

Implementación de mejoras físicas y químicas a un sistema de modelado de calidad del aire para la Argentina y su validación, utilizando información satelital.

Physical and chemical improvements and validation of an air quality modelling system for Argentina, using satellite data

Presentación: 22/10/2019

Doctoranda:

María Fernanda García Ferreyra

Comisión Nacional de Actividades Espaciales
fgarciaferrerya@conae.gov.ar

Director/es:

Gabriele Curci

Marcelo Scavuzzo

Lidia Otero

Resumen

La investigación y el monitoreo de calidad del aire fueron ganando importancia en Argentina y Latinoamérica, principalmente en megaciudades donde la contaminación alcanza niveles críticos. Otro instrumento muy usado en el estudio de la composición atmosférica y sus procesos físicos y químicos, y también para obtener el pronóstico de calidad de aire en una región, es un modelo de transporte químico. Este tipo de modelos estima las condiciones del aire que respiramos, la concentración de contaminantes en el nivel superficial y niveles superiores, y cómo son consumidos/producidos y transportados por las condiciones meteorológicas. El objetivo principal de la tesis es realizar mejoras en el sistema de modelado WRF-CHIMERE-EDGAR, ya implementado anteriormente en Argentina, que consideren una evaluación del sistema utilizando información satelital, y una implementación operativa para brindar pronóstico de calidad del aire a la población. El sistema se compone de un inventario de emisiones antropogénicas global EDGAR, el modelo de predicción numérica del tiempo WRF y el modelo de transporte químico CHIMERE. La evaluación del sistema fue realizada en términos de densidad diaria en columna total atmosférica de NO₂, CO y espesor óptico de aerosoles, utilizando datos de los sensores OMI, MOPITT y MODIS, respectivamente. El dominio espacial definido incluye a toda la Argentina continental, y el temporal es de marzo a mayo del 2009 para evaluar NO₂ en condiciones de emisiones regulares antropogénicas y al período diciembre 2016 a febrero 2017 para evaluar el destino de la emisión de contaminantes por incendios de vegetación en un gran evento en la Patagonia Nororiental. Para esto último, fue implementado el modelo de emisiones de incendios APIFLAME que estima la tasa de emisión para cada foco de incendios, en función de datos satelitales dinámicos y estáticos que brindan información sobre la ubicación, potencia radiativa, tipo de cobertura vegetal, cantidad de biomasa disponible y factores de emisión. La evaluación del sistema de modelado con información satelital da resultados optimistas en cuanto a la distribución espacial y temporal de los contaminantes presentes en la atmósfera, aunque aún hay una subestimación en las emisiones

producto de los inventarios de emisiones antropogénicas y de incendios. Por otro lado, aún es necesaria una evaluación del perfil vertical de contaminantes. Finalmente, en el sitio de la CONAE <http://meteo.caearte.conae.gov.ar/wrf/chimere.php> ya se encuentra la implementación operativa del Pronóstico Experimental de Calidad del Aire WRF-CHIMERE-EDGAR, junto con la documentación descriptiva y publicaciones relacionadas; esperamos agregar a este sistema la implementación de las emisiones de incendios en los próximos meses.

Palabras claves: modelo de transporte químico, información satelital, sistemas operativos.

