

CONTAMINACIÓN GASEOSA EN SISTEMAS AEROPORTUARIOS Y SU IMPACTO EN LA PLANIFICACIÓN DE USOS DEL SUELO

MatíasChapela¹, AlejandroPuebla¹, Juan Ignacio D'Iorio¹,AlejandroDi Bernardi¹

¹Grupo de Transporte Aéreo (GTA) - Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata
Calle 116 s/n e 47 y 48, (1900) La Plata, Argentina
Email: matiaschapela@gmail.com

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo presentar los resultados obtenidos del análisis de los gases contaminantes producidos por las plantas de poder de las aeronaves comerciales que operan en un aeropuerto dado, durante las fases de aproximación, aterrizaje, taxi-in, taxi-out, despegue y ascenso. También se cuantifican las emisiones emitidas por los vehículos de asistencia que sirven a dichas aeronaves y operan en la parte aeronáutica del aeropuerto.

El estudio efectuado se encuentra encolumnado con los objetivos del comité de protección ambiental aeronáutica (CAEP) conformado por la Organización de aviación civil internacional (OACI), particularmente con los del Grupo de Trabajo 3 (WG3) que se centra en la mitigación de las emisiones gaseosas. También se consideran las iniciativas propuestas por las principales entidades y autoridades aeronáuticas sobre el desarrollo de aeropuertos ecológicamente sustentables (denominados como "Green Airports").

Dichos análisis fueron realizados mediante software computacionales específicos. Se plantearon distintos escenarios operacionales desde un aeropuerto, para luego proceder a su simulación. De esta manera, se obtienen las curvas de dispersión de contaminantes, permitiendo analizar su aporte dentro del predio aeroportuario y su entorno.

Posteriormente se contrastan dichos resultados con los radios censales del entorno que circunda al aeropuerto para poder conocer las zonas más afectadas por las operaciones aeroportuarias, y la cantidad de población que se ve perjudicada por las mismas, según indicadores operacionales específicos.

ABSTRACT

This work presents the results obtained from the analysis of the gaseous emissions produced by the engines that operates commercial aircraft at an airport, during the phases of approach, landing, taxi-in, taxi out, takeoff and climb. The emissions issued by the ground support equipment (GSE) are also quantified.

This is in accordance with the objectives of the Committee of Aviation Environmental Protection (CAEP) created by the International Civil Aviation Organization (ICAO), particularly the Working Group 3 (WG3) which focuses on mitigation of the gaseous emissions. It also considers the initiatives proposed by the main entities and aviation authorities on environmentally sustainable airport development (referred to as "Green Airports").

These analyzes were made using specific computer software. Different operational scenarios were analyzed and simulated. Using this method pollutant dispersion plumes and quantification of gaseous emissions were obtained.

These results were contrasted with census radios of the surrounding of the airport, in order to know affected population and areas.

Palabras clave: aeropuertos, operaciones, contaminación, dispersión, gases.

Chapela, Puebla, D'lorioy Di Bernardi - Contaminación gaseosa en sistemas aeroportuarios y su impacto en la planificación de usos del suelo.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años las naciones del mundo han manifestado intenciones de reducir los actuales niveles de generación contaminante y prueba de ello son los distintos acuerdos que se han alcanzado y firmado.

Existen diversos organismos que intentan definir líneas de acción en función de la caracterización actual de la actividad humana y de sus respectivas proyecciones. En este contexto podemos mencionar al Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC) de la World Meteorological Organization (WMO) y a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC) de la ONU, cuya preocupación fundamental se centra en los gases efecto invernadero (GEIs): H₂O (vapor), CO₂, CH₄, NO_x, O₃, CFCs, entre otros.

El sector aeronáutico no es ajeno a esta situación y ha asumido un rol activo en esta problemática. En el año 2007 se conformó el Grupo sobre Aviación Internacional y Cambio Climático (GIACC), dependiente de OACI. Este se encarga de desarrollar, difundir y recomendar un plan de acción que incluye estrategias económicamente eficientes y tecnológicamente factibles, así como medidas que los Estados miembros pudieran utilizar para lograr reducir emisiones de gases de efecto invernadero. Entre las principales medidas, además de las mejoras tecnológicas, se espera concretar la introducción progresiva de combustibles alternativos, desarrollo de medidas para incrementar el uso eficiente de la energía y la introducción de buenas prácticas operacionales aceptadas. En el año 2010, los 190 países de la OACI acordaron poner un tope a las emisiones de la aviación internacional a partir del año 2020.

Las proyecciones indican que la actividad aeroportuaria se incrementará significativamente en los próximos años (de 2,4 mil millones en 2010 a 16 mil millones en 2050) y es por ello que se buscan reducir los impactos que esta actividad genera.

La caracterización de aportes contaminantes gaseosos se realiza en diferentes escalas: la local (entorno aeroportuario inmediato: 30 km de radio a partir de un punto de referencia) y la global (a través de la circulación atmosférica: miles de kilómetros). En este contexto, este estudio se concentra en la escala local inmediata, ya que busca caracterizar el entorno para definir las servidumbres gaseosas, que junto a las acústicas y a las superficies limitadoras de obstáculos, definen el uso del suelo en el entorno aeroportuario.

Este trabajo tiene como objeto la visualización de los contaminantes producidos por las operaciones en el entorno aeroportuario, generada a través de un modelo de dispersión computacional.

