matriz  $GO$ ) y  $\zeta$  de Kendall (matriz  $KE$ ) ([8]) y la medida de discordancia de Podani (matriz  $PO$ ) ([9]) y como método de análisis de datos el sugerido por Podani ([1]): Non Metric Multidimensional Scaling, utilizando el programa *SYNTAX 2000* ([24]).

La comparación de todas las configuraciones de censos en los planos definidos por los métodos multivariados se realizó con Análisis Procrusteano ([25], [26]) utilizando el test de aleatorización procrusteano como fue descrito por Jackson ([27]) y con el programa *PROTEST* desarrollado por Peres-Neto ([27]). El programa está disponible gratuitamente en la página: <http://www.zoo.utoronto.ca/Jackson/software/>. Como se realiza un número grande de tests se ajusta la probabilidad de error tipo I por Bonferroni ([28]).

## RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Cuando la matriz de presencia/ausencia ( $PA$ ) es ordenada por  $PCA$ , los cuatro primeros ejes fueron significativos con Rnd-Lambda y Avg-Rnd, mientras que diez lo fueron con Rnd-F. Aquí analizamos solamente las cuatro primeras componentes principales. Los primeros cuatro ejes explican el 49,8% de la variación total en los datos. En todas las figuras los censos son indicados por símbolos y las especies por flechas o puntos. Las especies se indican en las figuras con un acrónimo construido con dos letras del género y dos de la especie (ver Tabla 2). En la Figura 1, el eje 1 segrega dos grupos: hacia el lado negativo se ubican los censos del “flechillar” (pradera de *Stipa hyalina*) y hacia el lado positivo el resto de los censos. Estos últimos son separados por el eje 2 en dos grupos: el “espartillar” (pastizales altos de *Spartina densiflora*) se ubica abajo y la pradera halófila arriba.

*Stipa hyalina*, *Phyla canescens* y *Paspalum dilatatum* son las especies más abundantes del “flechillar” y como especies acompañantes tenemos *Lolium multiflorum*, *Rumex crispus*, *Coniza bonariensis*, *Cynodon dactylon*, *Sida leprosa* y *Carex sororia*.

*Spartina densiflora* es la especie dominante del “espartillar” y como especies acompañantes encontramos a *Rumex pulcher*, *Heliotropium curassavicum*, *Lepidium sp* y *Petunia parviflora*. Las especies más importantes de la pradera halófila son *Paspalum vaginatum* y *Distichlis spicata*, acompañadas por *Ranunculus cymbalaria*, *Chaetotropis chilensis*, *Triglochin striata*, *Scirpus americanus* y *Apium sellowianum*.

En la Figura 2, el eje 3 segrega el “flechillar” en dos grupos, uno hacia el lado positivo asociado con el “espartillar” y el otro hacia el lado negativo junto con los censos de la pradera halófila. El eje 4 ubica al censo 20 en la parte superior del biplot, asociado con las



especies: *Ambrosia tenuifolia*, *Modiolastrum gillesii*, *Polygonum brasiliense* y *Polypogon monspeliensis*. Dicho censo es un ecotono entre el “espartillar” y el “flechillar”. Hacia abajo del biplot se ubica el censo 21, el cual es el único donde se encuentra presente la especie *Althernanthera philoxeroides*.

Cuando la matriz de datos en la escala de abundancia/cobertura de van der Maarel [26] (VDM) fue ordenada con PCA, obtuvimos los mismos resultados que con la escala anterior. Los cuatro primeros ejes fueron significativos con Rnd-Lambda y Avg-Rnd mientras que diez lo fueron con Rnd-F. Aquí analizamos de nuevo solamente las cuatro primeras componentes principales. Los primeros cuatro ejes explican el 49,6% de la variación total en los datos. Se puede observar en las Figuras 3 y 4 las componentes principales 1 versus 2 y 3 versus 4 respectivamente. La Figura 3 muestra un despliegue de datos casi exactamente igual que la Figura 1, mientras que la Figura 4 lo es también con respecto a la Figura 2.

Cuando la matriz de datos en la escala de los valores medios de las clases de porcentajes de cobertura de Braun-Blanquet (BB) fue ordenada por PCA, no se obtienen los mismos resultados anteriores. Los primeros cinco ejes fueron significativos con Rnd-Lambda, Avg-Rnd y Rnd-F y explican el 50,2% de la variación en los datos. Las Figuras 5, 6 y 7 muestran las componentes principales 1 versus 2, 3 versus 4 y 1 versus 5 respectivamente.

En la Figura 5, el eje 1 segrega dos grupos: hacia el lado negativo, se ubican los censos del “flechillar” y hacia el lado positivo el “espartillar” (asociado con *Spartina densiflora*, *Petunia parviflora* y *Rumex pulcher*) muy cercano a la pradera halófila (asociada con *Paspalum vaginatum*, *Chaetotropis chilensis*, *Apium sellowianum* y *Scirpus americanus*). El eje 2 divide al “flechillar” de acuerdo a las especies acompañantes. Hacia arriba se ubican *Paspalum dilatatum*, *Rumex crispus*, *Carduus acanthoides*, *Lolium multiflorum* y *Cynodon dactylon* y hacia abajo *Carex bonariensis*, *Cressa truxilensis*, *Ammi viznaga*, *Juncus balticus*, *Eleusine tristachya*, *Apium leptophyllum* y *Sesuvium portulacastrum*.

En la Figura 6, el eje 3 segrega los censos de la pradera halófila hacia el lado negativo y los censos del “espartillar” hacia el lado positivo, mientras que los censos del “flechillar” aparecen diseminados por todo el biplot. El eje 4 separa al censo 20 (ecotono) hacia abajo y a los censos del “espartillar” hacia arriba.

En la Figura 7 (eje 1 versus eje 5) solamente describimos el comportamiento del eje 5, el cual separa los censos del “flechillar” en dos grupos (diferentes a los del eje 2) y también de acuerdo a las especies acompañantes. Hacia arriba del biplot encontramos: *Coniza bonariensis*, *Stipa brachichaeta*, *Hirschfeldia sp* y *Carduus acanthoides* y hacia abajo: *Cressa truxilensis*, *Lolium multiflorum*, *Brassica hirschfeldia*, *Phyla canescens* y *Stipa hyalina*.

Cuando los datos son considerados nominales y se toman en cuenta todas las categorías (N7) y se aplica MCA, se consideraron los 4 primeros ejes. Los dos primeros explican el 22% de la información y los cuatro primeros 38%. Se graficaron los ejes 1 versus 2 y 3 versus 4 en las Figuras 8 y 9 respectivamente. Los censos se graficaron identificando la comunidad a la cual



pertenecen y solamente se encuentran las especies que resultaron significativas con el test 't' de Student que realiza el programa SPAD-N.

En la Figura 8 se observa un grupo de censos en el lado negativo del eje 1, asociados a las especies *STHY7* y *PHCA7*, que corresponden a *Phyla canescens* y *Stipa hyalina* con el valor 7 de la escala de van der Maarel. Este grupo de censos corresponde al "flechillar" y lo divide el eje 2 de acuerdo a los valores de las especies dominantes, para arriba se encuentran *PHCA8* (*Phyla canescens* con valor 8), *CYDA5* (*Cynodon dactylon* con valor 5), *PADI7* (*Paspalum dilatatum* con valor 7) y *STHY9* (*Stipa hyalina* con valor 9) y hacia abajo *CYDA2* (*Cynodon dactylon* con valor 2), *STHY8* (*Stipa hyalina* con valor 8) y *PADI5* (*Paspalum dilatatum* con valor 5).

Hacia el lado positivo del eje 1 se encuentran 2 grupos de censos, hacia arriba el correspondiente al "espartillar", sin ninguna especie caracterizándolo y hacia abajo la pradera salada asociada a *PAVA9* (*Paspalum vaginatum* con valor 9), *RACY5* (*Ranunculus cymbalaria* con valor 5), *TRST3* (*Triglochin striata* con valor 3), *APSE3* (*Apium sellowianum* con valor 3) y *DISP3* (*Distichlis spicata* con valor 3).