Abstract

Air quality monitoring and research have been gaining importance in Argentina and Latin America, mainly in megacities where pollution reaches critical levels. Another instrument very much used to study the atmospheric composition and its physical and chemical processes, and also to forecast air quality within a region, is a chemical transport model. These type of models estimates the conditions of the air we breath, concentration of pollutants at the superficial level and above, and how they are consumed/produced and transported by the meteorological conditions. The main objectives of the thesis is to improve the WRF-CHIMERE-EDGAR modeling system, already implemented in Argentina, considering a system evaluation using satellite information, and an operative implementation to produce an air quality forecast to population. The systems is integrated by an anthropogenic emission inventory EDGAR, a numerical forecast model WRF and chemical transport model CHIMERE. The system evaluation was performed in terms of daily total column density of NO₂, CO and atmospheric optical depth, using satellite data from OMI, MOPITT and MODIS sensors, respectively. The spatial domain defined includes all continental Argentina and the period of time were march to may 2009 to evaluate NO₂ in anthropogenic regular emission conditions, and december 2016 to february 2017 to evaluate the faith of vegetation fires pollutants emitted during a huge event in Northeast Patagonia. To do the latter, the APIFLAME fire emission model was implemented, that estimates the emission rate for each fire hot spot using dynamic and static data satellite that bring information about location, radiative power, vegetation cover, available biomass and emission factors. The evaluation of the modeling system with satellite information gives optimistic results about the spatial and temporal distribution of the atmospheric pollutants, though there is an emission subestimation from the emission inventories. Finally, at the CONAE website <http://meteo.caearte.conae.gov.ar/wrf/chimere.php> there is an operative implementation of the Air Quality Experimental Forecast WRF-CHIMERE-EDGAR, along with the descriptive documents and related publications; the fire emission forecast will be available in the next few months.

Keywords: chemical transport model, satellite data, operative systems

Introducción

La tropósfera es la región de la atmósfera terrestre en la cual generalmente se emiten compuestos químicos antropogénicos, junto con especies bio y geogénicas. Las especies emitidas de óxidos de nitrógeno (NO_x), compuestos orgánicos volátiles (COVs) y compuestos sulfurados (SO₂ y otros), sujetas a procesos de físicos y químicos para producir nuevas especies. El producto de mayor interés de estas transformaciones es el ozono troposférico (O₃) que afecta áreas urbanas, rurales y a la tropósfera en términos globales (Atkinson, 2000; Finlayson Pitts y Pitts, 2000). Debido a que gran parte de la química se lleva a cabo en presencia de luz, los productos oxidados son comúnmente llamados contaminantes fotoquímicos secundarios que pueden ser potencialmente más peligrosos que sus precursores (Jenkin y Clemitshaw, 2000).

La contaminación atmosférica es un fenómeno recurrente en muchas ciudades de Latinoamérica, debido a grandes fuentes industriales; de producción, transporte y consumo de energía; erupciones volcánicas y quema de biomasa a gran escala (OMM, 2012).

Del conocimiento detallado de las emisiones, topografía, meteorología, química y procesos de deposición, se desarrollan modelos matemáticos para predecir las concentraciones de los contaminantes primarios y secundarios en función del tiempo, para distintas regiones (Finlayson Pitts y Pitts, 2000). Un modelo de calidad del aire, igual que uno meteorológico, estima las

condiciones del aire que respiramos a nivel superficial, en cuanto a la presencia y concentración de contaminantes emitidos todos los días. El modelo no sólo muestra cuál es el destino de los contaminantes según las condiciones meteorológicas, sino también cómo se consumen y se producen nuevas especies contaminantes en la atmósfera.

La implementación de un sistema de modelado de calidad del aire, para la obtención del pronóstico diario, es una herramienta importante para los investigadores, las instituciones ambientales gubernamentales, y el público en general porque contribuye al conocimiento de los procesos de transporte regional de contaminantes y su química en la atmósfera.

Hay un número creciente de grupos en Latinoamérica desarrollando y aplicando modelos de calidad del aire (OMM, 2012). Es necesario el monitoreo sistemático de contaminantes atmosféricos para la definición de regulaciones regionales y nacionales de calidad de aire, que debe tener en cuenta factores locales y sociales (OMS, 2006). En general, hay muy pocas mediciones precisas de calidad de aire en Latinoamérica. Muchas veces, la calidad de los datos no es confiable y el acceso a ellos no es tarea fácil (OMM, 2012).

Una implementación inicial del sistema de modelado (García Ferreyra, 2014), que se propone utilizar en este trabajo, fue realizada por la doctoranda en CONAE durante la realización de su maestría AEARTE (FAMAF, UNC). El sistema se compone principalmente de datos del inventario de emisiones antropogénicas global EDGAR (EDGAR, 2011), el modelo de predicción numérica del tiempo WRF (Skamarock et al., 2005) y el modelo de transporte químico CHIMERE (Menut, 2013). Los objetivos de esta tesis son: implementar operativamente el sistema de modelado para la obtención de pronósticos diarios de la calidad del aire en Argentina, según las emisiones antropogénicas y biogénicas regulares y las de eventos particulares, como incendios de vegetación, y realizar la evaluación del sistema de modelado utilizando información satelital.