METODOLOGÍA

En primer lugar se debe seleccionar un aeropuerto para el estudio; en este caso se eligió al Aeroparque "Jorge Newbery", ubicado en la ciudad de Buenos Aires, por ser el aeropuerto con mayor cantidad de operaciones anuales. El emplazamiento de este aeropuerto es también un factor fundamental para la elección, ya que se encuentra en una zona urbana.

Chapela, Puebla, D'lorioy Di Bernardi - Contaminación gaseosa en sistemas aeroportuarios y su impacto en la planificación de usos del suelo.

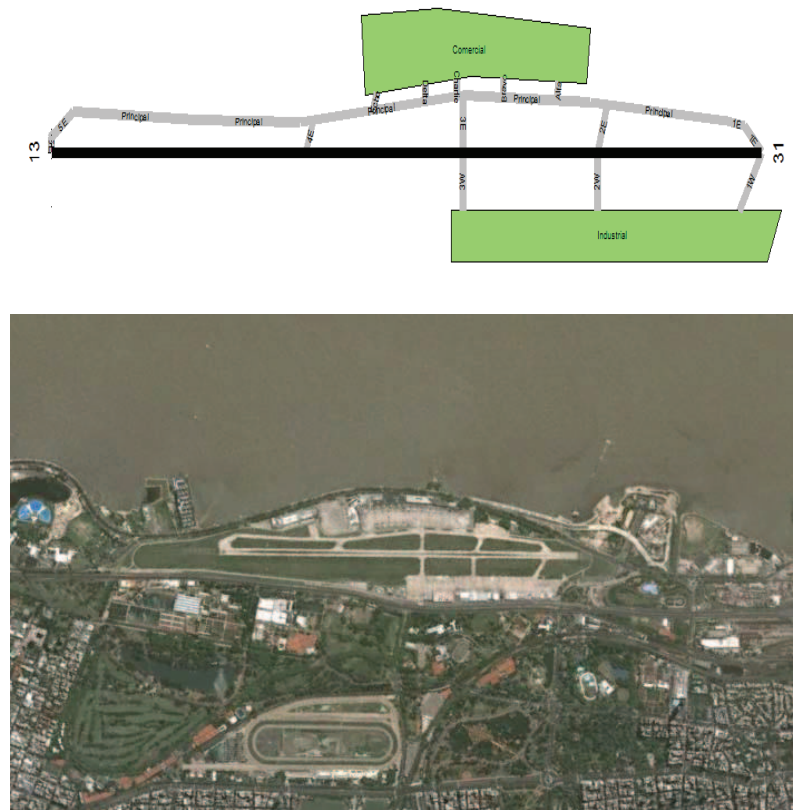


Figura 1. Vista esquemática y general del aeropuerto.

- Estrategia de uso de pistas y escenarios operativos.

Si bien los escenarios son diversos en función de la estrategia operativa de las pistas, de las condiciones meteorológicas y el uso del espacio aéreo circundante, se seleccionaron los siguientes para el análisis: despegues y aterrizajes por pista 13 cuando la resultante de viento se encuentra comprendida entre los 40° y los 220° , y despegues y aterrizajes por pista 31 cuando la resultante de viento se encuentra comprendida entre los 220° y los 40° .

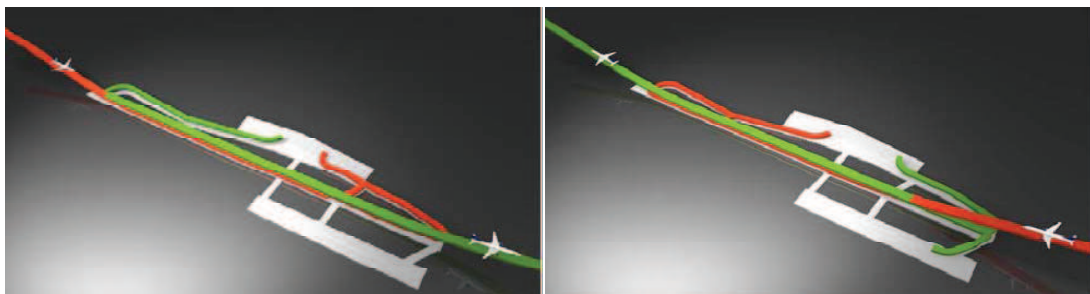


Figura 2. Escenarios de aterrizajes y despegues (Pista 13 y 31 respectivamente).

Chapela, Puebla, D'Iorioy Di Bernardi - Contaminación gaseosa en sistemas aeroportuarios y su impacto en la planificación de usos del suelo.

- Flotas y plantas de poder.

La flota utilizada para el análisis se corresponde con la actualizada al mes de mayo de 2013, con una cantidad promedio de 200 operaciones diarias. Cabe aclarar que no se tuvieron en cuenta aeronaves de aviación general para este trabajo. A continuación se presenta una tabla con la mezcla de aeronaves, la motorización considerada y los valores anualizados de arribos y partidas.

