

INVENTARIO DE EMISIONES A LA ATMÓSFERA DE COMPUESTOS ORGÁNICOS PERSISTENTES SELECCIONADOS EN MENDOZA PARA EL AÑO 2011.

David G. Allende¹, María F. Ruggeri², Belén N. Lana³, Karina Garro⁴, Jorgelina C. Altamirano⁵, y Salvador E. Puliafito⁶.

Grupo de Estudios de la Atmósfera y el Ambiente
Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Mendoza
Rodríguez 273 Ciudad, Mendoza (M5502AJE)

e-mail: david.allende@frm.utn.edu.ar, m.florencia.ruggeri@gmail.com, kmgarro@gmail.com, epuliafito@frm.utn.edu.ar
web: <http://www.frm.utn.edu.ar/geaa/>

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Cuyo (UNCuyo)

Laboratorio de Química Ambiental, Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias del Ambiente (IANIGLA-
CONICET)

Av. Ruiz Leal S/N, Parque General San Martín, Mendoza 5500
e-mail: blana@mendoza-conicet.gov.ar, jaltamirano@mendoza-conicet.gov.ar
web: www.cricyt.edu.ar/lisamen/

Recibido 15/08/14, aceptado 28/09/14

RESUMEN: El presente trabajo trata la identificación y análisis de fuentes específicas de Contaminantes Orgánicos Persistentes junto con el cálculo de sus emisiones, en el área del Gran Mendoza, durante el año 2011. Se estimaron las emisiones de Bifenilos Policlorados (PCB), Hexaclorobenceno (HCB), y Diclorodifeniltricloroetano (DDT). Debido a la gran variedad de fuentes y compuestos involucrados y a limitaciones en la disponibilidad de información, no se utilizó un método armonizado para todos los compuestos en la preparación del inventario. Los datos presentados en este estudio proporcionan un panorama general de las emisiones en el Gran Mendoza. Finalmente, se destaca la necesidad de un esfuerzo mayor en la caracterización y validación de las emisiones, tanto para la obtención de relaciones entre fuentes y receptores, como también para el desarrollo de estrategias de control. Asimismo, esta información es crucial para lograr una reducción en la carga de estas sustancias, a nivel local y regional.

Palabras clave: Inventario de Emisiones Atmosféricas, Contaminantes Orgánicos Persistentes, Gran Mendoza, Calidad de aire

INTRODUCCIÓN

Los Contaminantes Orgánicos Persistentes, (“POPs”: Persistent Organic Pollutants) son un grupo de compuestos químicos muy heterogéneo, de origen antropogénico, que resultan de gran interés por su incidencia en el ambiente y en los seres vivos. La particular combinación de sus propiedades físicas y químicas permiten que una vez liberados al ambiente permanezcan intactos por largos periodos de tiempo (persistentes), se distribuyan ampliamente sobre la superficie terrestre (transporte a largas distancias), se acumulen en tejidos adiposos de organismos vivos (bioacumulación) y por lo tanto ingresen a la cadena alimentaria (biomagnificación) de manera de convertirse en sustancia tóxica tanto para los seres humanos como para otros organismos vivos (Jones y de Voogt, 1999). Entre los POPs más importantes se pueden citar a los compuestos aromáticos clorados y bromados, como los PCBs, pesticidas organoclorados como el DDT, entre otros.

Dentro de los efectos que estas sustancias pueden producir sobre la salud se destacan: alergias e hipersensibilidad, cáncer, daño al sistema nervioso central y periférico, desórdenes reproductivos y alteraciones del sistema inmune. Algunos POPs son también considerados disruptores endocrinos, los cuales pueden alterar el sistema hormonal y producir daños en el desarrollo neurológico (Jones y de Voogt, 1999).

¹ Becario Postdoctoral UTN

² Becaria en formación Doctoral CONICET

³ Becaria Postdoctoral CONICET

⁴ Becaria BINID UTN

⁵ Investigadora Adjunta CONICET

⁶ Investigador Independiente CONICET

El uso explícito de estas sustancias en procesos industriales, aplicaciones agrícolas y artefactos de uso doméstico, como así también la generación no intencional de los mismos a través de quema de residuos o combustión de ciertos compuestos, ha favorecido durante décadas su liberación al ambiente, lo cual ha permitido detectar su presencia en zonas remotas muy lejanas a su fuente de generación. En tal sentido, el conocimiento de las fuentes de emisión de los contaminantes orgánicos persistentes en el medio ambiente es un factor esencial para establecer las relaciones cuantitativas fuente-receptor, y si se desea reducir las cargas ambientales de manera rentable (Breivik et al., 2004).

El objetivo de este estudio es realizar un inventario de emisiones detallado de los POPs seleccionados (PCBs, HCB, DDT) para el área del Gran Mendoza con el fin de evaluar su impacto en la calidad del aire regional. Los datos calculados se organizaron bajo un entorno SIG (Sistema de Información Geográfica) en un dominio espacial de 90x90 km² centrado en el Oasis Norte de la Provincia. Este artículo estima las fuentes de emisiones de POPs seleccionados, tanto intencionales como no intencionales. Los cálculos de las emisiones se agrupan en celdas de 1 km × 1 km.

ÁREA DE ESTUDIO

La provincia de Mendoza se localiza en el centro-oeste de la República Argentina en la diagonal árida sudamericana, entre los 32° y 37° 35' de latitud sur y los 66° 30' y 70° 35' de longitud oeste. En los cordones montañosos del oeste se originan los ríos de la provincia, a partir de la fusión de las nieves y los glaciares, que luego transitan por el llano. El Oasis Norte, donde se centra este estudio, es el más extenso de la Provincia y uno de los más importantes del país. Posee una especialización agrícola, donde prevalece el cultivo de vid, combinado con la horticultura y frutales, especialmente hacia el este. El área urbana del Gran Mendoza ocupa 16.700 km² sobre el Oasis Norte, extendiéndose de forma casi regular hacia el Noreste, Este y Sur, mientras que las estribaciones de la Cordillera, impiden el crecimiento en las direcciones Norte y Oeste. Se trata de la cuarta aglomeración del país con 1.230.000 habitantes, siendo la más importante fuera de la Pampa Húmeda. El centro urbano se ubica en una zona árida a semiárida, de precipitaciones bajas (120-400 mm anuales), principalmente en meses de verano. La cercanía a la Cordillera de Los Andes tiene una fuerte influencia en la meteorología y en la calidad de aire locales, debido a la circulación típica valle-montaña de variación diaria. La velocidad del viento media anual es alrededor de 2,6 m/s con un 26% de calmas. Las direcciones predominantes son S, S-SW, E-SE y E. El área presenta baja humedad relativa (50%), baja incidencia de niebla y pocos días cubiertos (65-75 días/año) (Puliafito et al., 2013).