Resultados

Implementación operativa del sistema de modelado WRF-CHIMERE-EDGAR

A partir de la primera implementación del sistema compuesto por el inventario de emisiones EDGAR, el modelo numérico WRF y el modelo de transporte químico CHIMERE (García Ferreyra, 2014) se propone la obtención de pronósticos diarios de la calidad del aire para la población argentina, dando información acerca del transporte y química de contaminantes atmosféricos emitidos en nuestro país. Los datos sobre la implementación y parametrizaciones pueden obtenerse de García Ferreyra et al., 2016.

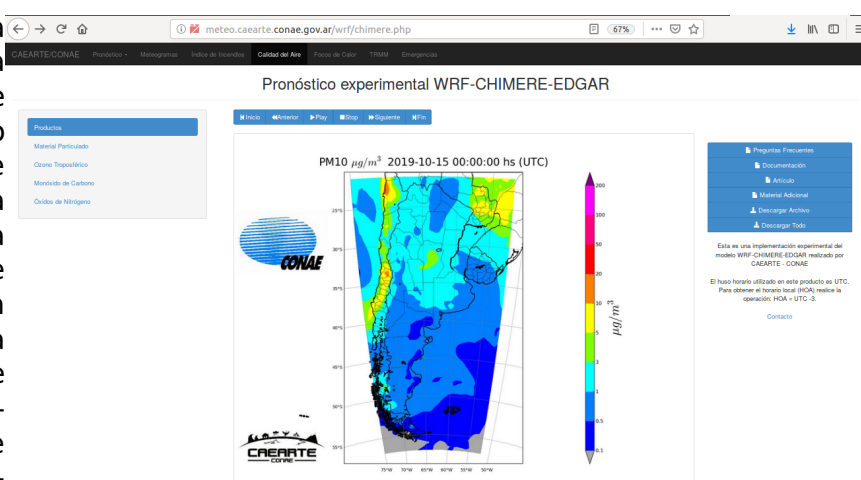


Figura 1. Visualización de sitio web con implementación operativa: Pronóstico Experimental de Calidad del Aire

La operativización del sistema implica la publicación web diaria de un mapa para todo el país, con datos horarios hasta 3 días, de los contaminantes criterio (con mayor impacto en la salud). Además, se producen archivos de descarga de imágenes horarias y por cada especie, en formato JPG, y un archivo CSV con los datos por píxel del primer nivel vertical, horarios, con posición y por especie. El acceso al sitio web se realiza desde <http://meteo.caearte.conae.gov.ar/wrf/chimere.php>, y se encuentra libre para su consulta, descarga de archivos diarios y consulta de material bibliográfico producido a partir de la implementación. La Figura 1 muestra una visualización del sitio.

Esta implementación tiene la intención de promover el debate en esferas de gestión, académica y público en general, acerca de la calidad del aire que respiramos en el país. Tiene por objetivos:

- obtener pronósticos diarios de la calidad del aire para la población argentina, que brinden información del destino de los contaminantes atmosféricos emitidos regularmente en nuestro país;
- promover el uso de modelos de predicción en el país y su mejora continua, en términos de calidad de las bases de datos empleadas y de definición de parametrizaciones, y

- ser un punto de inicio para el desarrollo futuro de sistemas de alerta temprana para la población en caso de desastres naturales (incendios de vegetación, erupciones volcánicas, otros).

