



## ESTIMACIÓN DE UN FACTOR DE RIESGO DE EXPOSICIÓN A LA CONTAMINACIÓN URBANA PARA LA POBLACIÓN DE LA CIUDAD DE BUENOS AIRES.

D. Allende<sup>1</sup>, P. Cremades<sup>1</sup>, E. Puliafito<sup>2,\*</sup>, R. Fernández<sup>3</sup>, F. Pérez Gunella<sup>\*</sup>

Grupo de Estudios Atmosféricos y Ambientales – Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza

<sup>\*</sup>Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Buenos Aires

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

Rodriguez 273 C.P. 5500 – Mendoza

Tel. 0261-5243003 –e-mail: david.allende@frm.utn.edu.ar

**RESUMEN:** Un enfoque tradicional en la toma de decisiones para la mejora de la calidad de aire urbana está dirigido a la evaluación de concentraciones ambientales de contaminantes en un área de estudio. Sin embargo, es de interés para la generación de políticas ambientales la estimación de la población potencialmente afectada por diferentes fuentes de contaminación. En este trabajo se presenta una metodología para la estimación de un factor de riesgo de exposición para la población de la Ciudad de Buenos Aires (CBA) correspondiente a la evolución espacial y temporal de las emisiones de sus fuentes móviles y fijas. En tal sentido, se integró un modelo de emisión, un modelo de dispersión de contaminantes, Sistemas de Información Geográficos (SIG) y técnicas de exposición de población para caracterizar, espacialmente y en fina escala, la posible población en riesgo de dicho centro urbano.

**Palabras clave:** contaminación vehicular, fuentes industriales, SIG, exposición, CALPUFF.

### INTRODUCCIÓN

La contaminación urbana es un problema mundial significativo, presentándose en varias ciudades niveles de polución elevados, de acuerdo con las guías de la Organización Mundial de la Salud (Mage et al., 1996). Al mismo tiempo, muchos estudios ilustran que una reducción de la exposición de la población a la contaminación urbana puede contribuir en forma significativa a mejoras en las expectativas de vida (Wang y Mauzerall, 2006; Anderson, 2009).

La aplicación de valores límites para calidad de aire ha resultado una gran herramienta para la disminución de concentraciones de contaminantes en las ciudades (WHO, 2000). Sin embargo, la sola comparación de concentraciones ambientales con límites fijados por la normativa, son insuficientes para establecer consecuencias sobre la población afectada debido a la baja densidad de sitios de monitoreo, pudiendo incluso obtenerse conclusiones erróneas. En cambio, la evaluación de la exposición basada en distribución de concentraciones en conjunción con datos de distribución de población constituye una herramienta de gran utilidad, no solamente para evaluar el daño en la salud sino también para identificar áreas de riesgo (Jensen, 1999; Beckx et al. 2009).

El propósito de este trabajo es desarrollar un modelo que caracterice espacialmente el área de estudio de acuerdo a la relación existente entre los patrones de contaminación urbana y la distribución de la población. La metodología comprende el uso de un modelo de emisión para varios tipos de fuentes antrópicas, un modelo de dispersión acoplado a un modelo meteorológico regional, técnicas de análisis de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y un modelo de exposición de población. Los resultados pretenden servir de guía para el diseño de políticas ambientales al responder las preguntas: ¿Cómo contribuye cada fuente de contaminación al riesgo de la población? ¿Cuáles son las áreas más relevantes, a fina escala, en riesgo de exposición a determinados contaminantes?

### METODOLOGÍA

#### *Área de estudio*

En este estudio se ha evaluado el impacto de todas las fuentes antrópicas en la calidad de aire de la Ciudad de Buenos Aires (CBA). Este aglomerado urbano cubre un área de 202 km<sup>2</sup> 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 Figura 1 muestra la ubicación del área de estudio y el dominio de modelado. Éste abarca un área de 25 x 25 km<sup>2</sup> 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.

#### *Modelado de dispersión de contaminantes*

En este estudio, el sistema de modelado CALPUFF, recomendado por la Agencia Ambiental de Estados Unidos EPA para la simulación de transporte de contaminantes en microescala (Scire et al. 2000), se utilizó para evaluar la contribución de las

<sup>1</sup> Becario Doctoral de CONICET

<sup>2</sup> Investigador Independiente de CONICET

<sup>3</sup> Becario Postdoctoral de CONICET

fuentes antrópicas en la calidad de aire de la CBA. La elección de este modelo reside en su habilidad para manejar complejos campos de vientos en tres dimensiones, para simular condiciones de calma (velocidad de viento < 1 m/s) e interacciones con el terreno. CALMET es el modelo meteorológico de diagnóstico que genera un campo meteorológico 3-D en el dominio de modelado a partir de parámetros geofísicos grillados y datos meteorológicos horarios.