El ecotono por su parte se ubica entre medio de los censos del "flechillar".

En la Figura 9, el eje 3 separa los censos del "espartillar" hacia el lado negativo y los asocia con las especies *SPDE7* y *SPDE8* (*Spartina densiflora* con valor 7 y 8) más algunas especies acompañantes: *HECU2* (*Heliotropium curassavicum* con valor 2), *RUPU5* (*Rumex pulcher* con valor 5), *LEPI2* (*Lepidium sp.* con valor 2) y *PEPA3* (*Petunia parviflora* con valor 3). Las otras 2 comunidades se ubican en el lado positivo del eje 3 asociadas a *PAVA9* (*Paspalum vaginatum* con valor 9), *DISP5* (*Distichlis spicata* con valor 5) y *STHY7* (*Stipa hyalina* con valor 7). Al ecotono lo separa el eje 4 del "espartillar".

Cuando los datos son considerados nominales y se agrupan las categorías en dos grandes grupos ( $N_2$ ), como se observa en la Tabla 1, y se aplica MCA, se consideraron como en el caso anterior los 4 primeros ejes. Los dos primeros explican el 30% de la información y los cuatro primeros 48%. Se graficaron los ejes 1 versus 2 y 3 versus 4 en las Figuras 10 y 11 respectivamente y solamente se encuentran las especies significativas.

La Figura 10, de los ejes 1 y 2, es parecida a la anterior para  $N_7$  (Figura 8), pero resulta mucho más clara en la descripción de las comunidades. Se observa el "flechillar" más concentrado, asociado a las especies *PHCA3*, *STHY3* y *PADI3*, que corresponden *Phyla canescens*, *Stipa hyalina* y *Paspalum dilatatum* con los valores más grandes de la escala de van der Maarel (7, 8 ó 9). El "espartillar" se encuentra asociado a *SPDE3* (*Spartina densiflora* con valor 7, 8 ó 9) y la pradera salada a *PAVA3* (*Paspalum vaginatum* con valor 7, 8 ó 9) y *DISP2* (*Distichlis spicata* con valor 1, 2, 3 ó 5). El ecotono por su parte se ubica entre el "flechillar" y el "espartillar".

La Figura 11 muestra los censos del "flechillar" separados en dos grupos sobre el eje 3, hacia el lado negativo asociados a *CYDA3* (*Cynodon dactylon* con valor 7, 8 ó 9) y *PADI3* (*Paspalum dilatatum* con valor 7, 8 ó 9) y hacia el lado positivo a *PLMY2* (*Plantago myosurus* con valor 1,





2, 3 ó 5) y *CYDA2* (*Cynodon dactylon* con valor 1, 2, 3 ó 5) entre otras. El eje 4 separa el ecotono hacia arriba del eje 4.

Cuando los datos son considerados ordinales y se utiliza el coeficiente Lambda de Goodman-Kruskal (*GO*) y se aplica *NMDS*, se consideran los ejes 1 versus 2 y 3 versus 4 en las Figuras 12 y 13 respectivamente. La Figura 12 muestra las 3 comunidades bien delimitadas, sobre el eje 1, de izquierda a derecha: “espartillar”, pradera salada y “flechillar”. El eje 2 separa el “flechillar”, probablemente la comunidad más diversa de las tres. El ecotono se ubica con los censos de la pradera, entre el “flechillar” y el “espartillar”.

En la Figura 13 se ve que el eje 3 separa al “espartillar” de las otras dos comunidades, las cuales son separadas por el eje 4.

Cuando los datos son considerados ordinales y se utiliza el coeficiente Tau de Kendall (*KE*) y se aplica *NMDS*, se consideran los ejes 1 versus 2 y 3 versus 4 en las Figuras 14 y 15 respectivamente. La Figura 14 muestra las 3 comunidades bien delimitadas, se ubica la pradera en el lado positivo del eje 1 mientras que el “espartillar” y el “flechillar” quedan juntos del lado opuesto y los separa el eje 2, dejando el ecotono entre ellos.

La Figura 15 muestra el “flechillar” en el extremo negativo del eje 3 y las otras comunidades opuestas, separadas un poco por el eje 4.

Cuando los datos son considerados ordinales y se utiliza el coeficiente de discordancia de Podani (*PO*) y se aplica *NMDS* se consideran los ejes 1 versus 2 y 3 versus 4 en las Figuras 16 y 17 respectivamente. La Figura 16 muestra el “espartillar” hacia el lado positivo del eje 1 mientras que la pradera y el “flechillar” quedan juntos del lado opuesto y el eje 2 separa esta última comunidad y el ecotono hacia arriba.

La Figura 17 muestra el “flechillar” en el extremo positivo del eje 3 y el “espartillar” en el extremo opuesto, mientras que la pradera queda en el medio de ambos, separada por el eje 4 hacia arriba. El ecotono queda junto con los censos del “espartillar”.

Cuando se comparan los distintos ordenamientos entre si a través del *PROTEST* se obtienen los resultados que se resumen en la Tabla 3. Solamente se describen las concordancias significativas entre los diagramas de dispersión, indicadas con un asterisco en la Tabla 3 (lo contrario está indicado con la palabra “no”).

En la misma se ve que los diagramas de *PA*, *VDM*, *BB*, *N2* y *N7* para los ejes 1 y 2 muestran una concordancia significativa entre ellos.

Los diagramas de *GO* y *KE* para los ejes 1 y 2 muestran concordancia significativa con *PA*, *VDM*, *N2* y *N7*, también para los ejes 1 y 2. Por su parte *KE* también muestra acuerdo significativo con *BB* y *GO*.

Los resultados para *BB* para los ejes 1 y 5 muestran concordancia significativa con *VDM*, *N2*, *N7* y *GO* para los ejes 1 y 2, esto se debe a la influencia del eje 1 en los diagramas.

Los resultados para los ejes 3 y 4 indican que el diagrama de *PA* concuerda significativamente con los de *VDM*, *BB* y *N2* y el de *VDM* también coincide con el de *N2*, mientras que *N2* también concuerda con *N7*.



Sorprendentemente, algunos diagramas de *GO*, *KE* y *PO* para los ejes 3 y 4 coinciden con algunos diagramas para los ejes 1 y 2 de *PA*, *VDM*, *BB*, *SP2*, *SP7*, *GO* y *KE*. El diagrama de *PO* para los ejes 3 y 4 es el que más concordancias presenta con los diagramas de los ejes 1 y 2, inclusive también concuerda con el diagrama de *BB* para los ejes 1 y 5.

El diagrama de *PO* para los ejes 3 y 4 también coincide significativamente con el de *GO* y *KE* para los mismos ejes.

Resulta coherente que los diagramas para los ejes 1 y 2 coincidan entre si, lo mismo para los ejes 3 y 4 entre si, lo llamativo es que los resultados del tratamiento ordinal de los datos para los ejes 3 y 4 coincidan con los resultados del tratamiento numérico de los datos para los ejes 1 y 2.

Los resultados obtenidos indican que las escalas que mejor describen la estructura, conocida de antemano, de la matriz de vegetación estudiada en este trabajo, son la de van der Maarel y presencia/ausencia. Por otra parte los resultados obtenidos son casi exactamente iguales: se diferencian las tres comunidades principales (pradera halófila, “espartillar” y “flechillar”) junto a sus especies dominantes y acompañantes.