Para la realización del inventario se definió un dominio espacial de 90x90 km² centrado en el Oasis Norte, que cubre la totalidad de los departamentos de Capital, Godoy Cruz, Guaymallén, Maipú, Junín, San Martín y Rivadavia, parte de Luján de Cuyo, Lavalle, Las Heras y Santa Rosa (Figura 1).

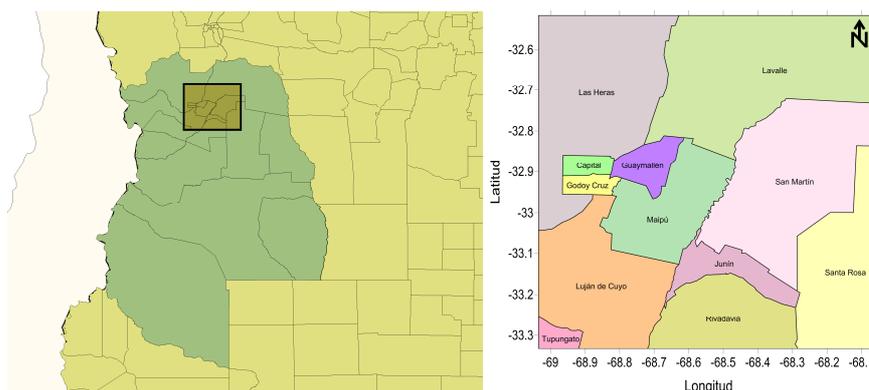


Figura 1: Localización del área de estudio dentro de la Provincia de Mendoza y detalle de la misma.

MÉTODOS

POP's seleccionados

Bifenilos Policlorados (PCBs)

Los PCBs son compuestos altamente insolubles, lipofílicos y semivolátiles que están clasificados como probablemente carcinógenos en humanos y han sido relacionados con efectos subcrónicos como reducción en fertilidad masculina y dificultades cognitivas y en el aprendizaje. Son extremadamente persistentes y poseen la capacidad de acumularse en la cadena alimentaria (United Nations Environment Programme, 2009). Encuentra su aplicación en sistemas de refrigeración y en la industria eléctrica (condensadores y transformadores); como impermeabilizadores de superficies de madera y cemento; como fluidos hidráulicos y lubricantes de corte (Breivik et al., 2007). A partir de la promulgación de la Ley Nacional 25.670 de Presupuestos mínimos del año 2002 para la gestión y eliminación de los PCBs se ha comenzado, a nivel nacional, a dirigir esfuerzos en determinar los volúmenes de PCBs procedentes de diversas fuentes, aunque esto es aún objeto de investigación.

Hexaclorobenceno (HCB)

Este compuesto aromático clorado, se presenta, por sus características fisicoquímicas, como el más persistente del grupo (Wang et al., 2010). Comenzó a utilizarse en 1933 como fungicida para proteger cultivos como cebolla, trigo y otros granos del ataque de hongos. Entre sus usos se destacan: fabricación de pirotecnia, caucho sintético, como plastificante de madera y en la fabricación de cemento. Una fuente no intencional de emisión de esta sustancia es la quema de residuos urbanos (Bailey, 2001). La Organización Mundial de la Salud (OMS) clasifica al HCB como sumamente peligroso desde el punto de vista toxicológico (Categoría 1a) y posiblemente carcinógeno para seres humanos. En dosis elevadas, el HCB es mortal para algunos animales y, a niveles inferiores, afecta negativamente a su éxito reproductivo. El HCB se ha encontrado en alimentos

de todo tipo. Un estudio realizado en China (Wang et al., 2010) determinó la presencia de HCB en muestras de leche materna y tejidos adiposos humanos.

Diclorodifeniltricloroetano (DDT)

El DDT es un insecticida organoclorado sintético de amplio espectro, acción prolongada y estable, utilizado en el control de plagas para todo tipo de cultivos desde la década de 1940. Tiene aplicación industrial y doméstica. Su efecto tóxico posee alto poder residual: un campo tratado con DDT conserva, luego de diez años, el 50% de la cantidad utilizada. Se calcula que desde su invención en 1939 se han consumido, mundialmente, un millón de toneladas, gran parte de las cuales se encuentran aún dispersas en aguas, tierras y organismos. Se han encontrado pingüinos y focas en la Antártida y en el Ártico contaminados con DDT (D'Amato et al., 2002). Estas características y la propiedad bioquímica de acumularse en el tejido adiposo (grasas), provocan que este insecticida ingrese en la red trófica de los ecosistemas y se acumule y concentre en los órganos de los animales (bioacumulación) provocando intoxicación y muerte masiva, en muchos casos. A través de los distintos niveles tróficos su concentración aumenta. Un pez intoxicado puede llegar a tener 10.000 veces más DDT que la cantidad presente en el agua. Los mutantes sobrevivientes al DDT desarrollan resistencia a esas dosis lo que implica el posterior empleo de una dosis mayor para controlar las nuevas poblaciones de la plaga, generando así un incremento constante en las cantidades aplicadas. El consumo humano de alimentos de origen animal contaminados con DDT provoca su acumulación y posterior intoxicación. Los casos agudos presentan alteraciones gastrointestinales, trastornos neurológicos y parálisis muscular; si la dosis es elevada puede sobrevenir la muerte por paro respiratorio (D'Amato et al., 2002). El DDT constituye un producto de elevada toxicidad ambiental y humana y de escasa o nula biodegradabilidad, razón por la cual, en muchos países, su uso fue restringido y/o prohibido. En Argentina, el Decreto N° 2121/90 prohíbe la importación, fabricación, fraccionamiento, comercialización y uso de productos de aplicación agrícola formulados a base del principio activo DDT, a su vez que la Resolución N° 133/91 prohíbe el uso de DDT en medicina humana.