Implementación de modelos para la estimación de emisiones por incendios de vegetación

Una mejora sustancial al sistema de modelado es la estimación de emisiones atmosféricas por incendios de vegetación y posterior simulación del destino de estas emisiones según procesos físicos y químicos. Así, se integró al sistema el modelo de emisión de incendios APIFLAME (Turquety et al., 2014) que estima un inventario de emisiones horario dinámico de contaminantes dependiendo del área quemada, el tipo y proporción de combustible consumido y de factores de emisión. Los datos de entrada se obtienen a partir de información satelital derivada del sensor MODIS (Aqua y Terra, NASA), en particular los productos MOD14, MYD14, MCD64, MOD44 y MCD12Q1, y del modelo de densidad de biomasa ORCHIDEE (Krinner et al., 2005) y los factores de emisión (Akagi et al., 2011). Queda aún pendiente la implementación operativa de esta mejora en el Pronóstico experimental de calidad del aire, presentado en la subsección anterior.

Evaluación del sistema de modelado con información satelital

Para evaluar el desempeño del sistema de modelado en términos de comportamiento regional, fueron utilizados productos satelitales de calidad del aire. El producto de la media de la columna troposférica diaria de NO₂ con filtro de nubes a > 40%, obtenido por el sensor OMI a bordo de la plataforma satelital Aura (NASA) fue comparado con la media de la columna de NO₂ de CHIMERE, para el período marzo-mayo del 2009 (Figura 2, García Ferreyra 2016), a la misma hora de paso del satélite. Para ello se interpolaron bilinealmente los datos del producto satelital para integrarlos a la grilla del sistema de modelado.

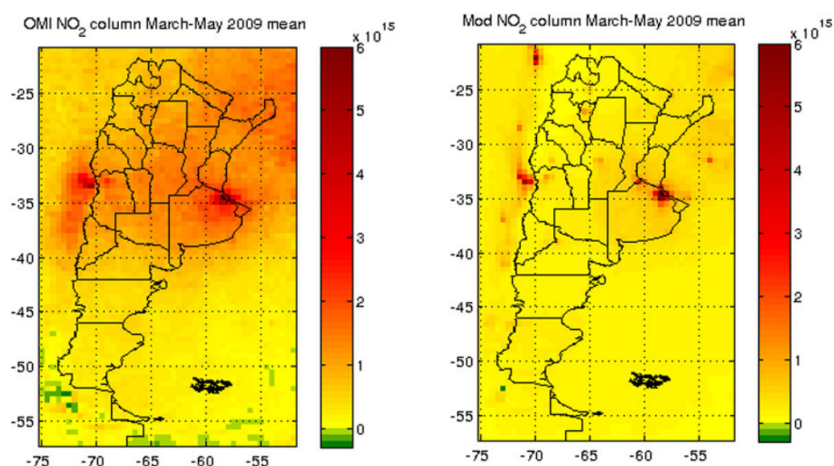


Figura 2. Promedio para el período Marzo-Mayo 2009 de la columna troposférica de NO₂ [moléculas·cm⁻²], obtenido por a) el sensor OMI/Aura (NASA) y b) el sistema de modelado WRF-CHIMERE-EDGAR (García Ferreyra et al. 2016).

Por otro lado, se utilizaron distintas fuentes de información satelital para obtener la distribución espacial diaria y su transporte durante un gran evento de incendios al noreste de la Patagonia Argentina, entre los meses diciembre del 2016 y febrero del 2017 (García Ferreyra et al., 2019). Las densidades de columna total de NO₂ y CO se obtuvieron de los sensores OMI/Aura y MOPITT/Terra (NASA), respectivamente. Ambas especies medidas están presentadas en términos de moléculas·cm⁻². El espesor óptico de aerosoles (AOD, por sus siglas en inglés), como una medida de la carga de aerosoles en la columna atmosférica, se deriva del algoritmo MAIAC aplicado a los datos del sensor MODIS/Terra y Aqua (NASA), a 0,47 μm_2 con una resolución espacial horizontal de 1 km. La evaluación del producto de AOD fue presentado en la publicación Della Ceca et al., 2018. La comparación entre los productos satelitales y las soluciones del modelo de transporte químico son presentadas en la Figura 3, obtenidas para el mismo día y hora y presentadas con la misma escala de colores. La columna atmosférica considerada para la salida del modelo alcanza los 200 mbar (hasta la tropopausa), mientras que los satélites observan columnas atmosféricas de alrededor de 700 km, desde la superficie, de todas formas, se considera que estas especies emitidas por incendios se encuentran principalmente dentro de la tropósfera.