Tabla 1. Mezcla de tráfico analizada.

| Aeronave | Planta Poder | Arribos Anuales | Partidas Anuales |
|----------------|---------------|-----------------|------------------|
| A320-200 | IAE V2527-A5 | 8760 | 9855 |
| ATR 72 | PW127-A | 365 | 365 |
| B737-500 | CFM56-3C-1 | 8030 | 8760 |
| B737-700/-800 | CFM56-7B26 | 1095 | 1095 |
| CRJ900 | CF34-8C5 LEC | 3285 | 3285 |
| E190 | CF34-10E6 SAC | 13505 | 13870 |
| MD82/83/87 | JT8D-219 EK | 365 | 365 |
| S340 | CT7-5A2 | 730 | 730 |
| TOTALES | | 36135 | 38325 |

- Software de referencia – Proceso de calculo

Las emisiones gaseosas y su dispersión fueron obtenidas a través de simulación mediante software específico. El proceso consiste en 3 etapas fundamentales. En primer lugar se realizó un pre procesamiento de los datos meteorológicos haciendo uso del programa AERMET View. El propósito básico de dicho programa es usar datos de observaciones de la estación meteorológica correspondiente al aeropuerto en estudio, a fin de calcular ciertos parámetros de capa límite terrestre usados para estimar perfiles de viento, turbulencia y temperatura. Las variables meteorológicas a considerar para el estudio son: temperatura, dirección e intensidad del viento, presión, humedad relativa, porcentaje de nubosidad, altura de techo de nubes, precipitación horaria y radiación solar. Una vez procesados los datos meteorológicos se modela la dispersión atmosférica a través del software “EDMS” (Emission and dispersion modeling system) y su módulo “AERMOD”, que permite estimar los valores de concentración de contaminantes en la atmósfera a través del uso de un modelo de dispersión Gaussiano, teniendo en cuenta la información del terreno y el modelado operativo del aeropuerto, es decir movimiento de aeronaves, vehículos de asistencia, fuentes puntuales, entre otros. En última instancia se graficó la pluma contaminante utilizando los valores de concentración obtenidos anteriormente en una malla de aproximadamente 1000 receptores distribuidos uniformemente a lo largo del aeropuerto y su entorno.

Si bien el “EDMS” permite cuantificar una gran número de contaminantes, para este análisis se consideraron únicamente aquellos solicitados por el anexo 16 de OACI para la certificación de los motores aeronáuticos, que a su vez poseen una limitación en el valor de la concentración por parte de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Dichos contaminantes son el monóxido de carbono (CO), los óxidos de nitrógeno (NO_x) y los hidrocarburos no quemados (HC). Cabe destacar que también se realizó la cuantificación de dióxido de carbono (CO₂), pero no su dispersión debido a que su impacto contribuye principalmente al cambio climático.

- Hipótesis de trabajo

Las siguientes hipótesis de trabajo fueron adoptadas para las simulaciones:

Chapela, Puebla, D'Iorioy Di Bernardi - Contaminación gaseosa en sistemas aeroportuarios y su impacto en la planificación de usos del suelo.

- Las plumas de gases se simulan para un período de 12 meses, por lo tanto se anualizaron las operaciones diarias a partir de un día tipo a través del “EDMS”. Estos valores se presentan en la Tabla 1, para la mezcla de tráfico adoptada.
- Se utilizaron los datos de performance de aeronaves, APUs, vehículos de asistencia y emisiones asignados por el software.
- Se utilizaron los datos meteorológicos de la estación Aeroparque correspondientes al año 2012.
- No se contemplaron los efectos producidos por la orografía propia del terreno.
- No se contemplaron las operaciones de aviación general o vuelos de tipo no regular.
- Estimación de la población afectada

A continuación se detalla el proceso para el cálculo de la población afectada, teniendo en cuenta los siguientes pasos lógicos:

- **Huellas de contaminantes:** como primer paso se obtuvieron las huellas de los diferentes contaminantes, presentadas anteriormente.
- **Radios censales:** para la estimación de la población afectada se utilizaron los radios censales obtenidos del año 2001 (dato más reciente disponible al momento del desarrollo de este documento). Estos radios varían con cada censo en función del crecimiento de la población; por este motivo, dependiendo de la ciudad a la que pertenecen, se van modificando, o sea, no son de tamaño homogéneo, ya que el dato de importancia es la cantidad de viviendas que se encuentran dentro y no el área que comprenden los mismos. Al disponerse del crecimiento poblacional por partido del censo 2010, se realizó un ajuste de los radios censales, adoptando como hipótesis un crecimiento homogéneo en cada uno de ellos.
- **Radios censales y curvas de ruido:** se seleccionaron los radios censales afectados por las curvas de dispersión en el entorno aeroportuario.
- **Tipo de ejido según uso:** se clasificaron los radios censales en función de su uso: urbano, rural y mixto.
- **Concentración de la población:** en los casos de radios censales mixtos, se identificaron los sectores con concentración de población para designar subsectores.
- **Radios equivalentes:** como resultado se obtuvieron los radios afectados por las curvas de contaminantes, identificando dentro de los mismos los focos de población.
- **Densidad de los radios censales afectados:** dentro de los radios se identifican diferentes densidades de población. Para definir los intervalos se utilizó el método “natural breaks”, que identifica los puntos de corte entre clases mediante el algoritmo de optimización de Jenks. Este consiste en la minimización de la suma de la varianza intraclase para obtener la máxima homogeneización (mínima dispersión) dentro de cada intervalo y la máxima dispersión entre los mismos. Los límites entre clases se establecen donde hay un salto relativamente importante entre valores. El algoritmo procede comparando iterativamente las sumas de las diferencias al

Chapela, Puebla, D'lorioy Di Bernardi - Contaminación gaseosa en sistemas aeroportuarios y su impacto en la planificación de usos del suelo.

cuadrado entre valores observados dentro de cada clase y las medias de las mismas. La mejor clasificación se considera cuando se encuentran aquellos umbrales que minimizan la suma intraclase de diferencias al cuadrado.

