

Proyecciones

Volumen 10

Número 1

Abril, 2012

Publicación de la Facultad Regional Buenos Aires

Rector

Ing. Héctor C. Brotto

Vice - Rector

Ing. Carlos E. Fantini

Decano

Ing. Guillermo Oliveto

Director

Lic. Juan Miguel Languasco, Facultad Regional Buenos Aires

Comité Editorial

Lic. Gladys Esperanza, Facultad Regional Buenos Aires

Mg. Fernando Gache, Facultad Regional Buenos Aires

Diseño y Diagramación

Marcela Laura Ferritto, Facultad Regional Buenos Aires

ISSN 1667-8400
(Versión impresa)

ISSN 1853-6352
(Versión en línea)

Registro de la
Propiedad
Intelectual
No 4995190
(Versión impresa)

Registro de la
Propiedad
Intelectual
No. 962251
(Versión en línea)

Propietario

*Facultad Regional Buenos Aires
Medrano 951 (C1179AAQ)
Buenos Aires, República Argentina*

 **Universidad Tecnológica Nacional**

Proyecciones

Volumen 10

Número 1

Abril, 2012

Publicación de la Facultad Regional Buenos Aires

Consejo Editorial

Dr. Julio Cabero Almenara - Universidad de Sevilla, España

Dr. Ricardo Armentano Feijoo - Universidad Tecnológica Nacional/ Universidad Favaloro, Argentina

Dr. Daniel Bia Santana - Universidad de la República, Uruguay

Dra. Zulma Cataldi - Universidad Tecnológica Nacional, Argentina

Dra. María Cristina Donnamaría - Universidad Nacional de La Plata - CONICET, Argentina

Dr. Walter Edgardo Legnani - Universidad Tecnológica Nacional, Argentina

Dr. Mario Gerardo Piattini Velthuis - Universidad de Castilla - La Mancha, España

Dr. Eduardo Jaime Quel - Universidad Tecnológica Nacional - CITEFA - CONICET, Argentina

Dra. Cecilia Verónica Sanz - Universidad Nacional de La Plata, Argentina

Dr. Saverio Roberto Strangis - Cyclotope, Houston, Texas, Estados Unidos

Dra. Lurdes Marlene Seide Froemming - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil

M.Sc. Ignacio Vélez Pareja - Pontificia Universidad Javeriana, Colombia

✱ Universidad Tecnológica Nacional

Proyecciones

Volumen 10

Número 1

Abril, 2012

Publicación de la Facultad Regional Buenos Aires

Proyecciones es una publicación semestral, destinada a la difusión de trabajos originales de investigación en el campo de la ingeniería, en todas sus ramas, de su enseñanza y de las ciencias conexas. Asimismo se publican trabajos originados en las tesis desarrolladas en el ámbito de las carreras de posgrado que se dictan en la Facultad Regional Buenos Aires. Eventualmente son aceptadas también obras de revisión en temas específicos.

Esta publicación cuenta también con una versión en línea, a la cual se puede acceder ingresando en el sitio www.sectip.frba.utn.edu.ar/proyecciones.

La información contenida en los artículos, así como las opiniones y los juicios vertidos, reflejan la creación y el pensamiento de los autores y no constituyen toma de posición o expresión por parte del Comité Editorial o de la Facultad Regional Buenos Aires. Se permite la reproducción total o parcial de los artículos publicados en Proyecciones, con expresa mención de la fuente y autorización de la Dirección.

INDICE

- 7 **Editorial**
- 9 **Presentación**
- 13 **Estudio del comportamiento de la capa de ozono y la radiación UV en la Patagonia Austral y su proyección hacia la comunidad**
Jacobó Salvador, Elián Wolfram, Eduardo Quel
- 31 **Herramientas para la evaluación integral de la calidad de aire en Argentina: modelos de escala urbana y regional**
David Gabriel Allende, Salvador Enrique Puliafito, Rafael Pedro Fernández, Fernando Horacio Castro, Pablo Gabriel Cremades
- 45 **Crecimiento y caracterización de nanopartículas de ZnS**
María Cristina Di Stefano
- 55 **Metodología de mejora de datos de conteo de pasajeros**
Sebastián Brie, Sebastián Guevara, Herman Moldován
- 67 **Elementos para una ingeniería de explotación de Información**
María Florencia Pollo-Cattaneo, Ramón García-Martínez, Paola Britos, Patricia Pesado, Rodolfo Bertone
- 85 **Impacto económico en el sector energético y evaluación de riesgos de la extensión de vida de la Central Nuclear de Embalse**
Juan Marcelo Barreto

Editorial

Este año 2012 es para nosotros muy especial. Entre otras cosas, en él esperamos consolidar y proyectar hacia el futuro los muchos avances que hemos venido realizando en nuestra querida Facultad, en todos sus quehaceres y ámbitos.

Pero si bien estamos orgullosos y felices de los reconocidos avances que hemos construido entre todos -de los efectos que ya se pueden apreciar, y de aquellos frutos que son de más lenta maduración- es mucho más cierto que tenemos que encarar nuevos desafíos cada vez más ambiciosos.

Los logros son, para nosotros, apenas la plataforma desde donde nos impulsamos para soñar sueños más ambiciosos y edificar realizaciones más avanzadas. Instituciones educativas como la nuestra son las que tienen la obligación de pensar el futuro no sólo en términos de la solución de los problemas en el corto plazo, sino también de qué tipo de educación, de ciencia y tecnología, de entramado productivo, de sociedad y de país, nos imaginamos para los próximos 10, 20 o hasta 50 años.

En materia de ciencia, tecnología e innovación, parte de los logros se evidencian en la cantidad de proyectos de investigación (en dos años tuvimos un aumento del 70%), las categorizaciones de investigador que otorga nuestra Universidad (en el año 2009, 13 investigadores solicitaron su categorización, en el año 2011 lo hicieron 76 investigadores) y en la cantidad de gente –entre docentes, estudiantes y graduados– involucrada en actividades de investigación (pasamos de 359 a 535 en apenas dos años). Desde el año 2010, además, la FRBA ha financiado 96 subsidios en el marco de la convocatoria a viajes y eventos científicos tecnológicos, lo que permite que nuestros investigadores y nuestros proyectos de investigación tengan mayor proyección nacional e internacional, así como también se consolide la formación de redes de investigación. Desde esta nueva realidad, vislumbramos un futuro de excelencia: en muchas áreas del conocimiento, nuestra Facultad cuenta con investigaciones y desarrollos tecnológicos de primer nivel. Estas áreas de conocimiento tienen que ser consolidadas, expandidas, y para esto van a contar con todo el apoyo institucional y con el diseño de iniciativas específicas que permitan aprovechar las oportunidades existentes, y crear oportunidades nuevas.

En este año 2012 también podemos ver el resultado de un esfuerzo institucional importante: la acreditación, con la mayor calificación otorgada por la Comisión Nacional de Evaluación

y Acreditación Universitaria (CONEAU), del Doctorado en Ingeniería, mención Procesamiento de Señales e Imágenes , de la FRBA.

Pero también, y esto es muy importante, en este año 2012 nuestra revista “Proyecciones” cumple 10 años, lo cual es un dato muy alentador: es un logro institucional en sí mismo, dado que uno de los grandes desafíos de las publicaciones científicas argentinas son su sostenibilidad en el tiempo, y es uno de los instrumentos a través de los cuales la FRBA de la UTN pretende hacer una importante contribución al país en uno de los campos que más desarrollo necesita: el de las ingenierías, la tecnología y las ciencias aplicadas.

Me gustaría aprovechar esta oportunidad para reconocer muy especialmente al equipo que viene sosteniendo la revista Proyecciones a lo largo de todos estos años. El buen esfuerzo tiene estos buenos resultados. En nombre de toda la Facultad Regional Buenos Aires, muchas gracias.

ING. GUILLERMO OLIVETO
Decano

Presentación

Es un honor para mí realizar la presentación de este número de la revista Proyecciones, editado en su año número 10. Entre los muchos hechos importantes que suceden este año, el cumpleaños de Proyecciones es, sin duda, uno de los más relevantes: la revista es el fruto del esfuerzo personal y conjunto de quienes llevaron y llevan adelante la iniciativa, y también el resultado de la continuidad de una iniciativa institucional que se fue consolidando en el tiempo, y que tiene la ambición, y así organizamos nuestros esfuerzos, de que cada número sea mejor que el anterior. Nuestra esperanza reside en que el lector pueda calificar los resultados de tal modo que evidencie esta idea de progreso plasmada en una revista científica.

Pero además, en este número se publica la primera tesis doctoral aprobada en el marco del Doctorado de nuestra Facultad, recientemente acreditado con la mejor calificación posible por la Comisión Nacional de Evaluación y Acreditación Universitaria (CONEAU). Hacemos referencia a nuestro Doctorado en Ingeniería, mención Procesamiento de Señales e Imágenes.

En esta oportunidad, la del primer número del décimo aniversario, abrimos la revista con un trabajo denominado “*Estudio del comportamiento de la capa de ozono y la radiación UV en la Patagonia Austral y su proyección hacia la comunidad*”. Sus autores son J. Salvador, E. Wolfram y E. Quel y se basa en la tesis doctoral del primero, a la cual hicieramos mención más arriba. El trabajo presenta una serie de metodologías para el procesamiento de señales provenientes de diferentes equipos sensores y la predicción de perfiles de ozono, aerosoles y temperatura en la atmósfera. El proyecto involucró tareas de análisis y sistematización de los datos, programación y evaluación de nuevos algoritmos para el procesamiento de las señales, correspondientes al sistema LIDAR basado en la técnica DIAL.

El siguiente artículo propone la aplicación del Modelado de Calidad de Aire a distintas localizaciones urbanas de Argentina. Para ello, se ha realizado la modificación local de algunos de los modelos, aplicando a los mismos datos de inventarios de los principales contaminantes disponibles y mostrando los resultados de dicha vinculación. Son sus autores D. G. Allende, S. E. Puliafito, R. P. Fernández, F. H. Castro y P. G. Cremades. Se titula “*Herramientas para la evaluación integral de la calidad de aire en Argentina: modelos de escala urbana y regional*”.

El trabajo “*Crecimiento y caracterización de ZnS nanométrico*” de M. C. Di Stefano, forma parte de la tesis doctoral de la autora que ha estudiado en forma teórica y experimental estos

fenómenos sobre cristales de sulfuro de cinc (ZnS) de especiales dimensiones. Se muestran las propiedades de los nanomateriales logrados, además de un proceso propuesto para su obtención industrial, económicamente viable y con un mínimo impacto ambiental. Deseamos destacar que la Doctora Di Stefano obtuvo por este trabajo el Premio “Dr. Pedro N. Arata 2011” a la mejor tesis de doctorado en el área Industrial, otorgado por la Asociación Química Argentina (A.Q.A.)

A continuación, S. Brie, S. Guevara y H. Moldován describen una metodología que busca mejorar de calidad de los datos medidos a partir de sistemas automáticos de conteo de pasajeros. La misma intenta ser un primer paso en el proceso de mejora a partir de la asimilación de datos complementarios, como así también pretende ser un planteo sumamente genérico donde las particularidades y/o hipótesis adicionales sean realizadas especialmente al formular cada algoritmo de mejora particular.

En el siguiente aporte, denominado “*Elementos para una Ingeniería de Explotación de Información*” y debido a M. F. Pollo-Cattaneo, R. García-Martínez, P. Britos, P. Pesado y R. Bertone, se presentan proyectos para pequeños y medianos emprendimientos, basados en una serie de herramientas que han elaborado los autores y que se materializan en las bases principales de su versión de una Ingeniería de Explotación de Información. Motiva dicho desarrollo la necesidad de brindar un nuevo cuerpo de conocimientos, para encarar las aplicaciones industriales de la explotación de Información.

Finalmente J. M. Barreto plantea que la situación energética de la Argentina presenta un indicador clave de la capacidad que se tiene para lograr un desarrollo sostenible frente al incremento de la demanda de energía asociada. En virtud de lo cual se analizan las consecuencias de la salida de funcionamiento de la Central Nucleoeléctrica Embalse, mediante una proyección de escenarios posibles, poniendo en evidencia las implicancias que esto tiene sobre el PBI en el período que va desde el año 2012 al 2018. El artículo se titula “*Impacto económico en el sector energético y evaluación de riesgos de la extensión de vida de la central nuclear Embalse*”.

Vaya nuestro reconocimiento y agradecimiento a todos quienes estuvieron y están involucrado en el desarrollo de ésta, nuestra revista Proyecciones.

LIC. AGUSTÍN CAMPERO
Secretario de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva

Estudio del comportamiento de la capa de ozono y la radiación UV en la Patagonia Austral y su proyección hacia la comunidad*

Jacobo Salvador¹, Elian Wolfram^{1,2}, Eduardo Quel^{1,2}

1 Centro de Investigaciones en Láseres y Aplicaciones, CEILAP-UNIDEF (MINDEF-CONICET), UMI-IFAECE-CNRS-3351, Villa Martelli, Argentina

2 Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Departamento de Ingeniería Electrónica, Medrano 951, (C1179AAQ), Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

jsalvador@citedef.gob.ar

Recibido el 02 de Febrero de 2012, aprobado el 02 de Marzo de 2012

Resumen

La implementación de este trabajo fue llevada a cabo en el Observatorio Atmosférico de la Patagonia Austral (OAPA), ubicado en la ciudad de Río Gallegos (Lat. 51,5° S; Lon. 69,3° O). Las actividades del mismo comenzaron en julio de 2005, y desde entonces se han realizado mediciones sistemáticas con instrumentos de sensado activo (LIDAR¹) y pasivo (radiómetro) en el período 2005 – 2010, las cuales forman parte de este trabajo. Se presentan además una serie de metodologías en el procesamiento de señales provenientes de un sistema lidar que permite determinar según su configuración perfiles de ozono, aerosoles y temperatura en la estratosfera. Estas mediciones así como las de radiación UV juegan un rol fundamental en el conocimiento de nuestra atmósfera. Las correcciones en los perfiles debido a perfiles de aerosoles estratosféricos son aplicadas al canal elástico en 355 nm, siendo posible calcular perfiles de temperatura por debajo de 30 km y realizar así correcciones en los perfiles de ozono. Adicionalmente diferentes tipos de análisis y procesamientos de señales fueron llevados a cabo sobre un radiómetro solar, multicanal de banda angosta GUV – 541. Se calculan los valores de columna total de ozono, espesor óptico de nubes e índice UV diario.

PALABRAS CLAVE: PROCESAMIENTO DE SEÑALES LIDAR - OZONO - TEMPERATURA - RADIÓMETRO

* El presente artículo forma parte del trabajo de tesis "Estudio del comportamiento de la capa de ozono y la radiación UV en la Patagonia Austral y su proyección hacia la comunidad" para optar al grado de Doctor de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, área Ingeniería, bajo la dirección de la Dr. Eduardo Quel y la codirección del Dr. Elian Wolfram.

¹LIDAR (un acrónimo del inglés Light Detection and Ranging o Laser Imaging Detection and Ranging)

Abstract

This work was carried out at the Atmospheric Observatory of Southern Patagonia (OAPA) located in the city of Río Gallegos (Lat. 51.5° S; Lon. 69.3° W) since 2005, systematic measurements have been performed with active sensing (lidar) and passive (radiometer) instruments in the 2005 – 2010 period. Measurements of ozone, temperature profiles and solar UV radiation on surface plays a fundamental role in understanding our atmosphere. We present several methodologies, based on signals processing from a lidar system which in different configuration permits to retrieve ozone and stratospheric temperature profiles. Stratospheric aerosol profiles corrections are applied to the elastic channel at 355 nm to calculate temperature profiles below 30 km. Also these aerosol profiles are used in the corrections of the ozone profiles. Additionally different types of analysis and signal processing were performed on data measured with a solar radiometer, moderated narrow-band multi-channel GUV - 541. This data processing has permitted to calculate total ozone column and UV index daily.

KEYWORDS:: LIDAR SIGNAL PROCESSING - OZONE - TEMPERATURE - RADIOMETER

Introducción

Un hecho distintivo durante el siglo XX ha sido el reconocimiento de que las actividades humanas están cambiando la atmósfera de la Tierra. El dióxido de carbono, el metano y las concentraciones de clorofluocarbonos se han incrementado, produciendo que las personas en el mundo lleguen a una nueva realidad: la atmósfera es vasta pero finita. La ilustración más llamativa del desarrollo concurrente de teorías científicas, observaciones e implicaciones sociales del cambio de la atmósfera ha sido el adelgazamiento de la capa protectora de ozono de la Tierra. El primer lugar donde el impacto humano sobre la capa de ozono fue claramente distinguido fue quizás el más inesperado: la Antártica. En 1985 científicos británicos reportaron una disminución de la capa de ozono durante la primavera antártica del 50% comparada con las mediciones previas a 1970. Este cambio fue mucho más grande que cualquier variación natural en los promedios mensuales para este lugar. El ozono en la estratosfera es vital para la salud de los seres humanos, los animales y las plantas debido a que éste absorbe la mayor parte de la radiación ultravioleta emitida por el sol antes que ésta alcance la superficie de la tierra. La cantidad de ozono en la estratosfera en cualquier región depende del balance delicado entre los procesos de destrucción y producción fotoquímicas y el transporte ocasionado por la circulación. Es por ello que un estudio detallado del ozono en la atmósfera requiere de la sinergia entre distintas técnicas de sensado remoto capaces de registrar los diferentes elementos que hay relacionados en este balance.

El ozono estratosférico es un componente natural en la atmósfera terrestre, y su presencia es un factor determinante para la formación de la vida como la conocemos en la actualidad. Como es sabido, actúa como filtro de la radiación ultravioleta, de tal manera que las alteraciones en su contenido total pueden generar daños en todo el ecosistema terrestre.

Desde el descubrimiento del Agujero de Ozono Antártico (AOA), definido como la dramática disminución durante la primavera austral, del orden 40 al 50% en comparación con el periodo pre-AOA (WMO, 2003), y de la disminución global de la capa de ozono, 2% – 6% dependiendo de la latitud, se han intensificado

los estudios que tienen como objetivo analizar este grave problema ecológico. Las causas de esta anomalía provienen de la liberación hacia la atmósfera de componentes que contienen cloro y bromo, denominadas Substancias Agotadoras del Ozono (SAO, ODS en inglés), producidos por las actividades del hombre moderno y que han causado daños en el ecosistema global. Los acuerdos internacionales al respecto que se iniciaron con el Protocolo de Montreal en 1987 y sus enmiendas posteriores, han logrado la disminución en el consumo y liberación de las SAO.

Desarrollo experimental

En el desarrollo de este trabajo se han involucrado diferentes tipos de instrumentos, como así también análisis y procesamiento de señales. Estos han permitido obtener diferentes productos relacionados con la geofísica atmosférica. En las siguientes secciones describiremos los instrumentos utilizados, su principio de funcionamiento, los datos que son capaces de producir y los resultados de los mismos para días de estudio específicos.

1. Sistema lidar de absorción diferencial

El sistema DIAL es un instrumento de sensado remoto activo, basado en la interacción de la luz láser con la atmósfera. De acuerdo a los parámetros a ser medidos, los sistemas lidar y en particular el DIAL (Differential Absorption Lidar) utilizan varios tipos de interacciones entre la atmósfera y la radiación láser, tales como dispersión Rayleigh, Mie, Raman y absorción o fluorescencia (Measures, 1984). El uso de fuentes de radiación láser posibilita en conjunto con una electrónica rápida, poder discriminar en altura la información proveniente desde la atmósfera, cuando un pulso láser es emitido. La técnica DIAL para la medición de ozono en la atmósfera, y utilizada en esta tesis fue originalmente propuesta por Schotland (Schotland, 1974).

La implementación de esta técnica requiere la emisión secuencial de dos pulsos láser. El rango espectral de ambas longitudes de onda es elegido dentro del ultravioleta (UV) donde la absorción debida al ozono es más fuerte. De esta manera de las dos longitudes de onda emitidas por el sistema, una es parcialmente absorbida por la molécula de ozono y la otra

longitud funciona como referencia, siendo esta no absorbida por el ozono.

Para la medición de ozono estratosférico donde las concentraciones son mayores que en la tropósfera, la técnica DIAL debe contar con láseres que tengan la suficiente potencia como para detectar radiación retrodispersada desde alturas superiores a los 30 km. Actualmente la mayoría de los grupos de investigación alrededor del mundo, que aplican la técnica DIAL para medición de perfiles de ozono estratosférico, utilizan láseres independientes para generar las longitudes de onda emitidas.

1.1 Sistema DIAL de 4 canales instalado en el Observatorio Atmosférico de la Patagonia Austral (OAPA)

El sistema DIAL de cuatro canales representa la versión inicial para la medición de ozono estratosférico (Wolfram et al., 2008). El mismo tiene sus orígenes en un sistema inicial de dos canales que fue el primer prototipo de un DIAL en Latinoamérica y fue construido en el laboratorio de la División Lidar del CEILAP², dependiente de CITEDEF³-CONICET⁴ en Villa Martelli, Prov. de Bs. As. (Pazmiño et al., 2003).

El sistema en uso en el OAPA se basa en seis canales de adquisición, aunque es posible también medir con cuatro. Esta configuración representa una capacidad adicional, permitiendo corregir los perfiles de ozono, debido a la influencia de los aerosoles estratosféricos. En muchos casos detectar señales Raman, es difícil debido a la baja relación señal-ruido, y más en regiones como la estratosfera. Por ello dos metodologías fueron implementadas para la obtención de aerosoles estratosféricos utilizando el canal de 355 nm (Salvador et al., 2008).

En las siguientes secciones describiremos las partes fundamentales del DIAL de 4 canales utilizado actualmente en el OAPA.

1.1.1. Emisión

La radiación láser absorbida por la molécula de ozono se produce con un láser de excímero de

XeCl (cloruro de xenón) con una frecuencia de emisión en 308 nm. Su energía de salida máxima es de 300 mJ, con pulsos de 20 ns de duración y una frecuencia de repetición máxima de 100 Hz. Dado que es necesario disponer de la menor divergencia posible, el láser se opera con cavidad inestable, que permite obtener 0,4 mrad.

La línea de referencia se obtiene de la tercera armónica (355 nm) de un segundo láser ubicado al lado del láser excímero. Este segundo emisor es un láser sólido de Nd-YAG marca QUANTEL modelo 980. Este tipo de láseres por su construcción son básicamente láseres infrarrojos centrandos su emisión en 1064 nm, que por medio de dobladores y triplicadores pueden generar una segunda y tercer armónica en 532 y 355 nm. El mismo fue aportado por la JICA⁵ dentro del proyecto Fortalecimiento de los Estudios de la Capa de Ozono en Argentina suscripto con el CEILAP. Este láser tiene una frecuencia de repetición máxima de 30 Hz, 130 mJ de energía por pulso en 355 nm, una divergencia del haz de 0,6 mrad y un ancho de pulso de 6 ns.

Los dos láseres se operan a 30 Hz, la mayor frecuencia en la que puede funcionar el láser de Nd:YAG. Esta situación redundante en una disminución del error estadístico de la medición para el mismo tiempo de adquisición, o equivalentemente una mejor resolución temporal.

Ambos haces láser son enviados a la atmósfera por un tubo colocado en el centro geométrico de la estructura de soporte donde se encuentran los cuatro telescopios. El perfil de tubo por donde salen ambos haces láseres puede ser visualizado en la Fig. 1.

1.1.2. Recepción

El sistema de recepción óptica consiste en cuatro telescopios parabólicos similares ($f/2$) de 50 cm de diámetro y un metro de distancia focal (figura 2), de fabricación nacional, los cuales corresponden a un área equivalente de 1 metro de diámetro.

El aluminizado de los telescopios fue realizado en CITEDEF por el laboratorio de microelectrónica y capa delgada. Ambos láseres son enviados

² CEILAP: Centro de Investigaciones en Láseres y Aplicaciones

³ CITEDEF: Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa

⁴ CONICET: Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

⁵ Agencia de Cooperación Internacional del Japón - Argentina

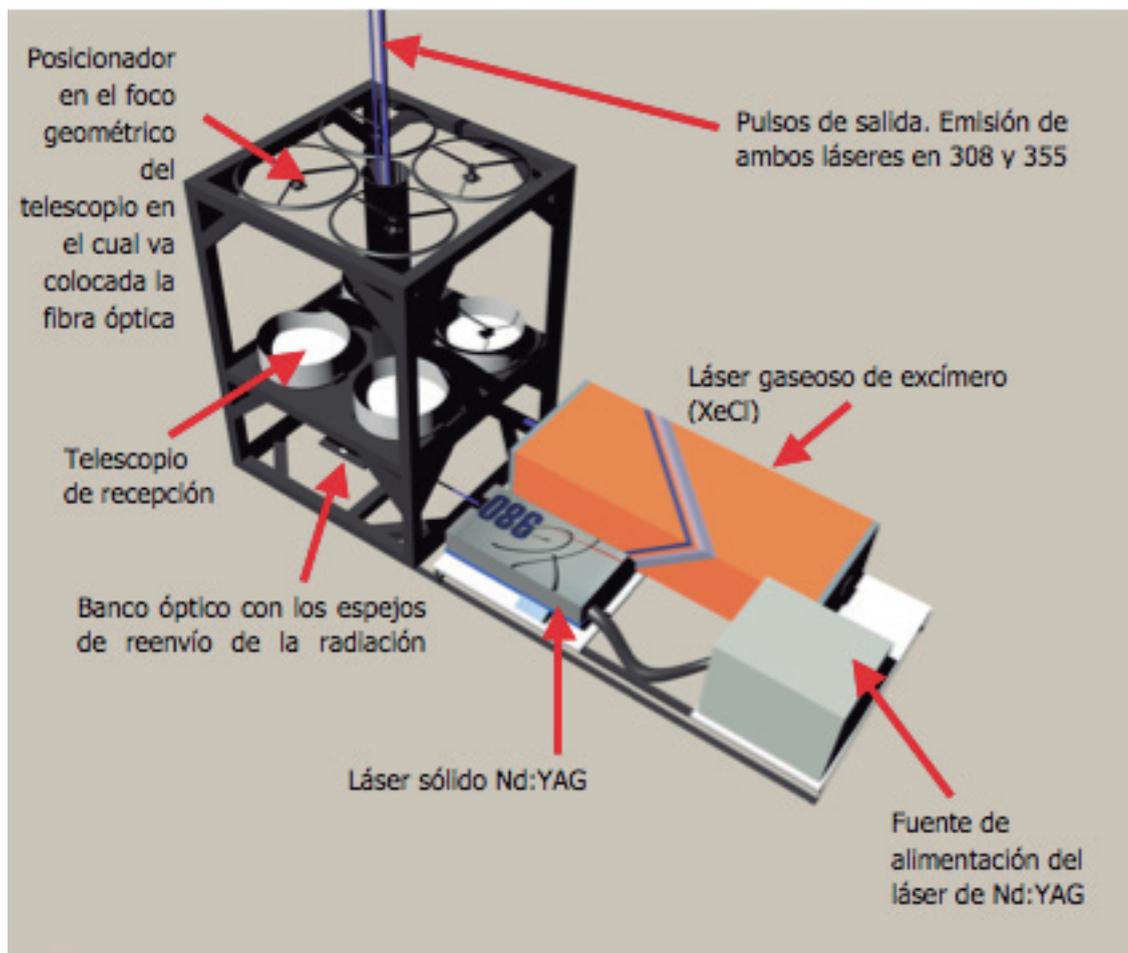


Fig. 1. Esquema general de la emisión y recepción en el sistema DIAL. El sistema de emisión está compuesto por dos láseres de potencia que emiten en 308 y 355 nm. El sistema de recepción está formado por cuatro telescopios de 50 cm de diámetro.

a la atmósfera por el centro del área de colección de tal forma que cada espejo actúa como el receptor de un lidar elemental, pero el sistema en conjunto es cuasi-coaxial.

En el plano focal de cada telescopio hay una fibra óptica de cuarzo de un milímetro de diámetro montada sobre un posicionador X-Y-Z para realizar la focalización y ubicar la fibra óptica en la imagen de la luz recolectada por cada telescopio. Así la radiación colectada se suma analógicamente con el concepto multifibra diseñado en el CNRS⁶ y aplicado en Argentina, permitiendo aumentar el área efectiva de colección. En la parte inferior de la estructura (Fig. 1) un banco óptico tiene adaptada la óptica de envío de pulsos de ambos láseres. Una descripción de su distribución y configuración puede observarse en la Fig. 2.

Las cuatro fibras ópticas se juntan en una boquilla que las alinea horizontalmente formando la ranura de entrada al espectrómetro. Las mismas transmiten la radiación retrodispersada por la atmósfera a un dispositivo denominado analizador óptico, el cual incluye la óptica para la recolección de pulsos luminosos, un obturador mecánico y un espectrómetro diseñado para separar las distintas longitudes de onda a detectar.

2. Lidar Rayleigh para obtener perfiles de temperatura en la estratosfera

La estratosfera media en el rango de 20 - 55 km ha estado recibiendo desde hace varias décadas mucho interés por parte de la comunidad científica, principalmente debido a la problemática ocasionada por el descubrimien-

⁶ CNRS: Centre National de la Recherche Scientifique, París - Francia

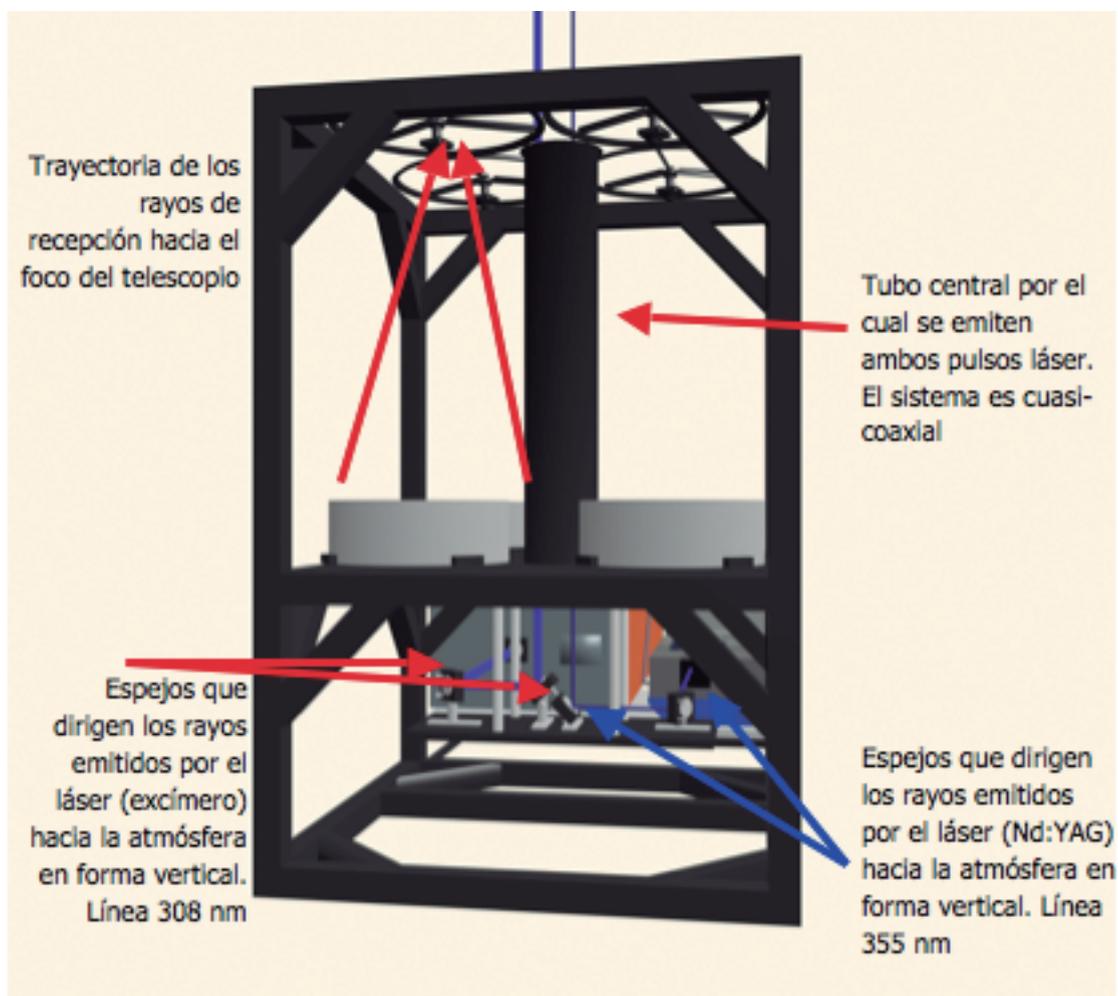


Fig. 2. Distribución y configuración de los elementos del banco óptico ubicado debajo de la estructura rígida que contiene a los cuatro telescopios. Por cada línea de emisión hay dos espejos que reflejan el haz láser emitido en un ángulo de 45 grados.

to del agujero de ozono antártico y el cambio climático. Los perfiles de temperatura han sido medidos en la estratosfera usando una amplia variedad de instrumentos satelitales, cohetes, globos sonda y algunos sistemas de sensado remoto desde Tierra.

Uno de los instrumentos más promisorios para el sensado atmosférico a largo plazo y de alta resolución vertical en sus mediciones es el lidar. Mediciones de la radiación láser detectadas por dispersión Rayleigh (Elterman, 1951) o dispersión Raman (Moskowitz et al., 1988) pueden ser utilizadas para detectar la concentración de moléculas de aire en la atmósfera, calculando el perfil de densidad atmosférica y luego obteniendo el perfil de temperatura, aplicando la ley de gases ideales. Esto siempre y cuando se asuma que la estratosfera se encuentra en

equilibrio hidrostático (Hauchecorne and Chanin, 1980).

Debido a su resolución en altura, el lidar ha sido ampliamente adoptado para estudiar diferentes fenómenos y procesos atmosféricos en la estratosfera como ondas de gravedad. En años recientes el lidar ha sido empleado para la validación de varias mediciones de temperatura desde plataformas satelitales, como el proyecto Upper Atmosphere Research Satellite (UARS) (Dudhia et al., 1994).

En la red Network for the Detection of Atmospheric Composition Change (NDACC) el lidar ha formado el núcleo central para las observaciones de perfiles de temperatura en la estratosfera media-alta (Kurylo and Solomon, 1990). El Observatorio Atmosférico de la Patagonia

Austral (OAPA) en Río Gallegos forma parte del NDACC desde el año 2008, aportando datos de perfiles de ozono estratosférico y próximamente de temperatura y aerosoles.

3. Radiómetro multicanal GUV-541

La radiación UV proveniente del sol es causante de serios problemas a nivel global en particular efectos sobre la piel, ojos y el sistema inmunológico. Se estima en todo el mundo unas 60.000 muertes al año a causa de la radiación ultravioleta, siendo la mayoría atribuidos a melanomas malignos (Lucas et al., 2008).

Por otro lado la radiación UV es beneficiosa para la producción de vitamina D. También hay nuevas evidencias que sugieren una relación entre los niveles de vitamina D y el riesgo de salud (WHO, 2008), relacionado principalmente a algunos cánceres, enfermedades cardiovasculares y esclerosis múltiple.

Cuando la luz solar atraviesa la atmósfera, el ozono, el vapor de agua, el oxígeno y el dióxido de carbono absorben toda la radiación UV-C y aproximadamente el 90% de la radiación UV-B. La atmósfera absorbe la radiación UV-A en menor medida. En consecuencia, la radiación UV que alcanza la superficie terrestre se compone en su mayor parte de rayos UV-A y una pequeña parte de rayos UV-B. Esta pequeña porción de radiación solar de longitudes de onda corta, tiene extrema importancia en el desarrollo de la vida en la Tierra tal como la conocemos hoy y es aceptado hoy en día que el hombre ha modificado la composición de los gases atmosféricos que redundaron en incrementos del nivel de radiación solar que llega a la superficie terrestre. El impacto antropogénico de este desbalance es motivo de estudio en la actualidad, haciendo pertinente y necesario monitorear parámetros atmosféricos o componentes radiativos que han cambiado los patrones naturales y representan un peligro para la salud humana y los organismos vivos en general.

La radiación ultravioleta ambiental es altamente variable. Algunas de estas variaciones son fácilmente cuantificables, como la elevación solar en función de la latitud, la hora del día y la estación del año. Variaciones en la columna de ozono estratosférico son de importancia directa en la distribución de la radiación UV en

superficie. Observaciones continuas del ozono atmosférico están disponibles desde la década del '50 en estaciones de observación en tierra para ciertos lugares del planeta, y más recientemente con otros métodos de sensorio remoto como los satélites y los lidars. Otros factores tales como las nubes, son mucho menos predecibles, y sus distribuciones espacio – temporales son aún pobremente caracterizadas, especialmente a escala local y para fluctuaciones de períodos cortos. Adicionalmente, perturbaciones localizadas pueden provenir de elevaciones en la superficie, reflexiones y turbidez atmosférica, variable asociada con la contaminación del aire.

La medición de la radiación UV puede ser realizada con diversos instrumentos, que pueden ser clasificados en tres categorías, según su rango espectral de observación.

Los espectrorradiómetros pueden separar la radiación detectada en una banda cuya resolución puede ser de 1 nm o menor (Seckmeyer et al., 2001). Los radiómetros de banda ancha (broadband) se caracterizan por utilizar una amplia banda de longitudes de onda sobre bandas por ejemplo del UV (UV-A, UV-B) (Seckmeyer et al., 2005). Los radiómetros multicanales de banda angosta hacen mediciones en longitudes de onda discretizadas con anchos de banda generalmente de 10 nm de ancho (FWHM). Estos instrumentos han demostrado ser una solución aceptable para este tipo de mediciones, entre los espectrorradiómetros UV muy costosos y de gran mantenimiento y los radiómetros de banda ancha, que solo proveen información parcial debido a que no pueden distinguir entre variaciones de la radiación UV causadas por alteración en la cobertura nubosa y variaciones causadas por cambios en el contenido total de ozono.

Frederick y su equipo (Frederick et al., 1989) notaron que la variabilidad en la cobertura nubosa está entre las fuentes más grandes de variación en la irradiancia UV integrada en superficie. Por lo tanto para detectar tendencias en la radiación UV-B provocadas por cambios en el ozono total, se deben establecer redes de monitoreo capaces de medir radiación UV, ozono total y transmisión de nubes.

En nuestro país están operativas dos redes de monitoreo de la radiación UV solar en super-

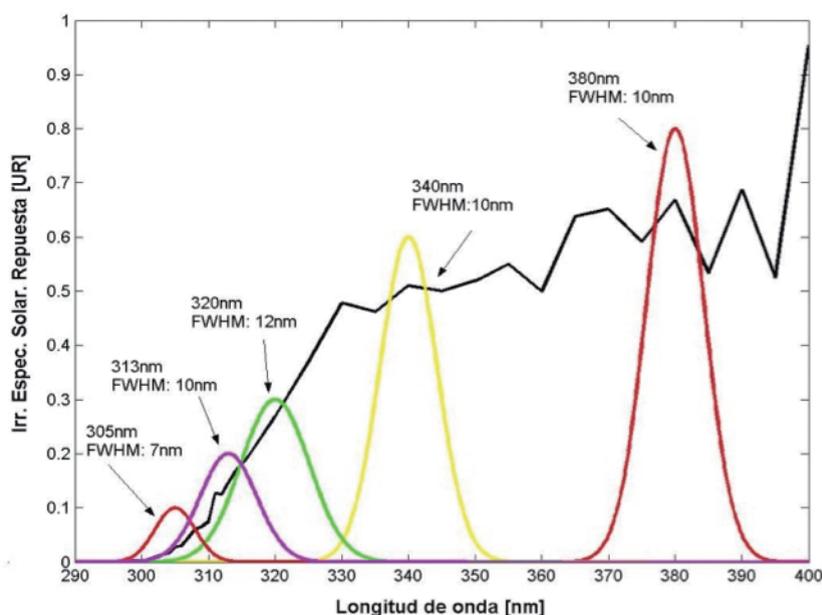


Fig. 3. Esquema de la ubicación y distribución espectral de los filtros de los cinco filtros centrados en 305, 313, 320, 340 y 380 nm del radiómetro GUV-541 de la compañía Biospherical Instrument. En línea negra un espectro solar es superpuesto a la respuesta de los filtros.

ficie. Una es la red del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) que cuenta con radiómetros de banda ancha distribuidos en nuestro país (típicamente unos 30 equipos), incluso en la región antártica. Los mismos tienen incorporados filtros que simulan la respuesta espectral de la piel a la incidencia de este tipo de radiación, y normalmente son llamados Biómetros. Estos instrumentos miden en valores calibrados la irradiancia eritémica (enrojecimiento de la piel) que se convierte vía un factor multiplicativo, en el índice UV solar de distribución al público.