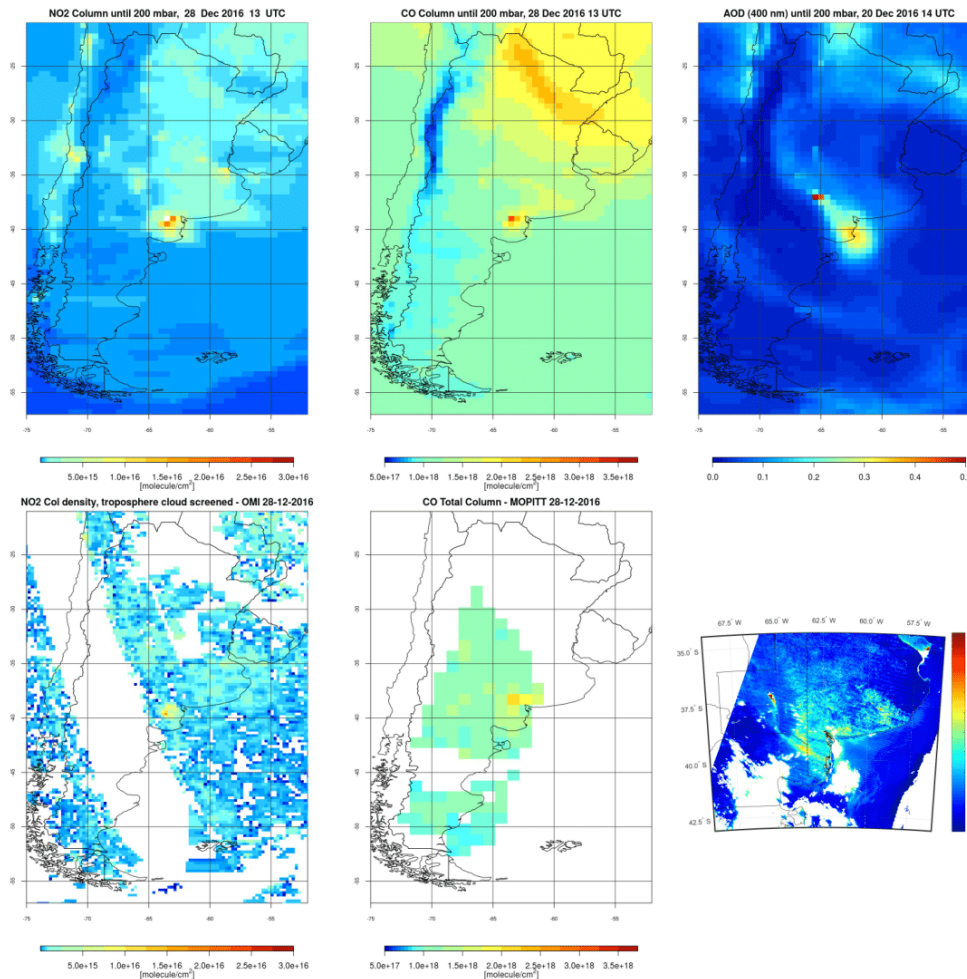


Figura 3. Concentraciones modeladas (arriba) y productos satelitales (abajo). Densidades de columna total de NO₂ (izquierda) y CO (centro), el 28 de Diciembre del 2016, y AOD (derecha), estimado a 400 y 470 nm del día 20 de Diciembre del 2016.

El humo del incendio fue transportado cientos de kilómetros dentro de la capa límite atmosférica y sobre ella. Las estimaciones diarias de NO₂, CO y AOD, contaminantes típicos de incendios de vegetación, pudieron obtenerse a distintas resoluciones espaciales a partir de los datos medidos por los sensores OMI, MOPITT y MODIS. Aún así, la presencia de nubes, las órbitas y los anchos de barrido son los factores principales responsables de la falta de datos en los productos satelitales usados en este trabajo. El sistema WRF-CHIMERE-APIFLAME fue capaz de reproducir concentraciones de esos contaminantes en la atmósfera y completar la escena en tiempo-espacio.