- **Cantidad de población afectada:** finalmente se obtienen los valores de población afectada para los diferentes contaminantes y concentraciones.

RESULTADOS

Los siguientes gráficos corresponden a las cantidades totales (expresado en toneladas anuales) de contaminantes emitidos por todas las aeronaves consideradas anteriormente en el análisis. El período analizado corresponde al año 2012.

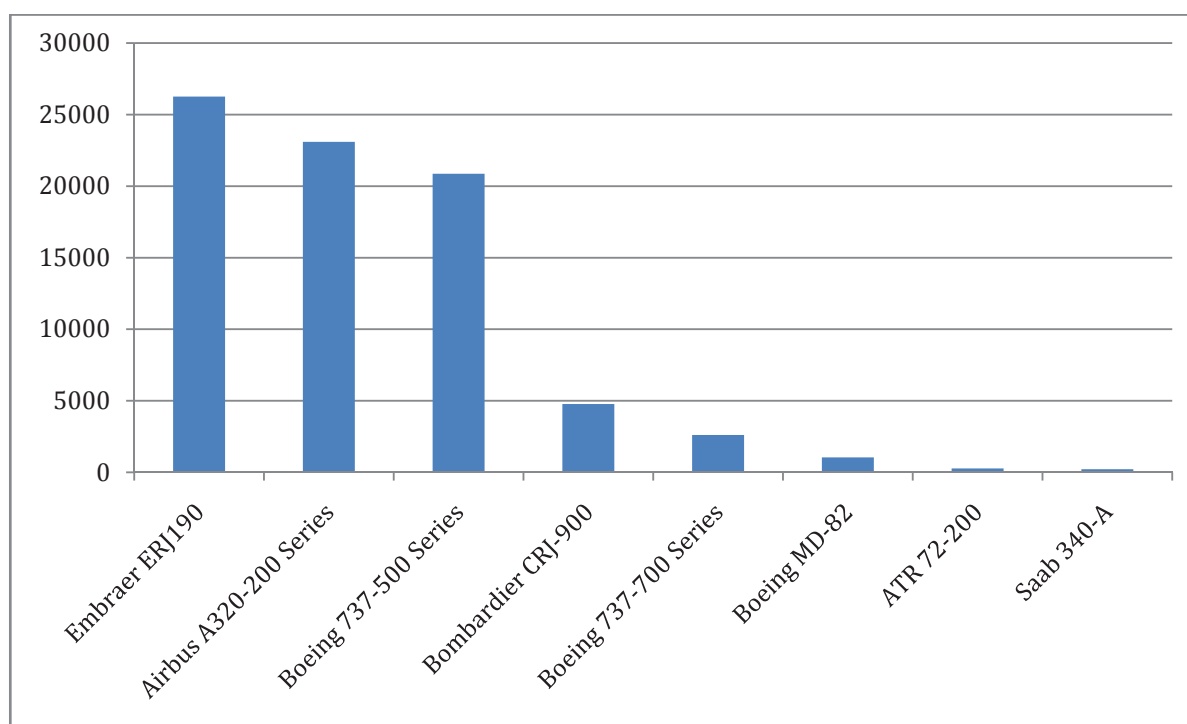


Figura 3. Toneladas anuales de CO₂.

Chapela, Puebla, D'lorioy Di Bernardi - Contaminación gaseosa en sistemas aeroportuarios y su impacto en la planificación de usos del suelo.