También existe la Red Latitudinal de Monitoreo Solar Argentina (<http://www.dna.uba.ar>), dotada de radiómetros GUV (ground-based UV) multicanales (Booth et al., 1994). Distribuidos en el territorio argentino, sensan la radiación UV-A y UV-B a través de canales que cubren esta porción del espectro solar, con un ancho de banda moderado para cada uno de sus filtros de ancho 10 nm (FWHM). La División Lidar del CEILAP tiene a su cargo en el OAPA un radiómetro GUV-541 s/n 29242, adquirido con financiamiento de JICA en el año 2002 y que se unió a esta red en 2004. Desde junio de 2005 se encuentra operativo en la ciudad de Río Gallegos como parte de la estación de sensado remoto pasivo que esta institución tiene en el OAPA (www.division-lidar.com.ar).

3.1. Descripción del radiómetro GUV-541

El instrumento utilizado para realizar las mediciones de la radiación ultravioleta es un radiómetro con filtros multicanal de banda angosta GUV-541 fabricado por la compañía Biospherical Instruments Inc., en San Diego. Este tipo de instrumento es apto para la medición de la radiación UV en superficie y pertenece a la clase de instrumentos llamados "radiómetros multicanal", es decir radiómetros que responden a múltiples longitudes de onda, cuyas características son determinadas por la combinación de los diferentes filtros y propiedades del sensor. La parte óptica de este tipo de instrumentos consiste típicamente en un difusor de teflón o cuarzo, filtros interferenciales y detectores fotosensibles. El dispositivo está aislado del entorno por una caja de aluminio anodizado duro y recubrimiento especial. Un cabezal de teflón garantiza un mejor aislamiento de la temperatura exterior. El sistema está sellado por medio de juntas de goma que evitan la entrada de humedad. Un controlador de temperatura que la estabiliza a 40 °C o 50 °C, permite una mejor estabilidad eléctrica y previene también la acumulación de lluvia, nieve o hielo por encima del instrumento, evitando el deterioro del radiómetro.

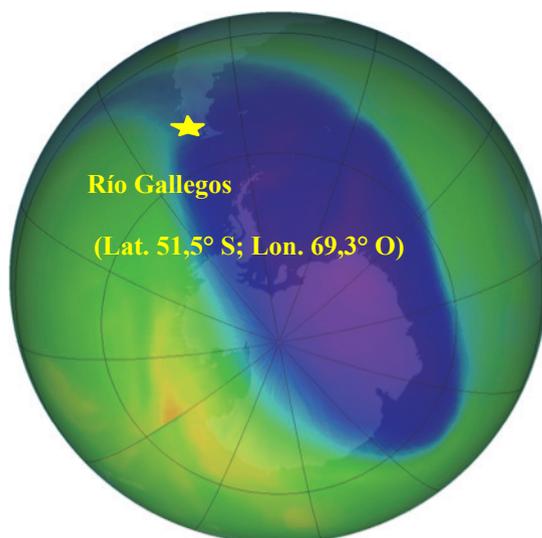


Fig. 4. Imagen satelital obtenida por medio del instrumento OMI de NASA, para el día 9 de octubre del 2005. La zona comprendida en color azul - violeta son bajos valores del contenido de ozono total, menores a 220 DU. El OAPA - Río Gallegos es marcado con una estrella amarilla.

El GUV-541 posee cinco canales de medición UV con longitudes de onda centrales en 305, 313, 320, 340 y 380 nm y un ancho de banda de 10 nm (FWHM) aproximadamente en cada filtro (Fig. 3). Los diferentes canales del instrumento miden en forma simultánea valores de voltajes una vez por minuto en cada canal. Estos valores adquiridos son luego afectados por una constante de calibración que permite determinar el valor de irradiancia solar espectral en superficie.

4. Resultados

A partir de nuevas capacidades relacionadas con la implementación de nuevos algoritmos, en el OAPA se han podido derivar nuevos parámetros relacionados con la obtención de perfiles de temperatura a partir de las mediciones de señales lidar y valores de columna total de ozono e índice UV a partir de un radiómetro multicanal. En las siguientes secciones se visualizan los resultados de ambos instrumentos para casos reales de medición.

4.1. Casos de estudio

Durante la primavera en el hemisferio sur, la región de la Patagonia Austral es afectada por el cruce del vórtice polar, condición meteorológica particular que contiene al denominado agujero de ozono antártico.

En más de cinco años continuos de mediciones en el OAPA - Río Gallegos, se ha podido establecer casos de estudio que constituyen mediciones en donde algún parámetro geofísico, en nuestro caso la temperatura, fue mayor o menor que el valor esperado, con respecto a una media climatológica. En nuestro estudio hemos derivado la media de los perfiles medidos durante la primavera, haciendo la promediación de todas las mediciones en el periodo, cubriendo un total de 40 mediciones lidar, para los años desde el 2005 a diciembre del 2007.

Tres casos de estudio diferentes, son descritos en esta sección. Los primeros dos casos están separados por tan solo 8 días de diferencia en el mes de octubre de 2005, demostrando la gran dinámica que presenta un fenómeno a escala global sobre un punto específico de medición. El tercer caso es referido a un evento particular de dilución del agujero de ozono ocurrido en diciembre del 2006.

El primer caso que se trata está asociado con un evento masivo de intrusión del agujero de ozono sobre la Patagonia Austral (Fig. 4) ocurrido el 9 de octubre de 2005 en donde el valor de la columna total de ozono estuvo en 190 DU, valor significativamente menor al umbral que usualmente se utiliza para determinar la condición de agujero (220 DU) (Wol-

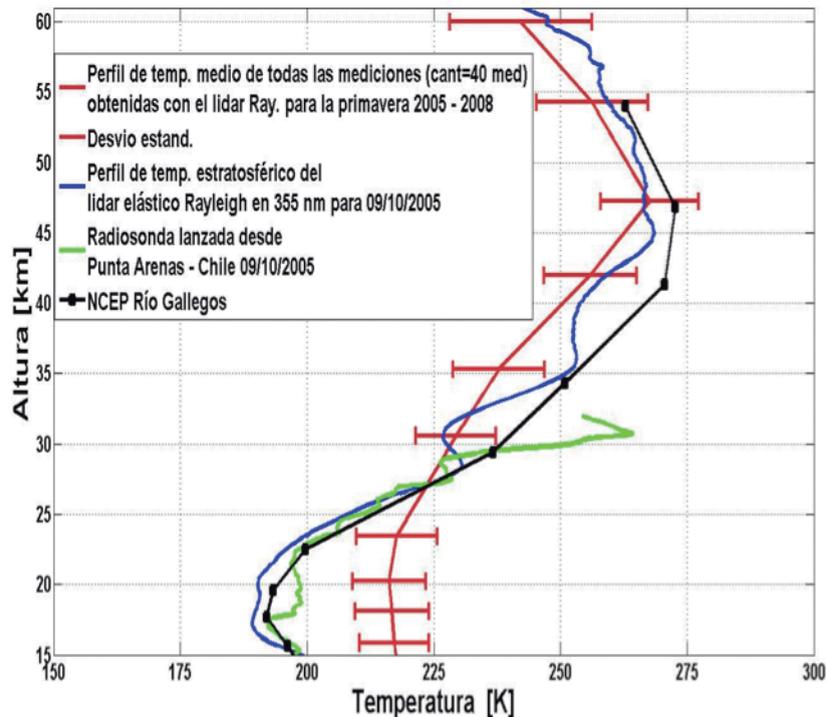


Fig. 5. Superposición de varios perfiles de temperatura estratosféricas para el día 9 de octubre del 2005. Línea azul: perfil de temperatura derivado con el lidar elástico Rayleigh; línea verde: medición de temperatura de un radiosondeo lanzado en coincidencia desde la ciudad de Punta Arenas; línea con rectángulos cuadrados negro: perfil extraído de la base de datos NCEP para el mismo día de estudio; línea continua roja con barra de error: media y un desvío estándar de todas las mediciones de temperatura obtenidas por el lidar elástico Rayleigh para el periodo de la primavera del 2005 a diciembre 2008, cubriendo un total de 40 mediciones.

fram et al., 2006). Cabe destacar que en más de cinco años continuos de mediciones sobre Río Gallegos este evento ha sido el de mayor significancia en cuanto a niveles mínimos de columna total de ozono.

Con el lidar elástico Rayleigh se realizó una medición de 312 minutos comenzando a las 23:00 hora local de Río Gallegos. La medición fue hecha después del pasaje de un frente de baja presión, que causó una lluvia persistente durante la mañana y parte de la tarde.

La medición lidar efectuada guarda coincidencia temporal con el cruce del agujero de ozono sobre Río Gallegos. En la Fig. 5, se muestran varios perfiles de temperatura asociados con el evento del 9 de octubre de 2005. Un perfil de temperatura en la estratósfera fue obtenido mediante el lidar elástico Rayleigh sin realizarle ningún tipo de corrección debida a

aerosoles. La medición puede visualizarse en color azul y es válida para la región que va desde los 15 hasta los 60 km de altura (Salvador et al., 2011).

Para este caso particular se han utilizado además otras mediciones provenientes de un globo sonda lanzado desde la Universidad de Magallanes UMAG en la ciudad de Punta Arenas por el Laboratorio de Ozono y Radiación UV (LabO3RUV) en colaboración con el INPE de Brasil. El perfil se muestra en la figura de arriba en color verde, y presenta buen acuerdo entre 15 y 30 km de altura con la medición lidar. Por encima de los 30 km la temperatura del globo sonda tiene discrepancia con la medición lidar, tendiendo a valores más altos que los normales y luego teniendo una recuperación a valores más bajos. Se superpone además un perfil NCEP para el día de estudio y sin embargo cuando comparamos todo nuestro

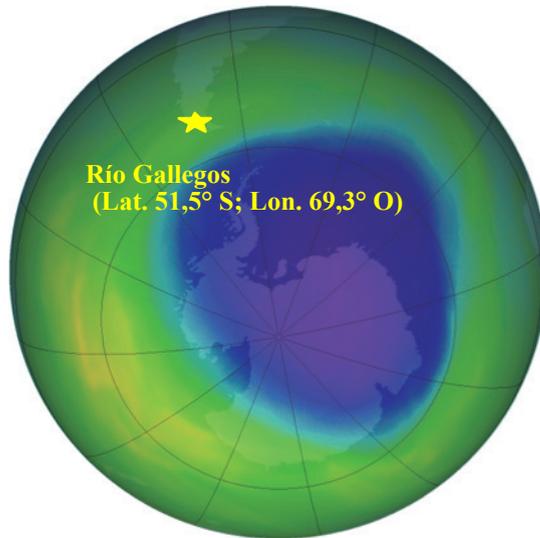


Fig. 6. Imagen OMI para el 17 de Octubre del 2005. La imagen en color violeta muestra el agujero de ozono representando valores de columna total de ozono por debajo de 220 DU. La forma del agujero para ese día presentó gran simetría sobre la Antártida, sin posibilidad de afectar a la región Patagónica.

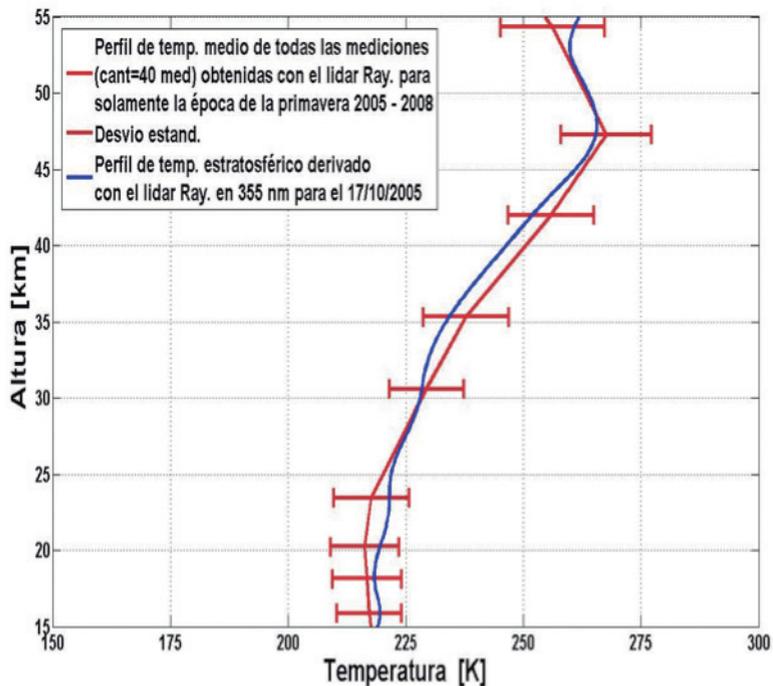


Fig. 7. Medición de un perfil de temperatura lidar para el 17 de octubre de 2005 (línea azul). En correspondencia se superpone a la medición anterior la media de todas las mediciones efectuadas en la primavera entre el 2005 y diciembre de 2008.

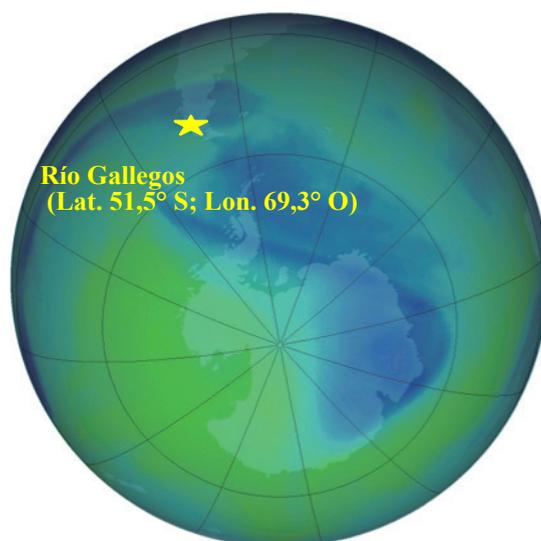


Fig. 8. Dilución del agujero de ozono para el 10 de diciembre de 2006. Las masas de aire con bajo contenido de ozono no se centran en forma uniforme sobre la Antártida sino que se ven trasladadas hacia latitudes más bajas.

juego de medidas se ve que tanto la medición lidar como el radiosondeo y NCEP muestran un excelente acuerdo en todo el rango de alturas. Sobre el impacto del evento, y como forma de cuantificarlo se calculó la media de todas las mediciones lidar más el desvío estándar medido en los periodos de primavera desde el año 2005 hasta diciembre del 2008, trabajando sobre un total de 40 mediciones.

Se muestra que la medición del 9 de octubre de 2005 representa un caso de estudio de mucho interés debido a que dicha medición está muy por debajo de la media menos el desvío estándar. La zona más fría es la región desde los 15 hasta aproximadamente los 24 km de altura. Dicho enfriamiento es causado por la incidencia del vórtice polar sobre Río Gallegos (Wolfram et al., 2006).

En nuestro segundo caso de estudio para el 17 de octubre del 2005, tan solo 8 días luego del primer caso, se evalúa la medición de un perfil de temperatura lidar para una condición normal, es decir una situación en la cual el agujero de ozono se encuentra alejado del sitio de mediciones y el valor de columna total fue de 357 DU.

En la Fig. 6, se ve la imagen satelital en donde la región que comprende el agujero de ozono antártico se encuentra más centrado sobre la región antártica teniendo una forma aproximadamente circular con poca deformación en comparación con la imagen de la Fig. 4.

En la Fig. 7, se muestra el perfil de temperatura lidar para el mismo día de estudio. En la medición del 17 de octubre del 2005 se midió durante 238 minutos, comenzando la medición a las 23:42 hora local de Río Gallegos.

Cuando se compara la medición con la media y desvío estándar de todos los perfiles medidos en primavera desde el año 2005 a diciembre del 2008, se deduce que en todo el rango de alturas desde 15 hasta 55 km, el perfil medido estuvo dentro del desvío estándar de nuestra climatología, elaborada con datos del instrumento. Este resultado es importante y muestra claramente que el perfil de temperatura lidar del 17 de octubre del 2005 constituye una medición esperable y normal, guardando correspondencia con la climatología calculada.

Por último se estudia la medición del 10 /12/ 2006. La medición corresponde a un efecto de dilución del agujero de ozono en donde masas de aire con poco ozono comienza un tránsito hacia latitudes más bajas (Wolfram et al., 2008). En la Fig. 8, se ve la imagen satelital OMI para el día 10 de diciembre de 2006. En ella se ve cómo masas de aire con bajo contenido de ozono, no se encuentran en forma homogénea y unidas como en los dos últimos casos presentados. El sistema DIAL siguiendo su cronograma de mediciones rutinarias fuera de la época de eventos extremos, detectó una masa de aire con una perturbación en la distribución del ozono en la altura.

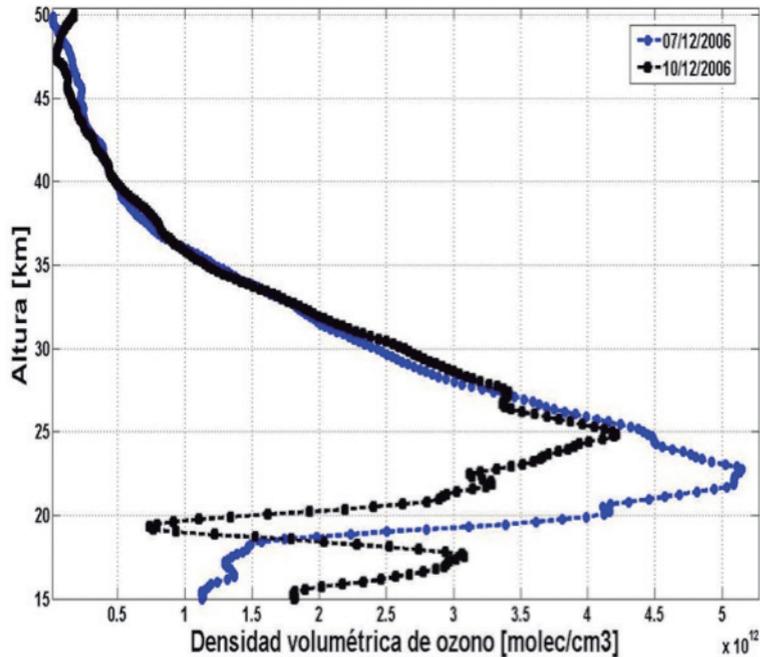


Fig. 9. Dos mediciones de perfiles de ozono estratosférico por el sistema DIAL; (perfil negro) medición DIAL del 10/12/2006: se visualiza una reducción en el perfil de ozono entre 15 y 20 km; (perfil azul) medición del sistema DIAL tres días previo al anterior para el 07/12/2006.

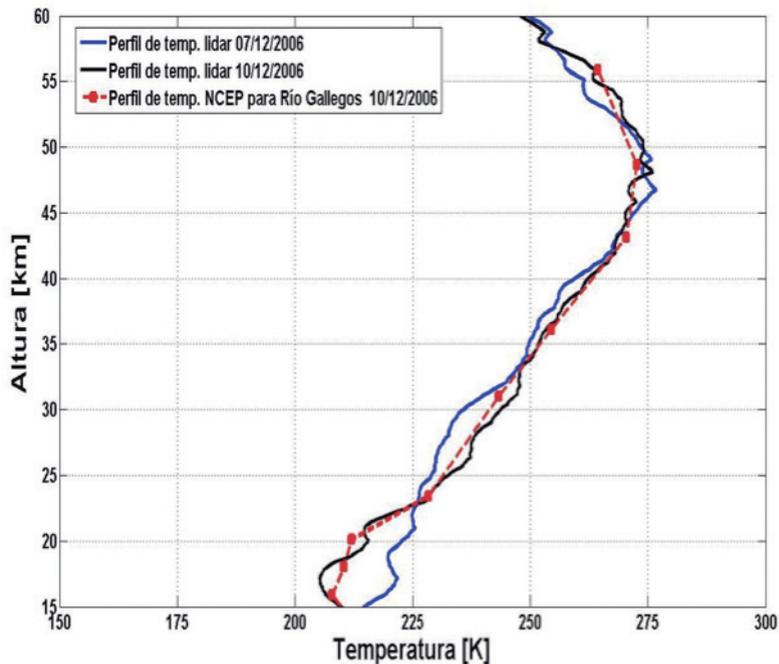


Fig. 10. Perfiles de temperatura derivados por el sistema DIAL: para el día 07/12/2006 (línea azul); para 10/12/2006 (línea negra). Se superpone además el perfil de temp. NCEP para el 10/12/2006 sobre Río Gallegos (línea rayada roja, con cuadros).

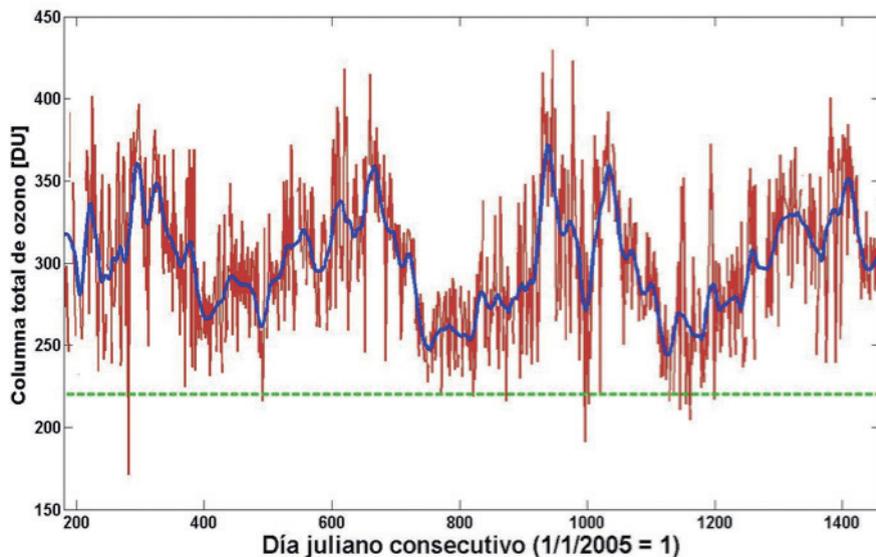


Fig. 11. Evolución de la columna total de ozono calculada por medio del radiómetro GUV-541 para Río Gallegos en el periodo junio 2005 a diciembre 2008, (línea azul) media móvil.

Particularmente la Fig. 9 muestra dos mediciones de perfiles de ozono estratosférico muy cercanas en días realizadas con el sistema DIAL para el 7 y 10 de diciembre del 2010. En la primera medición del 7 de diciembre el perfil de ozono presenta una distribución del ozono con la altura dentro de los valores esperados. En cambio la medición del día 10 de diciembre el perfil de ozono estratosférico presenta una disminución en el rango de alturas que va desde los 15 hasta los 25 km de altura.

La imagen satelital que se muestra en la Fig. 8. permite ver una masa de aire con bajo contenido de ozono visualizada (en color más azulado) sobre la región patagónica. Esta imagen no permite cuantificar en qué región de la estratosfera se produjo la disminución. La medición complementaria realizada por el DIAL permite observar y caracterizar este evento en forma muy precisa.

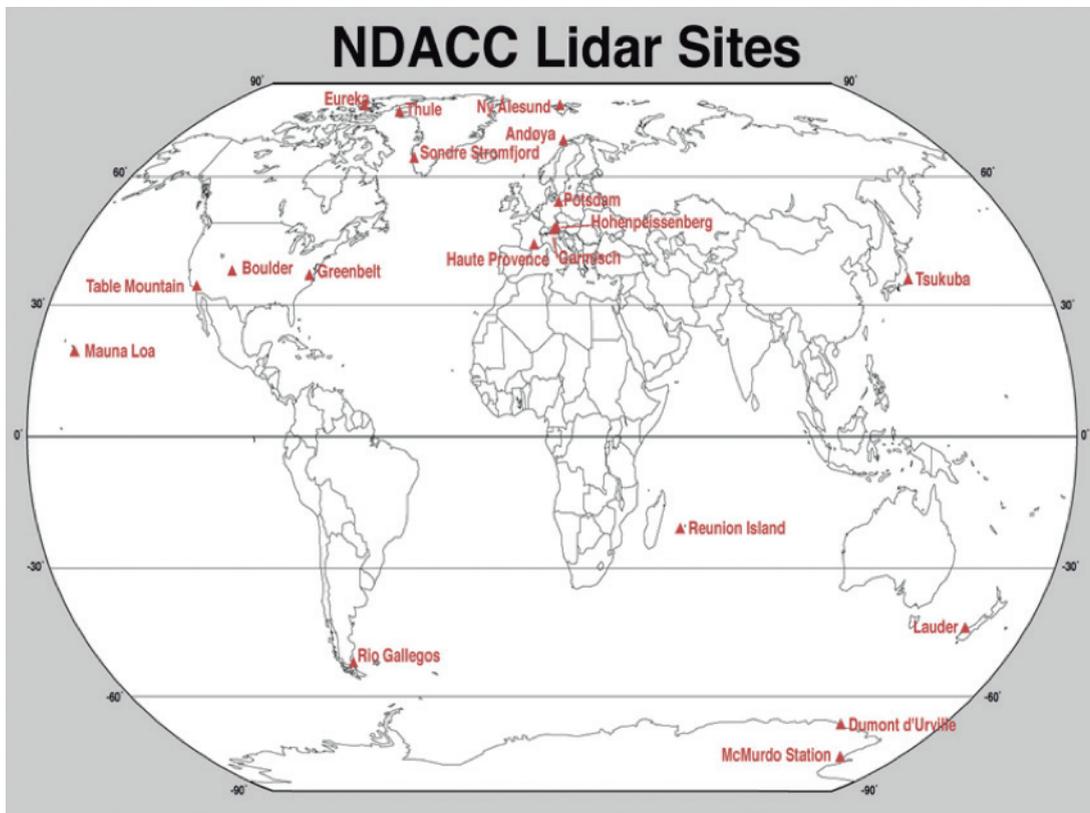
El perfil de temperatura lidar obtenido para el 7 y 10 de diciembre de 2006 es mostrado en la Fig. 10. Ambos perfiles se muestran superpuestos, y en color azul la medición para el 7 de diciembre muestra un perfil de temperatura uniforme. En cambio en la medición del día 10 de diciembre, el perfil de temperatura en color negro presenta una tendencia a valores más bajos en la parte inferior entre 15 y 24 km, exactamente la misma región en donde

el perfil de ozono estratosférico de la figura 4.14 presenta una disminución. Además se coloca en la Fig. 10, el perfil de temperatura NCEP, extraído para Río Gallegos el día 10 de diciembre de 2006. De este modo se puede establecer una relación directa entre la influencia del ozono y la temperatura en la estratosfera baja, para este caso de estudio. Se valida la medición obtenida con el lidar para ese día, con el perfil de temperatura NCEP, el cual muestra la misma tendencia que el perfil de temperatura derivado con el lidar elástico Rayleigh.

4.2. Columna total de ozono, calculada mediante el radiómetro solar GUV-541

Un método para inferir el valor de columna total de ozono ha sido implementado en este capítulo a partir de las mediciones de irradiancia espectral realizadas con un radiómetro multicanal de banda angosta GUV-541, tomando específicamente los valores de irradiancia en los canales de 340 y 305 nm.

Para derivar la columna total de ozono se implementó una rutina automática en Matlab con el objetivo de utilizar diariamente el archivo almacenado el día anterior y proveer de valores de ozono prácticamente en forma diaria. La versión inicial del programa, desarrollada a principios del año 2006, calculaba el cociente



Aceptado oficialmente en diciembre de 2008 como parte de la red NDACC (Network for the Detection Atmospheric Composition Change)

de los canales (340 – 305 nm) en el mediodía solar. Luego estos eran insertados en una tabla sintética construida con los cocientes de las irradiancias espectrales modelizadas también en 340 y 305 nm para una amplia variedad de valores de columna total de ozono desde 10 DU hasta 700 DU y para diferentes ángulos cenitales, utilizando el modelo de transferencia radiativa TUV (Stammes et al., 1991). Los cocientes de irradiancias espectrales modelizados con el modelo TUV, 340-305 nm en función del ángulo cenital y para diferentes valores de columna total de ozono se puede visualizar en la figura 11. En la misma se muestra a modo de ejemplo, el mes de octubre de 2005, superponiendo los cocientes de irradiancia 340-305 nm medidos por el radiómetro.

A partir de la interpolación lineal entre los cocientes obtenidos con los datos de irradiancia del radiómetro GUV-541, que es siempre posible si se considera que ambas longitudes de onda son atenuadas de la misma manera por las nubes, se infiere el valor de la columna total de ozono a partir del dato medido por el instrumento.

Conclusiones

En el desarrollo de este trabajo se involucraron tareas de mejoras sustanciales en el sistema lidar basado en la técnica DIAL para la medición del contenido de ozono estratosférico instalado en junio de 2005 en el OAPA, dentro de la Base Aérea Militar de Río Gallegos. Los cambios fundamentales estuvieron centrados en el sistema de adquisición de mediciones, análisis y sistematización de los datos, programación y evaluación de nuevos algoritmos para el procesamiento de las señales. Desde su instalación y hasta el presente se realizaron 250 mediciones durante noches con cielo despejado a parcialmente nublado y tomando un promedio de entre tres y cuatro horas continuas de medición.

Desde el punto de vista instrumental se realizaron cambios en la detección del sistema DIAL del OAPA, como la incorporación de un nuevo sistema de obturación más veloz y estable, que hizo que el sistema pasara de medir con un obturador mecánico funcionando a 9000 rpm a otro de 18000 rpm.

Con respecto al análisis y procesamiento de señales, una gran variedad de datos geofísicos pudieron ser obtenidos del procesamiento de las señales lidar (densidad, temperatura del aire, aerosoles estratosféricos y altura de la estratopausa).

Al comienzo de este trabajo en el año 2005 el sistema DIAL de cuatro canales instalado en el OAPA solo tenía la capacidad de poder medir el contenido de ozono estratosférico. En el transcurso de la misma, en base a diferentes algoritmos basados en técnicas y en el procesamiento de señales lidar provistas por cada canal del instrumento (cuatro canales elásticos y dos inelásticos) se pudieron mejorar los perfiles de ozono estratosféricos.

Mediante el procesamiento de las señales lidar adquiridas para el canal elástico en 355 nm, se obtuvo la distribución de perfiles de temperatura en la alta estratosfera (30-60 km). Conociendo además la distribución de los aerosoles, fue posible descontaminar la señal lidar de 355 nm por debajo de 30 km, afectada por los aerosoles estratosféricos. Con esta corrección se pudo obtener perfiles completos de temperatura estratosférica entre 15 a 60 km de altura.

Comparaciones con base de datos de re-análisis NCEP e instrumentos satelitales como el High Resolution Dynamics Limb Sounder (HIRDLS) y Microwave Limb Sounder (MLS) ambos a bordo del satélite AURA de NASA han permitido validar y comparar la metodología de obtención de perfiles de temperatura en la estratosfera entre los 15 y 60 km.

Para obtener estas conclusiones fueron realizadas comparaciones de medias y desvíos con los instrumentos satelitales HIRDLS y la base de datos NCEP. Más de 90 mediciones lidar en el período 2005 – 2007 fueron utilizadas siguiendo un criterio de coincidencia espacial, lográndose estudiar y publicar el impacto del agujero de ozono sobre los perfiles de temperatura, analizándose casos totalmente fuera del agujero de ozono, sobre su borde y totalmente dentro del mismo. Desde el punto de vista geofísico este ha sido un resultado significativo ya que por primera vez fue posible obtener perfiles de temperatura estratosférica hasta 60 km de altura para la latitud 52° sur, desde tierra.

Por otro lado se destaca la relación existente entre el contenido de ozono en la atmósfera y la cantidad de radiación ultravioleta (UV) que llega a la superficie. En el OAPA funcionan en forma continua una serie de instrumentos de sensado pasivo de la radiación solar. Por tal motivo se han llevado a cabo también, el procesamiento de las señales obtenidas por medio de un radiómetro multicanal de banda angosta GUV-541. Tres diferentes algoritmos combinados con modelos de transferencia radiativa han permitido obtener la columna total de ozono, el espesor óptico de nubes, y por último el índice UV en forma diaria.

La serie de datos desde junio de 2005 a diciembre de 2008 de la columna total de ozono y del índice UV han sido comparadas con instrumentos satelitales como el Ozone Monitoring Instrument (OMI) de NASA y un biómetro calibrado marca Yankee Environmental Systems (YES), instalado en el OAPA.

Agradecimientos

Un especial agradecimiento a la Agencia de Cooperación Internacional del Japón en Argentina (JICA), cuyo aporte financiero a través de los dos proyectos otorgados han posibilitado la realización de la campaña SOLAR (2005 - 2007) y del proyecto binacional Argentina - Chile, denominado UVO3Patagonia (2008 - 2011). Al LATMOS (Laboratoire Atmosphères, Milieux, Observations Spatiales), perteneciente al Institut Pierre Simon Laplace (CNRS-Francia) por el constante apoyo científico y tecnológico. A las siguientes instituciones que han permitido la realización de esta tesis: Centro de Investigaciones en Láseres y Aplicaciones, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Universidad Nacional de San Martín, Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Bs. As., Servicio Meteorológico Nacional, National Aeronautics and Space Administration-USA, National Institute for Environmental Studies-Japón.

Referencias

- BOOTH, C. R., MESTECHKINA, T. y MORROW, J. H., (1994), Ocean Optics XII, J.S. Jaffe, ed. Proc. SPIE 2258, 654-663.
- DUDHIA, A., LIVESEY, N. J. y TAYLOR, F. W., (1994), Validation of ISAMS Retrievals of atmospheric temperature and pressure, *Adv. Space Res.*, 14, 237-241.
- ELTERMAN, L. B., (1951), The measurement of stratospheric density distribution with the searchlight technique, *J. Geophys. Res.*, 56, 509-520.
- FREDERICK, J. E.; SNELL, H. E. y HAYWOOD, E. K. (1989), Solar ultraviolet radiation at the earth's surface *Photobiol.* 50, 443-450.
- HAUCHECORNE, A. y CHANIN, M. L. (1980), Density and Temperature Profiles obtained by lidar between 35 and 70 km, *Geophys. Res. Lett.*, 8, 565-568.
- KURYLO, M. J., y SOLOMON, S. (1990), Implementation report NASA, Network for the Detection of Upper Atmosphere Research Stratospheric Change: Program mid NOAA a status and Climate and Global Change Program, NASA, Washington D. C.
- MEASURES, R. M., (1984), *Laser Remote Sensing*. New York, John Wiley & Sons, Inc.
- MOSKOWITZ, W. P., DAVIDSON, G., SIPKer, D., PHILBRICK, C. R. y DAO, P. (1988), Raman augmentation for Rayleigh lidar, 14th ILRC, Conference Abstracts, 284-286.
- SCHOTLAND, R. M., (1974), Errors in the lidar measurement of atmospheric gases by differential absorption, *J. Appl. Meteorol.*, 13, 71-77.
- WOLFRAM, A. E., SALVADOR, J., D'ELIA, R., CASICCIA, C., PAES LEME, N., PAZMIÑO, A., PORTENEUVE, J., GODIN-BEEKMAN, S., NAKANE, H. y Quel, E. J., (2008), New Differential absorption lidar for stratospheric ozone monitoring in Patagonia, south Argentina, *J. Opt. A: Pure Appl. Opt.* 10, 104021 (7pp). oi:10.1088/1464-4258/10/10/104021.
- PAZMIÑO, A., GODIN, S., WOLFRAM, E., LAVORATO, M., PORTENEUVE, J., QUEL, E., MEGIE, G., (2003), Intercomparison of ozone profiles measurements by a differential absorption lidar system and satellite instruments at Buenos Aires, Argentina, *Optics and Lasers in Engineering*, Vol. 40, ISSN 0143- 8166, Págs. 55-65.
- LUCAS, R.M., MCMICHAEL, A.J., ARMSTRONG, B.K., SMITH, W.I., (2008), Estimating the global disease burden due to ultraviolet radiation exposure. *International Journal of Epidemiology*; 37 (3): 654-667.
- SALVADOR, J., WOLFRAM, E., PALLOTTA, J., OTERO, L., D'ELIA, R., QUEL, E., (2008), Correction of stratospheric ozone profile using stratospheric aerosols backscatter in Río Gallegos, Argentina. A Case Study, *Óptica Pura y Aplicada* 165-170, 41, Sociedad Española de Óptica.
- SALVADOR, J., WOLFRAM, E., D'ELIA, R., QUEL, E., (2011), Temperature lidar retrieval using Rayleigh lidar in Río Gallegos, Argentina, *Opt. Pura y Apl.* 44(2) pp. 381-386.
- SALVADOR, J., WOLFRAM, E., PALLOTTA, J., OTERO, L., D'ELIA, R., QUEL, E., (2008), Correction of stratospheric ozone profile using stratospheric aerosols backscatter in Río Gallegos, Argentina. A Case Study, *Óptica Pura y Aplicada* 165-170, 41, Sociedad Española de Óptica.
- SECKMEYER, G., BAIS, A., BERNHARD, G., BLUMTHALER, M., BOOTH, C. R., DISTERHOFT, P., MCKENZIE, R. L., MIYAUCHI, M., Y ROY, C., (2001), Instruments to measure radiation. Part 1: Spectral instruments, World Meteorological Organization, Atmosphere Watch Publication No. 125, WMO TD No. 1066, Geneva, Switzerland.
- SECKMEYER, G., BAIS, A., BERNHARD, G., BLUMTHALER, M., BOOTH, C. R., LANTZ, K., (2005), Instruments to measure solar ultraviolet radiation. Part 2: Broadband measuring erythemally weighted solar irradiance, World Meteorological Global Atmosphere Watch Publication No. 164, WMO TD No. 1289, Geneva. Disponible: <http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/gaw-reports.html>.
- STAMNES, K., SLUSSER, J. Y BOWEN, M., (1991), Derivation of total ozone abundance and cloud effects from spectral irradiance measurements. *Appl. Optics/ Vol 30, No 30/ 20 octubre*.

WMO (World Meteorological Organization), (2003), Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2002. Global Ozone Research and Monitoring Project report no. 47, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 498 pp.

WOLFRAM, E., SALVADOR, J., PALLOTTA, J., D'ELIA, R., OTERO, L., GODIN-BEECKMANN, S., NAKANE, H. Y QUEL, E., (2006b), Solar campaign: First results of ozone profile measurements at Río Gallegos, Argentina, Reviewed and Revised Papers Presented at the 23rd International Laser Radar Conference Editors Chikao Nagasawa, Nobuo Sugimoto, ISBN 4-9902916-0-3, Part 2, 365-368.

WOLFRAM, E., SALVADOR, J., D'ELIA, R., GODIN-BEECKMANN, S., PAZMIÑO, A., NAKANE, H., QUEL, E., (2008), Monitoring Ozone Hole Dilution Process In Río Gallegos, Argentina Using Dial Measurements, Reviewed and Revised Papers Presented at the 23rd International Laser Radar Conference 24th ILRC, p. 798, Boulder, Colorado.