Publicaciones internacionales indexadas con referato, derivadas de esta tesis

García Ferreyra, M. F., Curci, G., Della Ceca, L., Otero, L., Ristori, P., Argañaraz, J. P., Germán, A., Lighezzolo, A., Scavuzzo, C. M. (2019). Monitoring air pollution from wildfires using ground data, satellite products and modeling: the austral summer 2016-2017 in Argentina. IEEE IGARSS 2019, 28 Jul- 2 Ago 2019, Yokohama, Japón. *En prensa*.

Represa, N.S., Ojeda, S., Abril, G., Garcia Ferreyra, M.F. Satellite Product Evaluation of the OMI/AURA Sensor for the Nitrogen Dioxide Analysis in the Province of Buenos Aires. (2019) 2018 IEEE Biennial Congress of Argentina, ARGENCON 2018. DOI: 10.1109/ARGENCON.2018.8645993. Conference Paper.

Saffe, J., Garcia Ferreyra, M.F., Poffo, D., Carantid, G.M., Comes, R.A., Rodriguez, A., Martina, A., Ingaramo, R. Biomass fired ash plumes detection and monitoring using the Argentine Meteorological Radar (RMA) (2019) 2018 IEEE Biennial Congress of Argentina, ARGENCON 2018. DOI: 10.1109/ARGENCON.2018.8646299. Conference Paper.

Otero, L.A., Roberto Ristori, P., Garcia Ferreyra, M.F., Aguirre, D., Raponi, M.M., Omar Salvador, J., Delia, R., Martorella, E., Pereyra, A.F., Vilar, O., Brusca, S., Herrera, M.E., Lucas Bali, J., Quel, E.J. Biomass Burning Detection at Comodoro Rivadavia and Trelew on March 1st, 2015 (2019) 2018 IEEE Biennial Congress of Argentina, ARGENCON 2018. DOI: 10.1109/ARGENCON.2018.8646276. Conference Paper.

Della Ceca, L.S., García Ferreyra, M.F., Lyapustin, A., Chudnovsky, A., Otero, L., Carreras, H., Barnaba, F. Satellite-based view of the aerosol spatial and temporal variability in the Córdoba region (Argentina) using over ten years of high-resolution data. (2018) ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 145, pp. 250-267. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2018.08.016

Otero, L.A., Ristori, P.R., García Ferreyra, M.F., Herrera, M.E., L.bali, J., Pereyra, A.F., Martorella, E., Brusca, S., D'elia, R.L., Fierro, V.E., Franchi, G., Vilar, O., Salvador, J.O., Raponi, M.M., J. Quel, E. Seven photometers of the aeronet network installed in the argentine territory: Statistical analysis of the data and characterization of the aerosols. (2018) *Anales de la Asociacion Fisica Argentina*, 29 (3), pp. 78-82. DOI: 10.31527/analesafa.2018.29.3.78

García Ferreyra, M.F., Curci, G., Lanfri, M. First Implementation of the WRF-CHIMERE-EDGAR Modeling System Over Argentina. (2016) *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 9 (12), pp. 5304-5314.

Della Ceca, L., Garcia Ferreyra, M.F., Diez, S., Scavuzzo, C.M. Integration of spatial data for atmospheric pollutants monitoring during fires. (2016) 2016 IEEE Biennial Congress of Argentina, ARGENCON 2016, pp. 298-309. DOI: 10.1109/ARGENCON.2016.7585373. Conference Paper.

Referencias

Akagi, S. K., Yokelson, R. J., Wiedinmyer, C., Alvarado, M. J., Reid, J. S., Karl, T., Crouse, J. D., y Wennberg, P. O. (2011) Emission factors for open and domestic biomass burning for use in atmospheric models, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11, 4039-4072. doi: 10.5194/acp-11-4039-2011.

Atkinson, R. (2000) Atmospheric chemistry of VOCs and NOx. *Atmospheric Environment*, 34, 2063-2101.