Esta similitud en los resultados es en parte consecuencia de la forma en banda que tienen las matrices de datos de vegetación provenientes de análisis fitosociológicos con el método de Braun-Blanquet. Esto se debe al modelo Gausiano de estructura de la comunidad ([29], [30]), de acuerdo al cual todas las especies responden independientemente unas de otras a los factores ambientales (gradientes). La respuesta de una especie se puede representar por una curva gaussiana. Cada curva de respuesta de una especie cualquiera tiene tres propiedades: la ubicación de su pico máximo, la altura de dicho pico y la dispersión. Así, si la composición de especies se examina a lo largo de un gradiente ambiental, como en nuestro caso, se encuentra que ciertas especies van disminuyendo su abundancia al principio, luego estas son reemplazadas por nuevas especies que van aumentando su abundancia hasta llegar a un pico máximo y luego gradualmente disminuyen en abundancia y son reemplazadas por otras y así sucesivamente ([31]). Por tanto, el patrón de distribución de especies y muestras en los planes factoriales resulta en forma de herradura ([32], [33]). Por otra parte, al trabajar con *PCA* y elegir estandarizar los datos (matriz de correlación), se igualan todas las variancias de las especies, lo cual da como resultado que las especies dominantes y las acompañantes tengan más o menos el mismo peso. Esto hace que la escala de abundancia/cobertura de van der Maarel se asemeje a una escala de presencia/ausencia.

En síntesis, concluimos que no existe ninguna ventaja en analizar una matriz de datos de vegetación con la escala de van der Maarel y Análisis de Componentes Principales estandarizado, con respecto al análisis con presencia/ausencia, pues se alcanza el mismo resultado, es más sencillo y no se corre el riesgo de sesgo. No obstante para afirmar la superioridad de este análisis será necesaria una experimentación más profunda, con otros conjuntos de datos e incluyendo el tratamiento de datos simulados.



### Agradecimientos

Los autores agradecen a Eduardo A. Franceschi las sugerencias y la corrección del manuscrito. El segundo autor agradece también al Agregado Científico Italiano en Buenos Aires, que ha financiado su participación al congreso *E-ICES 9*.

*Tabla 1: comparación de las escalas de abundancia/cobertura de Braun-Blanquet, de los valores medios de la escala de cobertura de Braun-Blanquet, de abundancia/cobertura de van der Maarel y variables categóricas con 7 y 2 valores distintos de la vegetación.*

Escala de abundancia/cobertura de Braun-Blanquet	Valores medios de la escala de porcentajes de Braun-Blanquet	Escala de abundancia de van der Maarel	Variable categórica con 7 valores distintos	Variable categórica con 2 valores distintos
5	87,5	9	9	3
4	62,5	8	8	3
3	37,5	7	7	3
2	17,5	5	5	2
1	5	3	3	2
+	0,1	2	2	2
(+)	0,01	1	1	2



Tabla 2: Nombre completo y acrónimo de las especies vegetales más importantes en el ordenamiento de los datos por Análisis de Componentes Principales y de Correspondencias Múltiples.

<b>Nombre de la especie</b>	<b>Acrónimo</b>
<i>Ambrosia tenuifolia</i>	amte
<i>Ammi viznaga</i>	amvi
<i>Apium leptophyllum</i>	aple
<i>Apium sellowianum</i>	apse
<i>Brassica hirschfeldia</i>	brhi
<i>Carduus acanthoides</i>	caac
<i>Carex bonariensis</i>	cabo
<i>Carex sororia</i>	caso
<i>Chaetotropis chilensis</i>	chch
<i>Coniza bonariensis</i>	cobo
<i>Cressa truxilensis</i>	crtr
<i>Cynodon dactylon</i>	cyda
<i>Distichlis spicata</i>	disp
<i>Eleusine tristachya</i>	eltr
<i>Heliotropium curassavicum</i>	hecu
<i>Hirschfeldia sp</i>	hirs
<i>Juncus balticus</i>	juba
<i>Lepidium sp</i>	lepi
<i>Lolium multiflorum</i>	lomu
<i>Melilotus officinalis</i>	meof
<i>Modiolastrum gillesii</i>	mogi
<i>Paspalum dilatatum</i>	padi
<i>Paspalum vaginatum</i>	pava
<i>Petunia parviflora</i>	pepa
<i>Phyla canescens</i>	phca
<i>Plantago myosurus</i>	plmy
<i>Polygonum brasiliense</i>	pobr
<i>Polypogon monspeliensis</i>	pomo
<i>Ranunculus cymbalaria</i>	racy
<i>Rumex crispus</i>	rucr
<i>Rumex pulcher</i>	rupu
<i>Scirpus americanus</i>	scam
<i>Sesuvium portulacastrum</i>	sepo
<i>Sida leprosa</i>	sile
<i>Spartina densiflora</i>	spde
<i>Stipa brachichaeta</i>	stbr
<i>Stipa hyalina</i>	sthy
<i>Triglochin striata</i>	trst



Tabla 3: resultados del test de aleatorización procrusteano aplicado a distintos ordenamientos de censos de vegetación obtenidos con diferentes escalas de medida, coeficientes de similitud/disimilitud y métodos de ordenamiento. El asterisco indica concordancia significativa al 0,036% (probabilidad de error tipo I corregida por Bonferroni: 0,05/136).

	PA12	VDM12	BB12	N2(12)	N7(12)	GO12	KE12	PO12	BB15	PA34	VDM34	BB34	N2(34)	N7(34)	GO34	KE34	PO34
PA12	-	*	*	*	*	*	*	no	no	no	no	no	no	no	*	no	*
VDM12		-	*	*	*	*	*	no	*	no	no	no	no	no	*	*	*
BB12			-	*	*	no	*	no	no	no	no	no	no	no	*	*	*
N2(12)				-	*	*	*	no	*	no	no	no	no	no	*	*	*
N7(12)					-	*	*	no	*	no	no	no	no	no	no	*	*
GO12						-	*	no	*	no	no	no	no	no	no	*	*
KE12							-	no	no	no	no	no	no	no	*	no	*
PO12								-	no	no	no	no	no	no	no	no	no
BB15									-	no	no	no	no	no	no	no	*
PA34										-	*	*	*	no	no	no	no
VDM34											-	no	*	no	no	no	no
BB34												-	no	no	no	no	no
N2(34)													-	*	no	no	no
N7(34)														-	no	no	no
GO34															-	no	*
KE34																-	*
PO34																	-



Figura 1: Biplot de los ejes 1 y 2 resultantes del Análisis de Componentes Principales aplicado a la matriz de correlación de los datos de presencia/ausencia.

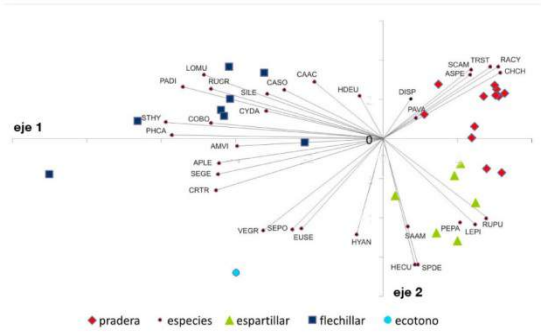


Figura 2: Biplot de los ejes 3 y 4 resultantes del Análisis de Componentes Principales aplicado a la matriz de correlación de los datos de presencia/ausencia.

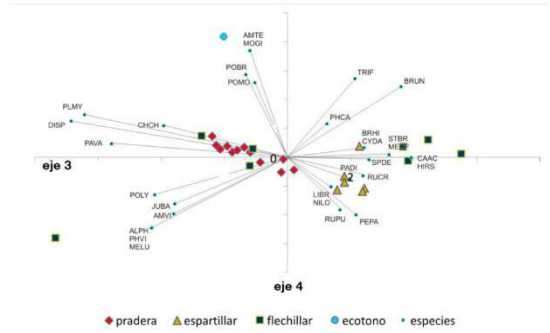


Figura 3: Biplot de los ejes 1 y 2 resultantes del Análisis de Componentes Principales aplicado a la matriz de correlación de los datos en la escala de abundancia/cobertura de van der Maarel.