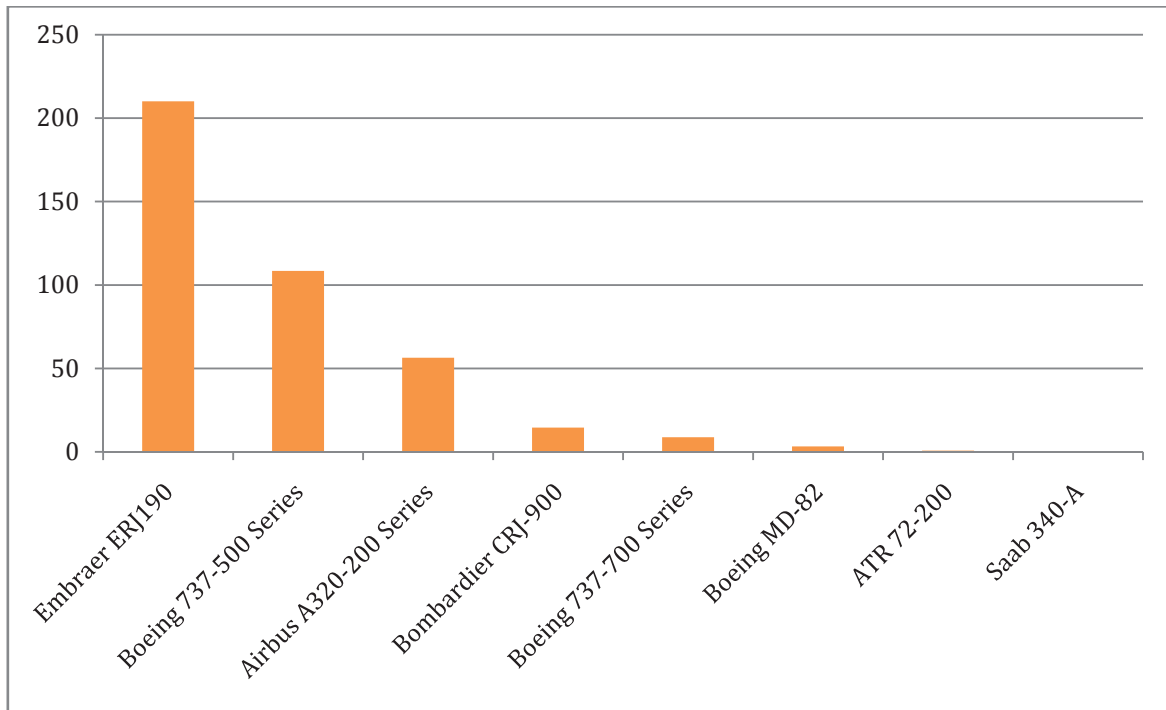


Figura 4. Toneladas anuales de CO.

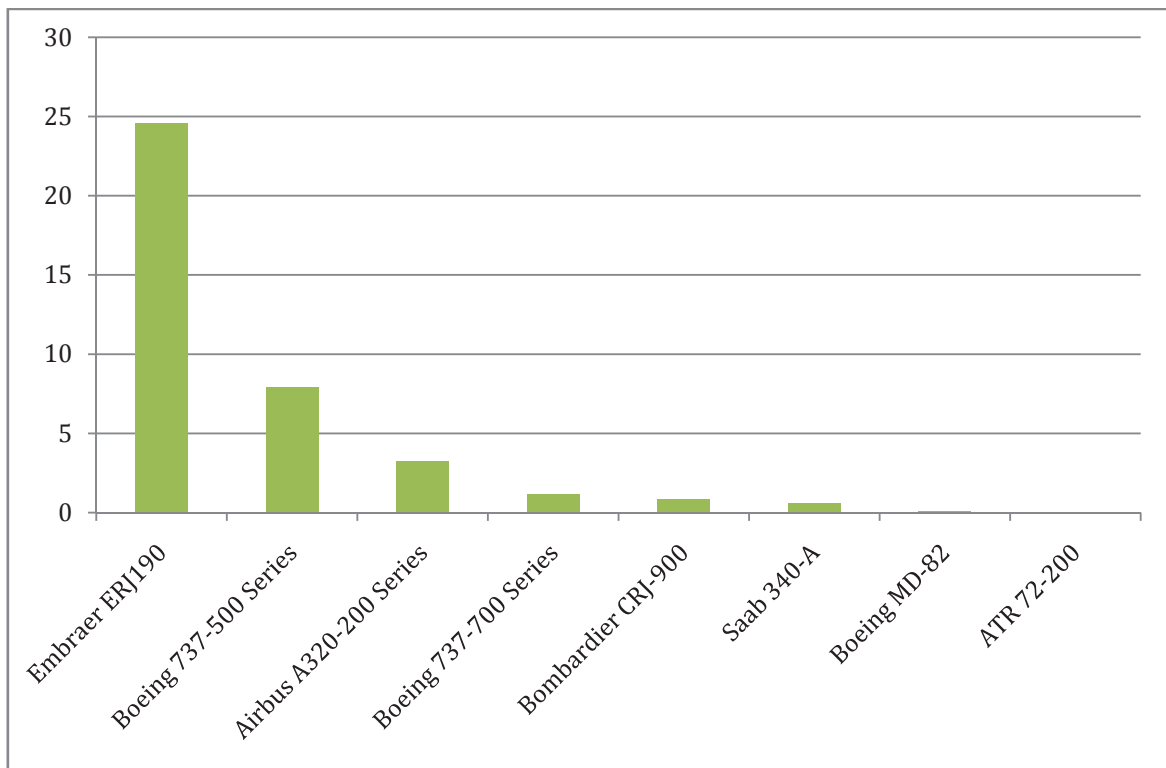


Figura 5. Toneladas anuales de HC.

Chapela, Puebla, D'lorioy Di Bernardi - Contaminación gaseosa en sistemas aeroportuarios y su impacto en la planificación de usos del suelo.