World Health Organization, (2008), International Agency for Research on Cancer. Vitamin D and cancer. IARC Working Group Reports, WHO Press, 5, 148.

Herramientas para la evaluación integral de la calidad de aire en Argentina: modelos de escala urbana y regional

David Gabriel Allende¹, Salvador Enrique Puliafito^{1,2}, Rafael Pedro Fernández¹, Fernando Horacio Castro¹, Pablo Gabriel Cremades¹

¹ Universidad Tecnológica Nacional / CONICET, Facultad Regional Mendoza, Grupo Estudios de la Atmósfera y el Ambiente (GEAA), Rodríguez 273, (M5502AJE) Mendoza, Argentina

² Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Medrano 951, (C1179AAQ), Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

epuliafito@frm.utn.edu.ar

Recibido el 5 de Septiembre, aprobado el 12 de Noviembre de 2012

Resumen

Tanto el Modelado de Calidad de Aire como el Monitoreo han sido herramientas muy útiles asociadas a políticas ambientales. Varias herramientas de modelación se han desarrollado para su aplicación en problemas de contaminación urbana, las cuales se utilizan en investigación y procesos regulatorios. Este artículo describe la adaptación local de algunos de estos modelos y presenta la preparación de inventarios de emisiones detallados de los principales contaminantes presentes en áreas urbanas típicas de la Argentina. Finalmente, se muestran los resultados de monitoreo y modelado en los centros urbanos de Mendoza, Bahía Blanca y la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

PALABRAS CLAVE: MODELADO DE CALIDAD DE AIRE - CALPUFF - WRF/CHEM - INVENTARIO DE EMISIONES

Abstract

Air quality modeling and monitoring has been useful tools associated to environmental policies. Several atmospheric dispersion models have been developed to be applied in air pollution problems, which are used in research or regulatory processes. This article describes the local adaptation of some of these models and shows the preparation of detailed source emission inventories of main pollutant present in typical urban areas of Argentina. Finally, we show the results of modeling and monitoring for the Mendoza, Bahía Blanca and Buenos Aires urban centers.

KEYWORDS: AIR QUALITY MODELING - CALPUFF - WRF/CHEM - EMISSION INVENTORIES

Introducción

La contaminación del aire figura sistemáticamente como una de las principales inquietudes ambientales, y es responsable de varios efectos adversos en la salud de las personas. Asimismo, se encuentran muy bien identificados y documentados los efectos de contaminantes en varios tipos de ecosistemas (Fowler y colaboradores, 2009) y daños a materiales (Muller y Mendelsohn, 2007). Debido a que las ciudades concentran personas y actividades, la contaminación atmosférica es un fenómeno típicamente asociado a centros urbanos y regiones industrializadas.

El monitoreo de calidad de aire en nuestro país es bastante deficiente y generalmente intermitente. Solo en grandes aglomerados urbanos (como el área metropolitana de Buenos Aires, Gran Córdoba, Gran Rosario, Gran Mendoza, Gran La Plata y San Miguel de Tucumán) instituciones provinciales y/o organismos municipales han realizado algún tipo de monitoreo. No obstante, en áreas urbanas, las mediciones no representan necesariamente la situación local, y brindan solo una indicación muy limitada de la variación espacial y temporal de las concentraciones reales. Asimismo, los datos medidos no pueden utilizarse para proyectar concentraciones futuras ni para la evaluación de escenarios debido a la compleja relación entre las fuentes de contaminantes y sus efectos.

Los Modelos de Calidad de Aire (MCA) son herramientas matemáticas que simulan los procesos químicos y físicos que involucran la

dispersión, transporte y transformaciones de los contaminantes en su camino atmosférico. Se trata de instrumentos únicos para estudios de impacto, el establecimiento de legislación para el control de emisiones, la evaluación de estrategias y técnicas de control de emisiones, el establecimiento de responsabilidades para niveles de contaminación existentes, el análisis de sensibilidad y el modelado inverso de fuentes desconocidas. La generación de un modelo bien probado y calibrado constituye una herramienta invaluable para la representación de la dinámica y las respuestas a las perturbaciones de condiciones reales de calidad de aire.

Este trabajo presenta una perspectiva general de las herramientas y técnicas disponibles para modelado urbano. Además, se detalla su aplicación en la evaluación de calidad de aire de tres centros urbanos típicos de Argentina, a través del desarrollo de una metodología adaptable a la magnitud del problema estudiado y a la disponibilidad local de información.

Metodología

Modelos de calidad de aire y escalas espaciales

Los principales componentes de un MCA se detallan en la Fig. 1. Para la especificación de los campos meteorológicos que gobiernan el transporte y dispersión de los contaminantes, pueden utilizarse directamente mediciones de campo y/o realizar interpolaciones para todo el dominio a través de procesadores meteorológicos. Un segundo módulo clave es el inventario

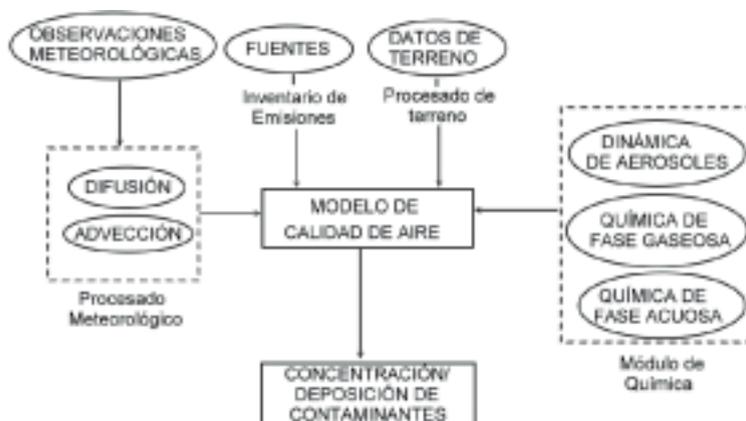


Fig. 1. Principales componentes de un Modelo de Calidad de Aire y sus interacciones

de fuentes emisoras. Muchas estimaciones de emisiones se desarrollan utilizando un factor de emisión que supone una relación lineal entre la tasa de emisión y una unidad de actividad (por ejemplo, cantidad de combustible consumido, tasa de producción, población, empleo, etc). Estas tasas pueden obtenerse de manuales compilados a tal fin (p.ej. AP-42; U.S. EPA, 2010). Para ciertas categorías de fuente, la relación funcional entre las emisiones y las variables ambientales ha sido estudiada lo suficiente como para dar lugar a modelos matemáticos complejos, también llamados modelos de emisión. Finalmente, un tercer módulo de entrada de los MCA es el que organiza la información sobre uso y cobertura del suelo y elevaciones del terreno.

Los fenómenos ligados a la contaminación atmosférica trascienden todas las escalas, desde la local a la global, con entradas y retroalimentaciones en cada nivel de interacción. Un contaminante emitido puede generar impactos desde muy cerca de la fuente o en regiones muy lejanas, dependiendo de su tiempo de vida medio y sus propiedades. Asimismo, los procesos que controlan su destino son también dependientes de la escala. De acuerdo con Zannetti (1990) se puede hacer la siguiente distinción: a) Fenómenos de corta distancia (<1 km de la fuente); como ser los efectos sobre la pluma causados por la presencia de obstáculos; b) Transporte de corto alcance (<10 km de la fuente); el área en el cual se encuentra el máximo impacto a nivel del suelo de contaminantes primarios provenientes de fuentes elevadas; c) Transporte intermedio (entre 10 y 100 km); abarca el área donde la producción

de contaminantes secundarios es importante; d) Transporte de largo alcance (>100 km); área en la que juega un rol importante la meteorología de gran escala y los efectos de deposición y transformación; e) Efectos globales: los fenómenos afectan a toda la atmósfera.

Modelado de calidad de aire en Argentina

En general, la aplicación de MCA para la evaluación de impactos ambientales en países en desarrollo y, particularmente en Argentina, no ha seguido una metodología consistente para este tipo de herramientas de análisis. No obstante, su uso requiere una adaptación o calibración de acuerdo con la topografía y patrones meteorológicos propios del lugar y principalmente, de acuerdo con las condiciones bajo las que son utilizados. Asimismo, los modelos deben utilizarse de acuerdo con la magnitud y complejidad del problema de calidad de aire a estudiar y de acuerdo con el nivel de datos de entrada disponible, requiriendo una consistencia en el uso de parametrizaciones meteorológicas, emisiones y transformación y deposición (Allende, 2011).

En este artículo se presenta una serie de casos de estudio, elegidos para describir el proceso de simulación de la calidad del aire, desde la selección del modelo apropiado hasta la evaluación de los resultados.

Modelado urbano del Área Metropolitana del Gran Mendoza

El área del Gran Mendoza (33°S, 68°W; 750 m s.n.m.), al igual que otras regiones de Argentina,

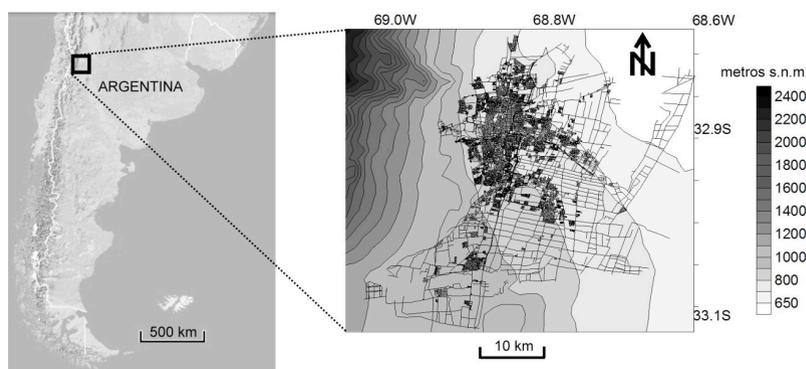


Fig. 2. Diagrama del área en estudio, incluyendo un acercamiento al área metropolitana del Gran Mendoza hacia el oeste de la República Argentina, detallando el trazado de calles y las elevaciones del terreno (m) en la escala a la derecha

enfrenta una creciente urbanización, aumento de tráfico vehicular, pérdida de espacios agrícolas e incremento en la contaminación del aire. El centro urbano del Gran Mendoza está ubicado al oeste de la República Argentina, en el piedemonte de la Cordillera de Los Andes, representando la cuarta aglomeración del país con 1.230.000 habitantes. En la Fig. 2 se muestra un esquema del área metropolitana del Gran Mendoza. La ciudad se ubica en una zona árida a semiárida, de precipitaciones bajas (120-400 mm anuales), principalmente en meses de verano. La cercanía de la Cordillera de Los Andes tiene una fuerte influencia en la meteorología y en la calidad de aire locales, debido a la circulación típica valle-montaña de variación diaria. La velocidad de viento media anual es alrededor de 2,6 m/s con un 26% de calmas. Las direcciones predominantes son S, S-SW, E-SE y E. El área presenta baja humedad relativa (50%), baja incidencia de niebla y pocos días cubiertos (65-75 días/año).

La calidad del aire en el área de estudio se encuentra fuertemente influenciada por actividades industriales intensivas e intermedias. Las fuentes industriales se encuentran ubicadas en dos sectores definidos: un complejo industrial ubicado al suroeste y otro hacia el norte del centro urbano. Con el objeto de presentar el escenario de emisiones actual, se utilizaron valores de emisión obtenidos a través de mediciones directas de chimenea proporcionadas por la Dirección de Protección Ambiental, junto con estimaciones a través de balances de masa y factores de emisión característicos para el tipo de industria. Todas las emisiones industriales se asociaron a 21 fuentes puntuales. Las emisiones residenciales y del sector comercial se calcularon utilizando datos estadísticos del consumo de gas natural y Gas Licuado de Petróleo (GLP). Los dos tipos de combustible se utilizan indistintamente para calefacción, obtención de agua caliente y cocción. Se utilizaron factores de emisión obtenidos de las bases de datos de CORINAIR (CORe INventory AIR emissions, the European Environment Agency; EMEP/EEA, 2009) e IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC, 2007) (en el caso de GEI) para ambos combustibles.

La erosión por vientos de los suelos naturales áridos, como semiáridos son una importante fuente de polvo atmosférico. Por ello se inclu-

yeron en este estudio las emisiones de material particulado, estimadas de acuerdo con la metodología sugerida por la EPA (OAQPS 1977). Para distribuir las espacialmente fue necesario caracterizar el dominio de modelado de acuerdo a la potencialidad de convertirse en fuente de polvo. Para ello, se utilizaron mapas de uso de suelo, de diversas fuentes (D.O.A.D.U., 2009; U.S. Geological Survey (USGS), 2010). Información adicional se obtuvo del mapa de suelos de Argentina (Cruzate y colaboradores, 2007), preparado por el INTA con una escala de 1:500.000 a 1:1.000.000. Las áreas se procesaron con herramientas SIG y se clasificaron de acuerdo a los tres tipos de áreas de producción de polvo: zonas urbanas y construidas, tierras agrícolas y áreas abiertas o naturales. Además, las texturas de suelos contenidas en los mapas del INTA, permitieron discriminar tres clases de suelos: roca, arena y arcilla.

Las emisiones del transporte rodado de la ciudad de Mendoza se estimaron con el modelo de emisión COPERT III (Ntziachristos y colaboradores, 2000). En ciudades medias de países sudamericanos, como Mendoza, donde la disponibilidad de información es escasa, el enfoque *top-down* utilizado por COPERT III es el más adecuado para estimar las emisiones del transporte rodado (Tuia y colaboradores, 2007). Se implementó COPERT III teniendo en cuenta que, más allá de la similitud de las flotas argentinas y europeas, existen grandes diferencias respecto en edad las flotas y en las prácticas de mantenimiento de los vehículos (D'Angiola y colaboradores, 2010).

La flota vehicular, tabla 1, se distribuyó en 4 clases y 28 categorías en función del tipo de vehículo, el tipo de combustible, el tamaño del vehículo y los sistemas de alimentación de combustible y control de los gases de escape. Los factores de emisión (FE) de COPERT III se utilizaron para todos los vehículos excepto para los alimentados a GNC. Para estos vehículos, se derivaron FE específicos a partir de los resultados obtenidos en dos estudios locales de mediciones de emisiones (ARPEL 2005; Vasallo 2000).

COPERT utiliza la velocidad media de recorrido para caracterizar diferentes condiciones de manejo. En este trabajo, se consideraron tres tipos diferentes de condiciones de manejo asociadas a tres jerarquías de calle: a) Autopistas:

| Clase | Número de vehículos | Porcentaje según combustible utilizado | | |
|------------------|---------------------|--|----|-----|
| | | N | GN | GO |
| Pasajero liviano | 242.544 | 35 | 38 | 27 |
| Carga liviano | 66.152 | 10 | 25 | 65 |
| Carga pesado | 24.038 | - | - | 100 |
| Buses | 980 | - | - | 100 |

Tabla 1. Composición de la flota vehicular de Mendoza para el año 2006.

calles que conectan los principales pueblos que componen el área metropolitana, con alta imposición de tráfico, sin semáforos y con una velocidad media alta (70-100 km/h); b) Primarias: calles principales que conectan importantes distritos urbanos, con alta densidad vehicular, con semáforos regulando la mayor parte de las intersecciones y con una velocidad media baja (20-30 km/h).; c) Secundarias: calles residenciales con baja densidad vehicular, muy pocos semáforos pero con presencia de limitadores de velocidad como badenes o lomos de burro y con una velocidad media baja (25-35 km/h). La velocidad media en las calles de cada jerarquía se estimó a partir de datos recolectados en un grupo de vehículos equipados con unidades de posicionamiento global (GPS) (D'Angiola y colaboradores, 2010). Los kilómetros recorridos anualmente por cada vehículo, necesarios para obtener la actividad anual de la flota, se obtuvieron a partir de la encuesta origen-destino realizada en la ciudad en el año 2005. La distancia recorrida en calles de cada jerarquía por los vehículos de las distintas clases se utilizó como una forma implícita de distribución espacial. Existen enfoques más simples para distribuir las emisiones del tráfico (Tuia y colaboradores, 2007) pero la asignación diferenciada de la actividad vehicular y de la composición de la flota a diferentes jerarquías de calle puede mejorar significativamente la distribución espacial de las emisiones (Osses de Eicker y colaboradores, 2008). La cantidad total de emisiones estimada para autopistas, calles principales y calles secundarias se distribuyó en los correspondientes segmentos de manera proporcional a la longitud de los mis-

mos. Luego, las emisiones de cada segmento fueron asignadas a celdas de 500 m x 500 m utilizando herramientas GIS.

Modelado regional del Área Metropolitana del Gran Mendoza

La circulación valle-montaña domina el transporte de gran alcance en el Área Metropolitana del Gran Mendoza, de manera que no solamente los niveles de contaminación locales, sino también los regionales son afectados por estos patrones de mesoescala. Con el objeto de estudiar la distribución espacial de los contaminantes primarios y secundarios en el norte de la Provincia de Mendoza, se utilizó el modelo WRF/Chem (Weather Research and Forecasting model with Chemistry). Se trata de un novedoso modelo químico de transporte (CTM, Chemical Transport Model) que permite realizar la modelación acoplada de la química y la meteorología utilizando un único sistema de coordenadas horizontales y espaciales (Grell y colaboradores, 2005). Esto permite configurar una amplia gama de parametrizaciones químicas y físicas sin necesidad de interpolarlas en dominios espacio-temporales diferentes. El modelo WRF/Chem posee una estructura modular que permite considerar una variedad de procesos fisicoquímicos acoplados como son: el transporte, la deposición, la emisión, la transformación química, la interacción con los aerosoles, los procesos de fotólisis, la transferencia radiactiva, etc.

Se definieron tres dominios anidados con 28 niveles verticales para realizar el downscaling de las propiedades químicas y físicas de la atmósfera. El dominio menor cubre en norte de la Provincia de Mendoza (resolución de 4 km, 200 km N/S x 160 km E/W), incluyendo el centro urbano. Debido a la geografía compleja de Mendoza, se modificó la configuración del módulo de entrada WPS (WRF Preprocessing System), incluyendo la representación de elevación de terreno provista por la misión Shuttle Radar Topography Mission SRTM3 (Rodríguez y colaboradores, 2005). Esto permite obtener una resolución espacial de aproximadamente 90m x 90m, diez veces mejor que la de mayor resolución global incluida en WPS por defecto. Los datos estáticos de tipo y usos de suelo (LULC, Land Use Land Cover) fueron ampliamente mejorados utilizando mapas desarrollados por distintas instituciones (Direc-

ción de Ordenamiento Territorial de Mendoza (DOADU), Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Universidades Nacionales, etc.; (Cruzate y colaboradores, 2007; Puliafito y Allende, 2007a,b; D.O.A.D.U., 2009). Los campos presentes en los distintos mapas fueron unificados utilizando un GIS, asignándoles a cada sector una de las 24 categorías de uso de suelo definidas por USGS (United States Geological Survey).

El inventario de emisiones fue desarrollado de manera similar al explicado en la sección precedente, y adaptado a los requerimientos de formato de WRF/Chem. Para ello se adaptó la rutina "emiss_v3", originalmente desarrollada para procesar las emisiones de la base de datos de U.S. National Emissions Inventory (NEI; U.S. EPA, 2005). Las condiciones iniciales y de contorno para las concentraciones fueron tomadas del modelo químico global MOZART (Emmons y colaboradores, 2010). Se utilizó un período de 24 horas como *spin up* (transitorio) para el dominio más pequeño y los esquemas de parametrizaciones físicas por defecto incluidos en el modelo en todas las corridas (Pekham y colaboradores, 2010).

Modelado de Calidad de Aire en Bahía Blanca

Bahía Blanca (38° S, 62°W; 90 metros s.n.m.; 300.000 habitantes) es una de las ciudades portuarias más importante de la Argentina, siendo la cabecera del sudoeste de la Provincia de Buenos Aires, con una producción agrí-

cola ganadera, y centro de grandes empresas industriales y petroquímicas. El área urbana ha presentado un crecimiento económico significativo acompañado por un aumento de la contaminación atmosférica producto de la actividad industrial y vehicular. Las concentraciones de varios gases (NOx, CO, NH3) y material particulado han sido monitoreadas por la autoridad ambiental local desde el año 1997.

Bahía Blanca posee una refinera de petróleo y varias industrias químicas altamente desarrolladas, producto de grandes inversiones, particularmente destinadas a la expansión de la producción de fertilizantes y plásticos primarios. Un complejo industrial ubicado hacia el sur del centro urbano cuenta con tres tipos de industrias: industrias de petróleo, petroquímicas y químicas. Asimismo, una central térmica, operada parcialmente con gas natural y con diesel oil, se encuentra ubicada fuera del polo, hacia el SW del centro urbano y es la principal contribuyente a las emisiones de SO2 en la zona. A lo largo de la costa noroeste de la bahía, hay una serie de pequeños puertos dedicados a la concentración de cereales y contenedores de granos, aceite y urea.

Las emisiones industriales son conocidas y fueron provistas por la autoridad ambiental local (CTE, 2003). Estos datos reflejan el escenario de emisión actual, obtenido a través de declaraciones juradas y balances de masa asociados a factores de emisión específicos. Todas las emisiones se asociaron a 57 fuentes puntuales. Se estimaron las emisiones de NOx, SO2 y NH3

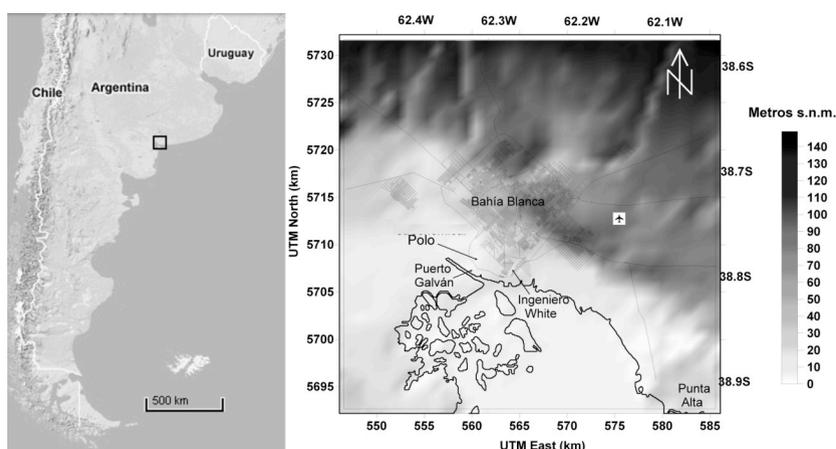


Fig. 3. Ubicación geográfica del dominio de modelado sobre la ciudad de Bahía Blanca. Ala derecha, detalles de principales accesos, el complejo industrial y el área portuaria

debido al transporte (automotor, ferroviario y naval) utilizando el modelo de emisión top-down COPERT III, de manera similar al caso de estudio de Mendoza. Las emisiones del transporte de carga ferroviario se estimaron usando los factores de emisión específicos para el combustible y el número de operaciones realizadas. Se calcularon las emisiones de actividades marítimas estimando el número de operaciones portuarias, el tiempo de espera en puerto y factores de emisión genéricos. Para el cálculo se usó la metodología sugerida de CORINAIR (EMEP/EEA, 2009). La suma de todas las emisiones móviles se distribuyó espacialmente utilizando un GIS, en grillas regulares de 500m x 500m, cubriendo todo el dominio de modelado. Las emisiones de transporte se incluyeron en el modelo de dispersión como fuentes de área. Las emisiones residenciales y fugitivas se estimaron de igual forma que para Mendoza.

El dominio de modelado se ubica al sur de la Provincia de Buenos Aires, incluyendo la ciudad de Bahía Blanca y el sector portuario de Ingeniero White. El dominio cubre un área de 1600 km², entre 38,5° y 39,0° S y 62° y 62,5° O, en una región plana con elevaciones hasta 150 m, incrementándose hacia el NE (Fig. 3). La grilla horizontal empleada es de 1 km de resolución. El clima de la zona es continental, con temperaturas promedio templadas (15,5°C) y precipitaciones de 620 mm/año. La circulación local se caracteriza por vientos medios de 5,3 m/s, con un 3% de calmas. Los vientos predominantes son del sector N-NNW.

Modelado de Calidad de Aire en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires

La Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA) forma parte de uno de los conglomerados urbanos más grandes de América Latina. Este aglomerado urbano cubre un área de 202 km² dividida en 48 unidades territoriales o barrios con un total de 3.050.700 habitantes. Está ubicado en la región centro-este de la Argentina, sobre la orilla occidental del Río de la Plata, en plena llanura pampeana. La Fig. 4 muestra la ubicación del área de estudio y el dominio de modelado. Este abarca un área de 25 x 25 km² entre 34,5° S y 34,7° S de latitud y 58,3° W y 58,6° W de longitud. Se trata de una región plana con elevaciones de terreno de hasta 40 metros, incrementándose hacia el SW.

Para simular los campos meteorológicos se usó el modelo regional WRF (Weather Research and Forecasting; Michalakes y colaboradores, 2004). Se utilizó un preprocesador offline (CALWRF) para inicializar CALMET, introduciendo datos horarios de superficie y parámetros de la capa límite planetaria, derivados de las salida de WRF. Se incluyeron también observaciones de superficie de la estación del Servicio Meteorológico Nacional ubicada en Aeroparque (34°34' S, 58°30' W). Se seleccionaron 10 niveles verticales, a alturas de 20, 40, 80, 160, 300, 600, 1000, 1500, 3000 y 5000 metros.

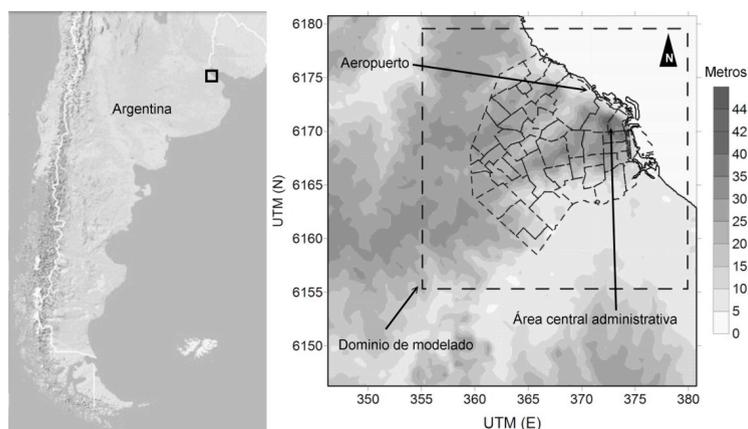


Fig. 4. Ubicación del dominio de modelado sobre la CBA. Se incluye el contorno de los barrios y las alturas del terreno sobre el nivel del mar

Existen en el área de estudio cuatro centrales térmicas, tres en la CABA (Costanera, Nuevo Puerto y Puerto Nuevo) y una adicional en la zona de Dock Sud (Central Dock Sud) con una capacidad de generación total de 4.982 MW y utilizando como combustible gas natural, gasoil y fueloil. Las emisiones totales de dichas fuentes se estimaron según la metodología sugerida en CORINAIR; y en IPCC, utilizando factores de emisión específicos para cada tipo de combustible y potencia instalada. Los datos de actividad eléctrica se tomaron de la Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico (CAMMESA, 2010).

Asimismo, se consideró necesario incorporar las fuentes industriales cercanas a la CABA. El Polo Petroquímico de Dock Sud es un aglomerado de 42 empresas industriales que ocupa 380 hectáreas entre el canal Dock Sud y el Río de la Plata, en el Partido de Avellaneda. Entre las fuentes industriales se destacan, por su envergadura, dos refinerías de petróleo, ocho plantas de recepción y almacenaje de petróleo y sus derivados, cuatro plantas de recepción y almacenaje de productos químicos, además de industrias de procesos varios, empresas de transporte, amarres, areneras y estaciones de servicio. Las emisiones gaseosas provenientes de dichas empresas se encuentran registradas y fueron tomadas de JICA (2002) y Tarela y Perone (2002).

La estimación de las emisiones de contaminantes del sector transporte fueron determinadas previamente utilizando un análisis *bottom-up* de acuerdo a lo detallado en Pérez Gunella y colaboradores (2009). En este esquema, se partió del conteo de tráfico en numerosas calles y se procedió a la determinación de la cantidad y clase de vehículos que circulan por cada tipo de avenida usando datos propios, del Gobierno de la CABA o de la División Tránsito de la Dirección Nacional de Vialidad (DNV 2010). Luego, se realizó una distribución espacial de población y actividades que demandan una utilización del transporte, como son los centros industriales, comerciales, educacionales o gubernamentales. Las emisiones del sector transporte están en directa vinculación con las variaciones temporales de los flujos vehiculares en las arterias de la ciudad. Generalmente, durante los días laborables, se presentan dos horas pico bien definidas, una entre las 8h y 9h y otra entre las 19h y 21h.

Las emisiones de las fuentes residenciales se estimaron utilizando los registros totales de consumo de gas natural y de Gas Licuado de Petróleo (GLP) de la Dirección de General Estadísticas y Censos de la CABA (2010). La distribución espacial de las mismas se relacionó con la distribución de la población en el territorio. Para ello se emplearon datos de densidad de población disponibles por barrio, y el porcentaje de población total con Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI), como indicador de nivel socioeconómico, disponible por distrito escolar, sobre una grilla de emisión con resolución de 300m. El perfil de variación mensual de consumo de combustibles se utilizó para desagregar temporalmente las emisiones, siendo variable durante el año, con mayor demanda en los meses de invierno. El consumo horario se caracterizó con una curva de demanda típica diaria de gas natural, sugerida por la Sociedad de Ingenieros en Petróleo para el diseño de gasoductos (Álvarez y colaboradores, 2004). Para el GLP se definió el mismo perfil que para el gas natural.

Resultados y Discusión

Calidad del aire en Mendoza

Las emisiones vehiculares de PM10 directas e indirectas corresponden al 61% del total de las emisiones de partículas. De estas, 37% corresponden a polvo resuspendido por los vehículos, 21% a emisiones de escapes de combustión y 3% de otras emisiones. Las emisiones industriales suman 38% y las emisiones fugitivas el 3% restante. En una base anual, la contribución de las emisiones fugitivas es muy baja, pero muy relevante durante episodios de fuertes vientos. En la Fig. 5 se muestran las concentraciones modeladas de PM10 con CALPUFF, las cuales presentan sus máximos en la zona céntrica de la ciudad (70-80 $\mu\text{g m}^{-3}$) y disminuyen de forma concéntrica a medida que aumenta la distancia al centro. Gráficos similares pueden realizarse para los demás gases contaminantes. La influencia de fuentes móviles es predominante en esta zona. El mapa de concentraciones presenta un desplazamiento hacia el norte respecto de los puntos de mayores emisiones debido a la mayor frecuencia de vientos provenientes desde el sur durante el mes de junio. En el sector sur-oeste del dominio de modelado, se observa la influencia de varias fuentes industriales en la pluma de

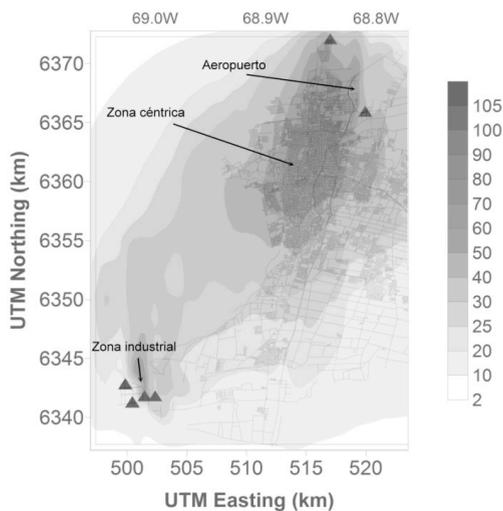


Fig. 5. Concentraciones promedio diarias de PM10 en $\mu\text{g m}^{-3}$ simuladas con CALPUFF para junio 2009. Los triángulos negros corresponden a fuentes industriales

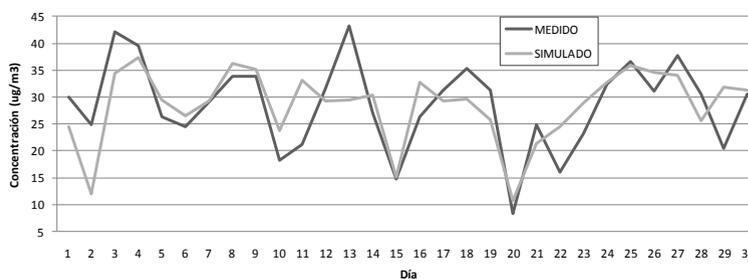


Fig. 6. Concentraciones promedio diarias de PM10 en $\mu\text{g m}^{-3}$ medidas y simuladas en el sitio donde se halla ubicada la estación de monitoreo

concentración. La Fig. 6 presenta la comparación entre las concentraciones promedio diarias modeladas y medidas en un sitio urbano para todo el mes de junio de 2009. Se puede observar que existe una buena correlación entre ambas curvas aunque algunos valores extremos no han sido correctamente simulados por el modelo. Para todo el período, la Desviación Promedio fue de $-0,06$, el Error Medio Cuadrático de $5,97$ y el índice de correlación de Willmott (d) fue de $0,91$; indicando el desempeño aceptable del modelo. Analizando las contribuciones de las distintas fuentes sobre el sitio donde se encuentra la estación de monitoreo, se confirma que las emisiones vehiculares directas e indirectas son las principales responsables de las concentraciones de PM10 en la zona céntrica de la ciudad.

Esto parece razonable dada la lejanía de las fuentes industriales y la gran circulación vehicular en el sitio elegido. Respecto a la influencia regional de las emisiones urbanas, la Fig. 7 muestra la concentración superficial de NO₂ (en ppm) durante el día (derecha) y noche (izquierda) para un día típico de primavera en Mendoza estimada con WRF/Chem. Las líneas adicionales de contorno, representan la altura de la capa límite planetaria (PBL).

La dirección de la pluma sigue los vientos predominantes en la región, es decir, durante el día, los contaminantes emitidos por la ciudad, son transportados hacia el SE, mientras que durante la noche, esa misma parcela de aire regresa hacia la ciudad, en la dirección opuesta. Los valores absolutos son mayores duran-

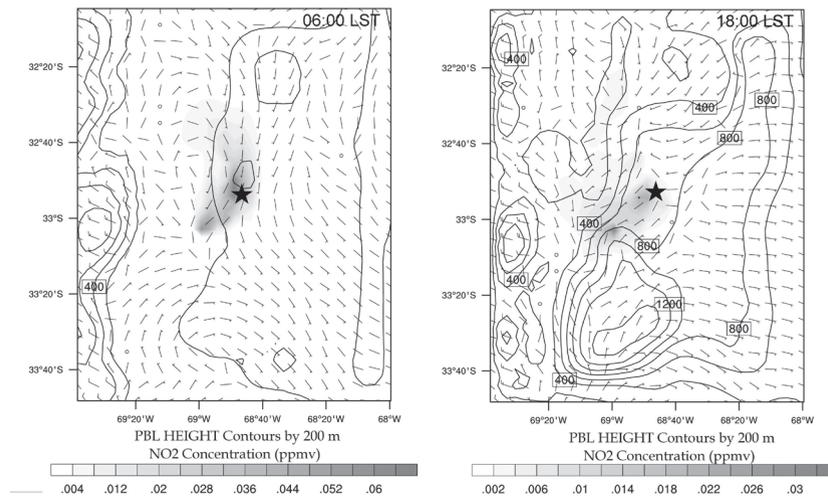
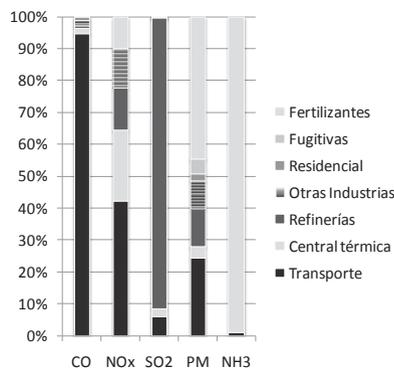


Fig. 7. Concentraciones regionales de NO₂ durante la noche (izquierda) y durante el día (derecha) para el centro urbano del Gran Mendoza, obtenidas con WRF/Chem

te la noche, principalmente, debido al menor volumen de dilución provocado por la menor altura de PBL. Mayores detalles sobre análisis de calidad de aire en el área urbana del gran Mendoza pueden hallarse en Allende y colaboradores, (2009); Castro y colaboradores, (2009); Fernández y colaboradores, (2010).

Calidad del aire en Bahía Blanca

Las emisiones estimadas para Bahía Blanca, con base en un inventario del año 2005 fueron de 23.863 toneladas de CO, 8.698 toneladas de NO_x, 3750 toneladas de SO₂, 588 toneladas de PM₁₀ y 1.435 toneladas de NH₃. La contribución de las fuentes se muestra en



la Fig. 8 (Izq.). Puede notarse que las actividades industriales (refinerías, producción de fertilizantes y otras industrias) resultan el mayor contribuidor al total emitido, excepto para CO, en el que el sector transporte es el mayor emisor. La parte derecha de la Fig. 8 muestra los promedios de 24 horas de concentración de NO_x.

En la Fig. 9 se compararon las concentraciones obtenidas con las medidas en el punto de monitoreo. Si bien las concentraciones extremas no son bien capturadas en la simulación, el modelo describe adecuadamente el comportamiento general. El modelo muestra que las concentraciones de todos los contaminantes

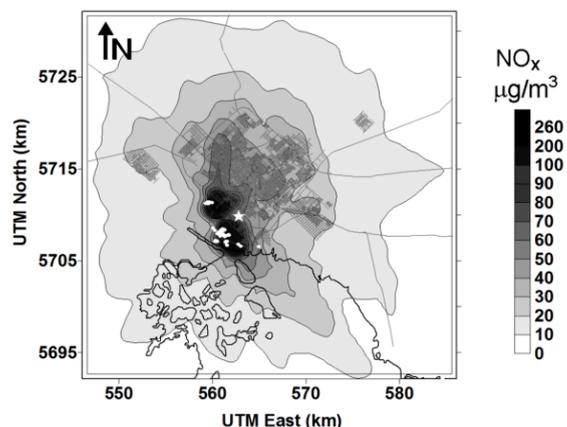


Fig. 8. (Izq.) Distribución de las emisiones para los contaminantes modelados en Bahía Blanca. (Der.) Concentración de NO_x modelada con CALPUFF para Bahía Blanca. Los puntos blancos señalan las fuentes industriales localizadas en el polo petroquímico, la estrella, el punto de monitoreo

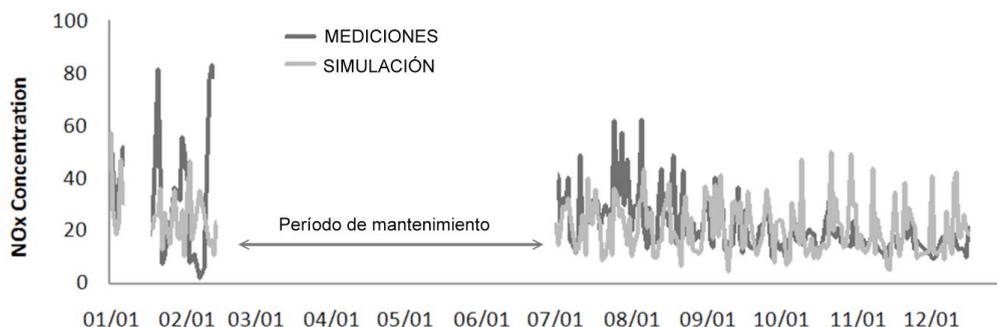


Fig. 9. Comparación entre mediciones y simulación de concentraciones de NOx, para Bahía Blanca

son mayores cerca del polo petroquímico, con excepción del CO, cuya distribución espacial se centra en la red de calles urbanas y el PM10 que está influido por todas las fuentes.