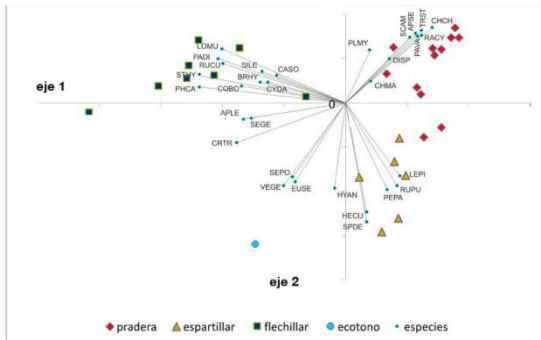


Figura 4: Biplot de los ejes 3 y 4 resultantes del Análisis de Componentes Principales aplicado a la matriz de correlación de los datos en la escala de abundancia/cobertura de van der Maarel.

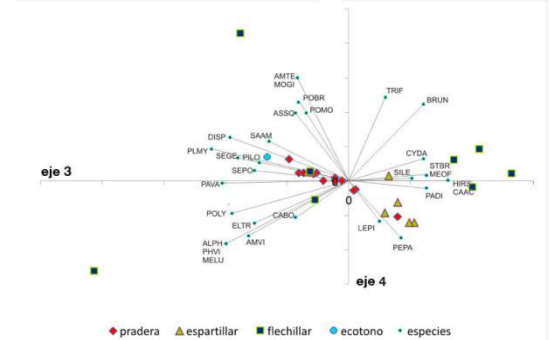


Figura 5: Biplot de los ejes 1 y 2 resultantes del Análisis de Componentes Principales aplicado a la matriz de correlación de los datos en la escala de los valores medios de las clases de porcentajes de cobertura de Braun-Blanquet.

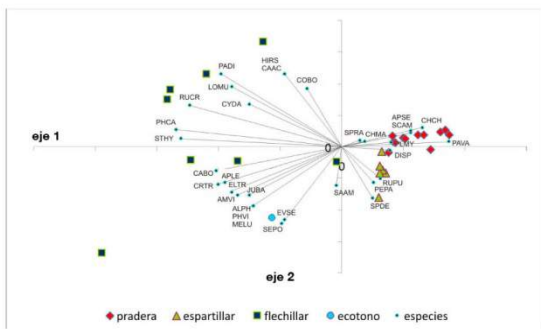


Figura 6: Biplot de los ejes 3 y 4 resultantes del Análisis de Componentes Principales aplicado a la matriz de correlación de los datos en la escala de los valores medios de las clases de porcentajes de cobertura de Braun-Blanquet.

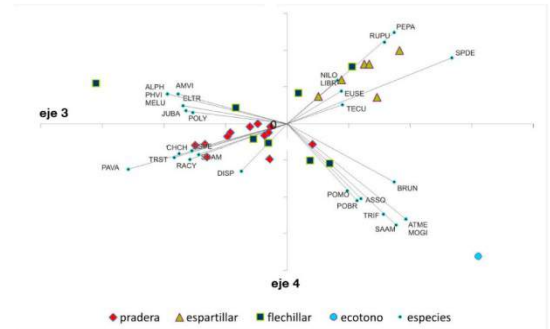






Figura 13: Biplot de los ejes 3 y 4 resultantes de la aplicación de Non Metric Multidimensional Scaling utilizando como medida de similitud la Lambda de Goodman-Kruskal.

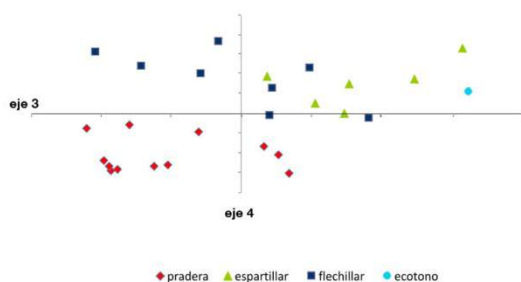


Figura 14: Biplot de los ejes 1 y 2 resultantes de la aplicación de Non Metric Multidimensional Scaling utilizando como medida de similitud la Tau de Kendall.

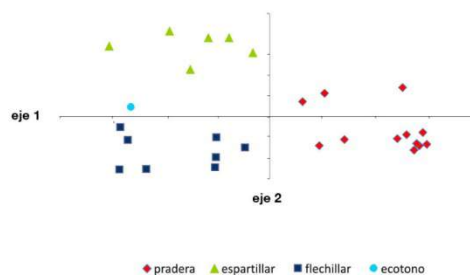


Figura 15: Biplot de los ejes 3 y 4 resultantes de la aplicación de Non Metric Multidimensional Scaling utilizando como medida de similitud la Tau de Kendall.

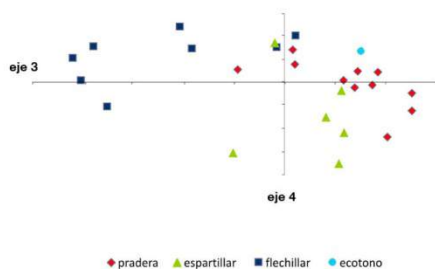


Figura 16: Biplot de los ejes 1 y 2 resultantes de la aplicación de Non Metric Multidimensional Scaling utilizando como medida de disimilitud el coeficiente de discordancia de Podani.

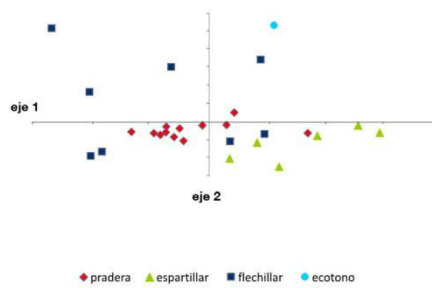
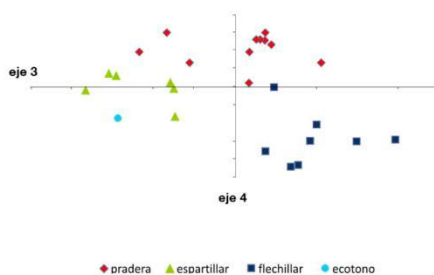


Figura 17: Biplot de los ejes 3 y 4 resultantes de la aplicación de Non Metric Multidimensional Scaling utilizando como medida de disimilitud el coeficiente de discordancia de Podani.







## REFERENCIAS

- [1] J. Podani, 2006. Braun-Blanquet's legacy and data analysis in vegetation science, *Journal of Vegetation Science*, 17, 113-117.
- [2] J. Braun-Blanquet, 1928. *Pflanzensoziologie.Grundzuge der Vegetationskunde*, Springer, Wien, AT.
- [3] J. Braun-Blanquet, 1932. *Plant Sociology*, Mc Graw-Hill, New York.
- [4] D. Müller-Dombois, H. Ellenberg, 1974. *Aims and methods of vegetation ecology*, John Wiley & Sons, New York.
- [5] K. Fujiwara, 1987. *Aims and methods of phytosociology or "vegetation science". Plant ecology and taxonomy*, The Kobe Geobotanical Society, Kobe, JP.
- [6] S. Camiz, 1993, *Scopi e finalità dell'analisi della vegetazione e relativi schemi di rilevazione campionaria*. In S. Zani (ed.), *Metodi statistici per le analisi territoriali*. Milano, Franco Angeli, Studi urbani e regionali, 301-322.
- [7] E. van der Maarel, 1979. Transformation of cover-abundance values in phytosociology and its effects on community similarity, *Vegetatio*, 39(2), 97-114.
- [8] J. Podani, 2000. *Introduction to the exploration of multivariate biological data*, Backhuys Publishers. Leiden, The Netherlands.
- [9] J. Podani, 1997. A measure of discordance for partially ranked data when presence/absence is also meaningful, *Coenoses*, 12(2-3), 127-130.
- [10] J.B. Kruskal, 1964. Multidimensional Scaling by Optimizing Goodness of Fit of a non Metric Hypothesis, *Psychometrika*, 29(1), 1-27.
- [11] C. Ricotta, G. Avena, 2006. On the evaluation of ordinal data with conventional multivariate procedures, *Journal of Vegetation Science*, 17, 839-842.
- [12] J.P. Benzécri *et coll.*, 1973-82. *L'Analyse des données*, Dunod, Paris.
- [13] L. Lebart, A. Morineau, T. Lambert and P. Pleuvret, 1991. *SPAD-N - Manuel de référence*. CISIA, Paris.
- [14] S.I. Boccanelli, E.F. Pire, P.S. Torres and J.P. Lewis, 1999. Cambios en la vegetación de un campo abandonado después de un cultivo de trigo, *Pesq. Agropec. Bras.*, 34(2), 151-157.
- [15] N.J. Carnevale, P.S. Torres, S.I. Boccanelli and J.P. Lewis, 1987. Halophilus communities and species distribution along environmental gradients en SE Santa Fe province, Argentina, *Coenoses* 2 (2), 49-60.
- [16] E.A. Franceschi, P.S. Torres and J.P. Lewis, 2005. Recovery and stability of Parana river floodplain grassland after eighteen years from a catastrophic flood, *Community ecology* 6(2), 209-217.
- [17] E.A. Franceschi, P.S. Torres and J.P. Lewis, 2010. Diversidad de la vegetación durante su recuperación tras una creciente extraordinaria del Río Paraná Medio (Argentina), *Biología Tropical*, 58(2), 707-716.
- [18] N.J. Carnevale, P.S. Torres, 1990. The relevance of physical factors on species distributions in inland salt marshes (Argentina), *Coenoses* 5 (2), 113-120.