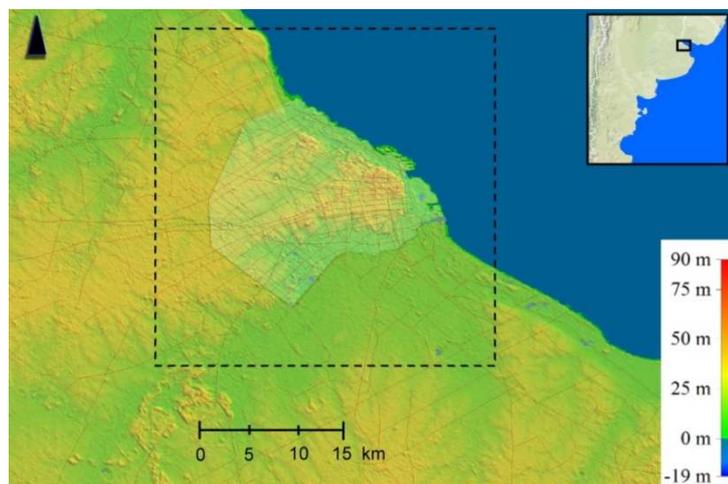


Figura 1: Mapa de la CBA y dominio de modelado. La línea punteada demarca el dominio del modelo de dispersión, En color rojo se incluyen las principales rutas que conectan la CBA con el resto del área metropolitana.

Debido a que no hay disponibles observaciones en altura con tal frecuencia en el área de estudio (como es el caso de muchos lugares en Argentina), dichos parámetros fueron derivados de simulaciones en alta resolución usando del modelo regional WRF (Weather Research and Forecasting; Skamarock et al. 2008). Se utilizó un preprocesador offline (CALWRF) para inicializar CALMET, introduciendo datos horarios de superficie y parámetros de la capa límite planetaria, derivados de las salidas de WRF. Asimismo, las elevaciones del terreno y uso de suelo para el dominio fueron obtenidos de la base de datos de la USGS. 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. En nuestro caso, se modelaron 3 especies: óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), monóxido de carbono (CO) y dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ). Las concentraciones se mapearon en una grilla cartesiana de receptores con resolución de 500 m, considerada adecuada para reproducir las singularidades del terreno y obtener un tiempo computacional razonable.

#### *Inventario de emisiones de fuentes fijas*

Existen en el área de estudio cuatro centrales térmicas, tres en la CBA (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 (CORe INventory AIR emissions, the European Environment Agency; EEA, 2010) y en IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC, 2006) utilizando factores de emisión específicos para cada tipo de combustible y potencia instalada. Datos de actividad fueron tomados de la Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico (CAMMESA, 2009) y de las magnitudes de potencia y generación de los informes publicados en las páginas web de cada una de las centrales.

Asimismo, se consideró necesario incorporar las fuentes industriales cercanas a la CBA. 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, 2 Refinerías de Petróleo, 8 Plantas de Recepción y Almacenaje de Petróleo y sus Derivados, 4 Plantas de Recepción y Almacenaje de Productos Químicos, además de industrias de procesos varios, empresas de transporte, amarres, arenaras 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).

Para este estudio, se desarrolló una desagregación temporal en pequeña resolución (diaria y estacional) específica para cada categoría de fuente de emisión. Los perfiles de variación mensual para las fuentes industriales se tomaron de acuerdo a la fluctuación mensual del PBI para la categoría "Industria manufacturera" durante los últimos cinco años. Los perfiles mensuales correspondientes para las emisiones de las centrales térmicas se estimaron según el comportamiento de la generación energética durante el último lustro, de acuerdo con el balance energético suministrado por la Secretaría de Energía (2008). Existen asimismo, perfiles de variación diurna para todas estas fuentes. Las variaciones horarias de las emisiones correspondientes al Sector Energético se tomaron de los partes postoperativos generados por CAMMESA. Las emisiones horarias de fuentes industriales, en cambio, se consideraron constantes debido a falta de mayor información y la diversidad de actividades involucradas.

#### *Inventario de emisiones vehiculares*

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 et al. (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. 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. A partir de factores de emisión detallados para cada tipo de vehículo y combustible se calcularon las emisiones en cada segmento de calle de la ciudad. El cálculo de dichos factores de emisión se realizó utilizando el modelo COPERT III (Ntziachristos y Samaras, 2000), información de estudios previos propios (Gantuz et al. 2009) y locales (Gagioli y Tarela, 2005). Finalmente, esta información, se asoció a grillas de emisión 300 m x 300 m que indican la distribución espacial, a través de un Sistema de Información Geográfico (SIG). En la Tabla 1 se detalla la clasificación del parque automotor para la CBA y en la Tabla 2 se detallan emisiones para algunos compuestos debido al transporte carretero. La Figura 2 muestra las emisiones de NO<sub>x</sub> en toneladas anuales producto de la actividad vehicular.

Vehículos por categoría	Cantidad	Porcentaje
Automóviles	855.211	77,03%
Transporte liviano	143.448	13,82%
Transporte de carga	50.004	4,50%
Colectivos	14.398	1,30%
Motos	37.110	3,34%

Tabla 1: Clasificación del parque automotor en la CBA.

Combustible	Consumo energético (TJ)	Emisiones (Tn/año)					
		CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	HC	PM <sub>10</sub>
Naftas	25.693	1.780.492	1.464	188.326	10.020	29.897	33
Gas Oil	20.878	1.530.351	100	10.648	16.494	917	24
GNC	3.903	209.480	2.420	2.822	773	5	0
Total	50.474	3.520.324	3.985	201.796	27.286	30.212	57

Tabla 2: Emisiones del transporte carretero, por tipo de combustible, en toneladas anuales, calculadas por distancia recorrida.