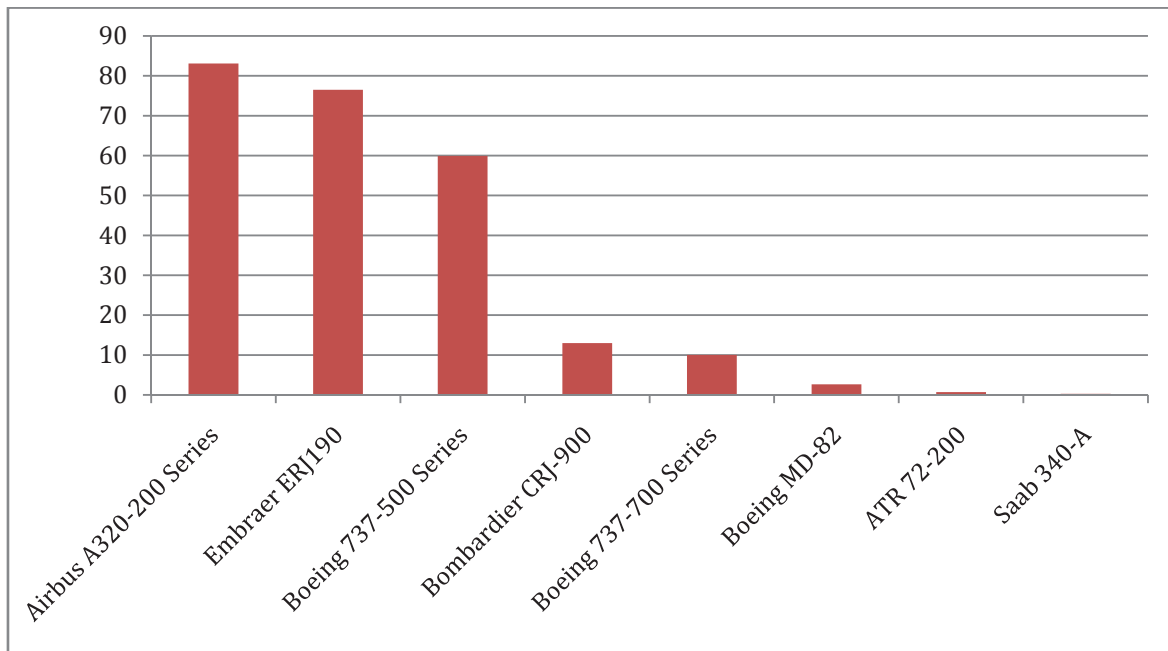


Figura 6. Toneladas anuales de NO_x.

A continuación se incluyen las huellas de dispersión de contaminantes calculadas, incluyendo los radios censales según la metodología planteada anteriormente. A su vez, se exhiben los datos correspondientes a la cantidad de población afectada por dicha huella.

Chapela, Puebla, D'lorioy Di Bernardi - Contaminación gaseosa en sistemas aeroportuarios y su impacto en la planificación de usos del suelo.

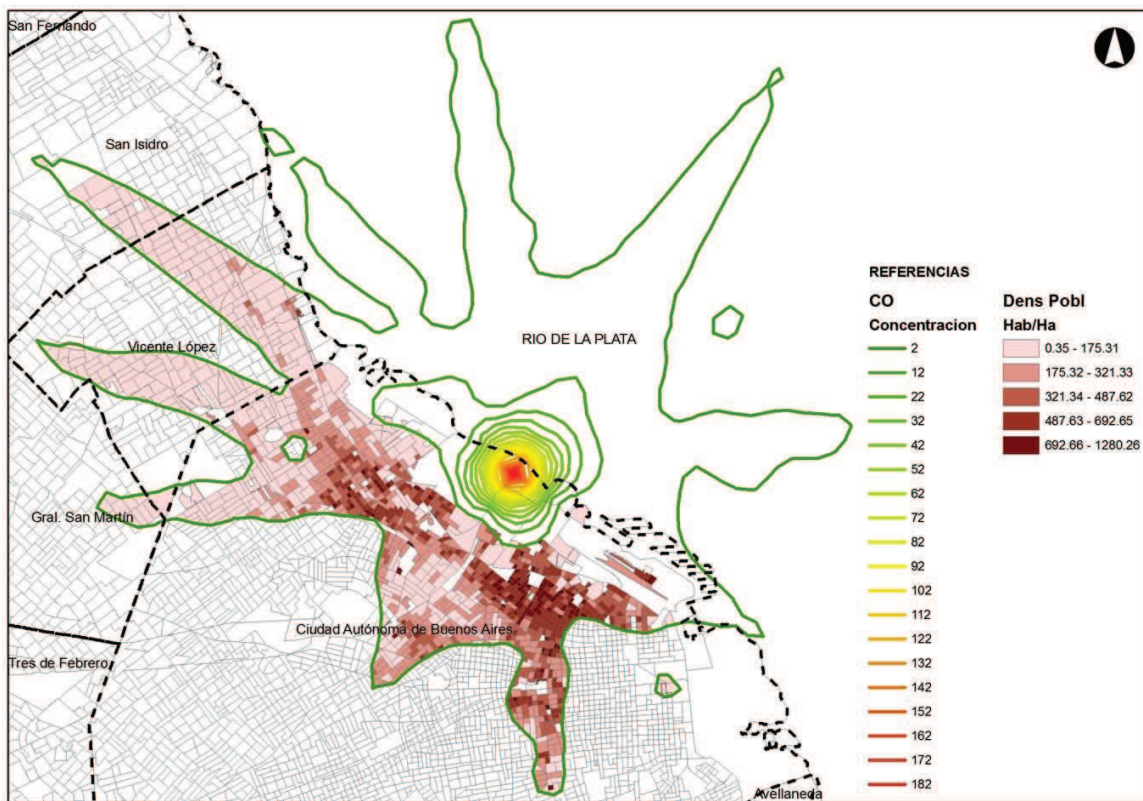


Figura 7. Población afectada por el CO; concentración en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabla 2. Población afectada por el CO.

| POBLACIÓN AFECTADA POR EL CO | | | |
|--|------------------------|--------------------|--------------------------------|
| Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Partido | Población afectada | Área afectada (m^2) |
| 2 | Ciudad de Buenos Aires | 927.100 | 34.447.400 |
| | San Isidro | 15.950 | 2.275.300 |
| | San Martín | 7.850 | 865.900 |
| | Vicente López | 125.650 | 13.084.300 |
| | Subtotal | 1.076.550 | 50.672.900 |
| 12 | Ciudad de Buenos Aires | 2.500 | 150.000 |
| | Subtotal | 2.500 | 150.000 |
| | TOTAL | 1.079.050 | 50.822.900 |

Chapela, Puebla, D'Iorioy Di Bernardi - Contaminación gaseosa en sistemas aeroportuarios y su impacto en la planificación de usos del suelo.