- [19] J. Braun-Blanquet, 1979. *Fitosociología*, H. Blume Ediciones, Madrid.
- [20] H. Hotelling, 1933a. Analysis of a complex of statistical variables into principal components, *Journal of Educational Psychology*, 24, 417-441.
- [21] H. Hotelling, 1933b. Analysis of a complex of statistical variables into principal components, *Journal of Educational Psychology*, 24, 498-520.
- [22] B. McCune, M.J. Mefford, 2011. *PC-ORD Multivariate Analysis of Ecological Data*, version 6, MjM Software Design. Gleneden Beach, OR.
- [23] P.R. Peres-Neto, D.A. Jackson and K.M. Somers, 2005. How many principal components? Stopping rules for determining the number of non-trivial axes revisited, *Computational Statistics & Data Analysis*, 49, 974-997.
- [24] J. Podani, 2001. *SYN-TAX 2000. Computer programs for data analysis in Ecology and Systematics*. User's manual, Scientia. Budapest, HU.
- [25] P. Legendre, L. Legendre, 1998. *Numerical Ecology*, Elsevier. Amsterdam, NL.
- [26] P.R. Peres-Neto, D.A. Jackson, 2001. How well do multivariate data sets match? The advantages of a Procrustean superimposition approach over the Mantel test, *Oecologia*, 129, 169-178.
- [27] D.A. Jackson, 1995. *PROTEST: A PROcrustean Randomization TEST of community environment concordance*, *Ecoscience*, 2(3), 297-303.
- [28] B. McCune, J.B. Grace, 2002. *Analysis of Ecological Communities*, MjM Software Design. Gleneden Beach, OR.
- [29] H.G. Gauch Jr., R.H. Whittaker, 1972. Coenocline simulation, *Ecology*, 53, 446-451.
- [30] H.G. Gauch Jr., 1982. *Multivariate Analysis in Community Ecology*, Cambridge University Press. Cambridge, UK.
- [31] Pielou E.C., 1984. *The interpretation of ecological data*, John Wiley & Sons. New York.
- [32] L. Guttman, 1953. A Note on Sir Cyril Burt's Factorial Analysis of Qualitative Data, *British Journal of Statistical Psychology*, 6, 21-24.
- [33] S. Camiz, 2005. The Guttman Effect: its Interpretation and a New Redressing Method, *Τετραδια Αναλυσησ Δεδομενων (Data Analysis Bulletin)*, 5, 7-34.



# A case study for a sudden stratospheric warming in the Antarctica: the September 2002 event.

Volodin E<sup>(1, 2)</sup>; Rafanelli<sup>(2)</sup>, C; Transerici<sup>(3)</sup>, C; Lo Castro, F<sup>(2)</sup>; Iarossi, S<sup>(2)</sup>; De Simone, S<sup>(2)</sup>; Purini, P<sup>(2, 3)</sup>

<sup>(1)</sup> Institute of Numerical Mathematics, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation.

<sup>(2)</sup> CNR-IDASC, Institute of Acoustic and Sensors "O. M. Corbino", Rome, Italy.

<sup>(3)</sup> CNR-ISAC, Institute of Atmosphere and Climate, Rome Italy.

E-mail: volodin@inm.ras.ru

## ABSTRACT

In September 2002 the Antarctic Polar Vortex was split with two centres. The occurrence of this "unusual event", in which the stratosphere is suddenly warmed, is known as stratospheric sudden warming. It is induced by vertical propagation of planetary waves in Antarctic that was caused partially by anomalous southward propagation of waves from tropics in the upper troposphere. The case is studied on the basis of NCEP reanalysis and data of climate model INMCM5 that was forced by observed sea surface temperature. Climate model is capable to reproduce the fact of sudden stratospheric warming as well as high upward and southward wave energy flux in Antarctic, but underestimates the strength of the event.

## INTRODUCTION

The Antarctic Polar Vortex (APV) is characterized by a large cyclonic vortex which is mostly two-dimensional because the high stratification inhibits vertical motions. This APV is sufficiently stable, but observations show its inherent seasonal and inter-annual variability. In fact, it is more stronger in mid-winter than in summer. However observations - based also with the ozone content - show that APV, under particular conditions, undergoes strong dynamical modifications able to split it in two separate structures. An example of this kind of event is represented by the figures in next page. These figures show the evolution of potential vorticity on the 675 K isentropic surface for the South Hemisphere from September 18<sup>th</sup> to October 4<sup>th</sup> 2002. White line represents the edge of the polar vortex at 675 K. This level was selected since it best reflects the consequences of the vortex splitting. The sequence shows how the vortex was gradually elongated since 21<sup>st</sup> September and up to the splitting into two centres. The smaller part of the northwest side of Antarctic Peninsula disappeared at the end of September. As a consequence of such elongated vortex the position of each station respect to the polar was changing during this period. Belgrano was located between the two fragments of the vortex for days and then remained over the influence of the second cell of de polar vortex, whereas Marambio was out of the influence from September 22<sup>nd</sup>.



The occurrence of this “unusual event”, in which the stratosphere is suddenly warmed, is known as *stratospheric sudden warming*. This fact is induced by warm mid-latitude air masses that are able to reach high latitude.

Further studies focused that the response of the Southern Hemisphere (SH) polar atmosphere can be related to the Tropical Sea Surface Temperature (TSST) during the above event. In particular, some recent studies (in particular [1], Grassi et al., 2009) showed that in the SH stratospheric winter of 2002 was particularly unusual, characterized by a weaker-than-normal polar vortex during the whole season. It also registered, at the end of September, the first major warming yet observed in the SH. This process is unexpected in the SH, and it is supposed to be induced by a “preconditioning” of the polar vortex starting at the beginning of the winter. Moreover, the sensitivity of the Antarctic dynamics to the SST of 2002 (a year characterized by an El Niño event of moderate intensity) was studied, and the uniqueness of the 2002 tropical oceanic condition was investigated through the comparison of the simulated response of the climatic system to 2002 and 1997 TSST (1997 being a year with a strong El Niño event). Model results highlight a primary role played by the TSST of 2002 in the development of the peculiar characteristics of the Antarctic dynamics during the winter months that appears to be a necessary condition for the generation of the anomalous destabilization of the polar vortex during the following spring. To summarize, observations and theories associate the above fission processes to the strong generation of vertically propagating Rossby waves resulting from the tropical SST that, through the perturbation of the westerly jet at middle latitudes, produces a preconditioning of the polar vortex.