Los tres POPs seleccionados (PCBs, HCB y DDT) están incluidos entre los doce POPs prioritarios del Convenio de Estocolmo que entró en vigor en 2004 (United Nations Environment Programme, 2009). Éstos fueron reconocidos como causantes de efectos adversos en la salud y en los ecosistemas (Jones y de Voogt, 1999). Posteriormente, en 2009, se agregaron nueve POPs más a la lista.

Método del inventario

Actualmente, no se cuenta con otros inventarios de estas sustancias en Argentina. Sin embargo, hay numerosos antecedentes en otros países que sirven como referencias del presente trabajo (Bailey, 2001; Breivik et al., 2007; EMEP/EEA, 2009; Kukharchyk y Kakareka, 2008). El cálculo de las emisiones (*E*) se llevó a cabo utilizando factores de emisión (*F*: emisión potencial de una sustancia dada por unidad de referencia de un producto o compuesto) y niveles de actividad (*A*: valores de consumo o producción) según la ecuación:

$$E = F \times A \quad (1)$$

Los métodos para obtener estas emisiones no fueron homogéneos, sino particularmente desarrollados para cada fuente, haciendo uso de la información disponible.

FUENTES ANALIZADAS

Pesticidas organoclorados

Aunque hoy en día el uso en agricultura de pesticidas que contienen compuestos orgánicos persistentes es ilegal en Argentina, al igual que en la mayoría de los países del mundo (Resolución 364/99), fueron ampliamente utilizados durante el siglo XX debido a su bajo precio y su elevada eficiencia. Si bien no hay registros de que sean usados directamente, si los hay respecto de que ciertos pesticidas permitidos los contienen como impurezas o en muy bajas proporciones (Muñoz-Arnanz y Jiménez, 2011; Turgut et al., 2009; Wang et al., 2010). Según lo reportado por el ISCAMEN (Instituto de Sanidad y Calidad Agropecuaria Mendoza), los pesticidas organoclorados que emiten POPs de aplicación en Mendoza son el Dicofol que contiene impurezas de DDT; y el PCNB y el Clorotalonil que contienen bajas proporciones de HCB.

Dicofol

Las emisiones al ambiente de DDT analizadas en este estudio provienen únicamente de la aplicación de acaricidas con dicofol como principio activo (Muñoz-Arnanz y Jiménez, 2011; Turgut et al., 2009). El Dicofol es estructuralmente similar al DDT, pero difiere de éste en el remplazo del hidrógeno del carbono 1 por un grupo hidroxilo. En la mayoría de los procesos productivos de dicofol, el DDT es un intermediario en su síntesis. El DDT queda como impureza en el producto obtenido y debe ser posteriormente separado, aunque esto no es posible en su totalidad (Peeters Weem, 2010).

Según la bibliografía consultada, el límite máximo permitido internacionalmente por distintas legislaciones, aplicadas inclusive en Argentina, es de 0.1% de DDT (van de Plassche et al., 2003). Existen varias marcas comerciales que distribuyen acaricidas con Dicofol como principio activo en la Provincia de Mendoza, en concentraciones que varían del 18.5% al 21%. La dosis recomendada es de 2.4 kg acaricida/ha con un máximo de dos aplicaciones por cosecha.

Para determinar el área de aplicación se utilizó información técnica provista por las marcas comerciales, en donde se especifica que este acaricida es usado en los cultivos de vid, ciruela, damasco, durazno, manzana, pera, tomate y otros frutales. Posteriormente, a partir de datos del RUT (Registro de Uso de Tierras), elaborados por la Dirección de Agricultura y Contingencias Climáticas (DACC), se definió la cantidad de hectáreas totales ocupadas por los cultivos mencionados. Teniendo en cuenta que existen otros acaricidas que pueden ser utilizados en las mismas plantaciones, se utilizaron datos de importación de este tipo de plaguicidas y se asumió que el uso era proporcional a la cantidad importada (3% del total de acaricidas tiene dicofol).

PCNB y Clorotalonil

Hay dos principios activos utilizados como pesticidas organoclorados que contiene HCB que se usan en Argentina como fungicidas, de acuerdo a datos del ISCAMEN, los cuales son PCNB (Pentacloronitrobenzeno) y Clorotalonil (Bailey, 2001), en varias marcas comerciales. Según información brindada por las marcas comerciales, los fitosanitarios con Clorotalonil se importan de China, Brasil, Israel e Italia y poseen una concentración de aproximadamente 500 g/l de Clorotalonil. La dosis de aplicación recomendada es de 2,5 l/ha. La concentración de HCB en el Clorotalonil es 40 ppm (Bailey, 2001; FAO, 2005). Se consideró un número de 1 aplicación por cosecha.

Los fitosanitarios con PCNB se formulan en una sola empresa de Argentina, y poseen una concentración de aproximadamente 750 gPCNB/kg. La dosis de aplicación es de 10 kg/ha, según empresas comercializadoras. La concentración de HCB en el PCNB es 500 ppm (Bailey, 2001; FAO, 2005). Se consideró un número de 1 aplicación por cosecha.

Al igual que con los pesticidas que contienen DDT, para determinar el área de aplicación se utilizó información técnica provista por las marcas comerciales, en donde se especifica que los fungicidas con Clorotalonil son usados en cultivos de vid, ciruela, damasco, durazno, ajo, cebolla, zapallo, tomate y papa; mientras que los pesticidas con PCNB se usan en tomate y papa. Posteriormente, a partir de datos del RUT, se definió la cantidad de hectáreas totales ocupadas por los cultivos mencionados. Teniendo en cuenta que existen otros fungicidas que pueden ser utilizados en las mismas plantaciones, se utilizaron datos de importación de este tipo de plaguicidas y se asumió que el uso era proporcional a la cantidad importada (1% del total de fungicidas tiene Clorotalonil y 1% del total de fungicidas tiene PCNB).

