

MODELADO REGIONAL DE LA CALIDAD DE AIRE UTILIZANDO EL MODELO WRF/CHEM: IMPLEMENTACIÓN DE DATOS GLOBALES Y LOCALES PARA MENDOZA

R. Fernandez^{1,*}, D. Allende², F. Castro², P. Cremades², E. Puliafito³.

Grupo de Estudios Atmosféricos y Ambientales (GEAA) – Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional
Cnel. Rodríguez 273, Ciudad de Mendoza – CP: 5500 – Mendoza
Tel. 0261-5243000 – Fax 0261-5244531
<http://www.frm.utn.edu.ar/geaa/>

* Instituto de Ciencias Básicas (ICB) – Universidad Nacional de Cuyo (UNCuyo)
Centro Universitario, Parque Gral. San Martín S/N – CP: 5500 – Mendoza
e-mail: rpfernandez@uncu.edu.ar

RESUMEN: El presente trabajo muestra los primeros resultados obtenidos en el modelado de la calidad de aire regional en Mendoza utilizando el modelo WRF/Chem, el cual posee la gran ventaja de resolver la meteorología y la química en forma acoplada. El modelo WRF/Chem fue configurado para representar correctamente la compleja orografía local (elevación de terreno de alta resolución SRTM3), caracterizar los tipos y usos de suelo en la región (LULC), e incorporar datos de emisión de contaminantes globales (RETRO y EDGAR) y locales (inventario GEAA). El área de estudio considerada abarca un dominio espacial de 160 km × 200 km centrado en la ciudad de Mendoza, con una resolución espacial de 4 km y un intervalo de tiempo de 24 segundos. Los resultados muestran que modificando la configuración por defecto de WRF/Chem para incorporar las características regionales de Mendoza se obtiene una descripción más detallada y resuelta de la evolución espacio-temporal de la pluma de contaminantes antropogénicos.

Palabras clave: WRF/Chem, Calidad de Aire Regional, Emisiones Antropogénicas, Mendoza.

INTRODUCCIÓN

La simulación y predicción de la calidad de aire es un problema altamente complejo, que involucra tanto factores meteorológicos (velocidad y dirección del viento, turbulencia, radiación, precipitaciones, etc.) como procesos químicos (emisión, deposición, reactividad química, etc.). Más allá de que históricamente los modelos numéricos atmosféricos se han desarrollado para simular sólo una de estas componentes, en la atmósfera real los procesos físicos y químicos están altamente acoplados y ocurren simultáneamente (Grell et al., 2005). Por ejemplo, la química afecta a la meteorología a través de su efecto directo sobre el balance radiativo mientras que las nubes y las precipitaciones modifican directamente la transformación y remoción de contaminantes.

En la actualidad, la utilización de modelos numéricos de calidad de aire regional se ha constituido en una herramienta imprescindible para estudiar el efecto que ejercen los contaminantes emitidos sobre el medio ambiente y/o sobre la salud de sus pobladores (Puliafito and Quaranta, 2009). Los campos de aplicación se han extendido enormemente, permitiendo considerar dominios de modelado cada vez más extensos, menores resoluciones de grilla y la posibilidad de modificar la resolución temporal dependiendo del dominio espacial seleccionado. La correcta implementación de estos modelos permite identificar la contribución de cada una de las fuentes, así como evaluar el impacto que posee cada uno de los contaminantes sobre la calidad de aire en la región estudiada.

La calidad del aire urbano en Argentina ha sido determinada solamente en las ciudades más importantes del país. Las ciudades de Mendoza y Bahía Blanca han sido estudiadas utilizando los modelos CALPUFF, ISC3 y HYSPLIT (Puliafito et al., 2003; Puliafito and Allende, 2007; Allende and Puliafito, 2008). Para la ciudad de Córdoba se han utilizado los modelos CAPAS y TUV que incluyen, respectivamente, la reactividad de contaminantes y los efectos de la radiación UV-visible sobre la superficie terrestre (Olcese and Toselli, 2005; Toselli et al., 2009). En Buenos Aires también se ha caracterizado la contaminación atmosférica utilizando tanto modelos como medidas experimentales (Mazzeo et al., 2005; Reich et al., 2006; Pineda Rojas and Venegas, 2009; Arkouli et al., 2010). Cabe mencionar que en ninguno de los estudios anteriormente mencionados se han utilizado modelos regionales 3D como el modelo WRF/Chem, y que además en la mayoría de los casos solamente se ha considerado la emisión y transporte de contaminantes primarios.

En este trabajo se presenta el novedoso modelo WRF/Chem, con el cual se realizó el primer modelado regional de la calidad de aire en Mendoza. En primera instancia se describe la configuración regional del modelo, el cual debió ser modificado en diversos módulos para considerar las características locales de la región estudiada. Luego se detalla la implementación de un

¹ Becario Postdoctoral CONICET

² Becario Doctoral CONICET

³ Investigador Independiente CONICET

inventario de emisión local para Mendoza desarrollado por el Grupo de Estudios Atmosféricos y Ambientales (GEAA), el cual permite incrementar la resolución espacio-temporal de la modelación. Finalmente se presenta el modelado de un “caso de estudio” utilizando la configuración local de WRF/Chem, y se comparan los resultados con los obtenidos cuando se utiliza la configuración por defecto que posee WRF/Chem.

DESCRIPCIÓN DEL MODELO

Modelo WRF.

El *Weather Research and Forecasting model* (WRF) es un novedoso modelo meteorológico no-hidrostático desarrollado a partir de la colaboración de prestigiosos centros de investigación internacionales (NCAR, NOAA, etc; Michalakes et al., 2002). El modelo resuelve en una escala regional las ecuaciones dinámicas primitivas considerando la conservación de los flujos escalares y de masa a partir de condiciones iniciales y de contorno obtenidas de modelos de circulación global. Para ello cuenta con varias estructuras dinámicas y numerosas parametrizaciones físicas que permiten representar distintos procesos, permitiendo aplicarlo en diferentes escalas que van desde las decenas hasta los miles de kilómetros. De todas las opciones dinámicas, la versión en coordenadas de masa denominada *Advanced Research WRF* (ARW; Wang et al., 2009) es la que presenta características ideales para realizar el modelado “on-line” de la química atmosférica.