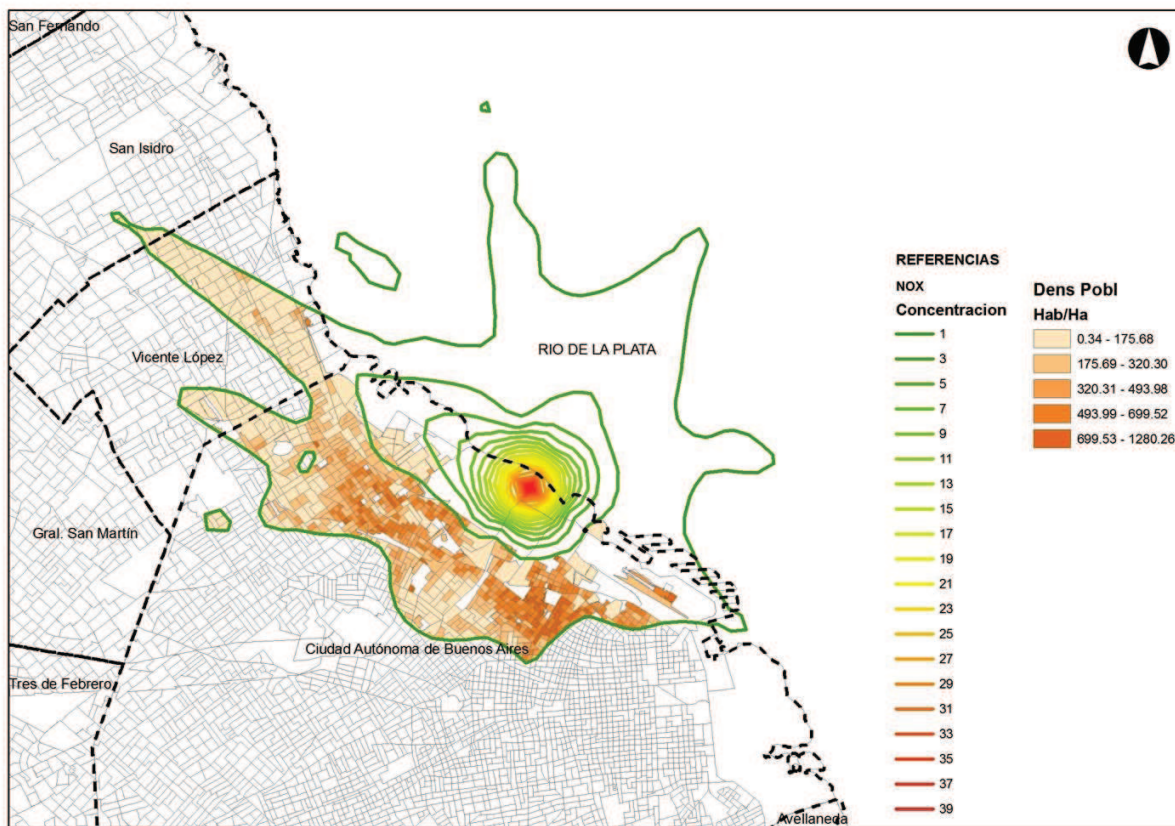


Figura 8. Población afectada por el NO_x, concentración en µg/m³.

Tabla 3. Población afectada por el NO_x.

| POBLACIÓN AFECTADA POR EL NO _x | | | |
|---|------------------------|-------------------|--------------------------------|
| Concentración (µg/m ³) | Partido | Poblaciónafectada | Áreaafectada (m ²) |
| 1 | Ciudad de Buenos Aires | 607.300 | 22.345.450 |
| | San Isidro | 2.400 | 290.000 |
| | Vicente Lopez | 67.300 | 6.595.800 |
| | Subtotal | 677.000 | 29.231.250 |
| 3 | Ciudad de Buenos Aires | 19.800 | 1.448.500 |
| | Subtotal | 19.800 | 1.448.500 |
| 5 | Ciudad de Buenos Aires | 750 | 82.500 |
| | Subtotal | 750 | 82.500 |
| | TOTAL | 697.550 | 30.762.250 |

Chapela, Puebla, D'lorioy Di Bernardi - Contaminación gaseosa en sistemas aeroportuarios y su impacto en la planificación de usos del suelo.