Principio activo	POP emitido	Área a fumigar [Ha]	Dosis recomendada	Aplicaciones máximas por cosecha	Concentración del principio activo	Concentración del POP en el principio activo [ppm]	Factor de emisión [gPOPemitido/gcontenido]	Emisión POP [kg/año]	Referencia Factor de emisión
Dicofol	DDT	943.26	2.4 kg/ha	2	185 g/kg	1000	0.05	0.042	(EMEP/EEA, 2009)
PCNB	HCB	50.82	10 kg/ha	1	750 g/kg	500	0.5	0.095	(EMEP/EEA, 2009)
Clorotalonil	HCB	339.72	2.5 l/ha	1	500 g/l	40	0.5	0.009	(EMEP/EEA, 2009)

Tabla 1. Resumen de emisiones de POPs por uso de Pesticidas Organoclorados.

Quema abierta de residuos sólidos urbanos

El informe GIRSU elaborado por el Observatorio Nacional para la Gestión de Residuos Sólidos Urbanos (<http://www.ambiente.gov.ar/observatoriorsu/index.html>) presenta datos de composición física de los residuos sólidos urbanos (RSU) (Tabla 2), como así también la generación de los mismos por municipio de la Provincia y la distribución en los distintos vertederos oficiales.

TIPO DE DESECHO	PORCENTAJE [%]	RSU generados [Tn/día]	RSU quemados en vertederos controlados [Tn/día]
Desechos alimenticios	43.23	600.59	194.59
Papeles y cartones	14.53	201.86	0
Plásticos	10.50	145.87	47.26
Residuos de poda y jardín	7.69	106.84	34.61
Vidrio	5.50	76.41	0
Pañales	4.33	60.16	19.49
Materiales textiles	3.95	54.88	17.78
Misceláneos menores a 25,4 mm	3.17	44.04	14.27
Material de construcción y demolición	1.81	25.15	8.15
Madera	1.60	22.23	7.20
Metales	1.18	16.39	0
Goma, cuero, corcho	1.01	14.03	4.55
Residuos peligrosos	0.40	5.56	1.80
Residuos patógenos	0.24	3.33	1.08
Medicamentos	0.18	2.50	0.81
Aerosoles	0.31	4.31	1.40
Material electrónico	0.21	2.92	0.95
Pilas	0.02	0.28	0.09
Otros	0.14	1.94	0.63
TOTAL	100	1389	354.7

Tabla 2. Composición de los RSU y porcentaje de quema de los mismos.

La generación promedio es de 1.18 kg RSU/habitantes día. Se tuvo en cuenta que no es el total de los residuos generados lo que llega a los vertederos oficiales de los cuales se tiene información. Según el IPCC (IPCC, 2006), para América del Sur, sólo un 54% llega a botaderos controlados, mientras que el resto se destina a vertederos clandestinos no controlados, de los cuales no se tiene ninguna información, por lo que no han sido tenidos en cuenta en este análisis. De los residuos que llegan a estos sitios controlados, hay una porción compuesta por papel; cartón; vidrio y metales, que es separada por trabajadores informales para su reúso. De lo que resta, una parte es quemada con el objeto de reducir volumen y evitar fuentes de infección, en un porcentaje del 60% (IPCC, 2006). La quema se realiza de forma abierta, sin el uso de equipos adecuados ni control alguno sobre las emisiones. De los POPs analizados en este trabajo, se emiten HCB y PCBs (Tabla 3).

RSU quemados en vertederos controlados [Tn/día]	POP emitido	Factor de emisión [kgPOP/kgRSUquemado]	Emisión de POP [kg/año]	Referencia factor de emisión
354.7	HCB	2.9E-09	0.375	(Bailey, 2001)
	PCBs	5.3E-09	0.686	(EMEP/EEA, 2009)

Tabla 3. Resumen de emisiones de POPs por quema abierta de RSU.

Incineración de Residuos Patológicos

Mendoza cuenta con una planta en la cual se incineran los residuos de origen patológico generados en toda la Provincia en farmacias, hospitales, centros de salud y droguerías. El establecimiento se encuentra ubicado en Capdevilla, Departamento de Las Heras y cuenta con un sistema de termo-destrucción pirolítica de los desechos. Las sustancias emitidas en este caso son PCBs (Tabla 4).

Residuos patológicos incinerados [Tn/día]	Factor de emisión PCB [kgPCB/kgResiduo incinerado]	Emisión de PCBs [kg/año]	Referencia factor de emisión
4.5	2.0E-08	0.033	(EMEP/EEA, 2009)

Tabla 4. Resumen de emisiones de POPs por incineración de residuos patológicos.

Emisiones Industriales

Producción de cemento

Se consideró la producción de cemento en Mendoza para el año 2011, que está concentrada en una sola planta situada en el Departamento de Las Heras, al noroeste del centro urbano. En el horno se utiliza una mezcla de gas, coque y otros residuos peligrosos como complemento de los combustibles, lo que genera emisiones de HCB (Tabla 5).

Producción de cemento [Tn/año]	Factor de emisión HCB [kgHCB/kgCemento producido]	Emisión de HCB [kg/año]	Referencia factor de emisión
736 000	1.7E-10	0.125	(Bailey, 2001)

Tabla 5. Resumen de emisiones de POPs por producción de cemento.

Siderurgia

En Mendoza hay una sola planta siderúrgica, dedicada a la fabricación de ferroaleaciones. Está ubicada en el Parque Petroquímico de Luján de Cuyo y utiliza tecnología de horno de arco. Este tipo de industria emite dos tipos de POPs: HCB y PCBs (Tabla 6).

Producción de ferroaleaciones [Tn/año]	POP emitido	Factor de emisión [kgPOP/ kg ferroaleación producida]	Emisión de POP [kg/año]	Referencia factor de emisión
25 000	HCB	3.2E-09	0.08	(Antunes et al., 2012)
	PCBs	6.59E-13	1.6E-05	

Tabla 6. Resumen de emisiones de POPs por producción siderúrgica.