Modelo WRF/Chem.

Normalmente el modelado de los procesos químicos en los sistemas de calidad de aire se realiza independientemente del modelado meteorológico, esto es, realizando una integración “off-line” de los mecanismos químicos sobre una grilla externa que contiene información sobre el transporte de masa y los campos meteorológicos. El desarrollo del novedoso modelo químico de transporte (CTM, *Chemical Transport Model*) WRF/Chem (*WRF with Chemistry*) ha permitido realizar la modelación acoplada de la química y la meteorología dentro de un único sistema de coordenadas horizontales y espaciales (Grell et al., 2005; Wang et al., 2009). 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 radiativa, etc. (Peckham et al., 2010). Sus aplicaciones en distintos campos permiten explicar episodios pasados, evaluar los potenciales efectos de las diferentes estrategias de reducción de emisiones o realizar pronósticos de la calidad del aire, considerando la interacción entre la química y la meteorología de alta resolución. Recientemente, el modelo WRF/Chem ha sido utilizado para determinar la concentración de ozono en regiones topográficamente complejas (Schürmann et al., 2009), obtener la variación espacio-temporal de contaminantes para distintos escenarios de emisión (Ying et al., 2009), estimar el transporte y deposición de sustancias ácidas y tóxicas (Meiyun et al., 2008), etc.

CONFIGURACIÓN LOCAL DEL MODELO WRF/CHEM

Tanto los modelos WRF-ARW como WRF/Chem deben configurarse para incluir las características particulares de las áreas de estudio. Debido a su alta complejidad, existe una configuración por defecto optimizada para modelar cualquier región del planeta utilizando datos estáticos globales. Sin embargo, para aplicaciones operativas dentro de Estados Unidos, se han planteado avanzadas configuraciones que permiten utilizar datos locales con mucho mayor resolución espacio-temporal (Zhang et al., 2010, etc.). Es por ello que el grupo GEAA se encuentra actualmente trabajando en obtener las configuraciones más convenientes para realizar estudios en distintas regiones de Argentina. A continuación se describen las modificaciones realizadas al modelo para mejorar la resolución de los datos de elevación de terreno, usos de suelo y emisiones antropogénicas en Mendoza. Luego se describe el área de estudio modelada y las condiciones iniciales y de contorno utilizadas.

Datos estáticos de superficie

Debido a la geografía compleja de Mendoza es muy importante incluir en el modelo una correcta descripción orográfica de la región y utilizar una elevada resolución espacial. Para ello 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 et al., 2005). Esto permite considerar una resolución espacial de 3'' × 3'' (aprox. 90 m × 90 m), diez veces mejor que la de mayor resolución global incluida en WPS por defecto. En la Figura 1 se muestran las diferencias en la resolución de la altura de elevación del terreno para ambas configuraciones.

Los datos estáticos de tipo y usos de suelo (LULC, *Land Use Land Cover*) del módulo WPS también fueron ampliamente mejorados a partir de mapas y Atlas desarrollados por distintas instituciones (Dirección de Ordenamiento Territorial de Mendoza (DOADU), Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Universidades Nacionales, etc.; Cruzate et al., 2007; Puliafito and Allende, 2007; DOADU, 2010). Los campos presentes en los distintos mapas fueron unificados utilizando un Sistema de Información Geográfico (GIS), asignándoles a cada sector una de las 24 categorías de uso de suelo definidas en el *standard* USGS (*United States Geological Survey*; Wang et al., 2009). En la Figura 2 se aprecia cómo esta asignación no sólo permitió caracterizar con mayor precisión tanto la región urbana como la sub-urbana para Mendoza, sino también incrementar la extensión del dominio espacial caracterizado. La nueva configuración sigue usando los datos globales para las regiones en las cuales no fueron implementados los nuevos mapas de usos de suelo. En este momento, en el grupo GEAA se está trabajando arduamente para mejorar la caracterización de LULC en toda la Argentina.

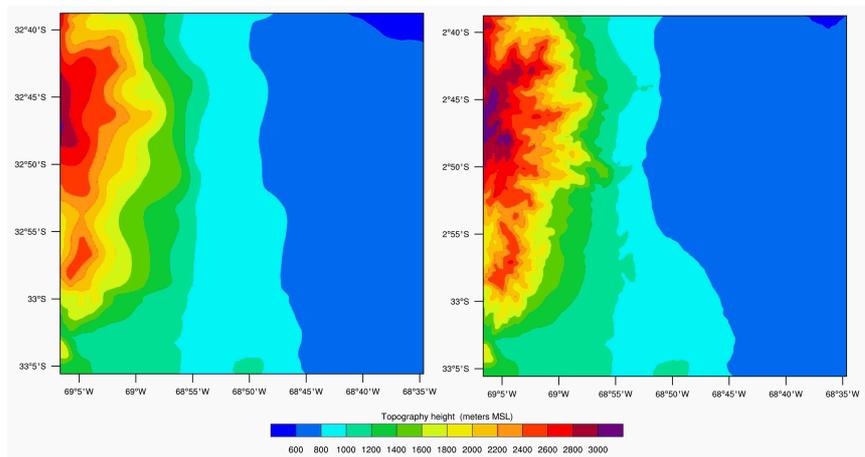


Figura 1: Representación de la elevación del terreno incluida en el módulo WPS: Configuración por defecto (panel izquierdo), datos SRTM3 (panel derecho).