#### **MODEL AND DATA**

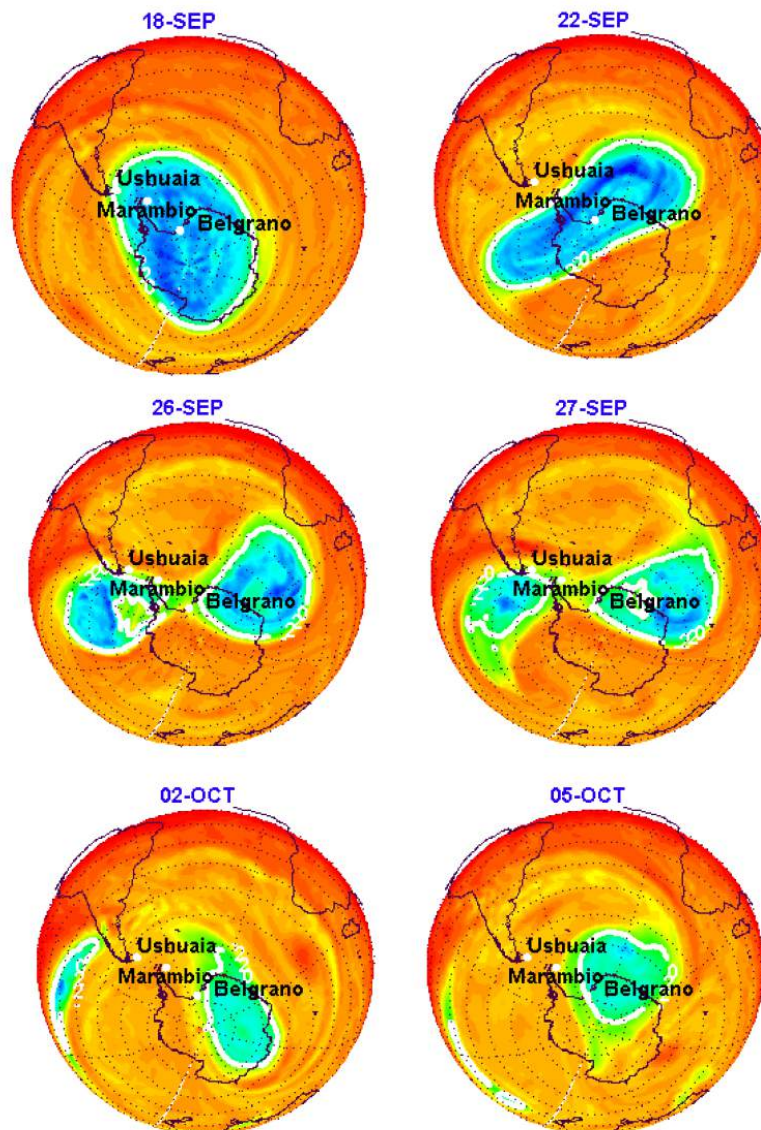
Monthly and daily mean data of NCEP Reanalysis are used to diagnose sudden stratospheric warming in Antarctic. Data of climate model INMCM5 are compared with reanalysis data. Climate model INMCM5 has resolution of 1.25x1 degrees in longitude and latitude, and 128 levels in vertical, in atmospheric boundary layer vertical resolution is about 50 m, in free troposphere and stratosphere about 500 m. In oceanic block horizontal resolution is 0.167x0.125 degrees in longitude and latitude, and 40 levels in vertical. It is new model, and there is no published description. But previous model version INMCM4 and simulation of present day climate are documented in [2]. All numerical methods and main physical parameterisations are similar in INMCM4 and INMCM5. Simulation of climate changes by INMCM4 modelled are presented in [3]. High vertical resolution in atmospheric model for adequate representation of vertical propagation of planetary waves, sudden stratospheric warming and equatorial quasi-biannual oscillation.

Data presented here are generated in model regime with prescribed observed monthly mean SST and sea ice concentration for 1979-2008 (AMIP-type experiment).

From the above considerations, the present paper shows a first study of the September 2002 event by comparison data and model simulations. Similar calculation has been made for each



September from 1979 to 2008. In particular, we analysed the Rossby wave patterns both in the horizontal and vertical planes on the basis of the [4]. We underline that such paper considered a simple theoretical model (the quasi-geostrophic one) of forced Rossby waves train in the Northern Hemisphere when the major forcing of the stationary wave field is due to both orographic effects and diabatic heating.



*Evolution of potential vorticity on the 675 K isentropic surface for the South Hemisphere from September 18<sup>th</sup> to October 4<sup>th</sup> 2002. White line represents the edge of the polar vortex at 675 K. This level was selected since it best reflects the consequences of the vortex splitting.*



Our analysis is based on the same theoretical approach when we refer to the Southern Hemisphere so that the Rossby wave energy flux propagates from the middle latitude to the higher ones

## RESULTS

Figure 1 shows that in model data we have maximum of 1 hPa height over Antarctica at 26-30 September 2002, while in the average, we have minimum of height over Antarctica (Fig. 2). That means that there is stratospheric warming. In model data, it can be seen up to 10 hPa, but at lower levels it is not visible.

In September 2002 in the model vertical wave energy flux is about 1.5 times higher than in the average for 1979-2008 (Fig. 3, 4). Probably, analysis of daily data will show that in 2002 in some days wave flux is several times higher than time mean for September.

In the model extended vertical energy wave flux in the stratosphere in Sep 2002 was associated with enhanced horizontal flux from low latitudes to Antarctic at 170E-150W (Fig. 5), while in the average wave flux from low latitudes is smaller (Fig. 6).

In NCEP reanalysis one can see that in Sep 2002 vertical wave energy flux is several times stronger, than in the average September (Fig. 7, 8)

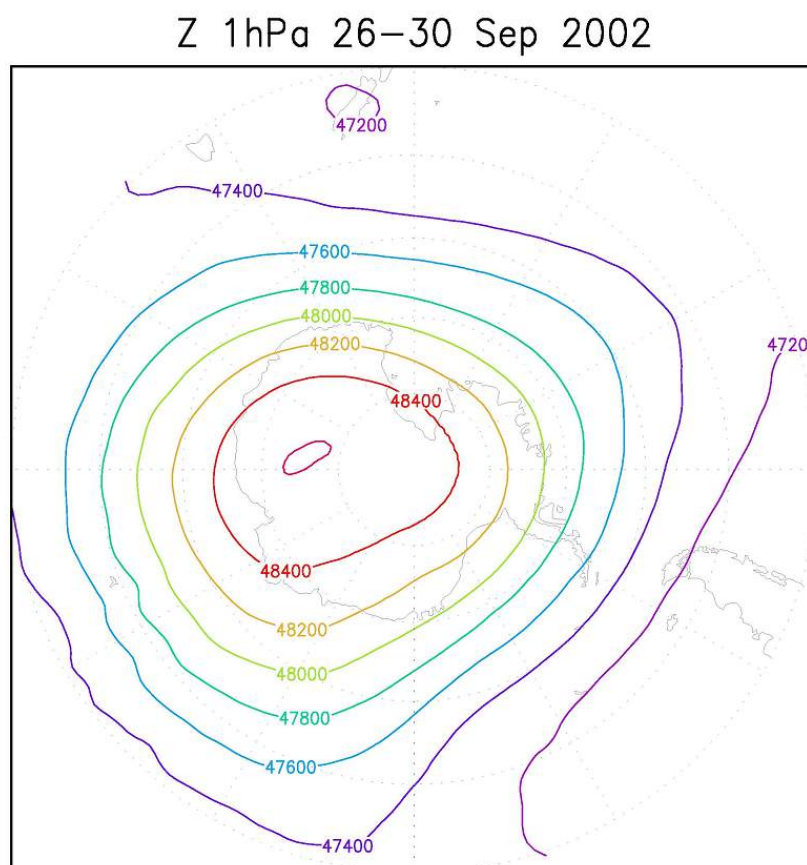


Fig. 1. Height of 1 hPa in the model, 26-30 September 2002.