Central térmica

Mendoza cuenta con una sola central térmica ubicada en el Parque Petroquímico de Luján de Cuyo, la cual es un conjunto de cinco plantas con un total de 540 MW de potencia instalada que produce 150 tn/h de vapor, para generar 2 961 617 MWh de acuerdo a CAMMESA (Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico Sociedad Anónima). Producto del uso de fuel oil como combustible (además de gas natural) se emiten PCBs (Tabla 7).

Fuel Oil combustionado [Tn/año]	Factor de emisión PCB [kgPCB/kg Fuel Oil combustionado]	Emisión de PCBs [kg/año]	Referencia factor de emisión
45 424	3.6E-09	0.164	(Dyke et al., 2003)

Tabla 7. Resumen de emisiones de POPs por combustión de fuel oil en Central Térmica.

Producción de Pinturas

De acuerdo a diversos estudios que analizaron pigmentos comerciales (Hu y Hornbuckle, 2010), se determinó que hay rastros de bifenilos policlorados en azo y ftalocianina, usados en la fabricación de pinturas, en una proporción entre 20 y 200 ngPCB/g pigmento fresco. Se usó el valor de 180 ng/g que es el valor límite que establece la norma de EEUU. Los pigmentos forman parte de los sólidos disueltos en las pinturas junto el vehículo. Según especificaciones técnicas de estos productos, el 35% de los sólidos son pigmentos, y los sólidos constituyen el 30% del peso total de la pintura (Diamond et al., 2010). De acuerdo a estadísticas de productores locales, el 70% de los pigmentos son ftalocianinas. En el Gran Mendoza hay cinco fábricas de pinturas, cuatro de las cuales se encuentran en el Departamento de Las Heras y una en el Departamento de Godoy Cruz (Tabla 8).

Producción de pinturas [Tn/año]	Fracción de sólidos en las pinturas	Fracción de pigmentos en los sólidos	Fracción de Ftalocianinas en los pigmentos	PCBs en ftalocianinas [gPCB/gftalocianina]	Factor de emisión [kgPCBemitidos/kgPCBcontenidos]	Emisión de PCBs [kg/año]	Referencia factor de emisión
5875.1	0.3	0.35	0.7	1.8E-07	5.0E-03	3.9E-04	(EMEP/EEA, 2009)

Tabla 8. Resumen de emisiones de POPs por producción de pinturas.

Reciclado de aceites industriales

Según datos brindados por la Secretaría de Ambiente de la Provincia de Mendoza, existe una empresa en la que se realiza tratamiento de aceites lubricantes provenientes de equipos industriales y vehículos. Estos aceites contienen impurezas de PCBs, agregados comúnmente como aditivos. La misma se encuentra en el Departamento de Maipú (Tabla 9).

Cantidad de aceite tratado [kg/año]	Contenido de PCBs [kgPCB/kgaceite]	Factor de emisión [kgPCBemitidos/kgPCBcontenidos]	Emisión de PCBs [kg/año]	Referencia factor de emisión
122 562	5.0E-06	0.07	0.043	(Fennely et al., 1984)

Tabla 9. Resumen de emisiones de POPs por reciclado de aceites industriales.

Transformadores

Transformadores en uso

El uso de PCB como aditivo de los aceites de transformadores eléctricos está prohibido en Argentina desde el año 2001 (Ley 25.670, Resolución 437/01 del Ministerio De Justicia y Derechos Humanos, y Resolución 249/02 de la Secretaria De Ambiente y Desarrollo Sustentable). Según la información oficial brindada por la empresa distribuidora de energía eléctrica de la Provincia, para el año 2006 ya se habían retirado todos los transformadores que contenían PCBs. Sin embargo, un transformador en servicio aún contiene esta sustancia. El mismo se encuentra ubicado en el Parque General San Martín, en las inmediaciones del Estadio Provincial de fútbol. Según la EPA (Fennely et al., 1984) los aceites minerales utilizados anteriormente en transformadores contenían entre 50 y 500 ppm de PCBs. Se tomó el valor mayor, peor escenario. Las emisiones de PCBs en estos transformadores se producen porque el mantenimiento ha sido deficiente a lo largo de los años y se generan pérdidas de aceites contaminados (Tabla 10).

Cantidad de aceite [kg]	Contenido de PCBs [kgPCB/kgaceite]	Factor de emisión [kgPCBemitidos/kgPCBcontenidos]	Emisión de PCBs [kg/año]	Referencia factor de emisión
310	5.0E-04	6.0E-05	9.3E-06	(Kukharchyk y Kakareka, 2008)

Tabla 10: Resumen de emisiones de POPs por transformadores en uso.

Acopio de transformadores

Debido a la legislación mencionada anteriormente en la que se prohibió el uso de PCBs en transformadores y equipamiento eléctrico, se emprendió en la Provincia el cambio de los aceites contaminados. Según la información oficial brindada por la empresa encargada de la operación, temporalmente y hasta fines del año 2011, se acopiaron 30 000 l de estas sustancias en un espacio físico ubicado en el Departamento de Godoy Cruz. Se asumió que el contenido de PCBs era de 500 ppm.

Cantidad de aceite [l]	Densidad aceite [kg/m³]	Contenido de PCBs [kgPCB/kgaceite]	Factor de emisión [kgPCBemitidos/kgPCBcontenidos]	Emisión de PCBs [kg/año]	Referencia factor de emisión
30 000	843	5.0E-04	6.0E-05	7.59E-04	(Kakareka, 2002)

Tabla 11. Resumen de emisiones de POPs por acopio de transformadores.