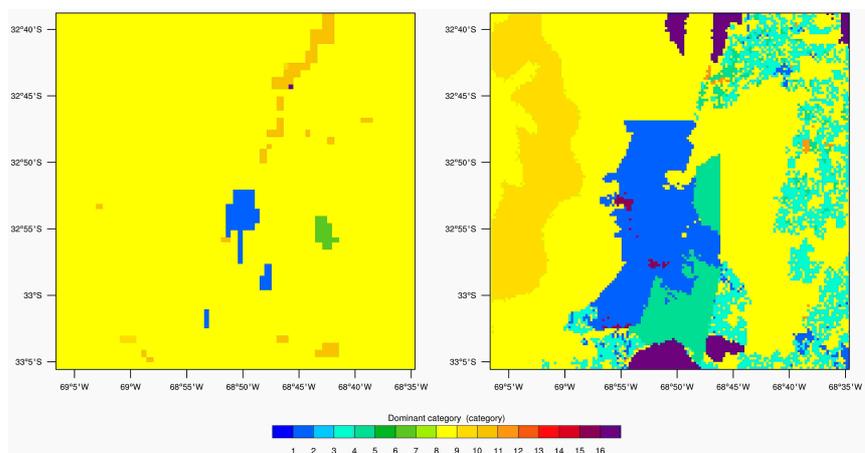


Figura 2: Clasificación de los mapas de LULC de acuerdo a las 24 Categorías USGS: resolución por defecto (panel izquierdo), datos locales de alta resolución (panel derecho).

Definición del área de estudio.

Con la intención de evaluar las modificaciones introducidas y la configuración local del modelo WRF/Chem, se optó por modelar un “caso de estudio” de un día invernal típico para un período completo de 24 horas. El dominio de modelado utilizado se encuentra centrado en la Ciudad de Mendoza (32° 53’ Sur, 68° 50’ Oeste), posee una dimensión de 200 km Norte/Sur × 160 km Este/Oeste, con una resolución de grilla de 4 km y una extensión vertical de 28 niveles. El área metropolitana considerada (Gran Mendoza) abarca los departamentos de Capital, Godoy Cruz, Guaymallén y las zonas urbanas de Las Heras, Lujan de Cuyo y Maipú. El tamaño del dominio se seleccionó de forma tal de incluir la complejidad orográfica del pedemonte, precordillera y cordillera, los cuales tienen una fuerte influencia en la meteorología y calidad de aire local debido a la circulación diaria tipo “valle-montaña” (Schlink et al., 1999).

Condiciones iniciales y de contorno.

Para poder comenzar el modelado químico/meteorológico con WRF/Chem deben introducirse las condiciones iniciales y de contorno que permitan resolver los sistemas de ecuaciones diferenciales primitivas. Los valores meteorológicos utilizados fueron obtenidos de modelos de circulación global como son los datos FNL (*Final Analysis*) producidos operativamente con el modelo global GFS (*Global Forecast System*) del *National Center for Environmental Prediction* NCEP (RDA, 2010). Una vez configurado el entorno meteorológico, los valores de concentración de fondo de las especies químicas se obtuvieron del modelo químico de transporte global MOZART (*Model for OZone And Related chemical Tracers*), el cual utiliza los mismos campos meteorológicos FNL para obtener la concentración global de fondo de 41 especies oxidantes en la atmósfera (Emmons et al., 2010).

Parametrizaciones Físicas y Químicas

Con la intención de evaluar las diferencias en la configuración local de los datos estáticos, se utilizaron las parametrizaciones físicas incluidas por defecto en WRF/Chem. Las mismas incluyen (Wang et al., 2009): modelo de microfísica WSM de 5 clases, transferencia radiativa *Goddard* para longitudes de onda corta, modelo unificado de física superficial Noah, esquema YSU (Monin-Obukhov) para el cálculo de la capa límite planetaria (PBL, *Planetary Boundary Layer*), etc. Las parametrizaciones químicas incluyen la selección de los mecanismos RADM2 (*Regional Acid Deposition Model*; Stockwell et al., 1990) y RACM (*Regional Atmospheric Chemical Mechanism*; Stockwell et al., 1997), un cálculo de constantes de fotólisis tipo *Fast-J*, una aproximación volumétrica de las propiedades ópticas de aerosoles, etc. (Peckham et al., 2010).

INVENTARIOS DE EMISIÓN DE CONTAMINANTES

Datos globales: RETRO y EDGAR

La configuración por defecto que posee el modelo WRF/Chem para realizar la modelación de la calidad de aire en cualquier dominio espacial del planeta es la de utilizar datos globales de emisión. Los inventarios de emisión de gases contaminantes y de efecto invernadero de la base EDGAR (*Emission Database for Global Atmospheric Research*) incluyen datos para Argentina con una resolución aproximada de $100 \text{ km} \times 100 \text{ km}$ ($1^\circ \times 1^\circ$, Oliver and Berdowsky, 2001). Además, la base RETRO (*REanalysis of the TROpospheric chemical composition*) incluye valores promedios mensuales de concentración, emisión, deposición y flujo de aerosoles y gases troposféricos para un período de más de 40 años con una resolución de $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ (Schultz, 2007). El CPTEC (*Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos*) ha desarrollado una aplicación denominada *Prep_chem_sources* que permite extraer los datos de emisiones de las bases globales y adaptarlos al dominio de modelado utilizado en WRF/Chem (Peckham et al., 2010). Si bien estas bases de datos poseen cobertura global, poseen valores promedios mensuales con escasa resolución espacial, con lo cual su utilización en el modelado de episodios de contaminación puntuales se ve limitada.

Inventario de emisión GEAA para Mendoza.

El inventario de emisión vehicular desarrollado por el grupo GEAA para la ciudad de Mendoza posee una resolución espacial de $500 \text{ m} \times 500 \text{ m}$, así como una variación temporal horaria de las emisiones promedio diarias (Castro et al., 2009). El inventario está basado en factores de emisión obtenidos con el modelo IVE (*International Vehicle Emissions*; Davis et al., 2004) y considera: la distribución de la flota vehicular, el nivel de actividad de los vehículos, el tipo de combustible, los kilómetros recorridos por cada vehículo, las características de las vías de circulación, etc. La desagregación temporal se realizó utilizando conteos horarios de la actividad vehicular del parque automotor en 4 sitios característicos provistos por AUTAM (Asociación Unida Transporte Automotor). En relación a las emisiones industriales, se utilizaron valores medidos directamente de chimeneas por la Dirección de Protección Ambiental, asumiendo emisiones constantes en todo el período.

