

**Universidad Nacional de La Plata**  
**Facultad de Ciencias Exactas**  
**Departamento de Química**



Biblioteca Central  
Fac. Cs. Exactas  
U.N.L.P

*Trabajo de tesis*

**Laura Andrea Massolo**

*Exposición a contaminantes atmosféricos y factores de riesgo  
asociados a la calidad de aire en La Plata y alrededores*

*Directora*

**Dra. Alicia Estela Ronco**

*Codirector*

**Dr. Atilio Andrés Porta**

*Tesis  
No 1055*

**Centro de Investigaciones del Medio Ambiente**

**CIMA - 2004**

*1055*

DEDICACION.....

A.....

Fecha.....

Inv. B.....

Inv.....

B 57164




Biblioteca Central  
Fac. Cs. Exactas  
U.N.L.P.

TESIS  
N.º 1055

*A Tití, mi mamá*

*Por su apoyo constante, su comprensión  
y su dedicación permanente*

DONACION.....

A.....

Fecha.

16-09-04

Inv. B.....

inv.....

B.....

S.F. 261



## ***Agradecimientos***

*A la Dra. Alicia Ronco por su apoyo y por brindarme la oportunidad de realizar este trabajo*

*Al Dr. Andrés Porta por su colaboración y estímulo para seguir adelante sobre todo en la recta final*

*A Andrea Müller por su amistad, su participación activa en el desarrollo de esta tesis y por su esfuerzo para leer este manuscrito en español y aportar valiosas sugerencias*

*A la Dra. Angela Grassi, Dr. Alberto Capparelli e Ing. Fernando Dulout por la lectura crítica de este manuscrito*

*Al Prof. Dr. Olf Herbarth por permitir y facilitar el uso de la información obtenida en el Departamento de Investigación sobre Exposición Humana y Epidemiología del Centro de Investigación Ambiental de Leipzig-Halle, Alemania*

*A Martina Rehwagen por realizar los análisis químicos y permitir el uso de los datos para este trabajo*

*A Valeria Grassi por su ayuda con el ensayo de Ames y su buena onda*

*A Matías Tueros por su colaboración en el muestreo*

*A Manuel Negrin por su colaboración en el muestreo, relevamiento de encuestas y el ensayo de Ames*

*A Gisella Fritz por permitir el uso de la Encuesta epidemiológica*

*A Mónica Mainer por su colaboración con la edición de este trabajo*

*A todos los compañeros del CIMA que de algún modo colaboraron durante estos años*

*A Fer por su comprensión y ayuda*

*A mi familia y amigos por el “aguante” permanente*

- Los estudios realizados en esta investigación se insertaron en el marco de los proyectos de cooperación internacional en el área de medio ambiente entre Argentina y Alemania (SECYT y DLR), denominados “*Summersmog*” (AL/A96-UXIII/07, 1999-2001) y “*Airbone particles. Risk factors to environmentally associated diseases*” (AL/PA01-BVII/01, 2002-2004), teniendo como contrapartes el CIMA- Centro de Investigaciones del Medio Ambiente, Departamento de Química, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata, Argentina y la UFZ-Centre for Environmental Research, Department of Human Exposure Research and Epidemiology, Leipzig-Halle, Alemania.

Se indica en los capítulos donde corresponda los datos que fueron obtenidos con instrumental y/o por investigadores de la contraparte alemana.

- Este estudio se pudo realizar a través de una beca de estudio y perfeccionamiento otorgada por la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, CICIPBA entre el año 2000 y 2004.
- El soporte económico para la realización del trabajo experimental provino de subsidios del Programa de Incentivos a la Investigación a través de los proyectos “*Contaminación Ambiental, Evaluación de Efectos Biológicos. Evaluación de Riesgo*” (Cód. X245) y “*Evaluación y Diagnóstico de Contaminantes Ambientales*” (Cód X322), del proyecto “*Contaminación Ambiental: Estudios de Efectos Biológicos y Evaluación de Riesgo*” (PIP 0534/98) del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, CONICET y de recursos propios del CIMA- Centro de Investigaciones del Medio Ambiente, Departamento de Química, Facultad de Ciencias Exactas, UNLP.



# ÍNDICE

	<i>Página</i>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>1.1. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA</b>	1
<b>1.1.1. La tierra en una perspectiva global. El ambiente urbano</b>	1
<b>1.1.2. Los compuestos tóxicos y el ambiente</b>	2
<b>1.1.3. La atmósfera</b>	4
<b>1.1.4. Contaminación atmosférica</b>	5
<b>1.1.5. Contaminación intramuros</b>	8
<b>1.1.6. Niveles guía y límites permitidos</b>	9
<b>1.1.7. Los contaminantes atmosféricos y la salud</b>	12
<b>1.2. MATERIAL PARTICULADO EN SUSPENSIÓN</b>	13
<b>1.2.1. Fuentes</b>	14
<b>1.2.2. Composición química</b>	14
<b>1.2.3. Efectos sobre el ambiente y la salud</b>	15
<b>1.2.4. Niveles guía y valores límite permitidos</b>	18
<b>1.3. COMPUESTOS ORGÁNICOS SEMIVOLÁTILES (SVOCs) ASOCIADOS A PARTÍCULAS</b>	19
<b>1.3.1. Origen de hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs)     asociados a material particulado</b>	21
<b>1.3.2. Efectos sobre la salud y el ambiente</b>	22
<b>1.3.3. Niveles guía y unidad de riesgo</b>	23
<b>1.4. EFECTOS GENOTÓXICOS ASOCIADOS A PAHs</b>	24
<b>1.4.1. Genotoxicidad</b>	24
<b>1.4.2. Mutaciones</b>	25
<b>1.4.3. Genotoxicidad de PAHs en aire ambiente</b>	26
<b>1.5. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES (VOCs)</b>	27
<b>1.5.1. Fuentes extramuros e intramuros</b>	28
<b>1.5.2. Efectos sobre el ambiente y la salud</b>	29
<b>1.5.3. Niveles guía, límites aconsejables, unidad de riesgo</b>	30

<b>1.6. EXPOSICIÓN A CONTAMINANTES AMBIENTALES Y SU IMPACTO SOBRE LA SALUD</b>	31
<b>1.7. EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN A CONTAMINANTES AMBIENTALES</b>	36
<b>2. HIPÓTESIS, OBJETIVOS Y DISEÑO EXPERIMENTAL</b>	39
<b>2.1. HIPÓTESIS</b>	39
<b>2.2. OBJETIVOS</b>	39
<b>2.3. DISEÑO EXPERIMENTAL</b>	40
<b>3. CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO</b>	42
<b>3.1. CARACTERÍSTICAS DEL MEDIO FÍSICO NATURAL</b>	43
<b>3.2. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DE LA REGIÓN</b>	43
<b>3.3. ASPECTOS DEMOGRÁFICOS</b>	45
<b>3.4. INDICADORES SOCIOECONÓMICOS</b>	46
<b>3.5. ENERGÍA Y TRANSPORTE</b>	46
<b>3.6. CARACTERÍSTICAS PARTICULARES DE CADA MUNICIPIO</b>	47
<b>3.6.1. El Polo Petroquímico de Ensenada</b>	48
<b>3.7. ANTECEDENTES DE CALIDAD DE AIRE EN LA ZONA DE ESTUDIO</b>	53
<b>4. MÉTODOS</b>	55
<b>4.1. SITIOS DE MUESTREO SELECCIONADOS</b>	55
<b>4.2. MUESTREO Y ANÁLISIS DE MATERIAL PARTICULADO EN SUSPENSION Y COMPUESTOS ORGÁNICOS ASOCIADOS</b>	57
<b>4.2.1. Fundamento de la técnica de muestreo empleada</b>	57
<b>4.2.2. Ubicación de los muestreadores</b>	59
<b>4.2.3. Muestreo en cascada de material particulado en suspensión</b>	59
<b>4.2.4. Extracción y análisis de PAHs asociados a material particulado en suspensión</b>	60
<b>4.2.5. Análisis de resultados y tratamiento estadístico de datos</b>	61
<b>4.3. MUESTREO Y ANÁLISIS DE COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES</b>	62

4.3.1. Fundamentos del muestreo pasivo para compuestos en fase gaseosa	62
4.3.2. VOCs estudiados	63
4.3.3. Muestreo de VOCs	64
4.3.4. Pretratamiento de muestras y análisis químico de VOCs	64
4.3.5. Análisis de resultados y tratamiento estadístico de datos	65
<b>4.4. DETERMINACIÓN DE MUTAGENICIDAD EN EXTRACTOS ORGÁNICOS PROVENIENTES DE MATERIAL PARTICULADO EN SUSPENSIÓN</b>	66
4.4.1. Fundamento del ensayo empleado	66
4.4.2. Optimización y puesta a punto del ensayo	67
4.4.3. Protocolo de ensayo	69
4.4.4. Pre-tratamiento de las muestras	70
4.4.5. Controles del ensayo, cepa bacteriana y reactivos utilizados	70
4.4.6. Análisis de resultados y tratamiento estadístico de datos	70
4.4.7. Semi-miniaturización del ensayo de Ames	71
<b>4.5. ENCUESTA EPIDEMIOLÓGICA</b>	71
4.5.1. Fundamentos de la utilización de encuestas epidemiológicas en estudios de evaluación de la exposición humana a contaminantes ambientales	71
4.5.2. Diseño de la encuesta	72
4.5.3. Análisis estadístico de los datos	74
<b>5. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LOS CONTAMINANTES</b>	75
<b>5.1. MATERIAL PARTICULADO EN SUSPENSIÓN</b>	75
5.1.1. Concentración total de partículas	75
5.1.2. Distribución de partículas por tamaños	78
<b>5.2. COMPUESTOS ORGÁNICOS SEMIVOLÁTILES (PAHs) ASOCIADOS A MATERIAL PARTICULADO EN SUSPENSIÓN</b>	82
5.2.1. Concentración de PAHs asociados a PM10	82
5.2.1.1. Comparación entre lugares	83
5.2.1.2. Comparación invierno/verano	85
5.2.1.3. Variación de las concentraciones de PAHs en los distintos años de muestreo	87

	<i>Página</i>
5.2.1.4. Distribución de los compuestos según el número de anillos	91
5.2.2. Distribución de PAHs en distintas fracciones de material particulado	92
5.2.2.1. Comparación entre lugares	93
5.2.2.2. Distribución de los compuestos según el número de anillos de acuerdo al tamaño de partículas	95
5.2.3. Relaciones entre compuestos e identificación de posibles fuentes	96
5.2.4. Compuestos carcinogénicos	100
<b>5.3. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES</b>	<b>103</b>
5.3.1. Resultados generales	103
5.3.2. Análisis por familias de compuestos	106
5.3.2.1. Alcanos	106
5.3.2.2. Cicloalcanos	107
5.3.2.3. Compuestos aromáticos	108
5.3.2.4. Compuestos clorados	114
5.3.2.5. Terpenos	115
5.3.3. Relación intramuros-extramuros	116
<b>6. IMPACTO DE LOS CONTAMINANTES</b>	<b>119</b>
<b>6.1. EVALUACIÓN DE EFECTOS BIOLÓGICOS CON BIOENSAYOS</b>	<b>119</b>
6.1.1. Evaluación de métodos	119
6.1.1.1. Estandarización del número de células por placa. Verificación de la cepa	119
6.1.1.2. Resultados preliminares de la semi-miniaturización del ensayo de Ames	120
6.1.2. Mutagenicidad de extractos orgánicos provenientes de material particulado	121
6.1.3. Correlación entre mutagenicidad y PAHs	126
<b>6.2. CARACTERIZACIÓN DE LA SALUD DE LA POBLACIÓN CON SONDEO POR CUESTIONARIOS</b>	<b>134</b>
6.2.1. Datos generales	134
6.2.2. Características de los grupos familiares	135
6.2.3. Características de las viviendas	138
6.2.4. Características de cada zona de acuerdo a la percepción de sus residentes	141

6.2.5. Tendencias de problemas de salud en la región	142
<b>6.3. ESTIMACIÓN DE RIESGO ASOCIADO A VOCs, PARTÍCULAS y SVOCs</b>	146
6.3.1. Efectos sobre la salud asociados a VOCs	146
6.3.1.1. Estimación del riesgo asociado a benceno	148
6.3.2. Efectos sobre la salud asociados a partículas y PAHs	153
6.3.2.1. Factores de equivalencia tóxicos	154
6.3.2.2. Estimación del riesgo asociado a PAHs en función de la unidad de riesgo	158
<b>7. CONCLUSIONES</b>	160
<b>8. BIBLIOGRAFÍA</b>	168
<b>ANEXO I: Encuesta epidemiológica para el estudio de las condiciones ambientales y la salud</b>	
<b>ANEXO II: Concentraciones de PAHs asociados a distintas fracciones de material particulado</b>	
<b>ANEXO III: Concentraciones de VOCs intramuros y extramuros en las distintas zonas de estudio.</b>	
<b>ANEXO IV: Resultados del ensayo de mutagenicidad de extractos orgánicos provenientes de distintas fracciones de material particulado en suspensión</b>	

## Abreviaturas

ADN	ácido desoxirribonucleico
BaP	benzo[a]pireno
BaP <sub>eq</sub>	equivalentes de benzo[a]pireno
BghiP	benzo[ghi]perileno
BTEX	suma de benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos
BTX	suma de benceno, tolueno y xilenos
DDICV	dosis diaria interna crónica
DMSO	dimetilsulfóxido
DO	densidad óptica
GC	cromatografía gaseosa
GNC	gas natural comprimido
HPLC	cromatografía líquida de alta performance
I	zona industrial
IARC	Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer
IcdP	indeno[1,2,3-cd]pireno
OMS	Organización Mundial de la Salud
OR	Odds ratio
PAHs	hidrocarburos aromáticos policíclicos
PCBs	bifenilos policlorados
PM	material particulado en suspensión
PM <sub>10</sub>	partículas menores a 10 µm
PM <sub>2,5</sub>	partículas menores a 2,5 µm
Rev	revertantes
Rev ind	revertantes inducidos
RICV	riesgo individual de contraer cáncer durante toda una vida
S9	sobrenadante 9000g de homogeneizado de hígado de rata
SNC	sistema nervioso central
SR	zona semi-rural
SVOCs	compuestos orgánicos semivolátiles
TEFs	factores de equivalencia tóxicos
TSP	partículas menores a 100 µm
U	zona urbana
USEPA	Agencia de Protección de Medio Ambiente de los Estados Unidos de Norteamérica
UV	ultravioleta
VOCs	compuestos orgánicos volátiles

# **1. INTRODUCCIÓN**

## **1.1. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA**

### **1.1.1. La tierra en una perspectiva global. El ambiente urbano**

El reconocimiento de que la civilización a nivel mundial puede cambiar el ambiente es un concepto relativamente nuevo (UNEP, 1998; Botkin y Keller, 2000). El sector académico científico ha aceptado que el ingreso de compuestos químicos producto de la tecnología actual está cambiando la capa de ozono en la alta atmósfera, y que la quema de combustibles fósiles incrementa los gases del efecto invernadero, lo cual puede inducir cambios sobre el clima de la tierra; y que por otra parte ha disminuido significativamente el acceso a agua limpia; que existe degradación de los ambientes acuáticos y terrestres, que hay un incremento de la erosión de los suelos y una pérdida de la biodiversidad (IGBO, 2001). Estos cambios sugieren que las acciones de la población afectan el ambiente a escala global. Ello ha definido lo que actualmente se da en llamar: relación vida humana-naturaleza. Además, se ha concluido que los sistemas biológicos influyen en el ambiente del planeta y que este efecto se ha modulado durante el curso de la evolución de la tierra a lo largo de millones de años.

La idea de las interacciones entre la vida y el ambiente a escala global ha llevado incluso al desarrollo de hipótesis en las cuales se propone que el ambiente ha sido cambiado profundamente por la acción de los sistemas biológicos y que estos cambios han tendido a mejorar las condiciones del mismo para propiciar el desarrollo de la vida. Un planeta con vida es diferente al que resultaría si ella no estuviera (Margulis y Lovelock, 1989). Pero dado que las acciones humanas han comenzado a cambiar el ambiente a escala global, es necesario encarar la comprensión de estos fenómenos para contar con una mejor perspectiva de los problemas ambientales (Botkin y Keller, 2000).

En la actualidad se manejan conceptos ecosistémicos, de sostenibilidad, de capacidad de carga, de bienes y servicios asociados a ecosistemas particulares. También se reconoce al ambiente urbano como un “nuevo” tipo de sistema. Particularmente, y dado que el presente trabajo atiende a la comprensión y el diagnóstico de algunos problemas de este tipo de

ambiente, resulta importante definir mejor el concepto de mundo urbano. Como resultado del rápido crecimiento de la población humana mundial, además de los cambios tecnológicos, el hombre está transformándose en una especie urbana, y este ambiente en relación directa con el hombre es el que está sufriendo los cambios más drásticos. Al desarrollo económico se le asocia urbanización; la población migra desde zonas rurales a las ciudades y sus suburbios, por lo tanto las ciudades y pueblos se incrementan en tamaño. Dado que las zonas urbanas normalmente se localizan en las márgenes costeras o a lo largo de ríos, la urbanización cubre zonas naturalmente útiles para la agricultura y se ocupan además humedales que originariamente regulaban funciones y alojaban especies de interés. El equilibrio entre el uso productivo del suelo y la superficie como sostén urbano se perturba (Botkin y Keller, 2000).

La mayor atención de las organizaciones ambientalistas se ha dirigido a la protección de áreas silvestres, especies en peligro y los recursos naturales en general. Sin lugar a dudas, estas áreas tienen gran significado ambiental, pero las acciones futuras también deberán enfocar su atención a los ambientes urbanos, además de los efectos de éstos sobre el planeta.

En los países desarrollados cerca del 75% de la población habita en áreas urbanas y el resto en áreas rurales. Sin embargo, en los países en desarrollo sólo el 36% habita las ciudades, aunque se espera que para el año 2025 el 62 % de la población mundial se concentre en las mismas (Population Reference Bureau, 1998). Argentina no escapa a este proceso. El área metropolitana de Buenos Aires y el Gran La Plata alberga más de un tercio de la población del país. A estos sectores de mayor urbanización es a los que se asocia la mayor proporción de conflictos ambientales (World Bank, 1995).

### **1.1.2. Los compuestos tóxicos y el ambiente**

A fines de la década del 90 del siglo pasado, el registro de compuestos químicos del Chemical Abstract Service tenía documentado pasado al menos unos nueve millones de compuestos químicos, entre los cuales se encontraban unos cien mil compuestos sintéticos de uso diario común. Para la mayoría de estos compuestos, se carecía de información sobre sus efectos tóxicos sobre la biota y su comportamiento ambiental. En la reunión cumbre sobre el medioambiente y desarrollo de Río de Janeiro (ECO92) se consignó un listado de 12 compuestos orgánicos persistentes, en su mayoría pesticidas organoclorados (UNEP, 1998), que requerían acciones de minimización y reducción. Por otra parte se han venido elaborando



listados de compuestos de riesgo, los que se han ido incorporando en la legislación y sus reglamentaciones de diferentes países (Crathorne y Dobbs, 1990; Ley Nacional 24051/92, Decreto Reglamentario 831/93, Ley Provincial 5.965/58, Decreto Reglamentario N° 3.395/96).

Por ejemplo, Connel (1997) clasifica entre los grupos de sustancias de interés ambiental para su estudio, a los hidrocarburos de petróleo, pesticidas, polímeros sintéticos, bifenilos policlorados (PCBs) y dioxinas, jabones y detergentes, hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAHs) y compuestos organometálicos.

En la Figura 1.1 se resume el comportamiento y conjunto de procesos que regulan la distribución, transformaciones y destino de un compuesto tóxico natural o sintético (xenobiótico) cuando ingresa a los circuitos ambientales. En función de las propiedades fisicoquímicas de los compuestos individuales o familias, puede preverse su potencial impacto sobre compartimientos específicos y comprender los procesos que gobiernan los correspondientes equilibrios.

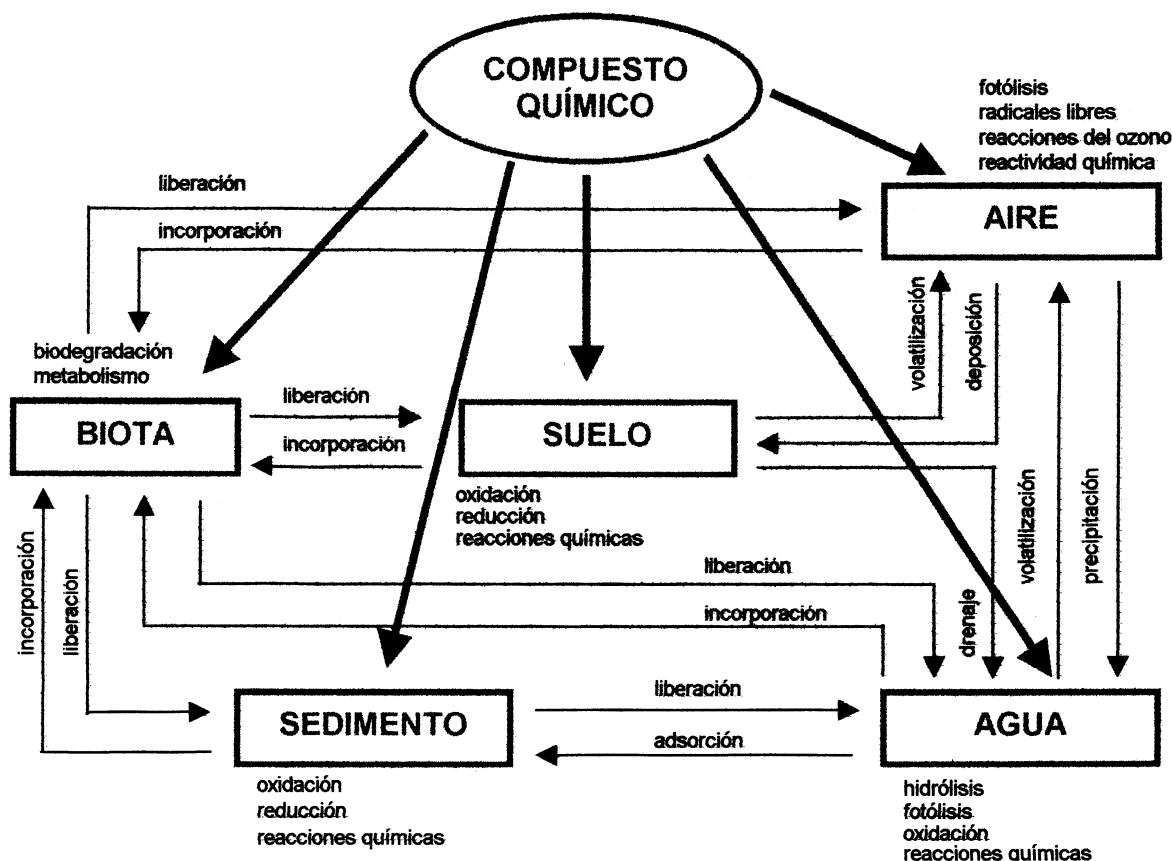


Figura 1.1: Distribución de los contaminantes en los distintos compartimientos ambientales

Teniendo en cuenta el tema de investigación aquí desarrollado, se analiza a continuación el compartimiento aire.

### **1.1.3. La Atmósfera**

La atmósfera es la envolvente gaseosa que rodea la tierra; tiene un espesor de aproximadamente 2.000 km, de densidad decreciente y temperatura variable con la altura, constituida por cinco regiones o estratos denominados: troposfera, estratosfera, mesosfera, ionosfera y exosfera. La troposfera es la región en contacto con la superficie terrestre que tiene un espesor medio de unos 12 km. Es el sector que tiene la densidad más elevada, y de hecho se calcula que contiene aproximadamente el 75% de la masa total de la atmósfera y prácticamente todo el vapor de agua y todos los aerosoles. En esta región se producen la mayor parte de los fenómenos meteorológicos y hay tanto movimientos verticales como horizontales de las masas de aire, lo que proporciona un medio de transporte de materiales y de dispersión de los contaminantes.

En la atmósfera terrestre se distinguen dos tipos de componentes: aquellos compuestos que están bajo la forma de gases y los sólidos o líquidos en suspensión en el gas, que constituyen los aerosoles. Entre los gases cuya composición media permanece constante en la atmósfera encontramos el nitrógeno (como molécula  $N_2$ , componente mayoritario, constituyendo un 78% de la masa total de la atmósfera), el oxígeno (también como  $O_2$ , hasta un 21%), el argón y, en menor proporción, neón, helio, criptón, hidrógeno y xenón. Además encontramos otros compuestos en forma gaseosa de composición variable, tales como el dióxido de carbono, metano, monóxido de dinitrógeno y ozono. Otros considerados como muy variables son vapor de agua, monóxido de carbono, amoníaco, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre y sulfuro de hidrógeno. Los aerosoles provienen fundamentalmente de procesos fisicoquímicos naturales de diversos tipos: erosión, erupciones volcánicas, aerosoles marinos, incendios forestales naturales, etc. Su composición puede ser muy variable y el tiempo de residencia depende de la velocidad de sedimentación (Godish, 1999; Baird, 2001). La composición química de las partículas y su origen son discutidos en mayor detalle en el punto 1.2 de esta introducción.

#### 1.1.4. Contaminación atmosférica

Se han propuesto muchas definiciones de contaminación del aire. Entre ellas, la Ley Nacional 20.284/73 de preservación del recurso aire define a la contaminación atmosférica como la presencia en la atmósfera de cualquier agente físico, químico o biológico o de combinaciones de los mismos en lugares, formas y concentraciones tales que sean o puedan ser nocivos para la salud, seguridad o bienestar de la población, o perjudiciales para la vida animal y vegetal, o impidan el uso y goce de las propiedades y lugares de recreación. Un concepto un poco más amplio presenta la ley del aire limpio de los Estados Unidos de Norteamérica definiendo a la contaminación del aire como "...la presencia en la atmósfera de uno o más contaminantes en cantidad y duración tales que sean o tiendan a ser perjudiciales a la salud o el bienestar humanos, la vida de los animales o plantas, o que interfieran el goce de la vida o la propiedad". Es preciso señalar que si bien el término contaminación suele emplearse para referirse a la ocasionada por fuentes antrópicas (originada en actividades humanas) también existe contaminación natural originada en erupciones volcánicas, incendios forestales, descomposición de materiales, entre otras fuentes (Godish, 1999; Botkin y Keller, 2000; Barrenetxea *et al.*, 2003). Es más, proporcionalmente la mayor parte de los contaminantes atmosféricos son emitidos por fuentes naturales. Sin embargo la contaminación antrópica resulta de gran importancia, generando profundas modificaciones al equilibrio natural de la atmósfera. Cabe destacar que la contaminación antrópica generalmente se produce en puntos geográficos (zonas urbano-industriales) donde la existencia de sumideros naturales (especies vegetales, disponibilidad de sistemas degradadores) es menor y muchas veces se producen emisiones de sustancias ausentes en la composición natural de la atmósfera, en algunos casos de alta persistencia y/o toxicidad (Barrenetxea *et al.*, 2003; Spiro y Stigliani, 2004).

La preocupación por la problemática de la contaminación ambiental se ha incrementado en los últimos tiempos, ya que se ha tomado conciencia de manera generalizada de sus consecuencias y no resulta sencillo controlar las diversas fuentes de emisión involucradas. Las principales causas de esta situación se deben al grado y tipo de desarrollo de la sociedad, con elevadas concentraciones de contaminantes en sectores urbanos e industriales, asociado a exigencias del avance tecnológico y a una mayor demanda de recursos primarios, principalmente energéticos y minerales (Botkin y Keller, 2000; Barrenetxea *et al.*, 2003; Spiro y Stigliani, 2004). Las reuniones cumbres sobre el medio ambiente (Estocolmo 72, Río 92, Johannesburgo 02), determinaron la firma de convenios internacionales y acuerdos entre

países, siendo calificados los problemas asociados a la atmósfera prioritarios por su impacto a escala global. El adelgazamiento periódico de la capa de ozono y el cambio climático global constituyen problemas de preocupación ya que algunos mecanismos reguladores de la atmósfera han sido modificados por cambios en la concentración de ciertos componentes en la misma y aparición de compuestos xenobióticos. Las reacciones de compuestos halogenados con el ozono a nivel de la estratosfera y la consecuente disminución de la eficiencia a la filtración de la radiación UV, y el incremento de la concentración de gases de efecto invernadero son problemas que han concitado el interés de los científicos, los organismos gubernamentales y no gubernamentales desde hace más de 30 años, llevando a la firma del protocolo de Montreal en 1987 para la eliminación de las sustancias que intervienen en el adelgazamiento de la capa de ozono, y el protocolo de Kyoto en 1997 de reducción de gases del efecto invernadero (UNEP, 1998). El reconocimiento de que las acciones antrópicas están imponiendo cambios sobre la atmósfera por encima de los que su evolución natural determina ha impuesto sobre la comunidad científica la necesidad de realizar estudios a escala local, regional y global. La caracterización de los problemas y sus causas, los mecanismos reguladores y sus modificaciones son materia de estudio.

Dada la complejidad del problema a tratar, ha sido necesario definir qué significa una atmósfera limpia, qué es un contaminante, una descarga a la atmósfera, un estándar de calidad, un nivel guía de concentración a través de documentos científicos, textos de enseñanza, legislación y sus reglamentaciones, acuerdos, etc. A continuación se definen conceptos generales y de interés particular en el marco del presente estudio.

### ***Contaminantes químicos***

Los contaminantes atmosféricos pueden dividirse de manera general en tres grupos: biológicos (bacterias, virus, hongos), físicos (ruido, radiaciones ionizantes) y químicos.

Los contaminantes químicos pueden ser clasificados en:

- ***Contaminantes primarios:*** se entiende como tales a aquellas sustancias que se vierten directamente a la atmósfera, en el estado en el cual resultan ser contaminantes, tales como por ejemplo: gases (SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, NO<sub>x</sub>, hidrocarburos, CO, CO<sub>2</sub>), metales pesados (Pb, Cr, Cu, Mn, V, Ni, As, Cd, Hg), compuestos halogenados (HCl, Cl<sub>2</sub>, HF), sustancias minerales (asbestos, amianto), compuestos

orgánicos volátiles y semivolátiles (VOCs, SVOCs), compuestos orgánicos azufrados (mercaptanos) o halogenados (PCBs, dioxinas, furanos), sustancias radioactivas y aerosoles o material particulado en suspensión (partículas sólidas y líquidas).

- **Contaminantes secundarios:** provienen de transformaciones originadas por reacciones químicas y fotoquímicas de contaminantes primarios con consecuencias generales como lluvia ácida (ácido sulfúrico, ácido nítrico), aumento del ozono troposférico, entre otras (Baird, 2001; Barrenetxea *et al.*, 2003). El 'smog' fotoquímico y los compuestos asociados a las reacciones químicas que tienen lugar en este fenómeno se detallan en el punto 1.5.2 de este trabajo.

Una vez que los contaminantes son emitidos a la atmósfera, tiene lugar su dispersión; la extensión y magnitud de este proceso influye sobre el grado de exposición al que se ven expuestos los componentes de la biosfera. Cualquier punto geográfico puede verse sometido a un nivel de contaminantes que evidentemente dependen de la presencia de focos cercanos de emisión de los mismos, difusión de las emisiones y del efecto sobre éstas de los factores climáticos y topográficos. Entre los factores climáticos, el viento es un parámetro meteorológico de gran importancia ya que la dirección y el sentido del mismo indican el camino que seguirán los contaminantes, mientras que la magnitud dará una idea de la dispersión. Entre los factores topográficos que pueden introducir modificaciones en la dispersión de los contaminantes se pueden citar: efecto del mar, montañas y laderas, a lo que debe agregarse los efectos urbanos (Godish, 1990; Barrenetxea *et al.*, 2003).

### **Contaminantes prioritarios**

Los contaminantes mayoritarios que producen aproximadamente el 98% de la contaminación atmosférica son:

- Monóxido de carbono (CO)
- Óxidos de azufre (SO<sub>2</sub>)
- Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>)
- Compuestos orgánicos volátiles (VOCs)
- Material particulado (sedimentable y en suspensión)

Desde la perspectiva de las posibles consecuencias sobre la salud pública y el ambiente, los organismos ambientales definen a su vez grupos prioritarios, así por ejemplo la Ley de la Provincia de Buenos Aires N° 5.965/58 a través de su decreto reglamentario N° 3.395 (1996) considera los siguientes compuestos prioritarios:

- Monóxido de carbono (CO)
- Plomo (Pb)
- Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>)
- Material particulado
- Ozono (O<sub>3</sub>)
- Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)

#### **1.1.5. Contaminación intramuros**

Además de analizar la calidad del aire extramuros (aire ambiente) es importante considerar la calidad del aire intramuros (aire en interiores de edificios). Dado que en la actualidad el grado de confort desarrollado condiciona a los seres humanos a transcurrir una gran parte del tiempo en ambientes cerrados (hogares, oficinas), proceso acentuado en regiones de climas muy fríos, y que por otra parte, las fuentes de contaminantes intramuros son múltiples y de composición muy variable, puede resultar que algunos compuestos (como por ejemplo los orgánicos volátiles –VOCs-) alcancen una mayor concentración intramuros respecto a la del ambiente externo (Godish, 1999; Baird, 2001; WHO, 2002; Rehwagen *et al.*, 2003; Son *et al.*, 2003; Guo *et al.*, 2004). En tal sentido la contaminación intramuros suele ser en algunos casos de mayor importancia en cuanto a efectos sobre la salud que la extramuros.

Si bien la mayoría de los estudios de contaminación intramuros ha sido realizada en países desarrollados, las mayores concentraciones de contaminantes intramuros han sido encontradas en sitios con influencia urbana, industrial y rural en países en vías de desarrollo (WHO, 2002). No obstante, no hay que despreciar la importancia de la contaminación extramuros y además se debe tener en cuenta que muchos contaminantes originados extramuros pueden penetrar en los ambientes intramuros. (Godish, 1999; Botkin y Keller, 2000; WHO, 2000b; Baird, 2001). Cabe destacar que en Argentina no se han consignado estudios detallados de contaminación que permitan relacionar la calidad de aire intramuros con el aire ambiente.

### 1.1.6. Niveles guía y límites permitidos

Durante el proceso de establecimiento de niveles guía, diversas informaciones relevantes sobre los contaminantes son cuidadosamente consideradas. Idealmente, un nivel guía debería representar concentraciones de compuestos químicos en aire que no posean riesgo alguno para la población humana. En la realidad, la evaluación de compuestos nocivos para la salud, necesita de una distinción entre seguridad absoluta y riesgo aceptable. Para generar un nivel guía con una alta probabilidad de ofrecer seguridad absoluta, se debería conocer en detalle las relaciones dosis-respuesta en individuos en relación a todas las fuentes de exposición, tipos de efectos tóxicos asociados al contaminante y sus mezclas, la existencia o no existencia de niveles umbral para un efecto tóxico específico, las interacciones y la variación entre sensibilidad y niveles de exposición en las distintas personas. Muchos de estos datos sobre contaminantes ambientales no están generalmente disponibles. Muy a menudo los datos relevantes son escasos y las relaciones cuantitativas inciertas. La opinión y el consenso de la comunidad científica juegan un papel importante para establecer niveles guía que pueden ser usados como indicadores de niveles de riesgo aceptable para la población expuesta. Sin embargo, es inevitable el uso de términos subjetivos como “efecto adverso” y “suficiente evidencia”. Por otro lado, es importante considerar que la exposición a mezclas de contaminantes en aire también es inevitable. No obstante, los datos existentes sobre efectos combinados de exposición a contaminantes en aire son limitados y no es posible recomendar niveles guía para tales combinaciones (IPCS, 1994; WHO, 2000a).

De manera general, existen distintos criterios de niveles guía según se trate de compuestos no cancerígenos o cancerígenos:

#### *Compuestos no cancerígenos*

En el uso de estándares de calidad en aire ambiente se supone que existe algún nivel de emisiones y contaminación permisibles, con ambos lo suficientemente bajos de manera tal que no causen efectos significativos. La aproximación de estándares de calidad de aire presupone la existencia de requerimientos de control y la definición de qué es lo que se quiere proteger, cuánta protección es necesaria y la calidad de aire existente. Cuando el principal objetivo es salvaguardar la salud pública a través de bases de datos científicos sobre los efectos en la salud de contaminantes individuales, pueden elaborarse estándares de calidad de

aire basados en la salud, asumiendo que existe una concentración del contaminante y tiempo de exposición aceptable. En el supuesto que exista un valor umbral y que los datos científicos provean información razonable sobre el nivel umbral, las reglamentaciones pueden fijar niveles permitidos para aire ambiente. De manera práctica los estándares de calidad de aire reflejan el nivel umbral presumido junto a un margen de seguridad adecuado (Godish, 1991).

### ***Compuestos cancerígenos***

La mayoría de los investigadores acepta la dificultad de demostrar la existencia de un valor umbral de exposición a un carcinógeno o mutágeno para la producción de tumores o mutaciones y por lo tanto la imposibilidad de establecer límites de seguridad para la exposición de los individuos a los mismos. Algunos autores sostienen que una sola molécula sería suficiente para iniciar un proceso que puede progresivamente llevar al efecto observado (WHO, 1978).

En tal sentido, al referirse a valores guía para contaminantes cancerígenos en aire, se tienen en cuenta dos tipos de evaluación: la cualitativa y la cuantitativa. La cualitativa hace referencia al grado de probabilidad de que un contaminante sea un cancerígeno humano (Calabresse y Kenyon, 1991; OPS, 2000; WHO 2000a). Los criterios de clasificación siguen generalmente el procedimiento de la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC) que divide a los contaminantes cancerígenos en cuatro grupos:

**Grupo 1:** el agente (mezcla) es carcinogénico para humanos. Esta categoría se utiliza solamente cuando se estableció una relación causal entre exposición al agente y cáncer en el ser humano.

**Grupo 2:** esta categoría incluye agentes (mezclas) para los cuales el grado de evidencia de carcinogenicidad en humanos es limitada. Se divide en dos grupos:

**Grupo 2A:** el agente (mezcla) es probablemente carcinogénico para humanos. Esta categoría se utiliza cuando hay evidencias limitadas de carcinogenicidad en seres humanos y suficiente evidencia de carcinogenicidad en animales de experimentación.



**Grupo 2B:** el agente (mezcla) es posiblemente carcinogénico para humanos. Esta categoría se utiliza cuando hay evidencias limitadas de carcinogenicidad en seres humanos en ausencia de evidencias suficientes en animales de experimentación.

**Grupo 3:** el agente (mezcla) no es clasificable en cuanto a su carcinogenicidad para humanos.

**Grupo 4:** el agente (mezcla) es probablemente no carcinogénico para el ser humano.

La Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos de Norteamérica (USEPA) tiene una clasificación cualitativa en 5 grupos:

**Grupo A:** cancerígenos humanos comprobados.

**Grupo B:** cancerígenos humanos probables.

**B1:** evidencia limitada de carcinogenicidad en seres humanos, suficiente evidencia de carcinogenicidad en animales.

**B2:** evidencia suficiente de carcinogenicidad en animales e inadecuada o falta de evidencia en humanos.

**Grupo C:** cancerígenos humanos posibles (limitada evidencia de carcinogenicidad en animales y ausencia de datos en humanos).

**Grupo D:** productos no clasificados.

**Grupo E:** no existe evidencia de carcinogenicidad en humanos (basado en estudios con animales y epidemiológicos en humanos).

La clasificación cuantitativa aplica el modelo de unidad de riesgo haciendo referencia a la tasa de cáncer que el contaminante puede causar en un determinado nivel de exposición. La unidad de riesgo es el riesgo adicional de cáncer durante una vida en una población hipotética cuyos individuos estén expuestos continuamente desde que nacen a una concentración de  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  del contaminante del aire que respiran. Este concepto permite comparar el potencial cancerígeno de diferentes contaminantes (OPS, 2000; WHO 2000a).

### 1.1.7. Los contaminantes atmosféricos y la salud

El impacto de la contaminación del aire es muy amplio. En humanos, la absorción y deposición en las distintas partes del sistema respiratorio de los compuestos químicos inhalados pueden tener consecuencias directas sobre la salud. No obstante, la salud de la población también puede ser indirectamente afectada por deposición de contaminantes del aire en el medio ambiente, los cuales son incorporados por plantas y animales, entrando en la cadena alimentaria o contaminando el agua de bebida, constituyendo fuentes adicionales de exposición humana. Además, los efectos directos de los contaminantes del aire sobre plantas, animales y suelo pueden influenciar en la estructura y función de los ecosistemas, incluyendo la capacidad de autorregulación, afectando en consecuencia la calidad de vida (WHO, 2000a).

El impacto de la exposición a contaminantes atmosféricos sobre la salud humana ha sido ampliamente investigado, encontrándose que la prevalencia de enfermedades respiratorias y alergias asociadas con el medio ambiente se ha visto incrementada a escala mundial en estos últimos decenios, existiendo un fuerte consenso en que la exposición a contaminantes atmosféricos constituye un importante factor de riesgo para la salud de la población. Además, cabe destacar que ciertos contaminantes atmosféricos son compuestos mutagénicos y/o carcinogénicos comprobados (IARC, 1983, 1987; Calabresse y Kenyon, 1991; USEPA, 1997; Norris *et al.*, 1999; OPS, 2000; Schwartz, 2000).

Es importante denotar que en el ambiente el hombre está expuesto a diversos contaminantes atmosféricos con potencial riesgo para su salud, cuyos efectos combinados no siempre son una suma directa de sus efectos individuales, apareciendo frecuentemente fenómenos de sinergismo o antagonismo (Casarett y Doull's, 1996; Burkart *et al.*, 1998).

Una de las características particulares de los ambientes urbanos y su influencia sobre la calidad de vida de la población y el ambiente, es la contaminación por partículas. La naturaleza de los compuestos asociados a estas partículas y su composición dependen de distintos factores, entre los que puede mencionarse los combustibles empleados en distintos tipos de actividades antrópicas. Por otra parte cabe destacar la existencia de compuestos orgánicos volátiles, que son contaminantes *per se* y además pueden intervenir en procesos fotoquímicos durante el llamado 'smog' estival. A continuación se detallan los puntos sobre la

problemática de estos contaminantes, además de las fuentes de contaminación generales y particulares para la zona en estudio.

## 1.2. MATERIAL PARTICULADO EN SUSPENSIÓN

Material particulado es un término utilizado para designar mezclas de partículas muy pequeñas sólidas y/o líquidas en suspensión en el aire. Las partículas varían considerablemente en tamaño, geometría, composición química y propiedades físicas. El material particulado en suspensión (PM) corresponde a partículas cuyo tamaño varía entre 0.005 y 100  $\mu\text{m}$  de diámetro aerodinámico<sup>1</sup> (Godish, 1991; USEPA, 1997). Podemos distinguir distintas fracciones:

- TSP: partículas menores a 100  $\mu\text{m}$ .
- PM10 (fracción inhalable): partículas menores a 10  $\mu\text{m}$ .
- PM 2,5 (fracción respirable): partículas menores a 2,5  $\mu\text{m}$ .

Un aerosol corresponde a un conjunto de partículas, sólidas o líquidas dispersas en el aire. Hay muchos nombres comunes para las partículas atmosféricas: polvo y hollín para referirse a sólidos, mientras que se usa neblina y niebla para designar una elevada concentración de gotas de agua (Baird, 2001).

Intuitivamente, se podría pensar que todas las partículas deberían sedimentar y depositarse sobre la superficie terrestre bajo la influencia de la gravedad. Sin embargo esto no es así para las partículas más pequeñas. De acuerdo con la ley de Stokes, la velocidad a la que las partículas sedimentan aumenta con el cuadrado de su diámetro. Las partículas más pequeñas pueden permanecer suspendidas casi indefinidamente en el aire, excepto si chocan con algún objeto en su trayectoria. Además, las partículas muy pequeñas se agregan para formar partículas mayores, pudiendo eventualmente eliminarse del aire por absorción en las gotas de lluvia. Es interesante destacar que el límite inferior de visibilidad del ojo es ligeramente inferior a los 100  $\mu\text{m}$  (correspondería a los máximos tamaños de polen).

---

<sup>1</sup> Diámetro correspondiente a una esfera de densidad igual a 1 que tiene la misma velocidad de sedimentación que la partícula en cuestión

### 1.2.1. Fuentes

El material particulado es generado en mayor proporción por procesos naturales (aerosoles marinos, arrastre de polvo por el viento, incendios forestales, erupciones volcánicas, polen, entre otras) y en menor proporción por actividades humanas (procesos de combustión, pérdidas en procesos industriales, tratamiento de residuos sólidos urbanos). Las partículas gruesas (mayores a  $2,5 \mu\text{m}$ ) pueden provenir del polvo ambiental, polen, cenizas volantes, carbón, operaciones de agricultura, entre otras fuentes. En general son partículas generadas en procesos mecánicos o por acumulación de partículas más pequeñas. Las partículas finas (menores a  $2,5 \mu\text{m}$ ) generalmente se originan en los escapes de los vehículos, chimeneas asociadas a procesos de combustión, calefacción doméstica, humos y polvo metalúrgico, incluso humo de cigarrillo. Son generadas en procesos mecánicos, acumulación de partículas y procesos de combustión. Los últimos están especialmente asociados a la emisión de partículas muy finas (menores a  $1 \mu\text{m}$ ). Adicionalmente una fracción de las partículas encontradas en el aire ambiente puede ser generada por procesos secundarios involucrando una variedad de transformaciones químicas y físicas en la atmósfera. Es importante denotar que las partículas finas tienen tiempos de vida media (días o semanas) mayores que las partículas gruesas (minutos a horas). Además tienden a dispersarse de manera más uniforme a lo largo de un área determinada o región geográfica ya que mientras las partículas finas pueden dispersarse entre 100 y 1.000 km, las partículas gruesas sólo pueden viajar una distancia menor a 10 km.

### 1.2.2. Composición química

La composición química de las partículas es considerablemente variable, dependiendo de la fuente y consecuentemente de las transformaciones que pueden sufrir en la atmósfera. Debido al variado número de fuentes primarias y de la capacidad de adsorción de las partículas, las mismas pueden estar compuestas por cientos de especies químicas diferentes. La fracción de partículas finas en la atmósfera contiene considerables cantidades de sulfatos, amonio, nitrato, carbón elemental, y compuestos orgánicos condensados. Es importante denotar que una gran variedad de compuestos orgánicos e inorgánicos se encuentran adsorbidos en la superficie de las partículas, especialmente en las más finas, debido a su mayor área superficial. Entre ellos se pueden encontrar ciertos compuestos carcinogénicos como algunos hidrocarburos aromáticos policíclicos, y metales pesados tales como el arsénico, selenio,

*L. Massolo - CIMA-2004*

cadmio, y zinc. La fracción de partículas gruesas generalmente está compuesta por sustancias de origen mineral, por lo tanto la composición química de las mismas incluye silicatos y elementos como aluminio, potasio, hierro, calcio, otros del grupo alcalino-térreos y otros de transición. No obstante también se han encontrado en esta fracción cantidades importantes de compuestos orgánicos y algunos carbonatos (Godish, 1991; USEPA, 1997; Baird, 2001; WHO, 2002; Barrenetxea *et al.*, 2003).

### 1.2.3. Efectos sobre el ambiente y la salud

El interés por las partículas atmosféricas se debe a dos causas: afectan al balance de radiación terrestre y poseen efectos nocivos sobre la salud. El impacto atmosférico se traduce en una reducción de la visibilidad o en una simple molestia por su capacidad de recubrir superficies. El material particulado emitido por la quema de carbón ha sido un problema de contaminación de aire por algunos cientos de años y en particular en el Reino Unido de Gran Bretaña y regiones de Polonia y ex repúblicas soviéticas. En enero de 1684 John Evelyn escribió en su diario que Londres a causa de la frialdad del aire que impide el ascenso del humo, estaba tan lleno de vapor hollinoso que difícilmente se podía ver a través de la calle, y llenaba los pulmones de gruesas partículas obstruyendo el pecho y dificultando la respiración (Baird, 2001). Un smog de estas características ocasionó en Londres en diciembre de 1952 la muerte de 4.000 personas en unos pocos días (Spiro y Stigliani, 2004).

De las partículas en suspensión, se considera relevante desde el punto de vista de la salud la fracción inhalable y especialmente la respirable, ya que de acuerdo al tamaño pueden penetrar y depositarse en distintas zonas del aparato respiratorio (Figura 1.2). Las partículas de 5  $\mu\text{m}$  o más grandes se depositan en la región nasofaríngea, que es la región más alta. Las partículas de 1 a 5  $\mu\text{m}$  son depositadas en la región traqueobronquiolar del pulmón, que es la región intermedia, de aquí pueden ser eliminadas por el moco mediante un movimiento tipo elevador a las regiones ciliadas superiores, desde donde se podrían eliminar por medio de estornudos o tos, y pueden pasar al tracto gastrointestinal (TGI). Las partículas de 1  $\mu\text{m}$  y más pequeñas penetran a los sacos alveolares de los pulmones. Estas pueden ser absorbidas por la sangre o bien pueden ser eliminadas a través del sistema linfático o por medio de macrófagos alveolares, siendo su excreción considerablemente más lenta en comparación con las partículas de mayor tamaño. Los macrófagos alveolares son considerados la primera línea de defensa del organismo frente a agentes externos, ya que son los encargados de fagocitar y

destruir agentes patógenos. Por lo tanto estas funciones celulares se ven modificadas luego de la exposición a material particulado (Soukup *et al.*, 2000; Peña *et al.*, 2001).

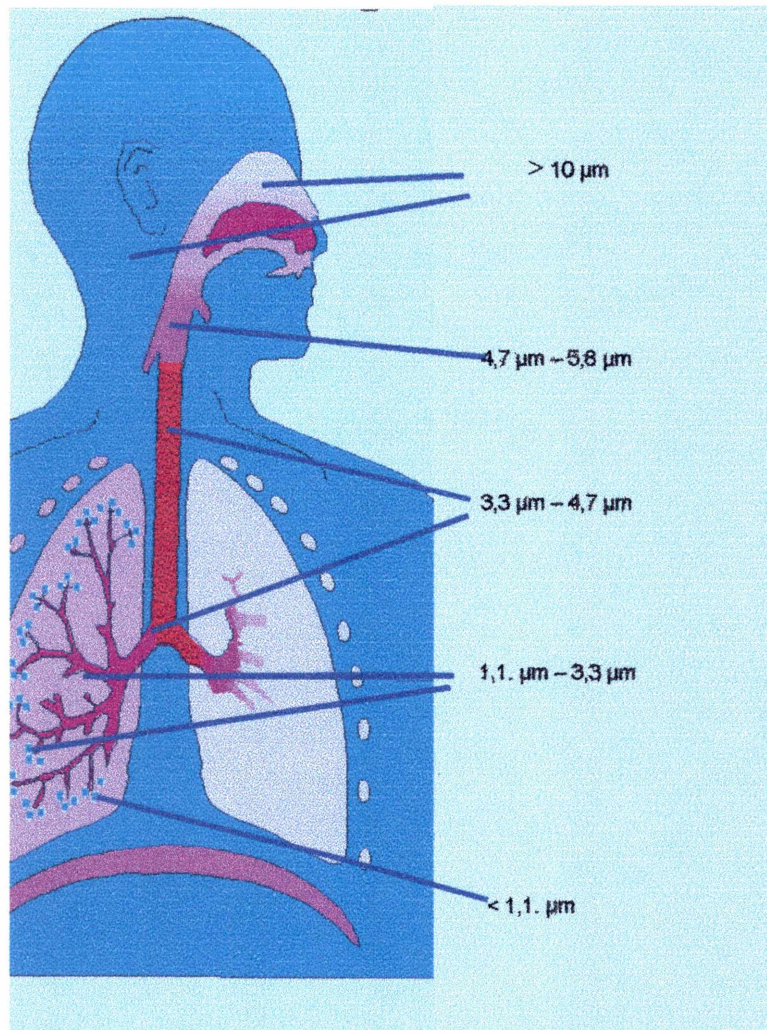


Fig.1.2.: Deposición de partículas menores a  $10 \mu\text{m}$  en distintas zonas del aparato respiratorio

En particular debe destacarse la importancia de la fracción  $< 2,5 \mu\text{m}$  dada la mayor capacidad de las partículas pequeñas de llegar al aparato respiratorio profundo y a los alvéolos, representando un alto riesgo para la salud. Esta fracción incluye a las partículas ultrafinas ( $< 0,1 \mu\text{m}$ ), las cuales pueden inducir efectos adversos a muy bajas concentraciones, ya que si bien la proporción de las mismas resulta ser pequeña con respecto a la masa total de partículas, los efectos biológicos producidos por éstas resultan ser significativos debido a su elevado número y la gran área superficial que presentan (Monarca, 1997; Concawe, 1996,

WHO, 2000 a,b y 2002). Además, pueden ser importantes inductores de efectos nocivos en el pulmón y el sistema cardiovascular debido a su habilidad de evadir la fagocitosis por macrófagos, penetrar en el intersticio pulmonar, en el epitelio de las células alveolares y capilares del pulmón (Frampton *et al.* 2001). En la literatura se reconoce que los grupos de mayor riesgo a exposición a partículas finas son los ancianos, niños, asmáticos y personas con enfermedad pulmonar o cardíaca preexistente. La susceptibilidad en los niños menores de seis años se debe a que respiran un 50% más de aire por kg de peso corporal que los adultos y además su sistema respiratorio está aún en desarrollo (Concawe 1996; USEPA, 1997).

Es de destacar que numerosos estudios científicos han asociado material particulado, especialmente partículas finas  $<2,5 \mu\text{m}$  (solas o en combinación con otros contaminantes), con varios problemas de salud, por lo cual estudios sobre la relación causa-efecto han sido llevados a cabo por diversos grupos. En estos estudios se ha asociado a las partículas finas y muy finas ( $<0,45 \mu\text{m}$ ) con el asma, los síntomas respiratorios agudos, la bronquitis crónica, el deterioro pulmonar, el incremento de admisiones hospitalarias, el aumento de consultas en salas de emergencia por asma y la muerte prematura (Castellsague *et al.*, 1995; Walters y col., 1995; Sunyer *et al.*, 1997; USEPA, 1997; Norris *et al.*, 1999; Shepard *et al.*, 1999; OPS, 2000; Schwartz, 2000; WHO 2000a y 2002; Castranova *et al.*, 2001; Morris, 2001; Pandya *et al.*, 2002 Ritz *et al.*, 2002). En las Figuras 1.3. a,b,c se muestra el aumento porcentual de mortalidad diaria, las internaciones hospitalarias y cambios en la función pulmonar atribuidas al aumento de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub> (OPS, 2000; WHO, 2000a,b).

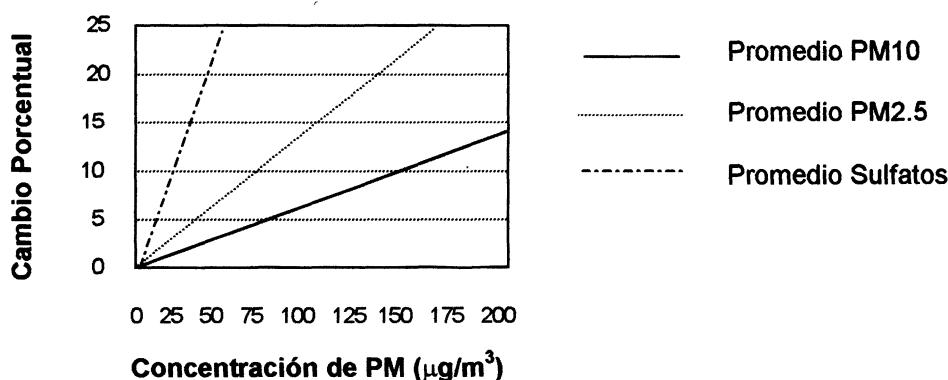


Fig 1.3.a: Cambio porcentual en la mortalidad diaria atribuida a PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> y sulfatos

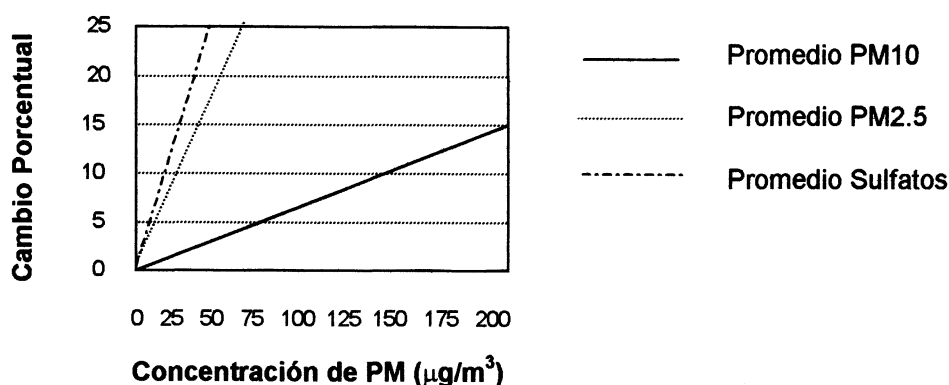


Fig 1.3.b: Cambio porcentual en las internaciones hospitalarias atribuidas a PM10, PM2,5 y sulfatos

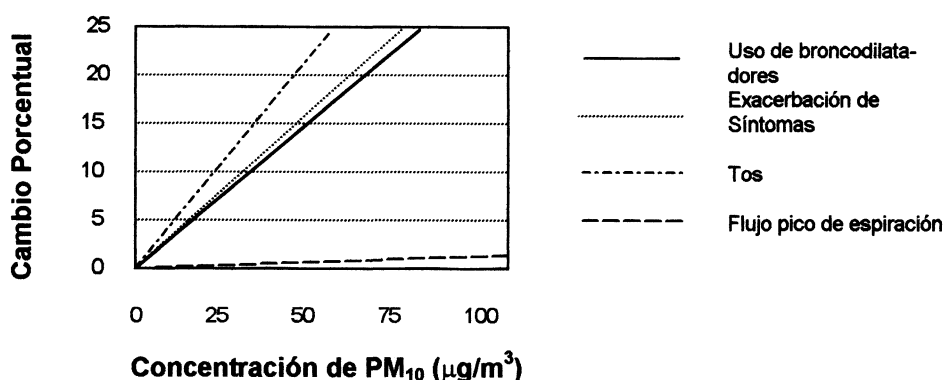


Fig 1.3.c: Cambio porcentual en los efectos en la salud atribuidos a PM10

Adicionalmente, cabe destacar que el material particulado en aire en conjunto con los óxidos de azufre potencian la respuesta tóxica de estos últimos, e incluso la legislación de algunos países toma en consideración la concentración de ambos contaminantes con fines regulatorios.

#### 1.2.4. Niveles guía y valores límite permitidos

No obstante el peso de la evidencia de numerosos estudios epidemiológicos que muestran clara y consistentemente asociaciones entre material particulado y efectos adversos sobre la salud a relativamente bajas concentraciones de exposición, la Organización Mundial de la Salud (OMS) no ha podido establecer aún un nivel umbral para los efectos del PM para la salud. Por esta razón las guías se representan por asociaciones estadísticamente significativas entre el incremento de los efectos observados y el incremento de las concentraciones de PM10 y PM2,5.



Algunos países presentan valores límites para TSP, PM10 y PM2,5, especificando para los mismos tiempos promedios de muestreo y frecuencias de excedencia permitidas. Por ejemplo en Argentina está legislado un valor límite de  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para TSP con un tiempo promedio de muestreo de 1 mes y ninguna frecuencia de excedencia permitida (Ley Nacional N°20.284). En cuanto a PM10 la legislación a nivel nacional no considera un límite permitido, mientras que la Provincia de Buenos Aires en la Ley 5965, Decreto Reglamentario 3395, regula  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para la media diaria y  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para la media anual. En Estados Unidos de Norteamérica, la USEPA establece para PM10  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para un tiempo promedio de muestreo de 24 h y  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para la media anual, mientras que para PM2,5 los valores son 65 y  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente. La Unión Europea establece para PM10  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para 24 hs de exposición y  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para la media anual.

### 1.3. COMPUESTOS ORGÁNICOS SEMIVOLÁTILES (SVOCs) ASOCIADOS A PARTÍCULAS

De los compuestos semivolátiles asociados a material particulado, fue seleccionado como parámetro relevante la familia de los hidrocarburos aromáticos policíclicos, en función de su ubicuidad, multiplicidad de fuentes de origen, presencia de compuestos como el benzo[a]pireno utilizado como modelo para los mismos, y por tratarse de contaminantes definidos como prioritarios por las agencias ambientales.

Los hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs) son compuestos orgánicos constituidos por múltiples anillos tipo benceno, unidos en forma lineal, angular o ramificada. Constituyen probablemente los contaminantes orgánicos más diseminados en el ambiente (IPCS, 1998; Barakat, 2002). Por su baja solubilidad en agua, su lipofilidad y su lenta degradación algunos son muy persistentes en la naturaleza, observándose que estas características aumentan con el tamaño de la molécula (Cerniglia, 1993). Si bien el grupo de los PAHs comprende cientos de compuestos químicos (más de 500 han sido identificados en el aire), en la mayoría de los estudios son analizados solo los 16 (Figura 1.4) considerados como prioritarios por la USEPA (Collier *et al.*, 1998).

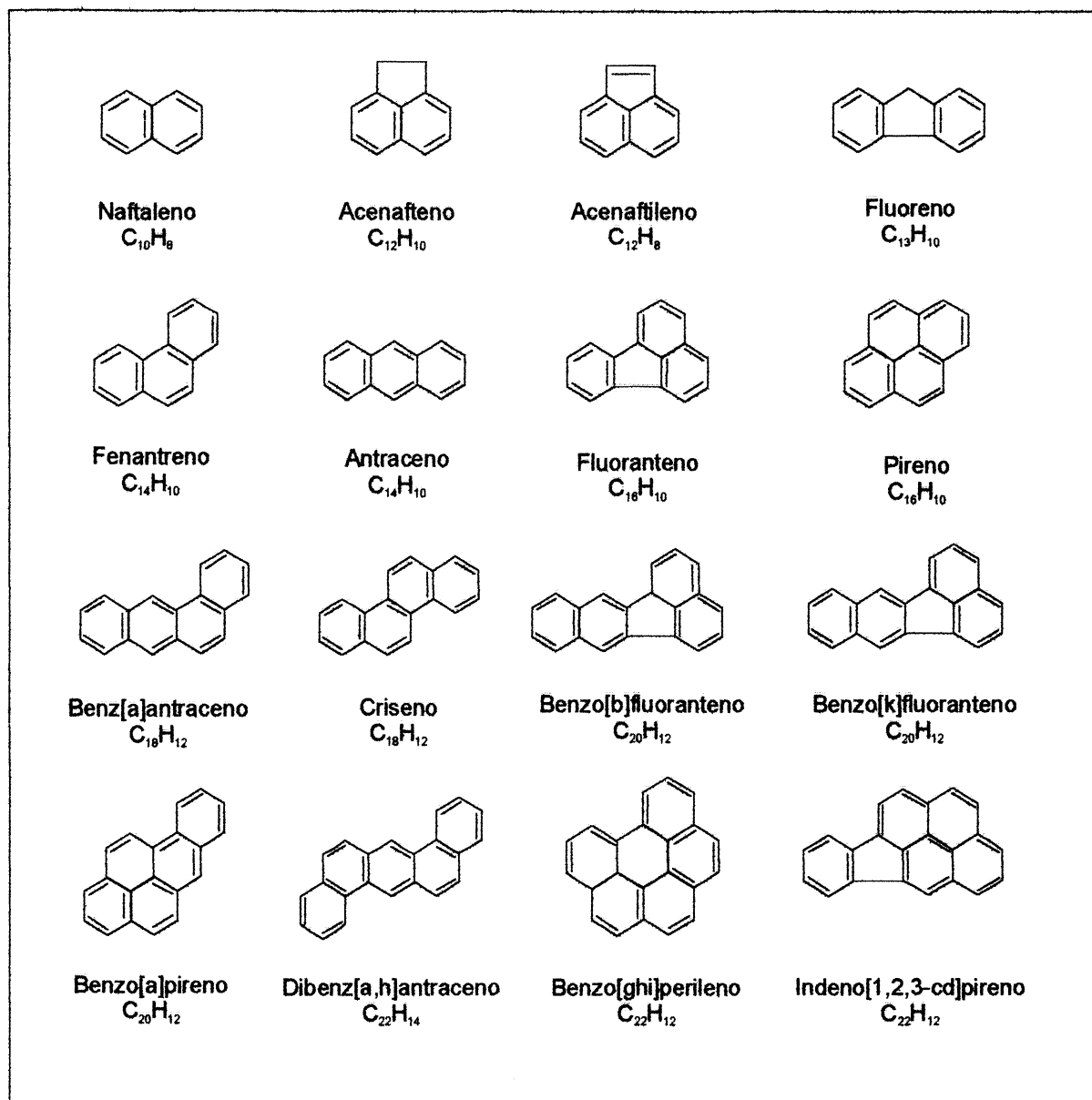


Fig. 1.4: PAHs considerados prioritarios por la USEPA

### 1.3.1. Origen de hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs) asociados a material particulado

Los PAHs se originan tanto en diversos procesos naturales como antrópicos, por combustión de la materia orgánica en ambientes poco oxigenados (Lee *et al.*, 1981; Bouchez *et al.*, 1995; IPCS, 1998; Baird 2001). El mecanismo de formación de PAHs durante la combustión es complejo, aunque aparentemente la mayor parte de ellos se forman por repolimerización de fragmentos de hidrocarburos que se generan durante el cracking, es decir, la rotura de varias partes de moléculas de combustible mayores. Los fragmentos que contienen dos átomos de carbono son particularmente abundantes después de ocurrir el cracking y la combustión parcial. La reacción de repolimerización ocurre parcialmente bajo condiciones de deficiencia de oxígeno; en general, la velocidad de formación de PAHs aumenta al disminuir la relación oxígeno-combustible. El gas natural comprimido (GNC) utilizado en la actualidad en algunos países, entre ellos la Argentina, presenta ciertas ventajas como combustible alternativo ya que al estar compuesto mayoritariamente de metano, su combustión produce muy pocos PAHs y partículas tipo hollín (Baird, 2001).