Z 1hPa 26–30 Sep 1979–2008

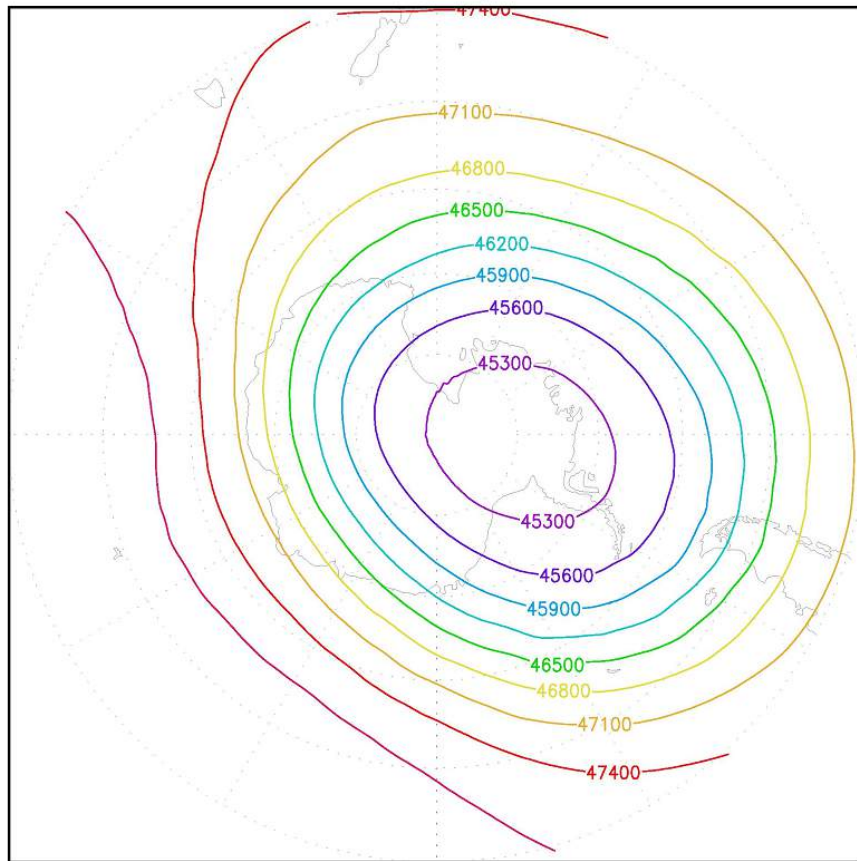


Fig.2. Height of 1 hPa in the model, 26-30 September 1979-2008.



CZ model Sep 2002 20 hPa

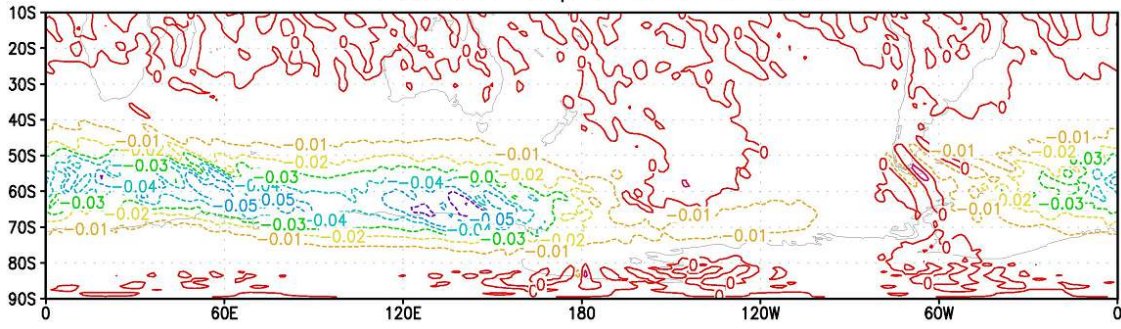


Fig.3. Vertical wave energy flux in the model at 20 hPa, September 2002.  
Negative means upward propagation.

CZ model Sep 1979–2008 20 hPa

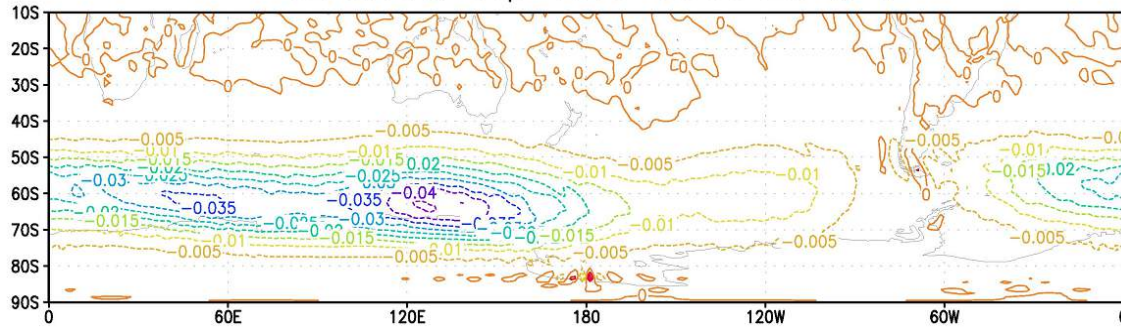


Fig.4. Vertical wave energy flux in the model at 20 hPa, September 1979-2008.

CX;CY model Sep2002 200hPa

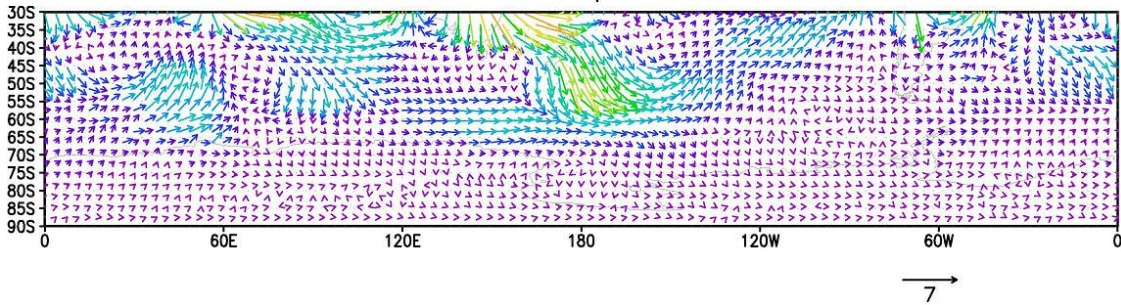


Fig.5. Horizontal wave energy flux in the model in September 2002 at 200 hPa.





CX;CY model Sep1979–2008 200hPa

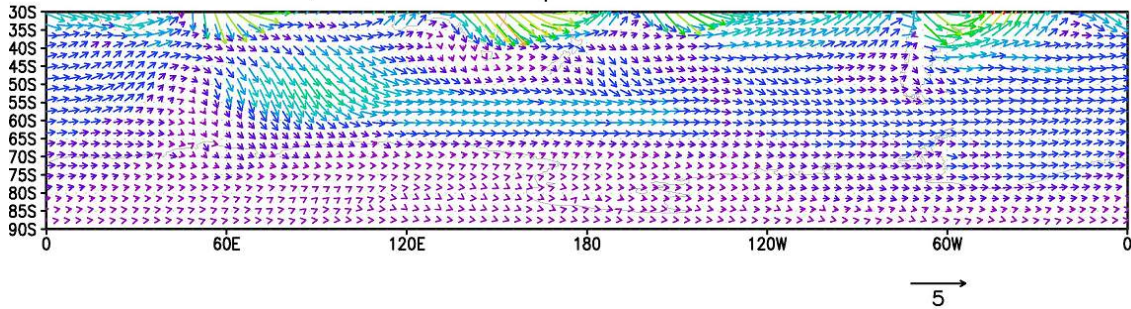


Fig.6. Horizontal wave energy flux in the model in September 1979-2008 at 200 hPa.