En general, la distribución de las concentraciones en esta área de estudio está moderadamente afectada por las condiciones meteorológicas, siguiendo la dirección de los vientos de superficie durante todo el período de modelado. A pesar de que el sitio está fuertemente influenciado por las industrias, su impacto no es tan significativo, debido a que las fuentes puntuales están sujetas a mayor dispersión y dilución que las emisiones debido al transporte carretero. En general, las emisiones industriales decrecen radialmente a partir de las fuentes casi en forma simétrica.

El sector transporte, es el mayor contribuyente a la calidad de aire del centro urbano de Bahía Blanca, por lo que las medidas a tomar deben enfocarse en la reducción de emisiones debido al tránsito. Mayores detalles en estudios de ca-

lidad de aire en Bahía Blanca se encuentran en Allende y colaboradores (2010); Civit y colaboradores (2008); Puliafito y Allende (2007b).

Calidad del aire en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires

La Fig. 10 (Izq.) muestra la distribución de las emisiones para la CABA. Las centrales térmicas son las mayores contribuyentes a las emisiones de SO2 y son las segundas mayores emisoras de NOx. El transporte es responsable de la mayor parte de las emisiones de NOx, alrededor de un 62% el total emitido. Asimismo, el tránsito vehicular contribuye con la mayoría de las emisiones de CO, PM10 y VOC. La Fig. 10 (Der.) muestra promedios de 24 horas para las concentraciones de NOx para la CABA. El modelo muestra que en la red de calles de la CABA se agrupan las mayores concentraciones de NOx. Las líneas de mayor isoconcentración se observan precisamente alrededor de avenidas con intenso flujo vehicular. Esto también es cierto para los otros compuestos

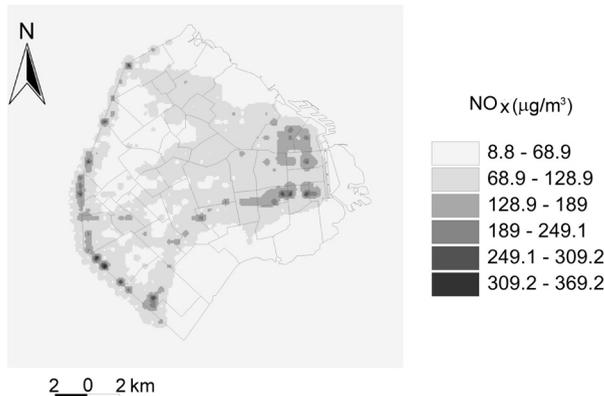
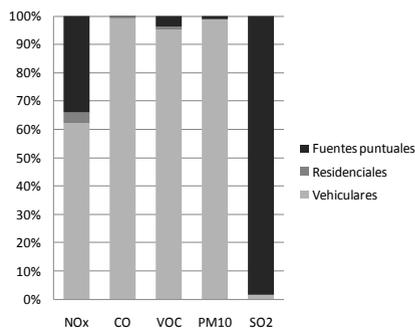


Fig. 10. (Izq.) Contribución a las emisiones de cada contaminante por tipo de fuente para la CABA. (Der.) Promedios diarios de concentración de NOx para la CABA

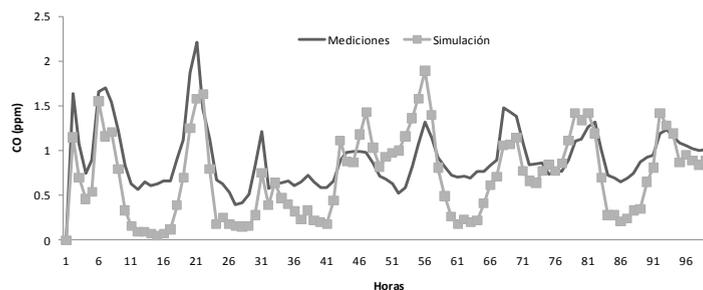


Fig. 11. Concentración de CO (ppm) simulada y medida en el puesto de monitoreo en el Peaje Troncal Riccieri

emitidos mayormente por la actividad de los vehículos. En cambio, las mayores concentraciones de SO₂ se distribuyen mayormente alrededor de las fuentes puntuales. El modelo indica asimismo que la zona central administrativa de la ciudad presenta concentraciones elevadas de todos los compuestos simulados. El desempeño de CALPUFF para la CABA se evaluó a través de la comparación de los valores simulados con los medidos durante una semana de monitoreo. El error medio absoluto entre los valores simulados y medidos fue de 0,32 ppb, y el coeficiente de correlación fue igual a 0,74.

La Fig. 11 muestra que, considerando una escala horaria, las concentraciones simuladas de CO se corresponden con los datos medidos por una estación móvil de monitoreo ubicada en el Peaje Troncal de la Autopista Riccieri como parte del "Programa Único de Monitoreo de la Contaminación del Aire en la Red de Accesos a la Ciudad Autónoma de Buenos Aires", durante el mes de agosto del año 2007 (OCCOVI Organismo de Control de Concesiones Viales, 2007). Los valores estimados de concentración para todos los compuestos modelados indican que la actividad vehicular posee una contribución importante a la calidad de aire en la CABA. El modelo muestra que en la red de calles se agrupan las mayores concentraciones de NO_x y CO. Las líneas de mayor isoconcentración se ubican precisamente alrededor de avenidas con intenso flujo vehicular.

Esto también es probablemente cierto para los otros compuestos emitidos mayormente por la actividad del tránsito. Las áreas de mayor concentración de SO₂ se verifican entre 1 y 2 km al Oeste de las centrales térmicas, alcanzando valores de hasta 170 µg m⁻³ de SO₂. Modelado

de calidad del aire para la CABA puede verse también en Allende y colaboradores (2010) y Fernández y colaboradores (2010).

Conclusiones

El propósito de este trabajo se ha centrado en la descripción y aplicación local de una serie de modelos para la evaluación de calidad del aire urbana. Si bien existe una gran variedad de herramientas disponibles, muchas de uso libre, para ser utilizadas en la investigación del impacto de las emisiones contaminantes en calidad de aire, no ha existido un criterio único en Argentina para su aplicación (Allende, 2011). El uso de MCA en Argentina permite mejorar las limitaciones relacionadas con el uso exclusivo de redes de monitoreo de contaminantes, ya que permiten la predicción de una distribución temporal y espacial de niveles de contaminación para zonas más amplias.

La metodología desarrollada se utilizó en la evaluación de calidad del aire en tres centros urbanos típicos de la Argentina, permitiendo la estimación de impactos ambientales a nivel local con el propósito de ayudar en la toma de decisiones relacionadas con la reducción de contaminación y para evaluar las interrelaciones entre fuentes de contaminantes y receptores. El desempeño de los modelos en cada centro urbano simulado se comparó con datos medidos en las únicas estaciones de monitoreo disponibles, obteniéndose buenos resultados.

Asimismo, se ha incluido un ejemplo de simulación en escala regional, donde se muestra la captura de procesos de gran escala y su influencia en la calidad del aire local. Esto permite que,

tanto las políticas de calidad de aire como los problemas ambientales a estudiar, puedan incluir la escala nacional y transfronteriza.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional

Mendoza y Facultad Regional Buenos Aires y al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas por el apoyo en las actividades de investigación. Este trabajo ha sido también parcialmente apoyado por el proyecto PICT2005 # 23-32686 de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica ANPCyT.

Referencias

- ARPEL (2005) Medición de emisiones de vehículos en servicio en San Pablo, Santiago y Buenos Aires. Informe Ambiental ARPEL Número 25.
- ALLENDE, D. G. (2011) Sistema de Modelado Ambiental Multimodo y Multiescala. Tesis Doctoral, p.131. U. N. de Cuyo. Marzo, 2011.
- ALLENDE, D. G., CASTRO, F., PULIAFITO, E. (2009) Inventario de emisiones de compuestos nitrogenados derivados de actividades agropecuarias en el Oasis Norte de la Provincia de Mendoza. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 13, pp.87-94.
- ALLENDE, D. G., CASTRO, F. H., PULIAFITO, E. (2010) Air Pollution Characterization and Modeling of an Industrial Intermediate City, *International Journal of Applied Environmental Sciences*, 5(2), pp.275-296.
- ALLENDE, D.G., CREMADES, P., PULIAFITO, E., FERNÁNDEZ, R.P., PÉREZ GUNELLA, F. (2010) Estimación de un Factor de Riesgo de Exposición a la Contaminación Urbana para la población de la Ciudad de Buenos Aires. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 14, pp.127-134.
- ÁLVAREZ, O.G., CARRANZA, H., CASANOVA, J., CASARES, C. (2004) Diseño de Gasoductos para Abastecimiento de Centrales Eléctricas in 4^o LACGEC Latin American and Caribbean Gas & Electricity Congress. Río de Janeiro, Brasil.
- CAMMESA (2010) Informe anual 2010.
- CTE (2003) Inventario de gases contaminantes y CO₂ generado por fuentes móviles para la ciudad de Bahía Blanca. Bahía Blanca.
- CASTRO, F., ALLENDE, D.G., PULIAFITO, E. (2009) Influencia de la resolución de grilla en el modelado de emisiones vehiculares. *Mecánica Computacional- Asociación Argentina de Mecánica Computacional*, XXVIII, pp.2393-2411.
- CIVIT, B.M., ARENA, A.P., ALLENDE, D.G., PULIAFITO, E.; SALVADOR, E. (2008) Determinación de la deposición ácida en Bahía Blanca, provincia de Buenos Aires. Cálculo de los factores de acidificación para su aplicación en estudios de Análisis de Ciclo de Vida in Encuentro de Investigadores y Docentes de Ingeniería 2008 - EnIDI 2008. Mendoza, Argentina.
- CRUZATE, G., GÓMEZ, L., PIZARRO, M.J., MERCURY, P. & BANCHERO, S. (2007) Mapas de suelos de la República Argentina.
- D.O.A.D.U. (2009) Dirección de Ordenamiento Ambiental y Desarrollo Urbano. En: <http://www.ambiente.mendoza.gov.ar/direcciones/doadu.php>
- D'ANGIOLA, A., DAWIDOWSKI, L.E., GÓMEZ, D.R., OSSES, M. (2010) On-road traffic emissions in a megacity. *Atmospheric Environment*, 44(4), pp.483-493.
- EMEP/EEA (2009) EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook — 2009. Technical guidance to prepare national emission inventories. Copenhagen.
- EMMONS, L. K., WALTERS, S., HESS, P. G., LAMARQUE, J., PFISTER, G. G., FILLMORE, D., GRANIER, C. (2010) Model Development Description and evaluation of the Model for Ozone and Related chemical Tracers, version 4 (MOZART-4). *System*, 43-67.
- FERNÁNDEZ, R.P., CREMADES, P., ALLENDE, D.G., PULIAFITO, E. (2010) Sensitivity analysis of the spatial and altitude distributions of pollutants using the Weather Research and Forecasting Model with Chemistry (WRF/Chem). *Mecánica Computacional*, XXIX, pp.8087-8108.
- FOWLER, D. ET AL. (2009). Atmospheric composition change: Ecosystems-Atmosphere interactions. *Atmospheric Environment*, 43(33), pp.5193-5267.

- GRELL, G.A., PECKHAM, S. E., SCHMITZ, R., MCKEEN, S. A, FROST, G., SKAMAROCK, W. C., & EDER, B. (2005) Fully coupled "online" chemistry within the WRF model. *Atmospheric Environment*, 39(37), 6957-6975.
- IPCC (2006) Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Hayama, Kanagawa JAPAN. En: <http://ipcc-nggip.iges.or.jp>.
- IPCC (2007) Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- JICA (2002) Estudio o Línea de Base de Concentración de Gases Contaminantes en Atmósfera en el área de Dock Sud en Argentina. Buenos Aires.
- MICHALAKES, J., DUDHIA, J., GILL, D., HENDERSON, T., KLEMP, J., SKAMAROCK, W., WANG, W. (2004) The Weather Research and Forecast Model: Software Architecture and Performance.
- MULLER, N.Z. & MENDELSON, R. (2007) Measuring the damages of air pollution in the United States. *Journal of Environmental Economics and Management*, 54(1), pp.1-14.
- NTZIACHRISTOS, L., SAMARAS, Z., KOURIDIS, C. (2000) COPERT III Computer programme to calculate emissions from road transport. Copenhagen.
- OAQPS 1977. Guideline for development of control strategies in areas with fugitive dust problems. EPA-405/2- 77-029.
- OCCOVI (2007) Informe anual Autopistas del Sur. En: <http://www.occovi.gov.ar/prensa/estadistica.html>.
- OSSES DE EICKER, M., ZAH, R., TRIVINO, R. & HURNI, H. (2008) Spatial accuracy of a simplified disaggregation method for traffic emissions applied in seven mid-sized Chilean cities. *Atmospheric Environment*, 42(7), pp.1491-1502.
- PECKHAM, S.E., GRELL, G.A., MCKEEN, S.A., EASTER, R.C., CHAPMAN, E. (2010) WRF/Chem Version 3.2 User's Guide. National Center for Atmospheric Research, Boulder CO.
- PÉREZ GUNELLA, F., PULIAFITO, SALVADOR, E., PIRANI, K. (2009) Calculo de las emisiones del transporte para la Ciudad de Buenos Aires usando un Sistema de Información Geográfico. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 13, pp.57-64.
- PULIAFITO, E., ALLENDE, D.G. (2007a) Calidad de aire en ciudades intermedias. *Revista Proyecciones- UTN-FRBA*, 2, pp.33-52.
- PULIAFITO, E., ALLENDE, D.G. (2007b) Emission patterns of urban air pollution. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 42, pp.38-56.
- PULIAFITO, E., CASTRO, F., ALLENDE, D.G. (2011). Air quality impact of PM10 emission in urban centers. *International Journal of Environment and Pollution*, (en prensa).
- RODRÍGUEZ, E., MORRIS, C. S., BELZ, J. E., CHAPIN, E. C., MARTIN, J. M., DAFFER, W., HENSLEY, S. (2005) An assessment of the SRTM topographic products, Technical Report JPL D-31639 (p. 143). Pasadena, California.
- SCIRE, J.S., STRIMAITIS, D.G., YAMARTINO, R.J. (2000) A User's Guide for the CALPUFF Dispersion Model.
- TARELA, P.A., PERONE, E.A. (2002) Air Quality Modeling of the Buenos Aires Metropolitan Area. USA.
- TUIA, D., DE EICKER, M. O., ZAH, R., OSSES, M., ZARATE, E., CLAPPIER, A. (2007) Evaluation of a simplified top-down model for the spatial assessment of hot traffic emissions in mid-sized cities. *Atmospheric Environment*, 41(17), 3658-3671.
- U.S. EPA (2005) National Emissions Inventory Data & Documentation. En: <http://www.epa.gov/ttn/chief/net/2005inventory.html>
- U.S. EPA (2010) AP 42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emission Factors. En: <http://www.epa.gov/ttnchie1/ap42/>
- U.S. Geological Survey (USGS) (2010) The Global Land Cover Characterization (GLCC) Database.
- VASALLO, J. (2000) XXVII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria Ambiental in Porto Alegre, Brasil.
- ZANNETTI, P. (1990) Air Pollution Modelling. New York: Van Nostrand Reinhold.

Crecimiento y caracterización de nanopartículas de ZnS*

María Cristina Di Stefano

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Medrano 951, (C1179AAQ)
Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

mcrisdistefano@gmail.com

Recibido el 15 de Noviembre de 2011, aprobado el 15 de Febrero de 2012

Resumen

Este trabajo estudia el crecimiento y la caracterización de ZnS nanométrico. Las nanopartículas presentan una apreciable fracción de sus átomos en superficie. La efectividad de los nanomateriales se ve incrementada en un grado tal que se requiere una masa significativamente menor para lograr el efecto deseado. En el estudio se empleó el método de precipitación a partir de una solución, metodología de trabajo conocida como bottom-up, cuya ventaja consiste en que los precursores en solución se mezclan en una escala atómica. La síntesis puede hacerse en condiciones cercanas a las del ambiente lo que permite trabajar con equipos sencillos, de bajo costo y peligrosidad. Se trata de un proyecto de planta para la obtención, económicamente rentable y con un mínimo impacto ambiental.

PALABRAS CLAVE: NANOPARTÍCULAS – PRECIPITACIÓN – RX – TEM – SEM – UV – PROYECTO DE PLANTA

Abstract

This paper studies the growth and characterization of ZnS nano. The nanoparticles have an appreciable fraction of atoms on the surface. The effectiveness of nanomaterials is increased to a degree that requires significantly less mass to achieve the desired effect.

It was obtained by precipitation from a solution of soluble precursors, working methodology known as "bottom-up". The advantage of this method is that the solved precursors are mixed on an atomic scale. Synthesis can be done close to ambient conditions. This allows for simple equipment, low cost and danger. Finally, the paper presents a draft plan to obtain ZnS nano, economically profitable and with minimal environmental impact.

KEYWORDS: NANOPARTICLES – PRECIPITATION – RX – TEM – SEM – UV – DRAFT PLAN

* El presente artículo forma parte del trabajo de tesis "Crecimiento y Caracterización de Materiales Semiconductores II-V" para optar al grado de Doctora de la Universidad de Buenos Aires, área Ingeniería, bajo la dirección de la Dra. Alicia Trigubó y la codirección de la Dra. Claudia Torres.

Introducción

La búsqueda de nuevos materiales y tecnologías que den respuesta a las acuciantes necesidades de la sociedad actual es un desafío que la ingeniería está en condiciones de enfrentar. Para lo cual su foco de atención debe abocarse al reto que implica la investigación en el tema.

El ingeniero es un profesional que ha recibido los conocimientos teóricos y prácticos necesarios para resolver los problemas de su incumbencia. Su formación le permite responder a las demandas de la sociedad, con la versatilidad necesaria para enfrentar cambios profundos e imprevisibles. A conceptos que le eran afines, tales como costo, calidad, utilidad, ha sumado el desarrollo de una conciencia ecológica, fundamentada en principios éticos, que no permiten la menor distracción. Los recursos no son infinitos y nuestro entorno requiere de mayor compromiso.

Ante este desafío, la ingeniería se pone a investigar en un área no tradicional pero que es capaz de encarar para enfrentar problemáticas nuevas con soluciones nuevas. Hoy sabemos que el progreso de la tecnología se asocia con la disponibilidad de los materiales adecuados.

¿Está en el desarrollo de nuevos materiales la respuesta a nuestra acuciante realidad? Sin duda, será parte de la solución.

El crecimiento de materiales en dimensiones nanométricas permite aplicar los efectos del confinamiento cuántico. Es posible modificar las propiedades ópticas y eléctricas de las partículas variando sus dimensiones (Torchynska, 2009).

Existen dos técnicas para hacer estructuras nanométricas. La técnica de "arriba hacia abajo", que comienza con objetos grandes que son paulatinamente reducidos a nanoescala, y la técnica de "abajo hacia arriba", que se inicia con partículas más pequeñas que se combinan hasta alcanzar el tamaño nanométrico (átomos, iones, moléculas, nanocristales). Ambas son conocidas como *top-down* y *bottom-up*, respectivamente.

El método de síntesis desde una solución, corresponde a la metodología *bottom-up*. Se trata de la técnica más conveniente para su implementación a escala industrial y puede realizarse en un reactor tipo tanque, según la cinética del

agitado ideal. La ventaja de este método es que los precursores en solución se mezclan en una escala atómica, muy móviles, la difusión es rápida y las distancias pequeñas. La síntesis puede hacerse en condiciones cercanas a las del ambiente (no requiere temperatura o presiones extremas). Esto permite trabajar con equipos sencillos, de bajo costo y peligrosidad.

Las etapas básicas en estos procesos son:

- 1.- Solvatar las especies reactivas y los aditivos (estabilizadores)
- 2.- Formar núcleos estables a partir de la solución
- 3.- Controlar el crecimiento de estos núcleos

El objetivo es generar la formación simultánea de una gran cantidad de núcleos estables, que experimenten poco crecimiento adicional. Si esto se logra, las partículas estarán dispersas y su tamaño será nanométrico.

Parte experimental

El ZnS se obtuvo por precipitación. Como precursor del Zn se usó $ZnCl_2 \cdot 2H_2O$ (15 mmol) y, como precursor del S, tiourea (15 mmol). El solvente utilizado fue etilenglicol (EG) 99% (Sigma Aldrich). El $ZnCl_2 \cdot 2H_2O$ y 10 ml de solución 20% de hidróxido de tetra metil amonio (HTMA) se disolvieron en 100 ml de EG y se llevaron a 100°C, con agitación constante. En otro recipiente, la tiourea fue disuelta en 100 ml de EG y llevada a 100°C. Las dos soluciones se mezclaron y bajo constante agitación, se llevó la mezcla a 130°C. El pH de la solución se ajustó al

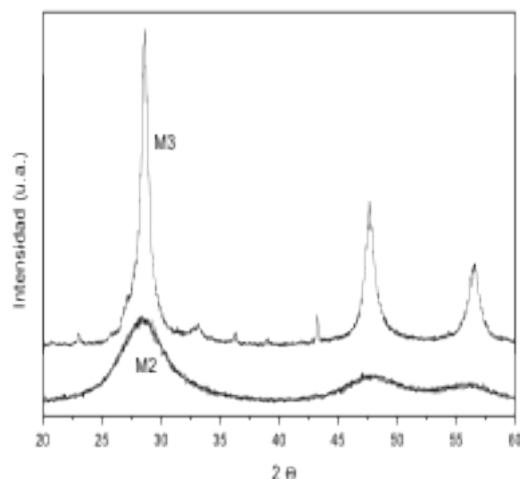


Fig. 1. XRD de las muestras obtenidas por el método termodinámico con 1h y 3h de crecimiento

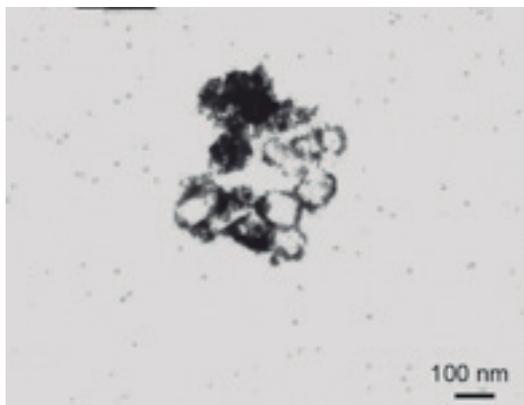


Fig. 2. Micrografía por TEM de la muestra obtenida por el método termodinámico con 1h de crecimiento

valor de 9, mediante el agregado de soluciones diluidas de HCl y NaOH (Kortan et al, 1990). Se recogieron alícuotas a los 30 minutos, 1 hora y 3 horas de iniciada la reacción.

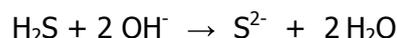
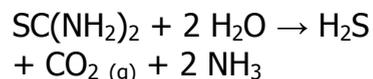
Se siguieron dos métodos distintos de crecimiento, que difieren en la modalidad de mezclado: crecimiento controlado, verificando la estabilidad de los parámetros con el agregado de cada gota (método termodinámico), y rápido, corrigiendo directamente el estado final de la mezcla (método cinético). Las muestras obtenidas mediante el método termodinámico se denominaron M1, M2 y M3, corresponden a 30 minutos, 1 hora y 3 horas respectivamente, las obtenidas mediante el método cinético M10, M11 y M12, con igual relación en cuanto a los tiempos de reacción.

Las muestras se caracterizaron mediante difracción de rayos X (XRD), microsonda electrónica dispersiva en energía (EDXS), microscopía electrónica de barrido (SEM) y de transmisión (TEM), operado a 100 kV con filamento de W (Philips EM300). Se estudió la absorción UV de dispersiones en metanol, la fotoluminiscencia y los efectos de dispersión de luz.

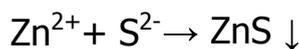
El proceso de obtención responde a las siguientes ecuaciones:



Hidrólisis de la tiourea en medio básico:



Precipitación de ZnS:



En la Fig. 1 se observa que en M1 (no mostrado aquí) el tamaño de partícula es tan pequeño que sólo se distingue el pico a $28,22^\circ$, correspondiente al plano (111) (esfalerita). El resto del difractograma no permite observar crecimiento cristalino.

Para M2 y M3 se distinguen los picos correspondientes a los planos (111), (220) y (311) (esfalerita).

En M3 se observan también cuatro picos de muy baja intensidad que corresponden a ZnS en la forma cristalina wurtzita. La precipitación de las dos formas cristalinas, esfalerita y wurtzita, es frecuente cuando se trabaja con material nanocristalino (Motlan et al, 2007).

Estos picos corresponden a los planos (103), (211) y (212). El cuarto pico, ubicado en el ángulo $43,51^\circ$, no corresponde a un plano identificado dentro de la estructura cristalina wurtzita. En la Fig. 2 (micrografía por TEM) se observa la presencia de aglomerados de nanopartículas.

En el estudio de la composición a partir de EDS se verifica que M1 presenta una relación Zn:S estequiométrica, mientras que en M2 y M3 es superior a 1, indicando la presencia de vacancias superficiales de S^{2-} situación que suele darse en las nanopartículas.

Las figuras 3 y 4 muestran los difractogramas

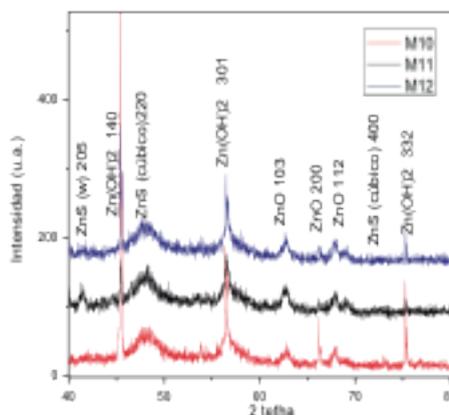


Fig. 3. XRD de las muestras obtenidas por el método cinético con 0,5 h, 1 h y 3 h de crecimiento, 1ª parte

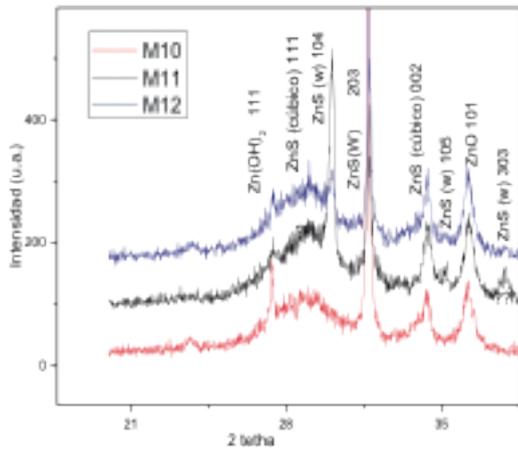


Fig. 4. XRD de las muestras obtenidas por el método cinético con 0,5h, 1h y 3h de crecimiento, 2ª parte

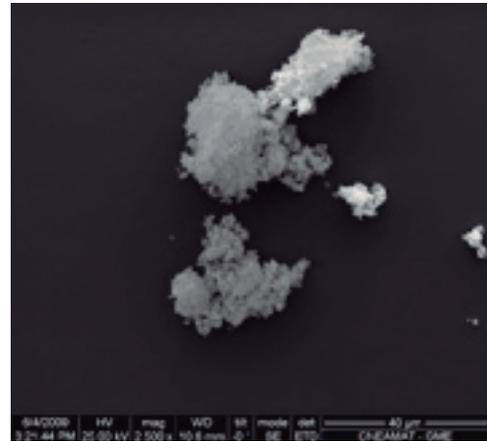


Fig. 5. Imagen SEM de la muestra obtenida por el método cinético con 0,5h de crecimiento

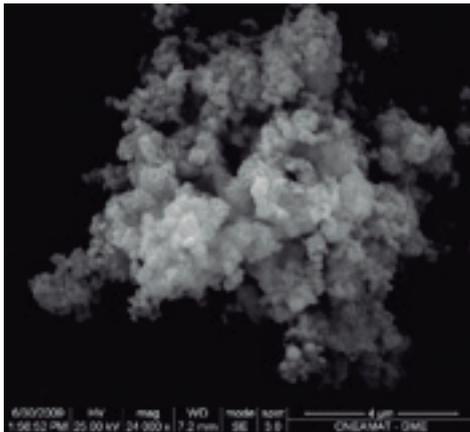


Fig. 6. Imagen SEM de la muestra obtenida por el método cinético con 1h de crecimiento

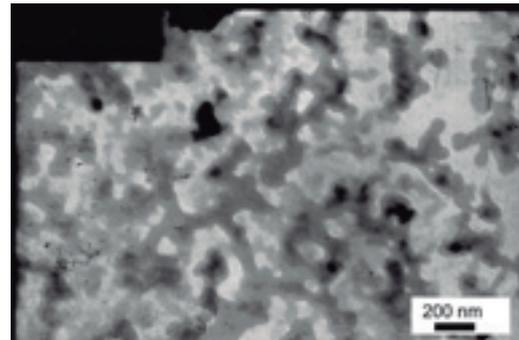


Fig. 7. Crecimiento espinodal de la muestra crecida por el método cinético con 0,5h de crecimiento



Fig. 8. Patrón de difracción de electrones de la muestra obtenida por el método cinético con 0,5h de crecimiento, según plano [0001]

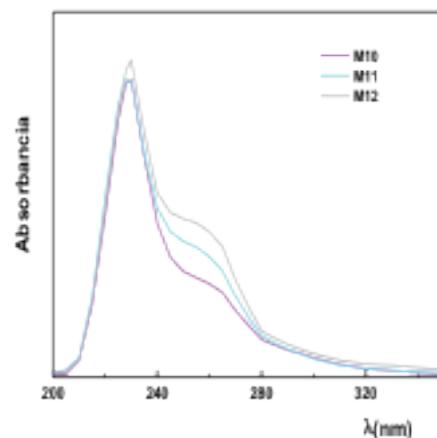


Fig. 9. Absorción UV de de las muestras obtenida por el método termodinámico con 0,5h, 1h y 3h de crecimiento respectivamente

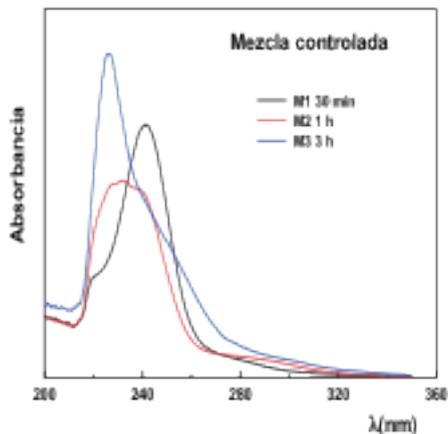


Fig. 10. Absorción UV de las muestras obtenidas por el método cinético con 0,5h, 1h y 3h de crecimiento respectivamente

de las muestras crecidas por el método cinético. El XRD de M10 muestra la presencia de partículas de ZnO, Zn(OH)₂ y ZnS (wurtzita) de mayor tamaño (250 nm) y una base de partículas nanométricas de ZnS (esfalerita). La formación de Zn(OH)₂ y ZnO se debe a la precipitación rápida, que no permite controlar estrictamente el pH. Un pH elevado y la precipitación rápida son condiciones convenientes para obtener nanopartículas pero pueden formar productos secundarios (Nanda et al, 2000).

El estudio SEM de las muestras permite observar el aglomerado de partículas nanométricas, Fig. 5 y 6.

La imagen TEM de M10 muestra un crecimiento espinodal en esta primera parte de la reacción, sin barrera de nucleación, Fig. 7.

Además se observa la presencia de plaquetas (denominadas dominios en el crecimiento espinodal), de aproximadamente 60 nm, formación característica de los compuestos del Zn, de estructura hexagonal. La difracción de electrones (ver Fig. 8) determinó que se trata del plano (0001) de dicha estructura. Estas estructuras son las que en DRX dan los picos delgados.

De los valores de composición obtenidos a partir del EDS, se verificó una relación 2:1 en la composición molar Zn:S, consistente con la formación inicial de partículas grandes de ZnO y Zn(OH)₂, si bien escasas en número, signifi-

cativas en cuanto a su masa. El EDX de M12 dio una relación Zn:S de 1.3:1, indicando el posible aumento de ZnS.

Se separaron las partículas de mayor tamaño obtenidas (óxido, hidróxido y ZnS (wurtzita)) mediante el empleo de filtros Millipore, con tamaño de poro 100 nm.

La Fig. 9 muestra las curvas de absorción UV de las muestras M1, M2 y M3. El pico de absorción de M1 se centra en 240 nm lo que corresponde a un ancho de *gap* de 5,1 eV. En el caso de M3, el pico está en 227 nm (5,5 eV). En M2 se obtiene una superposición de picos que dan una especie de meseta que se extiende entre 227 y 240 nm, indicando un estado de transición entre M1 y M3. Los anchos de banda determinados son del orden de los calculados por EMA (Effective Mass Aproximation) para partículas de alrededor de 2 nm. El pico bien definido obtenido a las 3 horas de crecimiento, a 227 nm, denota la estabilidad del sistema al alcanzar el equilibrio. Fig. 9 y 10.

En el caso de las muestras obtenidas por el método cinético filtradas (Fig. 10), las curvas de absorción UV presentan un máximo en 230 nm, valor aproximado al obtenido para M3. Se observa que no hay cambios notables en las mismas según el tiempo de reacción, lo que indicaría que a los 30 minutos de reacción se alcanza un tamaño de partícula que no progresa en el tiempo.

Proyecto de planta

Se adjunta el diagrama correspondiente. Los requerimientos energéticos son mínimos, sólo los necesarios para el funcionamiento de los equipos.

No existe en la actualidad ninguna planta que elabore ZnS nanométrico. No se ha podido hacer una evaluación de costos que permita considerar el aspecto económico, pero dado el precio de estos materiales y el desarrollo que en un futuro próximo tendrán, la inversión está ampliamente justificada.

El proceso en la planta diseñada es discontinuo, con una duración total estimada de 4 h. Se eligió, para el proceso de crecimiento, una hora de residencia en el reactor, de acuerdo con el valor determinado previamente como el óptimo.

Todos los valores de operación corresponden a los determinados a partir del estudio del crecimiento en laboratorio.

La producción es de 1 kg de polvo, 80 kg de suspensión 5%, 40 kg de suspensión 10% y 30 kg de suspensión 20%. Los reciclos permiten disminuir el impacto ambiental, debido a la generación de efluentes, y aumentar el rendimiento.

Los reactivos no son corrosivos, por lo que el material de los equipos puede ser un acero económico.

En el primer tanque mezcla, la temperatura se alcanza mediante un serpentín interno.

En el reactor se emplea una camisa calefactora debido a la precipitación del ZnS. La temperatura a alcanzar es moderada (70°C). El reactor responde a la cinética del agitado ideal (RTIA). El proceso discontinuo permite un control sencillo y eficiente de los parámetros del proceso.

Las dimensiones de los equipos son las siguientes:

- Tanque de disolución de la tiourea (F-01): 150 dm³
- Reactor (F-02): 400 dm³
- Tanque lavador (F-03): 500 dm³
- Tanque lavador (F-04): 400 dm³
- Almacenamiento suspensión 5% (V-01): 150 dm³
- Almacenamiento suspensión 10% (V-02): 100 dm³
- Almacenamiento suspensión 20% (V-03): 100 dm³
- Almacenamiento polvo (V-04): 20 dm³
- Hidrociclones (C-01, C-02, C-03): 400 dm³
- 1º Evaporador (EV-01): capacidad de evaporación de 110 kg de agua
- 2º Evaporador (EV-02): capacidad de evaporación de
- 35 kg de agua
- 3º Evaporador (EV-03): capacidad de evaporación de
- 3 kg de agua
- Secador spray (M-01): capacidad de secado para 2 kg de suspensión 50%

Conclusiones

La obtención de ZnS nanocristalino a partir de una suspensión coloidal, empleando ZnCl₂·2H₂O y tiourea como precursores, es un método conveniente. El HTMA fue efectivo como agente surfactante. El pH mantenido en el valor de 9 permite obtener nanopartículas, pero es necesario no exceder ese valor para evitar la precipitación de partículas de Zn(OH)₂ y ZnO. Esto puede controlarse mezclando las soluciones de precursores lentamente, controlando estrictamente el valor de los parámetros de crecimiento. Pero de este modo se obtienen escasos centros de crecimiento. El método de precipitación rápida genera múltiples núcleos de cristalización, pero no permite un estricto control de las condiciones de crecimiento. Esto origina la formación de sustancias no deseadas, que es necesario eliminar por filtración.

El tiempo de crecimiento permite estabilizar el sistema, siendo el óptimo alrededor de 1h. Los estudios estructurales y de caracterización verificaron la obtención de un material estable y de alta pureza.

Respecto del impacto ambiental, la nanoingeniería está naciendo. Dada la extrema novedad de esta actividad, no existen aún estudios exhaustivos acerca de los riesgos involucrados. El desarrollo sustentable y el cuidado y preservación del medio ambiente son áreas en las que la nanotecnología aporta soluciones, pero es necesario controlar que no genere nuevos problemas. Estos estudios a largo plazo, aún pendientes, permitirán identificar los peligros potenciales que puedan surgir y los caminos adecuados para encontrar una solución. Será necesaria la creación de nuevos estándares de toxicidad que tengan en cuenta los efectos del tamaño sobre los riesgos ambientales y de la salud.

Agradecimientos

Deseo agradecer al Ing. Carlos Horny su colaboración al aceptar evaluar la factibilidad del proyecto de planta desarrollado, aportando al trabajo acreditada solvencia profesional.

Referencias

KORTAN, A.; HULL; OPILA, R.; BAWENDI, M.; STEIGERWALD, M.; CARROLL, P.; BRUS, L.(1990). "Nucleation and Growth of CdSe on ZnS Quantum Crystallite Seeds, and Vice Versa, in Inverse Media". J. Am. Chem Soc. 112, 1327-1332.

MOTLAN, GUANGHUA ZHU, DROZDOWICZ-TOMSIA, K.; MCBEAN, K.; PHILLIPS, M.; GOLDYS, E. (2007). "Annealing of ZnS nanocrystals grown by colloidal síntesis". Optical Materials 29 1579-1583.

NANDA, J.; SAPRA, S.; SARMA, D.; CHANDRASEKHARAN, N.; HODES, G.(2000). "Size selected ZnS nanocrystallites: synthesis, structure and optical studies". Chem. Mater. 12, 1018

TORCHYNSKA, T. (2009). Nanotechnology, "Interface status and bio-conjugation of CdSe/ZnS core-shell quantum dots", 20, 095401.

Metodología de mejora de datos de conteo de pasajeros

Sebastián Brie, Sebastián Guevara, Herman Moldován

Universidad tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires,
Medrano 951, (C1179AAQ) Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

sbrie@frba.utn.edu.ar

Recibido el 15 de Noviembre de 2011, aprobado el 20 de Diciembre de 2011

Resumen

Se presenta una metodología para mejorar la calidad del conjunto de datos de conteo de pasajeros obtenidos de sensores instalados en las puertas de ingreso y egreso de la totalidad de los vehículos de un sistema de transporte automotor.

El planteo realizado se basa en dividir el problema en tres sub-problemas independientes, cada uno de ellos asociado a distintas estructuras físicas-conceptuales del problema: puerta-vehículo-recorrido. En cada uno de estos niveles se presenta un procedimiento simple para consistir los datos y asimilar información complementaria.

La metodología descrita en el trabajo ha sido desarrollada con el objeto de servir como base para una familia de algoritmos que tome los procedimientos y conceptos aquí enunciados y los adecue a las particularidades de cada sistema de transporte.

PALABRAS CLAVE: CONTEO DE PASAJEROS - APC - CONSISTENCIA DE DATOS - SISTEMA DE TRANSPORTE PÚBLICO

Abstract

An APC (automatic passenger counters) data quality improvement methodology is presented here. The approach developed is based in dividing the problem in 3 (three) independent sub-problems, each one of them related to different physical/conceptual structures: door-vehicle-path. In each one of these levels a simple procedure is introduced for merging the data and assimilating the complementary information.