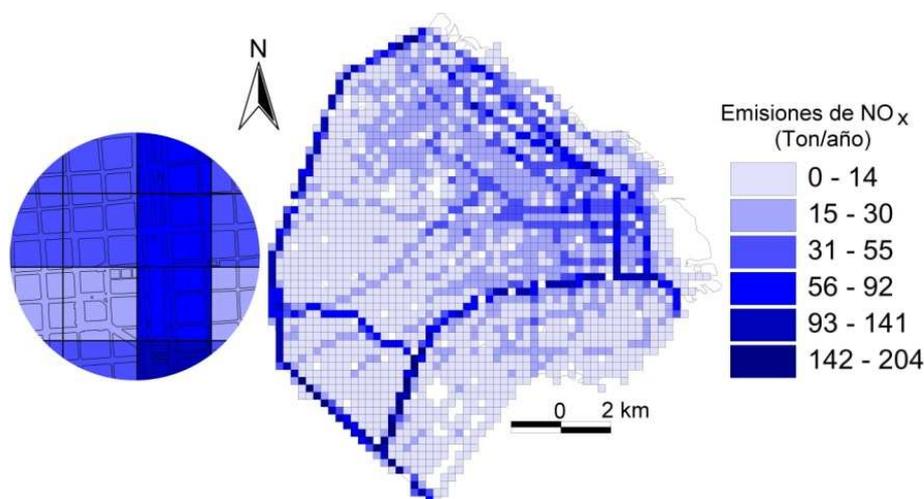


Figura 2: A la derecha, emisiones de NO<sub>x</sub> producto de la actividad vehicular en toneladas anuales. A la izquierda, detalle de la grilla en el que se muestra el tamaño de celda de 300 m x 300 m.

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 08:00 y 09:00 y otra entre las 19:00 y 21:00. El Gobierno de la CBA posee registros de los niveles de los volúmenes vehiculares que circulan por los principales corredores viales de la ciudad y en las Autopistas de acceso al aglomerado urbano obtenidos mediante espiras magnéticas en varios puestos de medición. Por otro lado, la División Tránsito de la Dirección Nacional de Vialidad publica factores de peso diarios, mensuales y anuales para varios tramos (DNV, 2010), reflejando la variabilidad temporal de la demanda de tránsito. A partir de los datos de todas las fuentes disponibles, se construyó un único perfil de variación diario y se lo aplicó a la distribución espacial de las emisiones. El perfil de variación mensual de estas emisiones se tomó de los mismos factores de peso tabulados en DNV (2010).

#### Inventario de emisiones residenciales

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 CBA (2010). El gas natural se distribuye a través de la red de gasoductos, mientras que el GLP en recipientes metálicos de diferente capacidad (garrafas). Los dos tipos de combustible se utilizan indistintamente para calefacción, obtención de agua caliente y cocción. Se utilizaron factores de emisión de las bases de datos de CORINAIR para ambos combustibles. 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 300 m. Las emisiones totales se derivaron en forma proporcional a la densidad de población (variable entre 58 y 31.156 habitantes/km<sup>2</sup>) e inversamente

proporcional al porcentaje del NBI (entre 1,8% y 23,2%). El consumo de gas natural y GLP se utiliza mayormente para calefacción y suman un total de 74.200 TJ, siendo las emisiones relacionadas con el mismo mayormente CO<sub>2</sub>, CO y NO<sub>x</sub>. 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 (Alvarez et al. 2004). Para el GLP se definió el mismo perfil que para el gas natural. La Figura 3 muestra emisiones residenciales para monóxido de carbono.

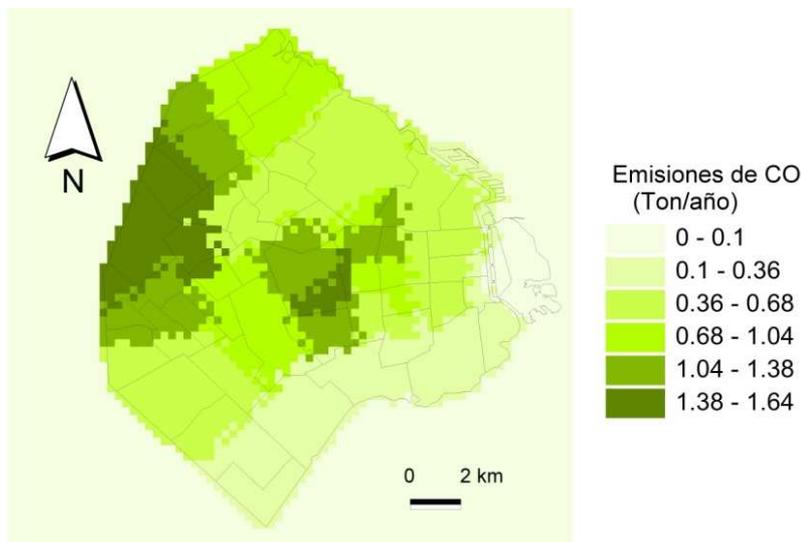


Figura 3: Emisiones residenciales de CO, estimadas en función del consumo de gas natural y GLP. La distribución espacial de las emisiones depende tanto de la densidad poblacional como del porcentaje de NBI.