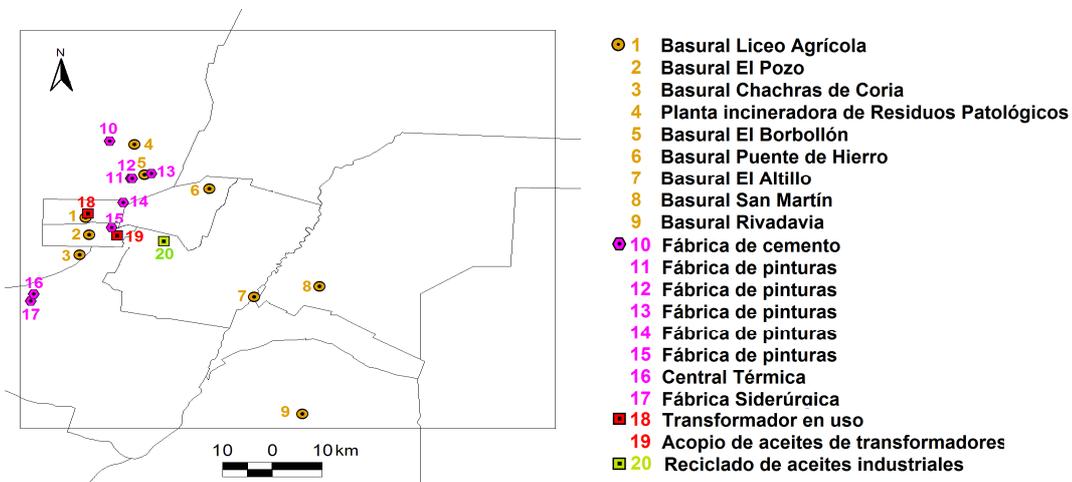


Figura 2. Ubicación de las fuentes emisoras

RESULTADOS

PCBs

Los resultados del inventario de PCBs y detalles de la contribución para cada fuente se pueden ver en la Tabla 12 y Figura 3. La desagregación espacial de las emisiones estimadas se puede ver en la Figura 4.

Fuente	Emisión [kg/año]
Quema abierta de residuos sólidos urbanos	0.686
Incineración de residuos patológicos	0.033
Siderurgia	1.6E-05
Central Térmica	0.164
Producción de pinturas	3.9E-04
Reciclado de aceites industriales	0.043
Transformadores (Acopio y en uso)	7.7E-04
TOTAL	0.927

Tabla 12. Resumen de emisiones de PCBs.

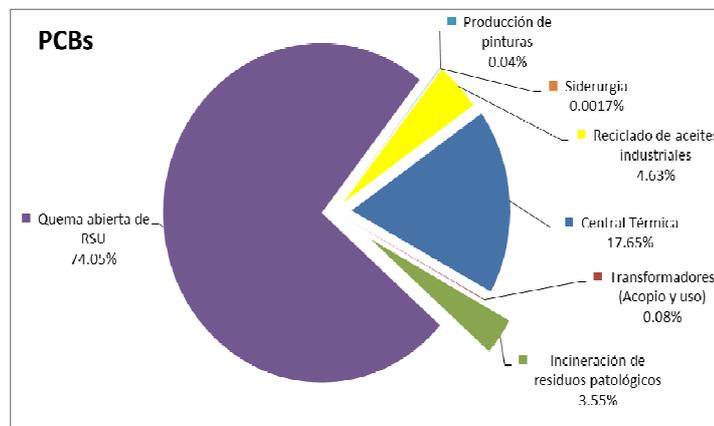


Figura 3. Contribución por fuentes a las emisiones de PCBs.

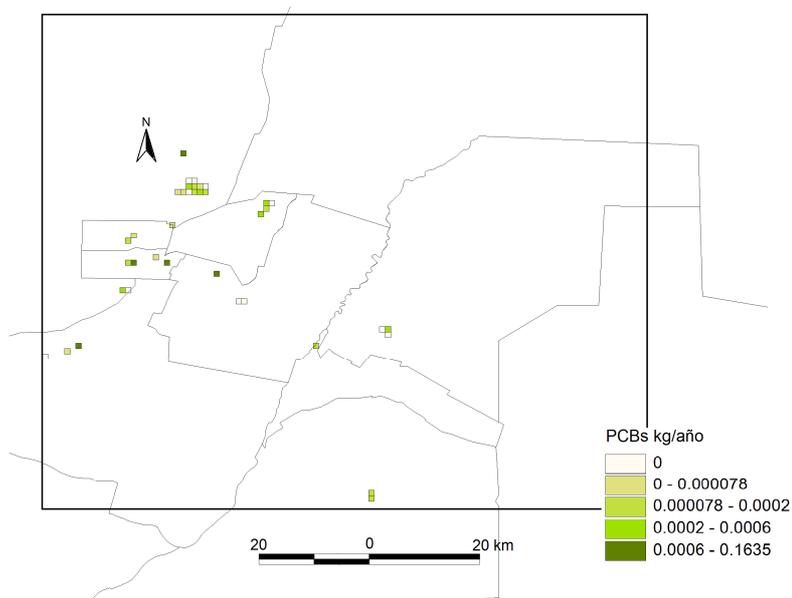


Figura 4. Georeferenciación de las emisiones de PCBs.

HCB

Los resultados del inventario de HCBs y detalles de la contribución para cada fuente se pueden ver en la Tabla 13 y Figura 5. La desagregación espacial de las emisiones estimadas se puede ver en la Figura 6.

Fuente	Emisiones [kg/año]
Aplicación de Pesticidas organoclorados (PCNB y Clorotalonil)	0.104
Quema abierta de RSU	0.375
Producción de cemento	0.125
Siderurgia	0.08
TOTAL	0.684

Tabla 13. Resumen de emisiones de HCB.