La incorporación de las emisiones locales al modelo WRF/Chem se realizó siguiendo la estructura operativa de la base de datos de emisión de Estados Unidos (*National Emissions Inventory*; NEI, 2005). Para ello se modificó la aplicación *emiss_v3* (desarrollada exclusivamente para incorporar datos de NEI en WRF/Chem) para extender su uso a distintas bases de datos con estructura equivalente en cualquier punto del planeta. En primera instancia se corrigió el cálculo de la proyección tipo *Lambert-Conformal* para dominios espaciales ubicados en el hemisferio Sur. Además, se modificó la estructura de especiación química de forma tal que el usuario pueda definir de manera independiente el tipo y número de especies químicas consideradas, lo cual es de suma importancia al considerar los Compuestos Orgánicos Volátiles (VOCs). Para desagregar los valores de VOCs vehiculares obtenidos con el modelo de emisión IVE, se utilizó la especiación para vehículos de gasolina del modelo SPECIATE 4.2 (Hsu and Divita, 2009), agrupándose las especies orgánicas consideradas en el mecanismo según su estructura molecular y reactividad. En la Figura 3 se muestran las emisiones vehiculares de CO (ton./día) para la ciudad de Mendoza con una proyección *Lambert-Conformal* sobre una grilla de 72×80 casilleros de 0.25 km^2 de superficie. En el panel derecho se muestra la distribución relativa horaria de la actividad vehicular.

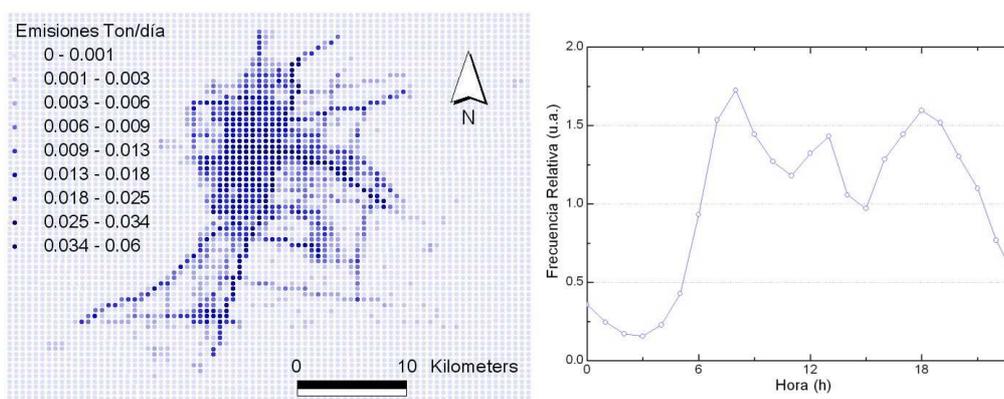


Figura 3: Distribución espacial de las emisiones de CO del inventario GEAA en ton./día. Junto a la variación horaria relativa de la actividad vehicular.

RESULTADOS

A continuación se presentan los primeros resultados sobre la calidad de aire regional obtenidos con el modelo WRF/Chem en Mendoza. El enfoque con el que se presentan las siguientes figuras no pretende describir los detalles finos de la química en escala regional, sino mostrar las diferencias existentes en la distribución espacio-temporal de los contaminantes al modificar la configuración del modelo WRF/Chem. Para ello se realizó el modelado de un “caso de estudio” utilizando tanto la Configuración Global por Defecto (CGD) como la Configuración Local para Mendoza (CLM). El caso de estudio tomado es para un período completo de 72 horas entre los días 13 al 15 de agosto de 2007. Las primeras 24 horas de la simulación fueron descartadas con la intención de minimizar los efectos introducidos por las condiciones iniciales y de contorno. Las horas indicadas en todas las figuras corresponden a hora local LST (*Local Standard Time*).

Evolución de la Capa Límite Planetaria (PBL).

En la Figura 4 se muestra la evolución temporal de la PBL en todo el dominio de modelado utilizando la CLM. En la misma figura se muestran las líneas de contorno de la elevación del terreno. Durante toda la noche y madrugada la PBL es mayor sobre la cordillera, efecto que revierte paulatinamente luego del amanecer, cuando la altura de la PBL en el llano supera a los del cordón montañoso. A partir de las 8:00 LST comienza a aumentar la altura de la PBL, la cual alcanza valores cercanos a los 3000 metros a las 17:00 LST, justo antes de comenzar a disminuir rápidamente. La superficie sobre la cual se observan los máximos valores de PBL se encuentra justo sobre el pedemonte, lo que sugiere que la precordillera posee un fuerte impacto sobre los cambios meteorológicos y físicoquímicos en la región.

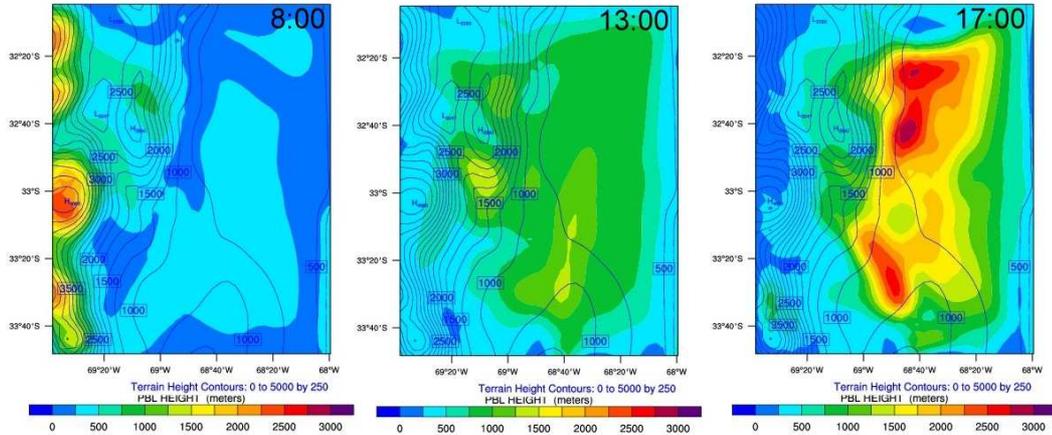


Figura 4: Evolución espacio-temporal de la Capa Límite Planetaria (PBL) a las 8:00, 13:00 y 17:00 LST utilizando la CLM. Las líneas de contorno superpuestas representan la elevación del terreno, en metros.