#### Desagregación temporal de las emisiones

Las distintas fuentes de emisión fueron desagregadas temporalmente considerando las variaciones mostradas en dos intervalos de tiempo diferentes: mensuales y horarias. Las variaciones horarias se muestran en el panel derecho de la Figura 4, donde puede verse como las emisiones vehiculares poseen un pico a las 9 hs. y otro alrededor de las 20 hs., mientras que las industriales y de centrales térmicas son prácticamente constantes. Las emisiones residenciales son mayores durante las horas en las que se cocina, aunque su variación es menos acentuada. Las variaciones mes a mes, mostradas en el panel izquierdo de la Figura 4, señalan que durante los meses de verano, especialmente en enero, las emisiones vehiculares son notoriamente menores que durante el resto del año. El consumo de combustibles para calefacción en los meses de invierno define el perfil de las emisiones residenciales. La actividad de las centrales térmicas tiende a decrecer en los meses de verano al utilizarse generación hidroeléctrica para suplir la demanda.

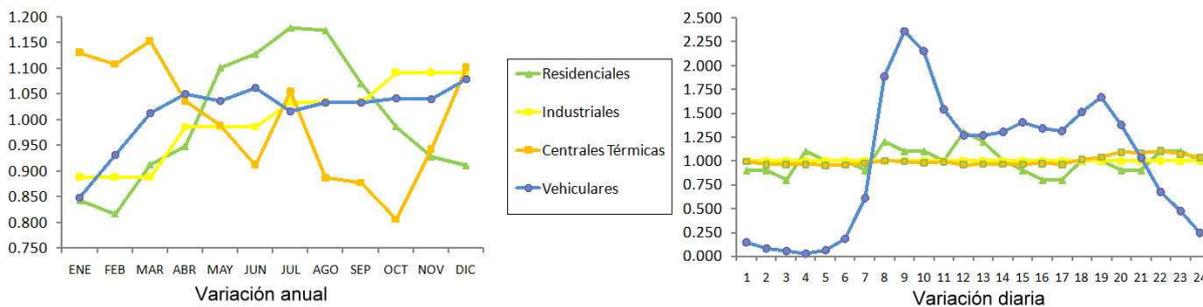


Figura 4: Variación anual y diaria de las emisiones para las cuatro categorías de fuentes consideradas.

#### Estimación de riesgo para la población

Como resultado del modelado de dispersión se obtuvieron valores de concentraciones para cada receptor grillado del dominio de modelado. El mapa de densidad de población necesario para la estimación de la exposición de la población se superpuso al de concentraciones, utilizando la misma resolución espacial que la grilla de receptores. Los datos de densidad se obtuvieron de estimaciones de población de la Dirección General de Estadística y Censos (Ministerio de Hacienda CBA) para el año 2007. Para evaluar el riesgo de exposición se calculó para cada celda de receptores un factor adimensional que combina la información sobre la distribución de población con los datos de concentración a nivel del suelo. Para cada compuesto  $i$ , el factor de riesgo para la población en la celda  $j$  ( $FRP_{ij}$ ) se calcula como:

$$FRP_{ij} = DN_i \times CN_{ij} \quad (1)$$

Donde  $DN_i$  es la densidad de población normalizada y  $CN_i$  es la concentración a nivel del suelo normalizada para dicha celda, calculados como:

$$DN_i = \frac{D_i - D_{min}}{(D_{max} - D_{min})} \quad (2)$$

$$CN_{ij} = \frac{C_{ij} - C_{i min}}{(C_{i max} - C_{i min})} \quad (3)$$

Donde  $D_i$  el valor de densidad en cada celda  $i$  obtenido de datos de censo de población y  $D_{max}$  y  $D_{min}$  son los valores máximos y mínimos de densidad de población en el dominio de modelado. De la misma forma,  $C_{ij}$  es el valor de concentración a nivel del suelo para el compuesto  $i$  en la celda  $j$ , y  $C_{i max}$  y  $C_{i min}$  los valores máximos y mínimos, para la especie  $i$ , calculados con el modelo de dispersión.

Este indicador, varía en una escala numérica de 0 a 1 (0 para condiciones ambientales perfectas o nula exposición de la población y 1 para los puntos donde la densidad de población y la concentración de contaminantes estimada alcanzan valores máximos en el dominio de modelado), y es comparable a varios índices para estimar calidad de aire aplicados en diversos países (Cheng et al., 2004; Landulfo et al., 2007; Venegas y Mazzeo, 2009). Este último trabajo es de particular interés, ya que presenta una metodología para el cálculo de un Índice de Calidad de aire para la CBA con el objeto de informar a la población el nivel de contaminación. La ventaja que posee el FRP obtenido en el presente estudio es que condensa información no sólo sobre las condiciones ambientales, sino también sobre la población afectada, categorizando las áreas del núcleo urbano en distintas zonas prioritarias: las zonas más críticas, especialmente para la generación de políticas ambientales, son aquellas en las que el FRP en el área de estudio tiene los valores máximos.