Los niveles de concentración en aire ambiente dependen de diversos procesos, entre los cuales pueden mencionarse: la calefacción, la densidad del tránsito vehicular y el tipo de motores utilizados mayoritariamente por las fuentes móviles, como así también el tipo de emisiones industriales. Los PAHs son compuestos semivolátiles que existen en la atmósfera en fase gaseosa o asociados a material particulado en suspensión, ya que en función de su baja presión de vapor, estos compuestos (especialmente aquellos con 5 o más anillos) rápidamente se adsorben a material particulado presente en procesos de combustión y en el aire (Cautreels y Van Cauwenberghe, 1978; Bidleman 1986; Ligoki y Pankow, 1989; WHO, 2002). Las concentraciones de PAHs presentes en el material particulado están correlacionadas con el tamaño de las partículas, encontrándose los mayores niveles en las de tipo respirable. Diversos estudios indican que alrededor del 95% del total de PAHs se asocia a partículas menores que 3  $\mu\text{m}$  de diámetro. Adicionalmente otros estudios encontraron que más del 85% del total de PAHs está asociado a partículas menores a 1,5  $\mu\text{m}$ , con un 50% de los mismos vinculado con partículas menores a 0,49  $\mu\text{m}$  (Baek *et al.*,<sup>a,b</sup> 1991; Venkataraman y Friedlander, 1994; Zheng y Fang, 2000).

### 1.3.2. Efectos sobre la salud y el ambiente

Es bien conocido que algunos PAHs son altamente mutagénicos y carcinogénicos. Alrededor del año 1775 se relacionó la exposición a este tipo de compuestos con la aparición de cáncer de escroto en deshollinadores. Existen casos documentados basados en estudios epidemiológicos de un incremento de la incidencia de cáncer de pulmón y riñón en trabajadores en hornos de coque (WHO, 2000a; Spiro y Stigliani, 2004).

El compuesto más estudiado y que se usa habitualmente como indicador de riesgo carcinogénico asociado a PAHs en aire es el benzo[a]pireno (BaP), comprobado como mutagénico y carcinogénico para animales, y además se conoce que contribuye al desarrollo de cáncer en células humanas (Lee *et al.*, 1981; IARC, 1983, 1987; WHO, 2000; Feilberg *et al.*, 2002). Sobre la base de diversos estudios epidemiológicos, la OMS considera el BaP como un índice de carcinogenicidad por PAHs (WHO, 1987; IPCS, 1998). En muchos estudios el riesgo asociado a la inhalación de PAHs carcinogénicos es estimado utilizando factores de equivalencia tóxicos, los cuales se desarrollaron comparando la carcinogenicidad individual de cada PAH con respecto a la carcinogenicidad del BaP (Nisbet y LaGoy, 1992; Petry *et al.*, 1996; Ludovici *et al.*, 2003).

Es importante denotar que los PAHs asociados a PM han sido estimados entre los contaminantes del aire con mayor riesgo carcinogénico (Feilberg *et al.*, 2002). Por otro lado, también es importante tener en cuenta que la exposición a PAHs individuales en el ambiente es muy limitada, usualmente encontramos mezclas complejas de PAHs y esas mezclas, generalmente asociadas con determinados procesos industriales y actividades específicas del área considerada, pueden tener efectos aditivos, sinérgicos o antagónicos con respecto a los compuestos individuales. Por lo tanto es importante analizar los efectos tóxicos y genotóxicos asociados a las muestras ambientales (Casarett y Doull's, 1996; Burkart *et al.*, 1998; Concawe, 1998).

Por otro lado es necesario considerar que los PAHs que se encuentran en aire ambiente pueden depositarse sobre granos, frutas y vegetales, siendo una fuente de exposición humana por medio de los alimentos, sumado a los PAHs que se producen durante los procesos de cocción utilizando madera o carbón (WHO, 2000a).

### 1.3.3. Niveles guía y unidad de riesgo

Como se mencionara anteriormente, algunos PAHs son considerados como mutagénicos y carcinogénicos, por lo tanto al referirse a valores guía para contaminantes cancerígenos en aire se tienen en cuenta dos tipos de evaluación: la cualitativa y la cuantitativa.

La cualitativa hace referencia al grado de probabilidad de que un contaminante sea un cancerígeno humano (Calabresse y Kenyon, 1991; OPS, 2000; WHO, 2000a). Los criterios de clasificación siguen generalmente el procedimiento de la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC). Entre los 16 PAHs prioritarios, la IARC ha clasificado en el Grupo 2A al benz[a]antraceno y al benzo[a]pireno; y en el Grupo 2B al naftaleno, dibenz[a,h]antraceno, benzo[b]fluoranteno, benzo[k]fluoranteno e indeno[1,2,3-cd]pireno (IARC, 1983, 1987, 2000). La USEPA clasifica como carcinogénicos a los compuestos considerados por la IARC y además incluye al criseno en el grupo B2.

La clasificación cuantitativa aplica el modelo de unidad de riesgo haciendo referencia a la tasa de cáncer que el contaminante puede causar para un determinado nivel de exposición. Este concepto permite comparar el potencial cancerígeno de diferentes contaminantes. Entre los niveles guía recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) encontramos una unidad de riesgo de  $8,7 \times 10^{-2} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$  para los PAHs, expresados como BaP (IPCS, 1998; OPS, 2000; WHO, 2000a).

En Argentina, la Ley Nacional de Residuos Peligrosos 24.051/92 Decreto Reglamentario 831/93 dentro del anexo II, tabla 10 titulada Niveles Guía de Calidad de Aire Ambiental especifica un nivel guía de calidad para PAHs de  $5 \text{ mg}/\text{m}^3$  para 30 minutos de exposición. En la legislación de la Provincia de Buenos Aires no existen referencias de niveles guía ni límites permitidos para PAHs. La Ley de Higiene y Seguridad 19587/72 Decreto Reglamentario 351/79 resolución 444/91 (modificatoria del anexo III) incluye como referencia que el BaP es una sustancia carcinogénica sospechosa para el hombre sin establecer ningún nivel guía.

## 1.4. EFECTOS GENOTÓXICOS ASOCIADOS A PAHs

### 1.4.1. Genotoxicidad

La genotoxicidad se define como el efecto tóxico, letal y heredable sobre el material genético nuclear o extranuclear en células germinales y somáticas (Ehrenberg *et al.*, 1973). En tal sentido la genética toxicológica es una disciplina que involucra diversos procesos tales como la mutagénesis, la carcinogénesis y la teratogénesis. Muchos carcinógenos son mutágenos, es decir, sustancias capaces de causar mutaciones, entendiéndose por mutación a todo cambio estable y heredable en la molécula de ADN (Dulout, 1993; Loechler, 2001). El proceso de mutagénesis no se debe únicamente a la exposición a compuestos químicos sintéticos, sino que es un proceso natural que se produce continuamente aún en individuos de sitios no urbanizados y/o industrializados. De hecho, la mutación forma parte de la selección natural y la evolución. Se ha descrito que en el organismo humano y otros organismos ocurren continuamente mutaciones espontáneas, las cuales son reparadas por los mecanismos celulares de reparación del ADN. Sin embargo, con el desarrollo industrial y las diversas actividades humanas se incorporó una gran cantidad de sustancias químicas al ambiente. Ello provocó una alteración en el equilibrio natural mutación-reparación de las células, por lo cual se incrementó la cantidad de mutaciones no reparadas y el potencial desarrollo de cáncer inducido por compuestos ambientales. En tal sentido la identificación de sustancias capaces de inducir mutaciones se ha convertido en un importante procedimiento utilizado en evaluaciones de riesgo para la salud. Algunas sustancias químicas que pueden inducir mutaciones, pueden dañar potencialmente a las células germinales produciendo problemas de fertilidad y mutaciones en futuras generaciones. Además es bien conocido que algunos compuestos químicos capaces de inducir mutaciones también pueden inducir cáncer, y este concepto ha despertado un gran interés sobre el tema, favoreciendo el desarrollo de programas que involucran ensayos de mutagenicidad. Es importante mencionar que los efectos mutagénicos y carcinogénicos de los contaminantes ambientales constituyen uno de los problemas más serios de la actualidad y una de las consecuencias más graves de la contaminación ambiental (Dulout, 1993; Casarett y Doull's, 1996; Connel, 1997; Loechler, 2001).

### 1.4.2. Mutaciones

Las mutaciones se pueden clasificar de manera general en (Dulout, 1993):

- **Microlesiones:** envuelven uno o unos pocos pares de bases dentro de un gen. También se llaman mutaciones génicas. Entre ellas se incluyen las transiciones, transversiones y corridas de puntuación.
- **Macrolesiones:** involucran estructuras supramoleculares del material genético y eventos que implican cambios importantes en la estructura de cromosomas. Entre ellas podemos citar las aberraciones cromosómicas estructurales, intercambio de cromátidas hermanas y cambios cromosómicos numéricos.

Las mutaciones pueden ser medidas *in vitro* en bacterias y otros sistemas celulares. Para tal fin, han sido desarrollados numerosos ensayos a corto plazo para la identificación de sustancias mutagénicas y potencialmente carcinogénicas. Adicionalmente, muchas líneas celulares y cepas bacterianas han sido genéticamente modificadas para incrementar su sensibilidad a determinados agentes mutagénicos. Entre estas pruebas, el ensayo de Ames (*Salmonella typhimurium*/microsoma) ha sido ampliamente aceptado como un ensayo bacteriano de corto plazo para identificar sustancias que pueden producir daño genético por mutaciones (Maron y Ames, 1983; USEPA, 1983; IARC, 1983, 1987; Casarett y Doull's, 1996; Zakrewski, 1991; Mortelmans y Zeiger, 2000). Se ha encontrado que la correlación entre sustancias mutagénicas detectadas por el ensayo de Ames y la carcinogenicidad de las mismas es relativamente alta, del orden del 80% (Maron y Ames, 1983; Loechler, 2001).

El hecho de contar con pruebas *in vitro* resulta ser muy importante y necesario para una evaluación preliminar de sustancias mutagénicas y potencialmente carcinogénicas debido a que estos ensayos son a corto plazo y de bajo costo en comparación con estudios en animales y evaluaciones epidemiológicas. Los ensayos con animales, si bien son muy útiles para predecir riesgo asociado al desarrollo de cáncer, pueden requerir hasta dos años y cientos de animales por prueba. Los estudios epidemiológicos requieren muchos años para alcanzar conclusiones debido a los largos períodos de latencia involucrados en el desarrollo del cáncer, y adicionalmente su costo es extremadamente elevado (Zakrewski, 1991).

### 1.4.3. Genotoxicidad de PAHs en aire ambiente

Teniendo en cuenta que muchos PAHs presentan efectos mutagénicos y/o carcinogénicos (IARC, 1983, 1987, 2002) y que pueden tener un potencial impacto sobre la salud humana, especialmente para los habitantes de zonas industrializadas y grandes áreas urbanas, se han venido priorizando estudios sobre genotoxicidad de PAHs asociados a material particulado en aire ambiente de zonas urbanas con alto tránsito vehicular y zonas industrializadas. Estos estudios han encontrado un mayor efecto genotóxico en extractos orgánicos proveniente de partículas finas, asociado principalmente a la presencia de PAHs y sus derivados (Monarca *et al.*, 1997; Hsiao *et al.*, 2000; Zwozdiak *et al.*, 2001).

La genotoxicidad de los PAHs se activa mediante conversiones metabólicas, proceso denominado biotransformación. Este proceso comprende una serie de caminos metabólicos por medio de los cuales los tejidos incrementan la polaridad de un tóxico, convirtiendo a los compuestos lipofílicos en metabolitos hidrofílicos. Este es el mecanismo más común que usan los organismos para eliminar los tóxicos ambientales. En algunos casos, la biotransformación resulta en la producción de un metabolito que es más tóxico que el compuesto original; a este proceso se le denomina bioactivación, y es especialmente importante para el caso de ciertos compuestos genotóxicos. En los mamíferos los sistemas enzimáticos que catalizan la biotransformación de los xenobióticos están localizados mayoritariamente en el hígado; particularmente el citocromo P-450 cumple un rol fundamental en este proceso. Los PAHs son metabolizados por este sistema, por lo tanto necesitan ser bioactivados para ejercer su efecto genotóxico. El metabolismo del benzo[a]pireno se ha estudiado en detalle y considerado como modelo. Este compuesto tiene una región llamada región bahía -“bay-region”-, entre un ciclo benceno angular y el resto de la molécula, que muestra una alta reactividad química. El paso inicial en el metabolismo del BaP es la formación de un epóxido (Figura 1.5). Este es transformado en un diol que sufre una segunda epoxidación, formando el (+)-anti-BP-7,8-diol-9,10-epóxido ((+)-anti-BPDE), que es considerado el principal carcinógeno capaz de formar aductos<sup>2</sup> estables con el N2 de las bases nitrogenadas guanina y el N6 de las adeninas (Penning, 1993). Estos aductos causan cambios estructurales en el ADN, provocando una alteración en las funciones normales de la célula, como la transcripción y replicación.

---

<sup>2</sup> Un aducto corresponde a bases de ADN con un grupo químico adicional, no asociado con la fisiología normal  
L. Massolo - CIMA-2004



Además, si estos daños no se reparan los nucleótidos dañados pueden provocar mutaciones durante la replicación (Peña *et al*, 2001).

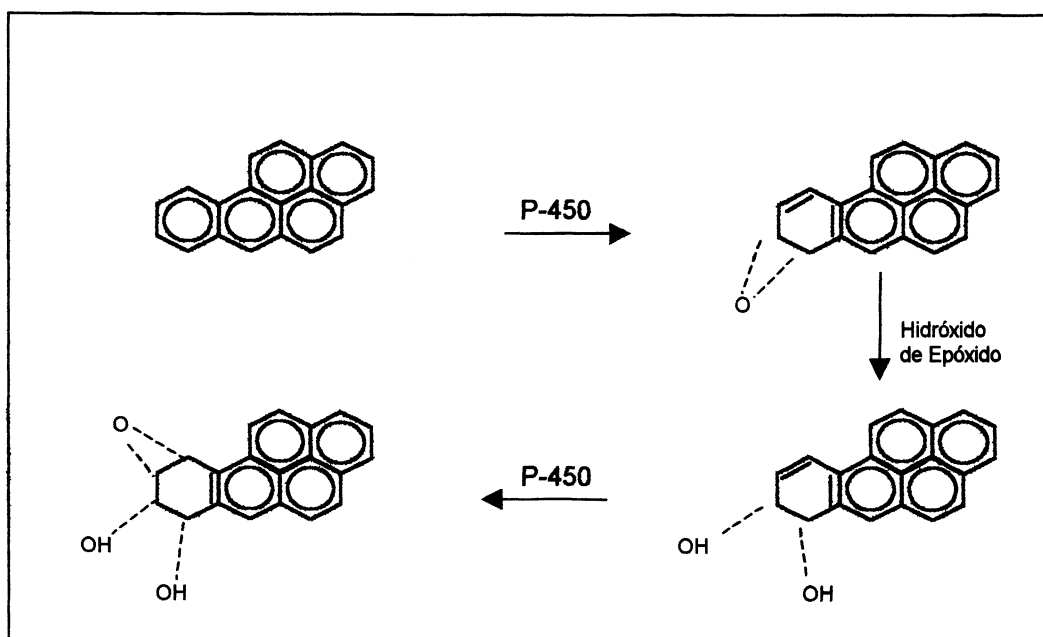


Fig. 1.5: Activación metabólica del benzo[a]pireno

## 1.5. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES (VOCs)

Los compuestos orgánicos volátiles comprenden un grupo importante de sustancias presentes en la troposfera, originadas en diversos procesos, tanto naturales como antrópicos. De manera general, quedan comprendidos diferentes tipos de compuestos orgánicos volátiles, básicamente los hidrocarburos y sus derivados, incluyendo diversas familias de compuestos alifáticos (saturados e insaturados) y aromáticos. Entre éstos podemos encontrar n-alcenos, cicloalcenos, terpenos, hidrocarburos aromáticos y compuestos halogenados. Existen diversas definiciones operativas de VOCs en función de su relevancia ya sea como precursores en procesos ambientales tales como el 'smog' fotoquímico, o bien en función de sus propiedades fisicoquímicas. En el primer caso, VOCs queda definido por exclusión como aquellos compuestos del carbono que no son el monóxido de carbono, el dióxido de carbono, el ácido carbónico, los carburos metálicos o los carbonatos, que participan en reacciones fotoquímicas atmosféricas; anexando un listado exhaustivo del conjunto de compuestos con reactividad fotoquímica (CFR, 2004). Otras definiciones, centradas en los puntos de ebullición (PE) de

los compuestos orgánicos, consideran que un VOC es aquella sustancia con PE entre 50 y 150 °C (Franck *et al.*, 1994), o entre -10 y 120 °C (USEPA, 1999), o entre 50 y 260 °C, excluyendo a los pesticidas (WHO, 1989). Desde el punto de vista de su relevancia para la salud ambiental, se destaca la contaminación por VOCs diferenciándola según el grado de confinamiento del aire, como intramuros y extramuros, reconociéndose perfiles característicos de compuestos de acuerdo al tipo de fuente y su posicionamiento relativo. Además, es importante denotar que los VOCs representan hasta un 16% del total de los contaminantes atmosféricos más frecuentes (Herbarth *et al.*, 1997; Ronco *et al.*, 1998).

### 1.5.1. Fuentes extramuros e intramuros

Las principales fuentes de VOCs en ambientes extramuros están constituidas por las emisiones industriales y vehiculares (Perry *et al.*, 1995; Chan *et al.*, 2002; Ho *et al.*, 2002; Cetin *et al.*, 2003). La industria petroquímica y las refinerías de petróleo están asociadas con la emisión de una importante variedad de compuestos orgánicos volátiles a la atmósfera, principalmente originados en los procesos de refinamiento, combustión, transporte, almacenamiento y en las zonas de residuos (CFR, 1995; CFR, 2002; Watson *et al.*, 2001; Cetin *et al.*, 2003). Se estima que el 35% del total de VOCs es debido a la emisión por vehículos, a nivel de combustión y pérdidas por evaporación del tanque de combustible (Perry *et al.*, 1995; Watson *et al.*, 2001). Estas emisiones dependen de la composición y del tipo de combustible usado. Por ejemplo las naftas sin plomo contienen cantidades significativas de BTX (benceno, tolueno, xileno) para aumentar el octanaje (Perry *et al.*, 1995; Baird, 2001). El GNC utilizado en la actualidad en nuestro país, presenta ciertas ventajas como combustible alternativo ya que al estar compuesto mayoritariamente de metano no genera emisión de BTX (Baird, 2001).

Los VOCs intramuros provienen en su mayoría de procesos de combustión (calefacción, cocción de alimentos), humo de cigarrillo, muebles, alfombras, papel para pared, pinturas sintéticas, barnices, solventes y adhesivos, productos de limpieza, tintas, libros, diarios y revistas, insecticidas, repelentes y cosméticos (Bouhamra *et al.*, 1995; Jones *et al.*, 1999; Pandit *et al.*, 2001; Watson *et al.*, 2001; Guo, *et al.* 2003b; Son *et al.*, 2003). La concentración de los mismos está determinada principalmente por las actividades humanas desarrolladas en el lugar, el tipo de vivienda, infiltración de aire exterior y frecuencia de ventilación (Wolkoff *et al.*, 2000; Son *et al.*, 2003).

### 1.5.2. Efectos sobre el ambiente y la salud

Es importante señalar que muchos de estos compuestos son precursores de la formación de contaminantes secundarios de la atmósfera, contribuyendo al 'smog' fotoquímico mediante una serie de reacciones químicas complejas que ocurren generalmente a través de radicales libres. El 'smog' fotoquímico está determinado por concentraciones elevadas de óxidos de nitrógeno, ozono, aldehídos, peroxinitratos y otros contaminantes secundarios, todos ellos de elevado poder oxidante (alta reactividad química) y por lo tanto de un carácter altamente nocivo. Los VOCs precursores de este 'smog' intervienen en el ciclo fotolítico de los óxidos de nitrógeno, originando sustancias orgánicas tales como aldehídos, o generando nuevos radicales libres, capaces de iniciar toda una serie de reacciones que conducen a la formación de peroxinitratos, aumento del ozono troposférico y del dióxido de nitrógeno. El 'smog' fotoquímico es particularmente importante en áreas urbanas con alto tránsito vehicular o industriales donde la emisión de VOCs y NO<sub>2</sub> es significativa, adquiriendo especial gravedad cuando, debido a las condiciones climatológicas, la dispersión de los contaminantes es baja (Godish, 1991; Schmitz *et al.*, 2000; Barrenetxea *et al.*, 2003).

Por otro lado, debido a la importante relación de los VOCs con la inducción de diversos tipos de patologías en humanos, es fundamental, además de conocer el origen de las cargas contaminantes en aire, establecer la relación de concentración intra-extramuros, a fin de caracterizar los riesgos asociados por exposición a estos compuestos en distintos ambientes. De manera general las concentraciones de estos contaminantes en lugares intramuros son a menudo mayores que las encontradas extramuros. Además los VOCs intramuros son quienes contribuyen principalmente a la exposición personal dado que la mayoría de las personas ocupan más del 80% de su tiempo en ambientes interiores, se trate de su hogar o su ambiente laboral (Rehwagen *et al.*, 2003; Son *et al.*, 2003).

La exposición a VOCs puede producir efectos agudos y crónicos sobre la salud. Los efectos más importantes que se han asociado a VOCs son problemas respiratorios agudos y crónicos (asma, dificultades en la respiración, efectos neurotóxicos, cáncer de pulmón, irritación de ojos y garganta) (Godish, 1991; Ronco *et al.*, 1998; Guo *et al.*, 2004). Los síntomas neurológicos clásicos son fatiga, dolor de cabeza, dificultades en la respiración, náuseas y depresión (Godish, 1991; Guo *et al.*, 2004). Entre los VOCs que afectan al sistema nervioso central (SNC) podemos citar al hexano, estireno, tolueno y xilenos (WHO, 2000a,b;

Pandit *et al.*, 2001). También se ha asociado la exposición a VOCs con alergias y eczemas (Herbarth *et al.*, 1998). Es importante destacar que algunos compuestos tales como benceno y tricloroetileno son cancerígenos comprobados. Se ha encontrado que el benceno está asociado con cambios hematológicos y el desarrollo de leucemias (Perry y Gee, 1995; Godish, 1991; WHO, 2000a; Lee *et al.*, 2002). Otros efectos asociados al tricloroetileno están relacionados con hepatotoxicidad y afecciones en el SNC (WHO, 2000a).

### 1.5.3. Niveles guía, límites aconsejables, unidad de riesgo

Algunos VOCs son considerados compuestos carcinogénicos; por lo tanto al referirse a valores guía la OMS tiene en cuenta las evaluaciones cualitativa y cuantitativa anteriormente mencionadas. La cualitativa, teniendo en cuenta los criterios de clasificación de la IARC, clasifica entre estos compuestos al benceno en el grupo 1, al tricloroetileno y tetracloroetileno en el grupo 2A (IARC, 1987, 1995). La clasificación cuantitativa considera una unidad de riesgo en el intervalo de  $4,4-7,5 \times 10^{-6} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$  para el benceno y  $4,3 \times 10^{-7} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$  para tricloroetileno (IPCS, 1998; OPS, 2000; WHO, 2000a).

Para otros VOCs no carcinogénicos se encuentran valores guía especificando el tiempo de exposición. Así por ejemplo la OMS recomienda para el etilbenceno un nivel guía de  $22.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  durante un año de exposición, para el tolueno  $260 \mu\text{g}/\text{m}^3$  durante una semana de exposición y para los xilenos  $4.800 \mu\text{g}/\text{m}^3$  durante 24 horas de exposición.

En Argentina, la Provincia de Buenos Aires en la Ley N° 5.965 de protección de las fuentes de provisión, los cuerpos receptores de agua y la atmósfera, Decreto Reglamentario N° 3.395/96, Anexo III, Tabla B referida a niveles guía de calidad de aire ambiente para contaminantes específicos, presenta valores límites de referencia para ciertos compuestos aromáticos. Por ejemplo, considera un valor límite para el benceno de  $0,096 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y para el estireno  $26,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , ambos durante un año de exposición; mientras que para el tolueno considera  $1.400 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y para los xilenos  $5.200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  durante 8 horas de exposición.

## 1.6. EXPOSICIÓN A CONTAMINANTES AMBIENTALES Y SU IMPACTO SOBRE LA SALUD

El impacto de la exposición a contaminantes ambientales sobre los seres humanos ha sido ampliamente investigado, encontrándose que muchos problemas de salud están relacionados con el nivel de la contaminación ambiental y el tiempo de exposición. La información sobre el nivel de exposición humana a los contaminantes ambientales proporciona un nexo importante entre las fuentes de contaminantes, su presencia en el medio y los posibles efectos para la salud humana. En tal sentido, la exposición a una determinada sustancia puede derivar en una secuencia de eventos con potenciales consecuencias para la salud. La representación simplificada (Figura 1.6) de la cadena de eventos que intervienen entre las emisiones de los tóxicos al ambiente y el potencial desarrollo de una enfermedad o disfunción fisiológica en la población humana es conocida como el “paradigma de salud ambiental”. Esta representación aporta los conceptos básicos para entender y evaluar los procesos principales que intervienen y caracterizan el riesgo para la salud de origen ambiental (Sexton *et al.*, 1993; IPCS, 2000).

La presencia de un agente químico en el ambiente, su transporte, transformación y destino, son eventos críticos para entender cómo y por qué ocurre la exposición y su contacto final con el ser humano. A continuación se describen brevemente cada uno de los eventos más destacados (Sexton, 1995; Casarett y Doull's, 1996; IPCS, 2000, Peña *et al.*, 2001):

- **Fuentes de emisión:** son los puntos o áreas de origen de la emisión de un determinado agente ambiental. Pueden ser primarias (estacionarias o móviles, antropogénicas o no antropogénicas) o secundarias (reacciones químicas como precursoras de nuevos contaminantes, condensación de vapores en partículas).
- **Rutas ambientales:** transporte, distribución y destino de los contaminantes en el ambiente hasta llegar al contacto con la persona. Estas rutas quedan definidas tanto por los parámetros geofísicos del ambiente a considerar, como por las propiedades fisicoquímicas del contaminante.
- **Concentración ambiental:** cantidad (masa) de sustancia o contaminante presente en el medio (aire, suelo, agua, etc.) por unidad de volumen o masa.

- **Concentración micro-ambiental:** cantidad (masa) de sustancia o contaminante presente en el micro-ambiente por unidad de volumen o masa. Se entiende por micro-ambiente a una zona acotada del ambiente donde las medidas de la concentración de la sustancia en un tiempo que sea representativo, pueden considerarse homogéneas con respecto a las concentraciones de las sustancias de interés.
- **Dosis de exposición:** está definida por la cantidad de sustancia a la que se expone el organismo y el tiempo durante el que estuvo expuesto. La dosis determina el tipo y magnitud de la respuesta biológica y éste es un concepto central de la toxicología. A su vez podemos distinguir los conceptos de **dosis interna** que es la cantidad de sustancia que penetra en el organismo y la **dosis efectiva** que es la cantidad de sustancia biológicamente efectiva que llega al sitio de acción del tóxico.
- **Efecto biológico:** respuesta medible de la dosis efectiva en una molécula, célula o tejido. Muchas veces también se utiliza la medición de efectos biológicos en otros organismos (incluso bacterias u organismos unicelulares) como medida indirecta de efectos específicos de contaminantes.
- **Efecto adverso:** efecto biológico que causa cambios en la morfología, fisiología, crecimiento, desarrollo o calidad de vida. El grado de efecto adverso o daño es una función de la dosis y de las condiciones de exposición (vía de ingreso, duración y frecuencia de las exposiciones, tasa de contacto con el medio contaminado, etc.).

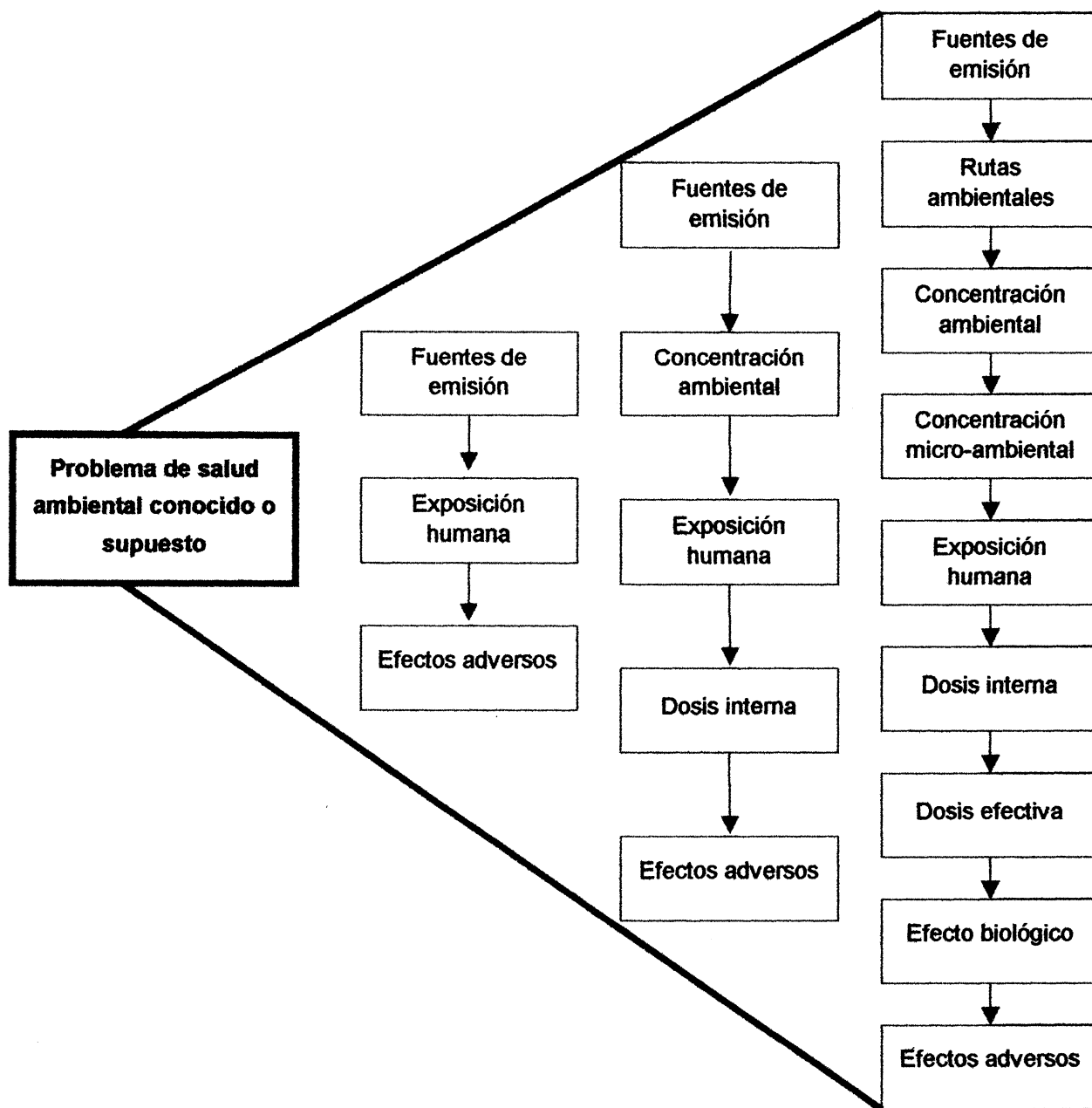


Fig. 1.6: Paradigma de salud ambiental tomado de Sexton et al., 1993

La evaluación del riesgo comprende el análisis de la exposición a compuestos químicos, los efectos adversos que puedan haber ocurrido o que puedan ocurrir en un futuro sobre la salud y la predicción de posibles consecuencias debidas a exposiciones futuras. Para estimar el riesgo que significa la presencia de un tóxico en un sitio determinado es necesario conocer su toxicidad, la cantidad de tóxico que entra en contacto con el organismo o población en estudio y las condiciones en las que se da este contacto. Conociendo la magnitud de las exposiciones que se han determinado como posibles y la toxicidad de las sustancias involucradas, se estiman los riesgos para la salud a los que se enfrentan las diferentes poblaciones. Se evalúan los riesgos producidos por cada tóxico en lo individual, bien sea que llegue a los individuos expuestos por una ruta o por varias. Se evalúan también los riesgos que representan las exposiciones a las mezclas de las distintas sustancias presentes.

En la Figura 1.7 se presenta un diagrama que ilustra la asociación entre la investigación en salud relacionada tanto con el medio ambiente como con la evaluación de riesgo. Es de destacar que la evaluación de riesgo es una herramienta muy importante para aportar bases científicas y técnicas para la toma final de decisiones en organismos gubernamentales responsables de la salud pública y la protección del medio ambiente (Sexton *et al.*, 1993; Casarett y Doull's, 1996; IPCS, 2000).



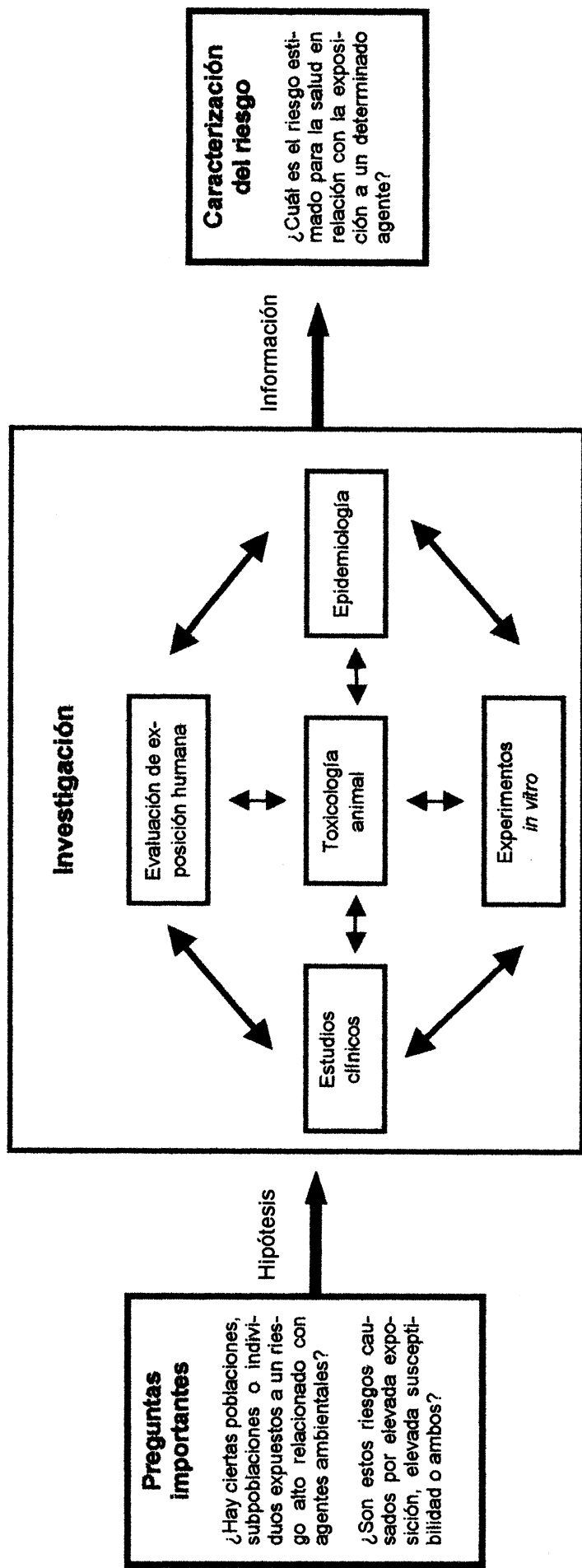


Fig.1.7: Caracterización del riesgo para la salud (adaptada de Sexton et al., 1993; IPCS, 2000)

## 1.7. EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN A CONTAMINANTES AMBIENTALES

Las causas de algunas enfermedades pueden depender de un factor único (genético, exposición a un tóxico determinado, agente biológico), pero es mucho más frecuente que dependa de la interacción entre estos factores y las variables ambientales (temperatura, humedad, presión, vientos, etc.). En este contexto, el ambiente se define en su sentido más amplio e incluye cualquier factor biológico, químico, físico, psicológico o de otro tipo que pueda afectar la salud. El comportamiento y el modo de vida tienen una gran importancia a este respecto y las herramientas epidemiológicas se utilizan de manera creciente para estudiar tanto sus influencias como la intervención preventiva encaminada a promoción del cuidado de la salud. En tal sentido la epidemiología ambiental permite encontrar correlaciones de carácter estadístico entre la exposición ambiental a determinados contaminantes y los efectos adversos sobre la salud presumiblemente causados por tal situación. Es una herramienta científica que posibilita detectar efectos sobre la salud de la población inducidos por la contaminación ambiental, y puede ofrecer la oportunidad de relacionar una exposición actual con un posterior efecto adverso (Beaglehole *et al.*, 1999, Herbarth *et al.*, 1999; IPCS 2000).

Las particularidades de un determinado análisis de la exposición dependerán del uso o usos previstos. Por ejemplo, los aspectos de la exposición que interesa examinar, la naturaleza de la información requerida y la calidad de los datos dependerán de si la evaluación de la exposición se inscribe en el contexto de una investigación epidemiológica, de una evaluación de riesgo, de la gestión de riesgos o de un análisis de situación y tendencias.

Los métodos de evaluación de la exposición pueden ser usados para identificar y definir grupos de baja o alta exposición. Ellos también pueden ser utilizados para proyectar más precisamente datos sobre exposición obtenidos a partir de información proveniente tanto del análisis de los contaminantes ambientales, como de cuestionarios personales. En particular, para establecer un efecto sobre la salud a largo plazo, los métodos epidemiológicos son los predominantes. No obstante, los factores que contribuyen al desarrollo de enfermedades son numerosos y frecuentemente es difícil encontrar un grupo de comparación control como “no-expuestos”. Consecuentemente la aplicación de programas de epidemiología ambiental se considera un gran desafío epidemiológico (IPCS, 2000).

Para determinar las consecuencias sobre la salud relacionadas a la contaminación ambiental, tres aspectos vinculados con el contacto humano a los contaminantes del medio son importantes: magnitud, duración y frecuencia. Para caracterizar estos aspectos y hacer una estimación cuantitativa de la exposición se pueden emplear métodos directos o indirectos, siendo ambos independientes y complementarios. En tal sentido, es útil el uso de múltiples evaluaciones (herramientas) para verificar la robustez de los resultados. Entre otros factores, la elección del método a usar va a depender del objetivo a evaluar y de la disponibilidad de métodos, medidas o modelos adecuados. Dentro de los métodos directos e indirectos pueden considerarse distintos tipos (IPCS, 2000):

- 1- Métodos directos:**
  - mediciones en el punto de contacto
  - mediciones de marcadores biológicos.
- 2- Métodos indirectos:**
  - monitoreo ambiental
  - modelado
  - cuestionarios

1- Las medidas directas de exposición incluyen cuantificación de contaminantes en tejidos biológicos, donde los mismos producen efectos (marcadores biológicos) y muestras recolectadas en la interfase entre el medio de exposición y el receptor humano (monitoreadores personales). Los marcadores biológicos, al medir dosis interna, son una herramienta predictiva importante para evaluar efectos sobre la salud y resultan ser útiles en estudios de evaluación de riesgo (IPCS, 1993). La principal limitación en el uso de monitoreadores personales para evaluación de exposición es la disponibilidad de muestras que sean fáciles de operar, libres de interferencias, que el tiempo de toma de muestra sea representativo y que se logre una buena relación costo-efectividad. En general los estudios de monitoreo personal son complejos, caros, requieren tiempo y labor intensiva (Wallace *et. al.*, 1982).

2- Dentro del monitoreo ambiental un caso de especial interés, en referencia a la contaminación del aire, es el monitoreo micro-ambiental. Los micro-ambientes, de potencial importancia en el caso de la contaminación del aire, se pueden clasificar en extramuros (urbano, urbano-industrial, suburbano, rural), intramuros-ocupacional (industrial, no industrial), intra-muros no ocupacional (residencial, comercial, público, institucional), intramuros-transporte (privado, público). Dada la diversidad de micro-ambientes donde las personas realizan sus actividades diarias, resultaría muy costoso y de gran dificultad realizar un

muestreo de los contaminantes de interés en cada uno de ellos. Por lo tanto, su utilidad depende de la identificación y el muestreo de micro-ambientes con un potencial mayor de influencia sobre la salud humana.

Un modelo de exposición es una construcción lógica o empírica que permite estimar a partir de datos disponibles y confiables, parámetros de exposición individual o poblacional. El desafío es desarrollar modelos de exposición que permitan la máxima extrapolación con mediciones y costos mínimos. Estos modelos necesitan reflejar las estructuras fisicoquímicas de los ambientes y las actividades humanas de interés desarrolladas en ellos para la evaluación de la exposición.

Los cuestionarios proveen información cualitativa y frecuentemente retrospectiva. Pueden ser utilizados para categorizar la respuesta dentro de dos o más grupos con respecto a la potencial exposición y son comúnmente usados para este propósito en estudios epidemiológicos. En tal sentido, es requerido un conocimiento previo de los determinantes de exposición de interés para un desarrollo efectivo de cuestionarios relevantes para la evaluación de la misma. Frecuentemente, la información necesaria para el desarrollo de los cuestionarios es tomada de estudios previos que utilizan medidas de parámetros de calidad ambiental, modelos o monitoreo biológico para cuantificar exposición (Herbarth *et al.*, 1999; IPCS, 2000).

## **2. HIPÓTESIS, OBJETIVOS Y DISEÑO EXPERIMENTAL**

### **2.1. HIPÓTESIS DE TRABAJO**

Los contaminantes en el aire ambiente (en particular, en lo que se refiere a contenido de material particulado en suspensión, compuestos orgánicos semivolátiles y compuestos orgánicos volátiles) de la zona de La Plata y alrededores podrían estar asociados al desarrollo de enfermedades respiratorias, no respiratorias y alergias en la población expuesta en dicha región.

Algunos problemas de salud en la población de la región podrían estar relacionados con la composición cuali-cuantitativa de dichos compuestos y mezclas de los mismos en el aire, su potencial (geno)toxicidad y características del material particulado en suspensión.

### **2.2. OBJETIVOS**

- Realizar un relevamiento sistemático de parámetros de calidad de aire en distintos sitios de La Plata y alrededores, incluyendo determinación del contenido de material particulado en suspensión, diferenciando las fracciones inhalables -PM10- y respirables -PM2,5-, en sitios de influencia industrial y urbana, acompañados por una caracterización química de SVOCs asociada a material particulado en suspensión, y de los VOCs en fase gaseosa.
- Evaluar la potencial genotoxicidad de los compuestos orgánicos semivolátiles.
- Correlacionar efectos en humanos (niños de 3 a 5 años) a partir de la evaluación de la exposición haciendo uso de métodos epidemiológicos (encuestas), en los sitios estudiados de La Plata y sus alrededores.

## **2.3. DISEÑO EXPERIMENTAL**

En función de la hipótesis y objetivos planteados se realizó el diseño experimental tendiente a desarrollar e implementar un enfoque integrado para la evaluación del impacto de la contaminación del aire en ambientes urbano-industriales en el Gran La Plata (Figura 2.1). En el mismo se tienen en cuenta dos ejes principales: a) la caracterización fisicoquímica de contaminantes de importancia para la salud y b) la evaluación del impacto de los mismos.

Como parte del trabajo se realizó un relevamiento sistemático de parámetros de calidad de aire en distintos sitios de La Plata y alrededores, incluyendo la determinación del contenido de material particulado en suspensión, diferenciando las fracciones inhalables -PM10- y respirables -PM2.5-, en sitios con influencia industrial y urbana; además se analizó sitios control con mínima o baja influencia antrópica, acompañados por una caracterización química de SVOCs asociados a material particulado en suspensión, y de los VOCs en fase gaseosa. Estos últimos, tanto en aire ambiente como intramuros. Para la evaluación del impacto de los contaminantes se realizaron ensayos biológicos con el fin de evaluar por medio del ensayo de Ames la mutagenicidad de los extractos orgánicos del material particulado en suspensión y correlacionar los resultados con el tamaño de las partículas. Por otra parte, se trabajó con un sondeo preliminar mediante cuestionarios tendiente a evaluar factores de riesgo en humanos (niños de 3 a 5 años), hábitos de la familia, características de la vivienda, zona en la que habitan, ello relacionado con la exposición a material particulado en suspensión, SVOCs asociados y VOCs intra/extra muros.

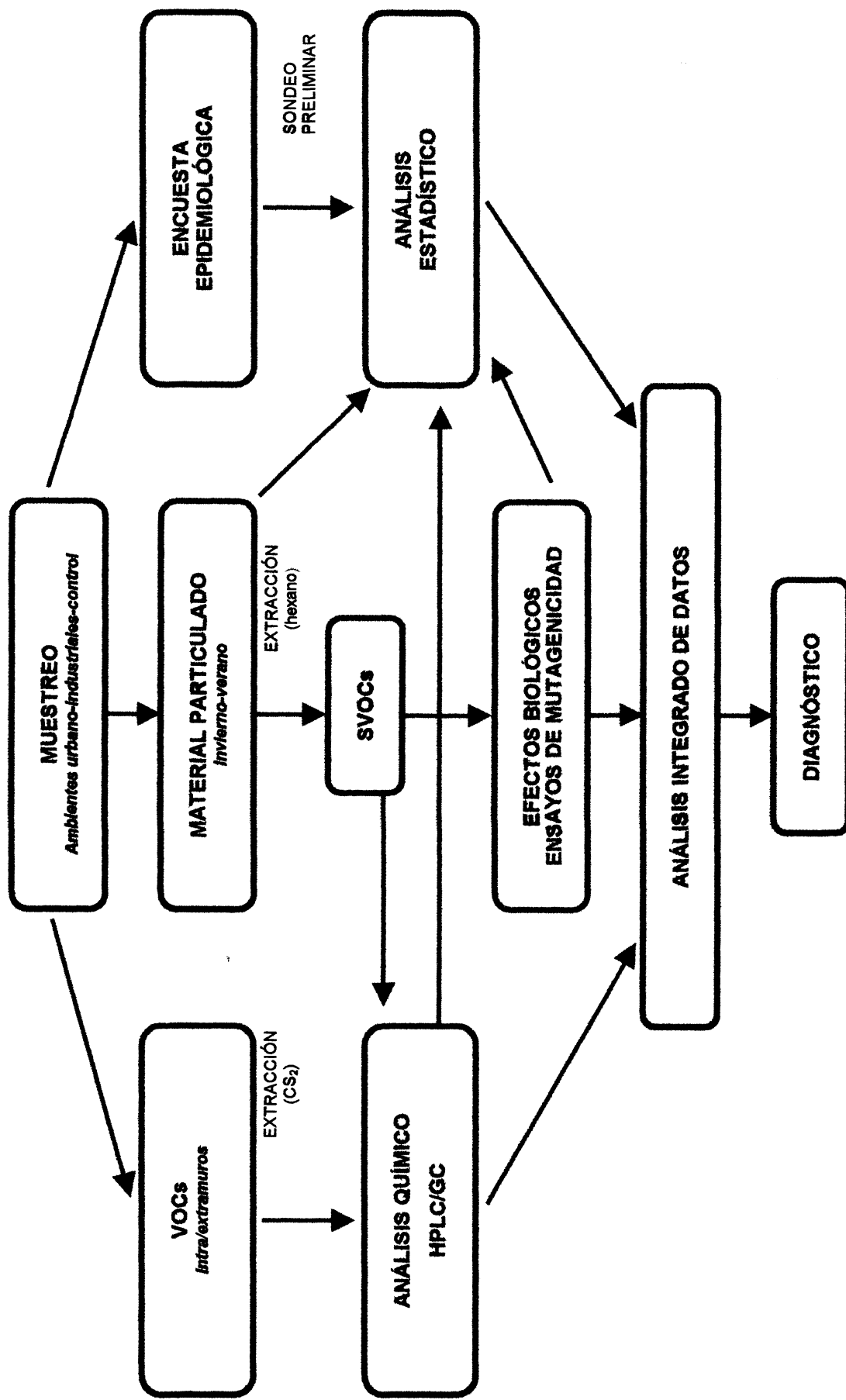


Fig.2.1: Diagrama de flujo para la evaluación del impacto de la contaminación del aire en ambientes urbano-industriales del Gran La Plata



### 3. CARACTERIZACION DE LA ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio seleccionada corresponde a La Plata y alrededores, ubicada en el sector NE de la Provincia de Buenos Aires, abarcando los partidos de La Plata, Berisso y Ensenada (Figura 3.1).



*Fig. 3.1: Mapa satelital de la región de La Plata y alrededores (tomado de Instituto Geográfico Militar, 1999)*



### **3.1. CARACTERÍSTICAS DEL MEDIO FÍSICO-NATURAL**

Desde el punto de vista geomorfológico esta región es de conformación llana, con pendientes suaves hacia el norte, pudiéndose diferenciar dos áreas: la Planicie Costera de pendientes mínimas y la Llanura Alta (Fidalgo y Martínez, 1983). La Planicie Costera, se localiza paralela a la costa del Río de la Plata en un ancho de aproximadamente 10 km, variando su cota de 0 m a 5 m y abarcando la mayor parte de la superficie alturas menores a los 2,5 m sobre el nivel del mar. La Llanura Alta (zona interior) tiene cotas que van de los 5 m a los 30 m sobre el nivel del mar, presentando leves ondulaciones y lomadas planas características de la formación sedimentaria pampeana (Figura 3.2).

### **3.2. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DE LA REGIÓN**

Las precipitaciones y la temperatura son las variables que ejercen mayor influencia en las características climáticas de una región. Otras son presión atmosférica, humedad relativa, dirección y velocidad del viento, radiación. El clima de la región es templado y húmedo con una temperatura media anual de 16 °C y temperaturas máximas y mínimas promedio de 21,3 y 12,4 °C respectivamente. El promedio de lluvias anuales es de 1.000 mm. La humedad relativa ambiente media anual es de 78% con máximos medios de 95,2% y mínimos medios de 55,8%. La intensidad media anual del viento es de 12 km/h predominando el proveniente del NE y NO. Las mayores intensidades se dan en octubre, diciembre y enero, con valores medios de 15 a 17 km/h. En la Tabla 1.1 se observan parámetros de temperatura y humedad promedio para la zona como así también los vientos predominantes para los períodos invernales y estivales correspondiente a mediciones realizadas durante 10 años<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Datos obtenidos del Observatorio Astronómico, Facultad de Astronomía y Geofísica, Universidad Nacional de La Plata, ubicado en una zona parquizada/arbolada.

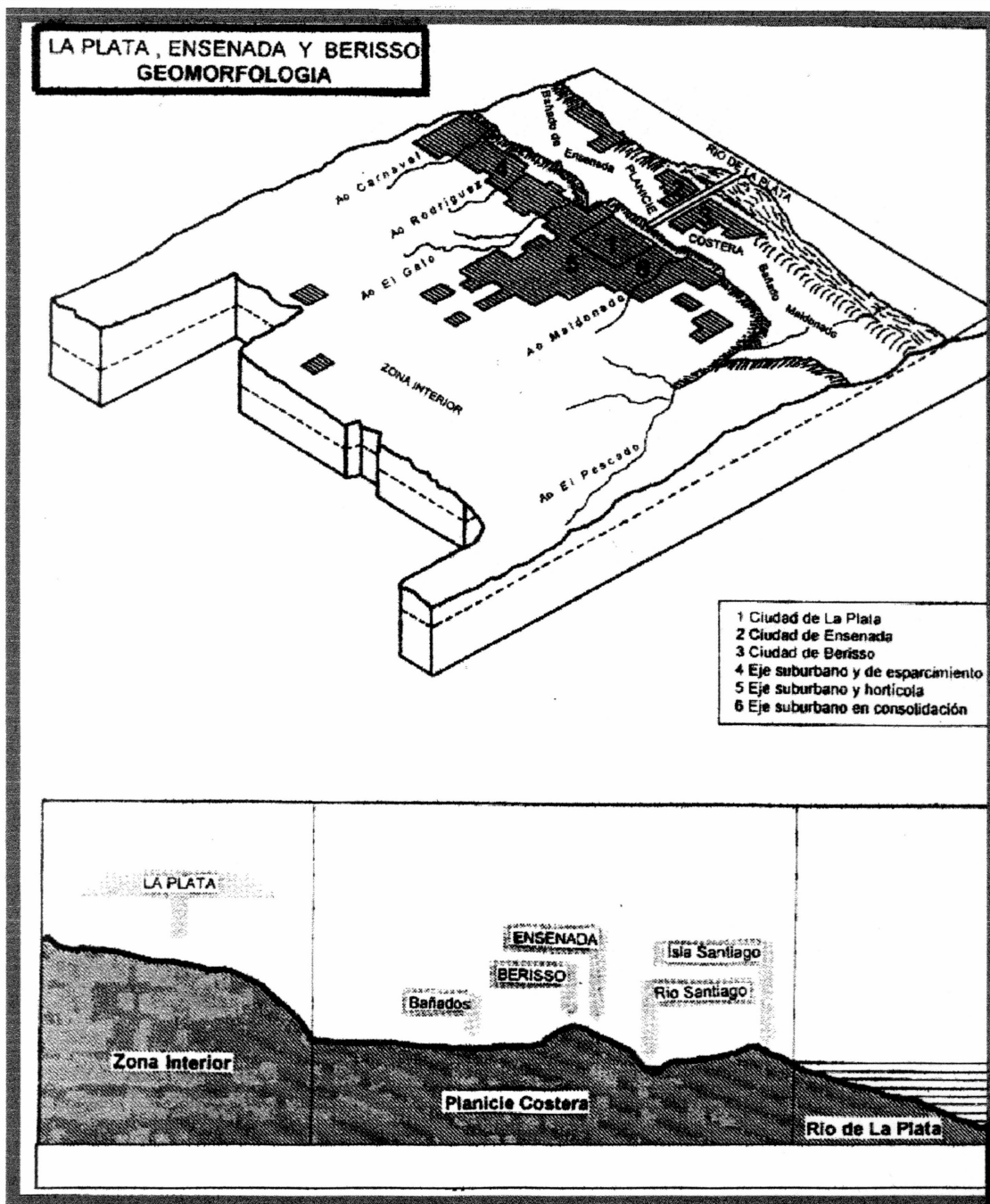
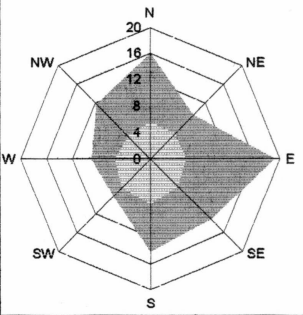
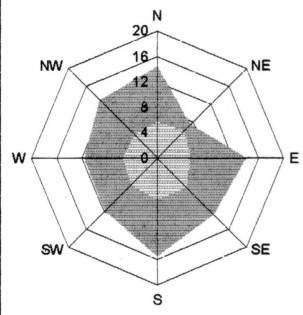


Fig. 3.2.: Características geomorfológicas de la región de La Plata y alrededores

Tabla 3.1: Parámetros meteorológicos promedio para la zona en estudio

	<b>Temperatura Promedio</b> (Max - Min) [°C]	<b>Presión Promedio</b> [hPa]	<b>Humedad Promedio</b> (Max- Min) [%]	<b>Lluvias Promedio</b> [mm] (Días de lluvia)	<b>Rosa de los vientos</b> Gris oscuro: frecuencia vientos [%] Gris claro: velocidad ½ vientos [Km/h] (*)
<b>Estación estival</b> (Enero, Febrero y Marzo)	21,9 (27,4 – 17,1)	1011,87	75,9 (95,6–50,7)	335,7 (25,3)	
<b>Estación invernal</b> (Julio, Agosto y Setiembre)	11,6 (16,6 – 7,4)	1018,9	80,4 (96,4–58,3)	176,1 (21,4)	

(\*) La velocidad de los vientos fue dividida por 2 para una mejor interpretación de los datos. Elaborado usando la media mensual con datos obtenidos del Observatorio Astronómico

### 3.3. ASPECTOS DEMOGRÁFICOS

El sector comprendido por los partidos de La Plata (926 km<sup>2</sup>), Berisso (135 km<sup>2</sup>) y Ensenada (101 km<sup>2</sup>), tiene una población de aproximadamente 700.000 habitantes. El último Censo Nacional de Población y Vivienda (CNPV) indica 575.000 habitantes para La Plata, 51.448 habitantes para Ensenada y 80.092 habitantes para Berisso. La densidad de población en habitantes por km<sup>2</sup> es de 620,3; 509,4; 593,3 respectivamente (INDEC, 2001).

### 3.4. INDICADORES SOCIOECONÓMICOS

En la Tabla 3.2 se presentan algunos indicadores que permiten caracterizar de manera global el nivel socioeconómico de los pobladores del sector en estudio (INDEC, 2001).

Tabla 3.2: Indicadores de tipo de viviendas, acceso a servicios y NBI para la zona de La Plata y alrededores

	Indicador vivienda					NBI (%)	Acceso a servicios	
	Habitantes /vivienda	Casas tipo A <sup>(a)</sup> (%)	Casas tipo B <sup>(b)</sup> (%)	Deptos (%)	Otros (%)		Agua potable (%)	Cloacas (%)
<b>La Plata</b>	2,3	65,5	5,9	21,8	6,8	12,8	86,0	65,7
<b>Berisso</b>	3,5	76,7	9,6	4,3	9,4	16,3	90,3	29,6
<b>Ensenada</b>	3,5	75,7	7,6	8,3	8,4	15,4	93,2	40,2

(a) Se refiere a todas las casas no consideradas tipo B.

(b) Se refiere a todas las casas que cumplen por lo menos con una de las siguientes condiciones: tienen piso de tierra o ladrillo suelto u otro material (no tienen piso de cerámica, baldosa, mosaico, mármol, madera o alfombrado) o no tienen provisión de agua por cañería dentro de la vivienda o no disponen de inodoro con descarga de agua.

Si bien algunos indicadores mencionados en la tabla 3.2 marcan una diferenciación entre el Partido de La Plata y los de Berisso y Ensenada (% de departamentos y % de cloacas) denotando un mayor grado de urbanización, este tipo de indicadores generales no nos permiten distinguir características propias de zonas más específicas (urbanas, industriales, rurales y residenciales) dentro del mismo partido.

### 3.5. ENERGÍA Y TRANSPORTE

La región utiliza energía de diversas fuentes y para diferentes tipos de uso. Dado que la generación de energía involucra procesos de combustión, y que durante los mismos se vierten contaminantes a la atmósfera, y entre ellos aquellos que están formando parte de la investigación en curso, es importante describir las fuentes asociadas a este proceso.

La combustión proveniente de las centrales de producción de energía dentro del sistema integrado de suministro de electricidad están fuera del radio de la zona de estudio. Esta energía es utilizada mayoritariamente a nivel domiciliario e industrial y de su uso directo (artefactos eléctricos de distinto tipo) no se generan contaminantes en la zona de estudio por esta vía. Los efluentes gaseosos se vierten en el lugar donde está instalada la central térmica más cercana. Sin embargo tomamos energía a nivel domiciliario o industrial por procesos de combustión de diferentes tipos de combustible (lo que se llama fuentes fijas de contaminación). Se puede quemar gas (mayoritariamente metano) de la línea domiciliaria para cocinar, calefaccionar, realizar un proceso industrial que requiere de temperatura directa o a través de la transferencia de calor vía vapor de agua. También se puede quemar kerosén, carbón o leña, mayoritariamente a nivel domiciliario, generando otro tipo de contaminantes, muchas veces determinándose en este caso, la calidad del aire intramuros. Por otra parte, el polo industrial (refinería de petróleo y plantas petroquímicas) vierten contaminantes a la atmósfera tanto en los procesos de síntesis, como en los de generación de energía asociado a la propia síntesis, si es que se requiere energía para la etapa particular del proceso en cuestión. Además, parte de los desechos de producción siguen rutas de destrucción por la vía de eliminación de antorchas, que también son fuente de contaminantes en la región, y que no son utilizados específicamente para la generación de energía.

Las otras fuentes de generación de contaminantes a la atmósfera son las móviles, esencialmente transporte terrestre de vehículos particulares, transporte público y transporte de carga. Para estos casos, dependiendo del tipo de combustible (mayoritariamente se utiliza en la zona nafta, gasoil, gas natural) y motor, los efluentes gaseosos varían su composición con mayor o menor aporte de componentes gaseosos y/o aerosoles. En particular, el número de vehículos de cada partido, que describe la magnitud de este tipo de fuentes es 272.888, 25.060 y menos de 3.500 para los partidos de La Plata, Berisso y Ensenada respectivamente (DNRPA, 2003).

### **3.6. CARACTERÍSTICAS PARTICULARES DE CADA MUNICIPIO**

Existen dentro de los partidos mencionados zonas con características particulares de interés para el estudio que se propone.

El Partido de La Plata es heterogéneo, encontrándose zonas típicamente urbanas, zonas semi-rurales y residenciales, sin presentar industrias de gran envergadura. El casco urbano de la ciudad de La Plata tiene un tráfico intenso con alrededor de 180.000 vehículos a motor registrados, siendo los vehículos diesel utilizados para transporte público la fuente más importante de los contaminantes atmosféricos estudiados. Por otra parte, las zonas semi-rurales se caracterizan por su bajo tránsito vehicular, actividad agrícola (horticultura y floricultura, muchas veces intensiva), y presencia de algunas industrias de pequeña envergadura.