The methodology described in this work has been developed with aim to serve as a base for an entirely family of algorithms to deal with the particularities of each public transportation system.

KEYWORDS: AUTOMATIC PASSENGER COUNTERS - DATA CONSISTENCY -TRANSPORTATION SYSTEM DATA

Introducción

El crecimiento demográfico de las grandes urbes, su capacidad de tracción de gente, y el constante aumento de la movilidad han puesto a los sistemas de transporte público de pasajeros en el centro de la discusión de políticas públicas de planeamiento urbano desde hace décadas. Para entender estos sistemas históricamente se ha caracterizado la demanda de los mismos realizando estudios de campo puntuales con una determinada periodicidad.

En los últimos años, gracias a los avances tecnológicos, en muchos sistemas de transporte se ha comenzado a monitorear en forma continua los valores de las variables claves para cada vehículo: (a) Posición-Tiempo y (b) Subidas-Bajadas. De esta forma, aquellos sistemas de transporte que posean estos datos medidos en forma continua y precisa cuentan con la información necesaria para dimensionar el sistema, adaptarse a los cambios y en forma general optimizar la operación del sistema (Furth 2006, Dueker 2004).

En este trabajo desarrollamos una metodología para mejorar la calidad del conjunto de datos de conteo de pasajeros obtenidos de sensores instalados en las puertas de ingreso y egreso de la totalidad de los vehículos de un sistema de transporte automotor.

La importancia de generar una metodología que permita corregir los datos generados por estos contadores automáticos reside en que todo sistema físico de medición sufre con el tiempo problemas de balance, calibración y normal deterioro. Sumado a este hecho, la alternativa de verificar en cada vehículo en forma física el correcto funcionamiento y calibración de los elementos es demasiado cara para ser tomada como alternativa logística corriente. Por ello, basándose en campañas de medición periódicas y aplicando la familia de algoritmos que surge de esta metodología, será mucho más económico mantener un sistema de medición dentro de los parámetros aceptables de certeza.

Definiciones preliminares

A continuación se listan algunos de los términos con el significado que les daremos en el contexto de este trabajo:

Pasajeros (*pax*): Personas que ingresan a los autobuses para trasladarse de una parada a otra. Quedan excluidos de esta definición al chofer y/o personal de la empresa de transporte.

Pasajeros Transportados (*paxT*): Promedio de ingresos y egresos de pasajeros medidos a un determinado vehículo luego de una determinada cantidad de paradas.

Vehículo: Autobús de 2 (dos) o más puertas. El vehículo cuenta con contadores de pasajeros en sus puertas y un sistema de registro de transacciones de validación de boleto.

APC: Contador Automático de Pasajeros (CAP), acrónimo de *Automatic Passenger Counter*. Sensor de conteo automático de pasajeros instalado en cada puerta de cada vehículo.

AVL: Sistema de Rastreo Vehicular Automatizado (RVA) o AVL, acrónimo de *Automatic Vehicle Location*. Sistemas de localización en tiempo real, basado en el uso de un GPS y un sistema de transmisión.

Parada: La parada o estación corresponde al único lugar/ubicación donde los *pax* ingresan y/o egresan a cada vehículo.

Viaje: Es el trayecto realizado por cada *pax*. Queda especificado por sus paradas de ingreso/egreso y sus correspondientes horarios.

Recorrido: Trayectoria que realiza cada vehículo, diferenciando sentido. Cada recorrido tiene definida una lista de paradas y en particular una parada de inicio y otra parada de finalización. En caso de recorridos en loop se asigna una parada particular como inicial y final.

Formación: Es el recorrido que realiza un determinado vehículo siguiendo un horario previamente especificado. Es decir, una formación queda unívocamente determinada especificando: ID del vehículo, Recorrido, Horario.

Línea: Servicio de formaciones ofrecido para un determinado recorrido.

Pax registrado (*paxR*): Todo *pax* que cuente con boleto que sea validado por el sistema de validación de boletos será considerado como *pax* registrado.

Pax evasor ($paxE$): Todo pax que ingresa a un vehículo sin validar un boleto se lo denominará pax evasor.

Pax medido ($paxM$): Todo pax que ingresa al vehículo y es medido por el sistema de medición de pax del vehículo (APC).

Sistema de medición

El sistema de medición está constituido por los distintos elementos que permiten obtener y registrar información sobre el funcionamiento del sistema de transporte. De esta forma, identificamos a los sensores de conteo (APC), a los equipos de localización (AVL) y a los dispositivos de registro y validación de boletos.

En este trabajo consideramos que la totalidad de los vehículos cuentan en cada una de sus puertas con un sensor que permite medir subidas y bajadas en forma automática. Cuando un vehículo deja una parada atrás, el sistema de medición de cada puerta consolida las mediciones de pasajeros entrantes y salientes, y envía las cuentas finales a la computadora de a bordo, desde la cual posteriormente se enviará al sistema central.

Se supone, además, que en cada vehículo se cuenta con un sistema de registro de transacciones en el cual los pasajeros pueden registrar/validar su viaje. Cada transacción, junto con la información del sistema AVL del vehículo permite determinar la cantidad de boletos validados en cada parada del recorrido.

Metodología

Consideramos que el sistema de transporte está constituido por un conjunto de formaciones y tomamos a cada **formación** como unidad de estudio. Los motivos principales de esta decisión son que los datos medidos y sus errores dependen de:

Sensores: Cada vehículo se considera que tiene 2 o más sensores cuya calibración resulta obviamente independiente de la calibración del resto de los vehículos del sistema de transporte.

Recorrido: El comportamiento de los pax al ingresar/egresar al vehículo como así también sus características físicas depende de cada parada.

Día/Hora: Según el día y la hora se espera una problemática diferente.

Asimismo para cada **formación** se cuenta con los siguientes datos, que separamos según su tipo u origen:

1. Información estática:
 - ID del vehículo
 - Cantidad de asientos
 - Ocupación máxima
 - Parada de ocupación nula o mínima
 - Recorrido
 - Horario
2. Posicionamiento (AVL):
 - Para cada parada se conoce el tiempo de arribo ($parada_i, T_i$)
3. Contador de pasajeros (APC):
 - Ingresos medidos en cada parada: IN_i
 - Egresos medidos de cada parada: OUT_i
4. Sistema de validación de boletos:
 - Ingresos registrados en cada parada: IN_i^{reg}
5. Otros:
 - Mapa de evasión
 - Conteos ingreso/egresos manuales
 - Curva de demanda por parada
 - Matriz Origen/Destino (OD), encuestas, etc.

Parte de esta información será empleada con el objeto de determinar con la mayor precisión posible los valores de ingreso y egreso de pasajeros en cada parada de una determinada formación. Por otra parte, la metodología plantea tratamientos diferentes para las variables ingreso y egreso. Los principales motivos para esto son:

. Si bien los sensores APC determinan ambas variables, la geometría de las puertas de egreso (preferencial de egreso) es diferente a la de las puertas de ingreso (preferencial ingreso).

. El proceso de ingreso es diferente al proceso de egreso (por ejemplo la velocidad de paso de los pax) por lo cual es de esperar tener distintos valores y distribución del error en cada caso.

. La variable ingreso de *pax* es la variable fundamental del problema. Esto, dicho en el sentido de que la variable ingreso es la variable independiente, ya que el egreso en cada parada siempre estará condicionado (o relacionado) al valor de la carga de *pax* en la parada anterior.

. La variable ingreso está relacionada a la demanda de cada parada, siendo la demanda la variable del problema de menor variabilidad intrínseca.

. La determinación de *pax* registrados y la medición de la evasión en cada parada da una forma directa e independiente de estimar el valor de ingresos a cada vehículo. Para poder tener una estimación similar para los egresos en cada parada es necesario incorporar la información adicional contenida en la matriz Origen/Destino de la línea.

Desarrollo

Considerando la información disponible se propone dividir el proceso de mejora de la calidad de los datos en tres fases o niveles. En cada una de ellas se busca mejorar la calidad de los datos desde el nivel más básico al más integral. Asimismo en cada nivel, se incorpora al análisis información de diferente tipo. En la tabla siguiente se pone en evidencia el concepto de nivel que mencionáramos y la relación con las estructuras físicas-conceptuales puerta-vehículo-formación.

Cada una de estas fases tiene un objetivo diferente como se detalla a continuación:

FASE 1: PUERTA - MEDICION

En esta fase se trabaja sobre cada sensor. En cada parada, cada puerta, cada APC genera un valor de ingreso (subidas) y egreso (bajadas) de *pax*. En esta fase se buscan dos objetivos:

- . Mejorar la calidad de cada dato medido
- . Determinar mejor el error de cada medición efectuada

Estudiando esta problemática se observa que para la tecnología actualmente disponible existe un conjunto de situaciones reales para las cuales las mediciones tienen un alto grado de certeza (ejemplo: subidas y/o bajadas individuales), mientras que hay otras donde se incrementa el error y otras donde resulta muy difícil obtener un dato cierto. Considerando este punto se propone que todo sensor APC genere en todos los casos 2 mediciones o componentes. La primera correspondiendo al valor determinado con mayor precisión y la segunda a los valores determinados con menor precisión. De esta forma, el APC de la puerta *p1* de la formación *m* (*Fm*) generará los siguientes datos de ingreso y egresos de *pax* en la parada *i-ésima*:

(1)

$$\begin{cases} INi_{Fmp1} = (\text{Ingresos_confiables}, \text{Ingresos_dudosos}) \\ OUTi_{Fmp1} = (\text{Egresos_confiables}, \text{Egresos_dudosos}) \end{cases}$$

En esta fase de la metodología se define el "peso" que tiene el valor confiable y el dudoso en la determinación del valor total. Asimismo, eventualmente en esta fase puede incorporarse la información de "uso" de puerta. Es decir, por ejemplo, considerar que una puerta es exclusiva de egreso y/o que otra puerta es de uso preferente de ingresos.

FASE 2: VEHÍCULO - CALIBRACIÓN

En esta fase se trabaja sobre el sistema de medición de cada vehículo.

En este nivel se trabaja con los valores de ingresos y egresos totales (sin diferenciar por puerta) en cada parada al vehículo.

| Fases | Problemática | Procedimiento |
|---------|--------------|--------------------------------|
| Nivel 1 | Puerta | MEJORA DE LA MEDICION |
| Nivel 2 | Vehículo | CALIBRACION DEL SISTEMA |
| Nivel 3 | Formación | AJUSTE O CONSISTENCIA DE DATOS |

TABLA 1. Relación entre los elementos de la problemática y los distintos niveles o fases del procedimiento de mejora del conjunto de datos.

A partir de los datos generados por los APC en cada puerta (según se detalla en la Fase 1) y conteos manuales se determinan factores que permitan mejorar la calidad de los datos para las variables ingresos y egresos por parada para cada formación. Los factores de calibración (FCAL) se determinan por regresión lineal utilizando ambos conjuntos de datos: los generados por los sensores automáticos y los medidos manualmente.

Según la disponibilidad de datos o actualización de campañas de conteo manual se definen los factores de calibración a utilizar siguiendo los criterios que se listan a continuación:

1. Los conteos manuales se agrupan por tipo de día (hábil, fin de semana, feriado, otro) y por franja horaria.
 2. Idealmente se determinan los FCAL para cada formación/día/hora.
 3. En caso de formaciones con escasez de muestras manuales se determinará en primer lugar un FCAL general del recorrido y luego se intentará determinar factores diferenciando día/hora.
 4. En todos los casos se utilizarán los FCAL siempre y cuando se valide previamente la significancia estadística de los mismos.
 5. En esta fase se trabaja sobre los valores totales medidos con los APC, es decir ambas componentes que vienen dadas en cada medición. De esta forma los FCAL que se emplean van a modificar los valores de la componente de mayor error pero también los de menor aunque estos últimos en menor medida.
- Por ende, como resultado de esta fase se obtiene:

(2)

$$\begin{cases} IN_{iFm} = (\text{Ingresos_confiables}^*, \text{Ingresos_dudosos}^*) \\ OUT_{iFm} = (\text{Egresos_confiables}^*, \text{Egresos_dudosos}^*) \end{cases}$$

donde* indica que los valores ya han sido modificados.

Es importante detenerse aquí y observar que un sistema de transporte real puede tener miles de formaciones, por lo que determinar individualmente los FCAL para cada una de ellas podría volverse impracticable. Considerando esto, los

algoritmos que se generen a partir de esta metodología deberán tener en cuenta este hecho. Por un lado incorporar el conjunto reducido de FCAL calculados siguiendo los criterios arriba listados. Por otro lado, la utilización de variables de control que permitan detectar si en una formación pudieran estar generándose valores inaceptables, para luego sí determinar los FCAL de esa formación particular.

FASE 3: FORMACION - AJUSTE

En esta fase se trabaja sobre los datos del sistema para una formación.

En este nivel, el proceso de mejora se basa en un tratamiento diferencial de las variables de ingreso y las de egreso. Por una parte, en lo que respecta a la problemática, ambas variables son claramente diferentes, en especial debido a que los ingresos pueden considerarse independientes, en una primera aproximación, desacoplada de la definición del sistema de transporte¹. Por otra parte, el siguiente análisis se basa en parte en que los datos de ingreso medidos presentan un error inferior a los correspondientes de egreso. Esta fase la dividiremos en los siguientes pasos:

Paso 1. Determinación de la cantidad de *pax* registrados en cada parada

Se supone que todo *pax* que ingresa al vehículo con boleto en la parada *i-ésima* lo valida (genera o se registra una transacción) en el trayecto entre las paradas *i* y la parada *i+1*. De esta forma los *pax* registrados de la parada *i-ésima* serán igual a la cantidad de transacciones registradas: $T_i = paxR_i$

Este valor resulta ser de gran utilidad ya que representa una cota inferior a la variable ingresos en dicha parada, es decir:

$$\sum IN_{iFm_{pj}} \geq paxR$$

Paso 2. Estimación de la evasión – *paxE* por formación

La evasión en cada parada se define como la cantidad de ingresos al vehículo que no

¹ En realidad la variable demanda de pasajeros en cada parada, es la que se considera independiente y desacoplada al sistema de transporte. Los ingresos a cada formación obviamente dependen luego de la frecuencia entre formaciones. Si bien esta hipótesis no se verifica perfectamente, suele ser adecuada para cambios menores o leves ajustes en los horarios comunicados a los usuarios.

cuentan con una correspondiente validación de boleto.

Si bien los valores $paxE$ de una formación no son idénticos a los correspondientes a la siguiente, es posible estimarlos por parada y franja horaria según la información de la que se disponga. Para cada formación, asumiendo que se cuenta con la evasión caracterizada y estimado su error y/o variabilidad intrínseca, los ingresos en cada parada pueden calcularse según la siguiente ecuación:

$$(3) IN_i^b = paxR_i + paxE_i$$

donde el superíndice "b" hace referencia explícita al uso de la información de boletos validados para este cálculo.

Esta determinación de los ingresos para cada parada tiene dos componentes. La primera que vamos a considerar exacta y la segunda con un error a determinar. De esta forma, recorriendo todas las paradas, se obtiene el siguiente resultado para la formación en cuestión:

$$(4) IN^b = \sum_{k=1}^N paxR_k + paxE$$

Aquí nuevamente, el primer término del miembro derecho se lo considera preciso, de hecho en este caso exacto, mientras que el error de $paxE$ será un estimado cuyo valor y error normalmente son función de la cantidad de ingresos totales.

Paso 3. Cálculo del factor de corrección de ingresos (FC)

Calculados los ingresos a la formación, a partir de información de transacciones, se lo puede utilizar para ajustar el valor de ingresos medidos en la formación con los APC calibrados siguiendo las fases 1 y 2 antes descriptas. De esta forma:

$$(5) FC_1 = \frac{\sum_{k=1}^N paxR_k + paxE}{\sum_{k=1}^N IN_{kmedido}}$$

donde el numerador representa los ingresos a la formación calculados a partir de datos transaccionales y el denominador corresponde al mismo valor determinado a partir de las mediciones de los contadores APC y su calibración y procesamiento posterior.

De igual forma, en caso de realizar campañas periódicas donde se obtienen conteos manuales (realizados de forma tal de poder considerarlos reales) puede calcularse el mismo factor de corrección ahora basados en los datos de la campaña:

$$(6) FC_2 = \frac{\sum_{k=1}^N IN_{kreal}}{\sum_{k=1}^N IN_{kmedido}}$$

El factor de corrección (cualquiera sea la forma en que haya sido calculado) corresponde a un valor definido para ajustar en forma global los ingresos totales de cada formación. Es decir que, más allá que pueda ser utilizado para ajustar el valor de ingresos en cada parada, tiene sentido real cuando se lo emplea a la sumatoria de los ingresos en cada una de las paradas de la formación.

Esto implica que hemos definido priorizar el valor de los ingresos/egresos totales de cada formación. Es decir la metodología que presentamos, si bien busca generar buenos datos de ingresos/egreso a cada parada, se enfoca en corregir los valores totales de la formación. Esto último también está implícito en el paso siguiente.

Paso 4. Cálculo del factor de balanceo (FB)

Calculados los ingresos a la formación a partir del ajuste del paso anterior se plantea modificar los valores de los egresos incorporando la siguiente información elemental: todo pasajero que ingresa a la formación debe bajar. Los egresos son una variable dependiente acotada al valor de los ingresos previos a la formación. Bajo las consideraciones anteriores resulta razonable plantear:

$$(7) OUT'_{kmedido} = FB \times OUT_{kmedido}$$

donde:

$$(8) FB = \frac{\sum_{k=1}^N IN_{kmedido}^n}{\sum_{k=1}^N OUT_{kmedido}}$$

Paso 5. Cálculo final de Ingresos y Egresos

En los pasos anteriores se presentaron distin-

tas expresiones que permiten calcular los valores de ingreso/egreso en cada parada como así también los totales por formación. Resumiendo las fórmulas hasta aquí expuestas para el cálculo de los ingresos/egresos en la parada *i*-ésima de una formación particular son:

$$\left\{ \begin{array}{l} IN_{imedido} = Ingresos_confiablesi^* + \\ \quad \quad \quad *Ingresos_dudososi^* \\ \\ IN_i^b = paxR_i + paxE_i \\ \\ IN_{imedido}^1 = FC_1 \times IN_{imedido} \\ IN_{imedido}^2 = FC_2 \times IN_{imedido} \\ \\ \left\{ \begin{array}{l} OUT_{imedido} = Egresos_confiablesi^* + \\ \quad \quad \quad *Egresos_dudososi^* \\ \\ OUT'_{imedido} = FB \times OUT_{imedido} \end{array} \right. \end{array} \right.$$

Finalmente, el mejor valor para las variables ingreso y egreso dependerá de la distribución de los errores de los distintos tipos de datos empleados como así también de la variabilidad propia de la problemática o variables en cuestión. De esta forma es posible concluir que el ingreso/egreso puede determinarse calculando el promedio ponderado por la inversa de los errores de todas o un subconjunto de las estimaciones de las variables donde asumimos que los valores reales de cada una de las medidas son idénticos.

Determinación de factores de calibración (FCAL) por regresión lineal

Al igual que en la sección anterior, el análisis que sigue se realiza para un determinado vehículo a lo largo de un gran número de paradas (a determinar). Se calculan factores de calibración (*FCAL(f)*) para las mediciones de ingresos y egresos generadas con los APC utilizando mediciones de conteos manuales realizados para cada formación.

Antes de determinar los coeficientes de calibración es altamente deseable realizar un análisis de la significancia estadística que posee la diferencia entre las medias muestrales de las mediciones manuales y automáticas (Larson 1982, Walpole 2002). Bajo la suposición de distribuciones gaussianas se puede aplicar el método clásico llamado TEST-T. Si la mencionada distribución gaussiana no está garantizada, se puede utilizar un test no paramétrico llamado Test de Wilcoxon de rangos signados ("Wilcoxon-signed-rank test") con la misma finalidad. Ambos test calculan un factor numérico y en base a su valor determinan, con cierto nivel de confianza, si la diferencia entre las muestras tiene significancia estadística lo que implica que los dos grupos de muestras corresponden a diferentes poblaciones. Si este no es el caso, significa que la diferencia encontrada es mera casualidad y no sería recomendable aplicar factores de calibración debido a que el error es puramente aleatorio (no sistemático).

Cabe aclarar que el hecho de encontrar que los dos grupos de muestras corresponden a diferentes poblaciones no implica que exista una relación (mucho menos una relación lineal) entre ambas. En este caso en particular se trata de comparar valores (aproximadamente) reales contra valores medidos por un instrumento. No es impensable entonces la aproximación de un sesgo que dependa en forma lineal del valor medido.

Suponiendo que los test de significancia estadística dictaminan que la diferencia entre las muestras se debe a que se trata efectivamente de poblaciones distintas, es válido proceder a encontrar los factores de calibración según se detalla a continuación.

El análisis resulta ser el mismo si se trata de mediciones de ingresos o mediciones de egresos, es por esto que se detallará el algoritmo utilizando las variables:

$$\left\{ \begin{array}{l} X_{ck} = \text{Cantidad de personas medida automáticamente en la parada } k \text{ con alto grado de certeza} \\ X_{ik} = \text{Cantidad de personas medida automáticamente en la parada } k \text{ con bajo grado de certeza} \\ \\ X_k^* = \text{Medición corregida para la parada } k \\ \\ Y_k = \text{Cantidad de personas medida manualmente en la parada } k \end{array} \right.$$

No se hace mención respecto del tipo de la medición: ingreso/egreso, solamente se supone que son siempre del mismo tipo.

Dado que las muestras X_{ik} son mediciones de baja confianza, se puede plantear aplicar la calibración solamente sobre este conjunto. Se establece entonces la siguiente relación entre las variables en juego:

$$(9) \quad y_k = x_{ck} + \beta_i x_{ik} + e_k$$

con:

$$\begin{cases} \beta_i = \text{coeficiente de calibración de} \\ \text{las cuentas no certeras} \\ e_k = \text{error aleatorio } \sim N(0, \sigma^2) \end{cases}$$

Dada una cantidad de muestras N , el coeficiente de regresión se estima por cuadrados mínimos al minimizar el error cuadrático medio (Larson, 1982; Walpole, 2002; Kariya y Kurata, 2004):

$$(10) \quad E(\beta_i) = \sum_{k=1}^N (y_k - x_{ck} - \beta_i x_{ik})^2$$

$$\beta_i^* = \frac{\sum_{k=1}^N (y_k - x_{ck}) x_{ik}}{\sum_{k=1}^N (x_{ik})^2}$$

y la estimación de la varianza del error viene dada por la fórmula:

$$(11) \quad s_i^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{k=1}^N (y_k - x_{ck} - \beta_i^* x_{ck})^2$$

y la estimación de la varianza del estimador del coeficiente de regresión es:

$$(12) \quad s_{\beta_i}^2 = \frac{s_i^2}{\sum_{k=1}^N (x_{ik})^2}$$

Queda implícito en este análisis que se está asumiendo, para simplificar, que las cuentas llamadas "certeras" no tienen asociadas un sesgo y por lo tanto, no necesitarían ser calibradas. Esto no será necesariamente así, por lo que un planteo más completo en el futuro, introduciría un coeficiente de calibración también para las cuentas certeras:

$$(13) \quad y_k = \beta_c x_{ck} + \beta_i x_{ik} + e_k$$

donde ahora:

$$\begin{cases} \beta_i = \text{coeficiente de calibración de} \\ \text{las cuentas no certeras} \\ \beta_c = \text{coeficiente de calibración de} \\ \text{las cuentas certeras} \\ e_k = \text{error aleatorio } \sim N(0, \sigma^2) \end{cases}$$

Se trata de una regresión múltiple cuya solución se simplifica al utilizar notación matricial y definir las siguientes matrices y vectores:

$$\begin{cases} \beta = \begin{bmatrix} \beta_i \\ \beta_c \end{bmatrix} \\ X' = \begin{bmatrix} x_{i1} & \dots & x_{iN} \\ x_{c1} & \dots & x_{cN} \end{bmatrix} \\ y' = [y_1 \quad \dots \quad y_N] \end{cases}$$

En consecuencia, el error cuadrático se escribe como:

$$(14) \quad E(\beta) = (y - X\beta)'(y - X\beta)$$

El estimador de β se encuentra minimizando el error como:

$$(15) \quad \beta = (X'X)^{-1}X'y$$

Este planteo no sería del todo correcto debido a que no considera el conocimiento "a priori" sobre las cuentas:

$$\left\{ \begin{array}{l} x_{ck} \text{ son cuentas certeras} \rightarrow \beta_c \text{ debería ser} \cong 1 \\ x_{ik} = \text{son cuentas menos certeras} \rightarrow \beta_i \text{ debería ser} > 1 \text{ (Se supone subconteo)} \end{array} \right.$$

Al no considerar esta información "extra", el realizar la regresión múltiple sin ningún control puede llevar a resultados erróneos. Se plantea en su lugar realizar la regresión en dos pasos según el siguiente procedimiento:

Se deben tomar dos conjuntos de muestras (o se divide una muestra en 2 subconjuntos) y se aplica el siguiente procedimiento de dos pasos:

1. Para el primer subconjunto de muestras se fija $\beta_c = 1$ y se realiza una regresión lineal simple para encontrar β_i utilizando los valores de $y_k - x_{ck}$ como variable dependiente y x_{ik} como variable independiente. Se calculan los siguientes parámetros:

$$\left\{ \begin{array}{l} \beta_i^* = \frac{\sum_{k=1}^N (y_k - x_{ck}) x_{ik}}{\sum_{k=1}^N (x_{ik})^2}, \\ \text{estimación del coeficiente de calibración de} \\ \text{las muestras no certeras} \\ s_i^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{k=1}^N (y_k - x_{ck} - \beta_i^* x_{ck}), \\ \text{estimación del error cuadrático medio} \\ s_{\beta_i}^2 = \frac{s_i^2}{\sum_{k=1}^N (x_{ik})^2}, \\ \text{estimación de la varianza del estimador} \\ \beta_i^* \end{array} \right.$$

2. Utilizando el segundo subconjunto de muestras se calcula β_c utilizando ahora a $y_k - \beta_i x_{ik}$ como variable dependiente y a x_{ck} como variable independiente. Se calculan los siguientes parámetros:

$$\left\{ \begin{array}{l} \beta_c^* = \frac{\sum_{k=1}^N (y_k - \beta_i^* x_{ik}) x_{ck}}{\sum_{k=1}^N (x_{ck})^2}, \\ \text{estimación del coeficiente de calibración} \\ \text{de las muestras certeras} \\ s_c^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{k=1}^N (y_k - \beta_i^* x_{ik} - \beta_c^* x_{ck}), \\ \text{estimación del error cuadrático medio} \\ s_{\beta_c}^2 = \frac{s_c^2}{\sum_{k=1}^N (x_{ck})^2}, \\ \text{estimación de la varianza del estimador } \beta_c^* \end{array} \right.$$

De esta forma, el procedimiento para calibrar los datos de una formación en particular es:

1. Tomar una cantidad de muestras manuales y automáticas de la cantidad de subidas (IN) y bajadas (OUT). No se discriminan las mediciones por puerta o contador siendo todas mediciones de la formación en cuestión.
2. Aplicar el procedimiento para obtener los coeficientes de calibración de las mediciones de IN automáticas.
3. Aplicar el procedimiento para obtener los coeficientes de calibración de las mediciones de OUT automáticas.

Por último, un planteo análogo puede realizarse ahora para cada sensor o puerta y obtener como resultado el conjunto de factores FCAL de cada sensor.

En este último caso, en primer lugar pueden determinarse los FCAL genéricos para un sensor calibrado en laboratorio. Luego, eventualmente, determinar los FCAL de los sensores FCAL(s) que se detecte que así lo requieren.

Caso de estudio

El estudio de datos correspondientes a una campaña de medición realizada en el sistema de transporte público automotor de la ciudad de Santiago de Chile, nos ha permitido validar parte de las hipótesis aquí propuestas. En particular, el procedimiento que hemos denominado "fase 3" o procedimiento de ajuste puede utilizarse independientemente de los anteriores y mostrar que su aplicación para los estudios de campo realizado disminuye sustancialmente el error definido según se define a continuación:

Para un determinado vehículo definimos el error de la siguiente forma:

(16)

$$Error_PaxT_{1,2} = \frac{Pax_T_1 + Pax_T_2}{Pax_T_2}$$

(17)

$$Pax_T_{1,2} = \frac{\sum_{m=1}^{s,d} IN_{1,2} + \sum_{m=1}^{s,d} OUT_{1,2}}{2}$$

donde:

s = cantidad de paradas consideradas y *d* = cantidad de puertas del vehículo y los subíndices 1, 2 de ambas expresiones hacen referencia a medidas obtenidas con los sistemas APC de cada puerta y por observadores manuales respectivamente.

Asimismo puede demostrarse que el cociente entre el factor de corrección de ingresos *FC* y el factor de balanceo de egresos *FB* depende solamente de los valores totales medidos:

(18)

$$\frac{FB}{FC} = \frac{\sum_{k=1}^N IN_{kmedido}}{\sum_{k=1}^N OUT_{kmedido}}$$

Esta expresión aplicada a la definición de error realizada permite mostrar que para una determinada muestra de datos el error de toda sub-muestra (*Er*) es modificado siguiendo una transformación lineal:

$$(19) Er' = aEr + b$$

donde *a* y *b* resultan ser valores que dependen únicamente de los ingresos y egresos totales de la muestra. Esta transformación es tal que "ajusta" los errores de las sub-muestras para que su promedio tienda a cero².

Sobre un conjunto de datos provistos se realizaron los cálculos descriptos previamente y se verificó la mejora sustancial de la calidad de datos. En este análisis se utilizaron datos correspondientes a distintas líneas donde se contaba por un lado el valor medido "crudo" por los contadores APC y por otro lado conteos manuales que hemos considerado para este estudio como sin error.

Para todos los casos estudiados se utilizó el tamaño de muestra más grande posible y se verificó que el error de las sub-muestras disminuye.

En la Fig. 1 se muestran los resultados obtenidos para el caso de una línea de ómnibus en particular. En este caso la muestra tiene una dimensión de aproximadamente 17.000 ingresos. En esta figura, el eje horizontal corresponde al tamaño de la sub-muestra (definido por la cantidad de ingresos considerados) y en el eje vertical se grafica el error relativo porcentual según fue definido más arriba, tanto para los datos originales como para los ajustados según se indicó previamente.

Asimismo, a modo de ejemplo, la Fig. 2 muestra, tal como indica la ecuación (19), la relación lineal entre el error y el error transformado para la línea de transporte analizada.

El procedimiento antes descrito fue repetido para otras líneas donde se contaba con compañías de medición manual. Los resultados obtenidos en todos los casos fueron semejantes.

En las líneas de transporte que fueron analizadas, para el conjunto de formaciones consideradas, el volumen de *pax* transportados fue cualitativamente distinto, lo cual nos permite intuir que los resultados hallados son independientes de la línea.

² Esto ocurre siempre y cuando los valores medidos manualmente y/o los estimados a partir de información de boletos se los pueda considerar exactos o "real"

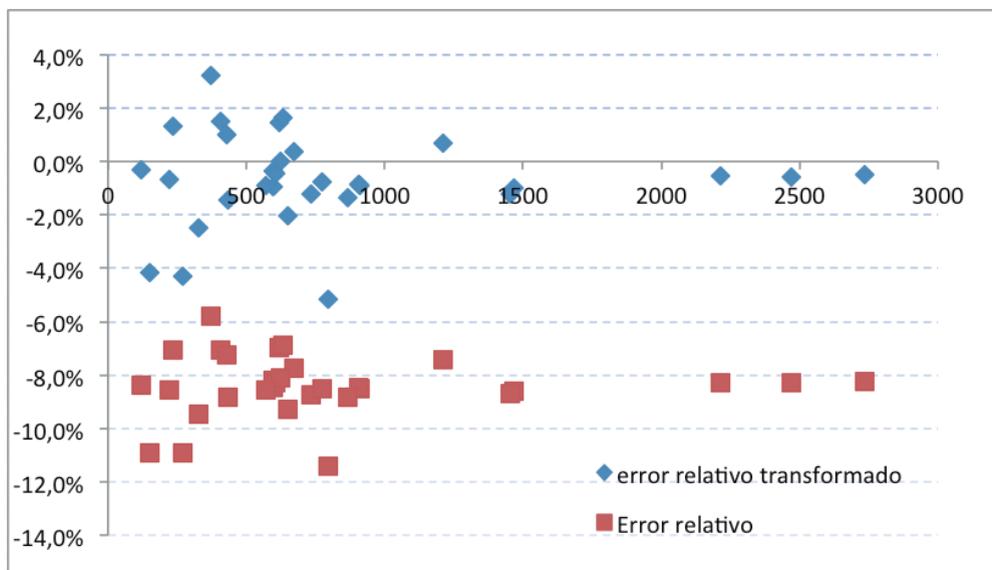


Fig. 1. Errores obtenidos para la línea 509 utilizando datos medidos manualmente y los generados por el APC

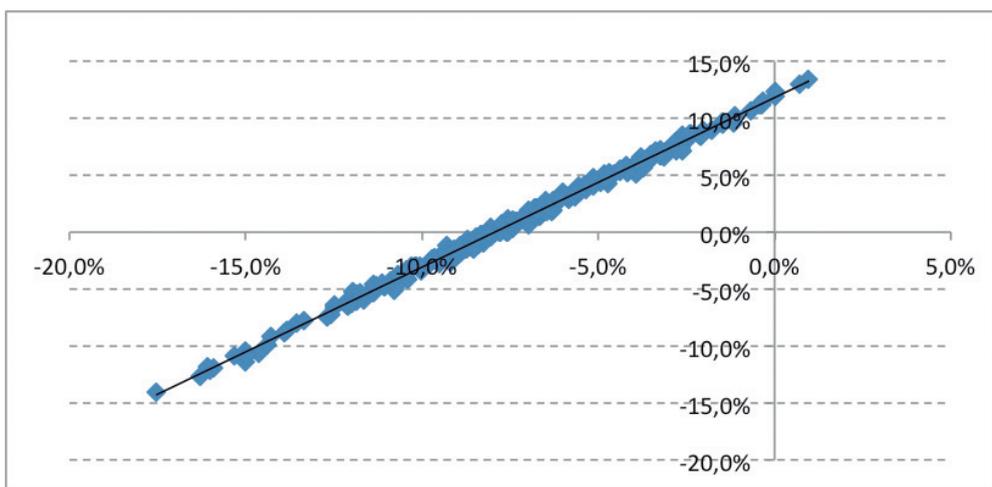


Fig. 2. Relación lineal entre el error y el error transformado

Discusión y conclusiones

Se ha descrito una metodología de mejora de calidad de datos medidos a partir de sistemas automáticos de conteo de pasajeros. La misma supone que se cuenta con información de posicionamiento y validación de boletos de cada vehículo del sistema de transporte. La metodología ha sido presentada con el objeto de servir como base de una familia de algoritmos que tome los procedimientos y conceptos aquí enunciados y los adecue a las particularidades de cada sistema de transporte.

La metodología presentada intenta ser un primer paso en el proceso de mejora, a partir de

la asimilación de datos complementarios como así también constituirse en un planteo genérico donde las particularidades y/o hipótesis adicionales sean realizadas especialmente al formular cada algoritmo de mejora particular. Una de las bases para lograr esta generalidad fue plantear como unidad de análisis cada recorrido realizado por un vehículo.

Por último, es importante resaltar que este trabajo ha sido motivado por un sistema de transporte automotor pero que en todo momento se ha realizado el esfuerzo de generalizar procedimientos y conceptos de forma tal que pueda ser empleado también para la mejora de datos de otros modos de transporte, como por ejemplo un sistema ferroviario.

Referencias

- FURTH, P. G. (2006) Using Archived AVL-APC Data to Improve Transit Performance and Management, TCRP REPORT 113.
- DUEKER K. J., KIMPEL T. J. AND STRATHMAN J.G. (2004) Determinants of Bus Dwell Time, Journal of Public Transportation, Vol. 7, No. 1.
- LARSON, H. J. (1982) Introduction to Probability Theory and Statistical Inference. s.l. : Wiley Series in Probability & Mathematical Statistics.
- WALPOLE, R. E., et al. (2002) Probability and Statistics for Engineers and Scientists (7th Edition). s.l. : Prentice Hall.
- KARIYA, T., KURATA, H. (2004) Generalized Least Squares. s.l. : Wiley.

Elementos para una ingeniería de explotación de información

María Florencia Pollo-Cattaneo¹, **Ramón García-Martínez**², **Paola Britos**³,
Patricia Pesado⁴, **Rodolfo Bertone**^{4*}

¹ Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires,
Grupo de Investigación en Metodologías de Software,
Medrano 951 (C1179AAQ), Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

² Universidad Nacional de Lanús, Departamento Desarrollo Productivo y Tecnológico,
Grupo de Investigación en Sistemas de Información, 29 de Septiembre 3901 (1826)
Remedios de Escalada, Argentina

³ Universidad Nacional de Río Negro, Grupo de Investigación en Explotación de Información,
San Martín esq. Pellegrini (8430) El Bolsón, Río Negro, Argentina

⁴ Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Informática, Instituto de Investigaciones en
Informática, Calle 50 esq. Calle 120 (1900) La Plata, Argentina

fpollo@posgrado.frba.utn.edu.ar

Recibido el 20 de Mayo de 2011, aprobado el 20 de Agosto de 2011

Resumen

Los Proyectos de Explotación de Información difieren sustancialmente de los pertenecientes al Software tradicional. Las fases clásicas de desarrollo le son ajenas, al igual que las herramientas involucradas en los procesos de Ingeniería en Software. Un nuevo cuerpo de conocimientos atento a las necesidades de su aplicación industrial, deviene, pues, imprescindible para el avance del nuevo campo disciplinar. En este artículo proponemos: un modelo de negocio, un proceso de educación de requisitos, un método de estimación, una metodología de selección de herramientas, un proceso de transformación de datos y una serie de procesos basados en técnicas de minería de datos.

PALABRAS CLAVE: INGENIERÍA EN SOFTWARE - EXPLOTACIÓN DE INFORMACIÓN

Abstract

The Information Mining Projects have different characteristics compared to traditional software projects. The classic development phases do not apply to the natural phases of Information Mining Projects. Not all Software Engineering tools not apply to these projects. A new body of knowledge is necessary for Information Mining Engineering with a special focus on its use in industry. In this paper we propose: process model, requirement elicitation process, estimation method, a method for selecting the data mining tool, a methodology for transforming the data and, a set of processes for information mining based on the application of different data mining techniques.

KEYWORDS: SOFTWARE ENGINEERING - INFORMATION MINING

***Son coautores del presente trabajo Darío Rodríguez², Hernán Merlino², Pablo Pytel^{1,2}, Juan Vanrell¹**

Introducción

La Inteligencia de Negocio propone un abordaje interdisciplinario en el que confluyen, entre otras, la Informática, la Matemática y la Economía, su finalidad se centra en generar un conocimiento que contribuya con la toma de decisiones de gestión y generación de planes estratégicos en las organizaciones (Thomsen, 2003). La Explotación de Información, por su parte, constituye la subdisciplina de la Informática que aporta a la Inteligencia de Negocio (Negash & Gray, 2008) las herramientas de análisis y síntesis necesarias para extraer el conocimiento no trivial, alojado (implícitamente) en los datos disponibles en diferentes fuentes de información (Schiefer et al., 2004). Habitualmente, para un experto -o para el responsable de un sistema de información-, no son los datos en sí lo más relevante, sino el conocimiento que se encierra en sus relaciones, fluctuaciones y dependencias. Por ende, identificado el problema de inteligencia de negocio, decidirá la secuencia de procesos de explotación que deben ser ejecutados para obtener una solución adecuada.