## RESULTADOS

### Concentraciones a nivel del suelo

Los patrones espaciales de concentraciones simuladas con CALPUFF se ilustran en la Figura 5. Los valores de concentración se interpolaron con el método Kriging para generar patrones continuos, considerando los promedios de 24 hs. La distribución de las concentraciones de  $SO_2$  se encuentra centralizada en las zonas cercanas a las fuentes industriales, mientras que en otros sectores, son generalmente muy bajas. En cambio, los patrones espaciales para  $CO$  y  $NO_x$  son similares entre sí y más complejos. Los niveles más elevados se encuentran en la cercanía de autopistas y avenidas principales (Av. General Paz, Av. 25 de Mayo, etc.). De la comparación de los diagramas de la Figura 5, resulta claro que la contribución de las fuentes es diferente para los compuestos simulados, ya que para el  $SO_2$ , las áreas con mayores valores de concentración están centralizadas en el Norte y Noreste del dominio, mientras el  $CO$  y  $NO_x$  se asocian fuertemente a las emisiones vehiculares.

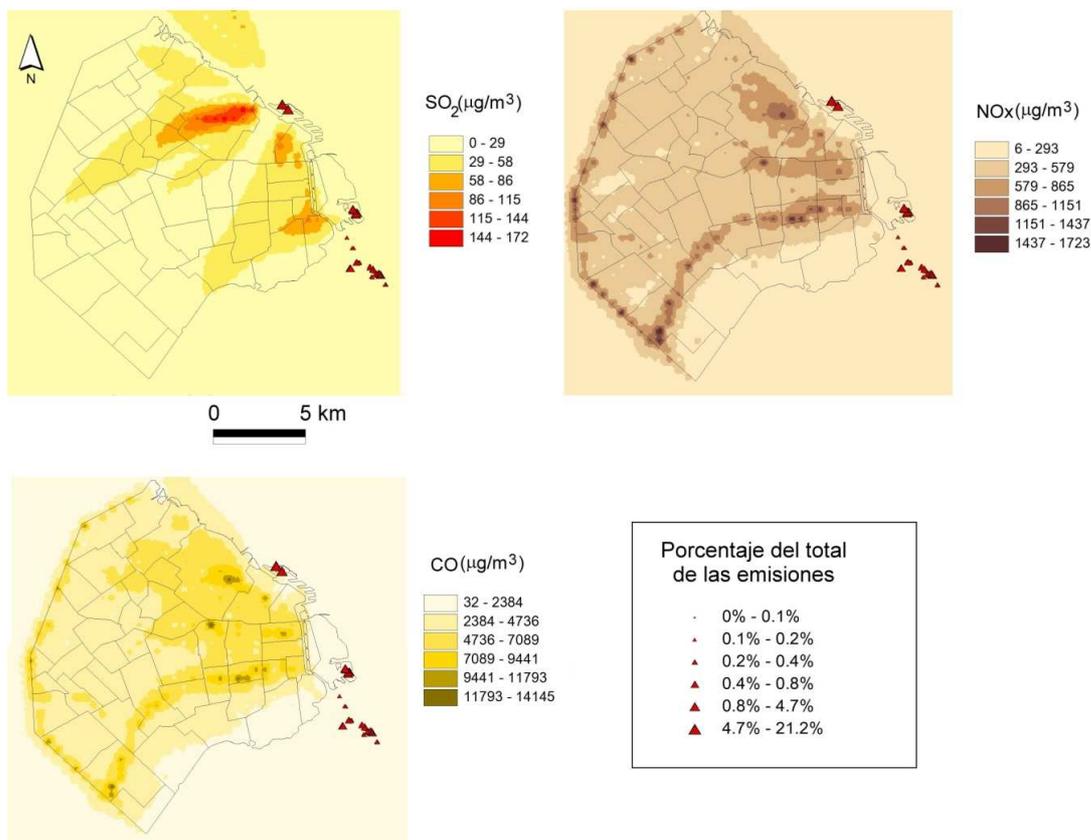


Figura 5: Diagramas de isoconcentración para  $SO_2$ ,  $NO_x$  y  $CO$ , en el dominio de modelado. Los triángulos en rojo señalan la ubicación de las fuentes puntuales incluidas en la simulación. El tamaño de los mismos es proporcional al caudal de emisión, tal como se muestra en la escala.

### Evaluación del modelo

El desempeño de CALPUFF para simular las concentraciones de  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$  y CO 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  $r$  fue igual a 0,74. La Figura 6 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 de Buenos Aires”, durante el mes de agosto del año 2007 (OCCOVI, 2007).

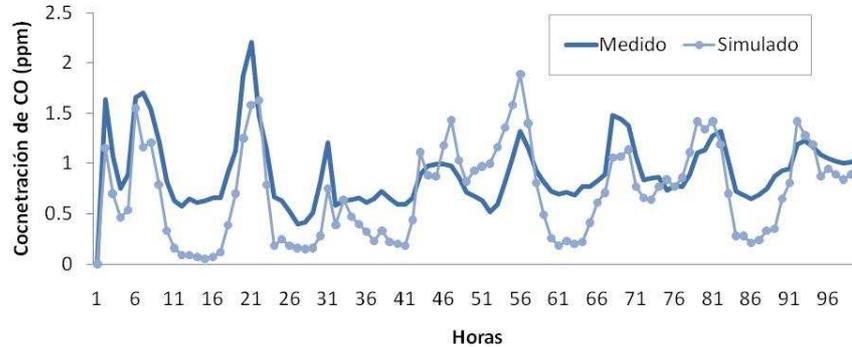


Figura 6: Concentración de CO (ppm) simulada y medida en el puesto de monitoreo en el Peaje Troncal Riccieri.