Dentro de las zonas residenciales se presentan importantes asentamientos hacia la zona norte del Partido (Gonnet, City Bell, Villa Elisa), con bajo nivel de tránsito, exceptuando dos grandes corredores viales que comunican con La Plata, con una presencia mayoritaria de viviendas familiares individuales (chalets), un buen nivel de cobertura de servicios básicos (agua de red, cloacas y gas natural) sin encontrarse actividades industriales o agrícolas de envergadura.

El Partido de Ensenada presenta un sector industrial importante con industrias de gran envergadura, entre ellas industrias químicas y petroquímicas que conforman el denominado Polo Petroquímico de Ensenada.

### **3.6.1. El Polo Petroquímico de Ensenada**

En los años '60 la Petroquímica Argentina tuvo un auge significativo. El aumento en la producción de petróleo y gas natural proporcionó materias primas para un mercado interno en crecimiento; algunas empresas se integraron y/o diversificaron su producción. De esta manera se fue estructurando una industria química incipiente, orientada básicamente a satisfacer el mercado interno. En los años siguientes el Estado asume el compromiso de apoyar fuertemente la petroquímica básica, con el objetivo de promover la integración de los "polos petroquímicos". Actualmente en el Gran La Plata se encuentra un amplio sector industrial denominado Polo Petroquímico de Ensenada (Figura 3.3) en el cual se ubica la refinería de petróleo más importante del país, con una capacidad de destilación de petróleo crudo promedio de 38.000 m<sup>3</sup>/día. En la Tabla 3.3 se detalla la producción de petróleo crudo y subproductos obtenidos por la Refinería La Plata en comparación con otras refinerías del país (Fuente: Instituto Argentino del Petróleo y el Gas, 1999). Cercanas a la refinería se encuentran industrias químicas y petroquímicas con producción de diversos compuestos (Figura 3.4). Esta región abarca un complejo de industrias que utiliza petróleo o gas natural o

derivados del primero como materia prima para la elaboración de productos básicos, intermediarios o finales. Entre ellos cabe mencionar compuestos aromáticos (benceno, tolueno, xileno, entre otros), solventes alifáticos (n-pentano, n-hexano, n-heptano, etc), anhídrido maleico, ciclohexano, metanol, oxoalcoholes, MTBE (metil terbutil éter), polipropileno, coque de petróleo, gases comprimidos y licuados.

Los productos mencionados constituyen los más importantes, lo cual no significa que no existan otros productos secundarios o complementarios. En la Figura 3.5 se puede ver la producción anual de los compuestos más importantes producidos por las industrias del Polo Petroquímico de Ensenada (IPA, 1999).



*Fig 3.3.: Vista de la zona industrial de la región de estudio*

Tabla 3.3: Petróleo elaborado y subproductos por mes (Fuente: Instituto Argentino del Petróleo y el Gas)

Volumen del petróleo procesado y subproductos obtenidos por refineries instaladas en el país														
11/2003														
Productos	Unidades	Refinería												Totales
		CAMPANA	CAMPO DURAN	COMP. SAN LORENZO	DOCK SUD DAPSA	DOCK SUD SHELL	LA PLATA	LUJAN DE CUYO	PLAZA HUINCUL	RHASA	RICARDO ELICABE			
Total Petróleo Nacional	m³	340,547	65,441	159,261	0	362,795	846,138	524,318	130,531	7,000	128,470	2,564,501		
Total Petróleo Importado	m³	22,250	819	0	0	611	0	0	0	0	0	23,680		
Total Otras Cargas	ton	2,851	5,714	3,933	1,017	20,712	66,360	33,283	22,577	7,713	6,874	171,094		
Gas Refinería	Mm³	20,323	2,738	1,230	0	10,422	24,132	16,977	3,741	0	3,991	83,554		
Propano	ton	5,766	350	0	0	7,006	15,527	11,638	0	0	0	40,287		
Butano	ton	11,802	519	5,552	0	6,830	19,292	5,764	0	0	1,287	51,046		
Gas Licuado	ton	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Aeronaftas	m³	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Nafta Común	m³	16,338	1,800	2,400	0	32,184	78,331	11,967	2,619	900	9,265	155,804		
Nafta Super	m³	28,324	2,795	5,441	5	72,235	70,228	61,227	9,589	1,500	16,299	267,643		
Nafta Ultra	m³	8,283	299	1,043	122	17,635	66,424	13,660	2,976	200	2,157	112,799		
Nafta Virgen Consumo Petroquímico	m³	0	34,235	0	0	0	132,971	29,008	0	0	0	196,214		
Total Solventes	m³	2,843	0	15,226	0	802	0	0	0	0	0	18,871		
Aguarras	m³	2,453	0	0	0	2,647	0	0	0	0	0	5,100		
Kerosén	m³	0	0	0	0	401	0	0	0	15	83	499		
JP	m³	21,294	0	0	0	23,698	70,803	8,883	3,111	0	0	127,789		
Gasoil	m³	141,368	22,273	64,087	3	131,298	282,574	303,885	38,078	6,000	42,306	1,031,872		
Diesel	m³	11,179	0	0	5	277	2,376	0	0	5,000	0	18,837		
Fuel	ton	32,090	3,393	15,761	0	43,625	60,331	0	661	0	16,301	172,162		
Lubrificantes	m³	2,602	0	0	357	8,790	21,399	0	0	0	0	33,148		
Grasas	ton	39	0	0	53	0	0	0	0	0	0	92		
Asfalto	ton	-10,308	0	9,413	496	19,566	12,708	0	0	0	6,083	37,958		
Coque	ton	30,834	0	0	0	15,270	49,887	45,063	0	0	0	141,054		
Total Otros Productos	ton	41,660	3,713	29,572	48	0	47,938	63,877	80,836	2,184	31,129	300,957		



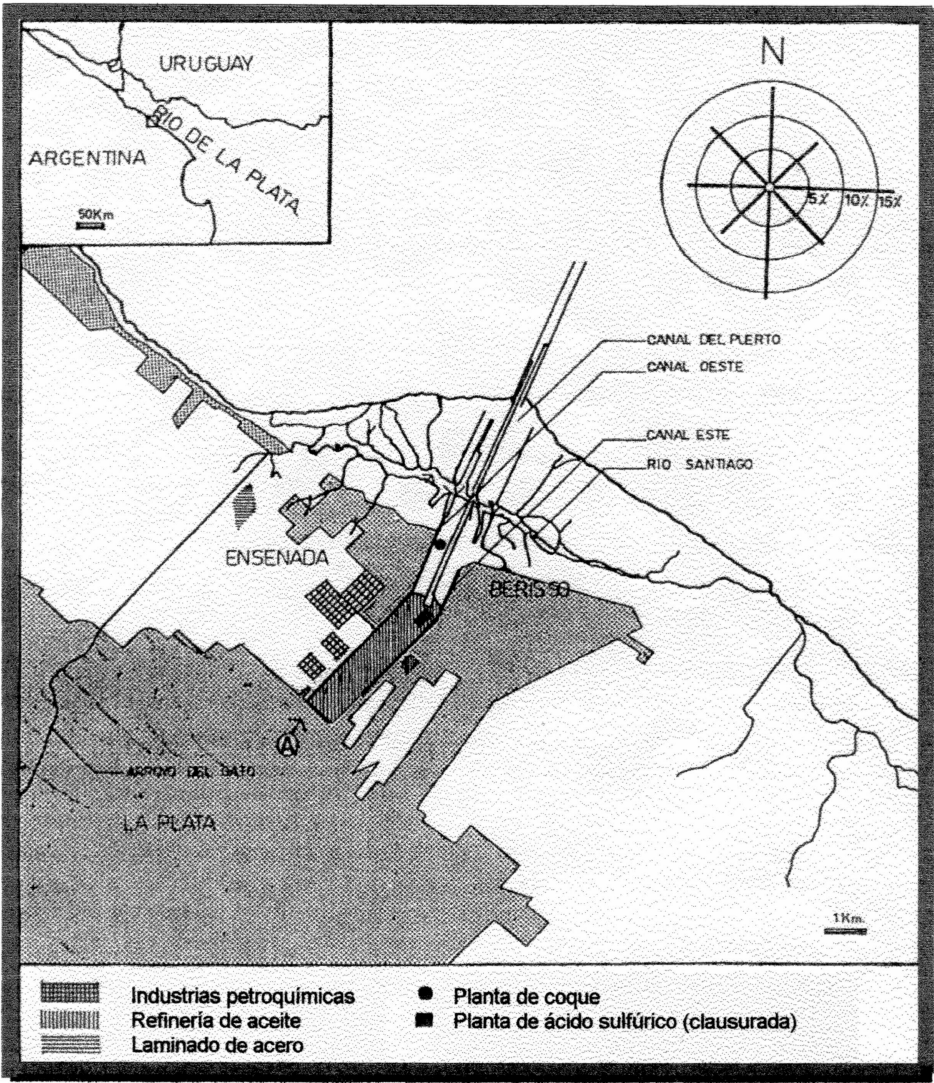


Fig 3.4: Principales industrias ubicadas en la región del Polo Petroquímico



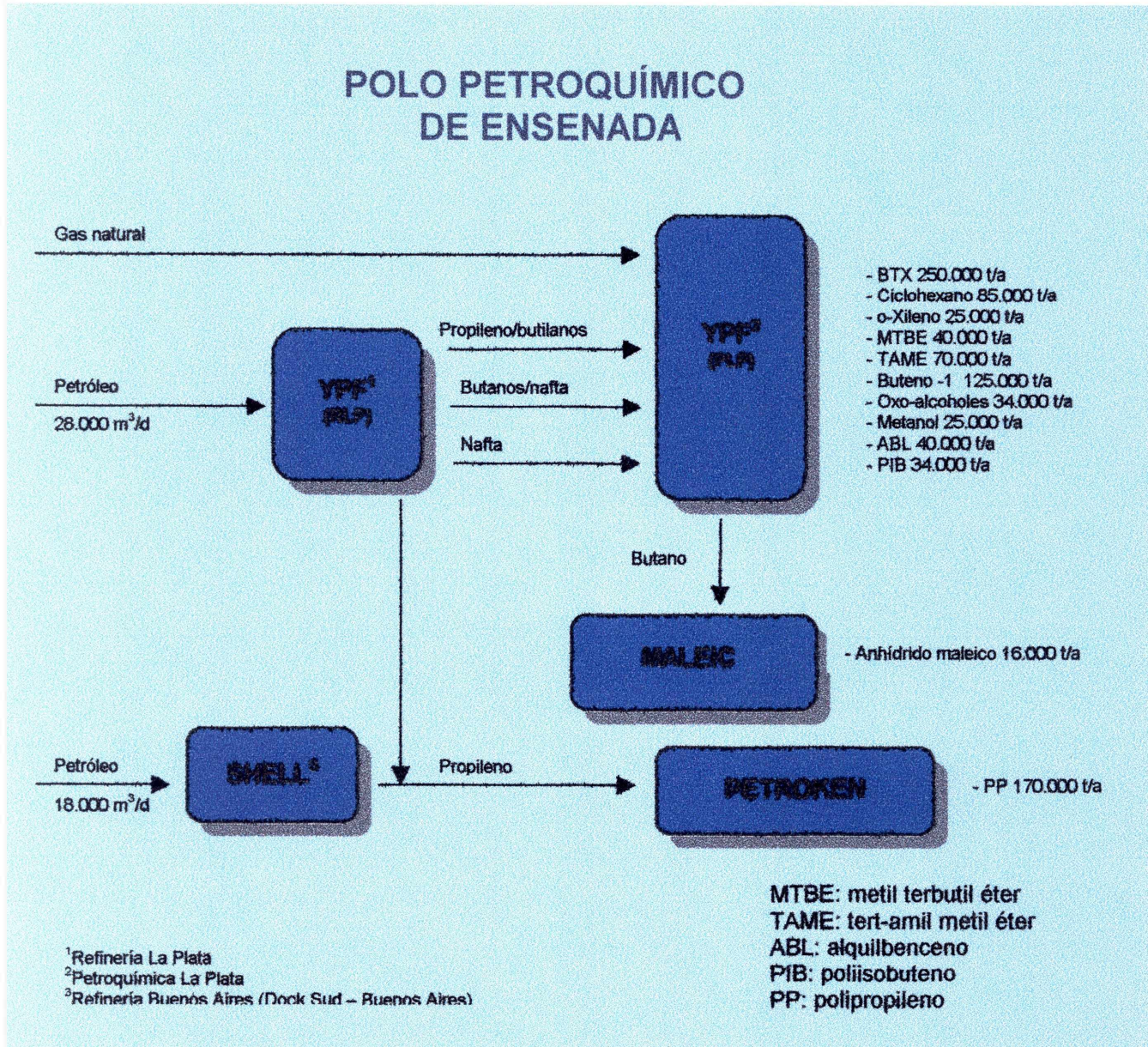


Fig. 3.5: Producción anual de los principales compuestos químicos producidos en la zona (Fuente: Instituto Petroquímico Argentino)

### 3.7. ANTECEDENTES DE CALIDAD DE AIRE EN LA ZONA DE ESTUDIO

Debido a la existencia de antorchas de las industrias radicadas en el área y conductos generadores de efluentes gaseosos se pueden esperar niveles de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO y material particulado por sobre las concentraciones naturales de fondo especialmente en la zona con influencia industrial, además de compuestos orgánicos volátiles (VOCs) y otros contaminantes específicos. Estos compuestos son generados a partir de combustiones incompletas, catalizador de cracking, conductos de proceso en general y depósitos de almacenamiento de productos.

Estudios previos en la región de caracterización del aire ambiente, han evaluado niveles de VOCs y compuestos orgánicos volátiles (SVOCs) asociados a material particulado en suspensión (Alzuet *et al.*, 1996; Herbarth *et al.*, 1997; Ronco *et al.*, 1998). Con respecto a los VOCs determinados se detectó la presencia de alcanos (C5 a C12), cicloalcanos, aromáticos, organoclorados, alcoholes, aldehídos, cetonas, ésteres y terpenos. Las mayores concentraciones de VOCs en el aire intramuros y extramuros fueron encontradas en la zona cercana al polo industrial. Antecedentes de relevamiento de material particulado en suspensión en aire llevados a cabo entre 1983 y 1986 (Catoggio *et al.*, 1989) en un sitio de monitoreo intermedio entre zona industrial y urbana (Bosque de La Plata) permiten evaluar el contenido de metales pesados y PAHs asociados al mismo. La concentración media de material particulado (PM) en suspensión en aire, partículas <100 µm (TSP) y <10 µm (PM10) medida no ha superado los 150 µg/m<sup>3</sup>. Los resultados obtenidos por los autores indican que:

1. Las concentraciones máximas anuales expresadas en µg/m<sup>3</sup> de SVOCs asociados al material particulado en suspensión recolectado fueron: Naftaleno: 13,2; Fluoreno 1,22; Antraceno 0,52; Fenantreno 2,4; Pireno 4,92; Benz[a]antraceno 1,65; Criseno 1,36; Benzo[a]pireno: 2,27.
2. Las mayores concentraciones de PAHs encontradas están asociadas a las partículas de menor tamaño (90% en las más finas y 20% en las más gruesas).

3. Caracterizaciones químicas y de efectos biológicos de los extractos del PM en estudios realizados en la misma zona entre 1991 y 1992, han mostrado actividad mutagénica asociada a la presencia de PAHs en el PM (Alzuet *et al.*, 1996) con una mayor actividad mutagénica relativa en el material fino PM10.



## 4. MÉTODOS

### 4.1. SITIOS DE MUESTREO SELECCIONADOS

En función de las características de la zona de La Plata y alrededores y de estudios preexistentes de calidad de aire realizados en la zona (Catoggio *et al.*, 1989; Alzuet *et al.*, 1996; Herbarth *et al.*, 1997; Ronco *et al.*, 1998), fueron seleccionadas cuatro estaciones de muestreo que contemplan influencia industrial y urbana comparados con zona blanco (Figura 4.1), teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

1. **Zona industrial:** zona de influencia neta del Polo Petroquímico. El complejo industrial se encuentra aproximadamente a 6 km noreste del casco urbano de la ciudad de La Plata.
2. **Zona urbana:** sector céntrico de la ciudad de La Plata, en una zona de alto tránsito vehicular dado por transporte público y vehículos particulares.
3. **Zona en las afueras de la ciudad como control blanco:**
  - 3.a Zona semi-rural: ubicada aproximadamente a 8 km hacia el sudeste de la ciudad de la Plata con bajo tránsito vehicular y escasas industrias de pequeña envergadura.
  - 3.b Zona residencial (incorporada en el último año de muestreo): ubicada a aproximadamente 15 km hacia el norte de la ciudad de La Plata con poco tránsito vehicular interno. Sin embargo la zona está atravesada por dos corredores de circulación importantes con tránsito vehicular intenso.

En el último período se incorporó un sitio blanco adicional al ya considerado en muestreos previos. Esto permite realizar comparaciones entre los sectores de mayor exposición y los correspondientes sectores blancos con poblaciones homogéneas, así evitando o disminuyendo la presencia de factores de confusión.



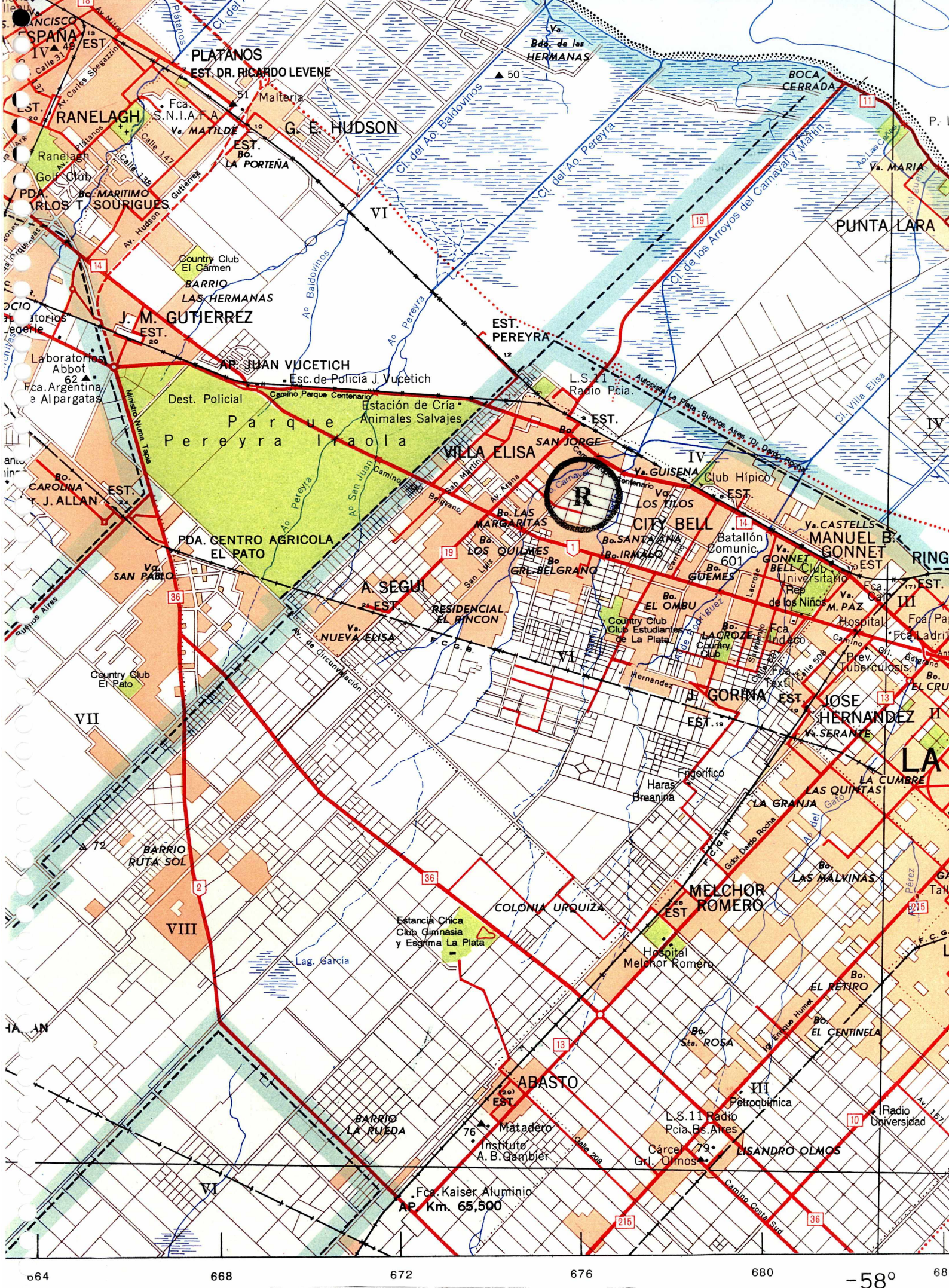
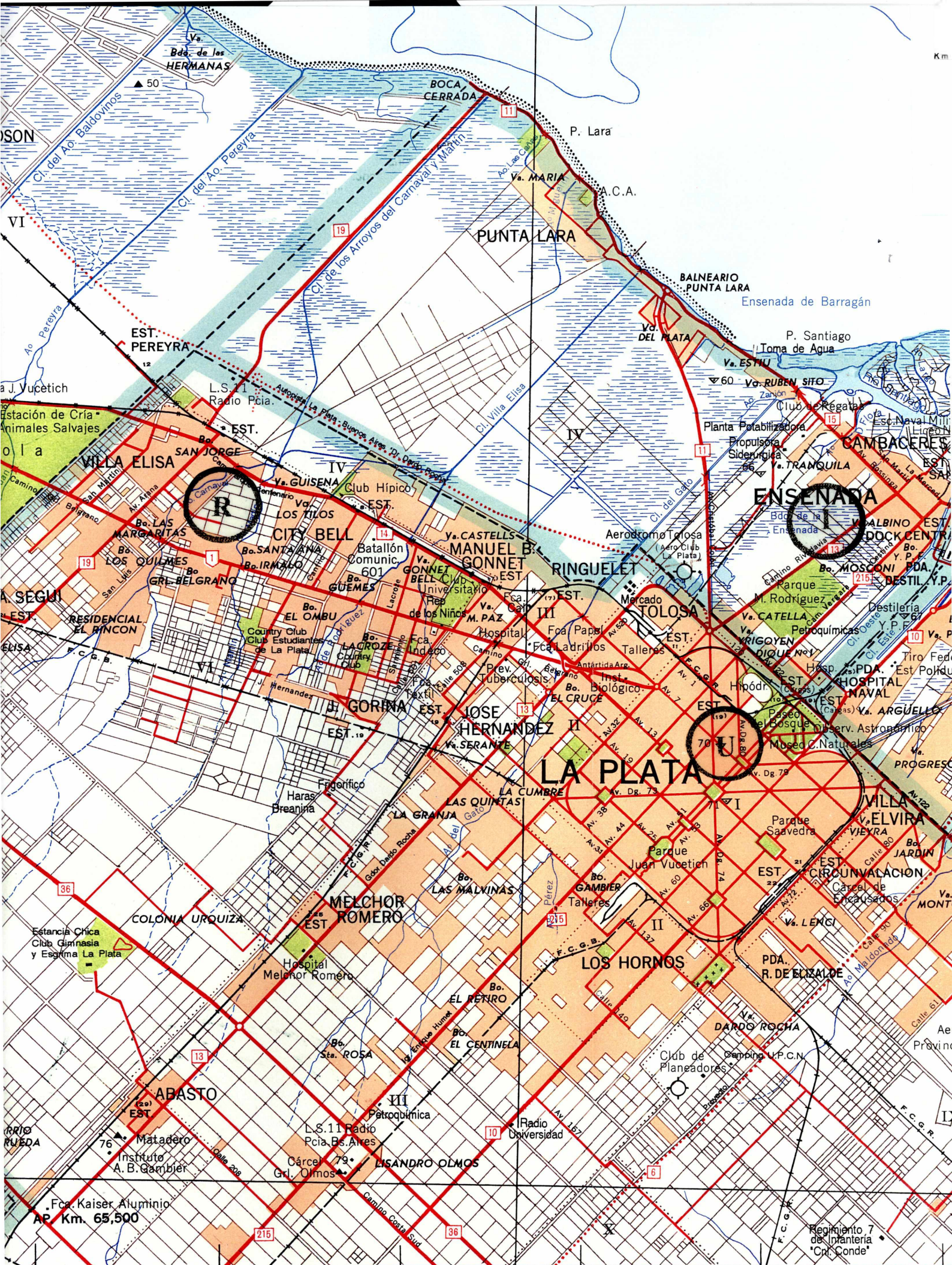


Fig. 4.1. Mapa de la zona en estudio





672 676 680 -58° 684 688 692

Mapa de la zona en estudio



ACTUALIZACION PARCIAL 1992

PROYECCION GAUSS KRÜGER

Origen Coordenadas

Y = 5.500.000  $\equiv$  - 60° X = 0 Polo Sur

**I: Industrial**  
**U: Urbana**  
**SR: Semi-rural**  
**R: Residencial**

148



688

692

696

700

5.704





## 4.2. MUESTREO Y ANÁLISIS DE MATERIAL PARTICULADO EN SUSPENSIÓN Y COMPUESTOS ORGÁNICOS ASOCIADOS

El muestreo de material particulado en suspensión se realizó con muestreador de alto volumen con impactador en cascada utilizando filtros de fibra de vidrio (Figuras 4.2 y 4.3).

### 4.2.1. Fundamento de la técnica de muestreo empleada

En 1950 el muestreador de alto volumen comenzó a ser ampliamente utilizado como método para medir partículas en suspensión en aire. En 1971 la USEPA adoptó el alto volumen como método estándar para medida de partículas en aire. The American Society for Testing and Materials (ASTM) también especifica el alto volumen como método para muestreo de partículas suspendidas en aire. Existe una variedad de opciones de equipos de alto volumen disponibles que dan una gran versatilidad y permiten obtener información acerca del tamaño y de la concentración de partículas suspendidas en aire. Posteriormente, con el uso de una técnica analítica, se puede obtener información acerca de las propiedades químicas del material particulado y compuestos asociados al mismo. Por ejemplo, el método de muestreo por alto volumen puede ser utilizado para calcular la concentración de partículas en suspensión en aire con diferentes tamaños, tales como menores que 100  $\mu\text{m}$  (TSP), menores que 10  $\mu\text{m}$  (PM10) y menores que 2,5  $\mu\text{m}$  (PM2,5) dependiendo del equipo utilizado; recolectando cantidad apreciable de partículas para posterior análisis químico y/o biológico. Adicionando un sistema de impactador en cascada de múltiples etapas es posible obtener la distribución de tamaño de partículas, existiendo sistemas capaces de separar las partículas  $<10 \mu\text{m}$  en 6 fracciones de acuerdo a su diámetro aerodinámico. En estos sistemas, las partículas suspendidas en aire  $<10 \mu\text{m}$  entran en el impactador en cascada a través de las ranuras paralelas en la primer rejilla, las partículas mayores que el tamaño de corte de la primer rejilla impactan en el primer filtro ranurado. El flujo de aire pasa entonces a través de las ranuras al segundo filtro ranurado donde se retienen las partículas mayores que el punto de corte de esta segunda etapa, y así sucesivamente a través de las siguientes ranuras (Figura 4.3). El ancho de las ranuras es constante para cada rejilla, pero es menor para cada etapa sucesiva. Los filtros son pequeños y de bajo peso, lo que permite recolectar pequeñas masas de partículas. Luego de la última etapa de impacto, las partículas finas remanentes son colectadas en el filtro de fondo de tamaño mayor a los ranurados. Los filtros ranurados y el filtro de fondo son pesados antes y después del muestreo para determinar la masa de partículas en cada fracción y la distribución

de tamaño de las mismas. El muestreador de alto volumen debe contar con un controlador de flujo que mantiene el flujo constante durante el período de muestreo para asegurar una correcta medida de la concentración de partículas. Existen controladores de flujo másico y volumétrico (Giever, 1976; ASTM, 1991).

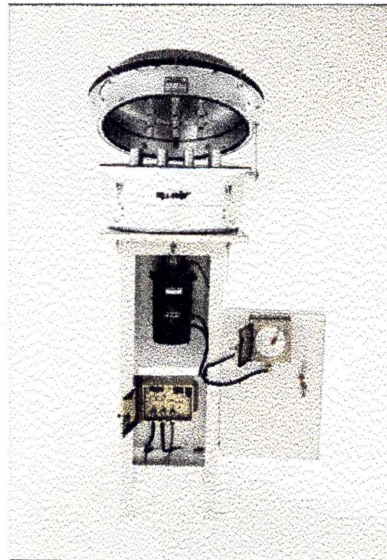


Fig. 4.2: Muestreador de alto volumen

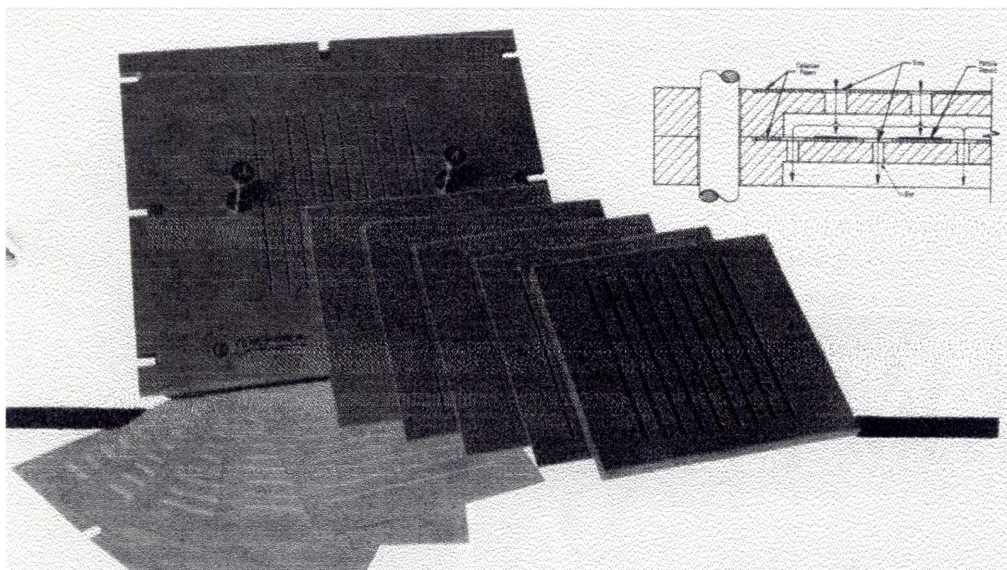


Fig 4.3:Foto del sistema en cascada

#### 4.2.2. Ubicación de los muestreadores

El muestreo de material particulado en suspensión fue realizado en las zonas 1, 2 y 3a anteriormente descritas, teniendo en cuenta la variación estacional invierno verano durante el período 1999-2002:

- 1 - **Zona industrial:** el muestreador fue colocado en un predio abierto a una distancia aproximada de 1.000 metros de las principales fuentes emisoras industriales.
- 2 - **Zona urbana:** el muestreador fue colocado dentro del casco urbano de la ciudad de La Plata en la intersección de las calles 6 y 53, a unos 15 metros del cordón de la vereda.
- 3 - **Zona semi-rural:** el muestreador fue colocado en el parque de una vivienda localizada en las inmediaciones de la calle 7 entre 656 y 657, cercano al barrio Parque Sicardi.

El muestreador fue colocado en todos los casos a nivel del piso, de modo tal que la toma de aire se realiza a aproximadamente 1,50 m.

#### 4.2.3. Muestreo en cascada de material particulado en suspensión

Se realizó un fraccionamiento en cascada de PM<sub>10</sub> (material particulado con diámetro <10 µm) diferenciando 6 fracciones de acuerdo a su diámetro aerodinámico comprendidas entre: fracción 1: 10- 7,2 µm; fracción 2: 7,2- 3 µm; fracción 3: 3- 1,5 µm; fracción 4: 1,5- 0,95 µm; fracción 5: 0,95- 0,49 µm; fracción 6: < 0,49 µm. La concentración de partículas fue determinada por métodos gravimétricos (Marple y Lui, 1974; CFR, 1993). El muestreador de alto volumen utilizado, marca Sierra & Wedding & Associated Inc., fue calibrado según metodología recomendada por la USEPA (CFR, 1993). Se determinó la masa de las partículas depositadas en cada etapa del impactador, midiendo la diferencia de peso en el filtro utilizado antes y después del muestreo. La pesada fue realizada en un cuarto limpio acondicionado con una humedad relativa del 50% o menos utilizando balanza analítica con una capacidad mínima de lectura de 0,01 mg. Los filtros fueron colocados 24 horas previas a la pesada en desecador con sílica gel activada. Durante los dos primeros años de muestreo se utilizó el muestreador de alto volumen con controlador de flujo másico y luego por cuestiones operativas se cambió a controlador de flujo volumétrico. En el segundo caso, para el cálculo del volumen de aire muestreado se tuvo en cuenta el caudal al principio y final del muestreo

según la siguiente fórmula (ASTM, 1991):

$$V = \frac{(Q_i + Q_f)}{2} \times T$$

donde:

V = volumen de aire muestreado, m<sup>3</sup>

Q<sub>i</sub> = flujo de aire inicial, m<sup>3</sup>/min

Q<sub>f</sub> = flujo de aire final, m<sup>3</sup>/min

T = tiempo de muestreo, min.

La concentración de partículas (microgramos por metro cúbico) fue determinada dividiendo la masa de partículas (microgramos) por el volumen de aire muestreado (metros cúbicos) según la siguiente fórmula:

$$PM = \frac{(M_f - M_i)}{V} \times 10^6$$

donde:

PM = concentración de partículas suspendidas (µg/m<sup>3</sup>)

M<sub>f</sub> = peso final del filtro (g)

M<sub>i</sub> = peso inicial del filtro (g)

10<sup>6</sup> = conversión de g a µg

V = volumen de aire, m<sup>3</sup>

#### 4.2.4. Extracción y análisis de PAHs asociados a material particulado en suspensión

Las muestras de material particulado fueron extraídas utilizando hexano en un sistema de extracción acelerada (14 mPa, 150°C), seguida de rotoevaporación (40°C) usando 1-octanol como “keeper”. Los PAHs fueron aislados (“clean up”) por medio de cromatografía en columna utilizando sílica gel y eluyendo con una mezcla de n-hexano-diclorometano. El análisis químico fue realizado por cromatografía líquida de alta performance (HPLC) con detección por fluorescencia, utilizando una columna de C18 y gradiente acetonitrilo agua (60% agua, 40% acetonitrilo, seguido de un gradiente lineal de 100% de acetonitrilo). La composición de los PAHs (16 componentes, Tabla 4.1) fue determinada por medio del método del estándar externo.

La extracción y el análisis químico de dichas muestras fueron realizados en Leipzig, Alemania, en el marco del proyecto “*Summersmog*” (1999-2001) y el proyecto “*Airbone particles. Risk factors to environmentally associated diseases*” (2002-2004), ambos de cooperación internacional en el área de Medio Ambiente (SECYT-DLR) (ver nota introductoria).

Tabla 4.1. Lista de compuestos policíclicos aromáticos analizados<sup>1</sup>

Compuestos	Límite de detección [pg/m <sup>3</sup> ]
Acenafteno	0,001
Fluoreno	0,002
Acenaftileno	0,06
Fluoranteno	0,03
Pireno	0,011
Antraceno	0,031
Fenantreno	0,08
Criseno <sup>2</sup>	0,07
Benzo[g,h,i]perileno	0,17
<b>Compuestos carcinogénicos*</b>	
Naftaleno	0,03
Benz[a]antraceno	0,009
Benzo[a]pireno	0,03
Dibenz[a,h]antraceno	0,025
Benzo[b]fluoranteno	0,19
Benzo[k]fluoranteno	0,06
Indeno[1,2,3-cd]pireno	0,11

\* Los compuestos carcinogénicos fueron tomados de IARC (1983, 1987, 2000)

#### 4.2.5. Análisis de resultados y tratamiento estadístico de datos

De manera general, dado que los datos presentan una distribución asimétrica, fueron seleccionados para el análisis estadístico de los mismos métodos no paramétricos; en particu-

<sup>1</sup> La USEPA clasifica estos 16 PAHs como prioritarios (Collier *et al.*, 1998)

<sup>2</sup> La USEPA también clasifica al criseno como probablemente carcinogénico para humanos (grupo B2)

lar se utilizó el método de Mann-Whitney U-Test (Sokal, 1981; ZAR, 1998). Para la elaboración de los gráficos se utilizaron los valores correspondientes a las medianas de las distintas muestras. Todos los cálculos estadísticos y gráficos fueron realizados con Statistica 6.0.

### **4.3. MUESTREO Y ANÁLISIS DE COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES**

El muestreo de compuestos orgánicos volátiles (VOCs) se realizó utilizando muestreadores pasivos 3M OVM modelo 3500, con carbón activado como adsorbente (Figura 4). Los muestreadores fueron expuestos durante 30 días.

#### **4.3.1. Fundamentos del muestreo pasivo para compuestos en fase gaseosa**

Begerow *et al.* (1995) demostraron la utilidad del muestreo pasivo para la determinación de concentraciones de VOCs en aire intra y extramuros. Shields y Weschler (1987) estudiaron la precisión del muestreador pasivo para períodos de muestreo mayores a 31 días. De acuerdo a estos autores la cantidad de material recolectado varía linealmente con la concentración en aire para intervalos de muestreo mayores a 4 semanas. Luego de 8 semanas de muestreo en condiciones ambientales, el muestreador pasivo no se satura. Con respecto a la precisión del método, los mismos autores encontraron que para concentraciones mayores que  $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  la desviación estándar de la media fue de alrededor del 13%, mientras que para concentraciones cercanas al límite de detección, la desviación estándar de la media resultó ser mucho mayor. Esta precisión es suficiente para detectar diferencias significativas de concentraciones de VOCs intra/extramuros, como así también diferencias entre distintos lugares intramuros y en el mismo lugar a distintos tiempos (Rehwagen *et al.*, 2003). Es importante señalar que la selección del intervalo de tiempo de 4 semanas describe mucho mejor la exposición personal que un corto período de muestreo.

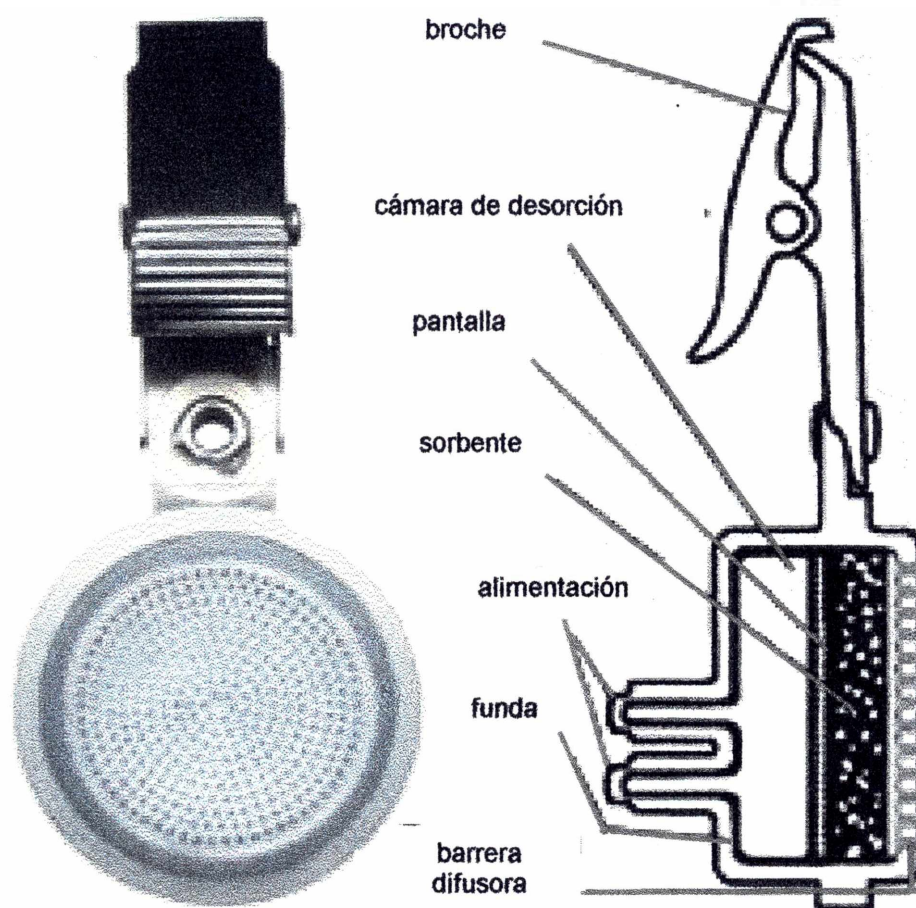


Fig. 4.4: Esquema del muestreador pasivo para VOCs

#### 4.3.2. VOCs estudiados

En este estudio se seleccionaron 29 compuestos orgánicos volátiles (VOCs) dentro de una gran variedad de compuestos que pueden ser encontrados en el aire intramuros (Brown *et al.*, 1994; Wolkoff, 1995). Dicha selección está basada en una posible relación de estos VOCs con diversas actividades y uso de materiales y su posible efecto sobre la salud humana. Los VOCs estudiados pertenecen a los siguientes grupos: alcanos, cicloalcanos, aromáticos, clorados y terpenos (Tabla 4.2).



Tabla 4.2. Compuestos orgánicos volátiles analizados

GRUPOS DE COMPUESTOS				
ALCANOS	CICLOALCANOS	AROMÁTICOS	CLORADOS	TERPENOS
hexano	metilciclopentano	benceno	clorobenceno	$\alpha$ -pineno
heptano	ciclohexano	tolueno	tricloroetileno	$\beta$ -pineno
octano	metilciclohexano	etilbenceno	tetracloroetileno	limoneno
nonano		m,p-xileno		(+)-3-careno
decano		estireno		(+)-2-careno
undecano		o-xileno		
tridecano		4-etiltolueno		
		3-etiltolueno		
		2-etiltolueno		
		naftaleno		

#### 4.3.3. Muestreo de VOCs

Las muestras fueron tomadas en período invernal durante cuatro años en escuelas y casas de familia en los cuatro sitios antes mencionado con un total de 106 muestras (tabla 4.3). Se tomaron muestras intramuros y extramuros, los muestreos intramuros fueron realizados en paralelo a los muestreos extramuros. El muestreador fue colocado en un lugar protegido de la lluvia.

Tabla 4.3. Cantidad de muestras tomadas intramuros y extramuros en cada zona

Zona	Intramuros	Extramuros	Total
Industrial	21	4	25
Urbana	23	13	36
Semi-rural	22	5	27
Residencial	14	1	15
Total	80	23	103

#### 4.3.4. Pretratamiento de muestras y análisis químico de VOCs

Se realizó una extracción directa de los VOCs con disulfuro de carbono. Durante la extracción por un período de 30 minutos los muestreadores fueron agitados periódicamente.



El análisis químico fue llevado a cabo por cromatografía gaseosa con detectores iónicos de llama (FID) y de captura electrónica (ECD), columnas capilares PVMS/54 y DMS de 50 metros, ID= 0,32, gas carrier nitrógeno a 14,5 psi, volumen de inyección 2 µl, rampa 40 a 150 °C a 2 °C/min. La confirmación cualitativa de los componentes se realizó por cromatografía gaseosa detección espectroscópica de masas (MS) tipo TRIO 1000 (Fison) en las mismas condiciones de corrida. La identificación y cuantificación fue realizada por la técnica del estándar externo. La concentración de cada compuesto en aire fue calculada a partir de la ley de Fick<sup>3</sup> y los coeficientes de recuperación para cada analito, según la siguiente ecuación adoptada de 3M (1986):

$$C = \frac{m \times A}{t \times r}$$

donde:

C = concentración promedio de cada componente en el intervalo de tiempo (µg/m<sup>3</sup>)

m = masa absoluta de cada analito adsorbido en el muestreador

A = parámetro que incluye el coeficiente de difusión de cada componente, el área de carbón activado del muestreador y la distancia de difusión interna (tipificación del fabricante).

t = tiempo de medición (intervalo de muestreo en minutos)

r = coeficiente de recuperación por desorción incompleta (experimental)

Todas las medidas están referidas a 25°C y 760 mmHg. La extracción y el análisis químico de dichas muestras fueron realizados en Leipzig, Alemania, en el marco de los proyectos de cooperación anteriormente mencionados.

#### 4.3.5. Análisis de resultados y tratamiento estadístico de datos

De manera general, dado que los datos presentan una distribución asimétrica, fueron seleccionados para el análisis estadístico de los mismos métodos no paramétricos, en particular se utilizó el método de Mann-Whitney U-Test (Sokal, 1981; ZAR, 1998). Para la elaboración de los gráficos se utilizaron los valores correspondientes a las medianas de las distintas muestras. Todos los cálculos estadísticos y gráficos fueron realizados con Statistica 6.0.

<sup>3</sup> La ley de Fick establece que el flujo difusivo que atraviesa una superficie ( $J$  en mol/cm<sup>2</sup>s) es directamente proporcional al gradiente de concentración.

#### 4.4. DETERMINACIÓN DE MUTAGENICIDAD EN EXTRACTOS ORGÁNICOS PROVENIENTES DE MATERIAL PARTICULADO EN SUSPENSIÓN

Se evaluó mutagenicidad de extractos orgánicos de material particulado en suspensión en aire (inhalable/respirable) por medio del Ensayo de Ames. Se utilizaron para el ensayo cepas de la bacteria *Salmonella typhimurium* TA 98 con activación microsomal de hígado de rata y preincubación según protocolo estándar (Maron y Ames, 1983; USEPA, 1983; Mortelmans y Zeiger, 2000).

##### 4.4.1. Fundamento del ensayo empleado

El ensayo de mutagenicidad *Salmonella*/microsoma, comúnmente conocido como prueba de Ames, ha sido específicamente diseñado para detectar mutagénesis inducida por sustancias químicas (Ames *et al.*, 1975). A través de los años su valor ha sido reconocido por la comunidad científica y organismos gubernamentales de control. El ensayo ha sido utilizado a nivel mundial como barrido inicial para determinar potencial mutagénesis asociada a sustancias químicas y nuevos fármacos debido a que existe un alto valor predictivo de carcinogénesis en roedores relacionados con una respuesta mutagénica dada por el ensayo de Ames (Mac Cann *et al.*, 1975; Sugimura *et al.*, 1976; Zeiger *et al.*, 1990). En tal sentido, la prueba ha sido ampliamente utilizada para caracterizar los efectos mutagénicos y potencialmente carcinogénicos de una gran variedad de compuestos puros, productos comerciales y muestras ambientales (Touminen *et al.*, 1988; Lewtas, 1990; Alzuet *et al.*, 1996; Müller *et al.*, 2001; Mukherji *et al.*, 2002; DuFour, 2004; Kawanaka, 2004).

El ensayo consiste básicamente en detectar actividad mutagénica de una muestra utilizando un conjunto de cepas de *Salmonella typhimurium* que contienen una mutación específica en el operón que codifica para la síntesis de histidina, además de poseer otras mutaciones que aumentan la permeabilidad de la membrana a los tóxicos. Para un ensayo de mutagenicidad en general se recomienda el uso de las cepas TA97, TA98, TA100 y TA102. Otras cepas pueden ser utilizadas dependiendo del tipo de muestra y de los compuestos analizados. Estas cepas genéticamente modificadas requieren histidina para su crecimiento; en ausencia de la misma sólo aquellas células que reversionan espontáneamente a histidina-independientes son capaces de formar colonias. El intervalo de reversión espontánea varía para las distintas

cepas. No obstante, si una sustancia mutagénica es agregada al medio, la cantidad de bacterias capaces de revertir la mutación se incrementa significativamente. El ensayo es realizado en placa en un medio sólido que sólo contiene histidina a nivel de trazas (factor limitante) para que aquellas bacterias capaces de revertir la mutación puedan formar colonias. Algunos mutágenos son directamente activos en el sistema de ensayo (mutágenos directos), mientras que otros requieren activación metabólica (mutágenos indirectos) utilizando enzimas microsomas de mamíferos como por ejemplo enzimas de hígado de rata. Generalmente estas enzimas son obtenidas de ratas inducidas con Aroclor 1254, usando el sobrenadante 9000-g (S9) del homogeneizado del hígado. Esta fracción microsomal contiene enzimas capaces de producir transformaciones metabólicas de los compuestos ensayados, similares a las de los organismos de mamíferos *in vivo*. La prueba permite detectar distintos tipos de mutaciones dependiendo de la cepa utilizada; particularmente la TA98, permite detectar corrimiento de marco de lectura (Maron y Ames, 1983; USEPA, 1983; Mortelmans y Zeiger, 2000).

En estudios para evaluar la mutagenicidad de contaminantes en aire, el ensayo de Ames ha sido ampliamente utilizado. De la batería de cepas de *S. typhimurium*, las más usadas para evaluar mutagenicidad asociada a material particulado en aire son la TA98 y TA100 (Louis, 1987; Lewtas, 1993; Alzuet *et al.*, 1996; Müller *et al.*, 2001; Zwozdiak *et al.*, 2001).

#### **4.4.2. Optimización y puesta a punto del ensayo**

Debido a que la cantidad de muestra no era suficiente para utilizar la batería de cepas completa según protocolo estándar, se seleccionó únicamente la cepa TA98, teniendo en cuenta antecedentes de estudios previos de mutagenicidad de muestras provenientes de material particulado en suspensión de la zona de La Plata y alrededores y que TA98 ha sido una de las cepas más utilizadas para estudios de mutagenicidad asociada a material particulado en aire (Louis, 1987; Alzuet *et al.*, 1996; Müller *et al.*, 2001; Zwozdiak *et al.*, 2001).

#### ***Confirmación del fenotipo de la cepa TA 98***

Se realizó la confirmación del fenotipo al recibir la cepa. Para ello se utilizaron distintos ensayos según protocolo standard:

- **Reversión espontánea:** el conteo de reversión espontánea se realizó por triplicado y se mantuvieron como parte del control permanente de calidad del ensayo. Estos valores sirven como indicador de la actividad de la cepa y como control negativo del solvente utilizado. El valor esperado de reversión espontánea para TA98 es entre 30 y 50 colonias por placa.
- **Requerimiento de histidina:** se preparan dos placas con agar mínimo adicionado de biotina. Sólo a una de ellas se le agrega histidina. Luego se realiza una estría con el cultivo de la cepa en ambas placas. Las placas se incuban a 37 °C durante 48 hs. Es de esperar que las bacterias sean capaces de crecer únicamente en la placa que contiene histidina.
- **Sensibilidad a cristal violeta/ampicilina:** se prepara una placa con agar nutritivo a la cual se le agrega un disco impregnado con cristal violeta y otro con ampicilina. A la misma se le agrega Top agar (0,5% de NaCl, 0,6% de agar y trazas de histidina) mezclado con caldo de cultivo bacteriano (cultivo de la cepa TA 98 en caldo Difco suplementado con 0,5% de NaCl de 16 hs de incubación a 37 °C con agitación). La cepa TA 98 es sensible a cristal violeta pero no a ampicilina, por lo tanto es de esperar un halo de inhibición alrededor del disco de cristal violeta y un halo de crecimiento alrededor del de ampicilina luego de 24 hs de incubación a 37 °C.
- **Sensibilidad a la luz UV:** puede ser confirmada demostrando la sensibilidad a la luz UV de las cepas que contienen la mutación en el gen *uvrB*. Para ello se prepara una placa con agar nutritivo a la cual se le hace una estría de cultivo bacteriano de modo tal de cubrir toda la placa. Luego se irradia la mitad de la placa durante 8 segundos con luz UV a una distancia de 33 cm. Las placas irradiadas se incuban a 37°C por 24 hs. Las cepas con deleción en el gen *uvrB* como TA98 van a crecer únicamente en la parte no irradiada de la placa.

#### ***Estandarización del número de células por placa***

Para la realización del ensayo el cultivo bacteriano debe ajustarse a una densidad de  $1-2 \times 10^9$  células por ml. Para ello se preparó una curva de calibración a partir de diluciones seriadas de un cultivo de TA98 de 16 hs de incubación a 37 °C, con agitación, en caldo Difco suplementado. Se determinó la densidad óptica (DO) a 550 nm y se realizó un gráfico de

concentración (nº de células /ml) vs DO. Esto permite luego para cada ensayo medir la DO del cultivo y ajustar el mismo por medio de diluciones a la concentración deseada.

#### 4.4.3. Protocolo de ensayo

Se utilizó un cultivo de la cepa TA 98 en caldo Difco suplementado con 0,5% de NaCl de 16 hs de incubación a 37 °C con agitación. En un tubo estéril, que se mantiene en baño de hielo, se ponen en contacto 0,1 ml del cultivo con 0,5 ml de S9 mix 10% (mutagenicidad indirecta) y entre 10 a 100 µl de muestra o diluciones de la misma. Luego la mezcla se mantiene a 37 °C 20 minutos con agitación (preincubación). Terminada la preincubación se le agrega 2 ml de Top Agar y se vuelca en cajas de Petri que contienen el medio mínimo (ver Figura 4.5). Se incuba a 37°C durante 72 hs y se cuenta el número de colonias que aparecen (revertantes).

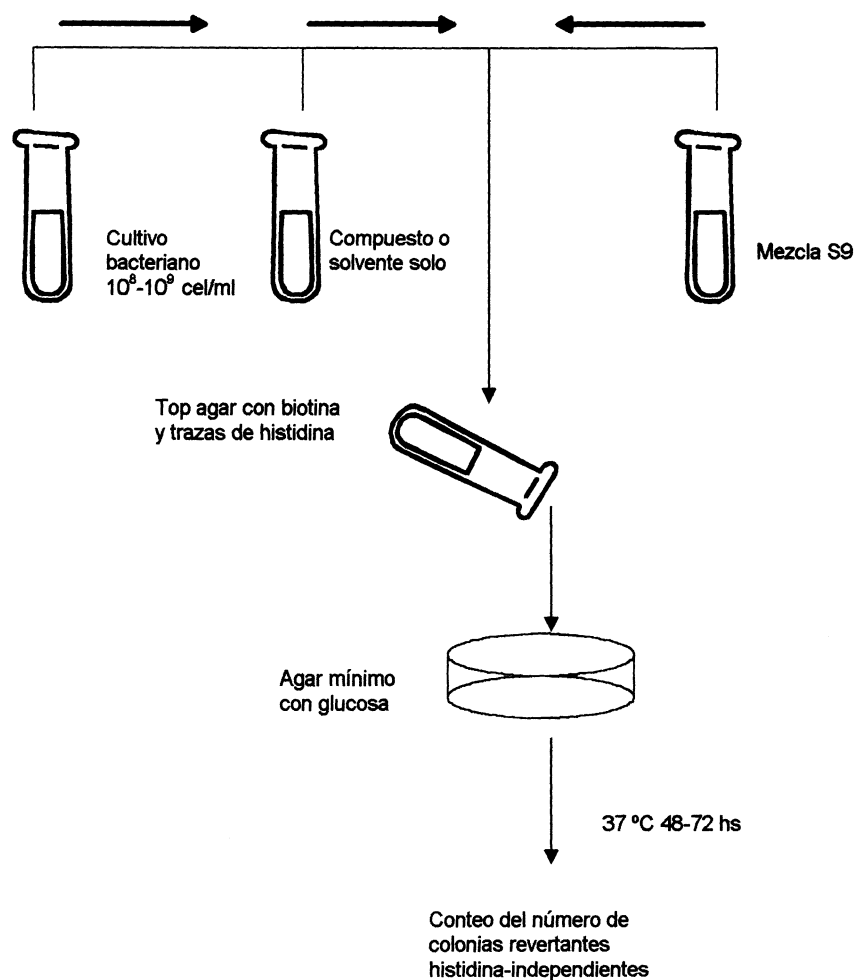


Fig. 4.5: Esquema de los pasos involucrados en el ensayo de Ames

#### 4.4.4. Pre-tratamiento de las muestras

Los extractos orgánicos provenientes del material particulado deben adecuarse al ensayo de genotoxicidad, ya que el solvente utilizado en la extracción (hexano) es tóxico para *S. typhimurium*. Por tal motivo, los extractos originales fueron llevados a sequedad bajo corriente de nitrógeno y resuspendidos en dimetilsulfóxido (DMSO). En este caso no se utilizó 1-octanol como “keeper” en la rotoevaporación debido a que el mismo es tóxico para la bacteria. Para obtener suficiente cantidad de muestra, los extractos por sitio fueron agrupados en tres sub-muestras, acorde al tamaño de las partículas consideradas en cada fracción, denominadas: fracción 10-3  $\mu\text{m}$ , fracción 3-0,49  $\mu\text{m}$  y fracción < 0,49  $\mu\text{m}$ . Cuatro diluciones y al menos dos réplicas fueron analizadas para cada sub-muestra.

#### 4.4.5. Controles del ensayo, cepa bacteriana y reactivos utilizados

De acuerdo a protocolo estándar se utilizó benzo[a]pireno (BaP) como control positivo. DMSO puro y extractos de filtros blanco fueron utilizados como control negativo. La cepa TA98 de *S. typhimurium* fue cedida gentilmente por B.N. Ames, Universidad de California, Berkeley, USA. El S9 liofilizado fue obtenido de Molecular Toxicology, Inc. El DMSO utilizado fue grado espectroscópico obtenido de Merck, Alemania. El BaP fue obtenido de la compañía Sigma, USA.

#### 4.4.6. Análisis de resultados y tratamiento estadístico de datos

Para la evaluación de los resultados se tuvo en consideración el criterio utilizado ampliamente por los especialistas en este ensayo y recomendado por los protocolos estándares: la regla modificada del doble incremento (“the modified two-fold increase rule”). Según este criterio, un ensayo es considerado positivo cuando existe una relación lineal entre la concentración de la muestra ensayada y el número de revertantes por placa y además, por lo menos en dos concentraciones, se dobla el número de revertantes espontáneos (USEPA, 1983; APHA, 1998). Los resultados de mutagenicidad fueron expresados en revertantes inducidos por miligramo de material particulado, calculado por análisis de regresión lineal de la parte lineal de la curva dosis-respuesta y en revertantes inducidos por metro cúbico de acuerdo al contenido de material particulado por metro cúbico (Bernstein *et al.*, 1982; McCubbin *et al.*,

1991; APHA, 1998). Todos los cálculos estadísticos y gráficos fueron realizados con Statistica 6.0.

#### **4.4.7. Semi-miniaturización del ensayo de Ames**

Con el objeto de poder analizar un mayor número de fracciones y diluciones de las muestras, se trabajó en la puesta a punto de una prueba semi-miniaturizada (Diehl *et al.*, 2000; Flamand, *et al.*, 2001). Se trabajó con el mismo protocolo que el ensayo de Ames convencional (preparación de células, tratamiento), excepto que todos los volúmenes de reactivos fueron divididos por cinco y por lo tanto la cantidad de muestra requerida es cinco veces menor. Se utilizaron placas de cultivo con seis pozos de aproximadamente 33 mm de diámetro y conteo manual de placas. Se ensayaron compuestos puros comparando con el ensayo convencional de Ames.

### **4.5. ENCUESTA EPIDEMIOLÓGICA**

El estudio de los efectos en la población se realizó mediante la implementación de cuestionarios dirigidos a niños de nivel preescolar de familias asentadas en los sectores de muestreo en los que se realizaron las determinaciones simultáneas de los parámetros de calidad de aire descriptos anteriormente.

#### **4.5.1. Fundamentos de la utilización de encuestas epidemiológicas en estudios de evaluación de la exposición humana a contaminantes ambientales**

Los métodos epidemiológicos han sido ampliamente usados para investigar los efectos de exposición ambiental sobre la salud humana. Para este propósito, el uso de cuestionarios o encuestas epidemiológicas es frecuentemente utilizado. Estos proveen información cualitativa y a menudo retrospectiva, de gran utilidad para categorizar respuestas dentro de dos o más grupos con respecto a potencial exposición (por ejemplo “expuestos” - “no-expuestos”, de “alta” o “baja exposición”). Los cuestionarios son también utilizados para ayudar en la interpretación de los resultados obtenidos mediante monitoreos ambientales o personales (incorporación de xenobióticos por dieta, inhalación o absorción dérmica). Para obtener cuestionarios efectivos y de relevancia en estudios de evaluación de la exposición, es necesario contar previamente con el conocimiento preciso del tipo de exposición y sus

determinantes y/o atenuantes. Asimismo es importante contar con resultados derivados de la aplicación de modelos predictivos, monitoreos químicos y efectos biológicos asociados correspondientes a la zona de la población en estudio.

Por otra parte, la incorporación de preguntas de tipo socio-demográfica aporta información relevante para identificar los principales indicadores de exposición. Además, es bien conocido que la prevalencia de las enfermedades difiere según se consideren distintos estratos sociales. Entre los factores a considerar se incluyen: niveles de ingreso económico, hábitos alimenticios, tradiciones y costumbres, acceso y calidad de la cobertura médica y servicios sanitarios, estabilidad laboral, antecedentes familiares (factores genéticos, razas), sexo y hábitos particulares (tabaco y alcohol). Incluso, habitualmente se selecciona dentro de la población los sectores de mayor vulnerabilidad (ancianos, niños o enfermos) de manera de adicionar un factor de seguridad a la evaluación del riesgo asociado.

Efectivamente, ya desde la década del 50 los estudios epidemiológicos ponen en evidencia que son los aspectos sociales junto con las características fisicoquímicas del ambiente (parámetros de calidad) los que determinan, en último término, los efectos sobre la salud de la población expuesta (Beaglehole *et al.*, 1994, IPCS, 2000; INE, 2001).

#### **4.5.2. Diseño de la encuesta**

Se utilizó la “Encuesta Epidemiológica para el Estudio de las Condiciones Ambientales y la Salud” diseñada por Gisella J. Fritz de la Sección de Investigación de Exposición y Epidemiología del Centro de Investigación Ambiental de Leipzig-Halle (SIEE-UFZ), Alemania en conjunto con el Instituto para el Estudio del Medio Ambiente de la Universidad de Mendoza. Dicha encuesta fue aplicada previamente en la ciudad de Leipzig (Alemania), en su lengua original, y en la ciudad de Mendoza, traducida al castellano (Herbarth, *et al.*; 1999). Para este estudio se tomó la versión en castellano y se realizaron algunas modificaciones en conjunto con investigadores de la SIEE-UFZ con el fin de adaptarla acorde a la población de la zona en estudio (ver en anexo 1 copia de la encuesta utilizada). La base de este cuestionario fue el cuestionario standard de la American Thoracic Society (1979, 1987); el proyecto de estandarización epidemiológica (Ferris *et al.*, 1978), la International Union Agency of Lung Diseases (Burney *et al.*, 1984) y otros extractos de la literatura (Samet *et al.*, 1978; Murakami *et al.*, 1990). La encuesta está dirigida a niños entre 3 y 6 años dado que constituyen uno de



los sectores de la población de mayor vulnerabilidad. Además, representan al grupo que transcurre la mayor parte de su tiempo dentro de su barrio (micro ambiente), se encuentre éste en una zona de tipo urbano, industrial, rural o residencial, encontrándose expuestos mayoritariamente a los factores ambientales característicos de cada una de esas zonas.

Dichos cuestionarios incluyen un total de 430 ítems a responder por los padres del niño participante del estudio. Los ítems proveen detalles sobre historia médica personal y familiar referida a enfermedades respiratorias (especialmente asma y bronquitis) y alergias. Otras preguntas están relacionadas con aspectos demográficos, información sobre otras enfermedades tanto personal como familiar, nivel socio-económico, educación, ocupación, hábito de fumar y otros hábitos personales, caracterización de las condiciones ambientales del área y lugar de residencia, tipo de combustible utilizado para calefacción doméstica y cocción de alimentos, tráfico en la zona de residencia, exposiciones intramuros.

La encuesta está dividida en cinco secciones:

- **Sección 1: datos del participante en estudio**

Permite identificar el participante con sus datos personales, incluyendo el Establecimiento infantil al que asiste.