Un Proceso de Explotación de Información se define, como un grupo de tareas relacionadas lógicamente (Curtis et al., 1992) que, a partir de un conjunto de información con un cierto grado de valor para la organización, se ejecuta para lograr otro, con un grado de valor mayor que el inicial (Ferreira et al., 2005; Kanungo, 2005). Adicionalmente, existe una variedad de técnicas de minería de datos, en su mayoría provenientes del campo del Aprendizaje Automático (García-Martínez et al., 2003), susceptibles de ser practicadas en cada uno de estos procesos.

Cuando nos encontrábamos en la etapa inicial de nuestro trabajo de investigación observamos que en la bibliografía consultada se repetía con insistencia el uso indiscriminado de los términos "minería de datos" (o *data mining*) y "explotación de información" (o *information mining*) para referirse al mismo cuerpo de conocimientos. Consideramos tal confusión, un error análogo al de utilizar como sinónimos "ciencias de la computación" y "sistemas de información". Por ello, vale aclarar que, por un lado, la minería de datos está relacionada con la tecnología (algoritmos) y, la explotación de información, con los procesos y las metodolo-

gías propias de la ingeniería; y que, por otro, la primera se aproxima a las operatorias propias de la Programación, mientras que la segunda se acerca más a los procesos de la Ingeniería de Software.

Es en virtud de este contexto, que postulamos la necesidad de organizar un nuevo cuerpo de conocimientos para la Ingeniería de Explotación de Información, cuyo eje se centre en la problemática derivada de su implementación y uso en la industria. Una de las razones de peso que dan impulso al despegue de esta nueva disciplina, ha sido el descubrimiento de una falta de técnicas asociadas a la ejecución de cada una de las fases de las metodologías de explotación de información vigentes (García-Martínez et al., 2011).

Asimismo, la comprobación de la inadecuación de los métodos y herramientas de la Ingeniería en Software, en tanto no se abocan a los aspectos prácticos requeridos para proyectos de explotación de información; pone de relieve la necesidad del desarrollo y validación de una metodología específica, que pueda asistir a los practicantes del área de software y proveer la ineludible objetividad, racionalidad, generalización y confiabilidad que tales proyectos demandan. Al respecto, durante la última década se han obtenido avances de significativa trascendencia en los siguientes dominios: clasificación de familias de asteroides (Perichinsky et al., 2003), reglas para la identificación de caras humanas (Britos et al., 2005), detección de cambios de consumo de usuarios (Grosser et al., 2005; Britos et al., 2008d), localización de patrones en eventos meteorológicos (Cogliati et al., 2006), predicción de la salud de una comunidad (Felgaer et al., 2006), detección de daños al corazón (Ferrero et al., 2006), registro de uso de sitios web (Britos et al., 2008), selección de protocolos pedagógicos (Britos et al., 2008b), comprobación de malentendidos en programación (Britos et al., 2008), detección de patrones criminales (Valenga et al., 2008e), reconocimiento de patrones de daños en la industria automotriz (Flores et al., 2009), descubrimiento de patrones de deserción en estudiantes universitarios (Kuna et al., 2010a; 2010b), entre otros. Por lo tanto, en base a nuestra experiencia, al campo teórico-conceptual de la Ingeniería de Software y a la luz de los adelantos arriba mencionados, proponemos una batería metodológica para la explota-

ción de información fundada en: un modelo de negocio, un proceso de educación de requisitos, un método de estimación, una metodología de selección de herramientas, un método de transformación de datos y un grupo de procesos para la explotación de información basados en técnicas de minería de datos.

Marco conceptual propuesto

Modelo de proceso para proyectos de explotación de información

La Ingeniería en Software utiliza diversos modelos y metodologías para obtener proyectos de informática con gran nivel de previsibilidad y excelencia. Estos, permiten controlar la calidad final de un producto a desarrollar, estableciendo controles sobre cada una de las etapas que intervienen en el proceso productivo, entendido no sólo como la producción en sí misma, sino también, como las tareas relacionadas con la gestión de un proyecto y de la empresa que lo lleva a cabo.

En el caso de proyectos clásicos, modelos bien probados como CMM (SEI, 2006) o COMPETISOFT -para Pymes- (Oktaba et al., 2007), han sido utilizados con una recurrencia y resultados tales que habilitan su consideración como estables y altamente testeados (en el caso de COMPETISOFT, el más probado ha sido aquel que dio origen al llamado MoProSoft, Oktaba et al., 2005). Sin embargo, son manifiestamente improcedentes y resultan inadecuados para empresas que se dedican a llevar a cabo proyectos de explotación de información, debido a las diferencias que se presentan, mayormente, en la parte operativa de un proyecto. Entre estas, la más evidente se da en los procesos de desarrollo y mantenimiento de software, en los cuales COMPETISOFT define como proceso natural el ciclo de fases de un proyecto de software tradicional (fases de Inicio, Requisitos, Análisis y Diseño, Construcción, Integración, Pruebas y Cierre).

Lo mismo ocurre al evaluar las principales metodologías existentes, ya que se observa la falta de herramientas que permitan soportar de forma completa las fases que, en COMPETISOFT, se encuentran bien definidas y agrupadas en el proceso de administración de proyectos específicos. Por otro lado, entre las metodologías que acompañan el desarrollo de proyectos de

explotación de información, se destacan CRISP (Chapman et al., 2000), P3TQ (Pyle D., 2003) y SEMMA (SAS, 2008) que, si bien fueron probadas y tienen un buen nivel de madurez en cuanto al desarrollo del proyecto, dejan de lado aspectos a nivel gestión y empresa. Presentan, también, carencias a la hora de definir las fases relacionadas a la administración, incluso, los pocos elementos administrativos con los que cuenta, se hallan mezclados con los de producción. Además, no consideran las tareas relacionadas con seguimiento, verificación y medición que deberían acompañar al proceso de desarrollo. Claramente, las actividades de administración de proyectos deben llevarse a cabo paralelamente y en procesos separados.

Como solución, proponemos un Modelo de procesos para proyectos de explotación de información (Vanrell et al., 2010) basado en la unión de COMPETISOFT con CRISP-DM, en el que se eliminan todas las fases no necesarias, adaptando aquellas que sean vitales y agregando nuevas, acorde a los aspectos específicos estudiados. Hemos seleccionado CRISP-DM como metodología de referencia a CRISP dado que la comunidad científica ha considerado que, comparativamente, esta última ofrece más instrumentos a nivel operativo que las otras dos antes mencionadas. Las fases propuestas para el Modelo de procesos para administración de proyectos de explotación de información y sus tareas asociadas se pueden observar en la tabla 1.

Las fases propuestas para el Modelo de procesos para desarrollo de proyectos de explotación de información y sus tareas asociadas se pueden observar en la tabla 2.

Proceso de educación de requisitos en proyectos de explotación de información

La primera tarea para la administración de proyectos y el desarrollo de procesos indicados en el Modelo de procesos, es la de buscar y definir los objetivos, criterios de éxito y expectativas del proyecto de explotación de información. En otras palabras, es menester educir los requerimientos que deben ser satisfechos.

La necesidad de adaptar el proceso tradicional de la ingeniería de requerimientos para sistemas-proyecto de explotación de información,

| SUBPROCESO | TAREA | SALIDA |
|--|--|---|
| Planificación / Entendimiento del negocio | Entendimiento del negocio | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Conocimiento del negocio ▪ Objetivos del negocio ▪ Criterios de éxito |
| | Definir el proceso específico basado en la descripción del proyecto y el proceso de desarrollo y mantenimiento | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Proceso Específico (forma parte del Plan de Desarrollo) |
| | Definir el protocolo de entrega con el cliente | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Plan de Entrega |
| | Definir ciclos y actividades con base en la descripción del proyecto y en el proceso específico | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Proceso Específico (forma parte del Plan de Desarrollo) |
| | Determinar tiempo estimado para cada actividad | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Calendario de actividades (forma parte del Plan de Desarrollo) incorpora el tiempo estimado en el Plan de Proyecto |
| | Elaborar plan de adquisiciones y capacitación | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Plan de Adquisiciones y Capacitación |
| | Establecer el equipo de trabajo | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Equipo de trabajo (forma parte del Plan de Desarrollo) |
| | Establecer el calendario de actividades | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Calendario de actividades (forma parte del Plan de Desarrollo) |
| | Calcular el costo estimado del proyecto | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Costo estimado (forma parte del Plan de Proyecto) |
| | Evaluación de la situación | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Inventario de recursos ▪ Requerimientos, suposiciones y restricciones ▪ Riesgos y contingencias (forma parte del Plan de Proyecto nombrado como Plan de Manejo de Riesgos) ▪ Terminología ▪ Costos y beneficios |
| | Producir un Plan de Proyecto | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Plan de Proyecto, incluye ciclos y actividades, tiempo estimado, plan de adquisiciones y capacitación, equipo de trabajo, costo estimado, calendario, plan de manejo de riesgos y protocolo de entrega |
| | Producir un Plan de Desarrollo | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Plan de Desarrollo (incluye descripción del producto y entregables, proceso específico, equipo de trabajo y calendario) Lista inicial de técnicas y herramientas |
| | Formalizar el inicio de un nuevo ciclo del proyecto | |
| Realización | Acordar las tareas con el equipo de trabajo | |
| | Acordar la distribución de información | |
| | Revisar con el responsable la descripción del producto, el equipo de trabajo y el calendario | |
| | Revisar cumplimiento del plan de adquisiciones y capacitación | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Reporte de Seguimiento / Plan de monitoreo y mantenimiento |
| | Administrar subcontratos | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Reporte de Seguimiento / Plan de monitoreo y mantenimiento |
| | Recolectar reportes de actividades y mediciones y sugerencias de mejora y productos de trabajo | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Reporte de Seguimiento / Plan de monitoreo y mantenimiento ▪ Reporte de Mediciones y Sugerencias de Mejora |
| | Registrar costo real del proyecto | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Reporte de Seguimiento / Plan de monitoreo y mantenimiento |
| | Revisar el registro de rastreo basado en los productos de trabajo recolectados | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Reporte de Seguimiento / Plan de monitoreo y mantenimiento |
| | Revisar los productos terminados durante el proyecto | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Reporte de Seguimiento / Plan de monitoreo y mantenimiento |
| | Recibir y analizar las solicitudes de cambio del cliente | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Reporte de Seguimiento / Plan de monitoreo y mantenimiento |
| Realizar reuniones con el equipo de trabajo y cliente para reportar avances y tomar acuerdos | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Reporte de Seguimiento / Plan de monitoreo y mantenimiento | |
| Evaluación y Control | Evaluar el cumplimiento del plan de proyecto y plan de desarrollo | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Reporte de Seguimiento / Plan de monitoreo y mantenimiento |
| | Analizar y controlar los riesgos | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Reporte de Seguimiento / Plan de monitoreo y mantenimiento |
| | Generar el reporte de seguimiento del proyecto | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Reporte de Seguimiento / Plan de monitoreo y mantenimiento |
| Cierre / Entrega | Formalizar la terminación del proyecto o ciclo | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Documento de aceptación |
| | Llevar a cabo el cierre del contrato con subcontratistas | |
| | Generar el reporte de mediciones y sugerencias de mejora | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Reporte de mediciones y sugerencia de mejoras - Lecciones Aprendidas |
| | Planear la entrega | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Plan de entrega (forma parte del Plan de Proyecto nombrado como protocolo de entrega) |

Tabla 1. Proceso de administración de proyectos

| SUBPROCESO | TAREA | SALIDA |
|----------------------------|--------------------------------------|--|
| Entendimiento del negocio | Determinar las metas del Data Mining | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Metas del Data Mining ▪ Criterios de éxito del Data Mining |
| Entendimiento de los datos | Reunir los datos iniciales | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Reporte de datos iniciales |
| | Describir los datos | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Reporte de descripción de datos |
| | Explorar los datos | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Reporte de exploración de datos |
| | Verificar la calidad de los datos | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Reporte de calidad de los datos |
| Preparación de los datos | Tareas preparatorias | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Datasets ▪ Descripción de los Datasets |
| | Seleccionar los datos | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Justificación de inclusión / exclusión |
| | Limpiar los datos | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Reporte de limpieza de datos |
| | Construir los datos | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Atributos derivados ▪ Registros generados |
| | Integrar los datos | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Datos combinados (combinación de tablas y agregaciones) |
| | Formatear los datos | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Datos formateados |
| | Modelado | Seleccionar la técnica de modelado |
| Modelado | Generar el diseño de test | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Diseño de test |
| | Construir el modelo | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Establecimiento de parámetros ▪ Modelos ▪ Descripción del modelo |
| | | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Evaluación del modelo |
| | Evaluar el modelo | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Revisión de los parámetros establecidos |
| Evaluación | Evaluar resultados | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Evaluación de los resultados de Data Mining respecto a los criterios de éxito ▪ Modelos aprobados |
| | Revisar el proceso | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Revisión del proceso |
| | Determinar próximos pasos | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Lista de posibles decisiones ▪ Decisiones |

Tabla 2. Proceso de desarrollo de proyectos

está fundamentada en que el análisis de requisitos de estos, difiere significativamente del de los sistemas convencionales. Las metodologías existentes para proyectos de explotación de información fallan a la hora de educir todos los conceptos necesarios durante el conocimiento del negocio: CRISP-DM educa un conjunto de conceptos, P3TQ otro y SEMMA un tercero. En general, se abocan a los relacionados con los objetivos del negocio (evaluando situaciones) y dejan fuera de consideración los relacionados con la determinación de los criterios de éxito y el plan del proyecto.

En este contexto, formulamos una propuesta metodológica (Britos et al., 2008c; Pollo-Cattaneo et al., 2009; 2010a) más robusta que las existentes, porque busca identificar los elementos que permitan entender el dominio de los requerimientos del proyecto de explotación de información, y establece los pasos para la educación. La estructura planteada es similar a la de la Ingeniería de Software, ya que permite avanzar de manera progresiva a través de los conceptos manteniendo su orden natural.

Asimismo, durante la fase de comprensión del negocio, sugerimos un proceso de educación de requisitos para proyectos de explotación de información de cinco pasos, tal y como puede observarse en la Fig. 1.

Descripción de cada paso:

- Comprender el dominio del proyecto: consiste en establecer un lenguaje común entre las personas involucradas.
- Conocer los datos del dominio del proyecto: radica en el establecimiento de los requisitos; los datos necesarios para los requisitos y su localización, los riesgos involucrados en los mismos y sus restricciones.
- Comprender los objetivos del proyecto: alude a la identificación de los objetivos, sus limitaciones, expectativas y riesgos.
- Identificar los recursos humanos involucrados: se refiere al conocimiento de la lista de las personas implicadas, sus restricciones, riesgos y responsabilidades.
- Seleccionar la herramienta adecuada: implica identificar una herramienta adecuada al proyecto, de acuerdo con la información obtenida en los pasos anteriores.

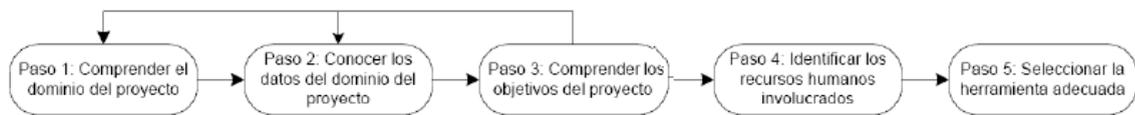


Fig. 1. Proceso de educación de requerimientos

Para conocer los datos del dominio del proyecto en términos de objetivos del requerimiento (requerimiento base o raíz), fuentes de información del requerimiento, suposiciones, restricciones y atributos que involucran al requerimiento, así como los riesgos y su plan de contingencia, es necesario entender el dominio del vocabulario involucrado, en tanto definiciones, acrónimos y abreviaturas.

Para comprender los objetivos del proyecto en términos de metas, criterios de éxito, expectativas, suposiciones, restricciones, riesgos y plan de contingencia, es preciso poseer conocimientos sobre los datos del dominio del proyecto en tanto que objetivos de los requerimientos, fuentes de información, suposiciones, restricciones, riesgos y plan de contingencia de los requerimientos.

Para identificar los recursos humanos involucrados, hace falta estar al tanto de los roles de dichos recursos en el proyecto (para lo cual es necesario comprender los objetivos en términos de metas, criterios de éxito, expectativas, suposiciones, restricciones, riesgos y su plan de contingencia), además de seleccionar la herramienta correcta (con la evaluación en función de las metas del proyecto). En la Fig.

2 se muestra la dependencia de los conceptos entre sí.

Hemos definido un conjunto de plantillas para cada producto involucrado (el conjunto completo de plantillas y sus ejemplos pueden encontrarse en Britos et al., 2008c). Cada plantilla se asocia a un concepto y presenta una descripción detallada de aquellos que son educados, al tiempo que permite su evolución a través de los requerimientos del proceso de educación. La relación entre los conceptos educados como productos y los pasos del proceso propuesto a generar por ellos, se muestran en la tabla 3.

Estimación empírica de carga de trabajo en proyectos de explotación de información

La gestión de un proyecto de software comienza con un conjunto de actividades que se denominan Planificación del proyecto, previo a lo cual, deben realizarse una serie de estimaciones: del trabajo a ejecutar, de los recursos necesarios y del tiempo que transcurrirá desde el comienzo hasta el final de su realización (Pressman, 2004). Dentro del Modelo de procesos descripto, la tarea Calcular el costo estimado del proyecto, también requiere una planificación para estimar los tiempos. Sin embargo, debido a la

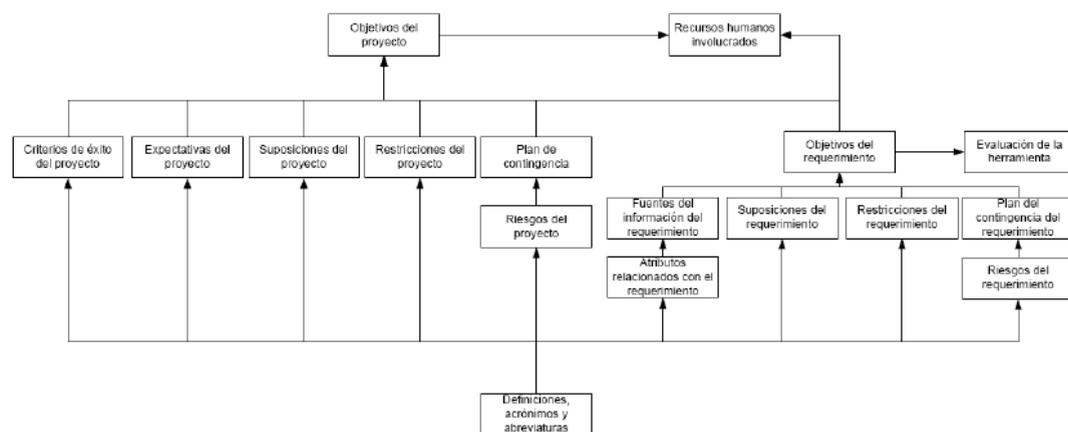


Fig. 2. Referencias cruzadas de los conceptos educados representados por las plantillas

| PASOS | PRODUCTOS (Conceptos a ser educados) | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|------------------------|---------------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------|----------------------|-------------------------------|-----------------------------|---------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|---------------------------|---|----------------------------|
| | Definiciones, acrónimos y abreviaturas | Objetivos del proyecto | Criterios de éxito del proyecto | Expectativas del proyecto | Suposiciones del proyecto | Restricciones del proyecto | Riesgos del proyecto | Plan de contingencia | Recursos humanos involucrados | Objetivos del requerimiento | Fuentes del requerimiento | Suposiciones del requerimiento | Restricciones del requerimiento | Atributos del requerimiento | Riesgos del requerimiento | Plan del contingencia del requerimiento | Evaluación de herramientas |
| Comprender el dominio del proyecto | ● | | | | | | | | ● | | | | | | | | |
| Conocer los datos del dominio del proyecto | ● | | | | | | | | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | |
| Comprender los objetivos del proyecto | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | | | | | | | | |
| Identificar los recursos humanos involucrados | ● | | | | | | | | ● | | | | | | | | |
| Seleccionar la herramienta adecuada | ● | | | | | | | | ● | ● | | | ● | ● | | | ● |

Tabla 3. Relación entre los productos y las etapas del proceso

diferencia existente entre software convencional y los proyectos de explotación de información, los métodos típicos convencionales, no son aplicables.

En consecuencia, en el campo de los sistemas de información, se abre la problemática sobre la construcción de métodos de estimación de proyectos de software que, estrictamente ceñidos a la realidad obtenible, logren resultados predictivos sobre los recursos a emplear. Los proyectos de explotación de información no escapan a esta necesidad y la historia de la Ingeniería en general y la Informática en particular, registran que los primeros abordajes son siempre de naturaleza empírica.

En el marco del escenario descripto, se han efectuado experimentos (Rodríguez et al., 2010; Pytel et al., 2011) encauzados a la obtención de una estimación empírica del porcentaje del tiempo del proyecto de explotación de información que insume la ejecución de cada una de las tareas, de las subfases de la Metodología CRISP-DM orientadas a proyectos para peque-

ños y medianos emprendimientos. A partir de los resultados alcanzados es posible, además, tener una aproximación sobre los tiempos globales del proyecto.

Los resultados obtenidos (ver Tabla 4) destacan aquellas fases y subfases que insumen una cantidad significativa de tiempo. En este sentido, en la Comprensión del Negocio y el Modelado se invierten más del 50% de la duración del proyecto. Y, a su vez, al interior de la primera de ellas, las subfases Determinar los objetivos de negocio y Evaluar la situación, utilizan más del 70% del tiempo pautado. Por otro lado, en Modelado, la subfase Construcción del modelo, requiere el 62,97% del plazo concedido a la totalidad de la ejecución de la fase.

Propuesta para una metodología de selección de herramientas de explotación de información

Una vez que los objetivos del proyecto se encuentran claramente definidos y los recursos humanos identificados, es preciso seleccionar

| FASE | % del TIEMPO |
|-----------------------------------|--------------|
| Fase 1 COMPRESIÓN DEL NEGOCIO | 20,70 |
| Fase 2 ENTENDIMIENTO DE LOS DATOS | 10,90 |
| Fase 3 PREPARACION DE DATOS | 15,61 |
| Fase 4 MODELADO | 34,41 |
| Fase 5 EVALUACIÓN | 7,45 |
| Fase 6 IMPLANTACION | 10,93 |

Tabla 4. Carga de trabajo de cada fase de la Metodología CRISP-DM

la herramienta de explotación de datos. La importancia de su impacto en la organización y la inversión que amerita en términos económicos, hacen que el proceso asociado a su elección sea un tema crítico. Aún más cuando, a lo infrecuente de su realización, se le adiciona la expectativa de un cierto retorno de la inversión. En ocasiones, la adquisición de una herramienta inadecuada, se deriva de la existencia de proveedores diversos y herramientas de uso libre que permiten realizar la tarea sin contar con un método objetivo de selección. Ello trae aparejadas consecuencias tales como: (a) pérdida de tiempo y dinero (b) incremento del riesgo de no cumplir con los objetivos de negocio establecidos. En este contexto, planteamos una metodología (Britos et al., 2005) que apunta a organizar el proceso de selección de una herramienta, para que la organización pueda escoger la que mejor se adapte a sus requisitos, basándose no sólo en cuestiones económicas, sino también en las necesidades propias del negocio.

Esta metodología está compuesta por las siguientes fases:

- Fase 1. Documentar la necesidad:

En esta fase se define y establece el marco general de referencia para la selección de una herramienta de explotación de datos. Para ello, se ponen en consideración las áreas y funciones de la organización que se involucrarán con la herramienta y los objetivos que se pretenden lograr a través de la misma.

- Fase 2. Análisis de la necesidad:

El objetivo de esta fase es documentar las características del negocio que la herramienta debe atender. Así, se intentan describir los requerimientos de la misma que mejor se adapten a los objetivos del negocio de la organización. Ello implica, por ejemplo, no pagar un precio muy elevado por una herramienta que se usará en un 10% de su potencial, que no aporte los métodos necesarios o que resulte obsoleta en el primer intento de ampliación.

- Fase 3. Búsqueda en el mercado:

Esta fase se aboca a la búsqueda de herramientas en el mercado. Tal proceso debe quedar resumido en un informe que detalle los proveedores encontrados.

- Fase 4. Contacto con proveedores:

El objetivo de esta fase es contactar a cada proveedor identificado en la fase anterior y solicitarle información de la herramienta en cuestión.

- Fase 5. Entrevistar posibles candidatos y recopilar información:

En esta fase se concertan entrevistas con cada proveedor con el propósito de completar la información faltante sobre el accionar de éste y los detalles de los productos. Para concluir, se organizan los datos recopilados verificando la homogeneidad de los mismos a efectos de facilitar su comparación y se prepara un informe por cada herramienta.

- Fase 6. Armado del informe de criterios a tener en cuenta:

Esta fase tiene por objetivo desarrollar un informe con criterios de ponderación (ver ejemplo en Fig. 3), que se adecue a las necesidades de la organización y que se constituya en la base de trabajo para las tareas posteriores y para la selección final.

Los criterios del informe son agrupados en cuatro categorías o grupos, que también deberán ser ponderados y que se describen a continuación:

1. Características técnico-funcionales de la herramienta: bajo esta categoría se agrupan los criterios que están ligados a las características técnicas y funcionales de la herramienta.
2. Características del proveedor: incluye aquellos criterios que hacen a la organización proveedora, por ejemplo, evolución y crecimiento, facturación anual, ubicación geográfica, otros clientes y experiencia. Así, se evalúa su solidez, ya que si dejara de existir la organización quedaría un sistema de información sin mantenimiento ni posibilidad de evolución.
3. Características del servicio: se evalúan puntos específicos de la prestación que brinda el proveedor sobre la herramienta.
4. Características económicas: son aquellas relacionadas con costos de licencias y de servicio de mantenimiento de la herramienta.

- Fase 7. Evaluar los candidatos:

En esta fase el equipo debe concertar nuevas entrevistas con los proveedores a efectos de formular una solicitud de propuesta

Encabezado propuesto

| | |
|---------------------------|---|
| Nombre de la herramienta: | |
| Proveedor: | |
| Evaluación: | 1 = Malo, 2 = Regular, 3 = Bueno, 4 = Muy bueno |

Cuestionario propuesto

| Criterios de selección | Descripción | Pond X | Valor Y | Pond X*Y |
|--|---|---|---------|----------|
| 1. Características técnicas – funcionales | | | | |
| Metodología / Ciclo de vida soportado | Metodologías / ciclos de vida que soporta la herramienta para la explotación de datos (CRISP-DM, SEMMA, etc.) | 3 | | |
| Adaptabilidad y flexibilidad para la toma de datos | Desde Bases de Datos | Cantidad de formatos soportado para la toma de datos desde bases de datos diversas. | 8 | |
| | Desde fuentes externas (word, excel, etc.) | Cantidad de formatos soportado para la toma de datos. | 8 | |
| Facilidad para integrar diferentes técnicas | Posibilidad de integrar diversas técnicas de explotación de datos | 5 | | |
| Multi-lenguaje | Permite trabajar en distintos idiomas (tomando el idioma inglés como idioma principal). | 2 | | |
| Técnicas usadas | Cantidad de técnicas que permiten la explotación de datos para el <u>logro de los objetivos del negocio</u> (redes neuronales, redes bayesianas, algoritmos de inducción, etc.) | 18 | | |
| Herramientas de visualización y informe | Permite visualizar la salida de las distintas técnicas utilizadas en la explotación, así como la generación de informes. | 12 | | |

Fig. 3. Ejemplo de Modelo para informe con criterios de ponderación

técnica y económica que complemente el punto anterior.

Para cumplir con el informe, cada criterio se calificará con un valor de 1 a 4, en la columna valor "Y" del cuestionario propuesto (siendo 1=Malos, 2=Regular, 3=Bueno, 4=Muy Bueno). Cada valor en la columna "Y" será multiplicado por el factor en la columna "Pond X" y se colocará en la columna "Pond X*Y". La sumatoria de la columna "Pond X*Y" será multiplicada por la ponderación del grupo y dividida por 100 para obtener la ponderación del grupo en general. Esta operación deberá repetirse para los 4 grupos.

Una vez completo el informe con los datos recolectados, se compararán las ponderaciones resultantes entre las distintas herramientas, para ser presentadas en una reunión de trabajo con el equipo de proyecto convocada a los fines de discutir la evaluación, confrontar los valores obtenidos y seleccionar los candidatos. Al finalizar esta actividad, se deberán elegir los productos de los cuales se pedirá una demostración a los proveedores.

- Fase 8. Demostración del producto:

En este punto los proveedores muestran el producto a los usuarios designados, quienes completan -en cada visita- los cuestionarios confeccionados a tales efectos (ver ejemplo en Fig. 4). Los usuarios calificarán cada criterio indicando en la columna de ponderación ("P") un

valor del 0 a 5.

Al finalizar las visitas se recopilan los cuestionarios, se suman los puntajes de cada proveedor otorgado por cada encuestado y se arma un promedio de puntos obtenidos por cada producto. Estos valores se agregan al informe armado en la fase anterior.

- Fase 9. Evaluación de los productos:

Este es el momento de la comparación de los resultados obtenidos (criterios ponderados y demostración de productos) y de la selección del producto que haya sumado el mayor puntaje durante todo el proceso.

Propuesta de un método de transformación de datos orientado al uso de explotación de información

Si avanzamos sobre el proceso de Desarrollo de proyectos del modelo descrito, advertiremos que el subproceso de Preparación de los datos, se ocupa de tomar la información disponible para su manipulación, transformación y presentación con el objetivo de efectuar su procesamiento a través de técnicas de minería de datos. Cuando se trabaja en explotación de información, los datos representan hechos de la vida real, por lo que deben sujetarse a una preparación previa que los disponga para la utilización de la herramienta. Para conocer qué transformaciones se deben realizar y cómo se deben presentar, es menester responder

Encabezado propuesto

| |
|--|
| Nombre del dataminer: |
| Fecha: |
| Proveedor: |
| Ponderación: 0 = Ítem no evaluado 1 = Ítem evaluado no soportado. 2 = Ítem evaluado soportado de manera incompleta 3 = Ítem evaluado soportado con necesidad de varias modificaciones factibles 4 = Ítem evaluado soportado de manera correcta 5 = Ítem evaluado soportado y provee de valor agregado al trabajo |

Cuestionario propuesto

| CRITERIOS | P |
|--|---|
| Compañía con múltiples filiales | |
| Multiplataforma simultanea | |
| Multilinguaje - varios idiomas | |
| Ayudas en pantalla en el idioma de trabajo de la organización | |
| Manuales en el idioma de trabajo de la organización | |
| Importación de datos de distintas fuentes | |
| Cantidad de técnicas de explotación utilizadas para lograr los objetivos del negocio | |
| Integración entre técnicas | |

Fig. 4. Ejemplo de Modelo para cuestionario de usuario

dos preguntas fundamentales: ¿qué solución debemos obtener? y ¿qué técnica de explotación utilizaremos? La primera cuestión se relaciona con las características y la cantidad de información que se quiera manipular, mientras que la segunda cuestión, indica la forma en que se debe presentar la información para la explotación. Por lo tanto, este proceso, lejos de ser automático, comporta la actuación de un ingeniero que debe poner en juego su conocimiento para generar el conjunto de datos necesarios para la aplicación de un modelo de explotación.

En virtud de lo expuesto, (Merlino et al., 2005) ofrecemos un método de transformación de datos orientado a la explotación de información, detallando las características necesarias que debe poseer el entorno de trabajo para la automatización del mismo. Nos referimos al Método Unificado de Transformación (MUT), resultante de la experiencia adquirida en el procesamiento de grandes volúmenes de información sobre distintas plataformas (desde equipos IBM 390 a redes de computadoras con distintas versiones de Microsoft Windows, pasando por AS 400 y versiones de Unix). El principal objetivo de éste no se centra en emprender todas las transformaciones en un solo paso, sino en llevar adelante pequeñas modi-

ficaciones sobre los datos, para luego realizar una prueba de regresión completa de lo hecho hasta el momento y, tras una evaluación satisfactoria, reiniciar el ciclo con la siguiente innovación planeada. Para poder concretarlo, recomendamos una serie de fases que se despliegan una vez conocidas las repuestas a las dos preguntas fundamentales, es decir, dónde estoy y a dónde quiero llegar.

Descripción de las fases propuestas para la transformación de datos:

- Fase de análisis de los requerimientos de transformación:
El primer paso consiste en recabar información acerca de qué es lo que se necesita obtener. En otras palabras, conocer el formato que debe tener nuestro conjunto de datos para poder ser ingresado al modelo elegido para la minería de datos.

Con el formato de archivo de ingreso al modelo de datos ya especificado, se abren dos cursos de acción posibles: [a] la indagación por el origen de datos para la creación del archivo solicitado, o [b] la vuelta sobre el modelo de minería de datos seleccionado, con la finalidad de detectar los requisitos del conjunto de datos para su uso, es decir, cantidad de registros

necesarios para su aplicación y cantidad de conjuntos de datos para su validación o entrenamiento. Sea que se opte por la primera o la segunda opción, debe volverse sobre la técnica de la entrevista. Pero, mientras que en el primer caso, se busca detectar el origen de datos para poder acceder a ellos, en el segundo, se espera alcanzar el origen del conjunto de datos de pruebas, para realizar un análisis del modelo requerido y disponible.

En la Fig. 5 se esquematiza el proceso de obtención de requisitos para la transformación de datos.

- Fase de modelo de las transformaciones: En esta etapa se diseñan las transformaciones necesarias para que los datos tomados del origen lleguen a la estructura requerida por el modelo de minería de datos. Para esto, se utilizan casos de usos que tendrán como actor al "controlador": encargado de generar los eventos para que el flujo de los datos tenga las transformaciones necesarias.

- Fase de codificación: En este paso se codifican todos los programas esenciales para realizar las transformaciones necesarias para el modelo de minería de datos. El encargado de la codificación recibirá, al menos, las especificaciones de los formatos de entradas y salidas y los casos de uso definidos en la fase anterior. Como el controlador de tareas es independiente del programa que debe ejecutar, puede utilizarse el lenguaje de programación que se desee, siempre y cuando éste pueda ser soportado por la plataforma en la que se ha de trabajar.

- Fase de pruebas: Una vez finalizada la codificación, se avanza hacia las pruebas de unidad y regresión. Esta etapa no sólo se refiere a la comprobación de los programas encargados de la generación de las transformaciones, sino a la construcción del archivo que proveerá la secuencia de pasos al controlador de tareas.

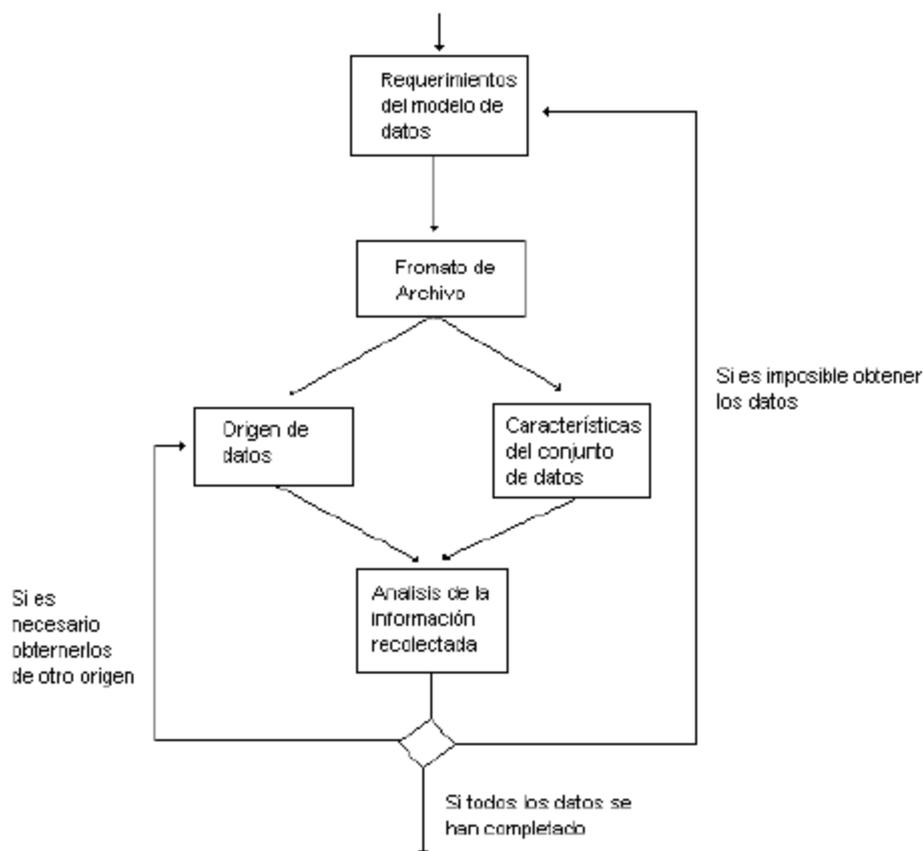


Fig. 5. Proceso de obtención de requisitos para la transformación de datos

- Fase de evaluación:
Con toda la información de las pruebas antes realizadas y, en caso de no encontrarse ninguna anomalía, se analiza el problema y se decide el camino de acción a tomar.

- Fase de nueva iteración:
De lo dicho hasta el momento se deduce la necesidad de generar nuevas iteraciones con cada paso. Así, este proceso se repite hasta finalizar todas las transformaciones involucradas en la satisfacción del Modelo de Minería de Datos.

Propuesta de procesos de explotación de información para problemas de inteligencia de negocio

Continuando con el desarrollo de Proyectos del modelo de proceso descrito, observamos que las tareas del subproceso de Modelado, usan ciertas técnicas y algoritmos de data mining para procesar la información disponible una vez que los datos se encuentran transformados y listos para ser utilizados.

En primer lugar, es necesario identificar todas las fuentes de información (bases de datos, archivos planos, entre otras), para integrarlas formando una sola, que será identificada bajo el término "datos integrados". Hemos definido cinco procesos de explotación de información, (Britos et al., 2008a; Britos y García-Martínez, 2009; Pollo-Cattaneo et al., 2010b) que se describen en las siguientes subsecciones: descubrimiento de reglas de comportamiento, descubrimiento de grupos, descubrimiento de atributos significativos, descubrimiento de reglas de pertenencia a grupos y ponderación de reglas de comportamiento o de pertenencia a grupos. Además, es posible asociar a cada proceso las siguientes técnicas: algoritmos TDIDT -Top Down Induction Decision Trees- (Quinlan, 1986), Mapas Auto Organizados de Kohonen -Self-Organizing Maps o SOM- (Kohonen, 1995) y Redes Bayesianas (Heckerman et al., 1995). Asimismo, los procesos propuestos se validaron en los siguientes dominios: alianzas políticas, diagnóstico médico y comportamiento de usuarios. (Un reporte completo de estas validaciones puede ser encontrado en Britos, 2008.)