En la Figura 5a se muestra la evolución horaria de la PBL para el centro de la ciudad de Mendoza, donde durante la mañana la PBL se mantiene aproximadamente constante en 150 m, y a partir de las 11:00 GMT (*Greenwich Mean Time*, 8:00 LST) comienza a crecer hasta alcanzar su máximo valor a las 20:00 GMT (17:00 LST). Cabe mencionar que si bien la evolución espacio-temporal de la PBL es similar para ambas configuraciones, las variaciones observadas utilizando la CGD son más rápidas e intensas, con alturas superiores a los 2500 metros sobre una extensión superficial mucho mayor (Figura 5b). Estas diferencias se deben a la distinta caracterización USGS de los campos de LULC, en los cuales está basado el modelo de difusión térmica del esquema Noah. Además, puede notarse como al utilizar la CGD, la altura máxima de la PBL posee un contorno rectangular de aproximadamente $0.5^\circ \times 0.5^\circ$, el cual estaría relacionado con el acoplamiento entre la química (las emisiones de la base RETRO poseen una resolución de $0.5^\circ \times 0.5^\circ$) y la meteorología.

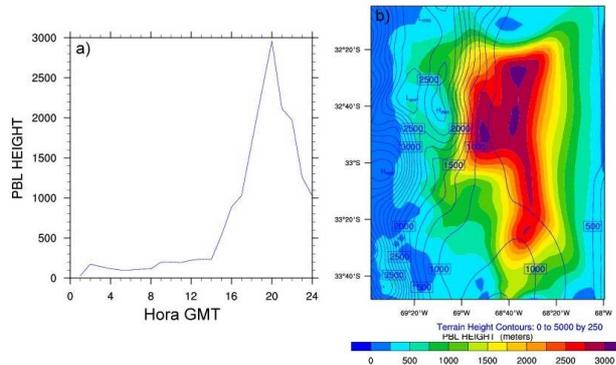


Figura 5: a) Evolución horaria de la PBL sobre la ciudad de Mendoza utilizando la configuración CLM. b) Idem Figura 4, pero con la configuración CGD a las 20:00 GMT (17:00 LST).

WRF/Chem Global: Configuración Global por Defecto (CGD).

En la Figura 6 se muestra la distribución espacial de la concentración de monóxido de carbono superficial (CO) junto con los campos de viento superficiales a las 8:00, 13:00 y 17:00 LST. Las líneas de contorno superpuestas muestran la altura de la PBL. La concentración ambiente del contaminante primario CO es altamente dependiente de la resolución de los datos de emisión, observándose el contorno prácticamente recto de $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ proveniente de la base de datos RETRO. El mismo efecto se observa para las restantes especies consideradas en el mecanismo RACM. Si bien la evolución de la pluma sigue los campos de viento, también se encuentra influenciada por la altura de la PBL. Esto provoca que durante la mañana, cuando todavía no ha ascendido la PBL, el máximo valor de [CO] permanezca relativamente constante (máximo de 0.112 – 0.115 ppm entre las 3:00 y las 9:00 LST) debido a que la base RETRO posee valores promedios mensuales, sin considerar variaciones horarias en las emisiones. A las 13:00 LST la [CO] ya se ha diluido debido al aumento de la PBL, y la pluma se desplaza hacia el Norte siguiendo los vientos predominantes. Es importante notar como la pluma de contaminantes permanece en mayor medida dentro de los límites de la PBL (17:00 LST).

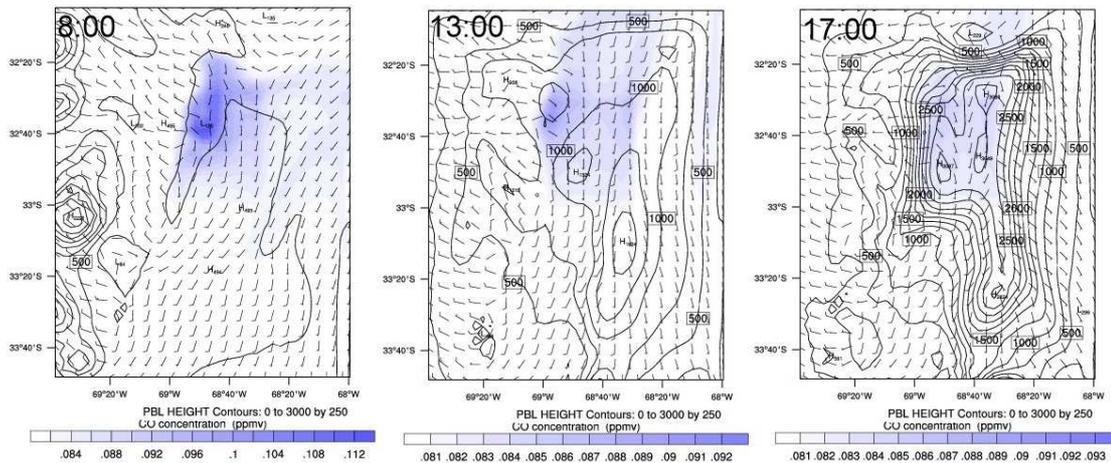


Figura 6: Concentración de CO (ppm) obtenidas con la configuración WRF/Chem Global. Los campos de vientos horizontales superficiales también se muestran. Las líneas de contorno indican la altura de la PBL.

WRF/Chem Local: Configuración Local para Mendoza (CLM).