- **Sección 2: preguntas referidas a la familia del participante en estudio**

Permite caracterizar la familia del participante. Incluye referencias a la constitución del núcleo familiar, educación y trabajo de los padres, hábitos personales de los adultos de la familia, enfermedades diagnosticadas a los familiares más cercanos.

- **Sección 3: preguntas referidas a la zona de residencia**

Aporta elementos referidos a las condiciones del ambiente cercano a la vivienda del participante, por ejemplo proximidad a parque o industria y tipo de tránsito. Pregunta además sobre el tiempo de residencia en ese lugar.

- **Sección 4: preguntas referidas a la vivienda**

Las condiciones de la vivienda son importantes por cuanto el niño pasa gran parte del día en ella. En tal sentido en esta sección se realizan preguntas referidas a renovación de interiores (muebles, alfombras, pintura), número y tamaño de habitaciones, tipo de

combustible utilizado para calefacción y/o cocción de alimentos, ventilación de la casa, presencia de mohos, entre otras.

- **Sección 5: preguntas referidas al participante en estudio**

Esta sección comprende preguntas referidas al desarrollo corporal del niño (peso, estatura), enfermedades diagnosticadas (afecciones al sistema respiratorio, tipos de alergias, inflamaciones de mucosas externas, enfermedades crónicas, entre otras), sintomatología característica asociada (tos, resfríos frecuentes, modificaciones de la piel), visitas de emergencia a centros de atención primaria, enfermedades tratadas en hospital o sanatorio.

#### **4.5.3 Análisis estadístico de los datos**

El análisis estadístico de los cuestionarios se realizó utilizando el programa Statistica 6.0 mediante métodos no lineales de regresión logística (logit) calculando el “Odds Ratio” con un nivel de confianza del 95 % para las distintas variables de interés (Herbarth *et al.*, 1998, 1999; IPCS, 2000). Mediante dicho sistema se trató de buscar posibles asociaciones entre las enfermedades diagnosticadas o síntomas asociados (variable dependiente) y fuentes de emisión de contaminantes, características de la zona de residencia, hábitos personales y familiares, características de las viviendas, individualmente o asociadas en grupos con características comunes (variables independientes).

Dado el marco en el cual se realizó este estudio, que dio lugar a la utilización de una misma herramienta metodológica, también ha sido posible comparar los resultados obtenidos en la zona de La Plata y alrededores con aquellos obtenidos en la ciudad de Mendoza y Leipzig, Alemania.

## 5. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LOS CONTAMINANTES

### 5.1. MATERIAL PARTICULADO EN SUSPENSIÓN

Se presentan y discuten los resultados correspondientes al fraccionamiento en cascada del material particulado en suspensión en aire, partículas menores a 10  $\mu\text{m}$  -PM10-, diferenciando 6 fracciones de acuerdo al diámetro aerodinámico de las partículas comprendidas entre: fracción 1: 10- 7,2  $\mu\text{m}$ ; fracción 2: 7,2- 3  $\mu\text{m}$ ; fracción 3: 3- 1,5  $\mu\text{m}$ ; fracción 4: 1,5- 0,95  $\mu\text{m}$ ; fracción 5: 0,95- 0,49  $\mu\text{m}$ ; fracción 6: < 0,49  $\mu\text{m}$ , para las campañas de muestreo realizadas durante el período 1999-2002 en época invernal y estival en las distintas zonas oportunamente mencionadas.

#### 5.1.1. Concentración total de partículas

En la Tabla 5.1 se presenta la concentración de partículas menores a 10  $\mu\text{m}$  en las distintas zonas de estudio para el período invernal y estival.

*Tabla 5.1: Concentración de partículas menores a 10  $\mu\text{m}$  en las distintas zonas de estudio*

Zona	Concentración ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )					
	Invierno			Verano		
	Media Mediana	Mínimo Máximo	Percentilo 25 Percentilo 75	Media Mediana	Mínimo Máximo	Percentilo 25 Percentilo 75
Industrial	43,19 33,76	18,46 86,79	18,88 67,51	36,94 36,94	20,76 53,13	20,76 53,13
Urbana	32,36 26,89	20,86 56,60	22,36 40,54	31,46 34,36	14,62 42,52	22,95 39,97
Semi-rural	8,12 10,63	2,70 11,03	2,70 11,03	19,05 18,39	11,32 28,10	14,78 23,31

El material particulado en suspensión puede provenir de diversas fuentes. En zonas urbanas e industrializadas son de particular importancia los escapes de los vehículos y las chimeneas asociadas a procesos de combustión y calefacción doméstica. En zonas rurales y semi-rurales existen otro tipo de fuentes tales como polvo ambiental, polen, cenizas volantes, carbón y operaciones de agricultura (Godish, 1991; WHO, 2000b; Baird, 2001; WHO, 2002). En la Figura 5.1 se muestran las concentraciones de partículas menores a 10  $\mu\text{m}$  para las distintas zonas de estudio.

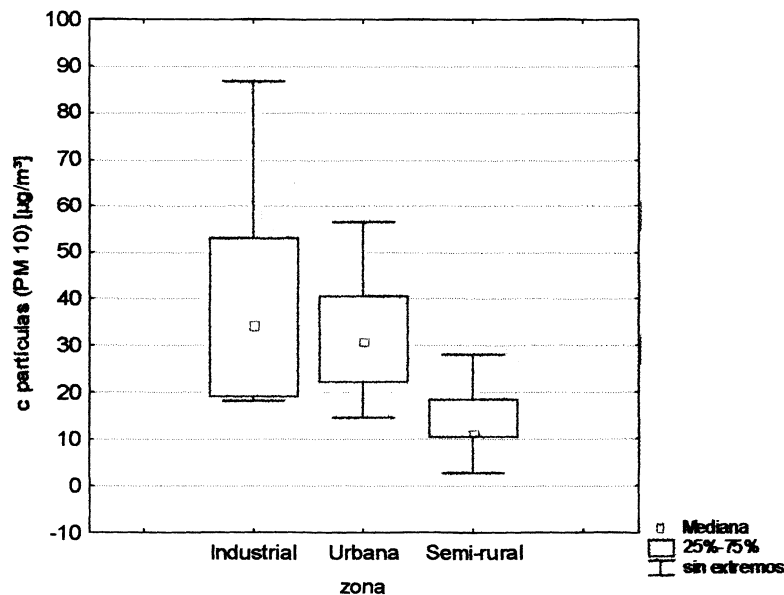


Fig. 5.1: Concentración de partículas menores a 10  $\mu\text{m}$  en las distintas zonas de estudio

Comparando las zonas de estudio entre sí, se observa una mayor concentración de partículas en todas las fracciones en las zonas urbana e industrial con diferencias significativas (Mann-Whitney U-Test) entre ambas zonas y la zona semi-rural. Estas diferencias probablemente se deben a las emisiones industriales y al tránsito vehicular. Sin embargo no se observan diferencias significativas entre la zona urbana e industrial (Tabla 5.2). De manera general tampoco se observan diferencias significativas entre invierno y verano en todas las zonas estudiadas.

Tabla 5.2: Relación de PM10 entre las zonas de estudio

	relación	p
Industrial/Urbana	1,12	0,91
Industrial/Semi-rural	3,05	0,015 *
Urbana/Semi-rural	2,71	0,004 *

\* estadísticamente significativo para  $p < 0,05$  (Mann-Whitney-U-Test)

En este estudio, se observa una concentración media de PM10 cercana a 30 y 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , tanto en invierno como en verano, para zona urbana e industrial respectivamente (Tabla 5.1). No obstante, en ningún caso se supera el límite permitido para PM10 por la legislación de la provincia de Buenos Aires, la cual establece 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para la media diaria y 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para la media anual (Ley 5965, Decreto Reglamentario 3395). Tampoco se superan los límites permitidos por la USEPA y la Unión Europea detallados en la introducción del presente trabajo. Los resultados obtenidos para PM10 en zona industrial y urbana concuerdan con los hallados en la región en un estudio realizado en una zona intermedia entre ambas zonas (Catoggio *et al.*, 1989). En otras regiones, como por ejemplo en el norte de Europa, se ha encontrado que los niveles de PM10 para época invernal no exceden los 20-30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , mientras que en zonas del oeste de Europa los niveles tienden a ser mayores: entre 40-50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (WHO, 2000a). En ciudades de Estados Unidos se han encontrado niveles de PM10 entre 20 y 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Norris *et al.*, 1999; Schwartz *et al.*, 2000). Los resultados hallados en este trabajo están dentro del rango informado en estos estudios. Sin embargo, es de destacar que en estudios realizados en zonas urbanizadas de Chile y en México se obtuvieron valores muy superiores de PM10: entre 90 y 130  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Vega *et al.*, 2003; Celis *et al.*, 2004). Por otro lado, en un área industrializada de Italia se encontraron valores entre 35 y 130  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de PM10 (Monarca *et al.*, 1997).

De manera general se observa una disminución de la concentración de partículas en los distintos años de muestreo tomando en cuenta todas las zonas de estudio (Figura 5.2). La elevada diferencia hallada entre el año 2000 y 2001 puede deberse a un cambio en el controlador de flujo del instrumental de muestreo. De todos modos, se observa una tendencia general de disminución de la concentración si comparamos los años 1999-2000 en los cuales

se utilizó controlador de flujo volumétrico y 2001-2002 en los cuales se utilizó controlador de flujo másico. Si comparamos con estudios previos en la región, los resultados coinciden con los hallados en el presente estudio para el año 1999 (Catoggio *et al.*, 1989). Esta disminución podría deberse por un lado, a la conversión de un porcentaje elevado del parque automotor a GNC que comenzó a tener importancia en nuestro país luego del año 2000, disminuyendo por lo tanto los vehículos con motores diesel, los cuales son la principal fuente de partículas relacionadas con el tránsito vehicular (Heskett, 1991; EU, 2001). Por otra parte, también podría haber un mejoramiento en los procesos de combustión de las industrias de la región, emitiendo un porcentaje menor de partículas.

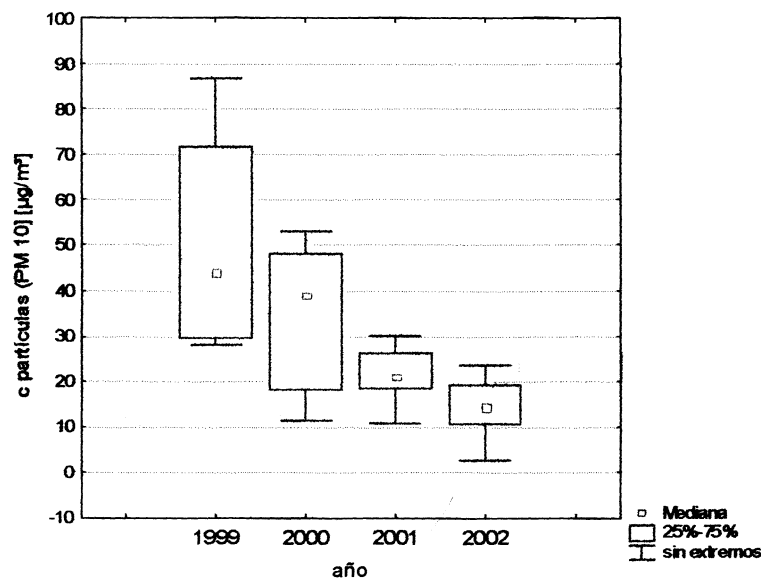


Fig. 5.2: Concentración de partículas menores a 10 µm considerando todas las zonas de estudio en los distintos años de muestreo

### 5.1.2. Distribución de partículas por tamaños

En las Tablas 5.3 a, b,c se presentan las concentraciones de material particulado en aire en las 6 fracciones analizadas para las zonas industrial, urbana y semi-rural expresadas como media, mediana, máximos, mínimos y percentilos 25 y 75.

Tabla 5.3a: Concentración de material particulado en las distintas fracciones analizadas correspondientes a la zona industrial

Fracción	Concentración ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )					
	Invierno			Verano		
	Media Mediana	Mínimo Máximo	Percentilo 25 Percentilo 75	Media Mediana	Mínimo Máximo	Percentilo 25 Percentilo 75
1	1,31	0,90	0,90	5,23	1,25	1,25
	1,00	2,02	2,02	5,23	9,20	9,20
2	4,93	3,05	3,05	8,27	5,42	5,42
	4,96	6,77	6,77	8,27	11,12	11,12
3	1,59	1,02	1,02	3,70	2,28	2,28
	1,02	2,74	2,74	3,70	5,12	5,12
4	2,52	1,11	1,11	3,48	1,91	1,91
	2,42	4,02	4,02	3,48	5,05	5,05
5	3,87	1,82	1,82	3,56	1,91	1,91
	2,83	6,97	6,97	3,56	5,21	5,21
6	14,46	8,56	8,56	12,71	8,00	8,00
	9,08	25,73	25,73	12,71	17,43	17,43

Tabla 5.3b: Concentración de material particulado en las distintas fracciones analizadas correspondientes a la zona urbana

Fracción	Concentración ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )					
	Invierno			Verano		
	Media Mediana	Mínimo Máximo	Percentilo 25 Percentilo 75	Media Mediana	Mínimo Máximo	Percentilo 25 Percentilo 75
1	1,45	0,54	0,64	3,59	1,07	1,07
	1,05	3,59	1,45	1,80	7,90	7,90
2	3,93	2,60	2,76	6,59	4,03	4,03
	3,43	5,46	5,41	7,73	8,00	8,00
3	1,45	0,92	1,28	1,17	0,42	0,42
	1,32	2,08	1,67	0,52	2,56	2,56
4	1,82	1,31	1,64	2,69	0,84	0,84
	1,71	2,42	2,02	2,24	4,99	5,00
5	2,22	1,45	1,51	1,30	0,22	0,22
	1,81	3,79	2,53	1,43	2,24	2,24
6	16,63	11,69	12,88	16,19	6,72	6,73
	14,19	25,94	18,45	14,49	27,35	27,35

Tabla 5.3c: Concentración de material particulado en las distintas fracciones analizadas correspondientes a la zona semi-rural

Fracción	Concentración ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )					
	Invierno			Verano		
	Media Mediana	Mínimo Máximo	Percentilo 25 Percentilo 75	Media Mediana	Mínimo Máximo	Percentilo 25 Percentilo 75
1	0,57	0,15	0,15	2,18	1,05	1,05
	0,75	0,80	0,80	1,65	3,84	3,84
2	2,09	0,68	0,68	5,27	4,03	4,03
	2,54	3,05	3,05	5,63	6,16	6,16
3	0,26	0,08	0,08	1,83	1,31	1,31
	0,13	0,58	0,58	1,51	2,66	2,66
4	1,08	0,29	0,29	1,17	0,85	0,85
	1,09	1,88	1,88	1,10	1,56	1,56
5	0,82	0,49	0,49	0,83	0,40	0,40
	0,85	1,13	1,13	0,80	1,29	1,29
6	3,30	0,97	0,97	4,76	3,23	3,23
	4,04	4,89	4,89	5,29	5,76	5,76

Las Guías para Calidad del Aire de la Organización Mundial de la Salud enfatizan un riesgo mayor asociado a PM<sub>2,5</sub> comparado con PM<sub>10</sub> (WHO, 2000). En tal sentido, los resultados muestran un mayor riesgo asociado a partículas inhalables finas (0,49-1,5  $\mu\text{m}$ ) y muy finas (<0,49  $\mu\text{m}$ ) debido a sus características y a la alta proporción de las mismas en la masa total. Se observa que más del 60% del total de la masa de partículas corresponde a partículas menores que 3  $\mu\text{m}$  para todas las zonas de estudio, exceptuando la semi-rural en época estival donde la proporción es del 45%. Es importante denotar que del total de partículas menores a 3  $\mu\text{m}$ , entre el 60% y el 75% de las mismas corresponde a partículas menores que 0,49  $\mu\text{m}$  (Tablas 5.3 a,b,c).

La distribución del tamaño de partículas muestra una elevada proporción de aquellas menores que 0,49  $\mu\text{m}$  en áreas urbana e industrial. Cabe mencionar que las partículas finas generalmente se originan en los escapes de los vehículos, chimeneas asociadas a procesos de combustión, calefacción doméstica, humos y polvo metalúrgico, incluso humo de cigarrillo, todas fuentes asociadas con las zonas mencionadas. En la zona semi-rural, además de la elevada proporción de partículas menores a 0,49  $\mu\text{m}$ , también se observa una alta proporción de la fracción gruesa comprendida entre 7,2 y 3  $\mu\text{m}$  (Figuras 5.3 a,b,c). Esta fracción de partículas gruesas puede provenir del polvo ambiental, cenizas volantes, operaciones de agricultura, entre otras fuentes probablemente asociadas a la zona semi-rural. También una fracción de estas partículas podría ser producto de procesos mecánicos de acumulación de



partículas finas provenientes de otras zonas, ya que estas últimas tienen tiempos medios de vida mayores que las partículas gruesas y pueden dispersarse a lo largo de varios kilómetros (Godish, 1991; WHO, 2000b; Baird, 2001; WHO, 2002).

Los resultados obtenidos para las distintas fracciones de material particulado concuerdan con los obtenidos en la región en un estudio realizado en una zona intermedia entre la zona urbana y la industrial (Catoggio *et al.*, 1989).

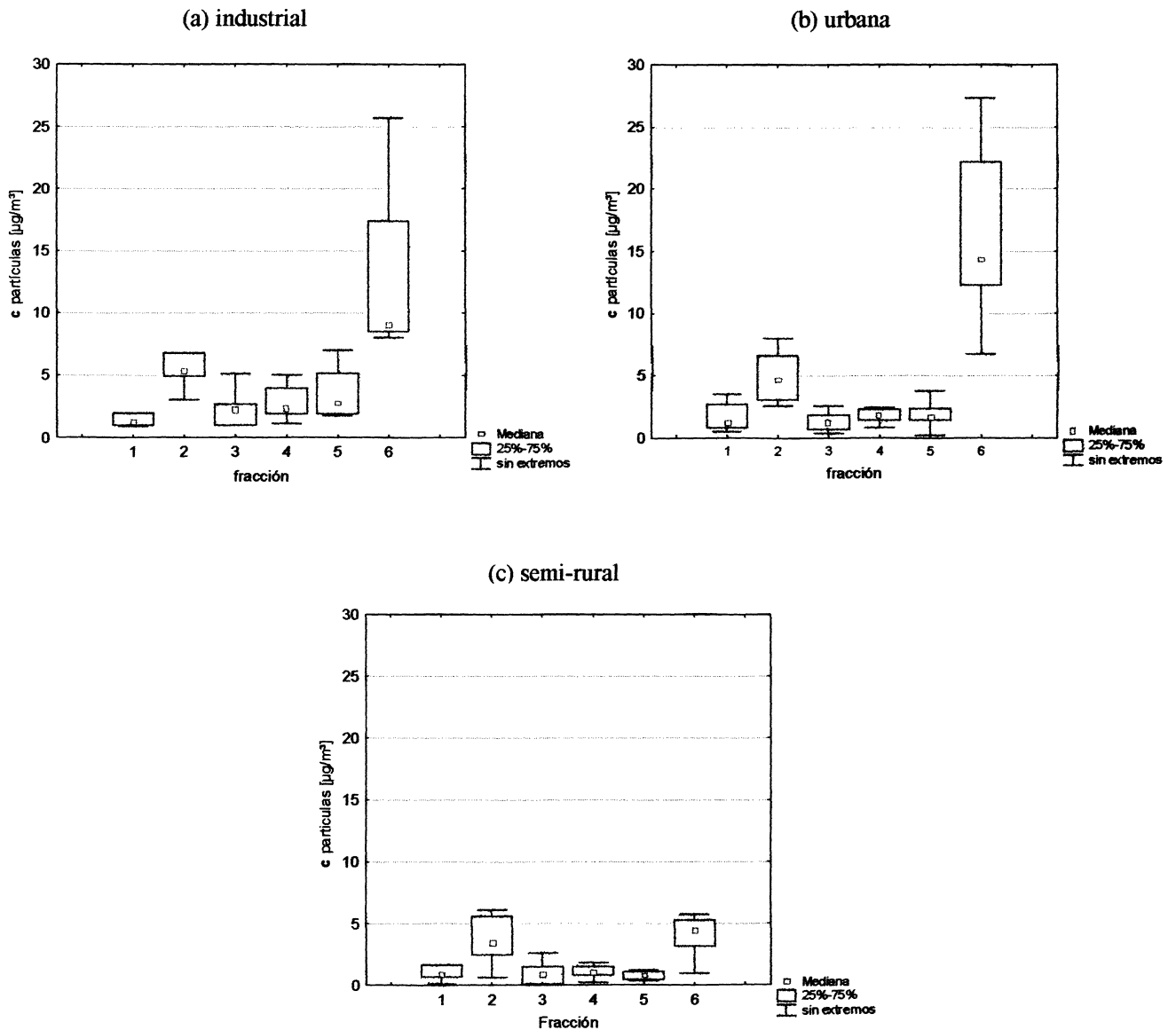


Fig.5.3 a,b,c: Distribución del tamaño de partículas para zona industrial (a), urbana (b) y semi-rural (c)

## 5.2. COMPUESTOS ORGÁNICOS SEMIVOLÁTILES ASOCIADOS A MATERIAL PARTICULADO EN SUSPENSIÓN

Se analizaron químicamente compuestos orgánicos semivolátiles asociados al material particulado en suspensión en las fracciones descriptas anteriormente, en particular los 16 PAHs considerados prioritarios por la USEPA (Collier *et al*, 1998).

### 5.2.1. Concentración de PAHs asociados a PM10

Se presentan a continuación los resultados obtenidos en el análisis químico de los extractos orgánicos asociados a PM10 correspondientes a PAHs totales, suma de PAHs carcinogénicos y el compuesto indicador benzo[a]pireno (Tablas 5.4 a,b,c). Debido a que los datos no presentan una distribución simétrica, se exhiben además de los valores medios, la mediana, máximo, mínimo y percentilos 25, 75. Los resultados en detalle de todos los compuestos analizados se presentan en el Anexo II. En el análisis de los datos se consideraron 15 PAHs de los 16 recomendados por la USEPA debido a que el acenaftileno se encuentra en todos los casos por debajo del límite de detección.

Tabla 5.4 a: Concentraciones de BaP, PAHs totales y carcinogénicos en  $ng/m^3$  correspondientes a PM10 para zona industrial expresadas como media, mediana, mínimo, máximo y percentilos 25, 75

Compuesto	Concentración ( $ng/m^3$ )					
	Invierno			Verano		
	Media Mediana	Mínimo Máximo	Percentilo 25 Percentilo 75	Media Mediana	Mínimo Máximo	Percentilo 25 Percentilo 75
Benzo[a]pireno	0,98 0,82	0,26 2,00	0,50 1,45	0,29 0,29	0,17 0,42	0,17 0,42
Suma PAHs	9,09 9,08	2,80 15,41	4,96 13,22	3,60 3,60	1,54 5,66	1,54 5,66
Suma PAHs carcinogénicos	5,86 5,79	1,65 10,19	3,05 8,66	2,07 2,07	0,91 3,23	0,91 3,23

Tabla 5.4 b: Concentraciones de BaP,PAHs totales y carcinogénicos en ng/m<sup>3</sup> correspondientes a PM10 para zona urbana expresadas como media, mediana, mínimo, máximo y percentilos 25, 75

Compuesto	Concentración (ng/m <sup>3</sup> )					
	Invierno			Verano		
	Media Mediana	Mínimo Máximo	Percentilo 25 Percentilo 75	Media Mediana	Mínimo Máximo	Percentilo 25 Percentilo 75
Benzo[a]pireno	0,48 0,45	0,27 0,82	0,41 0,50	0,23 0,21	0,07 0,43	0,12 0,34
Suma PAHs	5,74 4,58	3,31 12,77	4,18 5,01	3,25 3,29	1,19 5,22	1,88 4,62
Suma PAHs carcinogénicos	3,04 2,45	1,79 6,62	2,16 2,74	1,81 1,82	0,48 3,12	0,95 2,67

Tabla 5.4c: Concentraciones de BaP,PAHs totales y carcinogénicos en ng/m<sup>3</sup> correspondientes a PM10 para zona semi-rural expresadas como media, mediana, mínimo, máximo y percentilos 25, 75

Compuesto	Concentración (ng/m <sup>3</sup> )					
	Invierno			Verano		
	Media Mediana	Mínimo Máximo	Percentilo 25 Percentilo 75	Media Mediana	Mínimo Máximo	Percentilo 25 Percentilo 75
Benzo[a]pireno	0,10 0,12	0,03 0,16	0,03 0,16	0,12 0,06	0,02 0,35	0,03 0,22
Suma PAHs	1,28 1,54	0,42 1,87	0,42 1,87	1,36 0,82	0,30 3,51	0,38 2,34
Suma PAHs carcinogénicos	0,76 0,91	0,25 1,11	0,25 1,11	0,78 0,49	0,19 1,94	0,24 1,31

De manera general, dado que los datos presentan una distribución asimétrica, fueron seleccionados para la elaboración de los gráficos que se presentan a continuación los valores correspondientes a las medianas de cada muestra (Sokal, 1981; ZAR, 1998).

### 5.2.1.1. Comparación entre lugares

Los resultados muestran que las concentraciones totales de PAHs asociados a PM10 en el área urbana e industrial son significativamente mayores que los valores hallados para la zona semi-rural (Figura 5.4). La zona industrial presenta las mayores concentraciones para la suma de PAHs siendo 1,5 veces mayor que la zona urbana y 6 veces mayor que la zona semi-rural; mientras que la zona urbana presenta valores 4 veces mayor que la zona semi-rural. Se encuentran diferencias significativas entre zona industrial y urbana comparadas con la zona semi-rural para la suma de PAHs, la suma de compuestos carcinogénicos y la mayoría de los

compuestos individuales, especialmente los de mayor número de anillos (Mann-Whitney-U-Test). No obstante, si bien la zona industrial presenta valores mayores que la urbana, no se encontraron diferencias significativas entre ambas zonas para ninguno de los compuestos (Tabla 5.5).

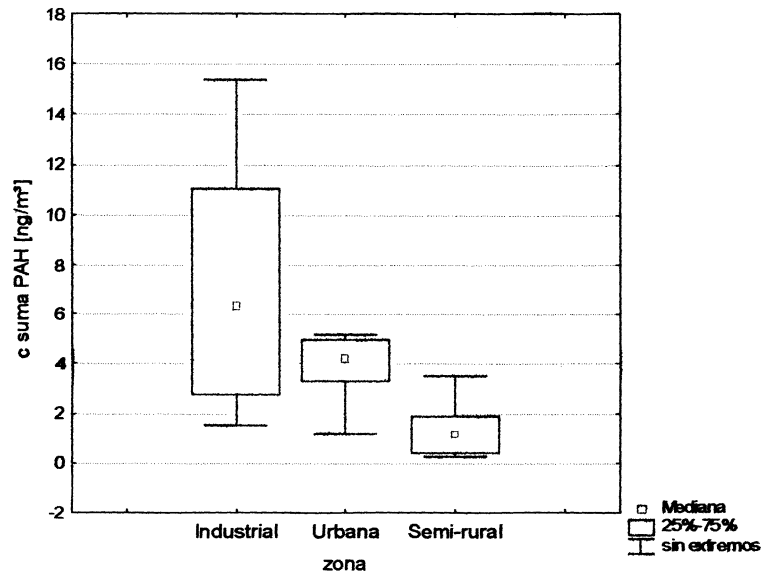


Fig. 5.4: Concentración de PAHs totales asociados a PM10 en las distintas zonas de estudio

Tabla 5.5: Relación entre las distintas zonas de estudio para PAHs totales asociados a PM10

Compuesto	Relación					
	Industrial/Urbana		Industrial/semi-rural		Urbana/semi-rural	
Naftaleno	1,55		0,88		0,57	
Acenafteno	2,30		8,92		3,88	
Fluoreno	0,64		3,84		6,04	
Fenantreno	0,76		3,98	*	5,26	*
Antraceno	1,31		5,19	*	3,98	*
Fluoranteno	1,45		2,44		1,68	
Pireno	1,20		5,98	*	4,99	*
Benz[a]antraceno	1,92		21,34	*	11,11	*
Criseno	1,55		14,83	*	9,56	*
Benzo[b]fluoranteno	1,72		7,37	*	4,28	*
Benzo[k]fluoranteno	1,83		8,56	*	4,68	*
Benzo[a]pireno	1,40		6,46	*	4,61	*
Dibenz[a,h]antraceno	2,67		6,47	*	2,42	*
Benzo[g,h,i]perileno	1,37		6,29	*	4,58	*
Indeno[1,2,3]cd-pireno	1,61		4,34	*	2,69	*
<b>Suma PAHs</b>	<b>1,49</b>		<b>5,48</b>	*	<b>3,67</b>	*

\* diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) para la prueba de Mann-Whitney

### 5.2.1.2. Comparación invierno/verano

En general, las concentraciones de PAHs tienden a ser mayores en invierno que en verano. Este comportamiento se debe a factores meteorológicos (mayor estabilidad atmosférica en invierno), mayor emisión en época invernal (calefacción doméstica con madera y carbón) y la reducción de la reactividad atmosférica de PAHs en invierno (reducción de la degradación por oxidación fotoquímica y reacción con radicales OH). Los valores obtenidos en el presente estudio en ambas épocas del año, muestran que en todas las áreas investigadas la concentración de PAHs totales es mayor en el período invernal (Figura 5.5). Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas (Mann-Whitney-U-test) entre verano e invierno en todas las zonas de estudio.

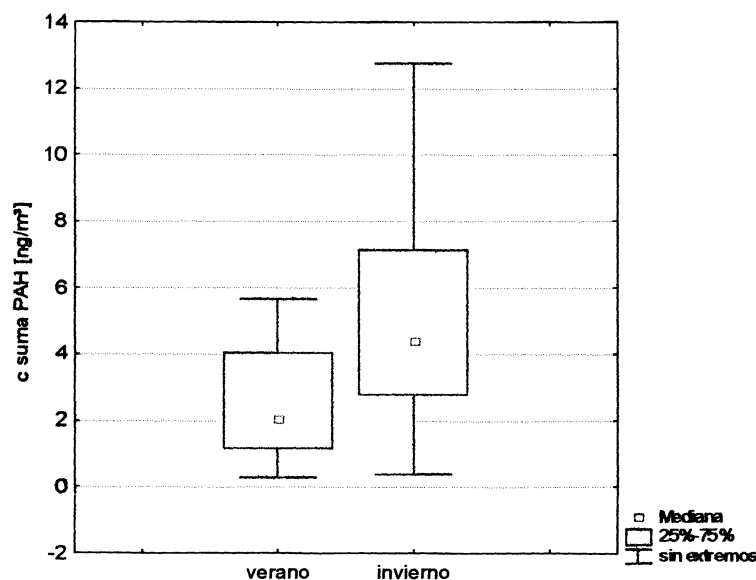


Fig. 5.5: Concentración de PAHs totales asociados a PM10 para invierno y verano

En la Tabla 5.6 se muestran las relaciones invierno/verano para todos los compuestos analizados en las distintas zonas. Estudios anteriores realizados en la región en una zona intermedia entre la zona industrial y urbana (Catoggio *et al.*, 1989) mostraron diferencias estacionales y el presente estudio, tomando solamente los datos correspondientes al año 2000, también presenta variaciones entre el período invernal y estival (Massolo *et al.*, 2002). Sin embargo, estas diferencias no se observan al considerar la mediana de todas las campañas de muestreo. Las diferencias estacionales invierno/verano han sido reportadas en diversos estudios realizados en sitios con temperaturas medias más extremas en invierno y verano que las de la región de La Plata y alrededores (Caricchia *et al.*, 1999; Menichini, *et al.*, 1999; Zheng y Fang, 2000; EU, 2001; Sisovic, *et al.*, 2002). Probablemente la región no presenta divergencias marcadas en los factores que influyen las diferencias estacionales anteriormente mencionadas. Cabe denotar que la relación invierno/verano encontrada para la zona urbana es comparable con la hallada en Las Palmas, Gran Canaria (Vera Castellano *et al.*, 2003), probablemente debido a características climáticas similares.

Tabla 5.6: Relación invierno/verano para PAHs totales asociados a PM10 en las distintas zonas de estudio

Compuesto	Zona		
	Industrial	Urbana	Semi-rural
Naftaleno	0,42	0,49	1,14
Acenafteno	1,84	2,53	0,20
Fluoreno	0,88	1,62	4,49
Fenantreno	1,21	1,42	4,00
Antraceno	3,11	1,71	1,79
Fluoranteno	1,21	0,89	1,96
Pireno	3,04	1,98	4,00
Benz[a]antraceno	6,42	1,53	4,48
Criseno	3,57	1,74	3,59
Benzo[b]fluoranteno	2,60	1,28	1,88
Benzo[k]fluoranteno	2,37	1,33	2,26
Benzo[a]pireno	2,80	2,20	1,90
Dibenz[a,h]antraceno	1,93	1,51	0,55
Benzo[g,h,i]perileno	2,01	1,52	1,09
Indeno[1,2,3]cd-pireno	2,89	1,44	1,65
<b>Suma PAHs</b>	<b>2,52</b>	<b>1,39</b>	<b>1,89</b>
Suma PAHs carcinogénicos	2,80	1,35	1,85

### 5.2.1.3. Variación de las concentraciones de PAHs en los distintos años de muestreo

Se observa de manera general una disminución en el contenido total de PAHs asociado a PM 10 comparando los distintos años de muestreo, fundamentalmente en las zonas urbana e industrial (Figura 5.6). Esto podría deberse por un lado a la conversión de un porcentaje elevado del parque automotor a GNC como se mencionó anteriormente, disminuyendo por lo tanto los vehículos con motores diesel, con la consecuente disminución de emisión de partículas y compuestos orgánicos asociados a las mismas. Además hay que tener en cuenta la renovación del parque automotor con el uso de catalizadores que reducen de manera importante la emisión de PAHs en vehículos que utilizan nafta como combustible y en menor proporción en los que utilizan gas oil (Heskett, 1991; IPCS, 1998; EU, 2001). Por otra parte, también podría haber un mejoramiento en los procesos de combustión de las industrias de la región, emitiendo un porcentaje menor de compuestos asociados a material particulado en suspensión a la atmósfera, en concordancia con la disminución de la emisión de partículas

anteriormente mencionada. Estos resultados coinciden con los hallados en otros países. De manera general existe una tendencia a la reducción de PAHs en diversos países de la Comunidad Europea y se espera que para el año 2010 la concentración sea aún menor (EU, 2001).

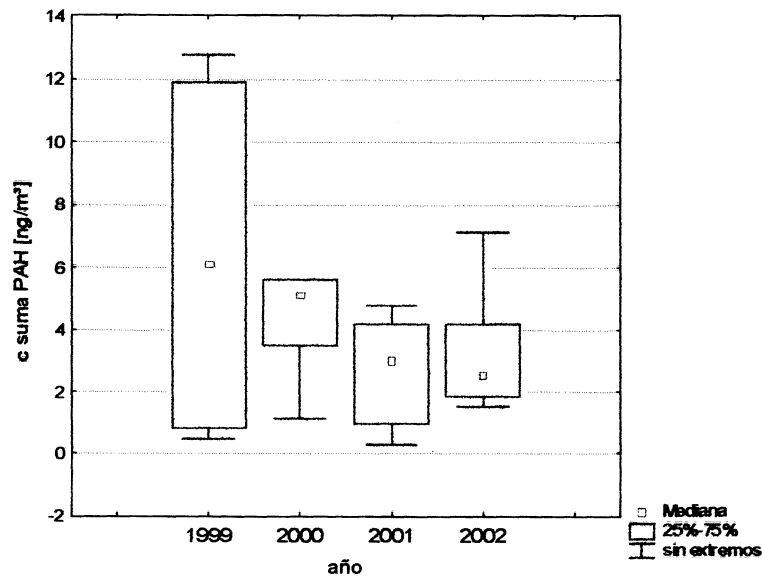


Fig. 5.6: Contenido total de PAHs asociado a PM10 en  $\text{ng}/\text{m}^3$  comparando los distintos años de muestreo.

Cabe señalar que las concentraciones de PAHs asociadas a PM10 halladas son menores que las encontradas en un estudio previo realizado en la región, en una zona intermedia entre la urbana e industrial, tal como anteriormente se lo ha mencionado (Catoggio *et al.*, 1989). En la Tabla 5.7 se presentan algunos valores obtenidos en dicho estudio en época invernal y estival. Comparando dichos resultados con los obtenidos en el presente, se puede observar para el período invernal una importante disminución de las concentraciones de PAHs (hasta 100 veces para algunos compuestos como naftaleno). En época estival, en la mayoría de los casos, salvo para los compuestos criseno y BaP también se observa una disminución de las concentraciones, aunque no tan marcada como la observada para invierno. Cabe aclarar que si bien la metodología de muestreo de material particulado en ambos estudios es equivalente, el solvente utilizado para la extracción de PAHs es distinto. Mientras que en el presente estudio se utilizó n-hexano como solvente de extracción, en el estudio anterior mencionado se utilizó benceno. Obviamente el benceno no fue utilizado en el presente estudio debido a su potencial cancerígeno.



Tabla 5.7: Concentraciones de PAHs asociados a PM10 en estudios anteriores realizados en la región (Catoggio *et al.*, 1989)

Compuesto	Concentración (ng/m <sup>3</sup> )	
	verano	invierno
Naftaleno	3,94	13,20
Fluoreno	0,49	1,22
Fenantreno	0,70	2,40
Antraceno	0,12	0,52
Pireno	0,34	3,97
Benz[a]antraceno	0,55	1,65
Criseno	0,34	1,36
Benzo[a]pireno	0,09	2,27
Dibenz[a,h]antraceno	0,52	0,24

En general, los datos encontrados en la literatura sobre niveles de PAHs en aire ambiente son escasos comparados con otros contaminantes clásicos como SO<sub>2</sub>, por ejemplo. Esto puede ser explicado por dos motivos: por un lado la complejidad y el costo del muestreo y los procedimientos analíticos requeridos y por otro lado el hecho de que sólo en muy pocos países existen bases legales que requieran el monitoreo de PAHs (EU, 2001). Además estos compuestos generalmente forman parte de mezclas complejas, lo cual dificulta el desarrollo de guías específicas para los mismos. En tal sentido, se utiliza al BaP como indicador para representar el potencial carcinogénico asociado a mezclas de PAHs en aire ambiente, si bien esta situación puede provocar una subestimación del mismo (WHO, 2000a).

Los niveles medios hallados para BaP en aire ambiente en áreas rurales de países de la Comunidad Europea varían entre 0,1 y 1 ng/m<sup>3</sup> mientras que para áreas urbanas dichos niveles varían entre 0,5 y 3 ng/m<sup>3</sup>, pudiendo llegar hasta 30 ng/m<sup>3</sup> en la cercanía a ciertas industrias (WHO, 2000a; EU, 2001). Los niveles de BaP obtenidos en el presente estudio se encuentran entre 0,07 y 0,8 ng/m<sup>3</sup>, encontrándose por debajo de estos rangos, a excepción de la zona industrial en el período invernal. Los niveles hallados en zona urbana son similares a los hallados en Gran Canaria - 0,34 ng/m<sup>3</sup> - (Vera Castellano *et al.*, 2003) y dos veces mayores a los hallados en Los Ángeles, Estados Unidos - 0,14 ng/m<sup>3</sup> - (Naumova *et al.*, 2002)

y Melbourne, Australia -  $0,17 \text{ ng/m}^3$  -. Comparando con una ciudad industrializada de Latinoamérica como San Pablo, es importante denotar que los niveles de BaP hallados en el presente estudio son menores a los hallados en la misma -  $2,7 \text{ ng/m}^3$  - (De Martinis *et al.*, 2002). Por otra parte diversos estudios realizados en Europa presentan valores superiores al presente estudio con una concentración media de  $4,4 \text{ ng/m}^3$  en Copenhage, Dinamarca (Nielsen, 1998) y  $1,38 \text{ ng/m}^3$  en Roma, Italia (Menichini *et al.*, 1999).

En la Tabla 5.8 se pueden observar valores promedio de PAHs asociados a PM10 en diferentes ciudades del mundo (De Martinis *et al.*, 2002; Naumova *et al.*, 2002; Guo *et al.*, 2003a) para estudios realizados en los últimos años. Estos valores se comparan con los valores medios hallados en el presente estudio considerando todos los datos (invierno y verano). Si bien las condiciones de muestreo y extracción de PAHs son diferentes, estos valores permiten tener una visión general de niveles de PAHs asociados a PM10 en diferentes países. Se puede observar que los valores hallados en La Plata tanto en zona urbana como industrial, son menores a los hallados en otras ciudades del mundo, salvo en el caso de Los Ángeles, que presenta valores menores a excepción de los compuestos fenantreno y pireno.

Tabla 5.8: Concentraciones promedio de PAHs asociados a PM10 expresados en  $\text{ng/m}^3$  en distintas ciudades del mundo comparadas con el presente estudio

Compuesto	San Pablo	Nápoles	Hong Kong Urbana	Hong Kong Industrial	Los Ángeles	La Plata Urbana	La Plata Industrial
Naftaleno	10,50					0,14	0,17
Acenafteno	6,40					< 0,01	0,02
Fluoreno	6,50		0,21	0,17		0,01	0,01
Fenantreno		0,93	0,55	0,50	50,00	0,11	0,10
Antraceno		0,17	0,11	0,16		0,02	0,02
Fluoranteno	8,00	1,44	4,77	3,55		0,17	0,19
Pireno	12,7	2,18	5,13	3,86	7,20	0,23	0,20
Benz[a]antraceno		1,57	1,06	0,60		0,21	0,50
Criseno	7,00	2,47	3,40	1,95		0,34	0,59
Benzo[b]fluoranteno	12,8 <sup>a</sup>	5,68 <sup>a</sup>	10,96	5,20	0,22 <sup>a</sup>	0,76	1,42
Benzo[k]fluoranteno			0,40	0,29		0,26	0,45
Benzo[a]pireno	2,70	2,21	2,13	1,30	0,14	0,38	0,75
Dibenz[a,h]antraceno	0,20		7,99	3,22		0,06	0,18
Benzo[g,h,i]perileno	3,00	7,11	2,90	1,15	0,77	1,31	1,53
Indeno[1,2,3]cd-pireno	3,20	3,73	4,93	1,91		0,74	1,11

<sup>a</sup>: suma de distintos isómeros de benzofluoranteno

En Argentina, la Ley Nacional de Residuos Peligrosos 24.051/92 Decreto Reglamentario 831/93 dentro del Anexo II, Tabla 10 titulada Niveles Guía de Calidad de Aire Ambiental, especifica un nivel guía de calidad para PAHs de  $5 \text{ mg/m}^3$  para 30 minutos de exposición. Se destaca que no es usual este tipo de nivel guía, teniendo en cuenta las características de riesgo asociado a estos compuestos, por lo cual debería ser cuidadosamente revisado. Es importante destacar que la Unión Europea, tomando en consideración diversas evidencias científicas, en función de reducir el riesgo para la salud relacionado con la exposición a PAHs, recomienda futuras regulaciones para los mismos con un límite de BaP asociado a PM10 entre  $0,5\text{-}1,0 \text{ ng/m}^3$  para la media anual. Si bien estos niveles son corrientemente excedidos en muchas ciudades y puede continuar siendo así en el futuro, es esperable que este límite sea considerado para el año 2010. No obstante se considera que el mismo debe ser cuidadosamente revisado a la luz de nuevos conocimientos en los próximos años. Por otra parte, es importante considerar que la Unión Europea recomienda además de medir el compuesto representativo BaP, hacerlo también con otras especies para tener adecuada información con un amplio espectro de PAHs que permita construir un banco de datos comparable y consistente sobre las tendencias de PAHs en aire ambiente. Las especies a determinar deben incluir al menos benz[a]antraceno, isómeros b,j,k del benzofluoranteno, indeno[1,2,3-cd]pireno, dibenz[a,h]antraceno y fluoranteno (EU, 2001).

#### **5.2.1.4. Distribución de los compuestos según el número de anillos**

Los PAHs considerados prioritarios por la USEPA comprenden compuestos orgánicos que contienen entre dos y seis anillos tipo benceno. La baja solubilidad en agua, su lipofilia y su lenta degradación aumentan con el tamaño de la molécula (Cerniglia, 1993), aumentando en consecuencia su peligrosidad. Por lo tanto, es importante evaluar los niveles de PAHs agrupados según el número de anillos presentes en la molécula (Figura 5.7). Se puede observar una mayor proporción de PAHs con 5 y 6 anillos, con un predominio de los PAHs con 6 anillos en todas las zonas de estudio, con valores más elevados para las zonas industrial y urbana comparados con el área control. Se observan diferencias estadísticamente significativas entre zona semi-rural en comparación con las zonas urbana e industrial, pero no se observan diferencias significativas entre zona urbana e industrial (Mann-Whitney-U-Test). Considerando los PAHs con 5 anillos, en la zona industrial se observa una mayor concentración comparado con las zonas urbana y control. Los PAHs con 2 y 3 anillos presentan las menores concentraciones en todas las zonas de estudio, probablemente debido a

su mayor volatilidad. Es importante señalar que de los 16 PAHs analizados, los compuestos considerados carcinogénicos contienen entre 4 y 6 anillos, predominando los de 5 y 6, a excepción del naftaleno incorporado recientemente al listado de compuestos carcinogénicos por la IARC en el grupo 2B como posible carcinogénico para humanos (IARC, 2002).

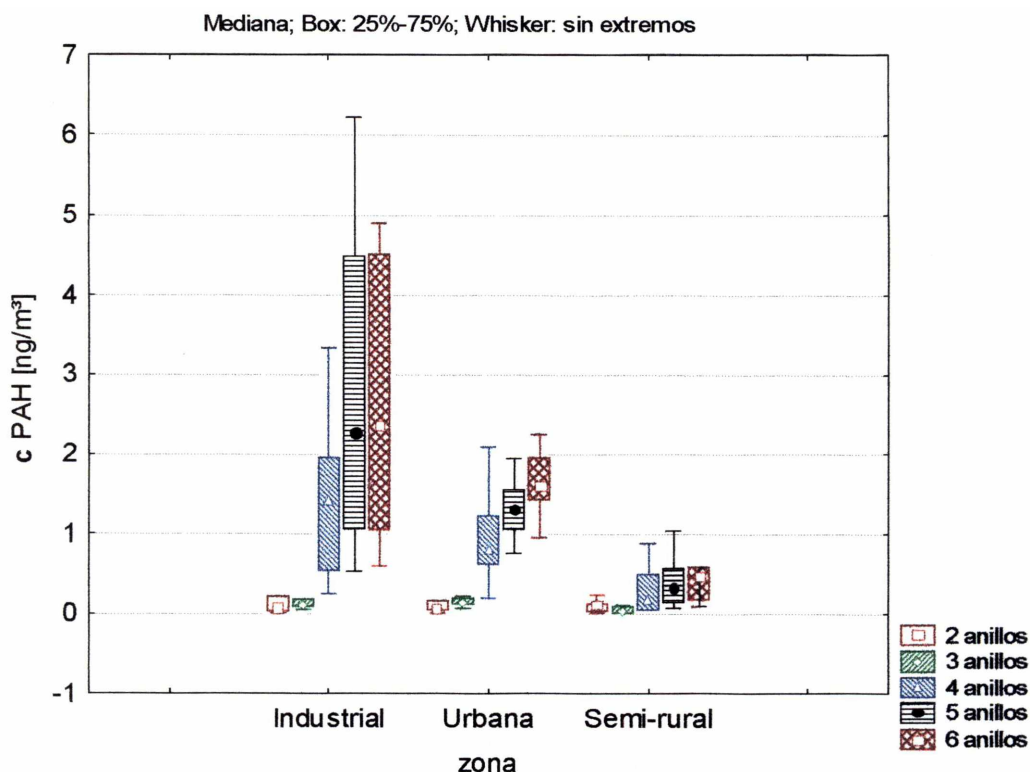


Fig 5.7: Concentración de PAHs asociados a PM10 según el número de anillos en las distintas zonas de estudio

### 5.2.2. Distribución de PAHs en distintas fracciones de material particulado

Se presentan a continuación las concentraciones medias correspondientes a la suma de PAHs para invierno y verano encontradas en cada una de las fracciones consideradas en este estudio (Tablas 5.9 a,b). Los valores de los compuestos individuales se detallan en Anexo II, expresados como media, mediana, máximos, mínimos y percentilos 25, 75.

Tabla 5.9a: Promedio de la suma de PAHs en las distintas fracciones de material particulado correspondientes al periodo invernal para todos los periodos de muestreo en todos los sitios estudiados.

Zona	Concentración PAHs (ng/m <sup>3</sup> )					
	Fracción					
	1	2	3	4	5	6
Industrial	0,102	0,246	0,292	0,975	2,415	4,413
Urbana	0,079	0,180	0,221	0,436	0,757	2,658
Semi-rural	0,109	0,110	0,095	0,245	0,318	0,401

Tabla 5.9b: Promedio de la suma de PAHs en las distintas fracciones de material particulado correspondientes al periodo estival para todos los periodos de muestreo en todos los sitios estudiados.

Zona	Concentración PAHs (ng/m <sup>3</sup> )					
	Fracción					
	1	2	3	4	5	6
Industrial	0,123	0,158	0,151	0,423	0,886	1,857
Urbana	0,121	0,241	0,203	0,456	0,425	2,492
Semi-rural	0,069	0,079	0,091	0,148	0,322	0,950

### 5.2.2.1. Comparación entre lugares

Las mayores concentraciones fueron halladas en las zonas urbana e industrial para todas las fracciones analizadas, mientras que la zona semi-rural presenta las concentraciones más bajas en concordancia con el análisis de distribución de partículas. Las concentraciones de PAHs asociados al material particulado están definidas por el tamaño de las partículas, encontrándose los mayores niveles en las de tipo respirable. El análisis químico indica la relevancia de las partículas más finas, especialmente en las zonas urbana e industrial (Figura 5.8 a,b,c). De manera general, para la mayoría de las fracciones analizadas, las concentraciones son mayores en el periodo invernal, sin embargo no se observan diferencias significativas entre invierno y verano (Mann-Whitney-U-Test).

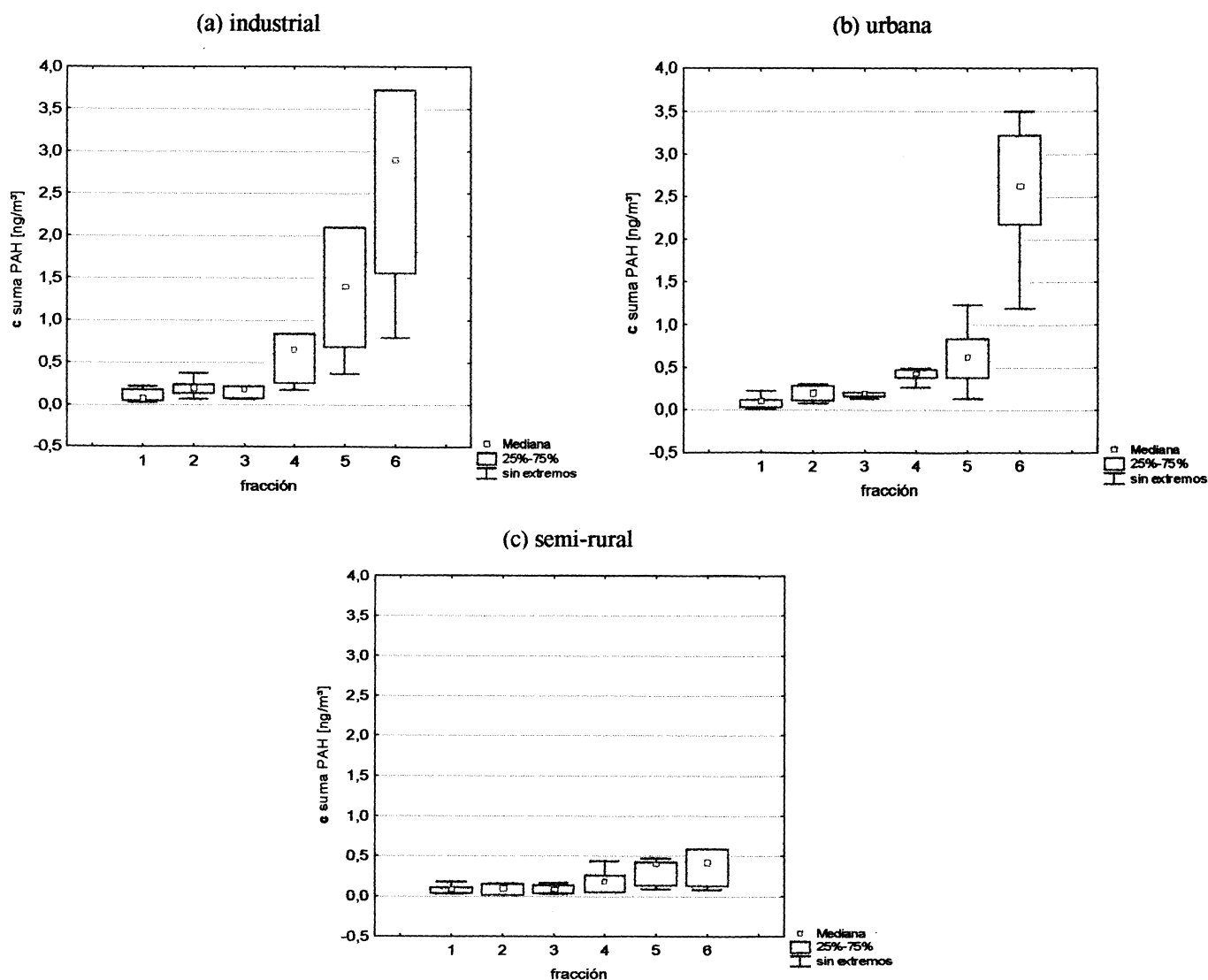


Fig. 5.8 a,b,c: Distribución de PAHs totales en las distintas fracciones de material particulado para zona industrial (a), urbana (b) y semi-rural (c)

Los resultados muestran que más del 80% del total de PAHs se encuentran asociados a partículas menores que  $3 \mu\text{m}$  de diámetro en las distintas zonas de estudio. En todas las zonas se observa un predominio de PAHs en la fracción  $<0,49 \mu\text{m}$ , en la cual se encuentran más del 50% de los PAHs analizados, a excepción de la zona semi-rural donde fue observado un 46% (Tabla 5.10). Adicionalmente, en zona industrial y semi-rural también se observa un porcentaje elevado de PAHs en la fracción 5 ( $0,95- 0,49 \mu\text{m}$ ) con mayores niveles para el área industrial. En estas zonas entre 21 y 27% de los PAHs están asociados a partículas correspondientes a la fracción 5, mientras que en la zona urbana sólo el 15% de los mismos se encuentran en esta fracción. Esto puede deberse a diferentes fuentes de emisión de PAHs. Mientras que en la zona urbana el tránsito vehicular es la principal fuente de emisión, en las

*L. Massolo-CIMA-2004*

otras zonas podrían ejercer su influencia otras fuentes adicionales, como emisiones debidas a procesos industriales en la zona industrial y quema de madera y carbón en la zona semi-rural.

Estos resultados coinciden con diversos estudios que indican que alrededor del 95% del total de PAHs se asocia a partículas menores que 3  $\mu\text{m}$  de diámetro, especialmente los PAHs con 5 o más anillos. Adicionalmente, otros estudios encontraron que más del 85% del total de PAHs está asociado a partículas menores a 1,5  $\mu\text{m}$ , con un 50% de los mismos vinculado con partículas menores a 0,49  $\mu\text{m}$  (Baek *et al.*, 1991a,b; Venkataraman y Friedlander, 1994; Zheng y Fang, 2000; EU, 2001; Fang *et al.*, 2004).

Tabla 5.10: Porcentaje de PAHs totales con respecto a PM10 en las distintas fracciones analizadas

Zona	Fracción					
	1	2	3	4	5	6
Industrial	1,69	3,24	3,62	11,59	27,73	52,13
Urbana	2,27	4,85	5,12	10,60	15,09	62,04
Semi-rural	6,06	6,47	6,34	13,35	21,79	45,99

#### 5.2.2.2. Distribución de los compuestos según el número de anillos de acuerdo al tamaño de partículas

Es importante evaluar la distribución de PAHs según el número de anillos en las distintas fracciones de material particulado ya que, como se mencionó anteriormente, la peligrosidad de los compuestos aumenta al aumentar el número de anillos.

Los resultados muestran que las mayores concentraciones de PAHs están asociadas a partículas menores a 0,49  $\mu\text{m}$ , siendo los PAHs con 5 y 6 anillos los que predominan (Figura 5.9). La mayoría de estos compuestos son conocidos como mutagénicos y carcinogénicos, demostrando un potencial riesgo para la salud humana relacionado con PAHs asociados a material particulado en suspensión.

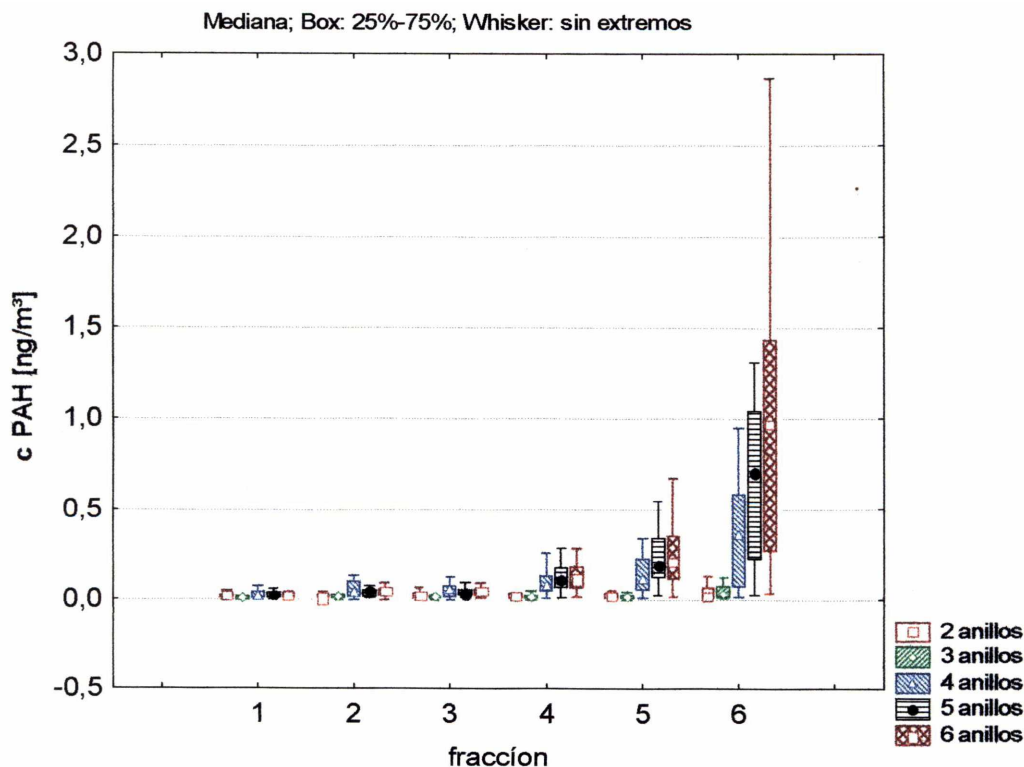


Fig. 5.9: Distribución de PAHs según el número de anillos en las distintas fracciones de material particulado

### 5.2.3. Relaciones entre compuestos e identificación de posibles fuentes

Para identificar posibles fuentes de PAHs se han descrito en diversos estudios distintas relaciones de concentración entre compuestos, como así también la prevalencia de determinados compuestos sobre el total de PAHs (Venkataraman y Firedlander, 1994; Kakimoto *et al.*, 2002, Barale *et al.*, 1991; Li y Kamens, 1993; Fernandes *et al.*, 2002; Omar *et al.*, 2002).

En la Tabla 5.11 se presenta la distribución porcentual de los PAHs asociados a PM10. Se puede observar una distribución similar en los distintos lugares, excepto para benz[a]antraceno que presenta un porcentaje bajo en la zona semi-rural. Se observa que benzo[ghi]perileno (BghiP), benzo[b]fluoranteno (BbF) e indeno[1,2,3-cd]pireno (IcdP) son los compuestos más abundantes asociados a PM10 en todas las zonas, siendo el BghiP el encontrado en mayor proporción, excepto en la zona semi-rural. En otros estudios también se ha detectado una prevalencia de BghiP con respecto a PAHs totales (Gordon y Bryan, 1973; Grosjean, 1983; Omar *et al.*, 2002). Por otro lado, en la ciudad de San Pablo, altamente industrializada, los compuestos prevalentes encontrados fueron distintos a los hallados en esta



zona, con mayores concentraciones de benzofluoranteno (isómeros b y k) seguido de pireno (De Martinis *et al.*, 2002).

Tabla 5.11: Porcentajes de PAHs individuales con respecto al total en las distintas zonas de estudio

Compuesto	Zona		
	Industrial	Urbana	Semi-rural
Naftaleno	1,43	1,37	8,89
Acenafteno	0,16	0,10	0,10
Fluoreno	0,16	0,38	0,23
Fenantreno	1,26	2,49	1,74
Antraceno	0,29	0,33	0,30
Fluoranteno	3,41	3,51	7,65
Pireno	3,16	3,94	2,90
Benz[a]antraceno	6,65	5,16	1,71
Criseno	7,57	7,29	2,80
Benzo[b]fluoranteno	17,26	14,96	12,84
Benzo[k]fluoranteno	6,40	5,22	4,10
Benzo[a]pireno	9,00	9,60	7,64
Dibenz[a,h]antraceno	1,51	0,85	1,28
Benzo[g,h,i]perileno	21,75	23,61	18,94
Indeno[1,2,3]cd-pireno	15,45	14,29	19,51

La prevalencia de BghiP se atribuye a emisiones originadas en el tránsito vehicular (Nielsen *et al.*, 1996; Miguel *et al.*, 1998, Rogge *et al.*, 1993; Omar *et al.*, 2002). En tal sentido, los resultados obtenidos evidencian que en todas las zonas el tránsito constituye una fuente importante de PAHs. No obstante, diversos autores proponen distintas relaciones entre compuestos que permiten evidenciar la presencia de otras fuentes.

De acuerdo a Nielsen *et al.* (1996) la relación BghiP/ BaP como indicador de tránsito pone en evidencia la mayor densidad en la zona urbana tanto en invierno como en verano (Tabla 5.12). Con respecto a la zona industrial y control, la menor relación encontrada evidencia la presencia de otras fuentes de PAHs. La menor relación encontrada para el período invernal en todas las zonas puede deberse a fuentes adicionales, tal como la calefacción doméstica. Ludovici *et al.* (2003) calculan la inversa de la relación BghiP/BaP como indicador de tránsito vehicular, encontrando valores entre 0,39 y 0,51 como indicadores del mismo mientras que relaciones BaP/BghiP mayores que 0,8 están vinculadas con calefacción doméstica. Las relaciones encontradas en el presente estudio varían entre 0,24 y

0,46 en concordancia con los valores hallados por estos autores como indicadores de tránsito vehicular.

Li y Kamens (1993) indican que la relación BghiP/IcdP es útil para distinguir distintos tipos de emisiones de PAHs. Estos autores publican una relación en el intervalo comprendido entre 3,5-3,8 vinculada con emisiones debidas a motores que utilizan nafta como combustible, una relación entre 1,1-1,2 para emisiones debidas a motores diesel, y valores menores a 1 para combustión de madera. Comparando estos cocientes con los valores hallados en el presente trabajo, se evidencia una mezcla de emisiones de PAHs debidas a vehículos diesel y vehículos con motores a nafta, con un mayor porcentaje de las mismas relacionadas con vehículos diesel en todas las zonas de estudio. La relación más baja obtenida para la zona semi-rural en invierno puede estar asociada con el uso de madera para calefacción. Por otro lado, Kakimoto *et al.* (2002) muestran que la relación BghiP/IcdP es útil para identificar de manera general si las emisiones de PAHs son debidas al tránsito vehicular o a otras fuentes. Estos autores encontraron que relaciones bajas entre estos compuestos indican otras fuentes distintas al tránsito vehicular, tales como procesos industriales y calefacción. En tal sentido, las menores relaciones halladas en invierno en todas las zonas probablemente se deben a procesos de calefacción.