### Distribución de la población

La Figura 7 a) muestra la densidad de población de la CBA. En líneas generales, el número de habitantes en la CBA tiene un carácter radial, a partir del área de muy alta densidad del centro y norte. Sin embargo, existe un gradiente de densidades muy grande entre los amplios espacios casi vacíos de algunos sectores de la periferia de la aglomeración, y las áreas de mayor densidad con una gran cantidad de casas de departamento (como Barrio Norte por ejemplo). La distribución no es homogénea, ya que en contraposición a los ejes densos, aparecen también cuñas de muy baja densidad, casi siempre relacionadas con terrenos bajos que corresponden a los valles fluviales, como la zona de Flores.

### Factores de riesgo para la CBA

Basados en los resultados de la simulación de dispersión y la distribución de la población, las Figuras 7 b), 7 c) y 7 d) muestran los factores de riesgo calculados para la misma grilla de receptores del modelo CALPUFF. En 7 b) puede apreciarse que la zona más afectada se encuentra hacia el Este de la CBA, en la zona central administrativa, debido a la presencia de las fuentes puntuales. Para los barrios ubicados cerca de las Centrales térmicas existe un riesgo relativo mayor atribuible a la presencia de dichas fuentes. Esto es diferente en los factores calculados para  $\text{NO}_x$  y CO, mostrados en las Figuras 7 c) y 7 d), que indican que el factor debido a la densidad de población posee gran peso al igual que las altas concentraciones de contaminantes vehiculares. Existen áreas donde la probable exposición es mínima, debido a la baja densidad de población, y zonas con valores elevados de factor de riesgo debido a su cercanía a vías de acceso con a la ciudad. Los factores son mayores en el microcentro porteño, los barrios aledaños al centro y en las cercanías de las avenidas principales.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los valores estimados de concentración para los tres compuestos modelados indican que la actividad vehicular posee una contribución importante a la calidad de aire en la CBA. El modelo muestra que en la red de calles se agrupan las mayores concentraciones de  $\text{NO}_x$  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  $\text{SO}_2$  se verifican entre 1 y 2 km al Oeste de las centrales térmicas, alcanzando valores de hasta  $170 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{SO}_2$ .

En forma consistente con los resultados del modelado, se estimó un factor de exposición de la población. Estos indican que la exposición de la población a contaminación es atribuible tanto a fuentes industriales como vehiculares. Una forma de determinar el impacto de las concentraciones a nivel del suelo y la densidad de población sobre los factores FRP calculados es a través de un análisis de la sensibilidad. Las correlaciones parciales calculadas indican una influencia notable entre la densidad de población y el FRP ( $r = 0,58$  para  $\text{SO}_2$ ;  $r = 0,54$  para  $\text{NO}_x$  y  $r = 0,60$  para CO). En consecuencia, al igual que en otros estudios (Beckx et al., 2009; Kouza et al., 2002) este análisis confirma que la administración de la calidad del aire no puede exclusivamente basarse solamente en las concentraciones ambientales, sino que debe incorporarse la distribución de la población como un factor preponderante.

Igualmente, un área crítica para la generación de políticas es un análisis de las fuentes de emisión. Un control de contaminación en la CBA no debería enfocarse exclusivamente en fuentes vehiculares o solamente industriales, ya que ambas resultan relevantes para dicho problema.