En la Figura 7 se muestran los resultados obtenidos en la distribución de CO superficial luego de configurar el modelo localmente para la región de Mendoza. La pluma de contaminantes es más pequeña, con valores absolutos mayores, se encuentra localizada espacialmente sobre la Ciudad de Mendoza y muestra una mayor dependencia con los campos de vientos presentes a cada hora. La concentración de CO aumenta marcadamente entre las 7:00 y las 9:00 LST, debido al máximo de circulación vehicular observado en ese horario y a que recién está comenzando a elevarse la PBL (ver Figuras 3 y 5a). La evolución horaria de la pluma muestra un comportamiento diferente al mostrado con la configuración global, ya que al encontrarse las emisiones más localizadas cerca del pedemonte, la circulación que bordea la montaña hace que la pluma no se disperse tan rápidamente hacia el Este. Cabe mencionar que si bien a las 17:00 LST existe un segundo máximo de emisión, a esa hora la altura de la PBL ha incrementado notoriamente, por lo que la [CO] ambiente se encuentra diluida en un volumen atmosférico mayor.

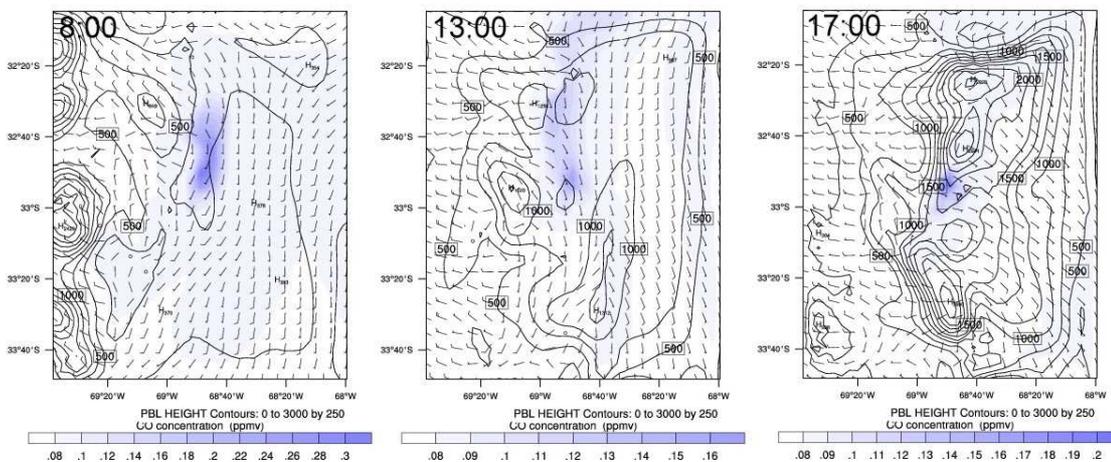


Figura 7: Idem Figura 5 pero utilizando la configuración WRF/Chem Regional.

Los patrones de circulación y las variaciones de los campos de viento muestran las principales características de la circulación “valle-montaña” propia de las regiones cordilleranas. En estos casos, el mayor enfriamiento de las laderas durante la noche provoca una brisa constante desde la montaña hacia el valle, la cual se revierte durante el día, cuando la insolación produce un calentamiento del monte (Schlink et al., 1999). En el caso particular del valle central de Mendoza, esta circulación posee una distribución predominante proveniente del Oeste-SurOeste durante la noche y del Este durante el día, siendo más marcada por la noche. Cabe mencionar que para determinar con mayor precisión la variación en los campos de viento, es preciso realizar una modelación con un tamaño de grilla inferior a 1 km, e implementar dominios anidados con distinta resolución de forma tal de resolver adecuadamente la meteorología. El próximo paso a seguir en la determinación de la configuración ideal para realizar estudios regionales en Argentina y Mendoza es analizar la dependencia de distintas variables meteorológicas y químicas con la resolución de la grilla espacial.

Contaminantes primarios vs. contaminantes secundarios.

En la Figura 8 pueden verse los resultados obtenidos para las concentraciones de ozono (O₃) superficial obtenidas con la configuración CLM. El O₃ es uno de los contaminantes secundarios más estudiados, el cual posee un gran impacto sobre la

capacidad oxidativa de la atmósfera, y depende altamente de la concentración ambiente de NO_x y VOCs. Los valores observados no muestran una dependencia con las emisiones de contaminantes primarios, lo que indica que la concentración de O_3 está controlada por la circulación global. Los valores en general son mayores sobre la cordillera debido a la altura de la PBL, así como a la menor presión y temperatura superficial. No es posible apreciar diferencias significativas en los valores de $[\text{O}_3]$ obtenidos con ambas configuraciones, por lo que la CLM implementada en el modelo WRF/Chem no permite describir la generación de O_3 troposférico debido a la inclusión de emisiones antropogénicas, sino que sigue mostrando una evolución global a partir de los valores de fondo introducidos por el modelo MOZART.

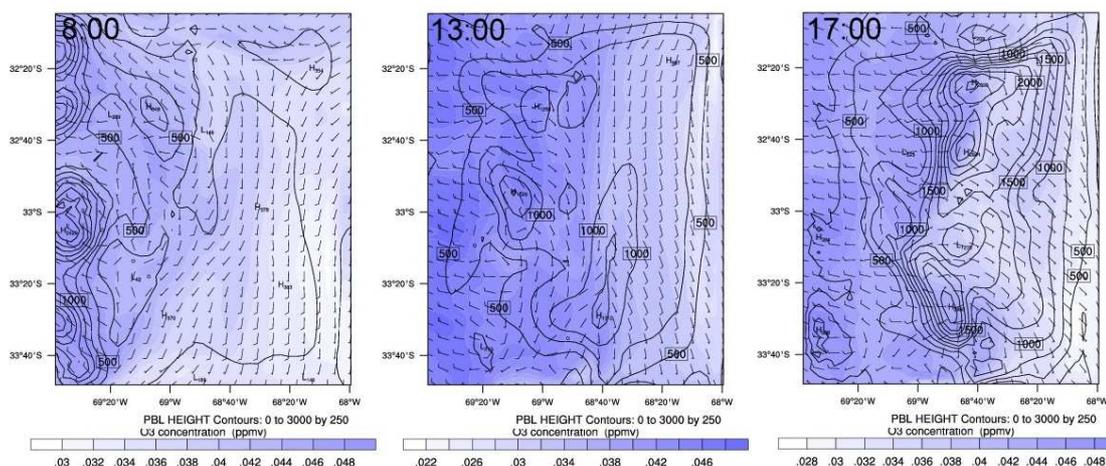


Figura 8: Comparación entre la concentración de O_3 (ppm) obtenida utilizando las configuraciones Global y Regional.