Tabla 5.12: Relaciones de concentración entre compuestos asociados a PM10

Zona	BghiP/BaP Media ± SE		BghiP/IcdP Media ± SE	
	invierno	verano	invierno	verano
Industrial	2,17± 1,1	2,96±1,2	1,27±0,2	1,76±0,3
Urbana	3,15 ± 1,2	4,12±1,2	1,71±0,1	2,40±1,5
Semi-rural	2,36± 1,0	2,90±0,5	0,99±0,3	1,36±0,2

Otra correlación que indica emisiones debidas al tránsito vehicular es la publicada por Omar *et al.* (2002). Estos autores encontraron que la prevalencia de BghiP, como así también una buena correlación entre BghiP y PAHs totales, evidencian que la fuente predominante de PAHs está asociada con emisiones vehiculares. En el presente estudio se puede observar que todas las zonas presentan una buena correlación, evidenciando que el tránsito vehicular es una fuente importante de PAHs en todos los lugares. Sin embargo, es de denotar que la zona urbana presenta la mejor correlación, mostrando que en la misma la presencia de otras fuentes es

poco significativa, mientras que para la zona industrial la correlación es más débil seguramente debido a la influencia de las emisiones industriales. La zona semi-rural presenta una correlación intermedia probablemente asociada a procesos de combustión con madera como ya se mencionó anteriormente.

Tabla 5.13: Correlación entre BghiP y PAHs totales asociados a PM10

Zona	r	r <sup>2</sup>	p
Industrial	0,9438	0,8907	4,7 x 10 <sup>-3</sup>
Urbana	0,9782	0,9568	1,0 x 10 <sup>-6</sup>
Semi-rural	0,9575	0,9168	7,0 x 10 <sup>-4</sup>

Todas las relaciones calculadas muestran que si bien el tránsito vehicular es una fuente importante de PAHs en todas las zonas de estudio, predominando las emisiones debidas a vehículos diesel, dicha fuente es más destacada en la zona urbana. Evidentemente en la zona industrial y semi-rural existen también otras fuentes importantes de emisiones de PAHs.

Si consideramos la proporción de PAHs según el número de anillos en las distintas zonas de estudio, se puede observar que en todas ellas existe una distribución similar, con elevada proporción de PAHs con 6 anillos, a excepción de la zona industrial en la que se observa además una elevada proporción de PAHs con 5 anillos (Figura 5.10). Esto podría deberse a una fuente adicional de PAHs relacionada con emisiones industriales.

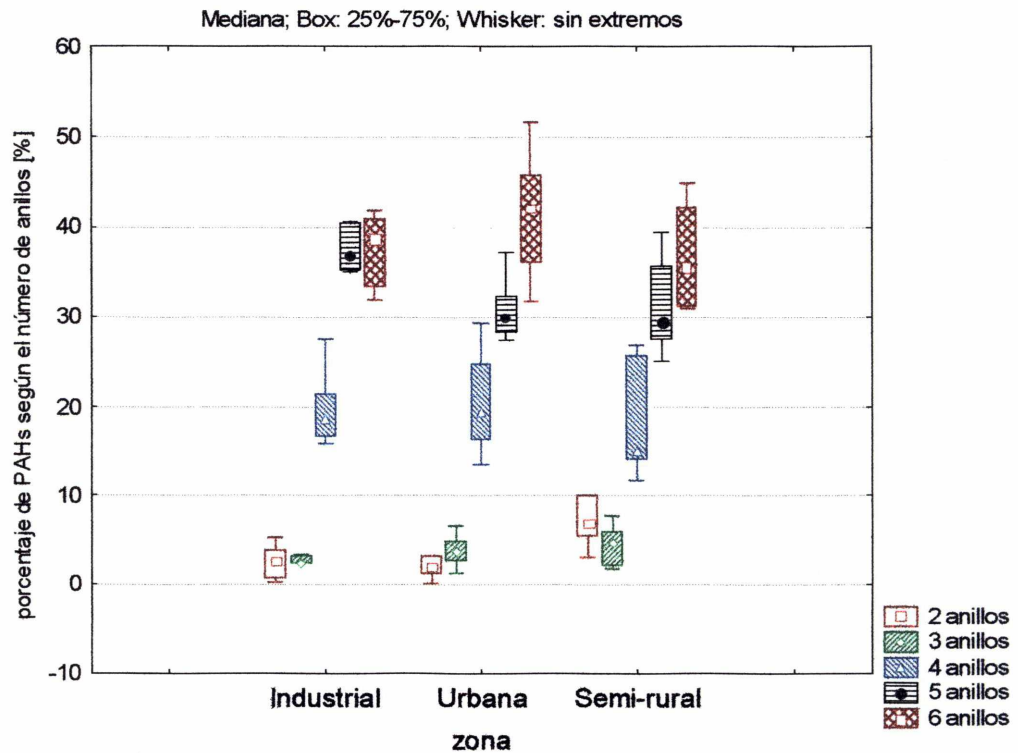


Fig.5.10: Porcentaje de PAHs según el número de anillos en las distintas zonas de estudio

#### 5.2.4. Compuestos carcinogénicos

Entre los 16 PAHs prioritarios, la IARC ha clasificado como carcinogénicos en el Grupo 2A al benzo[a]antraceno, dibenz[a,h]antraceno, y el benzo[a]pireno; y en el Grupo 2B a naftaleno, benzo[b]fluoranteno, benzo[k]fluoranteno e indeno[1,2,3-cd]pireno (IARC, 1987, 2000).

Las mayores concentraciones de compuestos carcinogénicos fueron halladas en zona industrial (Figura 5.11). Se observaron diferencias significativas entre zona semi-rural y las zonas urbana e industrial para todos los compuestos, excepto para el naftaleno. No obstante, no fueron observadas diferencias significativas entre zona urbana e industrial (Tabla 5.5).

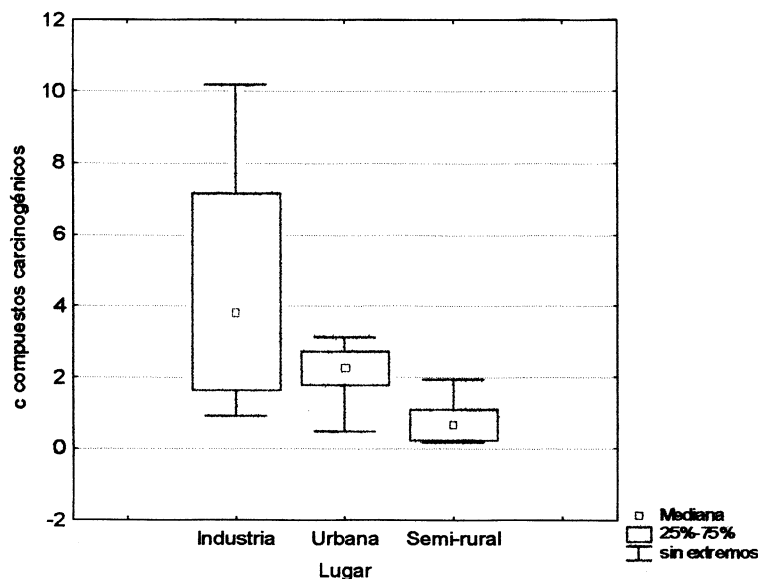


Fig. 5.11: Concentración de compuestos carcinogénicos asociados a PM10 en las distintas zonas de estudio

### Compuestos carcinogénicos de acuerdo al tamaño de partículas

Las mayores concentraciones de los compuestos carcinogénicos se encuentran asociadas a partículas menores a  $0,49 \mu\text{m}$  (Figura 5.12 a,b,c). Más del 50% de los mismos corresponden a esta fracción para las zonas urbana e industrial y el 47% para la zona semi-rural. En las zonas industrial y semi-rural también se observa una elevada concentración de los mismos en la fracción comprendida entre  $0,95$  y  $0,49 \mu\text{m}$  con niveles más elevados en la zona industrial en concordancia con los resultados observados para PAHs totales.



Biblioteca Central  
Fac. Cs. Exactas  
U.N.L.P.

Inv. 57161

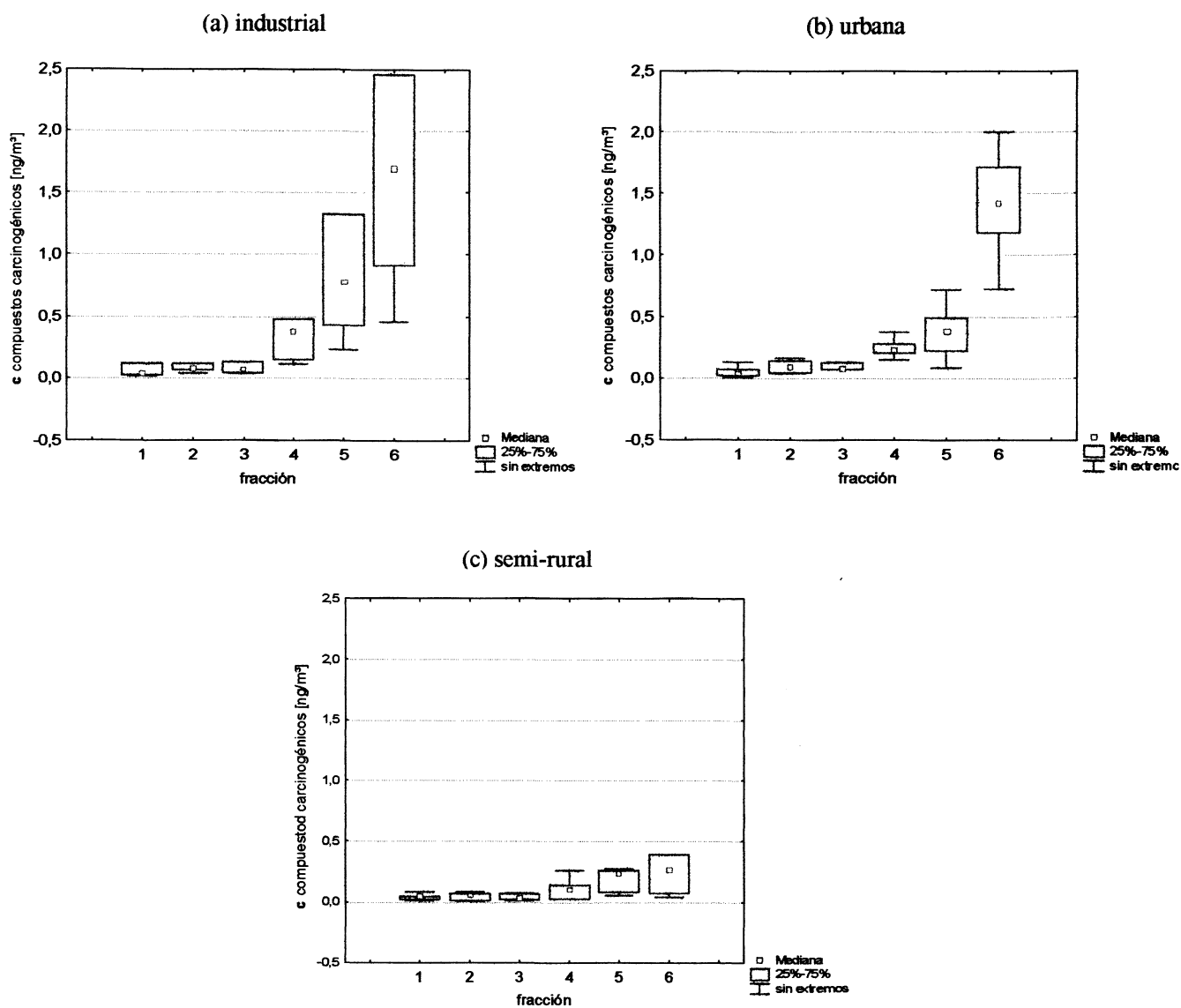


Fig. 5.12a,b,c.: Distribución de PAHs carcinogénicos en las distintas fracciones de material particulado en zona industrial (a), urbana (b) y semi-rural (c)

### 5.3. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES

#### 5.3.1. Resultados generales

Los resultados promedio obtenidos para VOCs totales y familias de VOCs correspondientes al muestreo intramuros y extramuros realizado en época invernal (1999-2000) se presentan en las Tablas 5.14 a y b, considerando las distintas zonas de estudio: industrial (I), urbana (U), semi-rural (SR) y residencial (R). Los resultados detallados correspondientes a los 29 VOCs analizados se presentan en Anexo III, indicando el valor promedio, la mediana, máximos, mínimos y percentilos 25, 75. Dado que en el presente estudio se comparan relaciones intramuros/extramuros y que sus diferencias no son significativas en época estival debido a una mayor ventilación de los ambientes interiores, y a la ausencia de sistemas de calefacción, se analizan solamente resultados correspondientes al período invernal.

*Tabla 5.14a: Valores promedio intramuros correspondientes a VOCs totales y familias de compuestos en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$*

<b>Compuestos</b>	<b>I</b>	<b>U</b>	<b>SR</b>	<b>R</b>
Suma alcanos	97,81	74,51	58,78	60,00
Suma cicloalcanos	24,85	14,24	12,57	9,58
Suma aromáticos	116,96	54,83	69,13	79,68
Suma clorados	0,37	2,19	1,02	2,31
Suma terpenos	21,94	16,44	30,73	24,48
Suma VOCs	261,95	162,21	172,23	176,04

*Tabla 5.14b: Valores promedio extramuros correspondientes a VOCs totales y familias de compuestos en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$*

<b>Compuestos</b>	<b>I</b>	<b>U</b>	<b>SR</b>	<b>R</b>
Suma alcanos	84,04	16,67	11,24	7,78
Suma cicloalcanos	26,40	4,43	1,94	2,84
Suma aromáticos	68,25	31,30	12,99	16,33
Suma clorados	0,99	2,45	0,65	0,07
Suma terpenos	0,61	0,75	0,40	0,69
Suma VOCs	180,30	55,61	27,23	27,71



De manera general, dado que los datos presentan una distribución asimétrica, fueron seleccionados para la elaboración de los gráficos y tablas que se presentan a continuación los valores correspondientes a las medianas de cada muestra (Sokal y Rohlf, 1981; ZAR, 1998).

En las Figuras 5.13 a y b se muestra la distribución de la suma de VOCs extra-muros e intramuros para las distintas zonas de estudio.

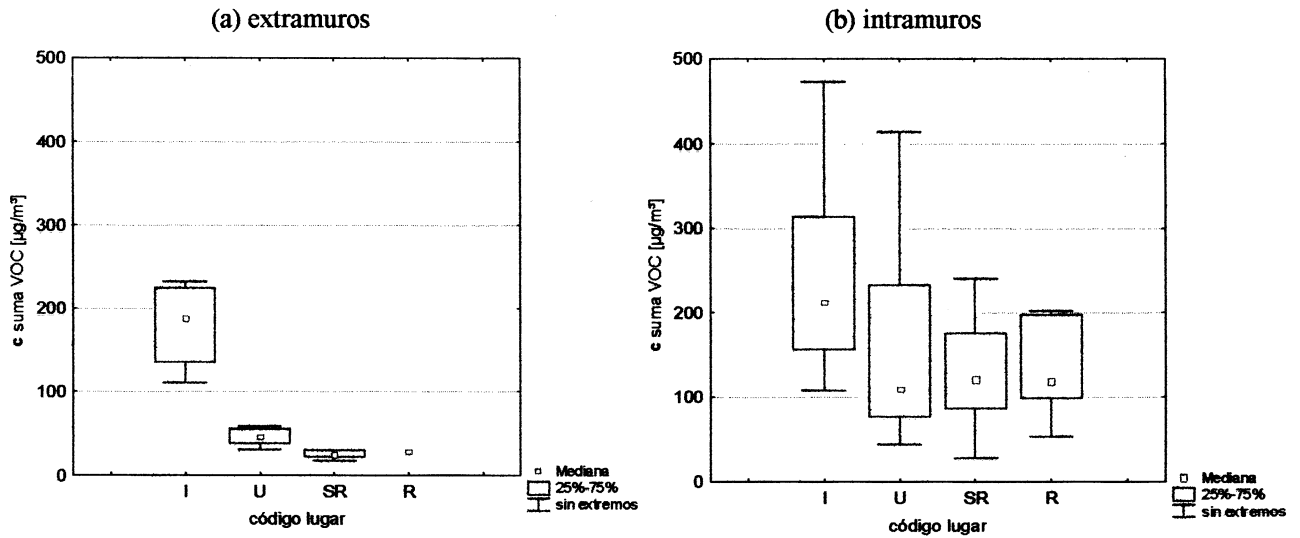


Fig. 5.13a,b: Distribución de suma de VOCs por lugar de muestreo extramuros (a) e intramuros (b)

En esta figura se observan diferencias en las medianas correspondientes a la suma de compuestos, comparando los sitios de muestreo entre sí, tanto intramuros como extramuros. La concentración correspondiente a VOCs totales para los distintos lugares es, en aire extramuros:  $I > U > R \cong SR$ , y en intramuros:  $I > U \cong R \cong SR$ . Es importante denotar que en ambos casos las mayores concentraciones fueron encontradas en el área industrial, tanto intramuros (aproximadamente 1,5 veces mayor) como extramuros (entre 4 y 7 veces mayor). De manera general, en todas las zonas de estudio la suma de VOCs intramuros resultó ser mayor que la de extramuros. Adicionalmente, en aire intramuros se observa una elevada concentración de terpenos asociados a productos de limpieza. Por otro lado, las familias de compuestos halladas en mayor proporción fueron alcanos y aromáticos para todas las zonas estudiadas. Estos resultados concuerdan con los valores hallados en otros estudios (Chan *et al.*, 2002; Rehwagen *et al.*, 2003; Son *et al.*, 2003; Guo *et al.*, 2003b).

El análisis estadístico de estos valores para aire extramuros (Tabla 5.15a) evidencia que la zona industrial presenta diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en comparación con las otras zonas de estudio, tanto para la suma de VOCs como para las familias encontradas en L. Massolo-CIMA-2004

mayor proporción, además de otros compuestos analizados tales como hexano, y particularmente benceno, compuesto de gran relevancia para la salud. También se puede observar que la zona urbana presenta diferencias significativas en comparación con la semi-rural. Sin embargo, esta diferencia no se cumple para el hexano, debido a que este compuesto tiene un claro origen industrial, por lo tanto presenta valores bajos extramuros en ambas zonas.

Tabla 5.15a: Relaciones de concentración de suma de compuestos por familia y algunos compuestos seleccionados en los distintos lugares extramuros

Compuestos	I/U		I/SR		I/R		U/SR		U/R		SR/R	
Hexano	6,7	*	10,4	*	10,8	nc	1,6		1,6	nc	1,0	nc
Suma alcanos	6,5	*	10,9	*	11,1	nc	1,7	*	1,7	nc	1,0	nc
Suma cicloalcanos	6,3	*	13,4	*	10,1	nc	2,1	*	1,6	nc	0,8	nc
Benceno	5,2	*	8,9	*	9,1	nc	1,7	*	1,7	nc	1,0	nc
Suma aromáticos	2,8	*	6,0	*	4,3	nc	2,2	*	1,6	nc	0,7	nc
Suma clorados	4,0		7,6		7,2	nc	1,9		1,8	nc	0,9	nc
Suma terpenos	1,0		1,5		0,7	nc	1,5		0,7	nc	0,5	nc
Suma VOCs	4,1	*	7,7	*	6,8	nc	1,9	*	1,6	nc	0,9	nc

\* estadísticamente significativo:  $p < 0,05$  (Man-Whitney-U-test )

nc: no calculado debido a que existe un solo dato extramuros para la zona residencial

En aire intramuros (Tabla 5.15b) se puede observar que la zona industrial presenta nuevamente diferencias significativas con las demás, tanto para suma de VOCs como para alcanos, aromáticos y benceno. Las zonas urbana, residencial y semi-rural no presentan diferencias significativas entre ellas, evidenciando que las diferencias con la zona industrial se deben probablemente a la influencia del aire extramuros en esta última. Se puede afirmar que las fuentes de contaminación intramuros dependen en mayor grado de la variabilidad entre los distintos ambientes y no de la zona de residencia, salvo que ésta presente niveles de fondo extramuros muy elevados y por lo tanto tengan una influencia importante sobre la calidad del aire interior. En el caso particular de los terpenos, no se observan diferencias significativas entre las distintas zonas debido a que este compuesto es originado de manera predominante por actividades intramuros presentando valores muy elevados en todos los casos analizados.

Tabla 5.15b: Relaciones de concentración de suma de compuestos por familia y algunos compuestos seleccionados en los distintos lugares intramuros

Compuestos	I/U		I/SR		I/R		U/SR		U/R		SR/R	
Hexano	3,7	*	3,3	*	5,0	*	0,9		1,4		1,5	
Suma alcanos	2,0	*	2,2	*	1,4	*	1,1		0,7		0,6	
Suma cicloalcanos	2,8	*	3,0	*	3,4	*	1,0		1,2		1,2	
Benceno	4,8	*	4,9	*	5,5	*	1,0		1,1		1,1	
Suma aromáticos	1,8	*	1,9	*	2,2	*	1,1		1,2		1,1	
Suma clorados	0,8		1,5		0,8		1,9		1,0		0,5	
Suma terpenos	1,4		0,8		0,8		0,6		0,6		1,0	
Suma VOCs	1,9	*	1,8	*	1,8	*	0,9		0,6		1,0	

\* estadísticamente significativo:  $p < 0,05$  (Man Whitney-U-test )

### 5.3.2. Análisis por familias de compuestos

#### 5.3.2.1. Alcanos

Los compuestos de la familia de los alcanos pueden ser originados en distintas actividades antrópicas. Entre ellos, el hexano y el heptano están asociados a la industria petroquímica (Watson *et al.*, 2001); de hecho se encuentran entre los productos del Polo Petroquímico de Ensenada. Los compuestos con 9 a 13 átomos de carbono (nonano a tridecano), típicos de renovación y limpieza de interiores, están asociados al uso de ceras y otros productos de limpieza (Lau *et al.*, 1997; Watson *et al.*, 2001). En las Figuras 5.14 a y b se muestra la distribución de alcanos para las distintas zonas agrupados por el número de carbonos en la cadena.

Pueden observarse diferencias en la distribución de los compuestos tanto intramuros como extramuros. Los compuestos de cadena más larga (octano-tridecano) muestran mayores concentraciones intramuros en todas las áreas consideradas en concordancia con su origen relacionado con actividades en ambientes interiores (Lau *et al.*, 1997; Watson *et al.*, 2001). Por otro lado, los compuestos hexano y heptano presentan mayores concentraciones en la zona industrial tanto intra como extramuros. En este caso se evidencia claramente la influencia de la industria petroquímica en dicha zona. Las altas concentraciones intramuros se deben seguramente a la influencia del aire extramuros.

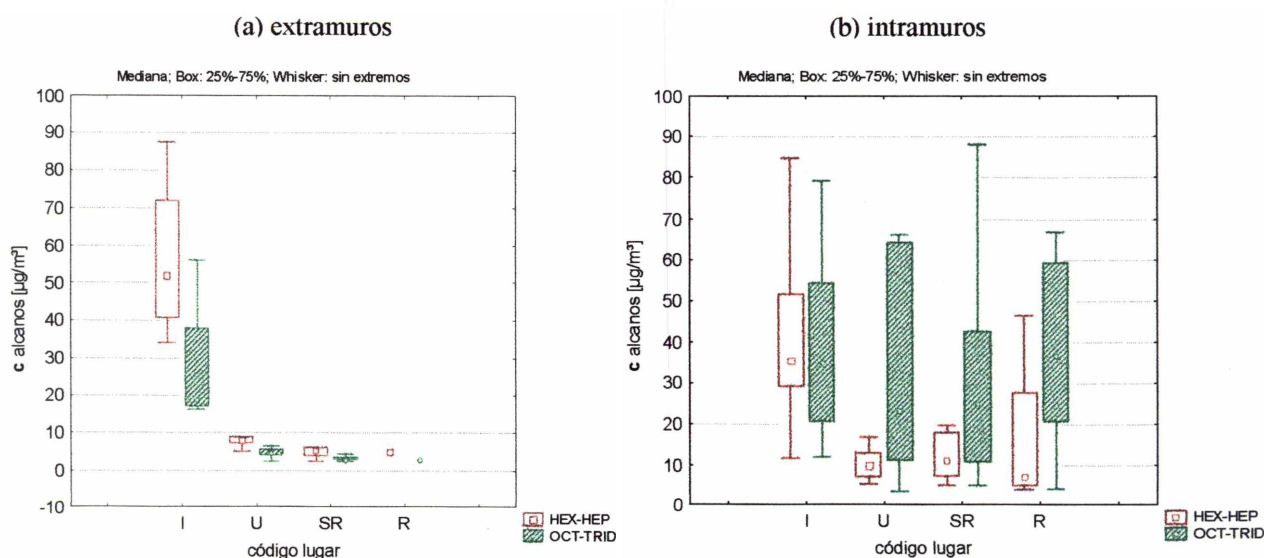


Fig. 5.14a,b: Distribución de alcanos extramuros (a) e intramuros (b) en las distintas zonas de estudio

Estos resultados coinciden con estudios anteriores realizados en la zona (Herbarth *et al.*, 1997; Ronco *et al.*, 1998). Los valores obtenidos de hexano y heptano para aire extramuros en zona urbana son 2 veces menores que los hallados en otras ciudades de Latinoamérica, como Santiago y Caracas (Gee y Sollars, 1998). Con respecto al aire intramuros en la misma zona, las concentraciones de hexano y heptano son mayores que las halladas en un estudio realizado en la ciudad de Leipzig, Alemania; mientras que el grupo de mayor número de átomos de carbono (nonato-tridecano) muestra valores similares a dicho estudio y a las concentraciones medias halladas en ambientes interiores en Estados Unidos (OIT, 2001; Rehwagen *et al.*, 2003).

### 5.3.2.2. Cicloalcanos

Los compuestos de la familia de los cicloalcanos pueden tener su origen en actividades industriales y emisiones asociadas al tránsito vehicular. Dichos compuestos son productos de la industria petroquímica asentada en la región. En particular Petroquímica La Plata produce 85.000 toneladas por año de ciclohexano (IAPG, 1999). Los cicloalcanos se encuentran asociados también a la renovación de interiores, dado que son utilizados como solventes de lacas y resinas, así como removedores de barnices y pinturas (Merck Index, 1996).

De manera general, excepto para la zona industrial, los niveles hallados en aire intramuros son mayores que los hallados en aire extramuros, en coincidencia con otros estu-

dios (Herbarth *et al.*, 1998; Rehwagen *et al.*, 2003). Los resultados muestran una mayor concentración de los compuestos analizados correspondientes a la familia de los cicloalcanos en la zona industrial tanto intramuros como extramuros, observándose diferencias significativas entre dicha zona y las otras zonas de estudio (Figura 5.15 a y b). Evidentemente los niveles hallados en aire extramuros se deben a la presencia de la industria petroquímica. Los niveles intramuros encontrados en esta zona son similares a los extramuros, lo cual podría deberse a la influencia del aire extramuros en los ambientes interiores. Estos resultados coinciden con otros estudios realizados en la región (Ronco *et al.*, 1998). Los niveles hallados en la zona urbana en aire extramuros son mayores a los hallados en la zona residencial y semi-rural, probablemente debido a la influencia del tránsito vehicular (Herbarth *et al.*, 1997; Schauer *et al.*, 1999; Chan *et al.*, 2002). Estos valores coinciden con los hallados en otros estudios (Ronco *et al.*, 1998; Chan *et al.*, 2002). Los niveles hallados en aire intramuros para zona urbana coinciden con las concentraciones promedio encontradas en Estados Unidos (OIT, 2001) y son mayores que las reportadas para un estudio realizado en 1.499 viviendas de la ciudad de Leipzig, Alemania (Rehwagen *et al.*, 2003).

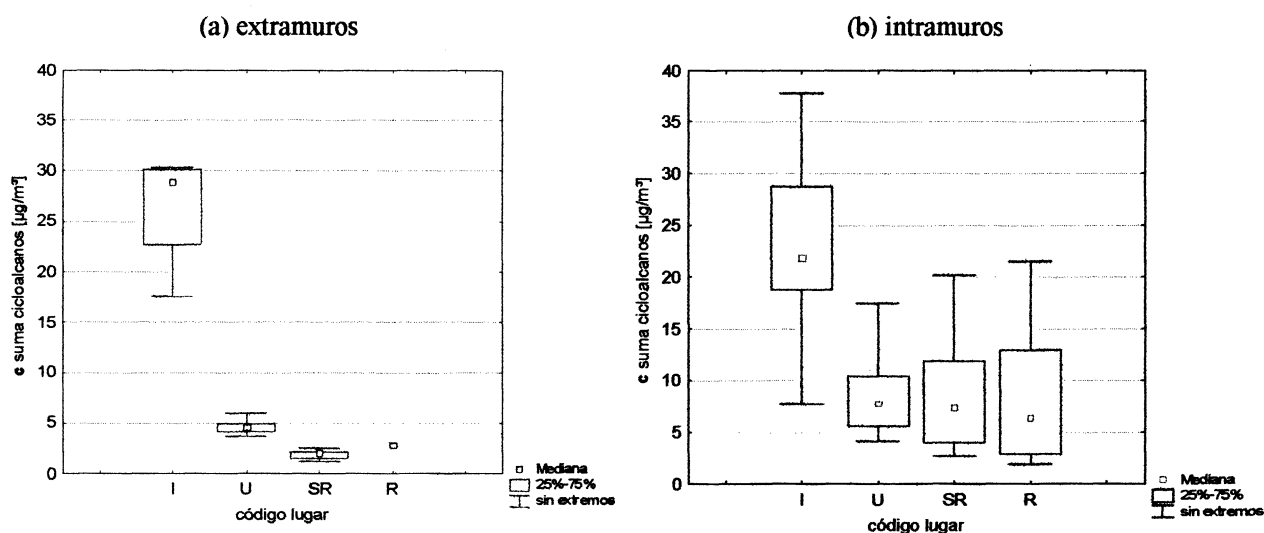


Fig. 5.15a,b: Distribución de cicloalcanos extramuros (a) e intramuros (b) en las distintas zonas de estudio

### 5.3.2.3. Compuestos aromáticos

Los compuestos aromáticos en aire extramuros pueden provenir de las emisiones industriales y el tránsito vehicular (Scheff y Wadden 1993; Herbarth *et al.*, 1997; Schauer *et al.*, 1999; Watson *et al.*, 2001; Chan *et al.*, 2002; Sexton *et al.*, 2004). En aire intramuros

existen diversas fuentes entre las que se destacan la renovación de interiores, el humo de cigarrillo y el uso de kerosén y madera para calefacción (Scheff y Wadden, 1993; OIT, 1996; Pandit *et al.*, 2001; Watson *et al.*, 2001; Sexton *et al.*, 2004).

De manera general, las mayores concentraciones de compuestos aromáticos se encuentran en la zona industrial, tanto intramuros como extramuros (Figura 5.16 a y b). En aire extramuros la zona industrial presenta valores 3, 7 y 4 veces mayores que las zonas urbana, semi-rural y residencial respectivamente, mientras que en aire intramuros los valores son aproximadamente 2 veces mayores que los de las otras zonas. Comparando la zona urbana con los sectores blanco, se puede observar que en aire extramuros la misma presenta valores aproximadamente 2 veces mayores que la zona semi-rural y la residencial, mientras que en aire intramuros las tres zonas presentan valores equivalentes.

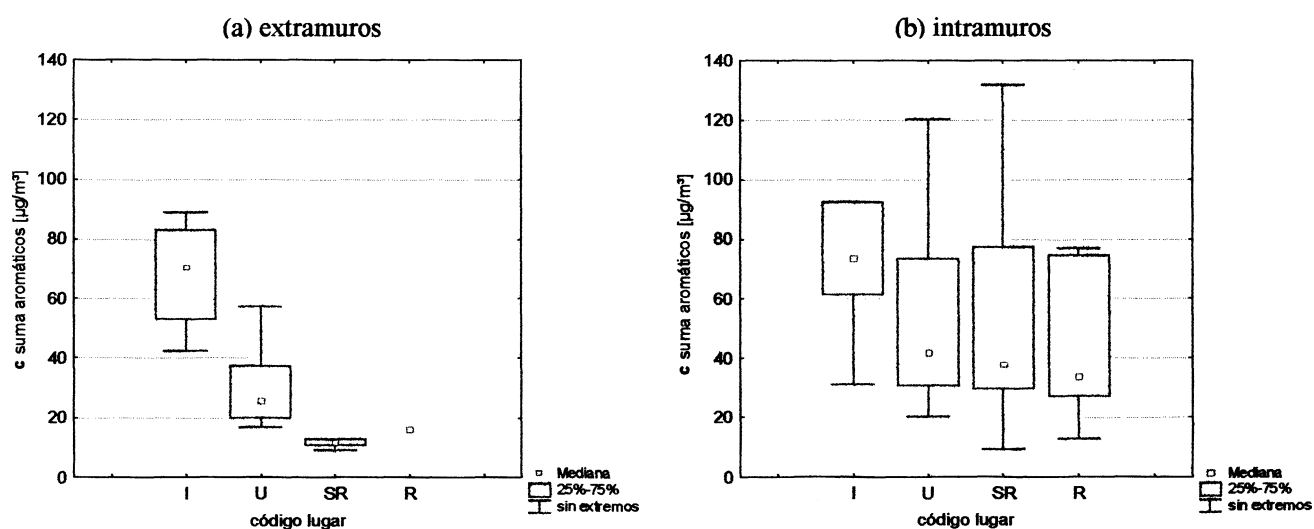


Fig. 5.16a,b: Distribución de suma de compuestos aromáticos extramuros (a) e intramuros (b) en las distintas zonas de estudio

Entre los compuestos aromáticos se destaca la suma de benceno, tolueno y xilenos (BTX), el primero de comprobada carcinogenicidad. En las Figuras 5.17 a y b y 5.18 a y b se muestra la distribución por zonas de BTX y en particular de benceno para aire intramuros y extramuros respectivamente.

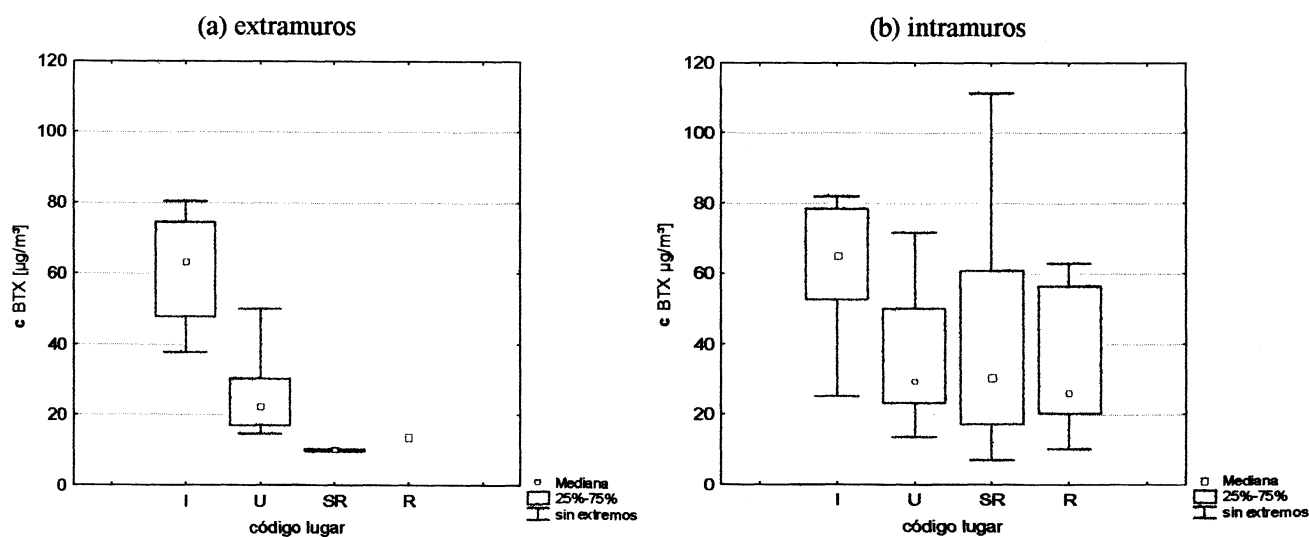


Fig. 5.17a,b: Distribución de BTX extramuros (a) e intramuros (b) en las distintas zonas de estudio

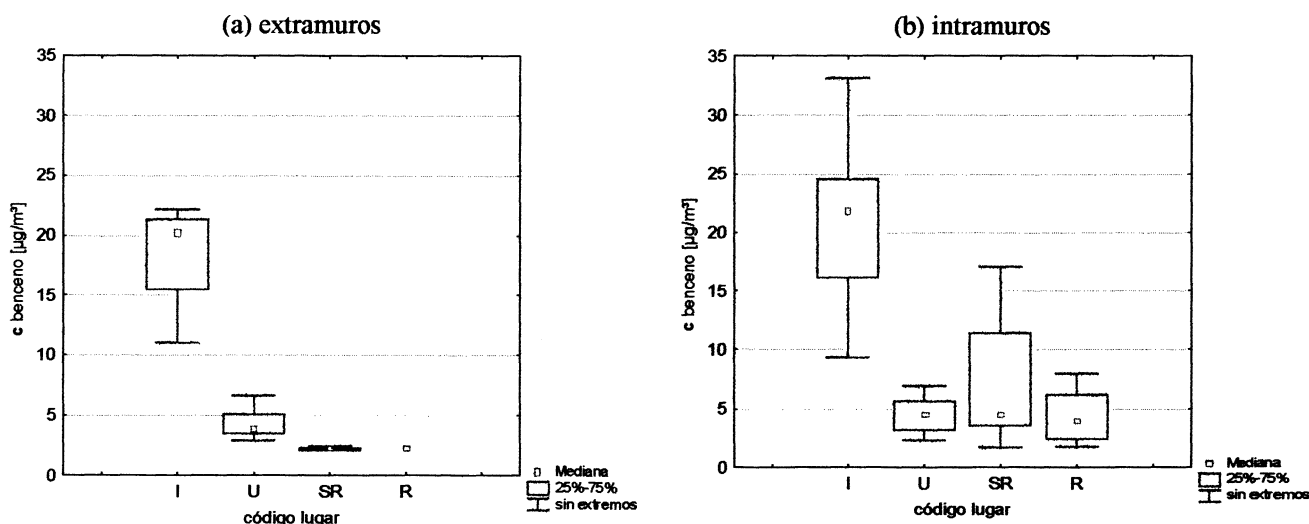


Fig. 5.18a,b: Distribución de benceno extramuros (a) e intramuros (b) en las distintas zonas de estudio

La zona industrial presenta los mayores valores de BTX extramuros asociados a la presencia del Polo Petroquímico debido a que estos compuestos son productos de las industrias localizadas en la zona. Por otro lado, se puede observar que los niveles de BTX extramuros en la ciudad duplican los de las zonas residencial y semi-rural. Estas diferencias están asociadas con la presencia de mayor tránsito vehicular en la zona urbana en comparación con las zonas blanco (Herbarth *et al.*, 1997; Watson *et al.*, 2001).

Las mayores concentraciones del benceno, fueron halladas en el área industrial tanto intramuros como extramuros. El benceno extramuros es originado fundamentalmente por las emisiones industriales y el tránsito vehicular. En aire intramuros los niveles de benceno se asocian al humo de cigarrillo y en algunos casos puede estar asociado al uso de kerosén para calefacción (Pandit et al, 2001; Watson *et al.*, 2001). Por tal motivo, y dado que las otras fuentes se encuentran también presentes en las otras zonas, en mayor o menor medida, la elevada concentración de benceno en la zona industrial se debe en aire extramuros a la presencia del Polo Petroquímico, mientras que los niveles intramuros están influenciados por los valores extramuros. Los valores encontrados para benceno en aire intramuros en las zonas urbanas, semi-rural y residencial se encuentran dentro del intervalo de las concentraciones encontradas en otros estudios (OIT, 2001; Herbarth *et al.*, 1997, Rehwagen *et al.*, 2003; Sexton *et al.*, 2004). Sin embargo, los niveles de benceno en aire intramuros encontrados en la zona industrial son superiores a todos los reportados en la bibliografía consultada.

El tolueno en aire intramuros puede provenir de renovación de interiores, material impreso, pegamentos, etc. Los niveles del mismo en aire intramuros no presentan diferencias significativas entre las zonas, excepto para la industrial, que tiene los valores más elevados probablemente por la influencia extramuros (Figuras 5.19 a y b). De manera general, la concentración de tolueno en todas las zonas se encuentra en el rango de concentraciones encontradas en otros estudios (OIT, 2001; Herbarth *et al.*, 1997; Rehwagen *et al.*, 2003; Sexton *et al.*, 2004).

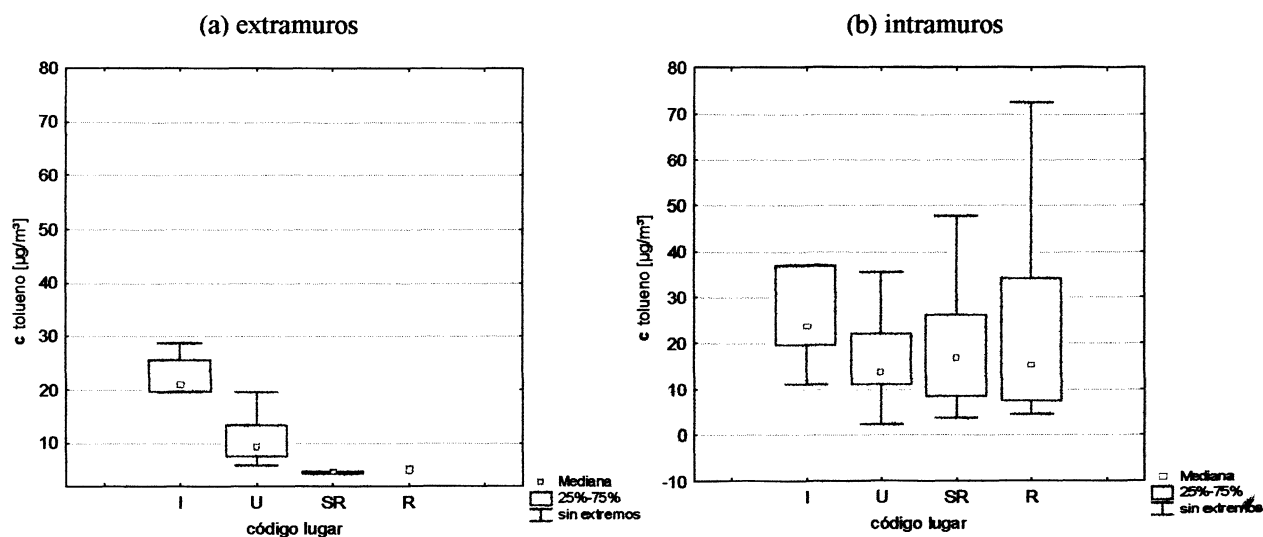


Fig. 5.19a,b: Distribución de tolueno extramuros (a) e intramuros (b) en las distintas zonas de estudio



En la Tabla 5.16 se presentan algunos valores de compuestos aromáticos extramuros de la zona de La Plata y alrededores reportados en estudios anteriores (Herbarth *et al.*, 1997; Ronco *et al.*, 1998). Comparando con los datos obtenidos en el presente trabajo (Tablas Anexo III), se observa de manera general un aumento en las concentraciones de BTEX<sup>1</sup> (en particular 2 veces mayor para el benceno) en la zona industrial, mientras que la zona urbana presenta concentraciones relativamente menores. El aumento correspondiente a BTEX señalado para la zona industrial podría estar asociado a una mayor producción de hidrocarburos y derivados. En cuanto a la zona urbana, la disminución de los valores correspondientes a BTEX coincide con un creciente uso de GNC como combustible alternativo para los vehículos particulares y la renovación del parque automotor que incorpora el uso de catalizadores para disminuir la emisión de contaminantes.

Tabla 5.16: Valores obtenidos en estudios anteriores realizados en La Plata y alrededores en condiciones de muestreo similares

Compuesto	Concentración ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			
	Zona Industrial		Zona Urbana	
	invierno	verano	invierno	verano
Tolueno	16,30	34,16	25,57	16,04
Benceno	9,17	14,16	7,23	6,81
Etilbenceno	1,34	-----	3,50	-----
Xilenos totales	11,80	13,34	21,84	11,07

La Organización Mundial de la Salud estima para Europa valores medios de benceno en aire ambiente en zonas rurales y urbanas de  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $5\text{-}20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivamente. Con respecto al tolueno, presenta valores medios de  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para zonas rurales y  $5\text{-}150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para zonas urbanas (WHO, 2000a). Los valores hallados en el presente estudio se encuentran dentro de estos intervalos. Además, los niveles hallados en la zona urbana son comparables con valores hallados en otras ciudades de América Latina como Quito, mientras que los hallados en el área industrial son comparables con los encontrados en ciudades como San Pablo, Santiago y Caracas (Tabla 5.17). Estos resultados son explicables si consideramos que San Pablo es una ciudad muy industrializada y Santiago presenta características geográficas y climáticas diferentes a la zona de La Plata y alrededores, ya que es una ciudad rodeada de

<sup>1</sup> BTEX corresponde a la suma de benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos  
L. Massolo-CIMA-2004

montañas en la cual la circulación del aire es limitada y los mecanismos de dispersión de contaminantes están principalmente relacionados a circulación vertical (Didyk *et al.*, 2000).

Tabla 5.17: Niveles promedios de VOCs observados en América Latina (los valores de Caracas, Quito, Santiago y San Pablo fueron tomados de Gee y Sollars, 1998)

Compuesto	Ciudad	Concentración Media e Intervalo ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Benceno	Caracas	14,2 (3,6-43,9)
	Quito	5 (1,2-10,4)
	Santiago	14,8 (7,1-40,4)
	San Pablo	16,7 (5-29,6)
	La Plata (I)	<b>18,46 (11,04-22,20)</b>
	La Plata (U)	<b>4,37 (2,91-7,69)</b>
Tolueno	Caracas	28,9 (14,8-56,2)
	Quito	15,2 (2,5-89,4)
	Santiago	29,8 (9,6-54,9)
	San Pablo	28,1 (10,6-74,7)
	La Plata (I)	<b>22,76 (19,66-28,84)</b>
	La Plata (U)	<b>10,95 (5,98-19,65)</b>
m,p - Xilenos	Caracas	16,4 (9,2-27,1)
	Quito	6,4 (3,4-15,5)
	Santiago	25,2 (13,6-58,7)
	San Pablo	18,5 (6,7-38,2)
	La Plata (I)	<b>14,65 (4,06-28,18)</b>
	La Plata (U)	<b>8,22 (2,46-20,28)</b>
o - Xilenos	Caracas	5,7 (3,1-10,2)
	Quito	2,0 (nd-5,6)
	Santiago	8,9 (3,5-21)
	San Pablo	6,2 (2,2-11,1)
	La Plata (I)	<b>5,45 (2,96-9,83)</b>
	La Plata (U)	<b>2,55 (1,05-5,83)</b>

Por otra parte, estudios sobre emisiones vehiculares han sugerido que la relación entre diferentes compuestos aromáticos puede ser útil para identificar posibles fuentes asociadas a los mismos. En tal sentido, se ha publicado que una relación benceno/tolueno (B/T) cercana a 0,5 está asociada con emisiones vehiculares (Gee y Sollars, 1998; Fernandes *et al.*, 2002). En la Tabla 5.18 se presenta la relación entre benceno y otros compuestos aromáticos para las distintas zonas de estudio en aire extramuros. Se observa que la relación B/T es aproximada-

mente de 0,5 para las zonas urbana, semi-rural y residencial, implicando que la fuente predominante de estos compuestos es el tránsito vehicular. La zona industrial presenta una relación cercana a 1 evidenciando la presencia de otras fuentes con elevadas concentraciones de benceno (Fernandes *et al.*, 2002). Las relaciones entre compuestos aromáticos presentadas en la Tabla 5.18 correspondientes a las zonas urbana, semi-rural y residencial concuerdan con valores hallados para otras ciudades de América Latina, mientras que la zona industrial presenta un comportamiento totalmente distinto (Gee y Sollars, 1998).

Tabla 5.18: Relación entre compuestos aromáticos en aire extramuros para las distintas zonas de estudio

Relación	Zona			
	Industrial	Urbana	Semi-rural	Residencial
Benceno/Tolueno	0,95	0,41	0,48	0,42
Benceno/Xileno	1,15	0,43	0,67	0,35
Benceno/Etilbenceno	6,32	2,32	3,08	1,86

#### 5.3.2.4. Compuestos clorados

Los compuestos clorados presentes en aire intramuros pueden provenir de diversos productos de limpieza, limpiadores de ropa en seco, disolventes para pinturas y barnices y agua de la ducha (Merck Index, 1996; OIT, 2001). Como fuentes extramuros se pueden citar aguas residuales, particularmente asociadas al sector industrial, tintorerías en seco y lavanderías (Scheff y Wadden, 1993; Chan *et al.*, 2002). Entre estos compuestos son de particular importancia el tricloroetileno y tetracloroetileno, por ser considerados como carcinogénicos (IARC, 1995).

De manera general se observan mayores concentraciones de los compuestos pertenecientes a esta familia en aire extramuros, en zona urbana e industrial, no observándose diferencias significativas entre ambas (Mann-Whitney-U-Test) (Figuras 5.20 a y b).

Los resultados obtenidos para tetracloroetileno y tricloroetileno resultan comparables con los presentados por otros estudios, tanto intramuros como extramuros (Begerow *et al.*, 1995; Herbarth *et al.*, 1997; Ronco *et al.*, 1997; Sexton *et al.*, 2004). Sin embargo, en otros estudios realizados en aire intramuros en Hong Kong, Estados Unidos y Alemania se encontraron valores más elevados de compuestos clorados que en el presente estudio (Chan *et*

al., 2002; OIT, 2001; Rehwagen *et al.*, 2003). Con respecto al compuesto tricloroetileno, la OMS presenta concentraciones medias para aire intra y extramuros en zonas rurales de Europa de  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y en zonas urbanas concentraciones mayores a  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Cabe mencionar que los resultados obtenidos en el presente estudio son significativamente menores a los mismos.

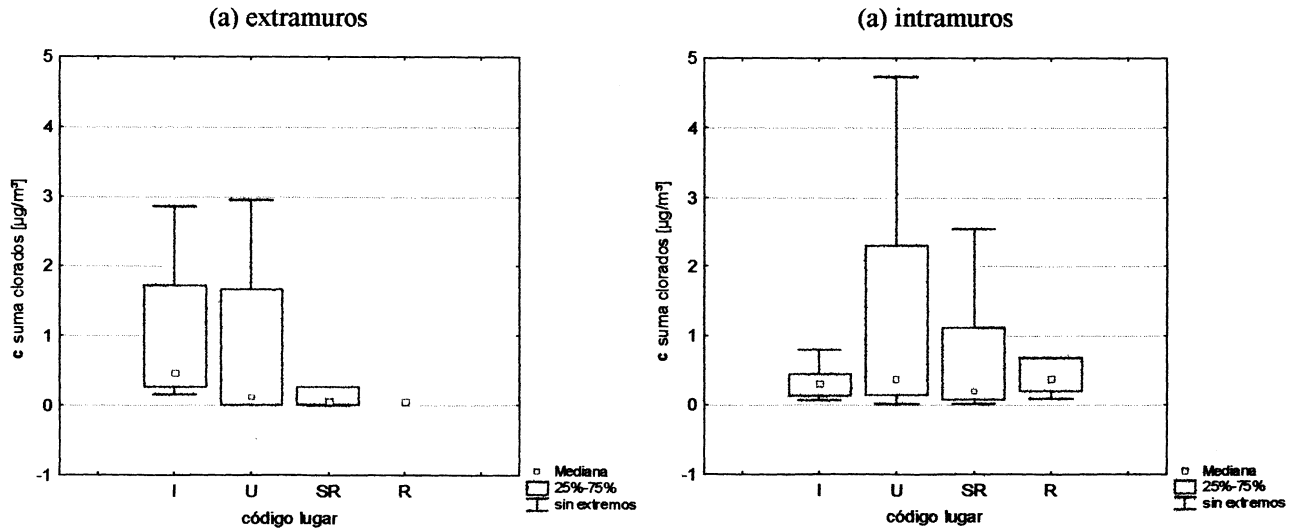


Fig. 5.20a,b: Distribución de suma de compuestos clorados extramuros (a) e intramuros (b) en las distintas zonas de estudio

### 5.3.2.5. Terpenos

Los terpenos son compuestos encontrados mayoritariamente en aire intramuros. Pueden provenir de muebles y paneles de madera; en particular el limoneno puede provenir de desodorantes, limpiadores de muebles y otros productos de limpieza (Watson *et al.*, 2001; Rehwagen *et al.*, 2003; Sexton *et al.*, 2004). Los terpenos son compuestos irritantes para la piel (Merck Index, 1996). Además, es bien conocido que la reacción química de ciertos VOCs como por ejemplo los terpenos con oxidantes como ozono y óxidos de nitrógeno, pueden formar especies reactivas fuertemente irritantes para las vías respiratorias y ojos (Kane y Alarie, 1978; Wolkoff *et al.*, 2000). Estas reacciones pueden ocurrir con suficiente rapidez en condiciones típicas de ambientes intramuros (Shields y Weschler, 2000).

En el presente estudio, los mayores niveles de terpenos se encuentran en aire intramuros en todas las zonas de estudio, no hallándose diferencias significativas entre las mismas (Figura 5.21 a y b). Los mayores niveles intramuros probablemente se asocian en todos los casos con productos de limpieza y renovación de interiores. Dichos niveles

intramuros son mayores que los encontrados en estudios realizados en Estados Unidos (Sexton *et al.*, 2004) y significativamente menores a los reportados en estudios realizados en la ciudad de Leipzig, Alemania (Herbarth *et al.*, 1997; Rehwagen *et al.*, 2003). Por otro lado, los niveles bajos extramuros son comparables con los hallados en otros estudios consultados (Herbarth *et al.*, 1998; Chan *et al.*, 2002; Rehwagen *et al.*, 2003; Sexton *et al.*, 2004).

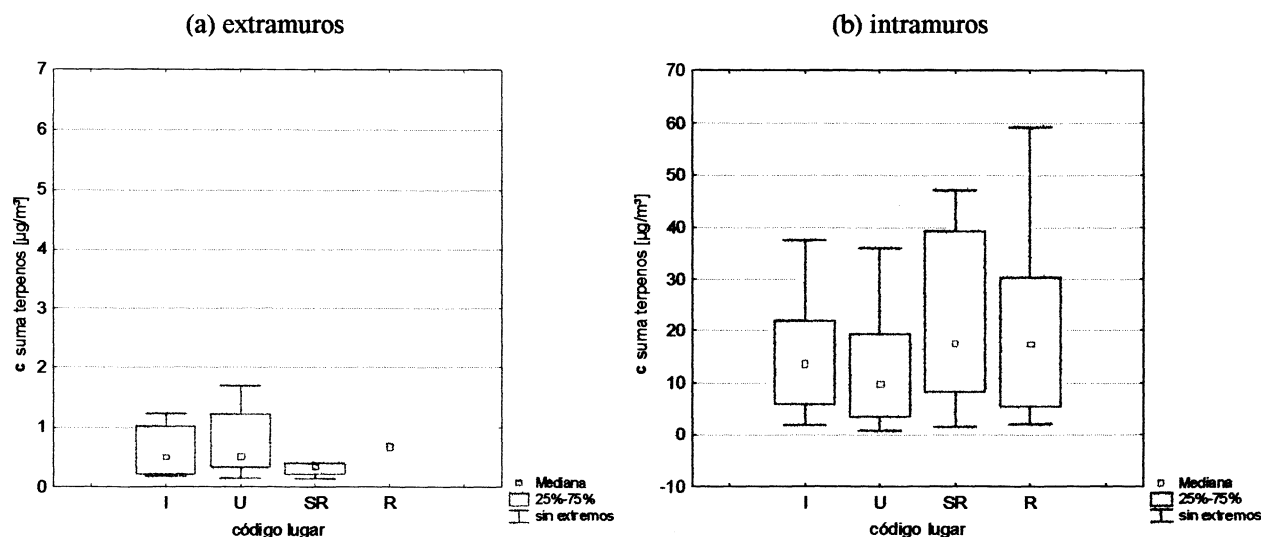


Fig. 5.21 a.b: Distribución de suma de terpenos extramuros (a) e intramuros (b) en las distintas zonas de estudio

### 5.3.3. Relación intramuros-extramuros

El actual grado de confort que impulsa a transcurrir una gran parte del tiempo en ambientes cerrados (hogares, oficinas, etc.), hace que la contaminación intramuros suele ser con mucha frecuencia de mayor importancia en cuanto a efectos sobre la salud que la extramuros (WHO, 2002; Rehwagen *et al.*, 2003; Son *et al.*, 2003; Guo *et al.*, 2004). En tal sentido es importante analizar la relación intramuros/extramuros (I/E) de los VOC determinados.

En la Tabla 5.19 se presentan los resultados correspondientes a la relación I/E para las distintas familias de VOCs correspondientes al muestreo de invierno.

Tabla 5.19: Relación de concentraciones de VOCs intramuros/extramuros por familia y totales para cada área de estudio

Compuestos	Zona							
	Industrial		Urbana		Semi-rural		Residencial	
Suma alcanos	0,99		3,22	*	4,89	*	7,95	nc
Suma cicloalcanos	0,76		1,69	*	4,89	*	2,24	nc
Suma aromáticos	1,04		1,64	*	3,23	*	2,07	nc
Suma clorados	0,63		3,29		3,25	*	5,76	nc
Suma terpenos	27,29	*	19,33	*	50,83	*	25,32	nc
Suma VOCs	1,13		2,40	*	4,93	*	4,31	nc

\* estadísticamente significativo:  $p < 0,05$  (Mann-Whitney-U-test)

nc, no calculado debido a que existe un solo dato extramuros para la zona residencial

Los resultados muestran que la relación I/E para VOCs totales es  $SR \cong R > U > I$ , con valores entre 1,1 y 4,3. Ello corrobora la prevalencia de fuentes de contaminación intramuros en las zonas semi-rural y residencial, evidentemente relacionada con los bajos niveles de fondo extramuros encontrados en dichas zonas (Tabla 5.14 b). En cuanto a los alcanos los resultados siguen el orden:  $R > SR > U > I$ , con valores entre 0,9 y 7,9, nuevamente asociados a los respectivos niveles de fondo extramuros. En el caso particular de la industria la influencia extramuros es notable (Tabla 5.14 b). La familia de los compuestos aromáticos sigue el orden  $SR > R > U \cong I$ . Esta relación se puede asociar a las fuentes extramuros relacionadas con el tráfico para la zona urbana y la influencia del Polo Petroquímico para la zona industrial. En particular para la familia de los terpenos la relación I/E varía entre 17,6 y 47,7, lo cual afirma un claro origen intramuros de estos compuestos en todas las zonas analizadas. Estos resultados son coincidentes con los publicados en otros estudios (Chan *et al.*, 2002; Guo *et al.*, 2003b; Rehwagen *et al.*, 2003; Son *et al.*, 2003).

El análisis estadístico de estos valores evidencia que en el caso de la industria la única diferencia significativa en la relación I/E se encuentra para los terpenos, mientras que para las otras familias analizadas tal relación carece de significancia estadística. Esta situación pone en evidencia la influencia de la contaminación extramuros debido a mayores niveles de fondo (Tabla 5.14 b), sumado a que el tipo de viviendas de la zona no cuenta con buen cerramiento o carece del mismo. En cuanto a la zona urbana, si bien se encuentra significancia estadística para la familia de aromáticos, la baja relación I/E hallada podría deberse a la contribución del

tráfico, en particular emisión de BTX (Tabla 5.14 b) como fuente extramuros característica de una zona con alto tránsito vehicular (Perry y Gee, 1995; Herbarth *et al.*, 1997; Gee y Sollars, 1998; Watson *et al.*, 2001). Finalmente para la zona semi-rural en todos los casos analizados la diferencia I/E es significativa en concordancia con sus bajos niveles extramuros (Tabla 5.14 b).

## 6. IMPACTO DE LOS CONTAMINANTES

### 6.1. EVALUACIÓN DE EFECTOS BIOLÓGICOS CON BIOENSAYOS

La exposición a compuestos policíclicos aromáticos individuales en el ambiente es muy limitada; usualmente encontramos mezclas complejas de los mismos asociadas a procesos de combustión de cada actividad específica en el área considerada (domiciliaria, industrial, tránsito vehicular). Dichas mezclas pueden tener efectos aditivos, sinérgicos o antagonicos con respecto a los compuestos individuales, por lo cual es importante analizar los efectos tóxicos y genotóxicos asociados a las muestras ambientales (Casarett & Doull's, 1996; Burkart *et al.*, 1998; Concauwe, 1998).

En tal sentido, se realizó la evaluación de la mutagenicidad de extractos orgánicos de material particulado en suspensión en aire (inhalable/respirable) por medio del Ensayo de Ames, utilizando la cepa TA 98 de *Salmonella typhimurium* con activación microsomal de hígado de rata y preincubación según protocolo estándar (Maron & Ames, 1983; USEPA, 1983; Mortelmans & Zeiger, 2000), tal como se detalla en el capítulo de metodología.

#### 6.1.1. Evaluación de métodos

##### 6.1.1.1 Estandarización del número de células por placa. Verificación de la cepa.

Para la realización del ensayo, el cultivo bacteriano debe ajustarse a una densidad de  $1-2 \times 10^9$  células por ml. En la figura 6.1 se muestra la curva de calibración realizada para el ajuste de la concentración del cultivo utilizado en los distintos ensayos.

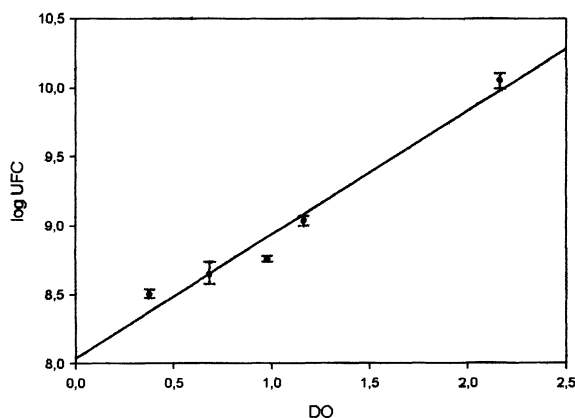


Fig. 6.1: Relación entre densidad óptica a 550 nm y el logaritmo de unidades formadoras de colonia (UFC) de TA98/ml



Todos los ensayos de mutagenicidad fueron realizados previa verificación de requerimiento de histidina, sensibilidad a cristal violeta/ampicilina y sensibilidad a la luz UV según lo requerido en el procedimiento estandarizado detallado en el capítulo de metodología.

### 6.1.1.2. Resultados preliminares de la semi-miniaturización del ensayo de Ames

Para el ensayo de Ames no se pudo trabajar con los extractos provenientes de las seis fracciones de material particulado por separado debido a la escasa cantidad de material recolectado. Para una mejor evaluación de los efectos mutagénicos deberían analizarse las seis fracciones con y sin activación metabólica. Por tal motivo se comenzó a trabajar en la puesta a punto de una prueba semi-miniaturizada (Diehl *et al.*, 2000; Flamand, *et al.*, 2001). En tal sentido se realizaron en paralelo el ensayo de Ames convencional y la prueba en miniatura utilizando compuestos puros. Los resultados preliminares obtenidos muestran que el ensayo de Ames convencional y la prueba realizada en placas multipozo son comparables (Figura 6.2 a,b).