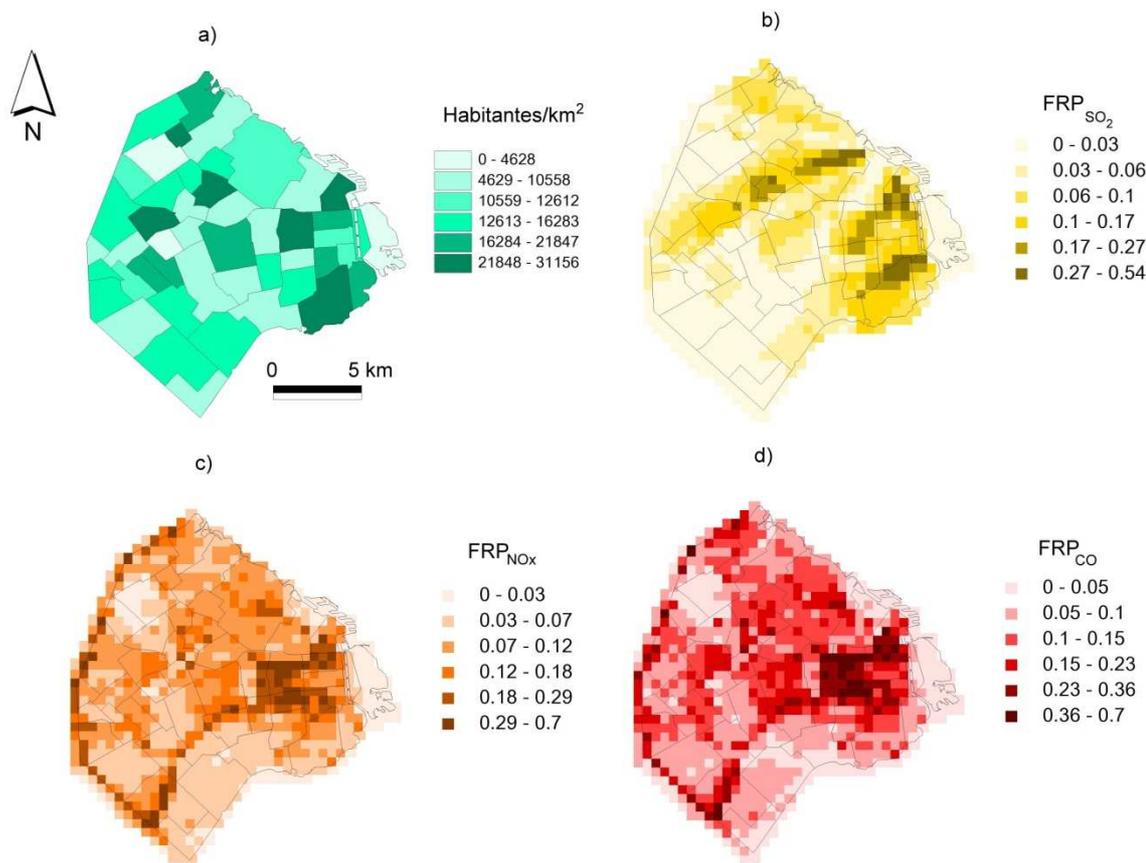


Figura 7: En el panel a) se muestra la distribución de densidad de población en la CBA, por Barrio. En los paneles b), c) y d) se detallan los Factores de riesgo para la población calculados para los tres compuestos modelados.

Existen asimismo algunas limitaciones en el presente estudio. Los resultados del modelo de dispersión se interpolaron en una grilla cartesiana de receptores de 500 m x 500 m, sin embargo la concentración verdadera puede variar mucho en la microescala. Se presume que la variación en los puntos no muestreados es pequeña, de manera que para este tamaño de grilla el factor de exposición no varía significativamente. En tal sentido, como se muestra en Castro et al. (2009), la resolución de grilla adoptada es suficiente para capturar las actividades del transporte en la zona urbana de una ciudad intermedia. Por otro lado, existen varios estudios centrados en exposición de la población desde un punto de vista dinámico (Borrego et al., 2006; Beckx et al., 2009). Si bien se sugiere que es posible que la exposición y el verdadero riesgo se encuentre subestimado, al haber más población involucrada, la metodología propuesta no pretende evaluar la exposición de las personas individuales sino realizar una caracterización de la relación entre fuentes de emisión y riesgo de exposición de la población en una determinada escala geográfica. En general, no es frecuente encontrar información dinámica disponible sobre actividades e la población, por lo que se prefiere enfocar los estudios en la calidad de aire ambiental.

Debe notarse que el monitoreo ambiental se realiza en la CBA en forma discontinua desde 1974 y en forma continua desde el año 2002, con una estación de monitoreo continuo (en Palermo desde 2001), 3 estaciones en Parque Patricios, Pompeya y Chacarita. Hay mediciones de SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub> y material particulado, con tecnología homologada por la US EPA. Actualmente la Agencia de Protección Ambiental de la CBA ha adquirido 42 estaciones con una nueva tecnología electrónica cuyos datos aún no están disponibles. El modelo integrado presentado aquí representa una herramienta para autoridades municipales, generadores de políticas de calidad de aire y epidemiólogos para la evaluación y control de calidad de aire en los procesos de planeación urbana y generación de medidas de mitigación. Los métodos presentados tienen el propósito de centrar la atención sobre las fuentes más relevantes de emisión para cada sector del área urbana, con el objetivo final de mitigar la exposición de la población y lograr mejoras en la misma.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Tecnológica Nacional, representada por las Facultades Regionales Buenos Aires (FRBA) y Mendoza (FRM) y al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) por el apoyo permanente a las actividades de investigación. Este artículo ha sido financiado parcialmente por la Agencia FONCyT bajo el proyecto PICT 2005. 23-32686 'Sistema integrado para la mejora en la determinación espacial de las emisiones vehiculares y la calidad del aire urbano'