CZ NCEP Sep 2002 20 hPa

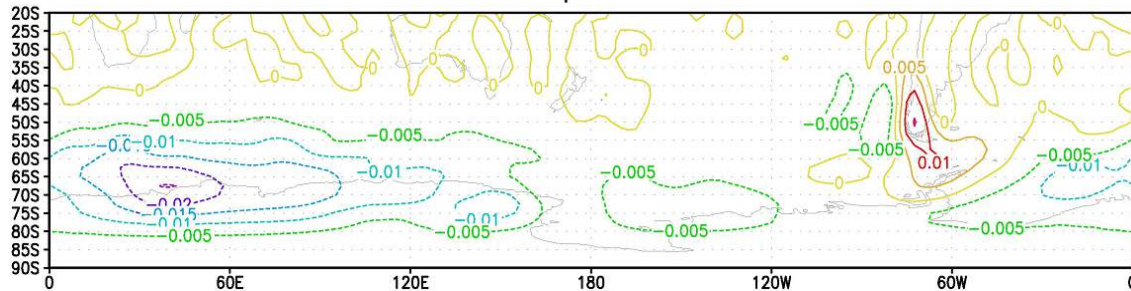


Fig.7. Vertical wave energy flux in NCEP reanalysis at 20 hPa, September 2002.

CZ NCEP Sep 1979–2008 20 hPa

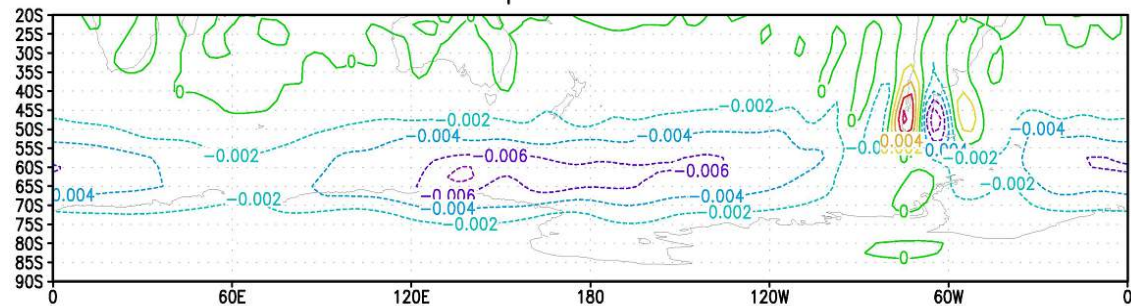


Fig.8. Vertical wave energy flux in NCEP reanalysis at 20 hPa, September 1979-2008.

Strong upward energy propagation in the stratosphere in Sep 2002 is associated with enhanced energy flux from mid latitudes to Antarctic at 200 hPa (Fig. 9, 10). Location of the flux is 120W-40E (different from the model).



### CX;CY NCEP Sep2002 200 hPa

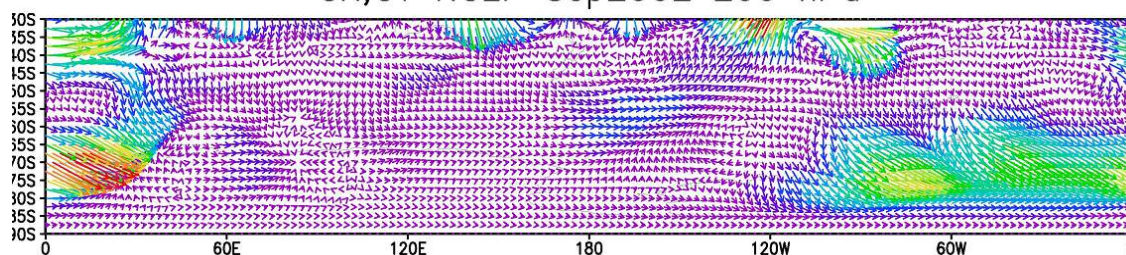


Fig.9. Horizontal wave energy flux in NCEP reanalysis in September 2002 at 200 hPa.

### CX;CY NCEP Sep1979–2008 200 hPa

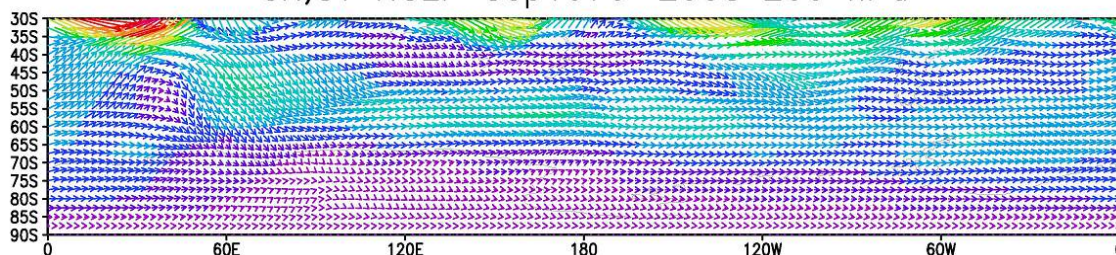


Fig.10. Horizontal wave energy flux in NCEP reanalysis in September 1979–2008 at 200 hPa.

## CONCLUSION

Climate model INMCM5 was capable to reproduce the fact of sudden stratospheric warming in Antarctic in September 2002, but the strength and downward propagation of it was underestimated. Also enhancement of vertical wave energy flux from troposphere to stratosphere as well as poleward wave energy flux from tropics and subtropics to high latitudes that were responsible for generation of stratospheric warming were simulated by climate model, but the strength of enhancement was underestimated with respect to NCEP reanalysis. Another discrepancy between model and reanalysis is that anomalous poleward wave propagation occurs in Atlantic sector in NCEP data while wave flux from tropics to high latitudes was above the average in Pacific sector in model data. Possible reason of model deficiencies is that external forcings such as monthly mean sea surface temperature and sea ice concentration are not enough for generation of sudden stratospheric warming, main reason of this event is probably internal variability of atmospheric dynamics.

## ACKNOWLEDGEMENT

Volodin E. was supported by Russian Fund for Basic Research, grant 12-05-00556a. Moreover the authors are grateful to the PNRA, the Italian Antarctic Program, for funding the research by the AIACE Project.



## REFERENCE

- [1] Grassi B., G. Redaelli, G. Visconti - 2009 - Evidence for tropical SST influence on Antarctic polar atmospheric dynamics - Geoph. Res. Letters, **36**, L09703.
- [2] Volodin E.M., Diansky N.A., Gusev A.V. - 2010 - Simulation of present day climate with the INMCM4.0 coupled model of atmospheric and oceanic general circulations - Izvestia RAS. Atmospheric and oceanic physics. V46, 414-431.
- [3] Volodin E.M., Diansky N.A., Gusev A.V. - 2013 - Simulation and prediction of climate changes in the 19<sup>th</sup> to 21<sup>th</sup> centuries with the Institute of Numerical Mathematics, Russian Academy of Sciences Model of Earth climate system - Izvestia RAS. Atmospheric and oceanic physics. V49, 347-366.
- [4] Plumb R.A. - 1985 - On the 3-D Propagation of Stationary Waves - J. Atmos. Sci., 42, 3.

# ices

INTERNATIONAL CENTER FOR EARTH SCIENCES

Nodo Argentina

[www.imd.uncuyo.edu.ar](http://www.imd.uncuyo.edu.ar)

[ices@uncuyo.edu.ar](mailto:ices@uncuyo.edu.ar) | [ices.uncuyo@gmail.com](mailto:ices.uncuyo@gmail.com)

Espacio de la Ciencia y la Tecnología. Padre J. Contreras 1300,

Parque General San Martín, Mendoza, República Argentina. Tel. 00 54 0261 4299986