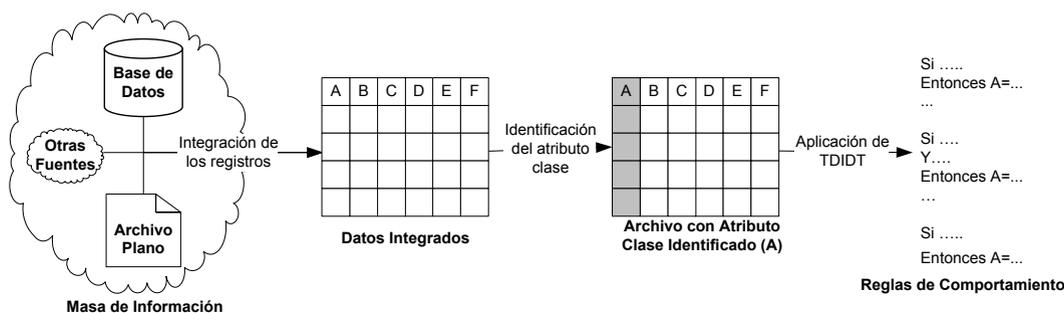


Fig. 6. Esquema y subproductos resultantes de aplicar TDIDT al descubrimiento de reglas de comportamiento

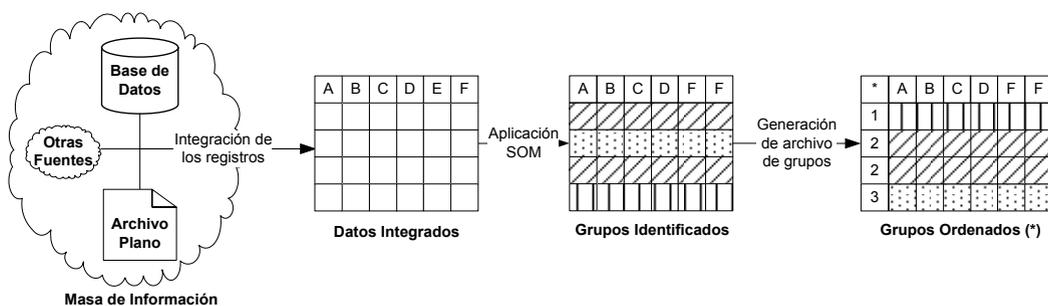


Fig. 7. Esquema y subproductos resultantes de aplicar SOM para el descubrimiento de grupos

Proceso de descubrimiento de reglas de comportamiento

Este proceso toma lugar cuando se requiere identificar cuáles son las condiciones para obtener determinado resultado en el dominio del problema, por ejemplo: caracterización del local más visitado por los clientes, identificación de los factores que inciden en el alza de las ventas de un producto dado, individualización de los rasgos de consumidores con alto grado de fidelidad a la marca, establecimiento de los atributos demográficos y pictográficos que distinguen a los visitantes de un *website*, entre otros.

Para el descubrimiento de reglas de comportamiento definidos a partir de atributos-clase, en el dominio del problema representado por la masa de información disponible, proponemos la utilización de algoritmos de inducción TDIDT (Britos et al., 2008). Este proceso y sus subproductos pueden visualizarse gráficamente en la Fig. 6.

Proceso de descubrimiento de grupos

A partir de este proceso se asiste a la identificación de una partición en la masa de información disponible sobre el dominio del problema. Son ejemplos de problemas que requieren este proceso: identificación de segmentos de

consumidores para bancos y financieras, tipificación de llamadas de clientes para empresas de telecomunicación, reconocimiento de grupos sociales con características similares, determinación de grupos de estudiantes con atributos homogéneos, entre otros.

Para el descubrimiento de grupos (Kaufman & Rousseeuw, 1990; Grabmeier & Rudolph, 2002) a partir de masas de información sobre las que no se dispone ningún criterio de agrupamiento a priori (en el dominio del problema) proponemos la utilización de Mapas Auto Organizados de Kohonen -o SOM por su sigla en inglés- (Ferrero et al., 2006; Britos et al., 2008). El uso de esta tecnología explora la existencia de grupos que permitan una partición característica del dominio del problema que la masa de información disponible representa. Este proceso y sus subproductos pueden ser visualizados gráficamente en la Fig. 7.

Proceso de descubrimiento de atributos significativos

Este proceso hace referencia a la identificación de los factores con mayor incidencia (o frecuencia de ocurrencia) sobre un determinado resultado del problema. A modo de ejemplo, algunos problemas que requieren este proceso son: factores con incidencia sobre las ventas, rasgos distintivos de clientes con alto

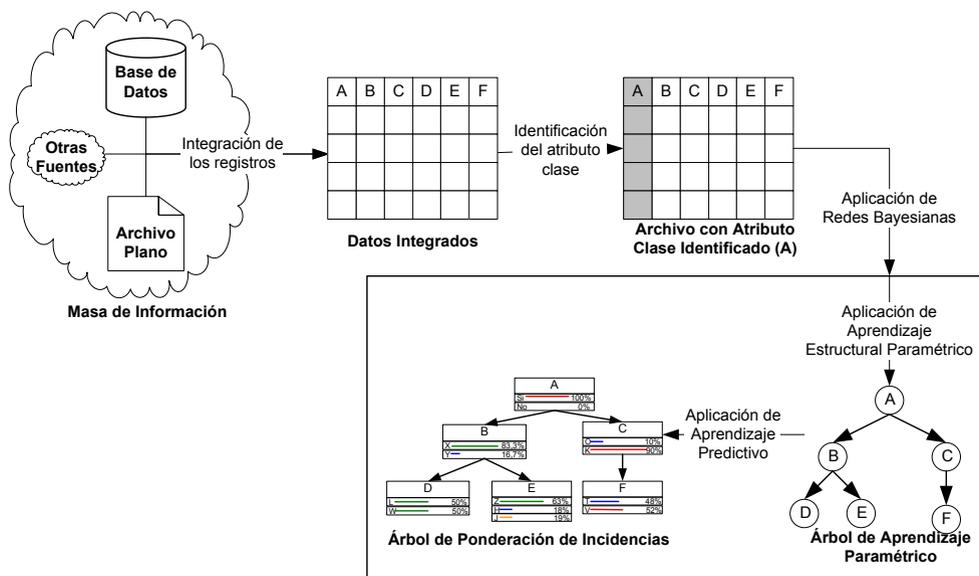


Fig. 8. Esquema y subproductos resultantes de aplicar Redes bayesianas a la ponderación de interdependencia entre atributos

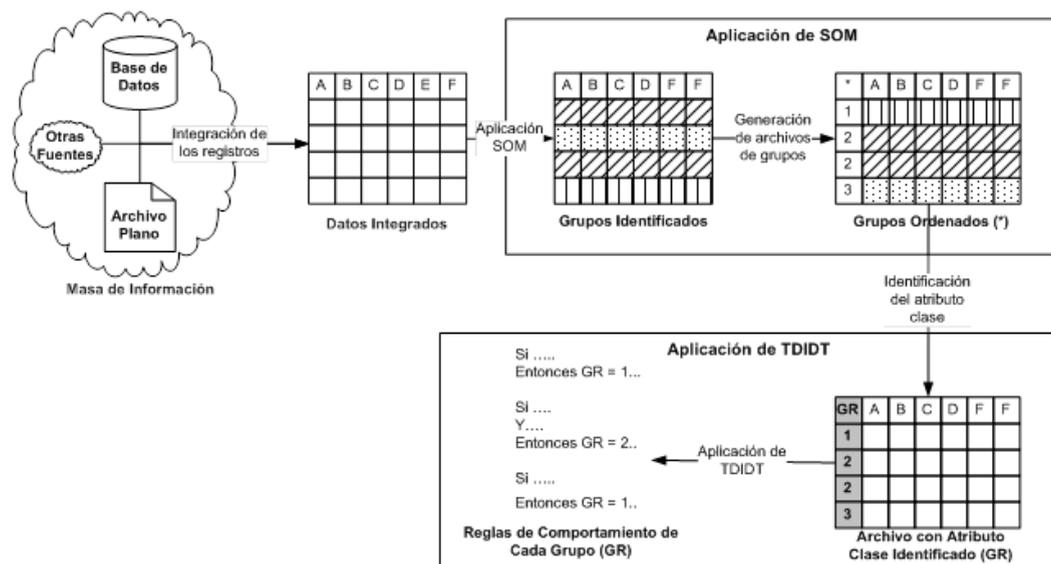


Fig. 9. Esquema y subproductos resultantes de SOM y TDIDT aplicados al descubrimiento de reglas de pertenencia a grupos

grado de fidelidad a la marca, atributos claves que convierten un determinado producto en vendible, características sobresalientes de los visitantes de un *website*, entre otros.

Para ponderar en qué medida la variación de los valores de un atributo, incide sobre la variación del valor de un atributo-clase, indicamos la utilización de Redes bayesianas (Britos et al., 2008). Esta tecnología pretende identificar si existe algún grado de interdependencia entre los atributos que modelan el dominio del problema que la masa de información disponible representa. Este proceso y sus subproductos pueden visualizarse gráficamente en la Fig. 8.

Proceso de descubrimiento de reglas de pertenencia a grupos

En virtud de este proceso se pretende determinar cuáles son las condiciones de pertenencia a cada una de las clases, en una partición desconocida *a priori*, pero presente en la masa de información disponible sobre el dominio del problema. Los siguientes son ejemplos de problemas que requieren este proceso: tipología de perfiles de clientes y su caracterización, distribución y estructura de los datos de un *website*, segmentación etaria de estudiantes y comportamiento de cada segmento, clases de

llamadas telefónicas en una región y caracterización de cada una de éstas, entre otros.

Para el descubrimiento de reglas de pertenencia a grupos, postulamos la utilización de mapas auto-organizados (SOM) y, tras la identificación de los grupos, el empleo de algoritmos de inducción (TDIDT) para establecer las reglas de pertenencia a cada uno (Britos et al., 2005; Cogliati et al., 2006a). Este proceso y sus subproductos pueden ser visualizados gráficamente en la Fig. 9.

Proceso de ponderación de reglas de comportamiento o de pertenencia a grupos

Con la aplicación de este proceso se pretende identificar cuáles son las condiciones con mayor incidencia (o frecuencia de ocurrencia) sobre la obtención de un determinado resultado en el dominio del problema, sean éstas las que en mayor medida inciden sobre un comportamiento, o las que mejor definen la pertenencia a un grupo. Son ejemplos de problemas que requieren este proceso: identificación del factor dominante en el alza de las ventas de un producto dado, individuación del rasgo con mayor presencia en los clientes con alto grado de fidelidad a la marca, reconocimiento de la frecuencia de ocurrencia de cada perfil de clientes, determinación del

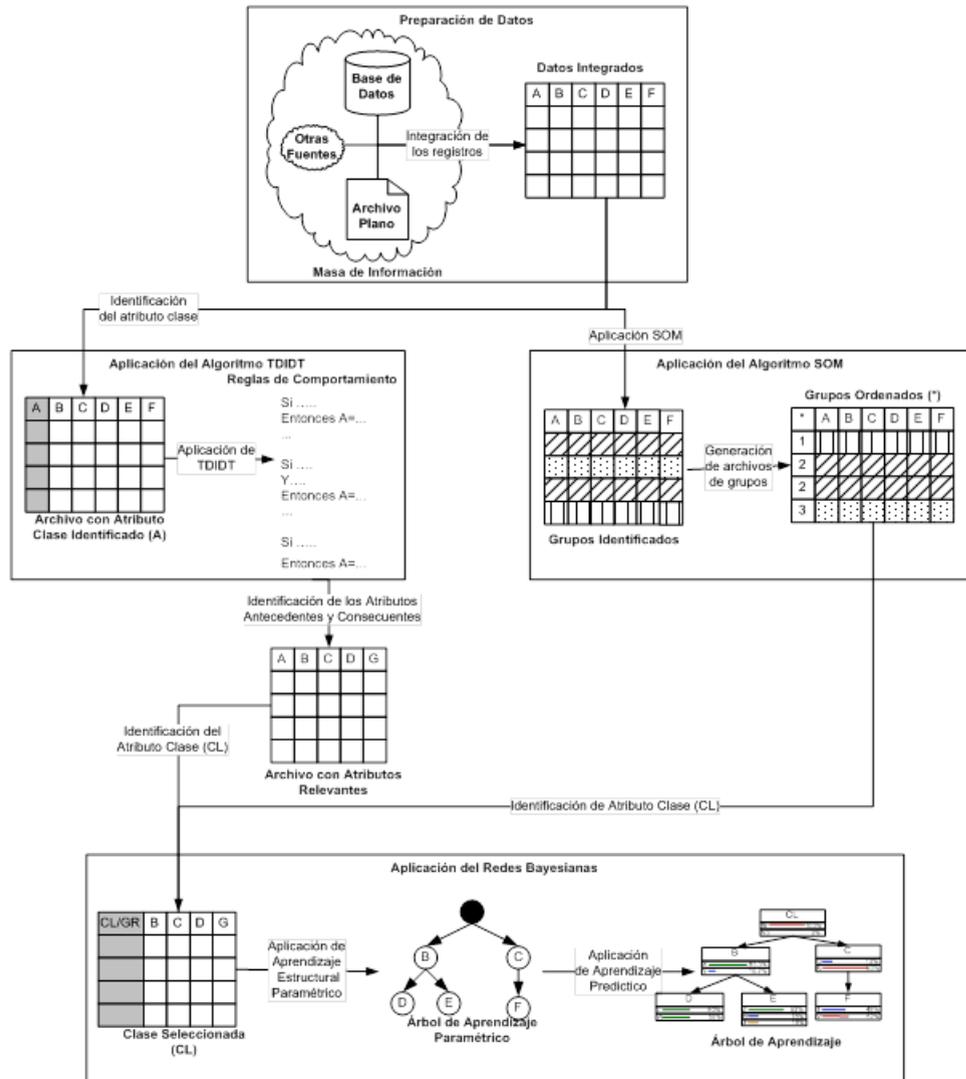


Fig. 10. Esquema y subproductos resultantes de Redes bayesianas aplicadas a la ponderación de reglas de comportamiento o de pertenencia a grupos

tipo de llamada más frecuente en una región, entre otros.

Para la ponderación de reglas de comportamiento o de pertenencia a grupos proponemos la utilización de redes bayesianas. Lo cual puede realizarse a través de dos procedimientos diferentes, dependiendo de las características del problema a resolver. En el caso de que se contara con clases/grupos identificados, se acude a algoritmos de inducción TDIDT para descubrir las reglas de comportamiento de cada atributo clase, tras lo cual se utilizan Redes bayesianas para saber cuál de los atributos establecidos como antecedente de las reglas, tiene mayor incidencia sobre el atributo esta-

blecido como consecuente. Este proceso y sus subproductos pueden ser visualizados gráficamente en la Fig. 10.

Conclusiones

La historia de la Explotación de Información comenzó con la sistematización de algoritmos de aprendizaje automático aplicados al descubrimiento de conocimientos hace más de un cuarto de siglo. Durante muchos años el interés de la comunidad científica estuvo enfocado más en los algoritmos que en los procesos. La evolución disciplinar que ha ido de una concepción artesanal a una concepción ingenieril en Proyectos de Software convencional, ha te-

nido su paralelo en la evolución de Proyectos de Explotación de Información. La experiencia que acumulamos en la última década nos ha permitido identificar la falta de una Ingeniería acorde a sus necesidades. Durante estos años hemos desarrollado, basados en principios de la Ingeniería en Software, una serie de herramientas que han madurado como las bases principales de nuestra versión de una Ingeniería de Explotación de Información, la cual ha sido usada en proyectos para pequeños y

medianos emprendimientos. Este trabajo realiza una presentación sistemática de las herramientas desarrolladas para dicho proyecto, entre las que se encuentran: un Modelo de procesos, un Proceso de educación de requisitos, un Modelo de estimación empírica de carga de trabajo, una Metodología en selección de herramientas, un Método de transformación de datos y un conjunto de procesos de explotación de información para inteligencia de negocios.

Referencias

- BRITOS, P. (2008a). Procesos de Explotación de Información Basados en Sistemas Inteligentes. Tesis Doctoral. Facultad de Informática. Universidad Nacional de La Plata.
- BRITOS, P.; ABASOLO, M.; GARCÍA-MARTÍNEZ, R.; PERALES, F. (2005) Identification of MPEG-4 Patterns in Human Faces Using Data Mining Techniques. Proceedings 13th International Conference in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision 2005. 9, 10.
- BRITOS, P.; CATALDI, Z.; SIERRA, E.; GARCÍA-MARTÍNEZ, R. (2008). Pedagogical Protocols Selection Automatic Assistance. (2008b). Lecture Notes in on Artificial Intelligence, 5027: 331, 336.
- BRITOS, P.; DIESTE, O.; GARCÍA-MARTÍNEZ, R. (2008c). Requirements Elicitation in Data Mining for Business Intelligence Projects. En, *Advances in Information Systems Research, Education and Practice*. David Avison; George M. Kasper; Barbara Pernici; Isabel Ramos y Dewald Roode Eds. (Boston: Springer), IFIP Series, 274: 139, 150.
- BRITOS, P.; FERNÁNDEZ, E.; OCHOA, M.; MERLINO, H.; DIEZ, E.; GARCÍA MARTÍNEZ, R. (2005) Metodología de Selección de Herramientas de Explotación de Datos. II Workshop de Ingeniería del Software y Bases de Datos. XI Congreso Argentino de Ciencias de la Computación. 113, 123.
- BRITOS, P.; GARCÍA-MARTÍNEZ, R. (2009) Propuesta de Procesos de Explotación de Información. Proceedings XV Congreso Argentino de Ciencias de la Computación. Workshop de Base de Datos y Minería de Datos. 1041, 1050.
- FELGAER, P.; GARCÍA-MARTÍNEZ, R. (2008) Bayesian Networks Optimization Based on Induction Learning Techniques. In *Artificial Intelligence in Theory and Practice II*, ed. M. Bramer, (Boston: Springer).
- BRITOS, P.; GROSSER, H.; RODRÍGUEZ, D.; GARCÍA-MARTÍNEZ, R. (2008d) Detecting Unusual Changes of Users Consumption. In *Artificial Intelligence in Theory and Practice II*, Op. Cit, 276: 297, 306.
- BRITOS, P.; JIMÉNEZ REY, E.; GARCÍA-MARTÍNEZ, E. (2008e) Work in Pro-gress: Programming Misunderstandings Discovering Process Based On Intelli-gent Data Mining Tools. Proceedings 38th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference.
- BRITOS, P.; MARTINELLI, D.; MERLINO, H.; GARCÍA-MARTÍNEZ, R. (2007) Web Usage Mining Using Self Organized Maps. *International Journal of Computer Science and Network Security*, 7(6):45, 50.
- Carnegie Mellon University, Software Engineering Institute (2006) Session F4H: Assessing and Understanding Student Learning.
- CHAPMAN, P.; CLINTON, J.; KERBER, R.; KHABAZA, T.; REINARTZ, T.; SHEARER, C.; WIRTH, R. (2000). CRISP-DM 1.0 Step-by-step Data Mining Guide. April 2011.
- COGLIATI, M.; BRITOS, P.; GARCÍA-MARTÍNEZ, R. (2006) Patterns in Temporal Series of Meteorological Variables Using SOM & TDIDT. Volume 217, En *Artificial Intelligence in Theory and Practice*, ed. M. Bramer, IFIP (Boston: Springer), 217: 305, 314.
- CURTIS, B.; KELLNER, M.; OVER, J. (1992) Process Modelling. *Communications of the ACM*, 35(9): 75, 90.
- FELGAER, P.; GARCÍA-MARTÍNEZ, R. (2008) Bayesian Networks Optimization Based on Induc-

tion Learning Techniques. En *Artificial Intelligence in Theory and Practice II*, Op. Cit.

FELGAER, P.; BRITOS, P.; GARCÍA-MARTÍNEZ, R. (2006) Prediction in Health Domain Using Bayesian Network Optimization Based on Induction Learning Techniques. *International Journal of Modern Physics C* 17(3): 447, 455.

FERREIRA, J.; TAKAI, O; PU, C. (2005) Integration of Business Processes with Autonomous Information Systems: A Case Study in Government Services. *Proceedings Seventh IEEE International Conference on E-Commerce Technology*. 471, 474.

FERRERO, G.; BRITOS, P.; GARCÍA-MARTÍNEZ, R., (2006) Detection of Breast Lesions in Medical Digital Imaging Using Neural Networks, *IFIP*, Volume 218, *Professional Practice in Artificial Intelligence*, eds. J. Debenham, (Boston: Springer). 1, 10.

FLORES, D.; GARCÍA-MARTÍNEZ; R. FERNANDEZ, E.; MERLINO, H.; RODRIGUEZ, D.; BRITOS, P. (2009) Detección de Patrones para la Prevención de Daños y/o Averías en la Industria Automotriz. *Proceedings XV Congreso Argentino de Ciencias de la Computación. Workshop de Base de Datos y Minería de Datos*. 1021, 1030.

GARCÍA-MARTÍNEZ, R.; SERVENTE, M.; PASQUINI, D. (2003) *Sistemas Inteligentes*. Editorial Nueva Librería.

GARCÍA-MARTÍNEZ, R.; LELLI, R.; MERLINO, H.; CORNACHIA, L.; RODRIGUEZ, D.; PYTEL, P.; ABOLEYA, H. (2011) Ingeniería de Proyectos de Explotación de Información para PYMES. *Proceedings XIII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación (en Prensain pret)*.

GRABMEIER, J.; RUDOLPH, A. (2002) Techniques of Cluster Algorithms in Data Mining. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 6(4): 303, 360.

GROSSER, H.; BRITOS, P.; GARCÍA-MARTÍNEZ, R. (2005) Detecting Fraud in Mobile Telephony Using Neural Networks. *Lecture Notes in Artificial Intelligence* 3533:613, 615.

HECKERMAN, D.; CHICKERING, M.; GEIGER, D. (1995) Learning bayesian net-works, the combination of knowledge and statistical data. *Machine learning* 20: 197, 243.

KANUNGO, S. (2005) Using Process Theory to Analyze Direct and Indirect Value-Drivers of Information Systems. *Proceedings of the 38th Annual Hawaii International Conference on System Sciences*. 231, 240.

KAUFMANN, L.; ROUSSEEUW, P. (1990) *Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis*. John Wiley & Sons Publishers.

KOHONEN, T. (1995). *Self-Organizing Maps*. Springer Verlag Publishers.

MUSEN, M.; FERGERSON, R.; GROSSO, W.; NOY, N.; CRUBEZY, M.; GENNARI, J. (2000) Component-Based Support for Building Knowledge-Acquisition Systems. *Reporte SMI- 2000-0838*. Stanford Medical Informatics. Universidad de Stanford.

KUNA, H.; GARCÍA MARTÍNEZ; R. VILLATORO, F. (2010a) Pattern Discovery in University Students Desertion Based on Data Mining. *Advances and Applications in Statistical Sciences Journal*, 2(2): 275, 286.

KUNA, H.; GARCÍA-MARTÍNEZ, R.; VILLATORO, F. (2010b) Identificación de Causales de Abandono de Estudios Universitarios. *Uso de Procesos de Explotación de Información*. *Revista Iberoamericana de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología* 5: 39,44.

MERLINO, H.; BRITOS, P.; IERACHE, J.; DIEZ E.; GARCÍA-MARTÍNEZ, R. (2005) Un Método de Transformación De Datos orientado al uso de Explotación de Información. *II Workshop de Ingeniería del Software y Bases de Datos*. *XI Congreso Argentino de Ciencias de la Computación*. 22, 32

NEGASH, S.; GRAY, P. (2008) Business Intelligence. En *Handbook on Decision Support Systems*, 2 ed., Eds. F. Burstein y C. Holsapple (Heidelberg, Springer), 175, 193.

OKTABA, H.; ALQUICIRA ESQUIVEL, C.; RAMOS, A. S.; MARTÍNEZ MARTÍNEZ, A.; QUINTANILLA OZORIO, G.; RUVALCABA LÓPEZ, M., LÓPEZ LIRA HINOJO, F.; RIVERA LÓPEZ, M. E.; OROZCO MENDOZA, M. J.; FERNÁNDEZ ORDOÑEZ, Y.; FLORES LEMUS, M. A. (2005) *Modelo de Procesos para la Industria de Software*. Secretaría de Economía de México.

OKTABA, H.; GARCIA, F.; PIATTINI, M.; RUIZ, F.; PINO; F.J., ALQUICIRA, C. (2007) Software Process Improvement: The COMPETISOFT Project. *Computer* 40(10): 21, 28.

PERICHINSKY, G.; SERVETTO, A.; GARCÍA-MARTÍNEZ, R.; ORELLANA, R.; PLASTINO, A. (2003)

Taxomic Evidence Applying Algorithms of Intelligent Data Mining Asteroid Families. Proceedings International Conference on Computer Science, Software Engineering, Information Technology, e-Business & Applications. Río de Janeiro (Brasil). 308, 315.

POLLO-CATTANEO, F.; BRITOS, P.; PESADO, P.; GARCÍA-MARTÍNEZ, R. (2009) Metodología para Especificación de Requisitos en Proyectos de Explotación de Información. Proceedings XI Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación. 467, 469.

POLLO-CATTANEO, F.; BRITOS, P.; PESADO, P.; GARCÍA-MARTÍNEZ, R. (2010a) Proceso de Educación de Requisitos en Proyectos de Explotación de Información y (2010b) Ingeniería de Procesos de Explotación de Información. En Ingeniería de Software e Ingeniería del Conocimiento: Tendencias de Investigación e Innovación Tecnológica en Iberoamérica, Eds: R. Aguilar, J. Díaz, G. Gómez, E- León. Alfaomega Grupo Editor. 1,11 y 252, 263.

PRESSMAN, R. (2004) Software Engineering: A Practitioner's Approach. Editorial Mc Graw Hill.

PYLE, D. (2003) Business Modeling and Business intelligence. Morgan Kaufmann Publishers.

PYTEL, P.; TOMASELLO, M.; RODRÍGUEZ, D.; ARBOLEYA, H.; POLLO-CATTANEO, M.; BRITOS, P.; GARCÍA-MARTÍNEZ, R. Estimación de Proyectos de Explotación de Información Estudio Comparado de Modelos Analíticos y Empíricos. Proceedings XIII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación (in press).

QUINLAN, J. (1990) Learning Logic Definitions from Relations. (1986) Induction of decision trees. Machine Learning, 5:239, 266(1): 81, 106.

RODRÍGUEZ, D.; POLLO-CATTANEO, F.; BRITOS, P.; GARCÍA-MARTÍNEZ, R. (2010) Estimación Empírica de Carga de Trabajo en Proyectos de Explotación de Información. Anales del XVI Congreso Argentino de Ciencias de la Computación. 664, 673.

SAS, (2008) SAS Enterprise Miner: SEMMA.

SCHIEFER, J.; JENG, J.; KAPOOR, S.; CHOWDHARY, P. (2004) Process Information Factory: A Data Management Approach for Enhancing Business Process Intelligence. Proceedings 2004 IEEE International Conference on E-Commerce Technology. 162, 169.

SEI (2006). CMMI-DEV for Development, Vers. 1.2. Software Engineering Institute Carnegie Mellon University.

SAS, (2008). SAS Enterprise Miner: SEMMA.

THOMSEN, E. (2003) BI's Promised Land. Intelligent Enterprise, 6(4): 21, 25.

VALENGA, F.; FERNÁNDEZ, E.; MERLINO, H.; RODRÍGUEZ, D.; PROCOPIO, C.; BRITOS, P.; GARCÍA-MARTÍNEZ, R. (2008) Minería de Datos Aplicada a la Detección de Patrones Delictivos en Argentina. Proceedings VII Jornadas Iberoamericanas de Ingeniería de Software e Ingeniería del Conocimiento. 31, 39.

VANRELL, J.; BERTONE, R.; GARCÍA-MARTÍNEZ, R. (2010) Modelo de Proceso de Operación para Proyectos de Explotación de Información. Anales del XVI Congreso Argentino de Ciencias de la Computación. 674, 682.

VANRELL, J.; BERTONE, R.; GARCÍA-MARTÍNEZ, R. (2010) Un Modelo de Procesos de Explotación de Información. Proceedings XII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación. 167, 171.

Impacto económico en el sector energético y evaluación de riesgos de la extensión de vida de la Central Nuclear de Embalse

Juan Marcelo Barreto

Universidad tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Medrano 951, (C1179AAQ)
Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

juanbarretor@gmail.com

Recibido el 8 de Agosto de 2011, aprobado el 8 de Septiembre de 2011

Resumen

La situación energética de la Argentina presenta un indicador clave de la capacidad que se tiene para lograr un desarrollo sostenible frente al incremento de la demanda de energía asociada.

En este trabajo se analizan las consecuencias de la salida de funcionamiento de la Central Nucleoeléctrica Embalse, debido a la necesidad impostergable de realizar un rejuvenecimiento de sus instalaciones, mediante una proyección de escenarios posibles y presentando las implicancias que esto tiene sobre el PBI en el período que va desde el año 2012 al 2018.

PALABRAS CLAVE: REJUVENECIMIENTO DE LA CENTRAL NUCLEAR EMBALSE – PBI – SUBSIDIOS – OFERTA Y DEMANDA DE ENERGÍA – RESERVA TÉCNICA DE ENERGÍA

Abstract

The energy situation in Argentina has a key indicator of the capacity that has to achieve sustainable development meet the increased energy demand associated.

In this paper the consequences of running out of Embalse Nuclear Power Plant are analyzed, due to the urgent need to make a revamping of its facilities, through a projection of possible scenarios and presenting the implications of this on GDP in the period ranging from 2012 to 2018.

KEYWORDS: EMBALSE NUCLEAR POWER PLANT REVAMPING – GDP – GRANTS – ENERGY SUPPLY AND DEMAND – ENERGY TECHNIQUE RESERVE

² El presente artículo forma parte del trabajo de tesis "Impacto económico en el sector energético y evaluación de riesgos de la extensión de vida de la Central Nuclear de Embalse" para optar al grado de Magister en Administración de Negocios, bajo la dirección del Dr. Dino Otero.

Introducción

La situación energética de la Argentina presenta un indicador clave de la capacidad que se tiene para lograr un desarrollo sostenible frente al incremento de la demanda de energía asociada, repercutiendo directamente sobre el PBI del país. La salida de servicio de la Central Nucleoeléctrica Embalse (CNE), debido a la necesidad de realizar un rejuvenecimiento de sus instalaciones, tiene grandes implicancias a este respecto a pesar de representar menos del 4% de la potencia actual instalada, entre máquinas térmica, nucleares, e hidroeléctricas. La energía que aporta es considerada de base, ya que la Central permanece en funcionamiento de no tener que realizarse una parada por algún tema en particular, pues no puede ser conectada y apagada en períodos muy breves, como sucede con las máquinas térmicas consideradas de punta, las cuales entran en servicio rápidamente durante las horas de máximo consumo de energía (horas pico).

Del total de potencia instalada, una parte se encuentra como reserva técnica, es decir, máquinas que existen pero que no se encuentran en funcionamiento por diferentes motivos, como puede ser un mantenimiento de las instalaciones. El porcentaje de reserva técnica del país constituye un factor muy importante al evaluar los efectos de la salida de servicio de la CNE ya que condiciona el ritmo de crecimiento de la demanda que el país puede afrontar en los próximos años, la cantidad de subsidios que son necesarios aportar al sector, la cantidad de energía que se importa desde otros países, etc.

El panorama energético es bastante complejo, deben tenerse en cuenta no solo factores internos, como pueden ser la cantidad de reservas de combustibles con las que cuenta el país o la tasa de aumento de la población y la franja de edades en las cuales se está creciendo, sino que también hay que considerar factores externos que poseen un gran peso, como lo son las reservas mundiales de combustibles y los acuerdos internacionales en el área del Medio Ambiente, principalmente en lo que respecta al tratado de Kyoto.

Dada la gran variedad de factores involucrados se ha decidido utilizar aquí un método de planteamiento de escenarios analizados durante el transcurso de la carrera. Este se basa en el trabajo de Peter Schwartz en su libro *The art of the long view*.

La brecha de tiempo analizada se encuentra comprendida entre el año 2012 y el año 2018.

Parte experimental

Descripción de la Central Nuclear Embalse

La Central Nuclear Embalse (CNE) es, cronológicamente, la segunda central nuclear de nuestro país que se denomina Sistema Argentino de Interconexión (SADI) (<http://www.na-sa.com.ar/centrales/embalse#>). Se encuentra situada en la costa sur del Embalse del Río Tercero, provincia de Córdoba, a 665m sobre el nivel del mar. Dista aproximadamente 100km de la ciudad de Córdoba, y a 700km de la ciudad de Buenos Aires. Es una central del tipo CANDU similar a las

| Tipo | Unidad | Valor |
|-----------------------|---------------------|--------|
| Gas | u\$/Mm ³ | 86,42 |
| Fuel Oil | u\$/litro | 0,38 |
| Combustible CANDU | u\$/kg de uranio | 157,20 |
| Combustible Atucha I | u\$/kg de uranio | 540,35 |
| Combustible Atucha II | u\$/kg de uranio | 594,39 |

Tabla 1. Precio del combustible considerado

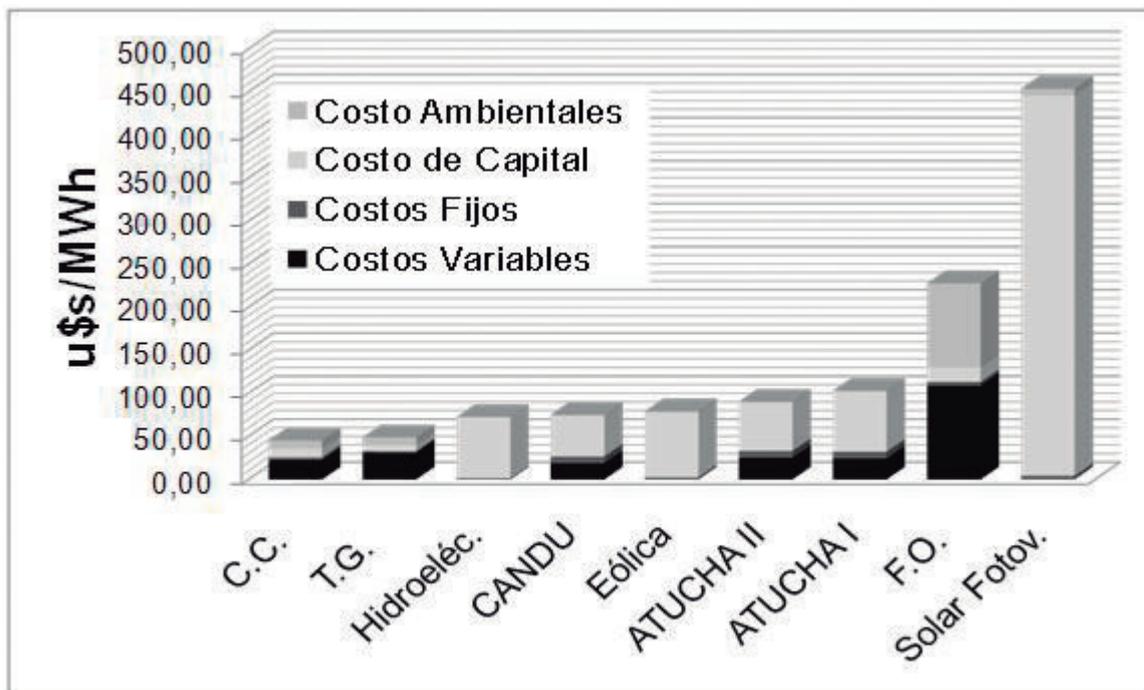


Fig. 1. Costos desglosados para cada tipo de central

que existen operando en Canadá, Corea del Sur, India, Rumania, Pakistán y China. Pertenece al tipo de centrales de tubos de presión, cuyo combustible es el uranio natural y su refrigerante y moderador es el agua pesada. La energía aportada por la CNE, se entrega a la red nacional.

La fecha de inicio del rejuvenecimiento de la CNE, se ha movido en los últimos años, en principio se había fijado para el primer trimestre del 2011, sin embargo, los atrasos de entrada en servicio de la Central de Atucha II y la demora en el suministro de los componentes a utilizar, como ser los tubos calandria y los tubos de los intercambiadores de presión han provocado un nuevo corrimiento en la fecha; hasta principios del 2010 la fecha se ubicaba en noviembre del 2011 pero ya para agosto del 2010 se hablaba de mediados del 2012 como un intento de coordinar la salida de Embalse con la entrada de Atucha II atendiendo más a aspectos económicos que a aspectos técnicos.

En la actualidad la fecha se está corriendo nuevamente ubicándose entre el tercer trimestre del 2012 y finales del primer trimestre del 2013.

Cálculo de los costos de generación según el tipo de central

Para el cálculo de los costos de producción de

energía, se confeccionó una planilla de cálculo que permite estimar los costos en función del precio del combustible. Se consideran los costos variables, fijos, de capital y ambientales. A los efectos de poder comparar los resultados, se parte de la hipótesis de un préstamo mediante sistema francés con una tasa de interés del 10% anual. En el diseño de la tabla de cálculo, se contó con la ayuda del Departamento de Prospectiva de CNEA (Rey) y de bibliografía relacionada (Sabugol García y Gómez Moñux, 2006; Escudero López, 2008) de donde se extraen los precios del combustible utilizado en las centrales nucleares. El valor del Gas y Fuel Oil se obtuvieron a partir de los datos publicados por el Instituto Argentino de la Energía Gral. Mosconi (<http://sitio.iae.org.ar/>).

En base a los cálculos realizados las Centrales de Ciclo Combinado son las más económicas, seguidas de cerca por las Centrales térmicas a gas, luego las hidroeléctricas y finalmente en cuarto lugar la Central Embalse, según se puede ver en la Fig. 1.

La bibliografía adicional utilizada para la confección de los cálculos de costos descriptos en detalle en el trabajo de tesis que da origen a esta presentación incluye: Rey; CNEA 2008; Martín,a,b,c; Delacámara, Azqueda, 2007.

Los escenarios planteados

Esta metodología de construcción (Schwartz, 1996) requiere la determinación de las fuerzas directrices y de los factores claves intervinientes en el tema en cuestión.

La bibliografía adicional sobre los factores claves y las fuerzas directrices utilizados para la construcción de los escenarios incluye:

CAMMESA, Sitio Oficial; Ovejero García; INDEC, 2004; INDEC-<http://www.indec.gov.ar>; Palomeque, 2008; Turic, 2009a; Turic, 2009b; <http://energia3.mecon.gov.ar/home/2010>; Diario La Nación, Diciembre 2010; Lapeña; <http://www.neo.ne.gov/statshtml/124.htm>; RED BOOK, 2007; Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios, Argentina, 2007; Sidelnik, 2009; Banchic; ADIMRA, 2008; Hey, 1995; Protocolo de Kyoto - Naciones Unidas, 1998; Bolsa de Comercio de Buenos Aires, Argentina, 2007; IPCC, Febrero 2007; CAMMESA, <http://portalweb.cammesa.com/default.aspx>; AE, <http://www.argentinaeolica.org.ar/portal/index.php>; <http://noticias.chubut.gov.ar>, Noviembre 2010.

Los factores claves tomados en cuenta son:

Tiempo de puesta en servicio de la Central Atucha II - Fecha establecida para el rejuvenecimiento de Embalse - Antecedentes del rejuvenecimiento (Extensión de vida de la Central de Point Lepreu, Canadá (período 2008-2012) - Oferta y demanda de energía - Aumento de la población - Consumo de combustibles - Exploración de petróleo y gas - Producción de petróleo y gas - Precio de los combustibles - Consumo y reservas de Uranio - Gestión de conocimiento nuclear - Tratado de Kioto - Centrales proyectadas.

Fuerzas directrices, ordenadas por grado de importancia:

Tiempo de puesta en servicio de la Central Atucha II - Fecha establecida para el rejuvenecimiento de Embalse - Crecimiento de la demanda energética - Política de gobierno y subsidios - Política climática (Política energética internacional - Tratado de Kyoto)

Antecedentes del rejuvenecimiento

El mejor antecedente del rejuvenecimiento de

la CNE, lo constituye el rejuvenecimiento actual de la Central de Point Lepreu, la cual es la primer Central del tipo CANDU 6 en realizar una renovación de esta índole, en donde es necesario el recambio de todos los tubos de presión, y los tubos calandria, entre otros componentes. El proyecto comenzado el 01/04/2008 se encuentra completado en un 75%, por lo que aún no hay ningún antecedente concluido. Según el programa original propuesto por AECL, los trabajos debían empezar en febrero de 2003. La planta sería cerrada durante 18 meses a partir de abril de 2006, y el proyecto sería concluido en septiembre de 2007. En los papeles, las obras comenzaron en abril del 2008 y aún no ha entrado en funcionamiento, con lo que los 18 meses proyectados ya se han convertido en una proyección de 50 meses (<http://poweringthefuture.nbpower.com/en/Default.aspx>).