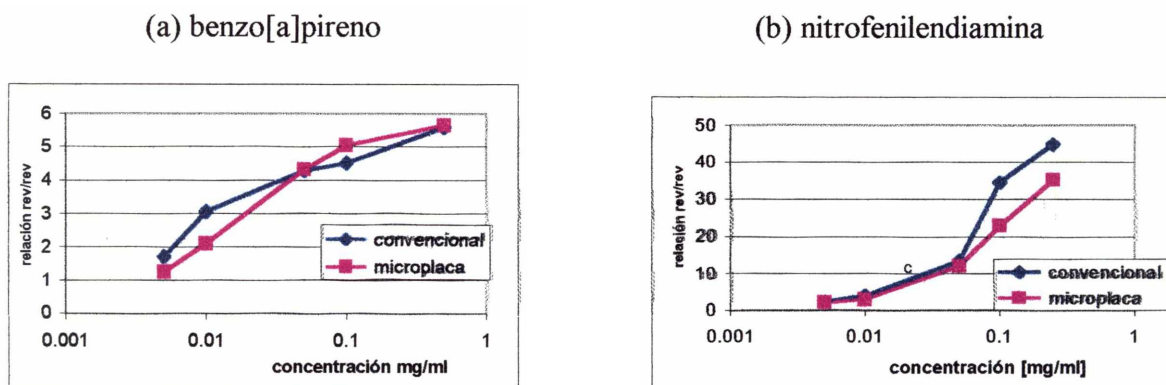


Fig. 6.2: Comparación de resultados entre el ensayo de Ames convencional y microplacas. Efectos mutagénicos de (a) benzo[a]pireno y (b) nitrofenilendiamina

La miniaturización del ensayo de Ames facilita la evaluación con mayor número de réplicas, con y sin activación metabólica, junto a la discriminación de mayor número de fracciones de material particulado. Este último aspecto es de gran relevancia, dada la importancia que tienen las partículas finas sobre el riesgo para la salud. Deberían realizarse futuros estudios comparativos entre ambos ensayos utilizando muestras de extractos orgánicos de material particulado en suspensión.

Todos los resultados que se presentan a continuación fueron realizados con el ensayo de Ames convencional para una mejor comparación de los resultados debido a que se comenzó a trabajar en la semi-miniaturización del ensayo luego de dos campañas de muestreo

cuando se observó que la cantidad de muestra recolectada no era suficiente para realizar el ensayo con y sin activación metabólica y con un mayor número de cepas más sensibles para la detección de otros compuestos derivados de PAHs.

### 6.1.2. Mutagenicidad de extractos orgánicos provenientes de material particulado

En la Tabla 6.1 se presentan los valores promedio de los resultados del ensayo de mutagenicidad correspondientes a los extractos orgánicos provenientes de material particulado en suspensión obtenidos durante el período invernal y estival (2000-2002) en cada una de las zonas de estudio agrupados en tres sub-muestras, acorde al tamaño de las partículas de cada fracción. Los resultados en detalle se muestran en Anexo IV.

Tabla 6.1: Valores promedio de revertantes inducidos/mg y revertantes inducidos/m<sup>3</sup> para cada fracción analizada en las distintas zonas de estudio en época invernal y estival

Fracción/Zona	Verano		Invierno	
	rev ind/ mg*	rev ind/ m <sup>3</sup>	rev ind/ mg	rev ind/ m <sup>3</sup>
<b>Fracción 10-3 µm</b>				
Industrial	0,06	<0,01	3,24	0,03
Urbana	0,05	<0,01	0,18	<0,01
Semi-rural	0,11	<0,01	<0,01	<0,01
<b>Fracción 3-0,49 µm</b>				
Industrial	15,58	0,23	40,96	0,47
Urbana	8,78	0,03	25,65	0,14
Semi-rural	22,34	0,07	2,07	0,01
<b>Fracción &lt; 0,49 µm</b>				
Industrial	32,01	0,42	35,74	0,59
Urbana	32,7	0,31	45,73	0,84
Semi-rural	21,29	0,09	13,39	0,07

\* rev ind: revertantes inducidos

Los resultados muestran que la mayor potencia mutagénica (revertantes inducidos /m<sup>3</sup>) fue hallada en los extractos provenientes de áreas urbana e industrial. Considerando el promedio de todos los períodos de muestreo, se puede observar que la zona industrial presenta valores cinco veces mayores que la zona urbana, a excepción de la fracción menor a 0,49 µm, y entre 5 y 20 veces mayor que la zona semi-rural (Tabla 6.2). La zona urbana presenta valores entre 1,5 y 6 veces mayores que la zona semi-rural. No obstante, no se observan diferencias significativas entre la zona urbana e industrial para ninguna de las fracciones

analizadas en concordancia con lo observado con los valores de PAHs. Comparando con el área control, se observan diferencias significativas entre zona industrial y semi-rural para la fracción 3-0,49  $\mu\text{m}$ ; y entre zonas urbana y semi-rural e industrial y semi-rural para la fracción menor a 0,49  $\mu\text{m}$ .

Tabla 6.2: Relaciones de potencia mutagénica (revertantes/ $\text{m}^3$ ) entre las zonas de estudio para las distintas fracciones considerando todos los periodos de muestreo

Relación	Fracción		
	10-3 $\mu\text{m}$	3-0,49 $\mu\text{m}$	< 0,49 $\mu\text{m}$
I/U	5,22	5,61	0,89
I/S-R	22,47	8,63 *	5,93 *
U/S-R	4,30	1,54	6,64 *

\* estadísticamente significativo (Mann-Whitney-U Test)

Se puede observar que tanto en zona industrial como urbana, los mayores efectos se encuentran asociados a partículas menores a 0,49  $\mu\text{m}$  (Figura 6.3 a,b,c). La zona industrial presenta valores de potencia mutagénica en la fracción <0,49  $\mu\text{m}$  hasta 2 veces mayor que en la fracción 3-0,49  $\mu\text{m}$  y hasta 2 órdenes de magnitud mayor que la fracción 10-3  $\mu\text{m}$ . En la zona urbana las diferencias son más marcadas en algunos casos, siendo la potencia mutagénica hallada en la fracción más fina hasta 1 y 2 órdenes de magnitud mayor que la fracción intermedia y más gruesa respectivamente. Adicionalmente, la zona industrial presenta potencia mutagénica elevada en partículas de mayor tamaño (fracción 3-0,49  $\mu\text{m}$ ), en comparación con las otras zonas estudiadas. Esto podría deberse a los niveles elevados de PAHs totales y carcinogénicos hallados en la fracción de partículas comprendidas entre 0,95 y 0,49  $\mu\text{m}$  de diámetro.

Cabe señalar que en algunos casos, la respuesta mutagénica de muestras provenientes del área control muestran un elevado número de revertantes por unidad de masa de material particulado. No obstante, debido a que el área presenta concentraciones de material particulado muy bajas, el número de revertantes por unidad de volumen de aire permanece bajo, comparado con valores obtenidos para la misma fracción en otras áreas.

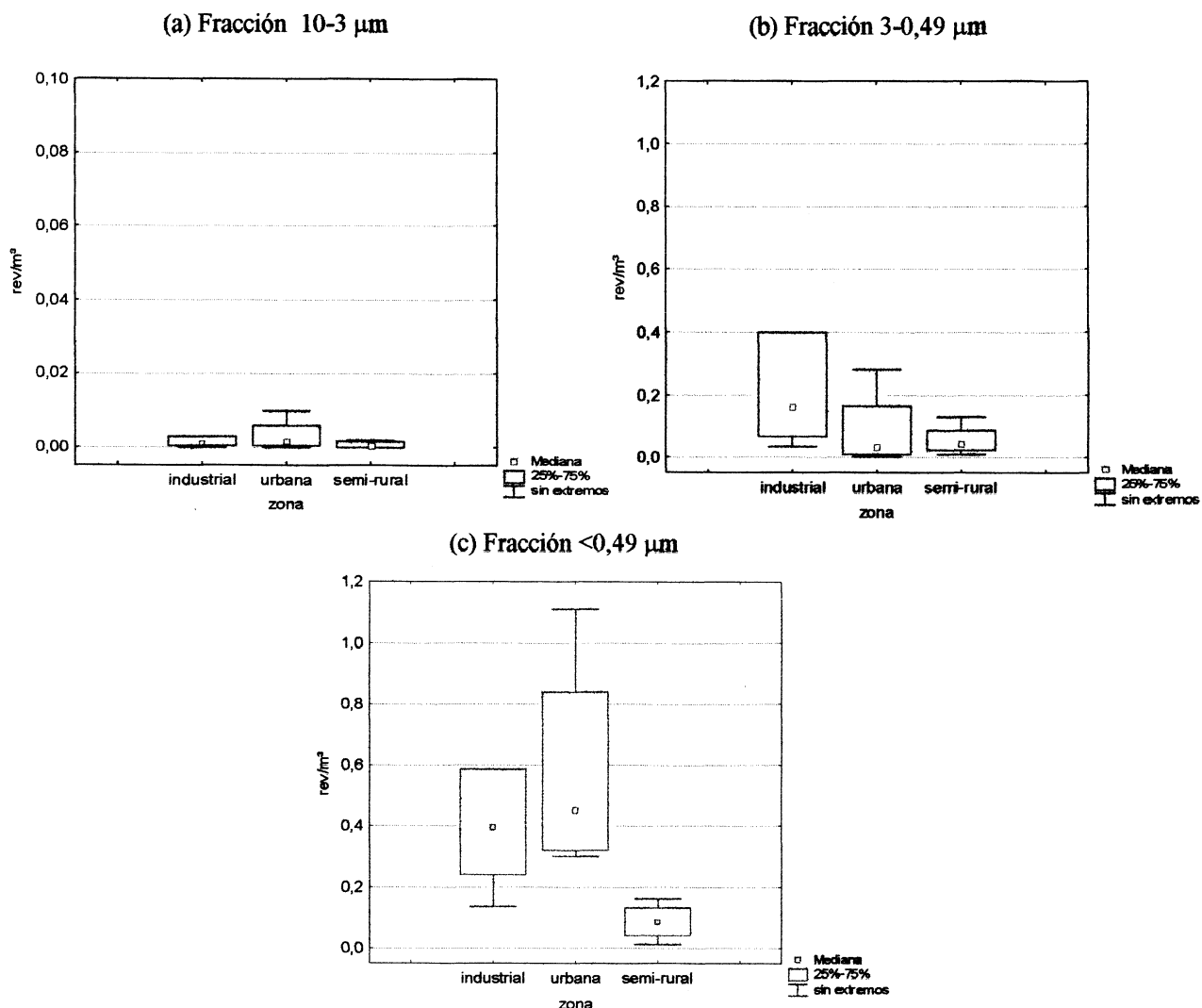


Fig 6.3a,b,c: Potencia mutagénica ( $\text{rev}/\text{m}^3$ ) en extractos orgánicos provenientes de partículas entre 10-3  $\mu\text{m}$  (a), 3-0,49  $\mu\text{m}$  (b) y <0,49  $\mu\text{m}$  (c) en zonas industrial, urbana y semi-rural

En concordancia con el contenido de PAHs, la mayor potencia mutagénica fue observada en el período invernal en todas las zonas de estudio (Figura 6.4). No obstante, no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre invierno y verano (Mann-Whitney-U-Test). Fueron halladas variaciones estacionales de la mutagenicidad asociada a material particulado en concordancia con variaciones estacionales de PAHs en estudios en países con características climáticas muy diferentes a las de la región de La Plata, tales como Holanda (Alink *et al.*, 1983), Italia (Velloso *et al.*, 1994) y Polonia (Zwozdziak *et al.*, 2001).

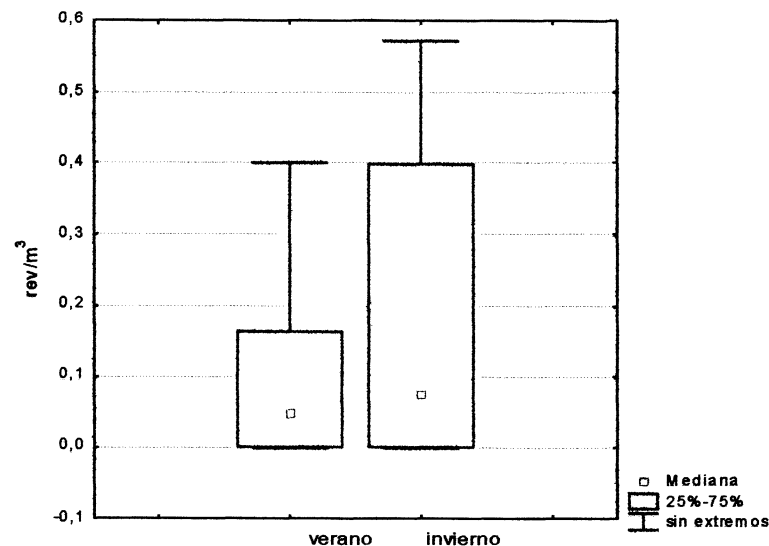


Fig 6.4: Diferencias en la potencia mutagénica ( $\text{rev}/\text{m}^3$ ) en invierno y verano considerando las tres fracciones analizadas de manera conjunta

Numerosos estudios se han llevado a cabo evaluando efectos mutagénicos en extractos orgánicos asociados a material particulado en suspensión, la mayoría de ellos referidos a TSP y PM10 (Alzuet *et al.*, 1996; De Martinis *et al.*, 1999; Černa *et al.*, 2000; Müller *et al.*, 2001; Ducatti *et al.*, 2003; Du Four *et al.*, 2004). Sin embargo, pocos datos existen en referencia a efectos mutagénicos asociados a partículas menores a  $2,5 \mu\text{m}$ , aunque está comprobado que estas partículas poseen un mayor riesgo para la salud humana (Hsiao *et al.*, 2000; Ronco *et al.*, 2001; Kawanaka *et al.*, 2001). Una mayor contribución al potencial mutagénico debida a partículas finas menores a  $1,5 \mu\text{m}$  ha sido previamente hallada en estudios llevados a cabo en Grecia (Viras *et al.*, 1991, Tzounou *et al.*, 1992), Italia (Pagano *et al.*, 1996; Monarca *et al.*, 1997) y Japón (Kawanaka *et al.*, 2004), en concordancia con los resultados hallados en el presente estudio. En la Tabla 6.3 se presentan valores hallados en estudios previos realizados en la región de La Plata, además de otros provenientes de distintas ciudades del mundo, tanto para extractos de TSP, como PM10.

Si bien no es posible hacer una comparación directa de los valores hallados en el presente estudio, con los presentados en la Tabla 6.3, dado que los mismos se refieren a TSP y PM10, dicha tabla nos permite tener una visión general de la variación entre los niveles de la actividad mutagénica detectados en diferentes regiones con la misma prueba y en condiciones equivalentes de ensayo. Observando los valores hallados en un estudio anterior en la región (Alzuet *et al.*, 1996) podemos ver que los resultados históricos asociados a TSP y PM10 son similares a los promedios hallados en el presente estudio para la fracción menor a  $0,49 \mu\text{m}$  en

zona urbana e industrial, y también para la fracción comprendida entre 3 y 0,49  $\mu\text{m}$  en el caso de la zona industrial en el período invernal. Estos resultados están en concordancia con los hallados en el presente estudio, donde la mayor potencia mutagénica está asociada a las partículas más finas, con valores muy bajos en la fracción más gruesa.

Tabla 6.3: Datos bibliográficos de mutagenicidad, revertantes/ $\text{m}^3$  y revertantes/ $\mu\text{g}$ , de distintas ciudades del mundo utilizando el ensayo de Ames con TA 98+S9

Lugar	Rev/ $\text{m}^3$	Rev/ $\mu\text{g}$	Tipo de lugar	Referencia
Flanders, Bélgica	4,3-52,6	0,66-1,75	urbano	Du Four <i>et al.</i> , 2004
Flanders, Bélgica	3,1-54,1	0,36-1,07	industrial	Du Four <i>et al.</i> , 2004
Porto Alegre, Brasil	2,35-4,23	0,97-1,27	urbano <sup>1</sup>	Ducatti <i>et al.</i> , 2003
Porto Alegre, Brasil	6,76	0,85	residencial	Ducatti <i>et al.</i> , 2003
Porto Alegre, Brasil	2,81-13,01	0,97-0,93	urbano <sup>2</sup>	Ducatti <i>et al.</i> , 2003
Birkenes, Noruega	0,1-0,65		control	Claxton <i>et al.</i> , 2001
Brescia, Italia	7,6		urbano	Claxton <i>et al.</i> , 2001
Delft, Holanda	3-65		urbano	Claxton <i>et al.</i> , 2001
Delfgauw, Holanda	2-20		control	Claxton <i>et al.</i> , 2001
Lexington, EEUU	1,2		urbano	Claxton <i>et al.</i> , 2001
Oslo, Noruega	1,5-10		industrial	Claxton <i>et al.</i> , 2001
Oslo, Noruega	0,5-7,3		urbano	Claxton <i>et al.</i> , 2001
Teplice, Rep. Checa		0,86-1,65	industrial	Cerná <i>et al.</i> , 2000
Prachatice, Rep. Checa		0,74-1,33	semi-rural	Cerná <i>et al.</i> , 2000
San Pablo, Brasil	4,93-68,28	0,34-5,69	urbano <sup>2</sup>	Sato <i>et al.</i> , 1995
San Pablo, Brasil	1,34-31,95	0,32-7,43	industrial	Sato <i>et al.</i> , 1995
La Plata (estudio anterior)		0,03-0,04	urbano-industrial	Alzuet <i>et al.</i> , 1996

1: tránsito moderado

2: alto tránsito

Por otro lado, cabe destacar que ensayos de citotoxicidad (inhibición del crecimiento y respiración celular), utilizando el organismo ciliado *Tetrahymena pyriformis*, realizados sobre las mismas muestras en el marco del proyecto de cooperación internacional en el cual se enmarca el presente estudio, muestran mayor citotoxicidad asociada a partículas menores a

0,49  $\mu\text{m}$ . Además, los mayores efectos citotóxicos fueron hallados en el período invernal en muestras provenientes de la zona urbana e industrial, en concordancia con los resultados obtenidos con el ensayo de mutagenicidad (Massolo *et al.*, 2002). Estudios anteriores realizados en la región, en un sitio de localización intermedia entre la zona urbana e industrial, correspondiente a extractos orgánicos de TSP y PM10, mostraron efectos citotóxicos en concordancia con los efectos mutagénicos (Müller *et al.*, 2001). La importancia de comparar la mutagenicidad con los resultados obtenidos de citotoxicidad, radica en que *T. pyriformis* es un organismo eucariota unicelular, cuyo metabolismo, estructura y motilidad de las cilias son comparables con células epiteliales humanas (Ude y Koch, 1994; Hausmann y Bradbury, 1994). Ambos efectos biológicos indican un mayor riesgo potencial para la salud asociado a partículas muy finas menores a 0,49  $\mu\text{m}$ . Es importante denotar que los resultados obtenidos en el presente estudio muestran que el ensayo de Ames permitió detectar mutagenicidad en extractos orgánicos provenientes de material particulado en suspensión, para niveles de concentración de PM10 dentro de los estándares de calidad establecidos por la legislación local vigente.

### **6.1.3. Correlación entre mutagenicidad y PAHs**

En la Tabla 6.4 se muestran las respuestas de los PAHs individuales en el ensayo de Ames utilizando TA 98 con activación metabólica. Se puede observar que de manera general, los PAHs clasificados como carcinogénicos por la IARC presentan respuestas positivas en el ensayo de Ames con TA98 +S9, a excepción del naftaleno, recientemente incorporado como carcinogénico en el grupo 2B (IPCS, 1998; IARC, 1983, 1987, 2000).

Tabla 6.4: Comparación entre respuestas de los PAHs individuales al ensayo de Ames y la clasificación como carcinogénicos por la IARC

Compuesto	Ensayo de Ames TA 98 +S9 <sup>1</sup>	Carcinogénico <sup>2</sup>	Clasificación IARC
Naftaleno	-	+	2 B
Acenafteno	-	-	
Fluoreno	-	-	
Fenantreno	±	-	
Antraceno	-	-	
Fluoranteno	±	-	
Pireno	-	-	
Benz[a]antraceno	+	+	2 A
Criseno <sup>3</sup>	+	-	
Benzo[b]fluoranteno	+	+	2B
Benzo[k]fluoranteno	+	+	2 B
Benzo[a]pireno	+	+	2 A
Dibenz[a,h]antraceno	+	+	2 B
Benzo[ghi]perileno	+	-	
Indeno[1,2,3-cd]pireno	+	+	2 B

1: tomado de IPCS, 1998

2 : carcinogénico según IARC

3: la USEPA lo considera carcinogénico

± dudoso (algunos autores lo consideran positivo y otros negativo)

Considerando todas las fracciones analizadas, se puede observar que existe una correlación significativa entre la potencia mutagénica y la suma de PAHs para los extractos orgánicos de las muestras provenientes de la zona industrial, mientras que para las muestras de las zonas urbana y control no se observa correlación significativa (Figura.6.5).



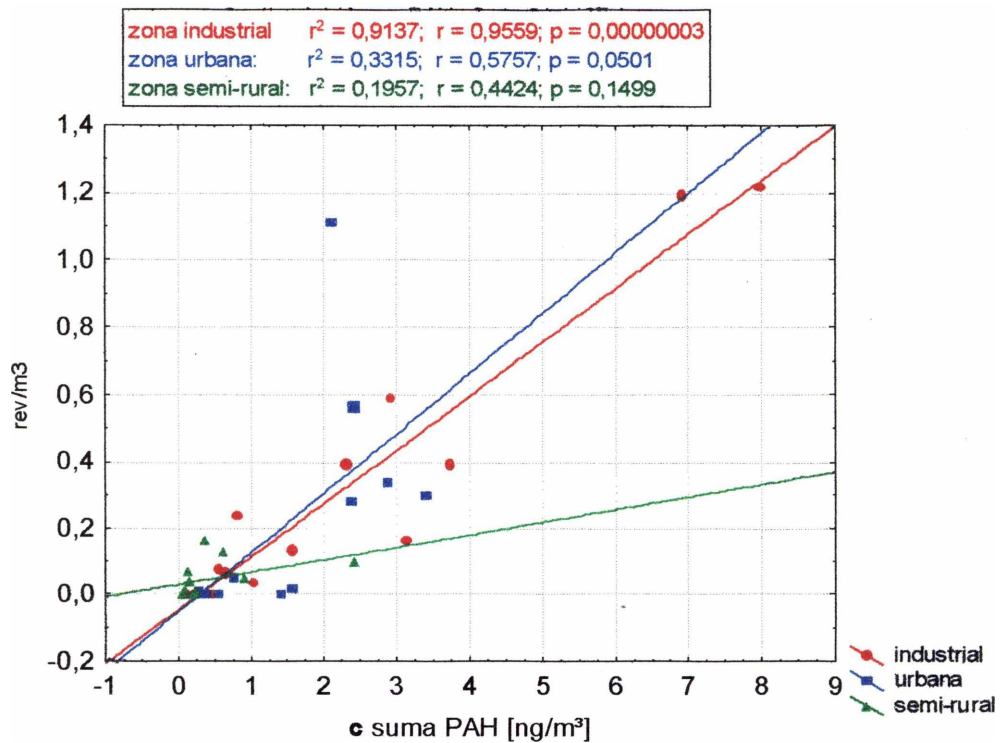


Fig 6.5: Correlación entre suma de PAHs y potencia mutagénica considerando todas las fracciones analizadas para las distintas zonas de estudio

Estos resultados podrían deberse a que los efectos mutagénicos observados en la zona industrial se deben principalmente a la presencia de PAHs no sustituidos, mientras que en la zona urbana se presume la existencia de otros compuestos tales como PAHs sustituidos, los que podrían contribuir adicionalmente a los efectos mutagénicos. En tal sentido, es importante denotar que en dos muestras de la fracción  $<0,49 \mu\text{m}$ , donde la masa fue suficiente para permitir ensayar con la prueba de Ames algunas diluciones sin activación metabólica, se pudo detectar un aumento en el número de revertantes respecto al control negativo tanto con como sin activación metabólica. Si bien la cantidad de muestras ensayadas no es suficiente para elaborar conclusiones, se puede suponer que, además de los PAHs analizados, los extractos orgánicos de las partículas contienen otros compuestos semivolátiles asociados responsables de las respuestas positivas en los ensayos biológicos realizados. Probablemente esto puede deberse a derivados de PAHs presentes en los extractos, tales como los nitro-PAHs, que no necesitan activación metabólica para ejercer su efecto mutagénico en esta prueba. Estos compuestos son  $2 \times 10^5$  veces más mutagénicos y 10 veces más carcinogénicos que los PAHs no sustituidos (Bamford *et al.* 2003a,b).

Analizando las distintas fracciones se puede observar que los extractos orgánicos provenientes de la fracción correspondiente a las partículas de mayor tamaño (fracción 10-3  $\mu\text{m}$ ), no presentan correlación significativa entre potencia mutagénica y PAHs totales. En los extractos de la fracción más fina (< 0,49  $\mu\text{m}$ ) y la fracción 3-0,49  $\mu\text{m}$  se observa correlación positiva entre los PAHs y los efectos biológicos, siendo ésta mayor en la fracción 3-0,49  $\mu\text{m}$  (Figura 6.6).

Estos resultados muestran que en la fracción 3-0,49  $\mu\text{m}$  más del 80% de los efectos mutagénicos se debe a la presencia de PAHs no sustituidos, mientras que en la fracción más fina sólo el 50% de los efectos mutagénicos podría explicarse por la presencia de estos compuestos que evidencian la presencia de otros mutágenos.

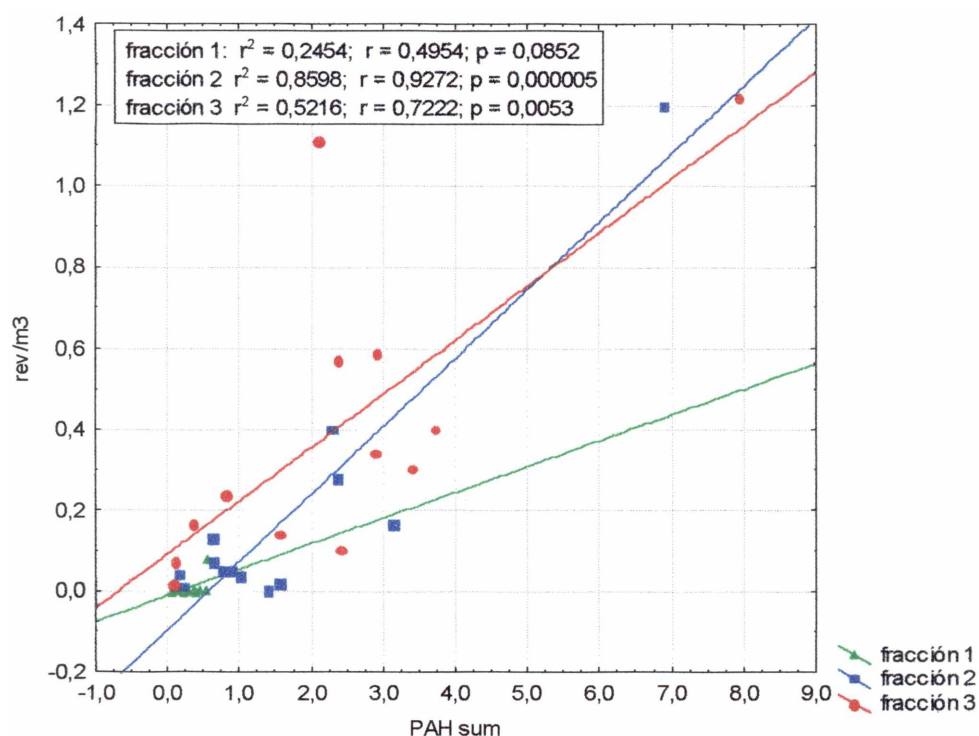


Fig 6.6: Correlación entre suma de PAHs y potencia mutagénica considerando las distintas fracciones analizadas

Si observamos los factores de correlación ( $r^2$ ) entre todos los compuestos analizados, suma de PAHs totales, suma de PAHs carcinogénicos y potencia mutagénica ( $\text{rev}/\text{m}^3$ ), en cada fracción considerada, para las distintas zonas de estudio (Tablas 6.5 a,b,c), podemos ver que la zona industrial presenta correlaciones significativas entre potencia mutagénica y PAHs totales, PAHs carcinogénicos y la mayoría de los compuestos individuales en las fracciones 3-

0,49  $\mu\text{m}$  y <0,49  $\mu\text{m}$ , mientras que en la fracción 10-3  $\mu\text{m}$  sólo dos compuestos presentan correlación positiva.

De manera general, en la zona urbana no se observa correlación significativa entre potencia mutagénica y ninguno de los PAHs analizados, a excepción del acenafteno en la fracción 10-3  $\mu\text{m}$ . Esto podría deberse a la presencia de otros compuestos, además de PAHs no sustituidos, responsables de los efectos mutagénicos. En tal sentido, Arey *et al.* (2002) describen que aproximadamente el 50-60% de los efectos mutagénicos asociados a material particulado en suspensión en aire en ambientes urbanos corresponde a compuestos más polares que los PAHs, entre ellos los nitroderivados que son mutágenos directos a muy bajas concentraciones. Estos compuestos se forman por reacción electrofílica de los PAHs no sustituidos con los óxidos de nitrógeno. Muchos de ellos son compuestos semivolátiles, y por lo tanto se encuentran tanto en fase gaseosa como asociados a partículas (Bamford *et al.*, 2003a,b). La emisión de partículas muy finas con elevada concentración de PAHs asociados y de óxidos de nitrógeno es típica de emisiones de vehículos especialmente los que tienen motores tipo diesel, por lo tanto es de esperar que compuestos nitro derivados de PAHs se encuentren asociados a partículas muy finas en ambiente urbanos con un alto tránsito vehicular de estas características. En tal sentido, los derivados nitrados han sido detectados en atmósferas urbanas altamente contaminadas y debido a su persistencia, asociados a material particulado pueden ser un riesgo para la salud por medio de la vía inhalatoria. (Marino *et al.*, 2000; De Martinis *et al.*, 2002; Kawanaka *et al.*, 2002, 2004). En otros estudios llevados a cabo en ciudades de la República Checa, tales como Teplice y Praga, se encontraron asociaciones entre mutagenicidad evaluada mediante el ensayo de Ames (TA98 S9+) y PAHs totales, carcinogénicos y BaP similares a las halladas en el presente estudio para zona urbana, evidenciando la presencia de otros compuestos (Binková *et al.*, 2003).

En la zona semi-rural sólo se observan correlaciones significativas entre potencia mutagénica y algunos compuestos en los extractos orgánicos provenientes de la fracción 10-3  $\mu\text{m}$  mientras que en los extractos de las fracciones correspondientes a partículas más finas no se observa ninguna correlación. Si bien los extractos de la fracción más gruesa en dicha zona presentan potencia mutagénica muy baja, la correlación hallada podría deberse a que esta fracción de partículas puede tener su origen en procesos de combustión tales como la quema de madera o carbón, típicos de esta zona, o en la acumulación de partículas más finas originadas en procesos de combustión en otro lugar y que son transportadas al sitio.

Los resultados observados evidencian la importancia de futuros estudios, orientados a la caracterización de la mutagenicidad con cepas específicas de *S. thyphimurium*, tales como la TA98/NR y la TA98/1,8 DNP<sub>6</sub>, para detectar los efectos de mezclas de derivados de PAHs en extractos orgánicos de material particulado en suspensión.

Tabla 6.5a: Factores de correlación ( $r^2$ ) para todos los compuestos analizados, suma de PAHs totales, suma de PAHs carcinogénicos y potencia mutagénica ( $\text{rev}/\text{m}^3$ ) en cada fracción analizada para zona industrial

Compuesto	Fracción					
	10-3 $\mu\text{m}$		10-0,49 $\mu\text{m}$		<0,49 $\mu\text{m}$	
	$r^2$	p	$r^2$	p	$r^2$	p
Naftaleno	0,567	0,142	<b>0,980</b>	<b>0,001</b>	0,634	0,107
Acenafteno	<b>0,966</b>	<b>0,003</b>	0,523	0,168	<b>0,785</b>	<b>0,046</b>
Fluoreno	0,001	0,966	0,644	0,102	<b>0,938</b>	<b>0,007</b>
Fenantreno	0,055	0,704	<b>0,811</b>	<b>0,037</b>	<b>0,838</b>	<b>0,029</b>
Antraceno	0,123	0,563	0,541	0,157	0,021	0,816
Fluoranteno	0,046	0,729	0,325	0,316	<b>0,881</b>	<b>0,018</b>
Pireno	0,002	0,944	0,061	0,689	0,284	0,355
Benz[a]antraceno	0,720	0,069	<b>0,862</b>	<b>0,023</b>	0,551	0,151
Criseno	0,531	0,162	<b>0,821</b>	<b>0,034</b>	<b>0,797</b>	<b>0,041</b>
Benzo[b]fluoranteno	0,505	0,178	<b>0,965</b>	<b>0,003</b>	<b>0,937</b>	<b>0,007</b>
Benzo[k]fluoranteno	0,715	0,071	<b>0,884</b>	<b>0,017</b>	<b>0,871</b>	<b>0,021</b>
Benzo[a]pireno	0,767	0,052	<b>0,835</b>	<b>0,030</b>	<b>0,813</b>	<b>0,037</b>
Dibenz[a,h]antraceno	0,536	0,159	<b>0,983</b>	<b>0,001</b>	<b>0,864</b>	<b>0,022</b>
Benzo[ghi]perileno	0,246	0,396	<b>0,875</b>	<b>0,019</b>	<b>0,960</b>	<b>0,003</b>
Indeno[1,2,3-cd]pireno	<b>0,807</b>	<b>0,038</b>	0,766	0,052	<b>0,889</b>	<b>0,016</b>
Suma PAHs	0,516	0,171	<b>0,892</b>	<b>0,016</b>	<b>0,901</b>	<b>0,014</b>
Suma PAHs carcinogénicos	0,701	0,077	<b>0,908</b>	<b>0,012</b>	<b>0,878</b>	<b>0,019</b>

Las correlaciones fueron consideradas significativas si  $p < 0,05$

Tabla 6.5b: Factores de correlación ( $r^2$ ) para todos los compuestos analizados, suma de PAHs totales, suma de PAHs carcinogénicos y potencia mutagénica ( $\text{rev}/\text{m}^3$ ) en cada fracción analizada para zona urbana

Compuesto	Fracción					
	10-3 $\mu\text{m}$		10-0,49 $\mu\text{m}$		<0,49 $\mu\text{m}$	
	$r^2$	p	$r^2$	p	$r^2$	p
Naftaleno	0,093	0,695	0,505	0,289	0,045	0,787
Acenafteno	<b>0,924</b>	<b>0,039</b>	0,281	0,470	0,042	0,795
Fluoreno	0,843	0,082	0,221	0,529	0,121	0,651
Fenantreno	0,714	0,155	0,307	0,446	0,275	0,476
Antraceno	0,639	0,201	0,428	0,346	0,065	0,745
Fluoranteno	0,086	0,707	0,853	0,076	0,601	0,224
Pireno	0,243	0,507	0,054	0,767	0,348	0,410
Benz[a]antraceno	0,096	0,690	0,510	0,286	0,042	0,794
Criseno	0,303	0,449	0,530	0,272	0,220	0,531
Benzo[b]fluoranteno	0,152	0,610	0,130	0,640	0,576	0,241
Benzo[k]fluoranteno	0,614	0,216	0,428	0,346	0,675	0,179
Benzo[a]pireno	0,611	0,218	0,635	0,203	0,067	0,742
Dibenz[a,h]antraceno	0,036	0,812	0,169	0,589	0,297	0,455
Benzo[ghi]perileno	0,125	0,647	0,210	0,542	0,678	0,177
Indeno[1,2,3-cd]pireno	0,682	0,174	0,139	0,627	0,579	0,239
Suma PAHs	0,375	0,387	0,592	0,230	0,751	0,133
Suma PAHs carcinogénicos	0,137	0,630	0,557	0,254	0,615	0,216

Las correlaciones fueron consideradas significativas si  $p < 0,05$

Tabla 6.5c: Factores de correlación ( $r^2$ ) para todos los compuestos analizados, suma de PAHs totales, suma de PAHs carcinogénicos y potencia mutagénica ( $\text{rev}/\text{m}^3$ ) en cada fracción analizada para zona semi-rural

Compuesto	Fracción					
	10-3 $\mu\text{m}$		10-0,49 $\mu\text{m}$		<0,49 $\mu\text{m}$	
	$r^2$	p	$r^2$	p	$r^2$	p
Naftaleno	0,273	0,478	0,439	0,338	0,077	0,723
Acenafteno	0,738	0,141	0,025	0,841	0,013	0,888
Fluoreno	0,636	0,202	0,037	0,806	0,020	0,858
Fenantreno	0,308	0,445	0,008	0,912	0,011	0,894
Antraceno	<b>0,997</b>	<b>0,001</b>	0,001	0,962	0,017	0,868
Fluoranteno	0,106	0,675	0,128	0,642	0,198	0,555
Pireno	0,292	0,459	0,008	0,912	0,033	0,819
Benz[a]antraceno	<b>0,979</b>	<b>0,010</b>	0,000	0,995	0,026	0,839
Criseno	<b>0,950</b>	<b>0,025</b>	0,013	0,886	0,023	0,848
Benzo[b]fluoranteno	<b>0,966</b>	<b>0,017</b>	0,115	0,661	0,048	0,781
Benzo[k]fluoranteno	<b>0,955</b>	<b>0,023</b>	0,052	0,773	0,038	0,805
Benzo[a]pireno	0,860	0,073	0,105	0,676	0,043	0,792
Dibenz[a,h]antraceno	0,894	0,054	0,559	0,252	0,387	0,378
Benzo[ghi]perileno	<b>0,938</b>	<b>0,031</b>	0,551	0,257	0,067	0,740
Indeno[1,2,3-cd]pireno	<b>0,995</b>	<b>0,003</b>	0,644	0,197	0,095	0,692
Suma PAHs	0,729	0,146	0,207	0,545	0,057	0,761
Suma PAHs carcinogénicos	0,890	0,056	0,250	0,500	0,060	0,756

Las correlaciones fueron consideradas significativas si  $p < 0,05$

## **6.2 CARACTERIZACIÓN DE LA SALUD DE LA POBLACIÓN CON SONDEO POR CUESTIONARIOS**

El estudio de los efectos de la contaminación ambiental y las condiciones de vida de la población en la región se realizó mediante la implementación de cuestionarios. Los mismos fueron dirigidos a niños de nivel pre-escolar seleccionados de las familias asentadas en las zonas de muestreo, en las que se realizaron las determinaciones simultáneas de los parámetros de calidad de aire descritos anteriormente. La elección de niños entre 3 y 6 años se debe a que pertenecen a una subpoblación menos móvil, entendiéndose por tal a que los niños de estas edades se desplazan fundamentalmente en tres ambientes: la vivienda paterna, la escuela o jardín de infantes, y el camino entre ambos. Resulta interesante entonces, caracterizar estos micro-ambientes y analizar asociaciones entre tales caracterizaciones y las posibles enfermedades asociadas (Herbarth *et al.*, 1999; IPCS 2000).

### **6.2.1. Datos generales**

A partir de 600 cuestionarios entregados en los jardines de infantes de las zonas en estudio entre los años 2000 y 2002, fueron completados y retornados por los padres de los niños participantes 377 encuestas, con un porcentaje de respuesta del 60%. En la Tabla 6.6 se describen las características generales del muestreo.

Se puede observar que no existen diferencias entre las zonas de estudio para las variables peso y talla en el nacimiento y en la fecha en que se realizó la encuesta, tanto para varones como para mujeres. La edad promedio de los niños es equivalente para todas las zonas de estudio.

Tabla 6.6: Tamaño de la muestra, sexo, peso y talla de los participantes y número de establecimientos encuestados en cada zona.

	Totales	Zona Industrial	Zona Urbana	Zona Semi-rural	Zona Residencial
<b>Tamaño de la muestra</b>	377	75	99	92	111
<b>Niñas/niños</b>	188/189	45/30	54/45	44/48	45/66
<b>Número de Jardines de infantes</b>	6	1	2	1	2
<b>Edad promedio</b>	4,5	4,9	4,2	4,4	4,5
<b>Peso niñas nacimiento (g)*</b>	3166 (1150-5000)	3314 (1600-4750)	3149 (1150-4150)	3043 (1860-4200)	3135 (1340-5000)
<b>Peso niños nacimiento (g)*</b>	3418 (1850-5003)	3308 (1900-5003)	3433 (1980-4500)	3433 (1850-5000)	3458 (2400-4450)
<b>Peso niñas actual (kg)*</b>	18,5 (9-43)	19,7 (10-43)	19,1 (10-31)	18,3 (11-34)	17,7 (13-31)
<b>Peso niños actual (kg)*</b>	19,7 (9-42)	19,9 (10-35)	19,4 (9-35)	18,2 (10-25)	21,3 (14-42)
<b>Talla niñas nacimiento (cm)*</b>	49,5 (29-60)	49,3 (29-60)	49,4 (30-59)	49,7 (39-57)	49,4 (40-57)
<b>Talla niños nacimiento (cm)*</b>	50,9 (35-60)	48,2 (35-52)	50,5 (37-56)	50,8 (42-60)	51,9 (47-60)
<b>Talla niñas actual (cm)*</b>	106,3 (80-130)	115 (107-124)	107 (80-130)	104,7 (90-120)	105,5 (95-117)
<b>Talla niños actual (cm)*</b>	110,9 (90-155)	106,3 (93-130)	110 (93-128)	109,6 (100-120)	111,5 (90-155)

\* Valores promedio con mínimos y máximos entre paréntesis

### 6.2.2. Características de los grupos familiares

Fueron seleccionadas tres variables de las relevadas en esta sección de la encuesta, como las más significativas para caracterizar los grupos familiares de cada zona: nivel de estudios máximo alcanzado, ocupación actual y hábito de fumar.

En las Figuras 6.7 a y b son presentados los datos referidos al nivel de estudio máximo alcanzado por las madres y los padres de los participantes del presente trabajo, respectivamente. Estos ponen en evidencia que tanto en zona urbana como residencial, se alcanzan los estudios superiores en más del 50% de los casos, mientras que en las zonas industrial y semi-rural esto ocurre en un 5-6% de los casos, prevaleciendo la formación a nivel primario.



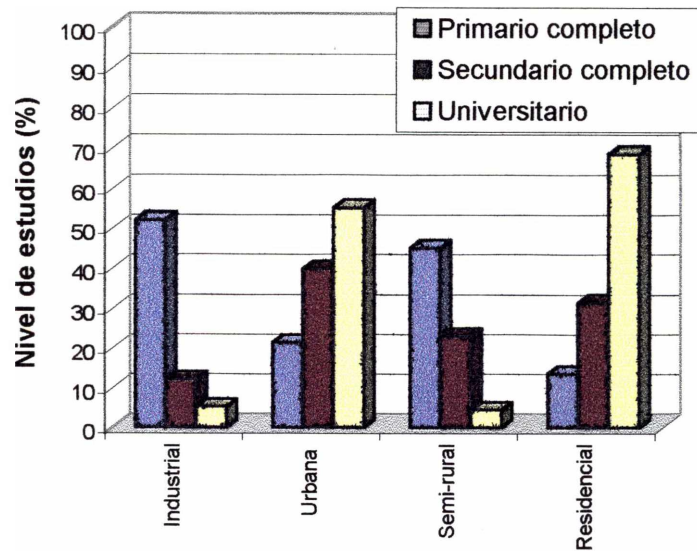


Figura 6.7a: Nivel de estudios máximo alcanzado por las madres (%) en las distintas zonas de estudio

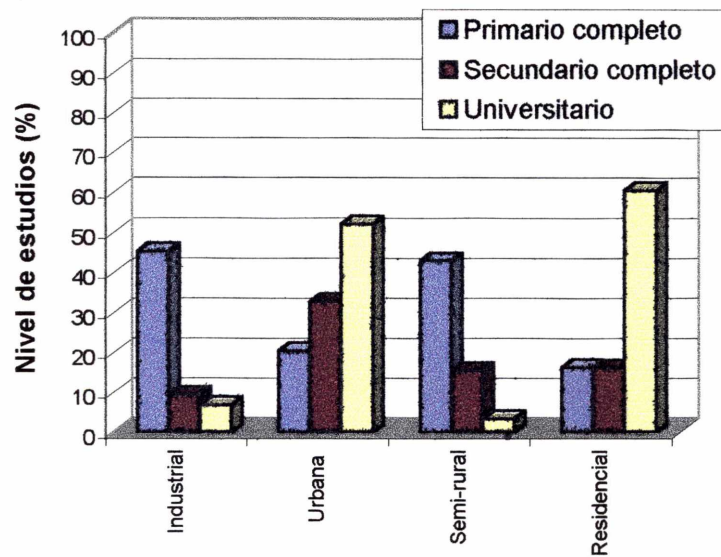


Figura 6.7b: Nivel de estudios máximo alcanzado por los padres (%) en las distintas zonas de estudio

En las Tablas 6.7 a y b, se presenta la distribución porcentual de las actuales ocupaciones de las madres y los padres de los participantes en el estudio, por zona, respectivamente.

*Tabla 6.7a: Ocupación de las madres expresada en porcentajes para las distintas zonas de estudio*

<b>Ocupación de las madres</b>					
<b>Zona</b>	<b>Profesional</b>	<b>Empleada</b>	<b>Trabajo no estable</b>	<b>Desocupada</b>	<b>Ama de casa</b>
Industrial	5,3	13,3	2,7	2,7	70,7
Urbana	28,6	34,7	2,0	3,1	28,6
Semi-rural	1,1	9,9	5,5	3,3	84,6
Residencial	34,2	17,1	6,3	6,3	43,2

Los porcentajes para cada caso se calcularon en función del total de personas que contestaron cada ítem, en todos los casos mayores al 90% de los encuestados

*Tabla 6.7b: Ocupación de los padres expresada en porcentajes para las distintas zonas de estudio*

<b>Ocupación de los padres</b>				
<b>Zona</b>	<b>Profesional</b>	<b>Empleado</b>	<b>Trabajo no estable</b>	<b>Desocupado</b>
Industrial	8,0	50,7	8,0	17,3
Urbana	34,7	52,0	4,1	2,0
Semi-rural	1,1	53,9	33,0	5,5
Residencial	42,3	42,3	5,4	2,7

Los porcentajes para cada caso se calcularon en función del total de personas que contestaron cada ítem, en todos los casos mayores al 90% de los encuestados

Nuevamente se evidencian prevalencias similares para zona industrial y semi-rural, por un lado, y para zona urbana y residencial, por el otro. En este último caso se observa la concordancia entre el alto grado de estudios universitarios y la ocupación de tipo profesional. Asimismo se destaca en varones el índice de desocupación mayor en la zona industrial, seguido por la semi-rural. Otro dato interesante, es la alta proporción de amas de casa en las zonas industrial y semi-rural, denotando diferencias en el rol femenino entre estas zonas y las urbana y residencial. Tales situaciones, denotan diferencias en el nivel socio-económico y cultural entre los distintos sectores, pudiendo observarse claramente dos grupos: industrial y semi-rural por un lado y urbano y residencial por el otro.

Otro parámetro de interés, consiste en el hábito de fumar. En este sentido, existe una correlación actualmente reconocida entre el tabaco y problemas de salud en el sistema

respiratorio, tanto en fumadores activos como en pasivos. Por lo tanto, se analizó esta variable en el hogar en distintas situaciones: durante el embarazo, en presencia de la madre embarazada y del niño en los primeros meses de vida. Los valores encontrados con respecto a este ítem se presentan en la Tabla 6.8.

Tabla 6.8: Distribución porcentual del hábito de fumar en distintas circunstancias para las distintas zonas de estudio

Hábito de fumar					
Zona	En el hogar	embarazo		presencia niño*	
		madre	padre	madre	padre
Industrial	54,7	14,7	13,3	9,3	20
Urbana	36,7	8,2	21,4	1	9,2
Semi-rural	61,5	14,3	36,3	3,3	16,5
Residencial	36,9	12,6	23,4	2,7	5,4

Los porcentajes para cada caso se calcularon en función del total de personas que contestaron cada ítem, en todos los casos mayores al 90% de los encuestados.

\* durante los primeros seis meses de vida

Se puede observar que las zonas semi-rural e industrial presentan los mayores valores en la mayoría de los casos, denotando nuevamente diferencias socio-culturales entre los grupos.

### 6.2.3. Características de las viviendas

Fueron seleccionadas tres variables de las relevadas en esta sección de la encuesta como las más significativas para caracterizar la vivienda familiar en cada zona en función de su rol potencial como fuente de VOCs intramuros: presencia de mohos, tipo de calefacción y renovación de interiores.

Como se puede observar en la Tabla 6.9, existe una importante proporción de mohos en las viviendas de las familias encuestadas, sin encontrarse diferencias notables entre las zonas en los sectores de la vivienda analizados.

Tabla 6.9: Presencia de mohos en la vivienda y en distintas habitaciones (%)

Presencia de mohos			
Zona	Vivienda	Baño	Habitación niños
Industrial	41,1	13,3	13,3
Urbana	54,1	28,6	19,4
Semi-rural	60,4	23,1	23,1
Residencial	40,5	26,1	14,4

Los porcentajes para cada caso se calcularon en función del total de personas que contestaron cada ítem, en todos los casos mayores al 90% de los encuestados

En cuanto a los diferentes tipos de combustibles utilizados para calefaccionar los ambientes interiores de las viviendas, los de uso más frecuente en la región son gas natural, electricidad, querosén y madera. En la Figura 6.8, puede observarse la distribución porcentual del uso de dichos combustibles para cada zona.

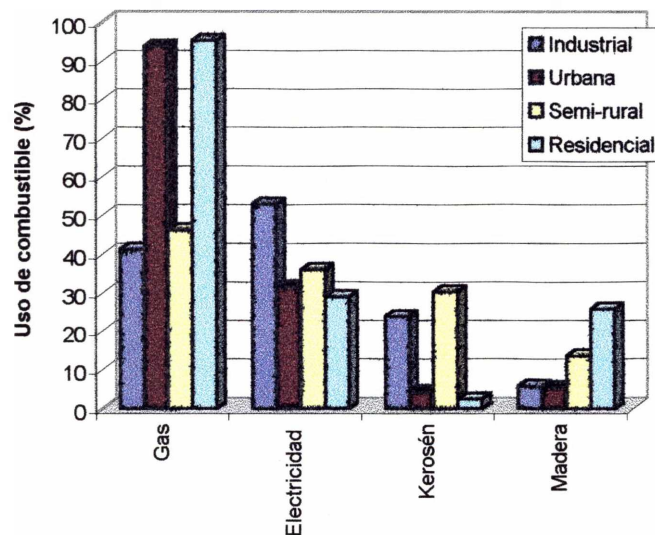


Fig. 6.8: Uso de combustibles en las distintas zonas (%)

Evidentemente el gas natural es el más usado, siendo elegido por más del 90% de los habitantes de las zonas urbana y residencial. Es interesante observar cómo en la zona industrial y en la semi-rural el uso de kerosén es entre 8 y 10 veces superior al de las zonas urbana y residencial. Nuevamente aparecen variables que permiten distinguir dos grupos con características similares. Con respecto al uso de madera, debemos diferenciar entre su uso por

falta de combustible optativo (viviendas más pobres con braseros) y el caso particular de la zona residencial, en la cual un número importante de las viviendas cuentan con estufas a leña (estufa hogar, salamandras) de uso ocasional.

La variable renovación de interiores incluye un número importante de descriptores, entre ellos: pintado de puertas y ventanas, pintado de paredes, muebles nuevos y alfombras nuevas (Tabla 6.10) Una característica común de los mismos es que son fuentes reconocidas de VOCs intramuros (Jones, 1999; Watson *et al.*, 2001; Pandit *et al.*, 2001; Guo, *et al.* 2003b; Son *et al.*, 2003).

Tabla 6.10: Renovación de interiores y parámetros de renovación característicos por zona (%)

Renovación de interiores						
Zona	Antes de nacer*	Después de nacer	Pintura		Mueble nuevo	Alfombra nueva
			Paredes	Puertas y ventanas		
Industrial	41,4	54,9	53,3	42,7	22,7	1,3
Urbana	58,2	72,2	69,4	55,1	48,0	3,1
Semi-rural	33,0	69,0	57,1	61,5	46,1	1,1
Residencial	64,5	76,6	73,9	63,1	45,0	6,3

Los porcentajes para cada caso se calcularon en función del total de personas que contestaron cada ítem, en todos los casos mayores al 90% de los encuestados

\* se refiere al niño participante del estudio

Se observa una importante capacidad de renovación de interiores motivada probablemente por el nacimiento del hijo, con un valor mayor para “después de nacer”. En este caso el parámetro “renovación de interiores antes de nacer” evidencia el agrupamiento de zonas previamente señalado: urbana y residencial, por un lado, e industrial y semi-rural, por el otro. Las actividades más destacadas se encuentran asociadas con la pintura de paredes, puertas y ventanas. En general, las tasas más elevadas se corresponden con las zonas urbana y residencial, sin que las diferencias sean marcadas entre estas zonas y las restantes. Estos resultados están en concordancia con los obtenidos para los VOCs estudiados en aire intramuros, donde no se observó diferencias significativas entre las distintas zonas, exceptuando la zona industrial donde los valores de VOCs más elevados se deben probablemente a la influencia extramuros.

#### 6.2.4. Características de cada zona de acuerdo a la percepción de sus residentes

Fueron seleccionadas en esta sección de la encuesta las variables relacionadas con el tránsito vehicular y la presencia de espacios verdes cercanos. Cabe señalar que solamente en la zona industrial se obtuvieron respuestas positivas al preguntar sobre pequeña o mediana industria cercana. En la Figura 6.9 se presenta una caracterización del tránsito vehicular y espacios verdes en cada zona.

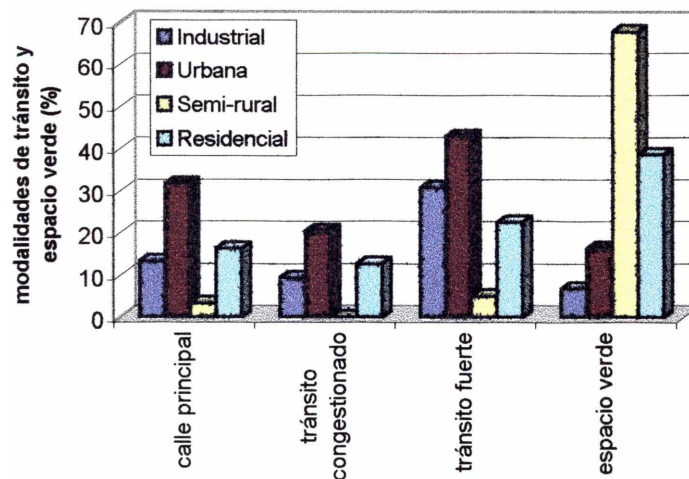


Figura 6.9: Distribución porcentual de modalidades de tránsito y espacios verdes por zona

En la figura se observa claramente el predominio del tránsito en la zona urbana en sus distintas modalidades. También se observa, pero en menor proporción, cercanía a calle principal, tránsito fuerte y congestionado en la zona industrial y en la residencial. Con respecto a la zona industrial, esto probablemente se debe al desplazamiento de camiones en las calles de acceso al Polo Petroquímico cercano. En cuanto a los valores para tránsito en la zona residencial podría explicarse en función de que esta zona está atravesada por dos corredores viales importantes que comunican la zona con la ciudad de La Plata. La relación encontrada para los espacios verdes se correlaciona directamente con las zonas blanco elegidas. Es interesante destacar que los valores de BTX encontrados en aire extramuros presentan valores máximos para la zona urbana e industrial. Este tipo de tendencia también se observó para el material particulado y los SVOCs. Estos contaminantes están relacionados con cercanía a industria y tránsito vehicular. Por lo tanto, de manera general, se observa una

importante consistencia entre el tipo de contaminación dominante en aire ambiente en cada área y la evaluación subjetiva de las mismas reportadas por los padres en el cuestionario.

#### **6.2.5. Tendencias de problemas de salud en la región**

Entre las numerosas variables pertenecientes a este ítem, en la Tabla 6.11 se presenta la distribución porcentual correspondiente al perfil de enfermedades más relevantes. Asimismo en la Tabla 6.12 se muestran las correlaciones estadísticas encontradas entre esas enfermedades y las zonas en estudio expresadas como Odds Ratio (OR).

En la Tabla 6.11 se observa una mayor proporción de bronquitis crónica y piel fotosensible en la zona industrial seguido en ambos casos por la zona semi-rural. Es interesante señalar que en el análisis estadístico, la asociación entre zona industrial y estas dos enfermedades presenta valores de  $OR > 1$  (Tabla 6.12). Por otra parte tanto asma como rinitis alérgica, neumonía, otitis y urticaria no muestran variaciones considerables entre las distintas zonas y sus correspondientes OR no denotan correlaciones significativas. Los porcentajes obtenidos para la variable asma en la región son bajos comparados con los reportados en la bibliografía para otras zonas de estudio. Esto podría deberse a una falta de diagnóstico de la enfermedad en la zona ya que se consultó específicamente por asma diagnosticada por el médico. Una situación particular se observa para la zona semi-rural. En este caso se encuentra una mayor proporción de anginas, tendencia a resfríos, bronquitis y pseudokrupp, todas enfermedades probablemente relacionadas con el nivel socioeconómico de la zona que implica mala calefacción, disminución de las defensas del organismo y deficiencias en la prestación de servicios sanitarios básicos, entre otras. Es interesante señalar las correlaciones significativas encontradas con  $OR > 1$  en todos estos casos (Tabla 6.12). Dentro de la misma zona también se observan otras dos enfermedades con un porcentaje elevado de niños afectados, fiebre de heno y alergias. En concordancia con estas observaciones, se encontraron valores de  $OR > 1$  para ambos casos (Tabla 6.12). Esta situación probablemente se relacione con la exposición a alérgenos naturales dado que es una zona que cuenta con amplios espacios verdes. No obstante no se encontraron correlaciones entre alergia y factores relacionados con la misma tales como animales domésticos, polen y ácaros, probablemente debido a la falta de diagnóstico adecuado del origen de la enfermedad con el concomitante bajo nivel de respuestas afirmativas en las preguntas específicas del cuestionario.

Tabla 6.11: Perfil de enfermedades por zona (%)

Enfermedad	Industrial	Urbana	Semi-rural	Residencial
Asma	1,4	3,0	3,3	3,6
Bronquitis	17,6	19,2	31,9	22,5
Bronquitis crónica	9,5	1,0	6,6	ND
Bronquiolitis	8,1	9,1	4,4	11,7
Tendencia a resfríos	29,7	25,2	50,5	22,5
Piel fotosensible	20,9	6,4	16,5	6,3
Alergia	16,7	10,3	28,1	13,3
Neumonía	9,5	11,1	13,2	7,2
Angina	28,4	33,3	63,7	39,6
Fiebre de Heno	1,4	2,0	5,5	ND
Rinitis alérgica	1,4	5,0	3,3	2,7
Picazón de la piel	9,6	8,4	12,1	6,3
Pseudokrupp	1,4	3,0	9,9	6,3
Urticaria	20,8	22,6	20	22,2
Sarna	4,2	ND	9,9	ND

Los porcentajes para cada caso se calcularon en función del total de personas que contestaron cada ítem, en todos los casos mayores al 90% de los encuestados

ND: no se detectó la enfermedad en ninguno de los participantes del estudio



Tabla 6.12: OR encontrados entre diversas enfermedades y las zonas en estudio

Enfermedad	Industrial	Urbana	Semi-rural	Residencial
Bronquitis	0,7 (0,3-1,3)	0,7 (0,4-1,3)	1,9 (1,1-3,2)	1,0 (0,6-1,6)
Bronquitis crónica	4,4 (1,5-13,0)	0,2 (0,0-1,6)	2,5 (0,8-7,2)	NR
Bronquiolitis	0,9 (0,4-2,4)	1,1 (0,5-2,5)	0,4 (0,1-1,2)	1,7 (0,8-3,6)
Tendencia a resfríos	0,9 (0,5-1,6)	0,7 (0,4-1,1)	3,0 (1,8-4,9)	0,5 (0,3-0,9)
Piel fotosensible	2,5 (1,2-4,9)	0,4 (0,2-1,0)	1,7 (0,9-3,4)	0,4 (0,2-1,0)
Alergia	1,0 (0,5-2,0)	0,5 (0,2-1,0)	2,6 (1,4-4,6)	0,7 (0,4-1,3)
Neumonía	0,9 (0,4-2,2)	1,2 (0,5-2,4)	1,5 (0,7-3,1)	0,6 (0,3-1,4)
Angina	0,5 (0,3-0,8)	0,6 (0,4-1,0)	3,3 (2,0-5,5)	0,9 (0,6-1,4)
Fiebre de Heno	NR	1,1 (0,2-5,9)	8,2 (1,6-43,2)	NR
Rinitis alérgica	0,4 (0,1-2,9)	2,0 (0,6-6,6)	1,0 (0,3-4,0)	0,8 (0,2-3,0)
Picazón de la piel	1,1 (0,5-2,7)	0,9 (0,4-2,1)	1,6 (0,7-3,4)	0,6 (0,2-1,5)
Pseudokrupp	0,2 (0,0-3,6)	0,5 (0,1-1,7)	2,7 (1,1-6,8)	1,3 (0,5-3,3)
Urticaria	1,0 (0,5-1,8)	1,1 (0,6-1,9)	0,9 (0,5-1,6)	1,1 (0,6-1,9)
Sarna	1,3 (0,3-5,1)	NR	9,4 (2,5-35,7)	NR

NR: no resuelto por el sistema de análisis estadístico

Intervalo de confianza del 95 % entre paréntesis

En la Tabla 6.13 se presentan las correlaciones entre enfermedades y algunos factores probablemente vinculados con las mismas. Allí se muestran algunas correlaciones relacionadas con las observaciones anteriores y las tablas y gráficos presentados correspondientes a la caracterización de las zonas en estudio. Es el caso del kerosén que correlaciona con bronquitis (OR 2,1) y tendencia a resfríos (OR 2,2) de manera similar a lo que ocurre con la zona semi-rural, siendo la misma la que más utiliza este tipo de combustible. También se observa correlación entre cercanía a industria grande y bronquitis crónica (OR 4,2). Otra correlación significativa es la encontrada entre congestión de tránsito y bronquiolitis (OR 3,1). Sin embargo, si bien la zona urbana es la que presenta mayor congestión de tránsito (Figura 6.9) no se encontró correlación significativa entre esta zona y la bronquiolitis. También se observa correlación entre mohos y alergia (OR1,7). Si bien alergia correlaciona

con la presencia de mohos en las viviendas, evidentemente hay otros factores que condicionan el desarrollo de la enfermedad en la región, ya que todas las zonas presentan una presencia de mohos similar y sin embargo sólo en la zona semi-rural se observa una correlación positiva con alergias (Tabla 6.13).