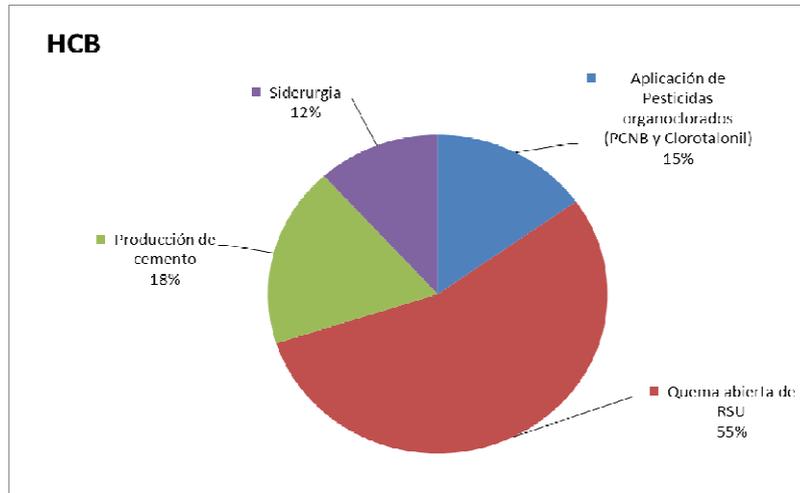


Figura 5. Contribución por fuentes a las emisiones de HCB.

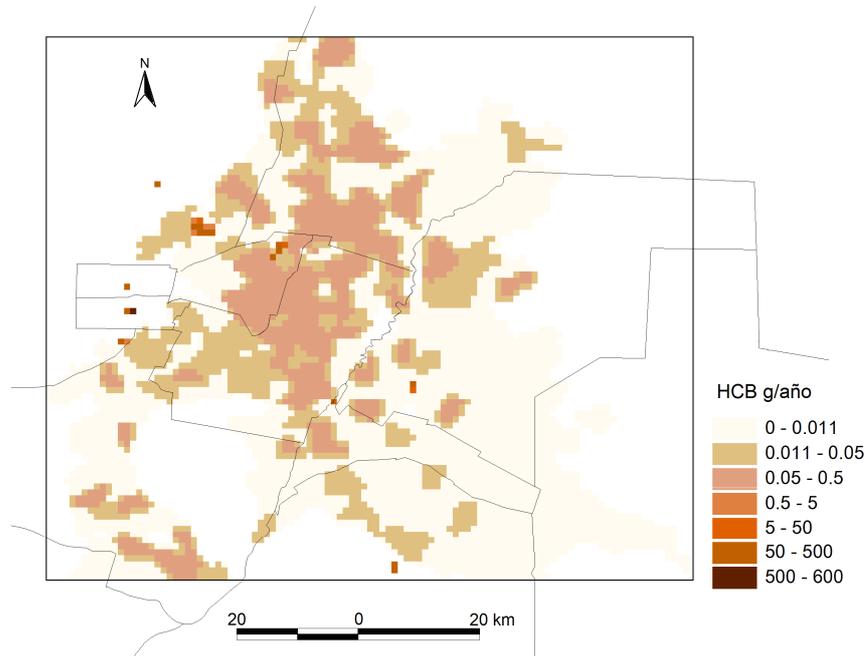


Figura 6. Georeferenciación de las emisiones de HCB.

DDT

Los resultados del inventario de DDT se pueden ver en la Tabla 14. La desagregación espacial de las emisiones estimadas se puede ver en la Figura 7.

Fuente	Emisiones [kg/año]
Aplicación de pesticidas organoclorados (Dicofol)	0.042
TOTAL	0.042

Tabla 14. Resumen de emisiones de DDT.

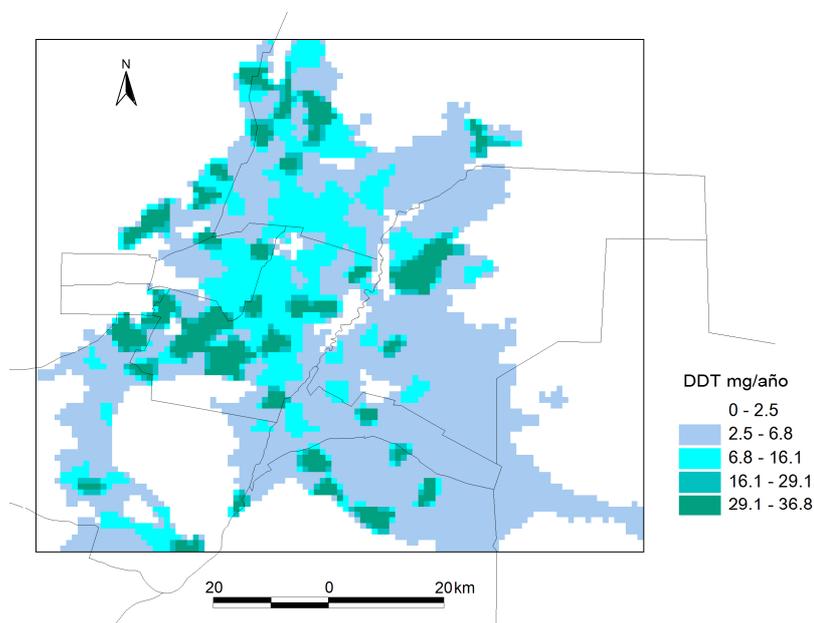


Figura 7. Georeferenciación de las emisiones de DDT.

CONCLUSIONES

De los resultados anteriormente expuestos puede concluirse lo siguiente:

- Las emisiones de PCBs están asociadas principalmente a las áreas urbanas e industriales, mientras que las de HCB y DDT se relacionan con las áreas rurales y semiurbanas.
- La utilización de agroquímicos se presenta como una fuente muy importante de POPs, puntualmente DDT y HCB. Cabe destacar que si bien el uso de éstos está totalmente prohibido, dado su carácter de persistentes se acumulan en suelos, aire, agua y biota siendo aun potencialmente peligrosos.
- La quema de residuos a cielo aparece como una fuente relevante en este análisis, planteando una problemática no sólo desde el punto de vista ambiental y sanitario, sino también desde el enfoque social que esto aparece.
- Las emisiones estimadas se observan notablemente más bajas que las estimadas en otros trabajos similares, principalmente del hemisferio norte. Esto se debe al menor grado de industrialización local y al uso menos masivo que se dio en estas latitudes a los pesticidas organoclorados (Denier van der Gon et al., 2007; Schenker et al., 2008).

A futuro, se espera validar los resultados obtenidos en este inventario con mediciones y simulaciones de dispersión que están actualmente en proceso.