CONCLUSIONES

El novedoso modelo 3D WRF/Chem fue implementado exitosamente en el grupo GEAA con la intención de estudiar la interacción entre la química y la meteorología en una escala regional. Como primer paso en la modelación de la calidad de aire regional, se modificó la configuración global por defecto provista en el modelo y se obtuvo una configuración local que incrementa la resolución de la elevación de terreno y la clasificación de LULC propias de la región de Mendoza. Además, se adaptó una aplicación de pre-procesamiento que permite utilizar un inventario de emisión desarrollado por el grupo de investigación GEAA, con el cual se incrementó la resolución espacio-temporal de las emisiones antropogénicas. Los resultados muestran que utilizando la nueva configuración se modifica la evolución horaria de la PBL como consecuencia de la mejor caracterización de los tipos de suelo, provocando que las alturas máximas se encuentren cercanas al pie del cordón montañoso. Además, la evolución de la pluma de contaminantes primarios muestra una resolución espacio-temporal mucho mayor: la pluma de contaminantes se encuentra localizada sobre la pequeña superficie en la cual está implantada la ciudad de Mendoza y muestra una dependencia directa con los campos de viento que bordean el pedemonte. Sin embargo, la configuración alcanzada no permite describir la formación de contaminantes secundarios sobre las concentraciones de fondo de los modelos globales, por lo que deberá mejorarse si se pretende hacer una descripción completa de la calidad de aire regional. Otra ventajas que posee la utilización de WRF/Chem es que es posible describir la variación de concentraciones en altura (siguiendo la evolución de la PBL), lo cual permitirá a futuro analizar el transporte de largo alcance de los contaminantes, su interacción y rol en la formación de nubes, y la capacidad de obtener un modelado regional que incluya contaminación transfronteriza.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al NCAR (*National Center for Atmospheric Research*) y restantes institutos que desarrollaron el modelo WRF/Chem, no sólo por proveerlo en forma gratuita, sino por la ayuda suministrada a través de los tutoriales y foros comunitarios (especialmente <http://forum.wrfforum.com/>). Este trabajo fue posible gracias al apoyo de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza y al CONICET, a quien los becarios agradecen el otorgamiento de sus becas. El trabajo fue subsidiado por el proyecto PICT 2005. 23-32686.

REFERENCIAS

- Allende, D., Puliafito, E. (2008). Particulate matter emissions as possible modifiers of urban weather. Weather Modification Association (WMA), Third International Semi-annual Meeting. Mendoza, Argentina.
- Arkouli, M., Ulke, A.G., Endlicher, W., Baumbach, G., Schultz, E., Vogt, U., Müller, M., Dawidowski, L., Faggi, A., Wolf-Benning, U., Scheffknecht, G. (2010). Distribution and temporal behavior of particulate matter over the urban area of Buenos Aires. *Atmospheric Pollution Research*, 1, 1-8. doi:10.5094/APR.2010.001.
- Castro, F., Allende, D., Puliafito, E. (2009). Influencia de la resolución de grilla en el modelado de emisiones vehiculares. *Mecánica Computacional*, Vol XXVIII, 2393-2411.
- Cruzate, G., L. Gomez, M.J. Pizarro, P. Mercury and S. Bancharo (2007) 'Mapas de suelos de la República Argentina', *Proyecto PNUD ARG/85/019*. Instituto de Suelos y EAs del INTA. <http://geointa.inta.gov.ar>.
- DOADU. 2010. Dirección de Ordenamiento Territorial de Mendoza, Ministerio de Ambiente y Obras Públicas, Gobierno de Mendoza. <http://www.doadu.mendoza.gov.ar/metropolitana/110.html>.