## REFERENCIAS

- Alvarez O. G., Carranza H., Casanova J., Casares C. (2004). Diseño de Gasoductos para Abastecimiento de Centrales Eléctricas. 4° LACGEC Latin American and Caribbean Gas & Electricity Congress– Río de Janeiro – Brasil.
- Anderson H.R. (2009). Air pollution and mortality: A history, *Atmospheric Environment*, 43, 1, 142-152.
- Beckx C., Panis L. I., Arentze T., Janssens D., Torfs R., Broekx S., Wets G. (2009). A dynamic activity-based population modelling approach to evaluate exposure to air pollution: Methods and application to a Dutch urban area, *Environmental Impact Assessment Review*, 29, 3, 179-185.
- Borrego C., Tchepel O., Costa A.M., Martins H., Ferreira J., Miranda A.I. (2006). Traffic-related particulate air pollution exposure in urban areas, *Atmospheric Environment*, 40 (37): 7205-7214.
- CAMMESA (2009). Informe anual – Datos relevantes Mercado eléctrico mayorista.
- Castro F. H., Allende D. G., Puliafito E. (2009). Influencia de la resolución de grilla en el modelado de emisiones vehiculares. *Mecánica Computacional Vol XXVIII*, págs. 2393-2411. Cristian García Bauza, Pablo Lotito, Lisandro Parente, Marcelo Vénere (Eds.) Tandil, Argentina.
- Cheng W., Kuo Y., Lin P., Chang K., Chen Y., Lin T., Huang, R. (2004). Revised Air Quality Index Derived from an Entropy Function. *Atmospheric Environment*, 38: 383-391.
- Dirección General de Estadísticas y Censos, Ciudad de Buenos Aires (2010). Solicitud en línea de información estadística. Disponible en: <http://www.estadistica.buenosaires.gov.ar>
- Dirección Nacional de Vialidad. (2010). Datos de Tránsito. Variaciones temporales. Disponible en: [http://transito.vialidad.gov.ar:8080/SelCE\\_WEB/intro.html](http://transito.vialidad.gov.ar:8080/SelCE_WEB/intro.html)
- EEA. (2010). EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook–2007, Disponible en <http://www.eea.europa.eu/publications/EMEP/CORINAIR5>.
- Gantuz, M., Puliafito, E., Puliafito, J.L. (2009). Modeling mobile source emissions by on-board characterization of roadways., *Urban Transport*, Editorial WIT Press, Computational Mechanics Publications.
- Gaglioli, F., Tarela P. (2005). El cambio climático y la Polución Urbana”. Secretaría de Desarrollo Sustentable y Política Ambiental. Disponible en: <http://www.estrucplan.com.ar>
- IPCC. (2006) IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories”, Disponible en <http://ipcc-nggip.iges.or.jp>.
- Jensen S.S. (1999). A Geographic Approach to Modeling Human Exposure to Traffic Air Pollution Using GIS. Ph.D. thesis, National Environmental Research Institute, Roskilde, Denmark.
- JICA I. (2002). Estudio o Línea de Base de Concentración de Gases Contaminantes en Atmósfera en el área de Dock Sud en Argentina, Agencia de Cooperación Internacional de Japón para la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable.
- Landulfo E., Matos C.A., Torres A.S., Sawamura P. y Uehara S.T. (2007). Air Quality Assessment Using a Multi-Instrument Approach and Air Quality Indexing in an Urban Area. *Atmospheric Research* 85: 98-111.
- Mage D., Ozolins G., Peterson P., Webster A., Orthofer R. et al. (1996). Urban air pollution in megacities of the world, *Atmospheric Environment*, 30, 5, 681-686.
- Ntziachristos, L., Samaras, Z. (2000). COPERT III Computer programme to calculate emissions from road transport Methodology and emission factors (Version 2.1), Technical Report No 49, EEA, Copenhagen.
- OCCOVI, Órgano de Control de Concesiones Viales. (2007). Informe anual Autopistas del Sur. Disponible en <http://www.occovi.gov.ar/prensa/estadistica.html>.
- Pérez Gunella, F., Puliafito S.E., Pirani, K. (2009). Cálculo de emisiones del transporte para la Ciudad de Buenos Aires usando un Sistema de Información Geográfico , *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 13, 2009, pp 57-64.
- Scire J.S., Strimaitis D.G., Yamartino R.J., (2000). A user’s guide for the CALPUFF dispersion model (version 5.0). Earth Tech Inc.
- Secretaría de Energía (2008). Informe Estadístico del Sector Eléctrico desde 2008. Disponible en: <http://energia3.mecon.gov.ar>
- Skamarock, W. C., Klemp J. B., Dudhia J., Gill D. O., Barker D. M., Duda M. G., Huang X.-Y., Wang W., Powers J. G. (2008). A description of the advanced research WRF version 3, NCAR Tech. Note NCAR/TN-475+STR, 125 pp., Natl. Cent. for Atmos. Res., Boulder, Colo.
- Tarela, P.A., Perone, E.A. (2002). Air Quality Modeling of the Buenos Aires Metropolitan Area, Integrated Environmental Strategies Project, U.S. Environmental Protection Agency (EPA) and National Renewable Energy Lab. (NREL), USA.
- Venegas L. E., Mazzeo N. A. (2009). Índice de calidad del aire en la Ciudad de Buenos Aires. *Contaminación Atmosférica en Argentina – PROIMCA*. Mendoza, Argentina: Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza, 9-20.
- Wang X., Mauzerall D. L. (2006). Evaluating impacts of air pollution in China on public health: Implications for future air pollution and energy policies, *Atmospheric Environment*, 40, 9, 1706-1721.
- WHO. (2000). Air Quality Guidelines for Europe, Second Ed, WHO Regional Publications, European Series, no. 91.

## ABSTRACT

A traditional approach in air quality policy making is focused to the evaluation of ambient concentration of several pollutants in a study area. However, could be of interest for environmental planning to identify the potentially affected population by several pollutants. In this work we present a methodology to assess a risk exposure factor for the city of Buenos Aires due to temporal and spatial evolution of mobile and point sources. In that sense, an emission model, a pollutant dispersion model, Geographical Information Systems (GIS) and population exposure techniques were integrated to characterize spatially and in a fine scale, the potential risk in that urban center.

**Keywords:** traffic pollution, industrial sources, GIS, exposure, CALPUFF.