La CNE cuenta con un posible retraso adicional durante el rejuvenecimiento, y es que los componentes a ser reemplazados -Tubos de calandria, End Fitting, Feeder, Tubos para los intercambiadores de calor, Intercambiadores de calor- están siendo desarrollados por empresas como FAE S.A. y PESCARMONA, con lo cual podrían surgir retrasos debido al desarrollo de la tecnología dentro de nuestro país.

Oferta y demanda de energía

La demanda de energía ha ido aumentando luego de la caída sufrida en el año 2001, presentando a partir del 2003 una recuperación cuyo ritmo de crecimiento medio anual al 2010 se encuentra entre el 3% y el 4%. El valor de demanda de energía en el 2010 se ubicó en 116.500 GWh.

La potencia instalada aumentó a base de la generación hidroeléctrica y el incremento de máquinas térmicas, con un importante aumento de la participación de las máquinas térmicas tipo DI en el período 2007 -2009. El incremento de la utilización de energía térmica, implica un mayor consumo de combustibles, principalmente fuel oil y gas natural.

Centrales proyectadas

En la actualidad existen varios proyectos energéticos que podrían aportar la energía necesaria para satisfacer la demanda en los próximos años.

Central Atómica Atucha II: Esta Central pasará a ser la tercera Central Nuclear Argentina, la misma es del tipo PHWR, con una potencia eléctrica de 743,1 MW. Se estima que estará en funcionamiento para mediados del año 2012, fecha que ha sufrido corrimientos en función de los retrasos surgidos en la construcción, arrastrando la fecha del rejuvenecimiento de la Central Embalse.

Proyecto Carem: Esta unidad, propuesta por INVAP a la CNEA, es una central nuclear de baja potencia que por sus innovaciones pertenece al grupo llamado "de cuarta generación" y que funciona con combustible de uranio enriquecido al 4%. El prototipo de la central CAREM-25 tiene una potencia de 25 MW(e), diseñada para producir electricidad en áreas remotas y, por lo tanto, diseñada para operar independientemente de suministros eléctricos externos. Puede también ser utilizada con otros fines, tales como producción de vapor industrial o desalinización de agua de mar.

Localidad de Pico Truncado: El gobierno argenti-

no firmó un acuerdo con el grupo español Guascor para invertir 2.400 millones de dólares en el parque eólico más grande del mundo en la localidad santacruceña de Pico Truncado. La idea es que el parque entre en funcionamiento entre fines del 2013 y principios del 2014. El parque aprovechará el gran potencial en energía eólica por los vientos persistentes de la Patagonia e involucrará un total de 700 aerogeneradores que se construirán en 6.500 hectáreas alquiladas por la provincia por 30 años. Tendrá una potencia de entre 600 y 900 megavatios, cuando en la actualidad el más potente está ubicado en Comodoro Rivadavia y alcanza sólo poco más de 17 megavatios. Se toma para los cálculos de los escenarios un factor de carga de 0,4.

Chubut: Otro gran proyecto eólico fue presentado por el gobierno de Chubut en diciembre del 2010 con la adjudicación de proyectos por un total de 580 MW en el marco del Programa de Generación Eléctrica a partir de Fuentes Renovables (GENREN) de los cuales 380 ya poseen acuerdo comercial firmado, lo cual habilita a empezar trabajos de instalación que deman-

| Tipo de Central | Tiempo de construcción | Potencia (MW) | Fecha estimada de puesta en funcionamiento | Población que puede abastecer (n° de habitantes) |
|---|------------------------|---------------|--|--|
| Nuclear Carem (www.cab.cnea.gov.ar) | 4-5 años | 25 | 2014 | 100.000 |
| Cuarta Central Nuclear (PWR) de tercera generación (Uranio enriquecido) | 6-7 años | 1500 | 2017 | 2.334.000 |
| Eólico (Pico truncado) (http://infobae.com) | 2 a 3 años | 600 a 900 | Fines 2013 – principios 2014 | 933.600 a 1.400.400 |
| Eólica Chubut | 2 | 380 | 2013 | 591.280 |
| Eólica Chubut | Aún no determinado | 1880 | Aún no determinado | 2.925.280 |

Tabla 2. Datos sobre Centrales proyectadas en Argentina

Nota: 1 MW de energía eólica equivale a 0.4 MW de energía nuclear, al tener en cuenta el factor de carga

darán un período de más de 18 meses. La provincia también cuenta con proyectos de generación eólica por casi 2.200 MW en diferentes grados de avance, lo cual implica una inversión superior a los 4.300 millones de dólares repercutiendo en la creación de más de 10.000 puestos de trabajo (<http://noticias.chubut.gov.ar>). Se toma para los cálculos de los escenarios un factor de carga de 0,4.

Otros proyectos de energía eólica: También hay parques eólicos proyectados actualmente en diferentes grados de planificación o ejecución: Arauco, 90 MW - Vientos del Secano, 50 MW - Malaspina, 80 MW - Vientos de la Patagonia 1, 60MW - Diadema, 6,3 MW - Vientos de la Patagonia 2, sin fijar aún potencia.

Selección de la lógica del escenario

Luego de clasificar las fuerzas directrices y los factores claves por grado de importancia vs incertidumbre, se han seleccionado para la construcción de los escenarios los siguientes puntos: Oferta de energía vs Demanda de energía.

La selección de los puntos anteriores se realizó por los siguientes motivos:

- Poseen un alto grado de incertidumbre, y de importancia, afectando directamente las posibilidades de desarrollo del país.

- Proporcionan datos cuantitativos para los escenarios seleccionados y la posibilidad de compararlos entre sí.

Los escenarios se analizan considerando un aumento de la demanda de energía entre el 1,5% y el 5,5%. La elección de este rango se desprende de considerar la evolución en el aumento de la demanda de los últimos años, y de tratar de comprender hasta qué punto puede evolucionar la economía del país.

El rango en el cual se considera el aumento de la oferta de energía se ha establecido a partir de considerar la totalidad de centrales nucleares y eólicas proyectadas para los próximos años, tomando en cuenta el tiempo que lleva construir cada una de ellas y de otros aspectos como el grado de desarrollo en la gestión del conocimiento.

En lugar de analizar un determinado porcentaje

de oferta de energía frente a otro de demanda, se ha optado por considerar el incremento de la oferta de energía vs un rango de incremento en la demanda comprendido entre 1,5 y 3,5%.

Primer escenario

En este escenario se asume que el país logra la construcción de todas las fuentes de energía que se ha propuesto construir, dentro de los plazos de tiempos más optimistas.

Se considera que:

- La Central Atucha II entra en servicio en julio del año 2012;
- la CNE sale de servicio en el momento justo que Atucha II comienza a funcionar, y entra en servicio en julio del 2015;
- la Central Atucha I inicia el rejuvenecimiento a mediados del año 2017;
- el reactor CAREM de 25 MW entra en funcionamiento en enero del 2015;
- la Cuarta Central de energía nuclear de 1500 MW entra en servicio en enero del 2017;
- el parque de energía eólica de Pico Truncado entra en servicio con 600 MW de potencia instalada en enero del 2013 y adiciona 300 MW más para enero del 2014;
- el parque de energía eólica de Chubut entra en servicio con 380 MW de potencia instalada en enero del 2013 y
- el proyecto de energía eólica Chubut de 1880 MW adiciona 300 MW en enero del 2013, 300 MW en julio del 2013, 600 MW en enero del 2014 y 680 MW en julio del 2014.

Se asume además que:

- La reserva técnica se encuentra en el 11%;
- los recursos humanos son suficientes y adecuados, existiendo personal que pueda comenzar a trabajar en la Cuarta Central de energía nuclear al mismo tiempo que se termina de poner en funcionamiento la Central de Atucha II, se realiza el rejuvenecimiento de la Central Embalse, y se encara el proyecto CAREM;
- el país cuenta con el combustible suficiente para abastecer su parque térmico;
- la tasa de crecimiento de la población mantiene la tendencia;
- el gobierno mantiene e incrementa la cuota de subsidios al sector energético para asegurar el abastecimiento del combustible necesario, y lograr culminar en fecha las obras emprendidas y
- no existe ningún retraso generado por el

desconocimiento de las nuevas tecnologías empleadas.

Bajo estas hipótesis, la diferencia entre oferta y demanda de energía a partir de la potencia instalada varía como se muestra en el gráfico siguiente según el incremento en la demanda se encuentre entre el 1,5 y el 5,5%.

De esta forma, por ejemplo, si la demanda de energía eléctrica fuera a partir de este año del 4,5% y se mantuvieran las condiciones supuestas en el escenario, en el año 2018 no existiría reserva suficiente para satisfacer la demanda sin recurrir a la importación de energía (Fig.2)

Segundo escenario

En este escenario se asume que el país ha sufrido algunos retrasos de tiempo en la construcción de las fuentes de energía que se ha propuesto construir, y que las condiciones climáticas, así como las condiciones de las máquinas en funcionamiento han generado cierta disminución de la oferta de energía:

Se considera que:

- La Central Atucha II entra en servicio en enero

del año 2013;

- la CNE sale de servicio en diciembre del 2012 siguiendo el corrimiento de Atucha II, regresando al servicio en enero del 2016 (en el año 2012 la central disminuye su aporte de energía en un 10% con relación al año anterior);
- la Central Atucha I inicia el rejuvenecimiento a mediados del año 2017;
- el reactor CAREM de 25 MW entra en funcionamiento en julio del 2015;
- la Cuarta Central de energía nuclear de 1500 MW no entra en servicio durante el año 2018;
- el parque de energía eólica de Pico Truncado entra en servicio con 450 MW de potencia instalada en enero del 2013 y adiciona 250 MW más para enero del 2014, quedando instalada en su totalidad para enero del 2015;
- el parque de energía eólica de Chubut entra en servicio con 380 MW de potencia instalada en julio del 2013 y
- el proyecto de energía eólica Chubut de 1880 MW adiciona 300 MW en julio del 2013, 300 MW en enero del 2014, 600 MW en julio de 2014 y 680 MW enero del 2015.

Se asume además que:

- La reserva técnica se encuentra en el 15,5%;
- los recursos humanos no son suficientes para

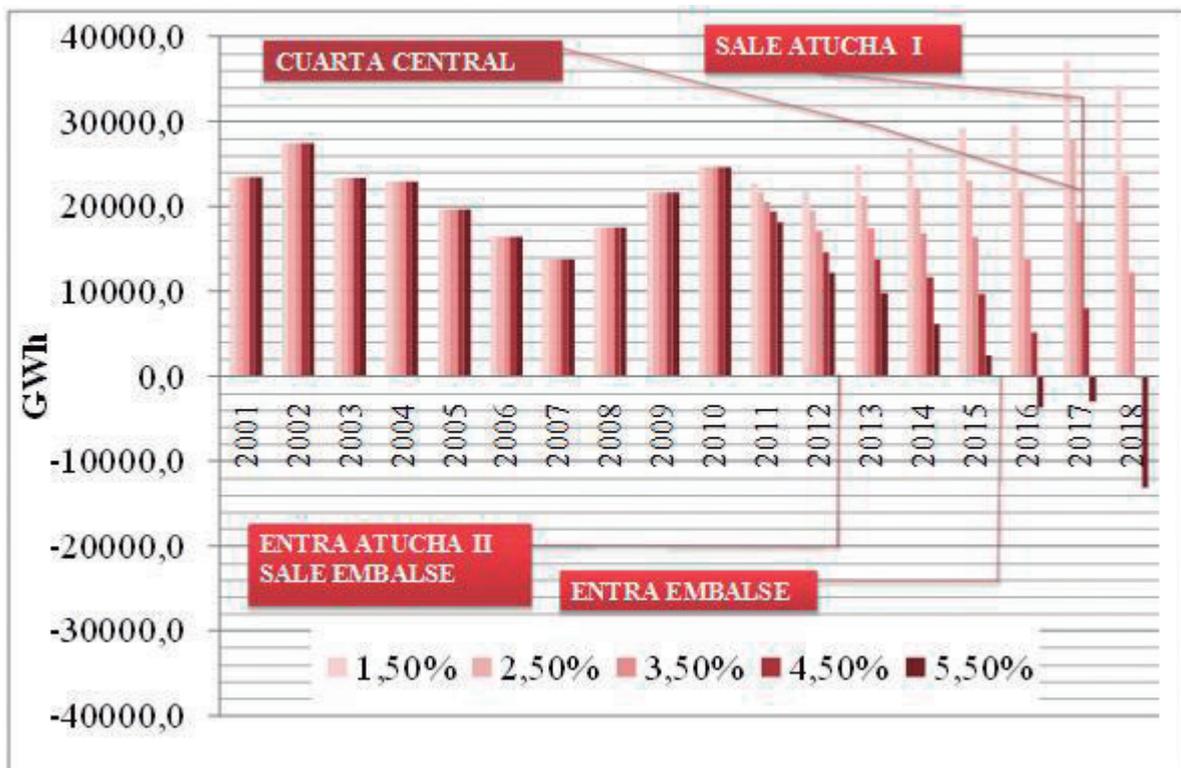


Fig. 2. Diferencia entre oferta y demanda de energía para aumentos entre el 1,5% y el 5,5% anual – (Segundo escenario)

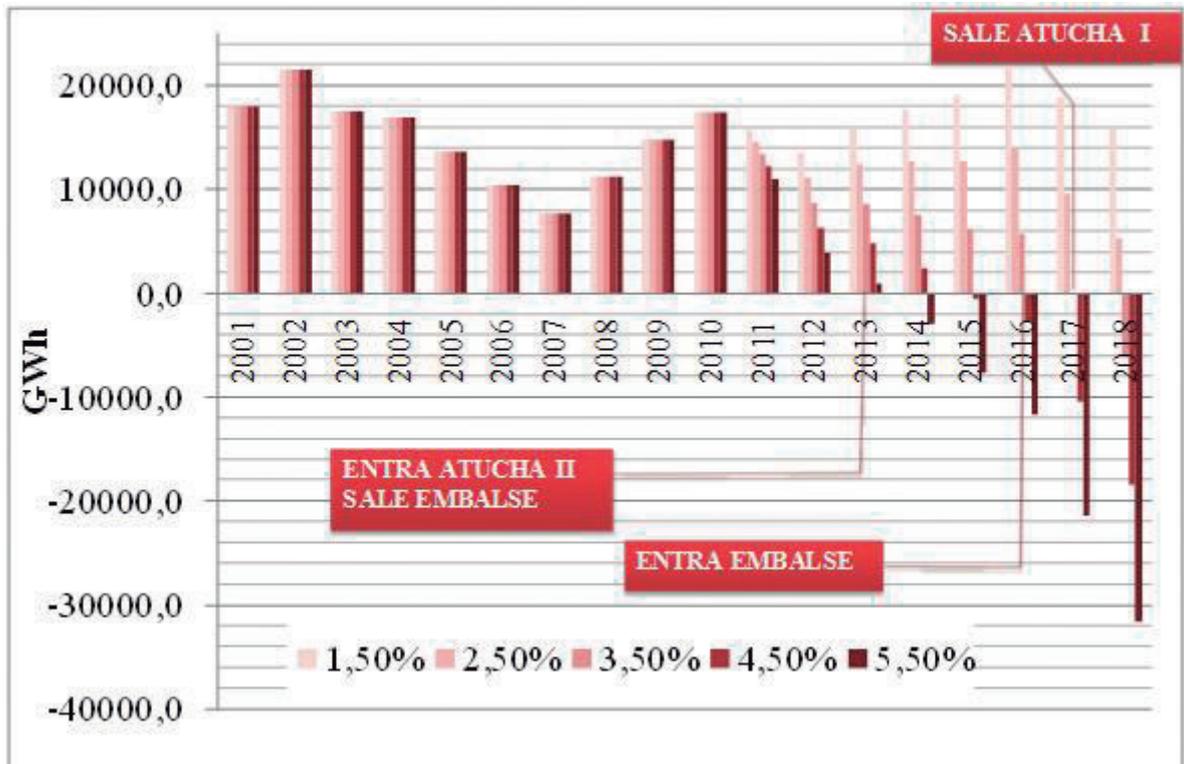


Fig. 3. Diferencia entre oferta y demanda de energía para aumentos entre el 1,5% y el 5,5% anual – (Tercer escenario)



Fig. 4. PBI vs Demanda de energía por año

afrontar todos los proyectos al mismo tiempo, no existiendo personal calificado para encarar los desafíos del proyecto CAREM y de la Cuarta Central atómica al mismo tiempo que se está realizando el rejuvenecimiento de la CNE;

- el país cuenta con el combustible suficiente para abastecer su parque térmico;
- la tasa de crecimiento de la población mantiene la tendencia;
- el gobierno mantiene e incrementa la cuota de subsidios al sector energético para asegurar el abastecimiento del combustible necesario, y lograr culminar en fecha las obras emprendidas y
- la implementación de las nuevas tecnologías ha generado un retraso en la culminación de las obras.

Bajo estas hipótesis, la diferencia entre oferta y demanda de energía a partir de la potencia instalada varía como se muestra en el gráfico siguiente según el incremento en la demanda se encuentre entre el 1,5% y el 5,5%. (Fig.3)

Tercer escenario

En este escenario se asume que el país ha sufrido los mismos retrasos que en el segundo escenario, enfrentándose a los mismos dilemas de falta de personal calificado, pero que las condiciones climáticas, así como las condiciones de

las máquinas en funcionamiento son diferentes.

El país cuenta con el combustible suficiente para abastecer su parque térmico y la reserva técnica se encuentra en el 20%.

Bajo estas hipótesis, la diferencia entre oferta y demanda de energía a partir de la potencia instalada varía como se muestra en el gráfico siguiente según el incremento en la demanda se encuentre entre el 1,5% y el 5,5% (Fig. 4).

Repercusiones sobre el PBI

Si se toma en cuenta la relación existente entre la demanda de energía (GWh) y el PBI a precios constantes (Millones de \$) que se dio en el período comprendido entre los años 2002 y 2008 (Fig.5) se pueden obtener una relación lineal entre estos parámetros.

A partir de la relación anterior y de las proyecciones en las demandas de energía obtenidas en los escenarios planteados, se obtiene un límite superior al PBI para los próximos años. A modo de ejemplo si consideramos el tercer escenario en el año 2013, con un aumento del 3,5% anual de la demanda de energía, el PBI máximo previsto para ese año no superaría los Millones de u\$s 133.107 al cambio actual.

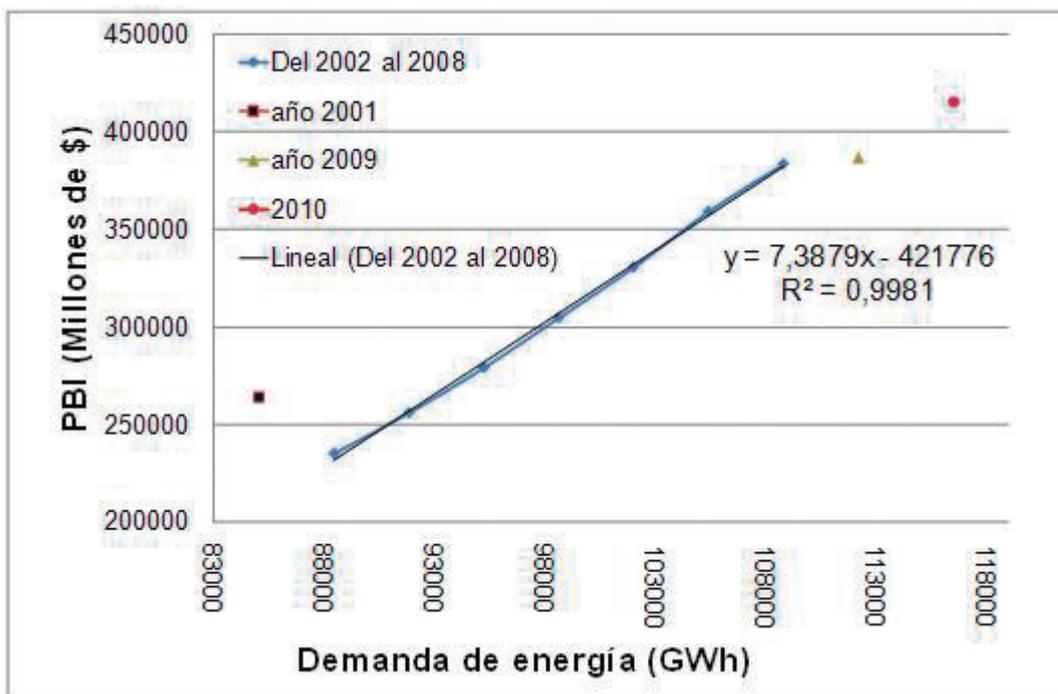


Fig. 5. PBI vs Demanda de energía por año

Implicancias

Existen varias implicancias que se desprenden de los gráficos anteriores.

En primer lugar se puede observar la gran influencia que posee el porcentaje de reserva técnica, al aporte de la oferta de energía, lo cual se comienza a hacer evidente en el segundo escenario.

La falta de personal capacitado podría provocar grandes trastornos al tener que encarar tantos proyectos nuevos, que involucran nuevas tecnologías en un plazo relativamente corto provocando que el escenario real sea incluso más negativo que el tercer escenario.

No parece factible que de seguir con la política actual, los subsidios cedidos por parte del gobierno al sector energético vayan a disminuir. Por el contrario, da la sensación que la necesidad de realizar los proyectos encarados en los plazos estimados van a provocar que los mismos se incrementen considerablemente, por lo menos hasta pasar las próximas elecciones.

Es extremadamente improbable que la CNE salga de funcionamiento antes de que Atucha II entre en servicio, y se prioricen aspectos económicos antes que técnicos.

El lugar que ocupa la CNE en la oferta de energía lo cubriría básicamente la Central de Atucha II siendo respaldada a partir del 2013 por la energía eólica aportada por las centrales de Chubut y Pico Truncado.

Al nivel de crecimiento actual, cercano al 3,5% se observa que en el caso del tercer escenario a mediados del 2015 el sistema no posee reservas suficientes para satisfacer la demanda de energía, por lo que los montos de energía importada se verían incrementados considerablemente. Este punto se puede encontrar en el segundo escenario en el año 2017, mientras que para este porcentaje de crecimiento no habría inconvenientes en el primer escenario.

Si el país pretende crecer a partir de su industria, y no basado únicamente en un producto como la soja, la oferta de energía debería de incrementarse de forma tal de satisfacer la demanda. Sería necesario aplicar medidas de ingeniería en donde no solo se diversifique la matriz energética, sino también su forma de

interconexión, permitiéndonos poseer una red inteligente, en donde por ejemplo pequeños consumidores puedan contar con la posibilidad de poseer equipos eólicos que cuando no consuman energía para el propietario, vuelquen el excedente a la red eléctrica.

La decisión de encarar proyectos de energías verdes, es extremadamente positiva, frente a las vísperas de nuevas medidas mundiales sobre medio ambiente al estar por cumplirse la fecha estipulada en el tratado de Kyoto. Sin embargo sería necesario analizar en detalle si los proyectos encarados son los más ideales desde el punto de vista económico, al atender detalles como a quien pertenecen las tierras de Pico Truncado y cuál es el costo de su alquiler.

Por otra parte, la elección de indicadores es necesaria para monitorear las tendencias y variaciones de forma de poder anticiparse a las eventualidades, de forma similar a como actúa un tablero de control en una empresa.

En lo particular, se proponen como indicadores:

- La variación entre los subsidios que se asume en la presentación de los presupuestos de cada año y de los subsidios reales asignados con posterioridad. Lo cual puede indicar luego de descontar el dinero destinado a la compra de combustibles, cuantos recursos extras son necesarios aportar para mantener los diferentes proyectos a un ritmo cercano al estimado actualmente.

- Las declaraciones que se realicen durante el próximo año electoral y si se evaden las respuestas con respecto al estado del sector energético pueden dar un indicio de la seriedad del tema.

- La evolución de las restricciones de energía a la industria es un indicador, cuyo comportamiento es necesario monitorear.

Conclusiones y recomendaciones

La responsabilidad de suministrar la energía aportada por la CNE en el período que va del 2012 al 2016 (dependiendo del escenario) se encuentra en manos de la Central Atucha II, por lo que la fecha de la salida de funcionamiento de una y la entrada de la otra van a coincidir en algún punto entre mediados del 2012 y el

primer trimestre del 2013 de no existir retrasos en las obras de Atucha II.

Es necesario dejar de especular respecto de si la CNE puede esperar a salir de funcionamiento antes de que entre en servicio la Central Atucha II, o si el período que nos toque vivir va a ser de sequía o no, etc. Entonces, convendrá instalar una política que prevea las situaciones por venir, atendiendo a todas las opciones que existan, que encare el tema en forma análoga a cómo se resuelve una situación problemática dentro de una empresa competitiva y que utilice métodos de proyección de escenarios a nivel país.

La demanda de energía eléctrica guarda una es-

trecha relación con el PBI haciendo posible la predicción de este. Esto puede permitir delimitar las políticas y acciones futuras, ya que se debe analizar con cuidado hacia dónde se direccionan los recursos energéticos y qué restricciones se esperan realizar si se pretende incentivar una industria ávida de energía.

La situación energética actual debería ser el detonante para un cambio de paradigma en la Argentina, en el cual las políticas aplicadas en éste y otros temas, deben de pasar de un carácter político, a uno netamente de Estado. Es necesario incorporar a esta problemática expertos de todos los sectores que posean como único anhelo el bien común.

Referencias

- Asociación Argentina de Energía Eólica (AE), <http://www.argentinaeolica.org.ar/portal/index.php>
- Asociación de Industriales Metalúrgicos de la República Argentina (ADIMRA), Jornada Tecnológica 2008, Ciudad Autónoma de Buenos Aires.
- BANCHIC, A. D., Comisión Nacional de Energía Atómica, Argentina, Comunicación personal.
- Bolsa de Comercio de Buenos Aires, Mercado de Carbono, Desarrollo y oportunidades en la Argentina, 2007.
- Comisión Nacional de Energía Atómica, Argentina, Centro Atómico Bariloche (CAB) Boletín Interno, Año 3 / N° 13 www.cab.cnea.gov.ar, 2010.
- Comisión Nacional de Energía Atómica, Orden de Despacho Térmico, Boletín Energético Año 2008, N°21– Junio.
- Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico, (CAMMESA a), Sitio Oficial – <http://www.cammesa.com/inicio.nsf/marcomemnet>
- Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico, (CAMMESA b), <http://portalweb.cammesa.com/default.aspx>
- DELACÁMARA G.; AZQUEDA D., (2007), Análisis económico de los costos externos ambientales de la generación de energía eléctrica – CEPAL.
- Diario La Nación, (Lunes 6 de Diciembre de 2010), Descubren un mega yacimiento de gas.
- ESCUDERO LÓPEZ, J. M., (2008), Manual de Energía Eólica, 2ª Edición Corregida, Ediciones Mundi Prensa.
- HEY, A., Comisión Nacional de Energía Atómica, Argentina, Comunicación personal. <http://noticias.chubut.gov.ar> – Proyecto de Ley y Políticas de Promoción de Energías Renovables – Noviembre, 2010.
- <http://poweringthefuture.nbpower.com/en/Default.aspx>
- <http://sitio.iae.org.ar/>
- <http://www.infobae.com/general/452048-0-0-Santa-Cruz-tendra-el-parque-eolico-mas-grande-del-mundo>
- <http://www.na-sa.com.ar/centrales/embalse#>
- <http://www.neo.ne.gov/statshtml/124.htm>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC), Estimaciones y proyecciones de población total del país 1950–2015, N° 30, 2004, Serie análisis demográfico, Argentina.
- INDEC, Sitio Oficial - <http://www.indec.gov.ar>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Datos publicados, Febrero, 2007.
- LAPEÑA, J., Comunicación personal.
- MARTÍN, D. E. a, <http://www.ttn.gov.ar/>, Tasación de la Central Nuclear Atucha I.

MARTÍN, D. E. b; <http://www.ttn.gov.ar/>, Tasación de la Central Nuclear Embalse y de Agua Pesada.

MARTÍN, D. E. c, <http://www.ttn.gov.ar/> , Tasación de la Central Nuclear Atucha II.

Ministerio de Planificación Federal Inversión Pública y Servicios, <http://energia3.mecon.gov.ar/home/>, Reservas Comprobadas y Probables de Petróleo y Gas, por cuencas, provincia, concesión y Yacimiento, 2010.

Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios, Secretaria de Energía; Comisión Nacional de Energía Atómica Argentina, Memoria y Balance, Gestión del Conocimiento Nuclear, página 61, 2007.

Naciones Unidas, Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, 1998.

OVEJERO GARCÍA, J.; Daño por Hidrógeno en Materiales – Apuntes del Curso de la carrera de Ingeniería en Materiales – Instituto Sábató – Universidad Nacional de San Martín – Comisión Nacional de Energía Atómica.

PALOMEQUE, M. S., (2008), Historia de la exploración en la Argentina, Petrotecnia, Diciembre.

RED BOOK, (2007), Previsiones de capacidad instalada.

Rey, C., Departamento de Prospectiva de Comisión Nacional de Energía Atómica, Argentina, Comunicación personal.

SABUGOL GARCÍA, S.; GÓMEZ MOÑUX, F., (2006), Centrales Térmicas de Ciclos Combinado Teoría y Proyecto, Edición Días de Santos.

SCHWARTZ, P., (1996), The art of the long view, Published by Doubleday.

SIDELNIK, J., (2009), Centrales Nucleoeléctricas: Perspectivas a Mediano y Largo Plazo en Argentina. Su Rol en el Balance Energético Nacional, Instituto Argentino de la Energía General Mosconi.

TURIC, M., (2009a), Actividades de Exploración en el Margen Continental Argentino: Perspectivas – Instituto Mosconi – Serie de conferencias Argentina Energética: Claves para el Análisis de su Estado Actual.

TURIC, M., (2009b), La exploración en el margen continental y sus perspectivas – Petrotecnia, Abril.

INSTRUCCIONES PARA LA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS

El presente instructivo reúne las condiciones generales de presentación y formato e información general para todos los interesados en remitir sus contribuciones.

Presentación de los textos

Los trabajos, en versión impresa (original y copia), podrán ser remitidos a los miembros del Comité Editorial:

Lic. Gladys Esperanza, Lic. Juan Miguel Languasco, Mg. Fernando Gache

proyecciones@frba.utn.edu.ar

Facultad Regional Buenos Aires,
Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva
Medrano 951 (C1179AAQ) Buenos Aires, República Argentina

Recomendaciones generales

Proyecciones es una publicación destinada a un público amplio, con formación específica en diferentes campos del conocimiento, que se distribuye en diversos países de habla castellana. Por tal razón, se recomienda a los autores preservar la pureza y la claridad idiomática de sus textos y evitar el uso de vocablos de uso corriente en disciplinas particulares, pero no conocidos (o con significado distinto) en otros ámbitos. Asimismo, no deberán emplearse palabras derivadas de traducciones incorrectas (por ejemplo, asumir en lugar de suponer, o librería por biblioteca) o pertenecientes a otros idiomas, salvo cuando no existan en castellano equivalencias válidas, o cuando se refieran a técnicas o procesos conocidos por su denominación en la lengua original.

Se recomienda también evitar el uso indiscriminado de mayúsculas cuando se haga mención sustantivos comunes, como por ejemplo elementos químicos o técnicas particulares.

Es conveniente, en todos los casos, efectuar una adecuada revisión ortográfica y de sintaxis de los textos antes de su envío.

Pautas específicas

Se deberán contemplar las siguientes pautas:

La presentación corresponderá a un formato adecuado para hojas tamaño A4 (21 cm x 29,7 cm) escritas con interlineado simple, conservando los siguientes márgenes: superior e inferior, 2,5 cm; derecho e izquierdo, 3 cm; encabezado y pie de página, 1,2 cm. La fuente escogida es Tahoma, tamaño 12. Se recomienda muy especialmente a los autores respetar esta pauta, pues las conversiones posteriores desde otras fuentes, diferentes a la mencionada, pueden representar la distorsión o la pérdida de caracteres especiales, como las letras griegas. Se deberá emplear sangría en primera línea de 1 cm y alineación justificada en el texto.

En la página inicial se indicará el título en negrita, centrado y con mayúscula sólo en la primera letra de la palabra inicial; en otro renglón, también en negrita, iniciales y apellido del (de los) autor(es) y, finalmente, en *italica*, el nombre y la dirección postal de la(s) institución(es) a la(s) que pertenece(n), junto con la dirección de correo electrónico del autor principal. Este autor será el enlace con el Comité editorial para todos los requerimientos vinculados con la publicación. Se recuerda que a los efectos de esta publicación solo se listarán debajo del título hasta cinco autores, figurando los restantes en el pie de la misma página.

A continuación, dejando tres espacios libres, el texto, en espacio simple, comenzando con un resumen de 50 a 100 palabras, en castellano e inglés, también en negrita y con tamaño de fuente 10. Luego del resumen, deberán consignarse las palabras clave que orienten acerca de la temática del trabajo, hasta un máximo de cinco. Asociaciones válidas de palabras (por ejemplo, contaminación ambiental, fluorescencia de rayos X) se considerarán como una palabra individual.

Se aconseja ordenar al trabajo de acuerdo a los siguientes ítems: Introducción, Parte Experimental, Resultados y Discusión, Conclusiones, Agradecimientos (si existieren) y Referencias. Cada uno de ellos tendrá categoría de título y deberá ser presentado en forma equivalente al título original del trabajo, en negrita y centrado, mientras que los subtítulos se consignarán en el margen izquierdo y en negrita. Ninguno de estos ítems deberá ser numerado. La extensión del trabajo no podrá ser mayor que 20 páginas.

El autor principal deberá remitir su trabajo en soporte electrónico y diagramado en la forma propuesta para la versión final impresa.

Sólo se aceptarán trabajos realizados íntegramente en Microsoft Word.

Tablas y Figuras

Las figuras deberán ser ubicadas en el texto, en el lugar más cercano a su referencia, con números arábigos y leyendas explicativas al pie. Las imágenes fotográficas deberán estar al tamaño 1.1 a 300 ppi, en formato tif, jpg o eps. Los gráficos o dibujos se presentarán, preferentemente, en vectores (formato .cdr o .ai); en el caso de estar presentados en forma de mapa de bits su resolución en 1.1 deberá ser mayor a 800 ppi. No podrán reproducirse figuras en color salvo en casos excepcionales que quedan a juicio del Comité Editorial, cuando el uso del mismo redunde en un cambio muy significativo de la comprensión técnica del trabajo.

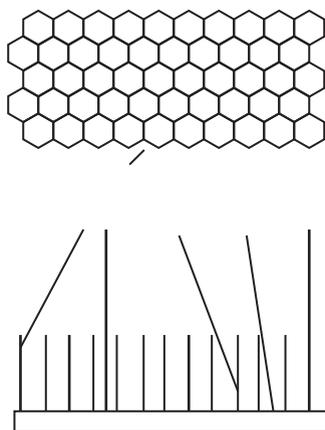


Fig. 1. Ejemplo de ubicación de la figura y su leyenda explicativa (centrada, en negrita y fuente 10)

Las tablas se incluirán en el lugar más cercano a su referencia, con números arábigos y acompañadas con un título auto-explicativo en el encabezado.

Tabla 1. Ejemplo de formato para tabla y título (centrada, en negrita y fuente 10)

| Magnitud | Condición A | Condición B |
|-------------------|--------------------|--------------------|
| Magnitud A | 1a | 1b |
| Magnitud B | 2a | 2b |

Agradecimientos

Los agradecimientos deberán ser escuetos y específicos, vinculados al trabajo presentado. Serán suprimidos los de naturaleza general o no aplicables a la contribución.

Referencias

Las referencias se consignarán en el texto indicando el apellido del autor (o primer autor, en trabajos de autoría múltiple) y el año de la publicación. Ejemplos: Gould (1958); Sah y Brown (1997); Probst y colaboradores (1997). Cuando la referencia se coloque a continuación de una oración completa en el texto, la forma indicada se convertirá en: (Gould, 1958). Las referencias múltiples se indicarán bajo un único par de paréntesis; ejemplo: (Sah y Brown, 1997; Probst y colaboradores, 1997). El ítem Referencias contendrá todas las citas consignadas en el texto, ordenadas alfabéticamente, tomando el apellido del primer autor. Los artículos incluidos en publicaciones colectivas deberán figurar en el orden: apellido e iniciales de todos los autores; entre paréntesis, año de publicación; abreviatura internacionalmente aceptada de la publicación; volumen; primera página del artículo. Las referencias a libros consignarán iniciales y apellido de todos los autores; título; página (si corresponde); editorial: Ejemplos:

GOULD, E. S. (1958) *Curso de Química Inorgánica*. Selecciones Científicas, Madrid, España.

PROBST, T.; BERRYMAN, N.; LARSSON, B. (1997) Anal. Atom. Spectrom. 12, 1115.

SAH, R.; BROWN, P. (1997) Microchem. J., 56, 285.

No deberán incluirse, bajo el ítem **Referencias**, citas bibliográficas no mencionadas específicamente en el texto del trabajo.

Mecanismos de Aceptación y Normativa General

Los trabajos serán revisados por reconocidos especialistas, designados por el Comité Editorial. El dictamen será, en cada caso: a) aprobado en su versión original; b) aprobado con pequeñas modificaciones; c) revisado, con necesidad de modificaciones significativas; d) rechazado. En los casos diferentes a su aprobación directa, el trabajo será enviado al autor principal. Cuando se trate de cumplir con modificaciones sugeridas por los árbitros, el trabajo será sometido a una nueva evaluación.

El envío de una contribución para *Proyecciones* supone que ésta no ha sido publicada previamente y, adicionalmente, la cesión de los derechos de publicación por parte de los autores. Cuando el trabajo ha sido ya presentado en una reunión científica (sin publicación de actas) o inspirado en una presentación de esta naturaleza, se aconseja citar la correspondiente fuente. Con el fin de formalizar la cesión de los derechos antes mencionados, el autor principal deberá cumplimentar el formulario de Autorización y Declaración Jurada para la Publicación de un Artículo que se encuentra a continuación. El mismo deberá ser completado, firmado y remitido al Comité Editorial como requisito previo a la publicación.

Doctorado, Maestrías y Carreras de Especialización

Doctorado en Ingeniería

Mención en Procesamiento de Señales e Imágenes

Magíster en Administración de Negocios

Magíster en Docencia Universitaria

Magíster en Ingeniería Ambiental

Magíster en Ingeniería en Calidad

Magíster en Ingeniería en Sistemas de Información

Magíster en Tecnología de los Alimentos

Magíster en Procesos Biotecnológicos

Especialista en Docencia Universitaria

Especialista en Ergonomía

Especialista en Higiene y Seguridad en el Trabajo

Especialista en Ingeniería Ambiental

Especialista en Ingeniería en Calidad

Especialista en Ingeniería en Sistemas de Información

Especialista en Ingeniería Gerencial

Especialista en Tecnología de los Alimentos

Cursos de Posgrado

Dirección de Empresas

Higiene y Seguridad del Trabajo

Automación Industrial

Formulación y Evaluación de Proyectos

Sistemas Integrados de Gestión-Calidad, Medio Ambiente y Salud, y Seguridad Ocupacional

Carreras de Grado

Ingeniería Civil

Ingeniería Eléctrica

Ingeniería Electrónica

Ingeniería Industrial

Ingeniería Mecánica

Ingeniería Naval

Ingeniería en Sistemas de la Información

Ingeniería Química

Ingeniería Textil

Ciclos de Licenciatura

Licenciatura en Ciencias Aplicadas

Licenciatura en Tecnología Educativa

Licenciatura en Gestión de la Producción Gráfica

**Proyecciones se terminó de imprimir en los talleres gráficos Forma Color
Impresores S.R.L. Camarones 1768 (C1416ECH),
Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina
Abril de 2012**