- Emmons, L., Walters, S., Hess, P., Lamarque, J., Pfister, G., Fillmore, D., Granier, C., Guenther, A., Kinnison, D., Laepple, T., Orlando, J., Tie, X., Tyndall, G., Wiedinmyer, C., Baughcum, S., and Kloster, S. (2010). Description and evaluation of the Model for Ozone and Related chemical Tracers, version 4 (MOZART-4). *Geosci. Model Dev.*, 3, 43-67, doi:10.5194/gmd-3-43-2010.
- Grell, G., Peckham, S., Schmitz, R., McKeen, S., Frost, G., Skemerock, W., Eder, B. (2005). Fully coupled “online” chemistry within the WRF model. *Atmospheric Environment*, 39, 6957-6975. <http://ruc.noaa.gov/wrf/WG11/>.
- Hsu, Y., and Divita, F. (2009). SPECIATE 4.2 Speciation Database Development Documentation. Environmental Protection Agency (EPA), United States. EPA/600-R-09/038. <http://www.epa.gov/ttn/chief/software/speciate/index.html>.
- Mazzeo, N., Venegas, L., Choren, H. (2005). Analysis of NO, NO₂, O₃ and NO_x concentrations measured at a green area of Buenos Aires City during wintertime. *Atmospheric Environment*, 39, 3055-3068.
- Meiyun, L., Oki, T., Holloway, T., Streets, D., Bengtsson, M., Kanae, S. (2008). Long-range transport of acidifying substances in East Asia--Part I: Model evaluation and sensitivity studies, *Atmospheric Environment*, 42, 5939-5955.
- Michalakes, J.G., McAtee, M., Wegiel, J. (2002). "Software Infrastructure for the Weather Research and Forecast Model", in proceedings of UGC 2002, June, Austin, Texas, 13pp. <http://www.mmm.ucar.edu.ar/wrf/users/documents>.
- NEI (2005). National Emissions Inventory Data & Documentation, Environmental Protection Agency (EPA), United States. <http://www.epa.gov/ttn/chief/net/2005inventory.html>.
- Olcese, L., Toselli, B.M. (2005). Development of a model for reactive emissions from industrial stacks. *Environmental Modelling & Software*, 20, 1239-1250.
- Olivier, J.G.J., J.J.M. Berdowski. (2001). Global emissions sources and sinks. In: Berdowski, J., Guicherit, R. and B.J. Heij (eds.) "The Climate System", pp. 33-78. A.A. Balkema Publishers/Swets & Zeitlinger Publishers, Lisse, The Netherlands. ISBN 90 5809 255 0.
- Peckham, S., Grell, G., McKeen, S., Fast, J., Gustafson, W., Ghan, S., Zaveri, R., Easter, R., Barnard, J., Chapman, E., Wiedinmyer, C., Schmitz, R., Salzman, M., Freitas, S. (2010). WRF/Chem Version 3.2 Users Guide, National Center for Atmospheric Research (NCAR), USA. http://ruc.noaa.gov/wrf/WG11/Users_guide.pdf.
- Pineda Rojas, A.L.; Venegas, L.E. (2009). Atmospheric deposition of nitrogen emitted in the Metropolitan Area of Buenos Aires to coastal waters of de la Plata River. *Atmospheric Environment*. 43, 1339-1348.
- Puliafito, E. y Quaranta, N. (2009). Contaminación Atmosférica en la Argentina: Contribuciones de la II Reunión Anual PROIMCA. Universidad Tecnológica Nacional (UTN). ISBN: 978-950-42-0119-9.
- Puliafito, E.; Guevara, M.; Puliafito, C., 2003, Characterization of urban air quality using GIS as management system". *Environmental Pollution*. 122: 105-117.
- Puliafito, E., Allende, D. (2007): Calidad del aire en ciudades intermedias. *Proyecciones*, Año 5, N.2, Publicación de posgrado e investigación de la F.R. Bs. As., UTN, pp. 33-52, 2007.
- RDA. (2010). Research Data Archive, Computational and Information Systems Laboratory (CISL) at the National Center for Atmospheric Research (NCAR). <http://dss.ucar.edu>.
- Reich, S., Magallanes, J., Dawidowski, L., Gómez, D., Groselj, N., Zupan, J. (2006). An analysis of secondary pollutants in Buenos Aires city. *Environmental Monitoring and Assessment*, 119, 441-457.
- Rodriguez, E., Morris, C.S., Belz, J., Chapin, E., Martin, J., Daffer, W., Hensley, S. (2005). An assessment of the SRTM topographic products, Technical Report JPL D-31639, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California, 143 pp.
- Schultz, M., editor. (2007). REanalysis of the TROpospheric chemical composition over the past 40 years (RETRO)— A long-term global modeling study of tropospheric chemistry. Final Report 2007, Jülich/Hamburg, Germany. Reports on Earth System Science no. 48/2007. ISSN 1614-1199
- Schürmann, G., Algieri, A., Hedgecock, I., Manna, G., Pirrone, N., Sprovieri, F. (2009). Modelling local and synoptic scale influences on ozone concentrations in a topographically complex region of Southern Italy. *Atmospheric Environment*, 43, 4424-4434.
- Schlink, U., Herbarth, O, Richter, M., Rhewagen, M., Puliafito, J, Puliafito, E., Puliafito, C, Guerreiro, P., Quero, J, Behler, J. (1999). Ozone-Monitoring in Mendoza, Argentina: Initial results. *J. of Air and Waste Management A.*, 49, 82-87.
- Toselli, B., Olcese, L., Palancar, G., Ahumada, F., López, M.L., Andrada, G., Fernández, R. (2009). “Evaluación de la calidad del aire y mediciones de radiación UV-B y total en la ciudad de Córdoba”, artículo invitado en el Libro Contaminación Atmosférica en la Argentina: Contribuciones de la II Reunión Anual PROIMCA. Eds. E. Puliafito y N. Quaranta, Universidad Tecnológica Nacional (UTN), Pag. 21-34.
- Wang, W., Bruyère, C., Duda, M., Dudhia, J., Gill, D., Lin, H-C., Michalakes, J., Rizvi, S., Zhang, X. (2009). Advanced Research WRF (ARW) Version 3 Modeling User’s Guide, Mesoscale & Microscale Meteorology Division, National Center for Atmospheric Research (NCAR), USA. http://www.mmm.ucar.edu.ar/wrf/users/docs/arw_v3.pdf.
- Ying, Z., Xuexi, T., Guohui, L. (2009). Sensitivity of ozone concentrations to diurnal variations of surface emissions in Mexico City: A WRF/Chem modeling study. *Atmospheric Environment*, 43, 851-859.
- Zhang, Y., Wen, X.Y., Jang, C. (2010). Simulating chemistry-aerosol-cloud-climate feedbacks over the continental U.S. using the online-coupled Weather Research Forecasting Model with chemistry (WRF/Chem). *Atmospheric Environment*, 44, 3568-3582.

ABSTRACT: The present work show preliminary results of WRF/Chem regional air quality modeling in Mendoza, Argentina, considering the coupling between chemistry and meteorology. The WRF/Chem model was configured to improve the description of the topographical complexity of Mendoza (high resolution SRTM3 terrain elevation data), to include a local classification of Land Use Land Cover (LULC) fields, and to incorporate both global (RETRO and EDGAR) and local (GEAA inventory) pollutants emissions. The studied area considers a 160 km × 200 km domain centered in the city of Mendoza, with a 4 km spatial resolution and a 24 seconds time step. The results show that when the default WRF/Chem configuration is modified to incorporate regional data, a greater resolution and detailed description of the pollutants plume spatial and temporal evolution is obtained.

Keywords: WRF/Chem, Regional Air Quality, Anthropogenic Emissions, Mendoza.