Tabla 6.13: Correlación entre enfermedades y factores posiblemente vinculados a las mismas

Enfermedad	Kerosén calefacción	Mohos	Congestión de tráfico	Industria de gran envergadura
Bronquitis	<b>2,1</b> (1,1-4,1)	1,3 (0,8-2,1)	0,8 (0,4-1,8)	0,9 (0,5-1,6)
Bronquitis crónica	2,5 (0,8-8,4)	1,0 (0,3-2,8)	0,6 (0,1-4,9)	<b>4,2</b> (1,4-12,4)
Pseudokrupp	0,8 (0,2-3,6)	0,8 (0,3-1,9)	0,9 (0,2-4,0)	1,0 (0,3-3,1)
Alergia	1,8 (0,9-3,8)	<b>1,7</b> (1,0-2,9)	0,5 (0,2-1,5)	1,0 (0,5-2,0)
Angina	1,3 (0,7-2,4)	1,1 (0,8-1,7)	0,6 (0,3-1,2)	0,5 (0,3-0,8)
Fiebre de heno	1,0 (0,1-8,9)	1,3 (0,3-5,4)	3,4 (0,6-17,9)	NR
Piel fotosensible	2,1 (0,9-4,5)	1,1 (0,6-2,0)	0,4 (0,1-1,6)	1,4 (0,7-2,9)
Tendencia a resfrios	<b>2,2</b> (1,2-4,2)	1,3 (0,9-2,0)	0,7 (0,3-1,4)	NR
Bronquiolitis	1,4 (0,5-3,9)	0,9 (0,4-1,7)	<b>3,1</b> (1,3-7,5)	1,3 (0,6-3,1)

NR: no resuelto por el sistema de análisis estadístico

Cabe destacar que si bien a partir de los análisis de parámetros de calidad para aire ambiente, la zona semi-rural constituye un lugar blanco de óptimas características, al analizar las variables relacionadas con hábitos y condiciones de vida, emergen un importante número de factores de confusión para la búsqueda de correlaciones entre exposición a contaminantes ambientales y efectos sobre la salud, por lo cual no constituye un buen lugar de referencia desde este punto vista.

Evidentemente, el sondeo preliminar realizado permitió caracterizar las familias de las distintas zonas en estudio, incorporando información básica sobre los participantes, hábitos, nivel de estudio y ocupación de los padres y su situación socio-económica. Además permitió caracterizar las zonas en cuanto a nivel de tránsito, industrias y parques cercanos, mohos y tipo de combustible utilizado. También fue posible encontrar correlaciones entre estas características, y el desarrollo de algunas enfermedades relacionadas con las mismas.

En estudios realizados en la ciudad de Mendoza y Leipzig (Alemania), utilizando la misma herramienta metodológica se encontraron correlaciones entre bronquitis y emisiones atribuidas a calefacción doméstica para la ciudad de Leipzig, asma y alergia con emisiones atribuidas al tránsito vehicular para ambas ciudades. En el presente estudio, con respecto a calefacción doméstica, se observa correlación significativa entre bronquitis y el uso de kerosén. Con respecto al tránsito vehicular no se encontraron correlaciones significativas entre el mismo y desarrollo de enfermedades.

Es importante destacar la ausencia de estudios previos de este tipo en la región. Por lo tanto, los resultados obtenidos permiten establecer información de base de gran utilidad para contextualizar futuros estudios epidemiológicos que puedan profundizar y enriquecer las asociaciones encontradas. En este sentido, cabe consignar que durante el transcurso de este estudio, los profesionales de la salud, que se encuentran trabajando en los Centros de Atención Primaria en las zona relevadas y en el Hospital de Niños de La Plata manifestaron su interés en la posibilidad de realizar futuros estudios en conjunto.

### **6.3. ESTIMACIÓN DEL RIESGO ASOCIADO A VOCs, PARTÍCULAS Y SVOCs**

#### **6.3.1. Efectos sobre la salud asociados a VOCs**

De los VOCs seleccionados, es necesario resaltar la incidencia de ciertos compuestos aromáticos sobre la salud, en particular el benceno debido a su comprobada carcinogenicidad. En tal sentido la Provincia de Buenos Aires en la Ley N° 5.965 de protección de las fuentes de provisión, los cuerpos receptores de agua y la atmósfera, Decreto Reglamentario N° 3.395/96, Anexo III, Tabla B referida a niveles guía de calidad de aire ambiente para contaminantes específicos, presenta valores límites de referencia para ciertos compuestos aromáticos (Tabla 6.14).

Tabla 6.14: Valores Límites de referencia para VOCs aromáticos según Normativa de la Provincia de Buenos Aires-Secretaría de Política Ambiental. (Ley N°3395/96 Anexo III Tabla B)

Compuesto	Concentración ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Tiempo de exposición
Benceno	0,096	1 año
Estireno	26,3	1 año
Tolueno	1400	8 h
Xilenos	5200	8 h

Medidos a 25° C y 1 atmósfera

La OMS presenta valores guía recomendados para compuestos aromáticos, haciendo especial referencia al compuesto cancerígeno benceno para el cual se recomienda el uso de la unidad de riesgo en lugar de concentraciones permitidas (Tabla 6.15 a y b)

Tabla 6.15 a: Valores guía recomendados por la OMS para algunos VOCs no cancerígenos

Compuesto	Efectos sobre la salud	Valor guía o concentración tolerable ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Tiempo promedio de exposición
Etilbenceno	Incremento del peso del órgano	22.000	1 año
Estireno	Efectos neurológicos en trabajadores	260	1 semana
Tolueno	Efectos sobre el SNC de los trabajadores	260	1 semana
Xilenos	Efectos sobre el SNC de individuos voluntarios	4.800	24 horas

Tabla 6.15 b: Unidad de riesgo recomendada por la OMS para el compuesto cancerígeno benceno

Compuesto	Efectos sobre la salud	Unidad de riesgo ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) <sup>-1</sup>
Benceno	Leucemia en trabajadores expuestos	(4,4-7,5) x 10 <sup>-6</sup>

Los valores encontrados en este estudio para compuestos aromáticos no carcinogénicos no exceden los valores guía recomendados por la OMS ni los límites permitidos por la Ley 5.965 de la Provincia de Buenos Aires. En el caso particular del benceno, por ser un compuesto carcinogénico, si bien la Provincia de Buenos Aires en la Ley 5.965 asigna un valor límite de referencia; a nivel internacional, por ejemplo OMS y USEPA, se recomienda

el cálculo del riesgo individual de contraer cáncer a lo largo de una vida por exposición a un determinado contaminante, y el uso de la unidad de riesgo. La misma se calcula a partir de considerar distintos modelos de evaluación de riesgo relativo y se define como el riesgo adicional de contraer cáncer durante una vida en una población hipotética cuyos individuos estén expuestos continuamente a una concentración de  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  del contaminante del aire que respiran. La unidad de riesgo permite comparar el potencial cancerígeno de diferentes contaminantes (USEPA, 1999; OPS, 2000; WHO, 2000b). De todas maneras, sólo considerando el valor límite de referencia adoptado para la Provincia de Buenos Aires, los valores de benceno encontrados en este estudio son claramente superiores al mismo.

### 6.3.1.1. Estimación del riesgo asociado a benceno

Los cálculos de riesgo de desarrollo de cáncer a lo largo de una vida requieren del conocimiento de la exposición media de un grupo blanco, como así también de los factores de potencia asociados a cada compuesto carcinogénico en particular. En este sentido, el riesgo individual de contraer cáncer a lo largo de toda una vida por exposición a un determinado compuesto cancerígeno se establece multiplicando la exposición, calculada como la dosis diaria interna crónica (DDIC), por el factor de potencia (FP) de la sustancia específica (IPCS, 2000; Hoddinott y Lee, 2000; Guo *et al.*, 2004).

La DDIC en  $\text{mg}/\text{kg}/\text{día}$  puede ser calculada de acuerdo a la siguiente ecuación (Gratt, 1996; Lau *et al.*, 1997; Hoddinott y Lee, 2000; Muller *et al.*, 2003; Guo *et al.*, 2004):

$$DDIC = \frac{CA \times TS \times DE \times FE \times T}{PC \times PME \times NA}$$

donde:

CA: concentración del contaminante en aire ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )

TS: tasa de inhalación ( $\text{m}^3/\text{h}$ )

DE: duración de la exposición (h/semana)

FE: frecuencia de la exposición (semanas/año)

T: duración de la exposición (años)

PC: peso corporal (kg)

PME: período medio en el cual la exposición es medida (70 años)

NA: número de días por año (365 días)

El factor de potencia para el benceno se obtuvo del sistema IRIS (USEPA, 2002). El mismo corresponde a  $0,029 \text{ (mg/kg/día)}^{-1}$ . Se calculó el riesgo individual de contraer cáncer a lo largo de una vida (RICV) para la exposición a benceno tomando como ejemplos niños y amas de casa en las distintas zonas de estudio. La exposición por inhalación está siempre relacionada a la frecuencia, la duración y el patrón de actividades diarias, por lo tanto se estimó el número promedio de horas que permanecen por día los niños y las amas de casa en ambientes intramuros. Para el cálculo del riesgo, se adoptaron valores correspondientes a ciertos parámetros, tales como el peso corporal y la cantidad de aire inhalado, a partir de valores tabulados. Además, para ambos casos fue considerado un factor de absorción para VOCs en humanos del 90%. (USEPA, 1999; Hoddinott y Lee, 2000; Guo *et al.*, 2004). Cabe mencionar que se utilizó para los cálculos la mediana de los valores de benceno correspondientes al período invernal presentados en la Tabla Anexo III.

### **Cálculo para niños**

Se asumió un peso corporal de 17 kg y un promedio de  $5 \text{ m}^3$  de aire inhalado por día y un promedio de tiempo de exposición de 70 años (Hoddinott y Lee, 2000; Guo *et al.*, 2004).

- Intramuros: se supone que los niños permanecen un promedio anual de 20 horas por día en estos ambientes (escuela y hogar).
- Extramuros: se asume que los niños permanecen un promedio anual de 4 horas por día al aire libre.

En las Tablas 6.16 a y b se presentan los valores intramuros y extramuros respectivamente del cálculo de DDIC y RICV para las distintas zonas de estudio.

*Tabla 6.16a: Cálculos de DDIC y RICV para niños intramuros por exposición a benceno*

<b>Zona</b>	<b>DDIC</b>	<b>RICV</b>
Industrial	$4,86 \times 10^{-3}$	$1,41 \times 10^{-4}$
Urbana	$9,14 \times 10^{-4}$	$2,94 \times 10^{-5}$
Semi-rural	$9,96 \times 10^{-4}$	$2,9 \times 10^{-5}$
Residencial	$8,85 \times 10^{-4}$	$2,58 \times 10^{-5}$

DDIC: Dosis Diaria Interna Crónica

RICV: Riesgo individual de contraer cáncer durante toda la vida

Tabla 6.16b Cálculos de DDIC y RICV para niños extramuros por exposición a benceno

Zona	DDIC	RICV
Industrial	$9,03 \times 10^{-4}$	$2,62 \times 10^{-5}$
Urbana	$1,73 \times 10^{-4}$	$5,03 \times 10^{-6}$
Semi-rural	$1,01 \times 10^{-4}$	$2,92 \times 10^{-6}$
Residencial	$9,92 \times 10^{-5}$	$2,87 \times 10^{-6}$

DDIC: Dosis Diaria Interna Crónica

RICV: Riesgo individual de contraer cáncer durante toda la vida

### Cálculo para amas de casa

Se elige este sector de la población por encontrarse en una situación de exposición intramuros equivalente a la de los niños, en cuanto a que no están expuestas a otros ambientes intramuros, básicamente laborales, con perfiles distintos de VOCs como por ejemplo oficinas, fábricas, cocinas de restaurantes, interior de vehículos, etc. Se supone que un ama de casa es una persona dedicada al cuidado de la familia que pasa la mayor parte de su tiempo en ambientes intramuros, por lo tanto no se consideró en este caso el cálculo extramuros. Asimismo se asume un peso corporal promedio de 60 kg y que una persona adulta respira  $20 \text{ m}^3$  de aire por día (Hoddinott y Lee, 2000; Guo *et al.*, 2004). En la Tabla 6.17 se presentan los valores obtenidos.

Tabla 6.17: Cálculos de DDIC y RICV para amas de casa intramuros por exposición a benceno

Zona	DDIC	RICV
Industrial	$6,51 \times 10^{-3}$	$1,89 \times 10^{-4}$
Urbana	$1,33 \times 10^{-3}$	$3,86 \times 10^{-5}$
Semi-rural	$1,32 \times 10^{-3}$	$3,83 \times 10^{-5}$
Residencial	$1,46 \times 10^{-3}$	$4,23 \times 10^{-5}$

DDIC: Dosis Diaria Interna Crónica

RICV: Riesgo individual de contraer cáncer durante toda la vida

De los resultados que se presentan en las tablas anteriores, se observa que el riesgo individual de contraer cáncer a lo largo de toda una vida por exposición a benceno resulta ser mayor, en todos los casos, para los habitantes de la zona industrial. En particular para los

valores intramuros, se observa la relación:  $I > U \cong SR \cong R$ . Para los valores extramuros:  $I > U > SR \cong R$ .

Si bien el riesgo individual se incrementa al incrementarse el nivel de exposición, aquellos preocupantes son los que se encuentran por encima de un nivel mínimo de riesgo (considerado “aceptable”). En particular la Organización Mundial de la Salud (OMS) estima a ese nivel comprendido en el intervalo de valores entre  $1 \times 10^{-5}$  y  $1 \times 10^{-6}$  mientras que la USEPA estima ese nivel mínimo equivalente a  $1 \times 10^{-6}$  (Miller *et al.*, 1999; IPCS, 2000). Debe destacarse que todos los valores intramuros obtenidos en el presente estudio, tanto para los niños como para las amas de casa, se encuentran por encima del intervalo considerado por la OMS. En cuanto a los valores hallados para niños extramuros, si bien en general están comprendidos dentro del intervalo aceptable por la OMS, exceden el límite de la USEPA. Debemos destacar que en la zona industrial se exceden ambos límites. Los valores de riesgo individual de contraer cáncer durante toda la vida para benceno, tanto intramuros como extramuros, son similares a los encontrados en otros estudios con situaciones de exposición equivalente (Miller *et al.*, 1999; Hoddinott y Lee, 2000; Guo *et al.*, 2004).

Es importante destacar que los valores intramuros exceden los de aire ambiente en un orden de magnitud en todas las zonas estudiadas. Es decir, el riesgo individual de contraer cáncer a lo largo de toda una vida por exposición a benceno, es mayor en ambientes intramuros que en extramuros, independientemente de la zona en estudio. Tal situación concuerda con los niveles de benceno hallados, que como se describe en la bibliografía especializada, normalmente presenta valores más elevados en los ambientes intramuros. Esta situación es aún más marcada en sitios con influencia urbana, industrial y rural en países en vías de desarrollo (Godish, 1991; Botkin y Keller, 2000; Baird, 2001; WHO, 2002; Rehwagen *et al.*, 2003; Son *et al.*, 2003; Guo *et al.*, 2004).

La OMS en las guías de calidad de aire para Europa indica que la media geométrica del rango estimado de exceso de leucemia a lo largo de toda una vida por exposición a una concentración de benceno en aire de  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  es de  $6 \times 10^{-6}$ . Las concentraciones de benceno asociadas a exceso de riesgo a lo largo de toda la vida de 1/10.000, 1/100.000 y 1/1.000.000 son respectivamente 17, 1,7 y  $0,17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Asumiendo un modelo lineal y calculando el RICV para los valores hallados en el presente estudio vemos nuevamente que la zona industrial presenta el mayor riesgo individual (Tabla 6.18).



Tabla 6.18: Cálculo de riesgo individual de contraer cáncer a lo largo de toda una vida por exposición a benceno intramuros y extramuros teniendo en cuenta los valores de concentraciones y riesgo estimados por la OMS

Zona	RICV intramuros	RICV extramuros
Industrial	$1,29 \times 10^{-4}$	$1,19 \times 10^{-4}$
Urbana	$2,68 \times 10^{-5}$	$2,28 \times 10^{-5}$
Semi-rural	$2,65 \times 10^{-5}$	$1,34 \times 10^{-5}$
Residencial	$2,35 \times 10^{-5}$	$1,31 \times 10^{-5}$

Estos cálculos, si bien nos permiten ver que el riesgo asociado a la exposición intramuros es dos veces mayor que la extramuros para las zonas semi-rural y residencial y ligeramente superior para la zona urbana, no nos permiten hacer una buena diferenciación del riesgo asociado a ambos ambientes debido a que no se considera el tiempo de exposición en los mismos. Está comprobado que la mayoría de las personas pasan más del 80% del tiempo en ambientes intramuros, lo cual sumado a que estos ambientes presentan las mayores concentraciones, aumentan su potencial riesgo.

Cabe señalar que estos cálculos no diferencian entre niños y adultos en cuanto a ciertos parámetros, tales como peso corporal y metros cúbicos de aire inhalado por día. Por lo tanto, los cálculos de RICV que se presentan en las Tablas 6.16 y 6.17, teniendo en cuenta tiempo de exposición, peso corporal y tasa inhalatoria en adultos y niños en distintos ambientes, resultan ser un mejor reflejo del estado actual de conocimiento sobre riesgo individual de contraer cáncer a lo largo de toda una vida por exposición a un determinado contaminante, en este caso el benceno.

Finalmente, cabe destacar, que si bien el riesgo individual es un orden de magnitud mayor en la zona industrial dado los valores de benceno encontrados, en el análisis del riesgo poblacional, es de esperar que sea la zona urbana la que presente el valor más alto debido a su mayor población.

De todas maneras, debe tenerse en cuenta que hasta el presente, el riesgo verdadero a contraer cáncer a partir de la exposición individual a VOCs no puede conocerse con certeza. Entre otros motivos, porque para los cálculos son utilizados los datos dosis-respuesta (factor

de potencia), que traen aparejados la falta de certezas referidas a los datos obtenidos a bajas dosis y la falta de claridad en el conocimiento de los modos de acción (IPCS, 2000; Guo *et al.*, 2004).

### **6.3.2. Efectos sobre la salud asociados a partículas y PAHs**

Antes se creía que todas las partículas suspendidas en aire afectaban la salud de la misma forma. Actualmente está demostrado que los efectos sobre la salud asociados al material particulado, incluyendo efectos agudos, incremento en la mortalidad diaria y enfermedades respiratorias, dependen del tamaño y la concentración de las partículas (WHO, 2000a,b). Diversos estudios han reportado un incremento en la mortalidad diaria asociados a aumentos de PM10 de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Adicionalmente, otros estudios muestran que la prevalencia de bronquitis en niños y la reducción en la función pulmonar tanto en niños como en adultos están asociados a la exposición a material particulado. Estos efectos han sido observados a niveles de concentración inferiores a  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para PM2,5 y  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para PM10 (Pope *et al.*, 1995; Saldiva *et al.*, 1995; Ostro *et al.*, 1996; Borja-Aburto *et al.*, 1997; WHO, 2000a,b). En este estudio, una concentración media de PM10 cercana a 30 y  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  se observa tanto en invierno como en verano para las zonas urbana e industrial respectivamente, mientras que la zona semi-rural presenta concentraciones menores, entre 10 y  $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Tabla 5.1). Con respecto a las partículas menores a  $3 \mu\text{m}$  se observan concentraciones medias entre 21 y  $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para las zonas industrial y urbana, mientras que la zona semi-rural presenta concentraciones medias cercanas a  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Tablas 5.3 a, b, c). Es de destacar que la proporción mayor de estas partículas corresponde a partículas menores a  $0,49 \mu\text{m}$ , las cuales como se mencionó en la introducción del presente trabajo son capaces de penetrar en el aparato respiratorio profundo llegando a alvéolos. Por lo tanto es de esperar que en función de los estudios descritos se observen efectos adversos sobre la salud asociados a material particulado en suspensión en habitantes de la zona industrial y urbana.

Como ya se mencionara anteriormente, es bien conocido que algunos PAHs son altamente mutagénicos y carcinogénicos. En tal sentido, es importante denotar que los PAHs asociados a material particulado han sido estimados entre los contaminantes del aire con mayor riesgo carcinogénico (Feilberg *et al.*, 2002). El cáncer de pulmón es el principal riesgo asociado a PAHs inhalados y esta enfermedad está relacionada con la acción de compuestos cancerígenos en las vías respiratorias y en la parte más profunda del pulmón. Dado que PM10

representa a la fracción de partículas que pueden penetrar a través de la laringe y depositarse en las vías respiratorias y en la parte profunda del pulmón y PM<sub>2,5</sub> representa solo la fracción de partículas capaces de penetrar en el aparato respiratorio profundo, es más apropiado considerar PAHs asociados a PM<sub>10</sub> para estimar el riesgo para la salud asociado a los mismos.

El compuesto más estudiado y que se usa habitualmente como indicador de riesgo carcinogénico asociado a PAHs en aire es el benzo[a]pireno (IARC, 1983, 1987; WHO, 2000; Feilberg et al., 2002). Sobre la base de diversos estudios epidemiológicos, la OMS considera el BaP como un índice de carcinogenicidad por PAHs (WHO, 1987; WHO, 2000).

### **6.3.2.1. Factores de equivalencia tóxicos**

En muchos estudios el riesgo asociado a la inhalación de PAHs carcinogénicos es estimado utilizando factores de equivalencia tóxicos (TEFs), que expresen la potencia relativa de los PAHs individuales comparados con el BaP. El desarrollo de los TEFs ayuda a caracterizar más precisamente las propiedades carcinogénicas de una mezcla de PAHs (Nisbet y LaGoy, 1992; Nielsen *et al.*, 1996; Petry *et al.*, 1996; Papargeorgopoulou *et al.*, 1999; Lodovici *et al.*, 2003; Fang *et al.*, 2004).

Se han propuesto distintos valores de TEFs para los PAHs individuales; en tal sentido, la USEPA separa a los PAHs en dos subclases: compuestos carcinogénicos y no carcinogénicos, aplicando un TEF de 1 a todos los compuestos considerados como carcinogénicos y un TEF de 0 a los PAHs no carcinogénicos (USEPA, 1984). No obstante, la información disponible indica que no todos los compuestos tienen la misma potencia carcinogénica; por lo tanto los TEFs desarrollados por la USEPA tienden a sobreestimar el riesgo. Luego Nisbet y La Goy (1992) desarrollan una nueva lista de TEFs que parece refleja mejor el estado actual de conocimiento sobre la potencia relativa de los PAHs individuales. Los valores de TEFs desarrollados por estos autores, presentados en la Tabla 6.19 son los más utilizados actualmente.

Tabla 6.19: Valores de TEFs propuestos por Nisbet y LaGoy (1992) para PAHs individuales

Compuesto	TEFs
Naftaleno	0,001
Acenafteno	0,001
Fluoreno	0,001
Fenantreno	0,001
Antraceno	0,01
Fluoranteno	0,001
Pireno	0,001
Benz[a]antraceno	0,1
Criseno	0,01
Benzo[b]fluoranteno	0,1
Benzo[k]fluoranteno	0,1
<b>Benzo[a]pireno</b>	<b>1</b>
Dibenz[a,h]antraceno	1
Benzo[ghi]perileno	0,01
Indeno[1,2,3-cd]pireno	0,1

En función de los TEFs propuestos por Nisbet y LaGoy se presentan en la Tabla 6.20 las concentraciones medias de PAHs asociados a PM10 en las distintas zonas de estudio expresadas como equivalentes de BaP ( $BaP_{eq}$ ) para el período invernal y estival. Las mismas fueron calculadas multiplicando las concentraciones de cada PAH en la mezcla por su correspondiente valor de TEF.

Tabla 6.20: BaP<sub>eq.</sub> (ng/m<sup>3</sup>) para los PAHs analizados en las distintas zonas de estudio

Compuesto	Invierno			Verano		
	Industrial	Urbana	Semi-rural	Industrial	Urbana	Semi-rural
Naftaleno	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Acenafteno	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Fluoreno	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Fenantreno	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Antraceno	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Fluoranteno	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Pireno	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Benz[a]antraceno	0,070	0,026	0,006	0,012	0,014	0,006
Criseno	0,008	0,004	< 0,001	0,002	0,002	< 0,001
Benzo[b]fluoranteno	0,178	0,087	0,020	0,070	0,058	0,019
Benzo[k]fluoranteno	0,057	0,032	0,008	0,022	0,018	0,007
<b>Benzo[a]pireno</b>	<b>0,976</b>	<b>0,482</b>	<b>0,101</b>	<b>0,293</b>	<b>0,229</b>	<b>0,124</b>
Dibenz[a,h]antraceno	0,236	0,069	0,013	0,076	0,047	0,023
Benzo[ghi]perileno	0,018	0,016	0,002	0,010	0,008	0,003
Indeno[1,2,3-cd]pireno	0,141	0,093	0,022	0,052	0,045	0,021
<b>Suma BaP<sub>eq.</sub></b>	<b>1,684</b>	<b>0,810</b>	<b>0,173</b>	<b>0,537</b>	<b>0,422</b>	<b>0,203</b>
Contribución del BaP a la actividad carcinogénica total	57,9 %	59,5 %	58,2 %	54,7 %	54,3 %	61,0 %

Los valores correspondientes a la suma de BaP<sub>eq.</sub> hallados en el presente estudio muestran que la zona industrial presenta valores hasta 2 veces mayores que la zona urbana y hasta 10 veces mayores que la zona semi-rural, mientras que la zona urbana presenta valores alrededor de 4 veces mayores que la zona semi-rural. En este caso, se asume que los riesgos individuales estimados para cada compuesto son aditivos (IPCS, 1998). La contribución del BaP a la actividad carcinogénica total resulta ser entre el 54 y el 60%. Estos resultados confirman la importancia del BaP como compuesto indicador de mezclas de PAHs en aire ambiente. Otros compuestos carcinogénicos como benzo[b]fluoranteno e indeno[1,2,3-cd]pireno que se encuentran dentro de los compuestos predominantes en la mezcla de PAHs (Tablas Anexo II), parecen tener un rol menor en la carcinogenicidad asociada a dicha mezcla. En contraste, aunque el dibenz[a,h]antraceno se encuentra en concentraciones menores, su contribución relativa al potencial carcinogénico es mayor debido a su mayor

TEF. En tal sentido algunos autores sugieren que además de BaP como indicador de riesgo asociado a PAHs en aire ambiente, también debe ser considerado el dibenz[a,h]antraceno (Menichini *et al.*, 1999; Lodovici *et al.*, 2003). Resultados similares a los presentados en este trabajo fueron hallados en otros estudios realizados en distintas ciudades de Europa (Petry *et al.*, 1996; Papargeorgopoulou *et al.*, 1999; EU, 2001; Lodovici *et al.*, 2003), mientras que en otras ciudades como Copenhage los resultados hallados en ambientes urbanos y suburbanos fueron mayores (Nielsen *et al.*, 1996). En un estudio realizado en ambientes urbanos, industriales y rurales de Taiwan también fueron hallados valores superiores a los hallados en el presente estudio (Fang *et al.*, 2004)

En las Tablas 6.21 a y b se observan las correlaciones encontradas entre los valores hallados para BaP<sub>eq</sub>, PAHs totales y potencia mutagénica en las sub-fracciones en las que se realizaron los ensayos biológicos en las distintas zonas de estudio.

Tabla 6.21a: Correlaciones entre BaP<sub>eq</sub>-PAHs totales y BaP<sub>eq</sub>-rev/m<sup>3</sup> para las sub-fracciones analizadas

Sub-fracción	BaP <sub>eq</sub> -PAHs totales		BaP <sub>eq</sub> -rev/m <sup>3</sup>	
	r <sup>2</sup>	p	r <sup>2</sup>	p
10-3 µm	0,796	<0,001	0,511	0,006
3-0,49 µm	0,984	<0,001	0,860	<0,001
< 0,49 µm	0,984	<0,001	0,529	0,006

Las correlaciones fueron consideradas estadísticamente significativas si p<0,05

Tabla 6.21b: Correlaciones entre BaP<sub>eq</sub>-PAHs totales y BaP<sub>eq</sub>-rev/m<sup>3</sup> para las distintas zonas de estudio

Zona	BaP <sub>eq</sub> -PAHs totales		BaP <sub>eq</sub> -rev/m <sup>3</sup>	
	r <sup>2</sup>	p	r <sup>2</sup>	p
Industrial	0,972	<0,001	0,874	<0,001
Urbana	0,949	<0,001	0,385	0,095
Semi-rural	0,998	<0,001	0,203	0,142

Las correlaciones fueron consideradas estadísticamente significativas si p<0,05

Es interesante comentar que se observa una correlación significativa entre los valores hallados de BaP equivalentes y los resultados obtenidos en el ensayo de mutagenicidad en los extractos provenientes de las distintas fracciones de material particulado en suspensión, observándose una mejor correlación para la fracción intermedia, 3-0,49 µm (Tabla 6.21a).

Estos resultados están en concordancia con los hallados para suma de PAHs, a excepción de la fracción más gruesa donde no se observó correlación con la misma.

Si consideramos las distintas zonas de estudio (Tabla 6.21b), se puede observar que hay correlación positiva entre los valores hallados para BaP<sub>eq</sub> y potencia mutagénica para la zona industrial, mientras que las zonas urbanas y semi-rural no presentan correlación. Estos resultados concuerdan con los valores hallados para la suma de PAHs debido a que existe una importante correlación entre BaP<sub>eq</sub> y PAHs totales.

### 6.3.2.2. Estimación del riesgo asociado a PAHs en función de la unidad de riesgo

La Organización Mundial de la Salud estima una unidad de riesgo de  $8,7 \times 10^{-2}$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )<sup>-1</sup> para los PAHs, expresados como BaP (WHO 2000a; OPS, 2000). Sobre la base de este valor de unidad de riesgo, la OMS calcula posibles valores límites para BaP expresados en la Tabla 6.22 (WHO 2000a; EU, 2001).

Tabla 6.22: Incremento del riesgo para posibles valores límites de BaP en  $\text{ng}/\text{m}^3$  (WHO, 2000a,b; EU, 2001)

Valores límites de BaP	Incremento del riesgo*
0,01	$1 \times 10^{-6}$
0,1	$1 \times 10^{-5}$
1,0	$1 \times 10^{-4}$

\*por exposición al valor límite durante toda una vida

En nuestro estudio, si consideramos el valor promedio de BaP entre invierno y verano, las concentraciones son 0,748; 0,381 y 0,114 para zona industrial, urbana y semi-rural respectivamente. Por lo tanto, el incremento del riesgo individual de contraer cáncer por exposición a PAHs durante toda una vida será aproximadamente  $7,48 \times 10^{-5}$ ;  $3,81 \times 10^{-5}$ ;  $1,14 \times 10^{-5}$  para zona industrial, urbana y semi-rural, respectivamente. Si tenemos en cuenta todos los PAHs analizados tomando la suma de BaP<sub>eq</sub>, el incremento del riesgo individual sería  $1,11 \times 10^{-4}$ ,  $0,62 \times 10^{-4}$  y  $0,19 \times 10^{-4}$  para las zonas industrial, urbana y semi-rural respectivamente. Es importante notar que estos resultados se estiman suponiendo que la persona está expuesta a esos niveles de PAHs durante todo el día tanto intramuros como extramuros, ya que no se analizaron en el presente estudio concentraciones intramuros de PAHs asociados a material particulado en suspensión. Cabe señalar que no es posible determinar con certeza el

riesgo asociado a la exposición humana a PAHs y otros cancerígenos. En general las personas pasan la mayor parte de su tiempo en ambientes intramuros (donde la contaminación con el humo de cigarrillo puede significar niveles adicionales de PAHs) y además no todos los individuos pasan todo el tiempo de su vida en una calle con alto tránsito vehicular o en la cercanía de un polo industrial. En todos los casos, los valores hallados en el presente estudio de incremento del riesgo individual de contraer cáncer son superiores a los valores establecidos como “aceptables” por la OMS comprendidos entre  $1 \times 10^{-6}$ - $1 \times 10^{-5}$  y la USEPA que establece  $1 \times 10^{-6}$  (Miller *et al.*, 1999; IPCS, 2000). Los resultados correspondientes a riesgo individual de contraer cáncer por exposición a PAHs durante toda una vida siguen el orden I>U>S-R en concordancia con los valores hallados en la estimación de riesgo utilizando factores de equivalencia tóxicos. No obstante, si consideramos el riesgo poblacional, es de esperar que sea la zona urbana la que presente el valor más alto debido a su mayor población.



## 7. CONCLUSIONES

De manera general, en ninguno de los sitios estudiados la concentración del material particulado en suspensión supera los límites permitidos por la legislación, de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , para PM10. La zona semi-rural presenta los niveles más bajos de concentración de partículas, seguido en orden creciente por las zonas urbana e industrial, aunque sin diferencias significativas entre estas dos últimas. Esto permite concluir que las emisiones en las zonas urbana e industrial generan un nivel de PM10 superior a los niveles de fondo, con cargas comparables. La región no presenta niveles críticos de concentración de PM10 al considerar tanto períodos cortos, como prolongados. En comparación con otras zonas urbanizadas del mundo los sectores estudiados de la región se encuentran dentro de los valores hallados en las mismas. De todas maneras, la región presenta características similares a ciudades europeas y dista mucho de grandes urbes de América Latina, como han sido los niveles históricos en Santiago de Chile o en la Ciudad de México.

Sin embargo, con referencia a la distribución de tamaños de las partículas se observan algunas diferencias entre las distintas zonas estudiadas. Se destaca que los materiales muy finos son los que predominan mayoritariamente en la zona urbana e industrial, en este orden de importancia para cada sitio. En la zona urbana, se observa que la concentración de partículas muy finas es en proporción mayor a la suma de las medias del resto de todas las otras fracciones. Para el sector industrial se podría apreciar que hay aproximadamente un 50% de partículas muy finas. En la zona semi-rural las fracciones promedio más abundantes se corresponden a partículas muy finas y las más gruesas del PM10. Este comportamiento en la zona urbana tiene una asociación muy clara con procesos de combustión del tránsito vehicular, particularmente aquel que utiliza gas-oil como combustible. En la zona industrial podría asociarse esta proporción también elevada de este tipo de partículas, a la presencia de antorchas del Polo Industrial Ensenada, sumado al tránsito vehicular local.

Uno de los problemas más relevantes de los ambientes urbanos es precisamente su asociación con materiales muy finos en aire. Los estudios realizados en el marco del proyecto de cooperación con Alemania, permiten ver que si bien la ciudad de Leipzig tiene niveles inferiores de PM10, la proporción de material muy fino también es elevada. Este problema ha llevado a que en países centrales se haya incorporado a nivel reglamentario el control de ma-

terial particulado fino ( $<2,5 \mu\text{m}$ ). En tal sentido, dentro de la legislación de la Provincia de Buenos Aires, la normativa que controla parámetros de calidad de aire, ha incluido el PM10 en lugar del TSP a partir de 1990.

Una posible solución a este tipo de problemas está claramente asociada a la introducción de procesos de combustión más limpios, como por ejemplo el recambio ocurrido recientemente en el transporte automotor hacia el uso de gas natural comprimido, en lugar de los combustibles tradicionales. Incluso, este hecho se ha podido reflejar en los datos obtenidos de concentración de partículas en la zona urbana, cuando comparamos la evolución a lo largo del tiempo de estudio. Aparentemente el sector industrial también ha acompañado esta tendencia, ello ya sea por el cierre de plantas con tecnología fuera de uso o por modernización de alguna de ellas. Este análisis sólo se refiere a la concentración de partículas y no a la química asociada a las mismas.

Cuando observamos los resultados provenientes de los análisis de compuestos orgánicos semivolátiles asociados a las partículas en suspensión en aire, podemos concluir que existe una clara dependencia entre la concentración de éstos y las fracciones muy finas. A su vez, existe un perfil muy definido entre las proporciones de PAHs y el tipo de zona de estudio. La concentración de PAHs en las fracciones muy finas es mayor en la zona industrial, seguido por la urbana, aunque no hay diferencias significativas entre ambos sitios. Se destaca además que, si bien estos compuestos son ubicuos, el perfil de algunos indicadores que ubican posibles fuentes diferenciadas, muestran que la zona urbana presenta característicos indicadores de transporte, y la industrial no tan evidentes. Cuando comparamos los niveles medios de concentración de PAHs en las zonas urbana e industrial con la semi-rural, observamos que los primeros son entre 4 y 6 veces superiores a los niveles de fondo.

Con respecto al tipo de PAHs en función del número de anillos y el tamaño de las partículas asociadas, teniendo en cuenta la zona de estudio, podemos destacar que se puede observar una mayor proporción de PAHs con 5 y 6 anillos que corresponde a compuestos de mayor riesgo, con un predominio de los PAHs con 6 anillos en todas las zonas de estudio, con valores más elevados para las zonas industrial y urbana comparados con el área control. Además, las mayores concentraciones de este tipo de compuestos están asociadas a las partículas más finas menores a  $0,49 \mu\text{m}$ , lo cual aumenta su potencial riesgo.

Uno de los aspectos a destacar, con referencia al tipo de PAHs presentes, es el porcentaje de compuestos carcinogénicos en la composición de las mezclas, en función de los sitios de estudio y el tamaño de las partículas. De manera general, el 50% de los PAHs asociados a partículas muy finas en las zonas urbanas e industrial se corresponde a PAHs carcinogénicos. Por lo tanto, si bien los niveles de partículas en estas zonas no son tan críticos, si lo es el riesgo potencial asociado a la calidad de este material.

Con respecto a la concentración de VOCs totales, en aire extramuros se observa que la zona industrial presenta los mayores valores, seguida por la urbana, mientras que las zonas semi-rural y residencial presentan niveles menores pero comparables entre si. El análisis estadístico de los valores extramuros evidencia que la zona industrial presenta diferencias significativas en comparación con las otras estudiadas, tanto para la suma de VOCs, como para las familias encontradas en mayor proporción, además de otros compuestos analizados tales como hexano, el trazador BTX, y particularmente el benceno, compuesto de gran relevancia por el riesgo asociado para la salud. También se puede observar que la zona urbana presenta diferencias significativas en comparación con la semi-rural y residencial. Evidentemente estos resultados están relacionados con las emisiones industriales y el tránsito vehicular.

En cuanto al aire intramuros, la zona industrial presenta los valores más destacados, mientras que las tres zonas restantes presentan tenores similares entre sí, pero menores que la industrial. Tal situación pone en evidencia que en general los niveles intramuros de VOCs no dependen de la zona de residencia, sino de las actividades realizadas en el interior de las viviendas (renovación de interiores, tipo de calefacción, etc.) en particular. La zona industrial presenta un aspecto diferenciado debido probablemente a la influencia extramuros, originado en los destacados niveles de fondo sumado al tipo de viviendas que en muchos casos carecen de buen cerramiento. De manera general, en todas las zonas de estudio, la suma de VOCs intramuros resultó ser mayor que la de extramuros, a excepción de la industrial, donde sólo la familia de los terpenos muestran concentraciones mayores intramuros, en comparación con el resto de los sitios estudiados.

La zona industrial presenta los mayores valores de BTX asociados a la presencia del Polo Petroquímico, mientras que los niveles de BTX extramuros en la ciudad duplican los de las zonas residencial y semi-rural. Los valores de la zona urbana son comparables con los hallados en otras ciudades de América Latina como Quito, mientras que los niveles hallados

en el área industrial son comparables con los encontrados en una ciudad industrializada como San Pablo. Cabe mencionar que en las zonas urbana, semi-rural y residencial la relación benceno/tolueno, aproximadamente 0,5, implica que la fuente predominante de BTX en estos sitios es el tránsito vehicular mientras que en la zona industrial fue hallada una relación mayor, evidenciando la presencia de otras fuentes.

De manera general no se superan los valores guía recomendados por la OMS ni los límites establecidos por la legislación de la Provincia de Buenos Aires para los VOCs no carcinogénicos, mientras que para los carcinogénicos, si bien la OMS recomienda el uso de la unidad de riesgo, la legislación de la Provincia de Buenos Aires establece un límite permitido para benceno (media anual) que es muy inferior a los valores del mismo encontrados en este estudio en todas las zonas. Cabe destacar que la zona industrial presenta valores un orden de magnitud mayor que los otros sitios. Evidentemente las emisiones industriales contribuyen de manera importante a los niveles de concentración hallados para este compuesto.

Una posible solución a este problema sería por un lado, la introducción de procesos de combustión más limpios, como por ejemplo el uso de GNC en el transporte automotor que no genera emisión de BTX, y por otro lado un mayor control de las emisiones industriales.

Los efectos biológicos asociados a los extractos de partículas prueban la mutagenicidad y potencial carcinogenicidad de los mismos. El evidente aumento de la mutagenicidad en los extractos de partículas muy finas en la zona industrial y urbana, caracteriza su mayor riesgo asociado. Cabe recordar que precisamente estas partículas muy finas son las que tienen un mayor poder de penetración en las vías respiratorias. Los estudios de citotoxicidad realizados por los colegas de Alemania sobre estos mismos extractos, demuestran a su vez efectos de inhibición del crecimiento celular y aumento del consumo de oxígeno, según se lo evalúa con el sistema de diagnóstico con *Tetrahymena piriformis*. Cuando comparamos a su vez la región de estudio con lo diagnosticado para la ciudad de Leipzig, podemos concluir de manera equivalente que las partículas más finas también allí llevan asociado un mayor riesgo.

La mutagenicidad de los extractos orgánicos de partículas de estudios anteriores para esta zona asociado a TSP y PM10 resulta ser similar a los promedios hallados en el presente estudio para la fracción menor a 0,49  $\mu\text{m}$  en zona urbana e industrial, y también para la fracción comprendida entre 3 y 0,49  $\mu\text{m}$  en el caso de la zona industrial en el período invernal. En comparación con otras ciudades del mundo, se puede observar que una mayor con-

tribución al potencial mutagénico debida a partículas finas menores a 1,5  $\mu\text{m}$  ha sido previamente hallada en ciudades de Grecia, Italia y Japón, en concordancia con los resultados hallados en el presente estudio.

Cabe destacar que sólo en la zona industrial, se observa una correlación positiva entre los efectos mutagénicos y los PAHs en todas las fracciones analizadas. Evidentemente en las otras zonas, otros compuestos, además de PAHs, contribuyen a los efectos mutagénicos. Dado que derivados nitrados de PAHs han sido encontrados en otras ciudades contaminadas del mundo contribuyendo a la mutagenicidad de los extractos orgánicos de material particulado, aun a muy bajas concentraciones, este tipo de compuestos podrían ser los co-responsables de la mutagenicidad en la zona urbana. Estos resultados permiten concluir que es necesario realizar futuros estudios evaluando mutagenicidad con y sin activación metabólica con distintas cepas de *S. Thyphimurium* sensibles a diferentes compuestos, considerando el análisis químico exhaustivo de compuestos orgánicos semivolátiles asociados al material particulado en suspensión, especialmente a la fracción más fina.

El sondeo por cuestionarios permite diferenciar dos grupos similares desde la perspectiva socio-económica y cultural: la zona industrial y la semi-rural, por un lado, y la zona urbana y la residencial, por el otro. Se observa una importante actividad de renovación de interiores en todas las zonas, fuentes reconocidas de VOCs intramuros. Tal situación concuerda con los valores obtenidos para estos compuestos en el presente estudio.

En cuanto a las enfermedades asociadas a las zonas en estudio, se encontraron, en primer lugar, correlaciones significativas entre la zona industrial y dos tipos de afecciones: bronquitis crónica y piel fotosensible. Otras correlaciones significativas encontradas son uso de kerosén y bronquitis, y tránsito vehicular congestionado y bronquiolitis. Una situación particular se observa para la zona semi-rural, donde se encuentra una mayor proporción de enfermedades probablemente relacionadas con el nivel socio-económico de la misma. En este caso si bien a partir de los análisis de los parámetros de calidad para aire ambiente esta zona constituye un lugar blanco óptimo, al analizar las variables relacionadas con hábitos y condiciones de vida, emergen un importante número de factores de confusión para la búsqueda de correlaciones entre exposición a contaminantes ambientales y efectos sobre la salud, por lo cual no constituye un buen lugar de referencia desde este punto de vista.

Se puede concluir que el sondeo preliminar realizado permitió caracterizar las familias de la región, incorporando información básica sobre los participantes, hábitos, nivel de estudio y ocupación de los padres y su situación socioeconómica. También fue posible encontrar correlaciones entre las características de las zonas y el desarrollo de algunas enfermedades relacionadas con las mismas. Estos resultados permiten establecer información de base de gran utilidad para contextualizar futuros estudios epidemiológicos que puedan profundizar y enriquecer las asociaciones encontradas.

La estimación del riesgo asociado a la exposición a los contaminantes estudiados muestra que el riesgo individual de contraer cáncer a lo largo de toda una vida por exposición a benceno resulta ser mayor, en todos los casos, para los habitantes de la zona industrial. En aire extramuros la zona urbana presenta valores dos veces mayores que la zona semi-rural y residencial, mientras que en el aire intramuros los tres sitios presentan un riesgo equivalente. El riesgo individual de contraer cáncer a lo largo de toda una vida por exposición a benceno, es mayor en ambientes intramuros que en extramuros, independientemente de la zona en estudio. No obstante, los valores hallados en ambientes interiores en zona industrial son mayores a los hallados en los otros sitios, probablemente debido a la influencia del aire extramuros. Debe destacarse que todos los valores de riesgo individual referidos al benceno en aire intramuros obtenidos en el presente estudio se encuentran por encima del intervalo considerado como "aceptable" por la OMS; mientras que para aire extramuros, si bien algunos valores son menores al intervalo aceptable por la OMS, exceden el límite aceptable por la USEPA. Debemos destacar que en la zona industrial se exceden ambos límites. Los valores de riesgo individual de contraer cáncer durante toda la vida para benceno, tanto intramuros como extramuros, son similares a los encontrados en otros estudios con situaciones de exposición equivalente. Cabe señalar que, si bien el riesgo individual es un orden de magnitud mayor en la zona industrial en el análisis del riesgo poblacional, es de esperar que sea la zona urbana la que presente el valor más alto de incidencia debido a la mayor población existente en ésta.

Con respecto al material particulado en suspensión, como ya se mencionó anteriormente, una concentración media de PM10 cercana a 30 y 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , se observa tanto en invierno como en verano para zona urbana e industrial, respectivamente con una proporción mayor de partículas menores a 0,49  $\mu\text{m}$ . Efectos adversos sobre la salud tales como incremento en la mortalidad diaria y enfermedades respiratorias, asociados con exposición a

partículas, especialmente finas, han sido observados a niveles de concentración inferiores a 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para PM<sub>2,5</sub> y 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para PM<sub>10</sub>. Por lo tanto, es de esperar que se observen efectos adversos sobre la salud asociados a material particulado en habitantes de la zona industrial y urbana.

Con referencia a los PAHs, los valores correspondientes a la suma de BaP<sub>eq</sub> hallados en el presente estudio muestran que la zona industrial presenta valores hasta 2 veces mayores que la zona urbana, y hasta 10 veces mayores que la zona semi-rural, mientras que la zona urbana presenta valores alrededor de 4 veces mayores que la zona semi-rural. Por lo tanto, se evidencia un mayor riesgo para la zona industrial por exposición a este tipo de compuestos, teniendo en cuenta este cálculo de estimación de riesgo. Por otro lado, los valores hallados de incremento del riesgo individual de contraer cáncer por exposición a PAHs son superiores a los establecidos como “aceptables” por la OMS en todas las zonas de estudio, si bien la industrial presenta valores dos veces mayores que la urbana, y siete veces mayor que la semi-rural. No obstante, si consideráramos el riesgo poblacional, es de esperar que sea la zona urbana la que presente el valor más alto debido a su mayor población.

### **Conclusiones generales**

La estrategia integrada de diagnóstico de calidad de aire en La Plata y alrededores permitió comprender la influencia que el material particulado en suspensión en aire, los compuestos orgánicos semivolátiles asociados y los compuestos orgánicos volátiles tienen sobre la salud de la población en esta región. El perfil de compuestos encontrados en los diferentes sitios de estudio y las concentraciones de los mismos, indican que la calidad del aire ambiente en la zona urbano-industrial determina un mayor riesgo para la salud que la de la zona semi-rural y residencial. Sin embargo, existen fuentes de VOCs intramuros comunes a todos los sitios estudiados, que sumada a la concentración extramuros de estos compuestos redundan en una mayor exposición y un mayor riesgo para la salud. Ello, sumado a que la población permanece un mayor tiempo en ambientes interiores, refuerza la importancia que cuentan estos resultados al momento de decidir estrategias de control de emisiones. A pesar de que las tendencias observadas en las prevalencias de las enfermedades respiratorias no tienen una fuerte asociación con la contaminación de cada zona de estudio, se pudieron observar algunas asociaciones para cada sector. De manera general, el perfil de enfermedades en

vías respiratorias en la región es similar a la de otras ciudades con niveles de contaminación equivalentes. La tendencia general en la zona referida al riesgo por exposición a partículas sigue las características que están siendo tenidas en cuenta por los organismos de protección del ambiente y la salud. Ello queda demostrado con la predominancia de materiales muy finos asociado a la actividad urbano-industrial. El riesgo vinculado con este tipo de materiales y compuestos orgánicos asociados a los mismos debería ser considerado por las reglamentaciones vigentes, al momento de incorporar estrategias de control de emisiones y mejorar la calidad del recurso. Se destaca que este estudio contribuye con información y conocimientos de interés para la comunidad científica local e internacional, junto a las potenciales implicancias y aportes a la solución de algunos problemas medioambientales de la región.



## 8. BIBLIOGRAFÍA

Alink G, Smit H, van Houdt J, Kolkman J, Boleij J (1983) *Mutagenic activity of airborne particulates at non-industrial locations*. Mutation Research 116:21-34.

Alzuet P, Gaspes E, Ronco A (1996) *Mutagenicity of environmental samples from an industrialized area of the Rio de la Plata estuary using the Salmonella/microsomal assay*. Environmental Toxicology and Water Quality 11:31-236.

Ames B, McCann J, Yamasaki E (1975) *Methods for detecting carcinogens and mutagens with the Salmonella/mammalian-microsome mutagenicity test*. Mutation Research 31:347-364.

APHA, American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation (1998) *Standard Methods for examination of water and wastewater*. 20th ed. APHA, Washington, DC.

Arey J, Harger W, Helming D, Atkinson R (1992) *Bioassay-directed fractionation of mutagenic PAH atmospheric photooxidation products and ambient particulate extracts*. Mutation Research 281:67-76.

ASTM, American Society for Testing and Materials (1991) *Annual Book of ASTM standards*. Método D4096, Vol. 11.03. Atmospheric Analysis; Occupational Health and Safety; Philadelphia, PA.

ATS, American Thoracic Society (1987) *Standards for the diagnosis and care of patients with chronic obstructive pulmonary disease (COPD) and asthma*. Am. Rev. Respir. Dis. 136:225-243.

ATS, American Thoracic Society (1979) *Statement-snowbird workshop on standarization of spirometry*. Am. Rev. Respir. Dis. 119:831-838.

Baek S, Field R., Goldstone M, Kirk P, Lester J, Perry R (1991a) *A review of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons: sources, fate and behavior*. Water, Air, and Soil Pollution 60, 279:300.

Baek S, Goldstone, M, Kirk, P, Lester, J., Perry (1991b) *Phase distribution and particle size dependency of polycyclic aromatic hydrocarbons in the urban atmosphere*. Chemosphere 22, 503:520.

Baird C (2001) *Química Ambiental*. Ed Reverté SA, España, 621 pp.

Bamford H y Baker J (2003) *Nitro-polycyclic aromatic hydrocarbon concentrations and sources in urban and suburban atmospheres of the Mid-Atlantic region*. AE International- North America 37:2077-2091.

- Bamford H, Bezabeh D, Schantz M, Wise S, Baker J (2003) *Determination and comparison of nitrated-polycyclic aromatic hydrocarbons measured in air and diesel particulate reference materials*. Chemosphere 50:575-587.
- Bamford H y Baker J (2003a) *Nitro-polycyclic aromatic hydrocarbon concentrations and sources in urban and suburban atmospheres of the Mid-Atlantic region*. AE International- North America 37:2077-2091.
- Bamford H, Bezabeh D, Schantz M, Wise S, Baker J (2003b) *Determination and comparison of nitrated-polycyclic aromatic hydrocarbons measured in air and diesel particulate reference materials*. Chemosphere 50:575-587.
- Barakat A (2002) *PAHs and petroleum markers in the atmospheric environment of Alexandria city, Egypt*. Water, Air and Soil Pollution 139: 289-310.
- Barale R, Giromini L, Ghelardini G, Scaparoli C, Loprieno N, Pala M, Valerio F, Barraí I (1991) *Correlations between 15 polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and the mutagenicity of the total PAH fraction in ambient air particles in La Spezia (Italy)*. Mutation Research 249:227-241.
- Barrenetxea C, Serrano A, Delgado M, Vidal f, Alfayate Blanco J (2003). *Contaminación ambiental. Una visión desde la química*. International Thomson Editores Spain Parainfo S.A., Madrid, España. Cap. 8, 9, 10
- Beaglehole R, Bonita R, Kjellström T (1994) *Epidemiología Básica*. Organización Panamericana de la Salud, Washington, D.C.
- Begerow J., Jermann E., Kelles T., Ranft U., Dunemann L (1995) *Passive sampling for Volatile Organic Compounds (VOCs) in air at environmentally relevant concentration levels*. Fresenius Journal of Analytical Chemistry 351:549-554.
- Bernstein L, Kaldor J, McCann J, Pike M (1982) *An empirical approach to the statistical analysis of mutagenesis data from the Salmonella test*. Mutation Research 97:267-281.
- Bidleman T, Billings W, Foreman W (1986) *Vapor particle partitioning of semi-volatile organic compounds estimates from field collections*. Environmental Science and Technology 20:1038-1043.
- Binková B , Cerná M, Pastorková A , Jelínek R , Beneš I, Novák J, Šrám R (2003) *Biological activities of organic compounds adsorbed onto ambient air particles: comparison between the cities of Teplice and Prague during the summer and winter seasons 2000-2001*. Mutation Research 525:43-59
- Borja-Aburto V, Loomis D, Bangdiwala S, Shy C, Rascon, Pacheco R (1997) *Ozone, suspended particulates, and daily mortality in Mexico City*. American Journal of Epidemiology 145:258-268.

Botkin D, Keller E (2000) *Environmental Science. Earth as a Living Planet*. 3ª edición . Ed. John Wiley & Sons Inc, USA.

Bouchez M, Blanchet D, Vandecasteele J (1995) *Degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons by pure strains and by defined strains associations: inhibition phenomena and cometabolism*. *Applied Microbiology and Biotechnology* 43:156-164.

Bouhamra W (1995) *Estimation of volatile organic compounds in Kuwait houses after the Gulf war*. *Environmental Pollution* 90(1):121-125.

Brown S, Sim M, Abramson M, Gray C (1994) *Concentration of Volatile Organic Compounds & Indoor Air- A Review*. *Indoor Air* 4: 123-134.

Burney P, Laitinen L, Perdrizet S, Huckauf H, Tattersfield A, Chinn S, Poisson N, Heeren A, Britton J, Jones T (1989) *Validity and repeatability of the IUATLD (1984) Bronchial Symptoms Questionnaire: an international comparison*. *European Respiratory Journal* 2: 940-945.

Burkart W; Jung T (1998) *Health risk from combined exposure: mechanistic consideration on deviations from additivity*. *Mutation Research* 411: 119-128.

Calabrese E., Kenyon E. (1991). *Air toxics and risk assessment*. Lewis Publishers, Chelsea, Michigan, second edition, 662 pp.

Caricchia A, Chiavarini S, Pezza M (1999) *Polycyclic aromatic hydrocarbons in the urban atmospheric particulate matter in the city of Naples (Italy)*. *Atmospheric Environment* 33:3731-3738.

Casarett & Doull's. (1996) *Toxicology*, fifth edition. McGraw-Hill, International Edition. unit 6, chapter 28; unit 7, chapter 34.

Castellsague J, Sunye J, Saez M, Anto J (1995) *Short-term association between air pollution and emergency room visits for asthma in Barcelona*. *Thorax* 50:1051-1056.

Castranova V, Ma JY, Yang H, Antonini J, Butterworth L, Barger M, Roberts J, Ma JK (2001) *Environ health perspectives* 109 (Suppl.4), 609-613.

Catoggio J, Succar S, Roca A (1989) *Polynuclear aromatic hydrocarbon content of particulate matter suspended in the atmosphere of La Plata, Argentina*. *The Science of the Total Environment* 79:43-58.

Celis J, Morales J, Zaror C, Inzunza J (2004) *A study of the particulate matter PM<sub>10</sub> composition in the atmosphere of Chillán, Chile*. *Chemosphere* 54:541-550.

Černa M, Pochmanova D, Pastorkova A, Benes I, Lenicek J, Topinka J, Binkova B (2000) *Genotoxicity of urban pollutants in the Czech Republic Part I. Bacterial mutagenic potencies of organic compounds adsorbed on PM<sub>10</sub> particulates*. *Mutation Research* 469:71-82.

Cerniglia C (1993) *Biodegradation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons*. Environmental Biotechnology 4:331-338.

Cetin E, Odabasi M, Seyfioglu R (2003) *Ambient volatile organic compound (VOC) concentrations around a petrochemical complex and a petroleum refinery*. The Science of the Total Environment 312 (1-3):103-112.

CFR: *Code of Federal Regulations, Protection of Environment, National Primary and Secondary Ambient Air Quality Standards (1993)*. CFR Title 40 Part 50, Appendix J. *Reference Method for the Determination of Particulate Matter as PM10 in the Atmosphere*. Office of the Federal Register, National Archives and Records Administration, Washington DC, USA.

CFR: *Code of Federal Regulations (1995)* 43244 Federal Register / Vol. 60, No. 160/ *Rules and Regulations. Environmental Protection Agency 40 CFR Part 9, 60 and 63 National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants: Petroleum Refineries*. Disponible on line: <http://eCFR.gpoaccess.gov/cgi/t/text>.

CFR: *Code of Federal Regulations (2002)* 17762 Federal Register / Vol. 67, No. 70 / *Rules and Regulations. National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants for Petroleum Refineries: Catalytic Cracking Units, Catalytic Reforming Units, and Sulfur Recovery Units*. Disponible on line: <http://eCFR.gpoaccess.gov/cgi/t/text>.

CFR: *Code of Federal Regulations, Protection of Environment, National Primary and Secondary Ambient Air Quality Standards (2004)* Chapter I-Environmental Protection Agency, Subchapter C Air Programs, Part 51-Requirements for Preparation, Adoption, and Submittal of Implementation Plans, Part 51.100 Definition. Disponible on line: <http://eCFR.gpoaccess.gov/cgi/t/text>.

Chan C, Chan L, Wnag X, Liu Y, Lee Y, Zou S, Sheng G, Fu J (2002) *Volatile organic compounds in roadside microenvironments of metropolitan Hong Kong*. Atmospheric Environment 36:12, 2039-2047.

Collier A, Jemma C, Wedekind B, Hall D, Heinze P (1998) *Sampling and analysis of vapour-phase and particulate-bound PAH from vehicle exhaust* SAE technical Paper Series 982727.

Concawe (1996) *Air quality standard for particulate matter*. Report N° 95/62, Bruselas.

Concawe (1998) *Polycyclic aromatic hydrocarbons in automotive exhaust emissions and fuels*. Report N° 98/55, Bruselas.

Connel D (1997) *Basic Concepts of Environmental Chemistry*. Editorial CRC Press Lewis Publishers, Boca Raton.

Crathorne B y Dobbs A (1990) *Chemical pollution of the aquatic environment by priority pollutants and its control*. En: *Pollution: Causes, Effects, and Control*. Segunda Edición. Editor: Harrison R., Royal Society of Chemistry, Cambridge.

De Martinis B, Kado N, de Carvalho L, Okamoto R, Gundel L (1999) *Genotoxicity of fractionated organic material in airborne particles from Sao Paulo, Brazil*. *Mutation Research* 446:83–94.

De Martinis B, Okamoto R, Kado N, Gundel L, Carvalho L (2002) *Polycyclic aromatic hydrocarbons in a bioassay-fractionated extract of PM10 collected in Sao Paulo, Brazil*. *Atmospheric Environment* 36:307-314.

Didyk B, Simoneit B, Pezoa L, Riveros M, Flores A (2000) *Urban aerosol particles of Santiago, Chile: organic content and molecular characterization*. *Atmospheric Environment* 34:1167-1179

Diehl M, Willaky S, Snyder R (2000) *Comparison of the results of the modified miniscreen and the standard bacterial reversion mutation assays*. *Environmental and molecular mutagenesis* 35:72-77.

DNRPA. Dirección Nacional de los Registros Nacionales de la Propiedad Automotor y Créditos Prendarios (2003) Disponible on line en: <http://www.dnrpa.gov.ar>. Última actualización 30/06/03.

Doulout F (1993) *Mutagénesis y carcinogenesis ambiental*. En: *Elementos de Política Ambiental*. Eds: Goñi F y Goñi R. Honorable Cámara de Diputados de la Provincia de Buenos Aires. Editorial Di Giovanni. pp: 693-704.

Ducatti A, Ferrao Vargas V (2003) *Mutagenic activity of airborne particulate matter as an indicative measure of atmospheric pollution*. *Mutation Research* 540:67-77.

Du Four V, Van Larebeke N, Janssen C (2004) *Genotoxic and mutagenic activity of environmental air samples in Flanders, Belgium*. *Mutation Research* 558:155-167.

Ehrenberg L, Brookes P, Druckrey H, Lagerlof B, Litwin J, Williams G (1973) *The relation of cancer induction and genetic damage*. En: *Evaluation of genetic risk of environmental chemicals*. Ed: Ramel C, Ambio Special Report N°3, Royal Swedish Academy of Sciences, Universitetsforlaget, Estocolmo 15-25.

EU, European Union (2001) *Ambient air pollution by Polycyclic Aromatic Hydrocarbons* Position Paper, European Communities, Luxembourg.

Fang G, Chang K, Lu C, Bai H (2004) *Estimation of PAHs dry deposition and BaP toxic equivalency factors (TEFs) study at urban, industry park and rural sampling sites in central Taiwan, Taichung*. *Chemosphere* 55:787–796.

- Feilberg A; Nielsen T; Binderup M; Skov H; Poulsen M (2002) *Observations of the effect of atmospheric processes on the genotoxic potency of airborne particulate matter*. Atmospheric Environment 36:4617–4625.
- Fernandes M, Brickus L, Moreira J, Cardoso J (2002) *Atmospheric BTX and polyaromatic hydrocarbons in Rio de Janeiro, Brazil*. Chemosphere 47:417-425.
- Ferris B (1978) Epidemiological Standardization Project.II. *Recommended respiratory disease questionnaires for the use with adults and children in epidemiologic research*. American Review Respiratory Diseases 118:7-53.
- Fidalgo F, Martinez O (1983) *Algunas características geomorfológicas dentro de Partido de La Plata*, Revista Asociación Geológica Argentina 37: 263–279.
- Flamand N, Meunier J, Agapakis-Caussé C (2001) *Mini mutagenicity test: a miniaturized version of the Ames test used in a prescreening assay for point mutagenesis assessment*. Toxicology in vitro 15:105-114.
- Frampton M, Azadniv M, Chalupa D, Morrow P, Gibb F, Oberdörster G, Boscia J, Speers D, Utell M (2001) *Blood leukocyte expression of AFA-1 and ICAM-1 after inhalation of ultrafine carbon particles*. American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine 163(5): A264
- Franck U, Rehwagen M, Herbarth O. (1994) *VOC-Indoorbelastung einer ostdeutschen Großstadt*. Forum Städte-Hygiene, 3(4): 6-8.
- Gee I, Sollars C (1998) *Ambient air levels of volatile organic compounds in Latin American and Asian cities*. Chemosphere 36(11):2497-2506.
- Giever P (1976) *Particulate matter sampling and sizing*. En: Air Pollution 3ª Edición, Vol III, *Measuring; Monitoring and Surveillance of Air Pollution*. Ed. Stern A, North Carolina, USA.
- Godish T (1991). *Air Quality*. Lewis Publishers, Chelsea, Michigan, second edition, 421 pp.
- Gordon G y Bryan R (1973) *Patterns in airborne polynuclear hydrocarbon concentration at four Los Angeles sites*. Environmental Science and Technology 7:2565-2573.
- Gratt L. (1996). *Air toxic risk assessment and management*. Van Nostrand Reinhold, New York, NY.
- Grosjean D (1983) *Polycyclic aromatic hydrocarbons in Los Angeles air from samples collected on Teflon, glass and quartz filters*. Atmospheric Environment 17:2565-2573.
- Gundel L, Lee V, Mahanama K, Stevens R; Daisey J (1995) *Direct determination of the phase distribution of semi-volatile polycyclic aromatic hydrocarbons using annular denuders*. Atmospheric Environment 29: 1719-1733.