REFERENCIAS

- Antunes, Pedro; Viana, Paula; Vinhas, Tereza; et al. (2012). Emission profiles of polychlorinated dibenzodioxins, polychlorinated dibenzofurans (PCDD/Fs), dioxin-like PCBs and hexachlorobenzene (HCB) from secondary metallurgy industries in Portugal.. In. Chemosphere. Elsevier Ltd 88 (11), pp. 1332–9.
- Bailey, R E. (2001). Global hexachlorobenzene emissions.. In. Chemosphere. 43 (2), pp. 167–82.
- Breivik, Knut; Alcock, Ruth; Li, Yi-Fan; et al. (2004). Primary sources of selected POPs. regional and global scale emission inventories. Environmental Pollution. 128 (1–2), pp. 3–16.
- Breivik, Knut; Sweetman, Andy; Pacyna, Jozef M; et al. (2007). Towards a global historical emission inventory for selected PCB congeners--a mass balance approach 3. An update.. In. The Science of the total environment. 377 (2-3), pp. 296–307.
- D'Amato, Claudio; Torres, Joao P.M.; Malm, Olaf (2002). DDT (Dicloro Difenil Tricloroetano). Toxicidades e Contaminacao Ambiental-Uma Revisão. In. Quimica Nova. 25 (6), pp. 995–1002.

- Denier van der Gon, Hugo; van het Bolscher, Maarten; Visschedijk, Antoon; et al. (2007). Emissions of persistent organic pollutants and eight candidate POPs from UNECE–Europe in 2000, 2010 and 2020 and the emission reduction resulting from the implementation of the UNECE POP protocol. In. *Atmospheric Environment*. 41 (40), pp. 9245–9261.
- Diamond, Miriam L; Melymuk, Lisa; Csiszar, Susan a; et al. (2010). Estimation of PCB stocks, emissions, and urban fate. will our policies reduce concentrations and exposure?. In. *Environmental science & technology*. 44 (8), pp. 2777–83,
- Dyke, Patrick H; Foan, Colin; Fiedler, Heidelore (2003). PCB and PAH releases from power stations and waste incineration processes in the UK.. In. *Chemosphere*. 50 (4), pp. 469–80.
- EMEP/EEA (2009). EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook — 2009. Technical guidance to prepare national emission inventories. Copenhagen.
- FAO (2005). FAO specifications and evaluations for agricultural pesticides. Chlorothalonil.
- Fennely, Paul F.; McCabe, Mark; Hall, Joanna C.; et al. (1984). Environmental Characterization of Disposal of Waste Oils by Combustion in Small Commercial Boilers. Cincinnati OH 45268.
- Hu, Dingfei; Hornbuckle, Keri C (2010). Inadvertent polychlorinated biphenyls in commercial paint pigments.. In. *Environmental science & technology*. 44 (8), pp. 2822–7.
- IPCC (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Hayama, Kanagawa JAPAN.
- Jones, K C; de Voogt, P (1999). Persistent organic pollutants (POPs). state of the science. In. *Environmental Pollution*. 100 (1–3), pp. 209–221.
- Kakareka, Sergey V (2002). Sources of persistent organic pollutants emission on the territory of Belarus. In. *Institute for Problems of Natural Resources Use & Ecology*. 36 , pp. 1407–1419.
- Kukharchyk, Tamara I; Kakareka, Sergey V (2008). Polychlorinated biphenyls inventory in Belarus.. In. *Journal of environmental management*. 88 (4), pp. 1657–62.
- Muñoz-Arnanz, Juan; Jiménez, Begoña (2011). New DDT inputs after 30 years of prohibition in Spain. A case study in agricultural soils from south-western Spain.. In. *Environmental pollution (Barking, Essex . 1987)*. Elsevier Ltd 159 (12), pp. 3640–6.
- Peeters Weem, André (2010). Paper for the 8th meeting of the UN-ECE CLRTAP Task Force on Persistent Organic Pollutants. The Hague, The Netherlands.
- Van de Plassche, E.J.; Schwegler, A.M.G.R.; Rasenberg, M.; et al. (2003). DDT in Dicofol. www.unece.org.
- Puliafito, Salvador Enrique; Bochaca, Fabián Rolando; Allende, David Gabriel; et al. (2013). Green Areas and Microscale Thermal Comfort in Arid Environments. A Case Study in Mendoza, Argentina. In. *Atmospheric and Climate Sciences*. 3 (3), pp. 372–384.
- Schenker, Urs; Scheringer, Martin; Hungerbühler, Konrad (2008). Investigating the Global Fate of DDT. Model Evaluation and Estimation of Future Trends. In. *Environmental Science & Technology*. 42 (4), pp. 1178–1184.
- Turgut, Cafer; Gokbulut, Cengiz; Cutright, Teresa J (2009). Contents and sources of DDT impurities in dicofol formulations in Turkey.. In. *Environmental science and pollution research international*. 16 (2), pp. 214–7.
- United Nations Environment Programme (2009). Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants (POPs). Stockholm, Sweden.
- Wang, Guang; Lu, Yonglong; Han, Jingyi; et al. (2010). Hexachlorobenzene sources, levels and human exposure in the environment of China.. In. *Environment international*. Elsevier Ltd 36 (1), pp. 122–30.

ABSTRACT: The present work is focused on the identification and analysis of specific sources of Permanent Organic Pollutants together with the calculation of emissions in the Great Mendoza during 2011. Emissions of polychlorinated biphenyls (PCBs), hexachlorobenzene (HCB) and Dichloro-diphenyl-trichloroethane (DDT) were estimated. Due to the wide variety of sources and compounds involved and the limited availability of information, a harmonized method for all compounds in the preparation of the inventory was not used. Data submitted in this study provide an overview of the emissions in the Great Mendoza urban area. Finally, great efforts in the characterization and validation of emissions, both for obtaining relationships between sources and sinks, as well as for the development of strategies to control them are needed. Also, this information is crucial to achieve a reduction in the burden of these substances, at local and regional level.

Keywords: Atmospheric emission inventory, Permanent Organic Pollutants, Great Mendoza, Air Quality.