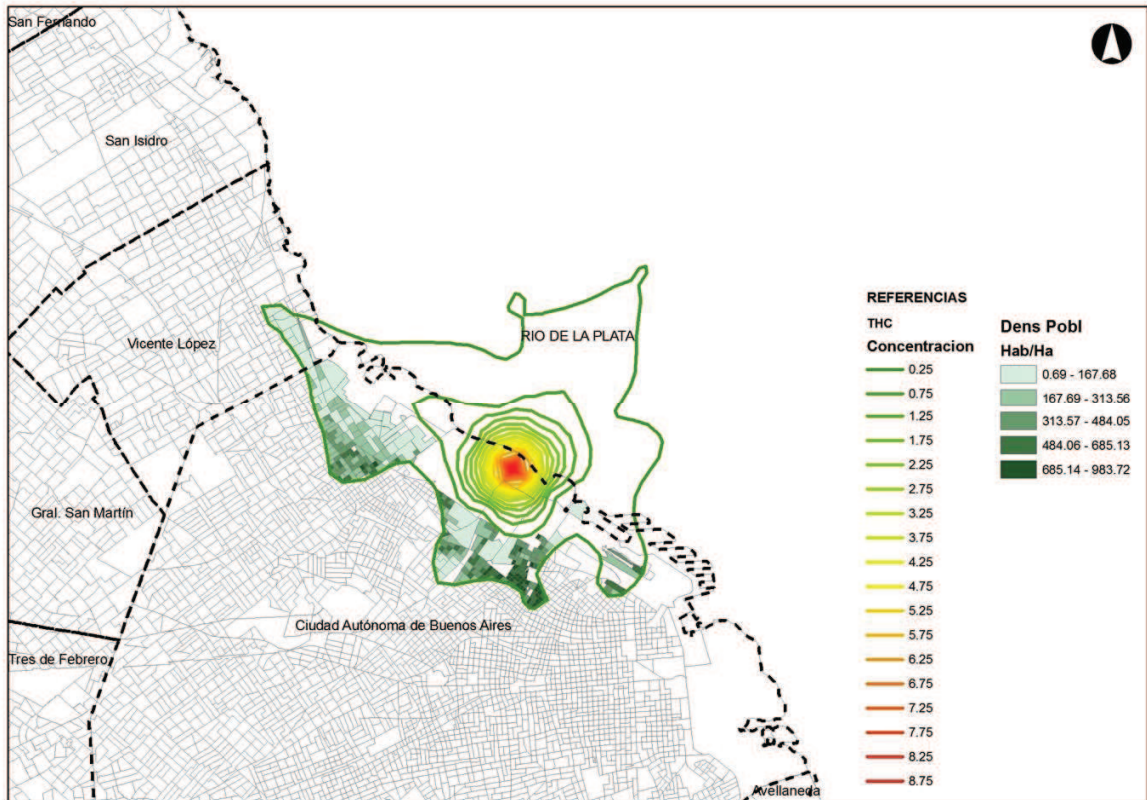


Figura 9. Población afectada por el HC, concentración en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabla 4. Población afectada por los HC.

| POBLACIÓN AFECTADA POR LOS HC | | | |
|--|------------------------|--------------------|--------------------------------|
| Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Partido | Población afectada | Área afectada (m^2) |
| 0,25 | Ciudad de Buenos Aires | 228.980 | 9.025.300 |
| | Vicente Lopez | 7.400 | 888.300 |
| | Subtotal | 236.380 | 9.913.600 |
| | TOTAL | 236.380 | 9.913.600 |

Chapela, Puebla, D'lorioy Di Bernardi - Contaminación gaseosa en sistemas aeroportuarios y su impacto en la planificación de usos del suelo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se evidencia que el CO₂ es el contaminante con mayor peso relativo entre los analizados. En el caso de los restantes, si bien las áreas y población afectada son valores que pueden considerarse significativos, la concentración de cada uno (CO, NO_x y CO) es baja. Más allá de esto, los análisis como el que se llevó a cabo en este trabajo son de primordial importancia para la gestión y manejo de los usos del suelo, además de la cuantificación de los contaminantes para verificar los niveles y su situación con respecto a los admitidos por la legislación pertinente.

Es evidente que la huella gaseosa depende fuertemente de las condiciones atmosféricas reinantes y de las características de la rugosidad del terreno, por lo que es indispensable contar con estos datos actualizados constantemente para poder llevar a cabo una comparación eficiente.

Los resultados obtenidos mediante estudios similares deben ser contemplados e incluidos en las normativas correspondientes a los usos del suelo, en los códigos urbanos locales, junto con los análisis de ruido, para evitar el crecimiento sin control de las manchas urbanas y eventualmente su afectación por ambos tipos de contaminación. De todas formas, es indispensable tomar medidas tendientes a la reducción progresiva de las fuentes de contaminación gaseosa derivadas de la operación de aeronaves.

Otro aspecto importante a tener en cuenta es que este es un análisis aislado, es decir, simplemente por la operación de una flota asociada a un aeropuerto. Es recomendable incluir estudios similares de aporte por la actividad terrestre, comercial, industrial, etc. para poder de esa manera cuantificar porcentualmente el nivel de la actividad aeronáutica frente al nivel total de contaminación.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] U. S. Environmental Protection Agency Office of Air Quality Planning and Standards Air Quality Assessment Division, March 2009, Aermol implementation guide.
- [2] Fagin, Guy T., May 1988, Manual Calculation Methods for Air Pollution Inventories. Occupational and Environmental Health Laboratory, United States Air Force.
- [3] Jagielski, Kurt D., O'Brien, Robert J., July 1994. Calculation Methods For Criteria Air Pollutant Emission Inventories. USAF Occupational and Environmental Health Directorate, Air Force Material Command, Brooks AFB, Texas.
- [4] Moss, Michael T., Segal, Howard M., June 1994, The Emissions and Dispersion Modeling System (EDMS): Its Development and Application at Airports and Air Bases. Published by Air & Waste Management Association, Vol. 44.
- [5] Penner, J., et al, "Aviation and the Global Atmosphere: A special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change". Cambridge University Press, junio de 1999.
- [6] Ludevid Anglada, M., "El cambio global en el medio ambiente, introducción a sus causas humanas". Alfaomega, 1997.
- [7] Conesa Fernández-Vitora, V., "Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental". Ediciones Mundi-Prensa, 1997.