Della Ceca, L. S., García Ferreyra, M. F., Lyapustin, A., Chudnovsky, A., Otero, L., Carreras, H., y Barnaba, F. (2018) Satellite-based view of the aerosol spatial and temporal variability in the Córdoba region (Argentina) using over ten years of high-resolution data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 145, pp. 250-267.

Dennis, R., Fox, T., Fuentes, M., Gilliland, A., Hanna, S., Hogrefe, C., Irwin, J., Rao, R., Scheffe, R., Schere, K., Steyn, D. y Venkatram, A. (2010). A framework for evaluating regional-scale numerical photochemical modeling systems. *Environmental Fluid Mechanics*, 10(4), 471-489.

EC-JRC/PBL (2011). EDGAR version 4.2. <http://edgar.jrc.ec.europa.eu/>.

Finlayson-Pitts, B. J. y Pitts, J. (2000). Theory, experiments, and applications, in: *Chemistry of the Upper and Lower Atmosphere*, primera edición, San Diego, Academic Press.

García Ferreyra, M. F. (2014). *Obtención de mapas de calidad de aire, a través de la implementación y primera aplicación del modelo de transporte químico CHIMERE sobre Argentina*. Tesis de Maestría.

García Ferreyra, M. F., Curci, G. y Lanfri, M. (2016). First Implementation of the WRF-CHIMERE-EDGAR Modeling System Over Argentina. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 9(12), 5304-5314. doi:10.1109/JSTARS.2016.2588502.

García Ferreyra, M. F., Curci, G., Della Ceca, L., Otero, L., Ristori, P., Argañaraz, J. P., Germán, A., Lighezzolo, A., Scavuzzo, C. M. (2019). Monitoring air pollution from wildfires using ground data, satellite products and modeling: the austral summer 2016-2017 in Argentina. *IEEE IGARSS 2019*, 28 de julio al 2 de agosto 2019, Yokohama, Japón. *En prensa*.

Jenkin, M. E. y Clemitshaw, K. C. (2000). Ozone and other secondary photochemical pollutants: chemical processes governing their formation in the planetary boundary layer. *Atmospheric Environment*, 34: 2499-2527.

Krinner, G., Viovy, N., de Noblet-Ducoudre, N., Ogee, J., Polcher, J., Friedlingstein, P., Ciais, P., Sitch, S., and Prentice, I. C. (2005). A dynamic global vegetation model for studies of the coupled atmosphere-biosphere system, *Global Biogeochem. Cy.*, 19, GB1015, doi: 10.1029/2003GB002199.

Menut L, Bessagnet, B., Khvorostyanov, D., Beekmann, M., Blond, N., Colette, A., Coll, I., Curci, G., Foret, G., Hodzic, A., Mailler, S., Meleux, F., Monge, J. L., Pison, I., Siour, G., Turquety, S., Valari, M., Vautard, R., y Vivanco, M. G. (2013). CHIMERE 2013: a model for regional atmospheric composition modelling. *Geoscientific Model Development*, 6, 981-1028, doi:10.5194/gmd-6-981-2013.

OMM. (2012). Impacts of Megacities on Air Pollution and Climate. Organización Mundial de Meteorología Chair Publications Board. Geneva, Switzerland.

OMS. (2006). Air quality guidelines of WHO for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide, Global update 2005. Organización Mundial de la Salud.

Skamarock, W. C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D. O., Barker, D. M., Wang, W., y Powers, J. G. (2005). A description of the advanced research WRF version 2 (No. NCAR/TN-468+ STR). National Center For Atmospheric Research Boulder Co Mesoscale and Microscale Meteorology Div.

Thunis, P., Pederzoli, A. y Pernigotti, D. (2012). Performance criteria to evaluate air quality modeling applications. *Atmospheric Environment*, 59, 476-482, 2012.

Turquety, S., Menut, L., Bessagnet, B., Anav, A., Viovy, N., Maignan, F., y Wooster, M. (2014). APIFLAME v1.0: high-resolution fire emission model and application to the Euro-Mediterranean region. *Geoscientific Model Development*, vol. 7, no. 2, pp. 587-612, 2014.