- Guo H, Lee S, Ho K, Wang X, Zou S (2003a) *Particle associated polycyclic aromatic hydrocarbons in urban air of Hong Kong*. Atmospheric Environment 37:5307-5317.
- Guo H, Lee S, Li W, Cao J (2003b) *Source characterization of BTEX in indoor microenvironments in Hong Kong*. Atmospheric Environment 37:73-82.
- Guo H, Lee S, Chan L, Li W (2004) *Risk assessment of exposure to volatile organic compounds in different indoor environments*. Environmental Research 94:57-66.
- Hausmann K, Bradbury P (1994) *Ciliates cells as organisms*. Stuttgart, Germany: Gustav Fischer Verlag. p 483.
- Herbarth O; Rehwagen M; Ronco A (1997) *The influence of localized emittants on the concentration of volatile organic compounds in the ambient air measured close to ground level*. Environmental Toxicology and Water Quality 12:31-37.
- Herbarth O; Fritz G; Diez U; Rehwagen M; Borte M; Schulz M; Richter M; Krumbiegel P; Müller A (1998) *Effect of volatile organic compounds in-and outdoors on allergies*. Air Pollution VI. Sixth International Conference on Air Pollution. Ed. Brebbia C, Ratto C, Power H. Boston, 619-628.
- Herbarth O; Fritz G; Behler J; Rehwagen M; Puliafito J; Richter M; Schlink U; Sernaglia J; Puliafito E; Puliafito C; Schilde M; Wildfuhr W (1999) *Epidemiologic risk analysis of environmentally attributed exposure on airway diseases and allergies in children*. Central European Journal of Public Health 7:2, 72-76.
- Hesketh H (1991) *Air pollution control, traditional and hazardous pollutants*. Technomic Publishing Co., Lancaster, Pennsylvania, 475 pp.
- Ho W, Kim K (2002) *Vertical variability of volatile organic compound (VOC) levels in ambient air of high-rise apartment buildings with and without occurrence of surface inversion*. Atmospheric Environment 36:5645-5652.
- Hoddinott K, Lee A (2000) *The use of environmental risk assessment methodologies for an indoor air quality investigation*. Chemosphere 41:77-84.
- Hsiao W, Mo Z, Fang M, Shi X, Wang, F (2000) *Cytotoxicity of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>2.5-10</sub> ambient air pollutants assessed by the MTT and the Comet assays*. Mutation Research 471:45-55.
- IAPG, Instituto Argentino del Petróleo y del Gas(1999) *La República Argentina y su industria petroquímica*. Disponible on line: <http://www.iapg.org.ar/iapg/>
- IARC, International Agency for Research on Cancer (1983) *Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans* Volume 32, Polynuclear Aromatic Compounds, Part 1, Chemical, Environmental and Experimental Data. Lyon: IARC. pp 447.

IARC, International Agency for Research on Cancer (1987) *Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans*. Supplement 7, Overall Evaluation of Carcinogenicity: An Updating of IARC Monographs, Vols. 1 to 42. Lyon: IARC. pp 440.

IARC, International Agency of Research on Cancer (1995) *IARC Monographs* Vol. 63, Lyon.

IARC, International Agency for Research on Cancer (2000) *Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans*. Volume 82, Lyon.

IGBO, International Geosphere-Biosphere Program (2001) *Global change and the Earth System: A planet under pressure*. IGBP Science 4.

INDEC, Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. *Censo Nacional de Población, Hogares y Vivienda, 2001*

INE, Instituto Nacional de Epidemiología (2001) *Curso de Epidemiología General*, Mar del Plata. Coordinador General: Castillo C, OPS/OMS, Washington, USA.

Instituto Geográfico Militar (1999) *Mapas de la República Argentina*.  
<http://www.geoargentina.com.ar>.

IPA, Instituto Petroquímico Argentino (1999). *La República Argentina y su industria petroquímica*. Publicación especial del IPA. Disponible on line: <http://jpqa.org.ar/publicaciones-a.htm>

IPCS, International Programme on chemical safety (1993) Environmental Health criteria 155: *Biomarkers and Risk Assessment: concept and principles*. Geneva, World Health Organization.

IPCS, International Programme on chemical safety (1994) Environmental Health criteria 170: *Assessing human health risks of chemicals: derivation of guidance values for health-based exposure limits*. Geneva, World Health Organization.

IPCS, International Programme on chemical safety (1998) Environmental Health criteria 202: *Selected non-heterocyclic polycyclic aromatic hydrocarbons*. Geneva, World Health Organization.

IPCS, International Programme on chemical safety (2000) Environmental Health criteria 214: *Human Exposure Assessment*. Geneva, World Health Organization.

Jones A (1999) *Indoor air quality and health*. Atmospheric Environment (1999) 33:4535-4564.

Kakimoto H, Matsumoto Y, Sakai S, Kanoh F, Arashidani K, Tang N, Akutso K, Nakajima A, Awata Y, Toriba A, Kizu R, Hayakawa K (2002) *Comparison of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons and nitropolycyclic aromatic hydrocarbons in an industrialized city (Kitakyushu) and two commercial cities (Sapporo and Tokyo)*. Journal of Health Science, 48:370-375



- Kane L, Alarie Y (1978) *Evaluation of sensory irritation from acrolein-formaldehyde mixtures*. American Industrial Hygiene Association Journal 39:270-274.
- Kawanaka Y, Matsumoto E, Sakamoto K, Wang N, Yuna S (2004) *Size distributions of mutagenic compounds and mutagenicity in atmospheric particulate matter collected with a low-pressure cascade impactor*. Atmospheric Environment 38:2125–2132.
- Lau C, Fiedler H, Hutzinger O, Schwind K, Hosseinpour J (1997) *Levels of selected organic compounds in materials for candle production and human exposure to candle emissions*. Chemosphere 34:1623-1630.
- Lee M, Novotny M, Bartle K (1981) *Analytical Chemistry of Polycyclic Aromatic Compounds*. United Kingdom Edition, publicada por Academic Press, Inc. LTD, London.
- Lee C, Yoo C, Lee J, Kim S, Kim Y (2002). *Hematological changes of children exposed to volatile organic compounds containing low levels of benzene*. The Science of the Total Environment 299:237-245.
- Lewtas J (1988) *Genotoxicity of complex mixtures: strategies for the identification and comparative assessment of airborne mutagens and carcinogen from combustion sources*. Fundamental Applied Toxicology 10:571–589.
- Lewtas J y Gallagher J (1990) *Complex mixtures of urban air pollutants: identification and comparative assessment of mutagenic and tumorigenic chemicals and emission sources, complex mixtures and cancer risk*. En: IARC Scientific Publication 104, Lyon. Eds: Vainio E, Sorsa M, Mc Michael A.
- Lewtas J (1993) *Experimental evidence for the carcinogenicity of air pollutants*. En: Tomatis L. Air pollution and human cancer. Monographs, European School of Oncology. Berlin: Springer-Verlag. p 49–61.
- Ley Nacional 20.284 (1973). *Normas para la preservación de los recursos del aire*. B.O. 3/V/73.
- Ley Nacional 24.051 (1992) *Residuos peligrosos*, B.O. 17/1/92. Decreto Reglamentario 831/93, B.O. 3/4/93.
- Ley Provincial 5.965/58 (1958). *Protección a las fuentes de provisión y a los cursos y cuerpos receptores de agua y a la atmósfera*, Decreto Reglamentario Nº 3.395 (1996) Secretaría de Política Ambiental, Provincia de Buenos Aires.
- Li C y Kamens R (1993) *The use of polycyclic aromatic hydrocarbons as sources signatures in receptor modeling*. Atmospheric Environment 27A:523-532.
- Ligoki M, Pankow J (1989) *Measurements of the gas/particle distributions of atmospheric organic compounds*. Environmental Science and Technology 23, 75–83.

- Lodovici M, Venturini M, Marini E, Grechi D, Dolara P (2003) *Polycyclic aromatic hydrocarbons air levels in Florence, Italy, and their correlation with other air pollutants*. Chemosphere 50:377-382.
- Loechler E (2001) *Environmental carcinogens and mutagens*. En: Encyclopedia of Life Sciences. Nature Publishing Group/www.els.net.
- Louis J, Atherholt T, Daisey J, Mc George L, Mc Garrity G (1987) *Mutagenicity of inhalable particulate matter at four sites in New Jersey*. Toxicology Air Pollution, Lewis Publishers Inc., Chelsea 123-159.
- 3M Deutschland GmbH (1986). *Technische Informationen 3M Monitore*.
- MacCubbin A, Ersing N, Frank M (1991) *Mutagenicity of sediments from the Detroit River*. Journal of Great Lakes Research 17:314–321.
- Mc Cann J, Choi E, Yamasaki E, Ames B (1975) *Detection of carcinogens in the Salmonella/microsome test. Assay of 300 chemicals*. Proceedings of National Academic of Science. USA 72:5135-5139.
- Margulis L y Lovelock E (1989) *Gaia and geognosy*. En: Global ecology: towards a science of the biosphere Ed : Rambler M, Margulis L, Fester R. pp.1-30. Boston: Academic Press.
- Marino F, Cecinato A, Siskos P (2000) *Nitro-PAH in ambient particulate matter in the atmosphere of Athens*. Chemosphere 40:53-537.
- Maron D, Ames B (1983) *Revised methods for the Salmonella mutagenicity test*. Mutation Research 113:173–215.
- Marple V, Liu B (1974) *Characteristics of laminar jet impactors*. Environmental Science and Technology 8:648–654.
- Massolo L, Müller A, Tueros M, Rehwagen M, Franck U, Ronco A, Herbarth O (2002) *Assessment of mutagenicity and toxicity of different-size fractions of air particulates from La Plata, Argentina, and Leipzig, Germany*. Environmental Toxicology 17:219–231.
- Menichini E, Monfredini F, Merli F (1999) *The temporal variability of the profile of carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons in urban air: a study in a medium traffic area in Rome, 1993-1998*. Atmospheric Environment 33:3739-3750.
- Merck Index (1996) *An encyclopedia of chemicals, drugs and biologicals*. 12<sup>ava</sup> edición. Ed.: Susan Budavari, New Jersey.
- Miguel A, Kirschtetter T, Haley R (1998) *On-road emissions of particulate polycyclic aromatic hydrocarbons and black carbon from gasoline and diesel vehicles*. Environmental Science and Technology 32:450–5.

- Miller G, Fortney P, Lantos T, Thompson M, Pelosi N, Eshoo A, Lee B, Woolsey L (1999) *Exposure to hazardous air pollutants in the San Francisco Bay area*. Available on line: <http://www.house.gov/geogemiller/airreport.html>.
- Monarca S, Crebelli R, Feretti D, Zanardini S, Fuselli L, Filini L, Resola S, Bonardelli P, Nardi G. (1997) *Mutagens and carcinogens in size-classified air particulates of a northern Italian town*. *The Science of the Total Environment* 205:137–144.
- Morris R (2001) *Airborne and hospital admissions for cardiovascular disease: A quantitative review of the evidence*. *Environ Health Perspectives* 109 (Suppl.4):495-501.
- Mortelmans K, Zeiger E (2000) *The Ames Salmonella/microsome mutagenicity assay*. *Mutation Research* 455:29-60.
- Mukherji S, Kumar Swain A, Venkataraman C (2002) *Comparative mutagenicity assessment of aerosols in emissions from biofuel combustion*. *Atmospheric Environment* 36:5627–5635
- Müller A, Alzuet P, Herbarth O, Ronco A (2001) *Assessment of Toxicity and Mutagenicity in air particulate matter from an urban industrial area in the cost of the Rio de la Plata*. *Environmental Toxicology* 16:151–157.
- Muller E, Diab R, Binedell M, Hounsom R (2003) *Health risk assessment of kerosene usage in an informal settlement in Durban, South Africa*. *Atmospheric Environment* 37:2015–2022.
- Murakani M, Ono M, Tamura K (1990) *Health problems of residents along heavy traffic roads*. *Journal of Human Ergology* 19:101-106.
- Naumova Y, Eisenreich S, Turpin B, Weisel C, Morandi M, Colome S, Totten L, Stock T, Winer A, Alimokhkhtari S, Kwon J, Shendel D, Jones J, Maberti S, Wall J (2002) *Polycyclic aromatic hydrocarbons in the indoor and outdoor air of three cities in the U.S*. *Environmental Science and Technology* 36:2552-2559.
- Nielsen T (1996) *Traffic contribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in the center of a large city*. *Atmospheric Environment*, 30 (20):3481-3490
- Nielsen T, Jorgensen H, Larsen J, Poulsen M (1996) *City air pollution of polycyclic aromatic hydrocarbons and other mutagens occurrence, sources and health effects*. *The Science of the Total Environment* 22:2249-2254.
- Nisbet C y LaGoy P (1992) *Toxic Equivalence Factors (TEFs) for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)*. *Regulatory Pharmacology*. 16:290-300.
- Norris G, Young Pong S, Koenig J, Larson T, Sheppard L, Stout J (1999) *An association between fine particles and asthma emergency department visits for children in Seattle*. *Environmental Health Perspectives* 107:489 –495.

OIT, Organización Internacional del Trabajo (2001). *Naturaleza de los contaminantes químicos*. En: Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo, 3er. Edición. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, España.

Omar N, Abas M, Ketuly K, Tahir N (2002) *Concentrations of PAHs in atmospheric particles (PM-10) and roadside soil particles collected in Kuala Lumpur, Malaysia*. Atmospheric Environment 36:247-254.

OPS, Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud (2000) *El proceso de fijación y revisión de normas de calidad del aire*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, División de Salud y Ambiente. OPS/CEPIS/PUB/00.50.

Ostro B, Sanchez J, Aranda C, Eskeland G. (1996) *Air pollution and mortality: results from a study in Santiago, Chile*. Journal of Experimental Analysis and Environmental Epidemiology 6:97-114.

Pagano P, De Zaiacomo T, Scarcella, E, Calamosca M (1996) *Mutagenic activity of total and particle-sized fractions of urban particulate matter*. Environmental Science and Technology 30:3512-3516.

Pandit G, Srivastava P, Rao A (2001) *Monitoring of indoor volatile organic compounds and polycyclic aromatic hydrocarbons arising from kerosene cooking fuel*. The Science of the Total Environment 279:159-165.

Pandya R, Solomon G, Kiner A, Balmes J (2002) *Diesel Exhaust and Asthma: Hypotheses and Molecular Mechanisms of Action*. Environmental Health Perspectives 110 (Suppl. 1):103-111.

Papageorgopoulou A, Manoli E, Toulomi E, Samara C (1999) *Polycyclic aromatic hydrocarbons in the ambient air of Greek towns in relation to other atmospheric pollutants*. Chemosphere 39:2183-2199.

Penning T (1993) *Dihydrodiol Dehydrogenase and its role in Polycyclic Aromatic Hydrocarbon metabolism*. Chemical and Biology Interactions 89:1-34.

Peña E., Carter D., Ayala Fierro F (2001) *Toxicología ambiental. Evaluación de riesgos y restauración ambiental*. Southwest Hazardous Waste Program A Superfund Basic Research and Training Program At the College of Pharmacy, The University of Arizona.  
<http://superfund.pharmacy.arizona.edu/toxamb/>

Perry R y Gee I (1995) *Vehicle emissions in relation to fuel composition*. The Science of the Total Environment 169:149-156.

Petry P, Schmid P, Schlatter C (1996) *The use of toxic equivalence factors in assessing occupational and environmental health risk associated with exposure to airborne mixtures of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)*. Chemosphere, 32:290-300.

Pope C, Thun M, Namboodiri M, Dockery D, Evans J, Speizer F, Heath C (1995) *Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of US adults*. American Journal of Respiratory Critical Care Medicine 151:669-674.

Population Reference Bureau (1998) *World Population Data Sheet*, Washington DC: Population Reference Bureau.

Raaschou-Nielsen O, Lohse C, Thomsen b, Skov H, Olsen J (1997) *Ambient air levels and the exposure of children to benzene, toluene and xylenes in Denmark*. Academic Press.

Rehwagen M, Schlink U, Herbarth O (2003) *Seasonal cycle of VOCs in apartments*. Indoor Air 13:1-9.

Ritz B, Yu F, Scott F, Chapa G, Shaw G, Harris J (2002) *Ambient air pollution and risk of birth defects in Southern California*. American Journal of Epidemiology 155:17-25.

Rogge W, Hildemann L, Mazurek M, Cass G, Simoneit B (1993) *Sources of fine organic aerosol 2. Noncatalyst and catalyst-equipped automobiles and heavy-duty diesel trucks*. Environmental Science and Technology 27:636-651.

Ronco A., Rehwagen M., Herbarth O (1998) *Compuestos orgánicos volátiles en el aire del Gran La Plata*. Gerencia Ambiental 5 (42):106-111.

Saldiva P, Pope C, Schwartz J, Dockery D, Lichtenfelds J, Salge J, Barone Y, Bohm G. (1995) *Air pollution and mortality in elderly people: a time-series study in Sao Paulo, Brazil*. Archives of Environmental Health 50:159-163.

Samet J (1978) *A historical and epidemiologic perspective on respiratory symptoms questionnaires*. American Journal of Epidemiology 109(5):188-189.

Sato M, Umbuzeiro Valent G, Coimbrao C, Coelho M, Sanchez P, Alonso C, Martins M (1995) *Mutagenicity of airborne particulate organic material from urban and industrial areas of Sao Paulo, Brazil*. Mutation research 335:317-330.

Schauer J, Kleeman M, Cass G, Simoneit B (1999) *Measurement of emission from air pollution sources. C1 through C30 organic compounds from medium duty diesel trucks*. Environmental Science and Technology 33:1578-1587.

Scheff P, Wadden R (1993) *Receptor modeling of volatile organic compounds. Emission inventory and validation*. Environmental Science and Technology 27:617-625.

Schmitz T, Hassel D, Weber F (2000) *Determination of VOC-components in the exhaust of gasoline and diesel passenger cars*. Atmospheric Environment 34:4639-4647.

Schwartz J (2000) *Assessing confounding, effect modification, and thresholds in the association between particles and daily deaths*. Environmental Health Perspectives, 108(6):564-567.

Sexton K, Olden K, Johnson B (1993) *Environmental Justice: The central role of research in establishing a credible scientific foundation for informed decision making*. Toxicology and Industrial health, 9 (5):685-727.

Sexton K, Callahan M, Ryan E (1995) *Estimating exposure and dose to characterize health risks: the role of human tissue monitoring in exposure assessment*. Environmental Health Perspectives 103 (Suppl3):13-29.

Sexton K, Adgate J, Ramachandran G, Pratt G, Mongin S, Stock T, Morandi M (2004) *Comparison of personal indoor and outdoor exposure to hazardous air pollutants in three urban communities*. Environmental Science and Technology 38:423-430

Sheppard L, Levy D, Norris G, Larson TV, Koenig JQ (1999) *Effects of ambient air pollution on non elderly asthma hospital admissions in Seattle, Washington, 1987-1994*. Epidemiology 10:23-30.

Shields H y Weschler H (1987) *Analysis of ambient concentrations of organic vapors with a passive sampler*. Journal of Air Pollution and Control Associated 37(9):1039-1045.

Sisovic A, Skrbec V, Vadjic V, Kalinic N, Hrsak J (2002) *PAH levels and profiles in the suspended particulate matter in Zagreb through four seasons*. Environmental Monitoring and Assessment 74:217-224.

Sokal, R y Rohlf, F (1981 ) *Biometry*. W.H. Freeman: New York.

Son B, Breysse P, Yang W (2003) *Volatile organic compounds concentration in residential indoor and outdoor and its personal exposure in Korea*. Environmental International 29:79-85.

Soukup J, Ghio A, Becker S (2000) *Soluble components of Utah Valley particulate pollution after alveolar function in vivo and in vitro*. Inhalatory Toxicology 12:401-414

Spiro G y Stagliani W (2004) *Química Medioambiental*, segunda edición, Pearson Prentice Hall, Madrid.

Sugimura T, Sato S, Nagao M, Yahagi T, Matsushima T, Seino Y, Takeuchi M, Kawachi T (1976) *Overlapping of carcinogens and mutagens*. In: Magee P, Takayama S, Sugimura T, Matsushima T (Eds). Fundamental of cancer prevention, University Park Press, Baltimore, pp.191-215.

Sunyer J, Spix C, Quenel P, Ponce-de-Leon A, Ponka A, Barumandzadeh T, Touloumi G, Bacharova L, Wojtyaniak B, Vonk J (1997) *Urban air pollution and emergency admissions for asthma in four European cities: the APHEA Project*. Thorax 52:760-765.

- Tsapakis M, Lagoudaki E, Setpahnou E, Kavouras I, Koutrakis P, Oyola P, von Baer D (2002) *The composition and sources of PM 2,5 organic aerosol in two urban areas of Chile*. Atmospheric Environment 36:3851-3863.
- Tuominen J, Salomaa S, Pysalo H, Skytta E, Tikkanen L, Nurmale T, Sorsa M, Pohjola V, Sauri M, Himberg K (1988) *Polynuclear aromatic compounds and genotoxicity in particulate and vapor phases of ambient air: effect of traffic, season, and meteorological conditions*. Environmental Science and Technology 22:1228-1234.
- Tzonou A, Maragoudakis G, Trichopoulos D (1992) Urban living, tobacco smoking and chronic obstructive pulmonary disease: a study in Athens. Epidemiology 3:57-60.
- Ude J, Koch M (1994) Die Zelle. *Atlas der Ultrastruktur*. Jena, Stuttgart, Germany: Gustav Fischer Verlag. pp 309.
- UNEP, United Nations Environment Programme (1998) *Protecting our Planet. Securing our Future. Linkages among global environmental issues and human needs*. US National Administration and Space Administration, the World Bank.
- USEPA, United States Environmental Protection Agency (1983) *Interim procedures for conducting the Salmonella/microsomal mutagenicity assay (Ames test)*. Las Vegas, NV. EPA/600/4-82/068.
- USEPA, United States Environmental Protection Agency (1984) *Health effect assessment for polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH)*. EPA 549/1-86-013. Environmental Criteria and Assessment Office. Cincinnati, OH.
- USEPA, United States (1997) *Health and environmental effects of particulate matter*. USEPA, Office of Air & Radiation, Office of Air Quality Planning & Standards, Washington, DC.
- USEPA, United States Environmental Protection Agency (1999) *Compendium of Methods for the Determination of Toxic Organic Compounds in Ambient Air. Compendium Method TO-2 Method for the Determination of Volatile Organic Compounds (VOCs) in Ambient Air by Carbon Molecular Sieve Adsorption and Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS)*, National Risk Management Research Laboratory, Center for Environmental Research Information, Ohio, Segunda Edición, EPA/625/R-96/010b.
- USEPA, United States Environmental Protection Agency (1999) *Extrapolation of the benzene inhalation unit risk estimate to the oral route of exposure*. U.S. Environmental Protection Agency NCEA-W-0517, Washington DC.
- USEPA, United States Environmental Protection Agency (2002) *Integrated Risk Information System (Electronic data base)*. U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC. Available on line: <http://www.epa.gov/iris>

- Vega E, Reyes E, Wellens A, Sánchez A, Chow J, Watson J (2003) *Comparison of continuous and filter based mass measurements in Mexico City*. *Atmospheric Environment* 37:2783-2793.
- Vellosi R, Vannucchi C, Bianchi F, Florio R, Rosselini D, Ciacchini G, Giaconi V, Bronzetti G (1994) *Mutagenic activity and chemical analysis of airborne particulate collected in Pisa (Italy)*. *Bulletin of Environmental Contaminants and Toxicology* 52:465-473.
- Venkataraman C, Friedlander, S (1994) *Size distributions of polycyclic aromatic hydrocarbons and elemental carbon. 2. Ambient measurement and effects of atmospheric processes*. *Environmental Science and Technology* 28:563-572.
- Vera Castellano J, López Cancio J, Santana Alemán P, Santana Rodríguez J (2003) *Polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air particles in the city of Las Palmas de Gran Canaria*. *Environment International* 29:475-480.
- Viras L, Siskos P, Samara C, Kouimtzi T, Athanasious K, Vavatzandis A (1991) *Polycyclic aromatic hydrocarbons and mutagens in ambient air particles sampled in Thessalonik, Greece*. *Atmospheric Environment* 10:999-1007.
- Wallace L y Ott W (1982) *Personal monitors: a state of the art survey*. *Journal of Air Pollution and Control Associated*, 32:601-610.
- Walters S, Phupinyokul M, Ayres J (1995) *Hospital admission rates for asthma and respiratory disease in the West Midlands: their relationship to air pollution levels*. *Thorax* 50:948-954.
- Watson J, Chow J, Fujita E (2001) *Review of volatile organic compound source apportionment by chemical mass balance*. *Atmospheric Environment* 35:1567-1584.
- Weschler C y Shields H (2000) *The influence of ventilation on reactions among indoor pollutants: Dynamic modeling and experimental observation*. *Indoor air* 10:92-100.
- WHO, World Health Organization (1987) *Polynuclear aromatic hydrocarbons (PAH)*. In *Air Quality Guidelines for Europe*. WHO Regional Publications, European Series N°23. Geneva, pp. 105-117.
- WHO, World Health Organization (2000a) *Air Quality Guidelines for Europe*. WHO Regional Publications, European Series, N°91, Second Edition, Copenhagen.
- WHO, World Health Organization (2000b) *Guidelines for Air Quality*. Geneva. Disponible on line: <http://www.who.int/peh/>
- WHO, World Health Organization, European Commission (2002) *Guidelines for concentration and exposure-response measurement of fine and ultra fine particulate matter for use in epidemiological studies*. Ed. Schwela D, Morawska L, Kotzias D.



WHO, World Health Organization, *Protection of the human environment (2004) The health effects of indoor air pollution exposure in developing countries*, Geneva.

Wolkoff P (1995) *Volatile organic compounds-sources, measurements, emissions and the impact on indoor air quality*. Indoor Air, 3 (Suppl):9-73.

Wolkoff P, Clausen P, Wilkins C, Nielsen G (2000) *Formation of strong airway irritants in terpene/ozone mixtures*. Indoor air 10:82-91.

World Bank (1995) *Argentina managing environmental pollution*, Report 14070-AR

World Resources Institute (1996) *A guide to the global environment. The Urban Environment 1996-97*. Ed: World Resources Institute, Washington, DC.

Zakrewski S (1991) *Chemical Carcinogenesis and Mutagenesis*. En: Principles of Environmental Toxicology. American Chemical Society, Washington DC.

Zar, J (1998) *Bioestadistical analysis*; Prentice Hall: New Jersey, 4ta edición, Ed Ryu T.

Zeiger J, Haeman M, Shelby M, Margolin B, Tennant R (1990) *Evaluation of four in vitro genetic toxicity tests for predicting rodent carcinogenicity: confirmation of earlier results with 41 additional chemicals*. Environmental and Molecular Mutagenesis 16 (Suppl. 18), 1-14.

Zheng M y Fang M (2000) *Particle-associated polycyclic aromatic hydrocarbons in the atmosphere of Hong Kong*. Water, Air, and Soil Pollution 117:175:189.

Zwozdziak J, Jadzyk P, Kucharczyk J (2001) *Seasonal variability of the mutagenic of airborne particles in the town center*. Aerosol Science 32:409-423.

## ANEXO I

*Encuesta epidemiológica para el estudio  
de las condiciones ambientales y la salud*



Biblioteca Central  
Fac. Cs. Exactas  
U.N.L.P.

100  
57161

**Sección  
INVESTIGACIÓN de  
EXPOSICIÓN y EPIDEMIOLOGÍA**

del  
**Centro de Investigación Ambiental  
de Leipzig - Halle**

**CIMA -  
CENTRO DE INVESTIGACIONES  
DEL MEDIO AMBIENTE**

de la  
**Universidad Nacional de La Plata**

Con el apoyo y la participación de la  
Secretaría de Ciencia y Tecnología de la República Argentina y del  
Ministerio de Investigación y Tecnología de la República Federal de Alemania

## **Encuesta Epidemiológica**

para el

**Estudio  
de las  
CONDICIONES AMBIENTALES  
y la  
SALUD  
LA PLATA**

Sección  
Investigación de Exposición y Epidemiología  
del UFZ- Centro de Investigación Ambiental  
Leipzig Halle

CIMA – Centro de  
Investigaciones del Medio Ambiente  
de la Facultad de Ciencias Exactas  
Universidad Nacional de La Plata

Toda la información se realiza respetando las reglamentaciones legales de protección de datos.

11.10.00

Copyright: © G.J. Fritz, Environmental Hygiene and Epidemiology, Med. Faculty, University of Leipzig

**PARTICIPANTE EN EL ESTUDIO (niño del nivel preescolar)**

**Apellido:** .....

**Nombre:** .....

**Fecha de Nacimiento:** .....  
día / mes / año

**Sexo:**                    masculino          
                                  femenino        

**Calle:** .....

**Lugar de residencia:** .....

**Código Postal:** .....

Esta hoja de cobertura se guarda separada del cuestionario y bajo llave, para el caso que personalmente desee disponer de informaciones sobre los resultados de su hijo.

Del resto del cuestionario no pueden obtenerse conclusiones respecto a la persona.

Aquí quiere acentuarse nuevamente que sus datos caen bajo el secreto profesional. Serán utilizados exclusivamente en el contexto de las disposiciones de protección legal de datos para el estudio "Condiciones Ambientales y Salud".

Por favor conteste las siguientes preguntas lo más precisamente y completamente posible. El objeto de este estudio es investigar relaciones entre contaminación del aire y enfermedades respiratorias y aclarar las consecuencias especialmente en la región de La Plata. Junto a preguntas sobre su hijo (el participante del estudio), son importantes las preguntas sobre condiciones de vida, instrucción, oficio, estado de salud, así como forma de vida, por cuanto solamente mediante una historia familiar completa pueden reconocerse relaciones significativas. Además, en los diversos grupos de la población las enfermedades aparecen con diversas frecuencias y también se evalúa de diferente manera el grado de seriedad. Las repeticiones y solapamientos que se producen tienen como objeto una mejor comprensión y por ello no siempre pueden ser evitados. Usted será informado sobre los resultados.

Si una pregunta no fuese clara, en cualquier momento puede contactarse con nosotros. Con gusto estamos dispuestos a brindar aclaraciones.

¡Por favor marcar todo lo que corresponde, incluso repetidamente.

Abreviaturas: F: femenino, M: masculino

"otros": están aquí las cosas que no se mencionan en la pregunta.

1. Fecha de nacimiento del participante en el estudio      día      mes      año  
   |\_|\_|    |\_|\_|    |\_|\_|  
   F      M

1.1 Sexo .....

1.2 Dirección del Establecimiento Infantil que visita el participante del estudio:  
 Nombre:.....  
 Calle:.....

2. Las siguientes preguntas se refieren a su familia.

2.1 Estado de la familia: casado/en convivencia ..... sí      no  
   |\_|    |\_|

2.1.1 ¿Madre soltera? .....      |\_|    |\_|

2.2 ¿Cuántas personas viven en el hogar? ..... F      M

2.2.1      mayores      |\_|    |\_|

2.2.2      niños      |\_|    |\_|

2.3 Estado escolar:      madre    padre

2.3.1      estudios primarios incompletos ..... |\_|    |\_|

2.3.2      estudios primarios completos ..... |\_|    |\_|

2.3.3      estudios secundarios incompletos..... |\_|    |\_|

2.3.4      estudios secundarios completos..... |\_|    |\_|

2.3.5      Escuela Técnica..... |\_|    |\_|

2.3.6      Educación Superior/Graduación universitaria ..... |\_|    |\_|

2.4 Profesión u oficio estudiada:      2.5 Actividad actualmente desempeñada:

2.4.1 madre.....      2.5.1 madre.....

2.4.2 padre .....      2.5.2 padre.....

2.6 Usted actualmente se desempeña como:      madre    padre

2.6.1      profesional ..... |\_|    |\_|

2.6.2      empleado, obrero ..... |\_|    |\_|

2.6.3      trabajador no estable ..... |\_|    |\_|

2.6.4      desocupado ..... |\_|    |\_|

2.6.5      estudiante ..... |\_|    |\_|

2.6.6      aprendizaje de otro oficio ..... |\_|    |\_|

2.6.7      trabaja en casa..... |\_|    |\_|

2.7	Usted trabaja en contacto con	madre	padre		
2.7.5	basura, aguas residuales .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
2.7.6	productos químicos (por ej. tintorería, laboratorio) .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
2.7.7	solventes (por ej. pintores, museos) .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
2.7.8	herbicidas, insecticidas .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
2.7.9	¿Trabaja en la Industria petroquímica, refinería, coque o ácido sulfúrico?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
2.9	¿Le fue detectada o reconocida alguna enfermedad profesional?	madre	padre		
	en caso afirmativo: ¿cuál? .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
2.11	¿Actualmente se fuma en su hogar? .....	si	no		
	si no: por favor, continúe con la pregunta 2.11.3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
2.11.1	en caso afirmativo: ¿cuántos cigarrillos fuma su familia diariamente	madre	padre	total en casa	
2.11.1.1	cigarrillos/día.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.11.1.2	cigarros/día.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.11.1.3	pipas/día.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.11.3	¿Ha fumado durante el embarazo? .....	madre	padre		
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
2.11.3.1	¿Se fumó en su presencia (Madre) durante el embarazo? .....	si	no		
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
2.11.7	¿En la habitación se fumó durante los seis primeros meses en presencia del niño?	madre	padre	otros	
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.11.4	¿En la habitación se fumó durante los tres primeros años en presencia del niño?	madre	padre	otros	
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.16	¿Usted o sus otros hijos ya tuvieron una vez las siguientes enfermedades? (por favor contestar <u>todas</u> las preguntas que corresponden, para hermanos: indicar sexo y cantidad de los afectados y secuencia de nacimiento).	madre	padre	hermanos	familiares de sangre
2.16.1	fiebre de heno.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.16.2	rinitis alérgicas/pollnosis .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.16.3	otras alérgias.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.16.4	en caso afirmativo: ¿cuál? .....				
2.16.5	eccema/neurodermitis.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.16.6	urticaria, exantema.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.16.7	manchas roja en la piel (eritema) .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.16.8	asma.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.16.9	bronquitis crónica.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.16.10	frecuentes resfrios .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.16.11	soriasis vulgar .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.16.12	enfermedades crónicas [p.e. alteraciones de la función de hígado, cáncer (qué tipo), fallas del corazón, diabetes, reuma, etc.]: ¿cuál? .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	¿quién? .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

<b>3. Las siguientes preguntas se refieren a su zona de residencia</b>			
3.1	lugar de domicilio .....		
3.1.1	Código Postal: .....		
3.3	¿Desde cuándo vive su hijo en la dirección citada? .....		
3.5	Está/estuvo su vivienda/edificio (marcar todo lo que corresponde)		
3.5.01	sobre una calle de tránsito principal .....	actual	anterior
3.5.02	sobre una calle secundaria .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.5.03	sobre un parque o espacio verde .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.5.05	en la proximidad (1 km de distancia) de un área industrial de pequeño o mediano tamaño (por ej. carpintería, soldaduras) .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

11.10.00

3.5.06	en la proximidad (1 km de distancia) de un área industrial de gran tamaño ....	actual	anterior
3.5.07	vecina a un cruce de semáforos o a un disco pare o lomo de burro .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.5.08	vecina a una construcción a una distancia menor de 500 m.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.5.1	¿Cuán fuerte, cree usted, es/era el tránsito de la calle inmediatamente próxima?	actual	anterior
3.5.1.1	congestión de tránsito habitual en horas de mayor tránsito.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.5.1.2	tránsito fuerte, fluido .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.5.1.3	zona con tránsito tranquilo .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.6	¿Se ubica en su edificio una pequeña o mediana industria? .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.6.1	en caso afirmativo ¿cuál? .....		
3.6.2	¿Se encuentra en su edificio o en un radio de 100 m una tintorería? .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.6.3	¿Se encuentra una estación de servicio en un radio de 500 m? .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**4. Las siguientes preguntas se refieren a su vivienda, sus condiciones de vida son importantes, por cuanto normalmente su hijo pasa una gran parte del día en la vivienda**

4.2.4.1	¿Ha renovado Ud. el interior de su vivienda antes del nacimiento de su hijo? .....	actual	anterior
4.2.4.2	¿Ha renovado Ud. el interior de su vivienda desde el nacimiento de su hijo? .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.2.4.5	¿Cuántos años tenía su hijo cuando renovó interiormente su vivienda? .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.2.5	¿Qué ha renovado en el interior de su vivienda?		
4.2.5.1	ha pintado las paredes? .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.2.5.2	ha decorado con papel las paredes? .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.2.5.3	ha pintado puertas y ventanas? .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.2.5.4	ha pintado su estufa? .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.2.5.5	ha cubierto sus paredes y/o techos con paneles de madera, plástico o tergopol?.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.2.5.6	ha pintado sus puertas, ventanas o muebles de madera con barnices, laca, pinturas de exterior y/o pinturas preservadoras de madera.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.2.5.7	ha colocado nuevas alfombras de pared a pared?.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.2.5.8	dicha alfombra ha sido pegada al piso?.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.2.5.9	dicha alfombra tiene goma pluma en su parte inferior?.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.2.5.10	ha instalado recientemente algún tipo de alfombra nueva que no sea de pared a pared?.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.2.5.11	ha comprado un nuevo mueble?.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.3	¿Cuántas habitaciones tiene su vivienda? (Incluido cocina y pasillo-corredor; sin baño) .....	habitaciones	
4.3.1	¿Más o menos cuánto mide su vivienda en total? .....	m <sup>2</sup>	
4.5.1	¿Qué combustible utiliza para calefacción?	si	no
	madera, carbón.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	gas oil, aceite.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	gas .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	electricidad .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	keroseno.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	otros .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.6	En su hogar usted utiliza	para cocinar?	calentar agua?
	(Agua caliente:termotanque, calefón instantáneo) si	si	si
	madera, carbón.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	gas .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	electricidad .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	kerosene .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.7.	¿Con que frecuencia ventila su casa (aproximadamente) ?		
	en verano .....	.....	minutos por día
	en primavera.....	.....	minutos por día
	en invierno.....	.....	minutos por día
	en otoño .....	.....	minutos por día

11.10.00

Copyright: © G.J. Fritz, Environmental Hygiene and Epidemiology, Med. Faculty, University of Leipzig

4.13	¿Las tuberías de agua de su vivienda son parcialmente o totalmente de plomo? .....	si	no	desconocido		
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
4.15	¿En su casa existen manchas de moho o humedad? .....	si	no	desconocido		
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
4.15.1.1	en caso afirmativo: ¿De qué colorido? .....	verde	castaño/naranjado	amarillo	negro	otros
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	.....
4.15.01	¿En cuáles habitaciones? baño .....	<input type="checkbox"/>				
4.15.02	living .....	<input type="checkbox"/>				
4.15.03	cocina .....	<input type="checkbox"/>				
4.15.04	dormitorios padres .....	<input type="checkbox"/>				
4.15.05	habitación niños .....	<input type="checkbox"/>				
4.15.06	sótano .....	<input type="checkbox"/>				
4.15.07	habitación del participante del estudio .....	<input type="checkbox"/>				
4.15.2	¿Ha tenido Ud. alguna vez manchas de humedad o moho que en este momento se hayan secado? .....	si	no	desconocido		
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
4.20	¿Desinsecta Ud. o el dueño, en forma rutinaria, el interior de su casa? (p. ej. hormigas, cucarachas) .....	si	no	desconocido		
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
4.20.1	en caso afirmativo: ¿Qué insecticida utiliza? .....					

**7. Las siguientes preguntas se refieren a su hijo que participa en el estudio. Estas preguntas son muy importantes, puesto que ciertas relaciones pueden ser reconocidas, cuando disponemos de todas las informaciones con tanta precisión como sea posible.**

7.1	¿Cuánto pesaba su hijo al momento del nacimiento? .....	grs.	
7.1.1	¿Cuánto pesaba su hijo ahora? .....	kilogr.	
7.2	¿Cuánto medía su hijo en el momento del nacimiento? .....	cms	
7.2.1	¿Cuánto medía su hijo ahora? .....	cms	
7.3	¿Su hijo nació antes de tiempo (al menos tres semanas antes)? .....	si	no
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.5	¿Que edad tenía usted (madre) durante el nacimiento de su hijo (el participante del estudio)? .....	años	
7.6.1	¿Cuánto tiempo su hijo fue amamantado exclusivamente? .....	semanas	
7.6.2	¿Con qué edad le dio a su hijo por primera vez alimento sólido? .....	semanas	
7.13	Su hijo fue a pre-jardín .....	si	<input type="checkbox"/>
	jardín de infante .....	si	<input type="checkbox"/>
7.13.3	en caso afirmativo: ¿que edad tenía su hijo? .....	años	
7.15	¿Cómo lleva a su hijo al pre-jardín/jardín de infantes?		
7.15.01	a pie .....	<input type="checkbox"/>	
7.15.02	en auto .....	<input type="checkbox"/>	
7.15.03	en bicicleta .....	<input type="checkbox"/>	
7.15.04	medio público de transporte .....	<input type="checkbox"/>	
7.15.1	El servicio infantil está:		
7.15.1.1	en la proximidad de un parque .....	<input type="checkbox"/>	
7.15.1.2	calle de tránsito principal .....	<input type="checkbox"/>	
7.15.1.3	una calle secundaria .....	<input type="checkbox"/>	
7.15.2	¿Cuánto tiempo tarda por el camino - ida y vuelta? .....	minutos	
7.19	¿Cuántas horas por día laborable permanece su hijo		
7.19.1.1	al aire libre? en verano .....	horas/ por día laborable	

11.10.00



7.19.1.2 al aire libre? en invierno ..... horas/ por día laborable  
 7.19.2.1 en la vivienda? en verano ..... horas/ por día laborable  
 7.19.2.2 ..... en invierno ..... horas/ por día laborable

7.20 ¿Durante el fin de semana, cuántas horas permanece su hijo  
 7.20.1.1 al aire libre? en verano ..... horas/ por día laborable  
 7.20.1.2 ..... en invierno ..... horas/ por día laborable  
 7.20.2.1 en la vivienda? en verano ..... horas/ por día laborable  
 7.20.2.2 ..... en invierno ..... horas/ por día laborable

7.21 Tiene actualmente un animal doméstico? ..... si no  
 [ ] [ ]  
 7.21.1 en caso negativo: ¿tuvo anteriormente un animal doméstico? .... [ ] [ ]

7.21.2 ¿De los siguientes animales, con cuáles está/ estaba su hijo en contacto frecuente/regularmente?  
 perros ..... [ ] pájaros ..... [ ]  
 ningunos ..... [ ] palomas ..... [ ]  
 gatos ..... [ ] conejos ..... [ ]  
 conejillos de Indias [ ] otros ..... [ ]

7.21.3 ¿Hay muchos perros callejeros en su barrio? ..... si no  
 [ ] [ ]

7.22 ¿Cuál de las siguientes enfermedades fueron diagnosticadas por un médico en su hijo y a qué edad por primera vez? si a la edad de

7.22.1 asma ..... [ ] ..... años  
 7.22.2 bronquitis ..... [ ] ..... años  
 7.22.3 bronquitis crónica ..... [ ] ..... años  
 7.22.4 pseudokrupp (laringotraqueitis) ..... [ ] ..... años  
 7.22.5 bronquiolitis ..... [ ] ..... años  
 7.22.6 neumonía ..... [ ] ..... años  
 7.22.7 angina (tonsilitis) ..... [ ] ..... años  
 7.22.8 sinusitis (maxilar paranasal y frontal) ..... [ ] ..... años  
 7.22.9 otitis ..... [ ] ..... años  
 7.22.10 fibre del heno ..... [ ] ..... años  
 7.22.11 rinitis alérgica ..... [ ] ..... años  
 7.22.12 eccema (endógeno, neurodermítilis) ..... [ ] ..... años  
 7.22.13 costra láctea ..... [ ] ..... años  
 7.22.14 inflamación de ojos (conjuntivitis) ..... [ ] ..... años  
 7.22.15 inflamación de ojos ardientes y lacrimosos. .... [ ] ..... años  
 7.22.16 tendencia a resfriados frecuentes ..... [ ] ..... años  
 7.22.17 dolor de cabeza ..... [ ] ..... años  
 7.22.18 enfermedades crónicas (p.ej. alteraciones de la función de hígado, cancer (qué tipo), fallas del corazón, diabetes, mucoviscidiosis, enfermedades reumáticas)

¿cuál? ..... años

7.23 ¿Su hijo tose frecuentemente sin estar resfriado? ..... si no  
 [ ] [ ]

7.23.4 ¿Además, la respiración de su hijo a menudo está acompañada por ruidos sibilantes, jadeantes provenientes del pecho? ..... [ ] [ ]

7.23.5 ¿Está su hijo frecuentemente ronco? ..... si no  
 [ ] [ ]

7.24 Tiene su hijo a menudo un resfriado con tos pero sin fiebre que dura más de 3-4 semanas? ..... si no desconocido  
 [ ] [ ] [ ]

7.25 ¿Su hijo ya ha sufrido de falta de aire? ..... si no  
 [ ] [ ]

7.25.5 ¿A qué edad detectó por primera vez estos estados de falta de aire?

7.25.5.1 en edad lactante ..... [ ]  
 7.25.5.2 con 6-12 meses ..... [ ]

7.25 (cont)

7.25.5.3 con 1-2 años .....

7.25.5.4 con 2-3 años .....

7.25.5.5 con 4-6 años .....

7.25.6 ¿Cuántas veces se produjeron estos estados de falta de aire durante los 12 últimos meses?

7.25.6.1 ninguna .....

7.25.6.2 1-4 veces .....

7.25.6.3 5-10 veces .....

7.25.6.4 más de 10 veces .....

7.25.6.5 sin grandes pausas entre los ataques .....

7.25.6.6 cuántas veces durante una semana normal? .... veces

7.35 ¿Tuvo su hijo un ataque de asma en los últimos 12 meses? ..... si no

7.27 ¿Tuvo su hijo en los últimos 12 meses una enfermedad de tipo resfrío? ..... si no

7.27.1 en caso afirmativo: ¿con cuánta frecuencia? con fiebre sin fiebre

un resfrío .....

hasta 5 resfríos .....

5 a 10 resfríos .....

más de 10 resfríos .....

7.27.2 ¿Cuánto tiempo duró/duraron el/los resfrío/s?

14 días .....

3-6 semanas .....

2-3 meses .....

4-6 meses .....

durante todo el año .....

7.31 ¿Su hijo ya fue tratado en emergencia por alguna de las siguientes enfermedades?

seudokrupp .....  pulmonía .....

bronquitis crónica .....  bronquitis con fiebre .....

asma bronquial .....  bronquitis sin fiebre .....

reacciones alérgicas .....  bronquitis asmática .....

angina .....  bronquitis espástica .....

7.31.1 ¿Cuántas veces ha concurrido su hijo a una emergencia médica en los últimos 12 meses? ..... veces

7.32 ¿Alguna vez su hijo fue tratado en un hospital por algunas de las siguientes enfermedades?

seudokrupp .....  asma bronquial .....

bronquitis crónica .....  pulmonía .....

reacciones alérgicas .....  bronquitis con fiebre .....

bronquitis con fiebre .....  bronquitis asmática .....

angina .....  bronquitis espástica .....

7.41 ¿En los últimos doce meses su hijo tuvo, sin estar resfriado a menudo una nariz que goteaba, estaba tapada o le picaba? si no desconocido

7.43 ¿Durante cuál época, sufre su hijo síntomas asmáticos?

enero  febrero  marzo  abril

mayo  junio  julio  agosto

septiembre  octubre  noviembre  diciembre

7.42 ¿Sufre su hijo de una alergia? ..... si no

7.42 en caso afirmativo: ¿por diagnóstico médico? .....

7.45.0 ¿A su hijo ya le fueron realizados test de alergia? ..... si no desconocido

11.10.00

		si	no	desconocido
7.45	¿test de alergia en la piel? .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.45.4	¿test de alergia en sangre? .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.45.1	en caso afirmativo: ¿su hijo mostró reacciones a? (por favor marcar <u>todas</u> las preguntas que correspondan)	si		
7.45.1.1	ninguna reacción .....	<input type="checkbox"/>		
7.45.1.2	ácaro de polvo hogareño .....	<input type="checkbox"/>		
7.45.1.3	animales (p.ej., gato, perro, aves, caballo, etc.) .....	<input type="checkbox"/>		
7.45.1.4	moho .....	<input type="checkbox"/>		
7.45.1.5	alimentos .....	<input type="checkbox"/>		
7.45.1.6	polen de pastos, hierbas, flores, arbustos, árboles .....	<input type="checkbox"/>		
7.45.1.7	otros .....			
7.45.3	en caso afirmativo: ¿cuándo fué el último test?	mes .....	año .....	
7.48	¿Sufre su hijo modificación de la piel con picazón de las articulaciones de rodillas, codos y muñeca? (neurodermitis, eccema endógeno)	si <input type="checkbox"/>	no <input type="checkbox"/>	desconocido <input type="checkbox"/>
7.48.1	¿en caso afirmativo: ¿qué edad tenía cuando comenzó? .....		años	
7.48.2	¿Ha observado en su hijo erupciones de tipo urticaria, enrojecimiento y picazón de la piel?	si <input type="checkbox"/>	no <input type="checkbox"/>	
7.48.2.1	¿en caso afirmativo: ¿qué edad tenía su hijo? .....		años	
7.48.3	¿en caso afirmativo: ¿bajo qué circunstancias se agravaron aquellas? .....			(p.ej., en la comida de qué producto alimenticio, en el prado, llevar ropa específico, etc.)
7.48.4	¿ Ha observado en su hijo la piel seca y agrietada? .....	si <input type="checkbox"/>	no <input type="checkbox"/>	
7.48.5	¿Ha tenido su hijo picazón y piel ardiente? .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
7.48.6	¿Ha observado en su hijo manchas rojas grandes en la piel? ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
7.48.7	¿Está la piel de su hijo fotosensible? .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
7.48.8	¿Sufre su hijo de soriasis vulgar? .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
7.48.9	¿Sufre su hijo de dermatitis seborreica? .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
7.48.10	¿Sufre su hijo de sarna? .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
7.50	¿En su hijo ya fué diagnosticada una intolerancia de alimentos?	si <input type="checkbox"/>	no <input type="checkbox"/>	desconocido <input type="checkbox"/>
7.50.1	en caso afirmativo: ¿cuáles y a qué edad por primera vez? (por favor marcar todas las respuestas que correspondan)	si	a la edad de	
7.50.1.1	frutas cítricas .....	<input type="checkbox"/>	..... años	
7.50.1.2	tomates .....	<input type="checkbox"/>	..... años	
7.50.1.3	productos de harina .....	<input type="checkbox"/>	..... años	
7.50.1.4	huevos .....	<input type="checkbox"/>	..... años	
7.50.1.5	productos lácteos .....	<input type="checkbox"/>	..... años	
7.50.1.6	nueces .....	<input type="checkbox"/>	..... años	
7.50.1.7	frutillas o similares .....	<input type="checkbox"/>	..... años	
7.50.1.8	leguminosas .....	<input type="checkbox"/>	..... años	
7.50.1.9	pescado/crustáceos .....	<input type="checkbox"/>	..... años	
7.50.1.10	chocolate .....	<input type="checkbox"/>	..... años	
7.50.1.11	otros .....		..... años	
7.50.2	¿Qué síntomas evidencia su hijo? (por favor, marcar todas las respuestas que correspondan)			
7.50.2.1	dolor de estómago .....	<input type="checkbox"/>		
7.50.2.2	diarrea .....	<input type="checkbox"/>		
7.50.2.3	malestar, vómito .....	<input type="checkbox"/>		
7.50.2.4	exantema .....	<input type="checkbox"/>		
7.50.2.5	urticaria .....	<input type="checkbox"/>		
7.50.2.6	ataque de asma .....	<input type="checkbox"/>		
7.50.2.7	empeoramiento de la neurodermitis y del eccema endógeno	<input type="checkbox"/>		

11.10.00

7.50.2.8	ardor en boca y labios .....	<input type="checkbox"/>		
7.50.2.9	conjuntivitis .....	<input type="checkbox"/>		
7.50.2.10	otros.....	<input type="checkbox"/>		
7.50.3	¿Su hijo tiene aversión a algunos alimentos? .....	si	no	desconocido
	en caso afirmativo: ¿cuál? .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.55	¿ Ha observado que su hijo tiene frecuentemente	si	no	
7.55.1	fatiga .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
7.55.2	náuseas y vomitos .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
7.55.3	dolor de cabeza .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
7.55.4	transpira mucho .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
7.56	¿Ha tenido su hijo dificultad en movimientos y en la coordinación de los brazos y pies?	si	no	
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
7.57	¿Tiene agua corriente en su casa?	si	no	
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
7.58	¿Usa agua de pozo para consumo en su casa?	si	no	
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
7.59	¿Obtiene el agua de una canilla comunitaria?	si	no	
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
7.60	¿Tiene pozo ciego en su casa?	si	no	
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

¿Quién ha contestado el cuestionario?      padre            madre        
 padre y madre            otros     

Fecha de llenado del cuestionario: .....

día / mes / año

Por favor utilice las siguientes líneas para comunicaciones voluntarias de molestias y/o enfermedades no comprendidas en las preguntas realizadas:

.....

.....

.....

**Muchas gracias por su colaboración !!!!**

## DECLARACION DE CONSENTIMIENTO

Le solicitamos dar consentimiento al cuestionario mediante su firma.  
El consentimiento en la participación en el estudio es voluntaria y puede ser revocado en todo momento aún sin indicación de razones.

Usted será informado sobre los resultados.

Estamos de acuerdo con la participación de nuestro hijo en la encuesta y con la utilización de las informaciones que contiene en el contexto del estudio "Condiciones Ambientales y Salud".

.....  
apellido del niño

.....  
nombres

.....  
fecha nacimiento

.....  
fecha

.....  
firma de los padres

## ANEXO II

*Concentraciones medias, medianas, mínimos, máximos y percentilos 25 y 75 de PAHs expresadas en ng/m<sup>3</sup> para invierno y verano estudiadas en las distintas zonas.*

PM10

Zona industrial

Compuesto	Concentración (ng/m <sup>3</sup> )					
	Invierno			Verano		
	Media Mediana	Mínimo Máximo	Percentilo 25 Percentilo 75	Media Mediana	Mínimo Máximo	Percentilo 25 Percentilo 75
Naftaleno	0,182	0,020	0,023	0,151	0,083	0,083
	0,063	0,582	0,341	0,151	0,218	0,218
Acenafteno	0,027	<0,001	0,005	0,006	0,002	0,002
	0,011	0,086	0,049	0,006	0,010	0,010
Fluoreno	0,013	0,006	0,007	0,012	0,005	0,005
	0,010	0,026	0,019	0,012	0,019	0,019
Fenantreno	0,113	0,058	0,061	0,066	0,034	0,034
	0,081	0,232	0,164	0,066	0,099	0,099
Antraceno	0,028	0,009	0,017	0,009	0,005	0,005
	0,027	0,050	0,039	0,009	0,013	0,013
Fluoranteno	0,197	0,014	0,090	0,180	0,052	0,052
	0,218	0,336	0,304	0,180	0,308	0,308
Pireno	0,262	0,196	0,202	0,083	0,043	0,043
	0,252	0,347	0,322	0,083	0,124	0,124
Benz[a]antraceno	0,697	0,104	0,387	0,116	0,052	0,052
	0,745	1,194	1,007	0,116	0,180	0,180
Criseno	0,788	0,237	0,459	0,199	0,111	0,111
	0,711	1,493	1,118	0,199	0,288	0,288
Benzo[b]fluoranteno	1,784	0,558	0,809	0,697	0,248	0,248
	1,810	2,959	2,759	0,697	1,146	1,146
Benzo[k]fluoranteno	0,571	0,209	0,343	0,220	0,099	0,099
	0,523	1,030	0,800	0,220	0,342	0,342
Benzo[a]pireno	0,976	0,264	0,499	0,293	0,171	0,171
	0,821	1,996	1,452	0,293	0,416	0,416
Dibenz[a,h]antraceno	0,236	0,029	0,045	0,076	0,019	0,019
	0,147	0,620	0,427	0,076	0,133	0,133
Benzo[ghi]perileno	1,808	0,604	0,904	0,971	0,366	0,366
	1,955	2,718	2,713	0,971	1,576	1,576
Indeno[1,2,3-cd]pireno	1,410	0,463	0,821	0,517	0,238	0,238
	1,492	2,193	2,000	0,517	0,796	0,796
<b>Suma PAHs</b>	<b>9,092</b>	<b>2,802</b>	<b>4,963</b>	<b>3,597</b>	<b>1,535</b>	<b>1,535</b>
	<b>9,080</b>	<b>15,405</b>	<b>13,221</b>	<b>3,597</b>	<b>5,659</b>	<b>5,659</b>
Suma PAHs carcinogénicos	5,856	1,648	3,050	2,071	0,911	0,911
	5,794	10,188	8,662	2,071	3,230	3,230

PM10  
Zona urbana

Compuesto	Concentración (ng/m <sup>3</sup> )					
	Invierno			Verano		
	Media Mediana	Mínimo Máximo	Percentilo 25 Percentilo 75	Media Mediana	Mínimo Máximo	Percentilo 25 Percentilo 75
Naftaleno	0,109	0,008	0,044	0,179	0,038	0,053
	0,056	0,428	0,060	0,115	0,447	0,305
Acenafteno	0,006	<0,001	<0,001	0,003	<0,001	0,001
	0,006	0,015	0,009	0,002	0,008	0,006
Fluoreno	0,015	0,001	0,011	0,015	<0,001	0,004
	0,018	0,021	0,021	0,011	0,036	0,026
Fenantreno	0,124	0,088	0,099	0,094	0,049	0,057
	0,119	0,175	0,147	0,084	0,159	0,130
Antraceno	0,018	0,011	0,014	0,011	0,006	0,007
	0,015	0,030	0,020	0,009	0,022	0,016
Fluoranteno	0,186	0,064	0,103	0,144	0,019	0,076
	0,143	0,463	0,201	0,161	0,235	0,212
Pireno	0,298	0,102	0,156	0,130	0,080	0,093
	0,256	0,675	0,343	0,130	0,181	0,168
Benz[a]antraceno	0,257	0,101	0,238	0,138	0,017	0,084
	0,251	0,394	0,305	0,164	0,204	0,191
Criseno	0,443	0,181	0,349	0,195	0,060	0,131
	0,388	0,902	0,451	0,223	0,275	0,260
Benzo[b]fluoranteno	0,875	0,547	0,558	0,578	0,177	0,292
	0,668	2,070	0,739	0,520	1,096	0,864
Benzo[k]fluoranteno	0,316	0,205	0,205	0,183	0,057	0,116
	0,252	0,688	0,294	0,190	0,293	0,249
Benzo[a]pireno	0,482	0,265	0,405	0,229	0,075	0,121
	0,452	0,815	0,502	0,205	0,432	0,338
Dibenz[a,h]antraceno	0,069	0,031	0,034	0,047	0,014	0,018
	0,040	0,222	0,050	0,026	0,119	0,076
Benzo[ghi]perileno	1,612	0,901	0,981	0,850	0,444	0,492
	1,146	4,232	1,265	0,753	1,449	1,208
Indeno[1,2,3-cd]pireno	0,928	0,577	0,611	0,454	0,098	0,267
	0,653	2,374	0,699	0,452	0,814	0,642
<b>Suma PAHs</b>	<b>5,738</b>	<b>3,310</b>	<b>4,178</b>	<b>3,250</b>	<b>1,185</b>	<b>1,879</b>
	<b>4,584</b>	<b>12,765</b>	<b>5,005</b>	<b>3,295</b>	<b>5,224</b>	<b>4,620</b>
Suma PAHs carcinogénicos	3,036	1,791	2,162	1,807	0,477	0,949
	2,447	6,624	2,743	1,815	3,122	2,665

PM10  
Zona semi-rural

Compuesto	Concentración (ng/m <sup>3</sup> )					
	Invierno			Verano		
	Media Mediana	Mínimo Máximo	Percentilo 25 Percentilo 75	Media Mediana	Mínimo Máximo	Percentilo 25 Percentilo 75
Naftaleno	0,063	0,023	0,023	0,109	0,014	0,039
	0,104	0,124	0,124	0,091	0,241	0,180
Acenafteno	0,002	<0,001	<0,001	0,003	<0,001	0,001
	<0,001	0,004	0,004	0,002	0,006	0,005
Fluoreno	0,007	0,002	0,002	0,004	0,001	0,001
	0,010	0,011	0,011	0,002	0,012	0,007
Fenantreno	0,059	0,016	0,016	0,024	0,006	0,011
	0,073	0,086	0,086	0,018	0,053	0,037
Antraceno	0,004	0,001	0,001	0,004	0,001	0,001
	0,004	0,006	0,006	0,002	0,010	0,007
Fluoranteno	0,070	0,004	0,004	0,082	0,008	0,010
	0,100	0,108	0,108	0,051	0,218	0,153
Pireno	0,088	0,019	0,019	0,064	0,011	0,015
	0,107	0,139	0,139	0,027	0,192	0,113
Benz[a]antraceno	0,061	0,003	0,003	0,058	0,004	0,009
	0,075	0,104	0,104	0,017	0,195	0,107
Criseno	0,096	0,024	0,024	0,093	0,014	0,022
	0,111	0,152	0,152	0,031	0,298	0,165
Benzo[b]fluoranteno	0,200	0,083	0,083	0,191	0,043	0,072
	0,235	0,283	0,283	0,125	0,471	0,310
Benzo[k]fluoranteno	0,081	0,030	0,030	0,066	0,014	0,021
	0,085	0,126	0,126	0,038	0,175	0,112
Benzo[a]pireno	0,101	0,029	0,029	0,124	0,017	0,026
	0,118	0,155	0,155	0,062	0,354	0,222
Dibenz[a,h]antraceno	0,013	0,010	0,010	0,023	0,002	0,011
	0,015	0,015	0,015	0,026	0,036	0,035
Benzo[ghi]perileno	0,194	0,101	0,101	0,310	0,051	0,079
	0,221	0,262	0,262	0,202	0,784	0,541
Indeno[1,2,3-cd]pireno	0,219	0,077	0,077	0,206	0,044	0,063
	0,256	0,324	0,324	0,155	0,470	0,349
<b>Suma PAHs</b>	<b>1,278</b>	<b>0,421</b>	<b>0,421</b>	<b>1,361</b>	<b>0,300</b>	<b>0,383</b>
	<b>1,538</b>	<b>1,874</b>	<b>1,874</b>	<b>0,816</b>	<b>3,514</b>	<b>2,340</b>
Suma PAHs carcinogénicos	0,757	0,253	0,253	0,777	0,187	0,240
	0,909	1,110	1,110	0,490	1,942	1,314



Fracción 1: 10- 7,2  $\mu\text{m}$   
Zona industrial

Compuesto	Concentración (ng/m <sup>3</sup> )					
	Invierno			Verano		
	Media Mediana	Mínimo Máximo	Percentilo 25 Percentilo 75	Media Mediana	Mínimo Máximo	Percentilo 25 Percentilo 75
Naftaleno	0,017	0,001	0,001	0,023	0,013	0,013
	0,002	0,049	0,049	0,023	0,033	0,033
Acenafteno	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Fluoreno	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001
	<0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002
Fenantreno	0,005	0,003	0,003	0,007	0,001	0,001
	0,004	0,007	0,007	0,007	0,014	0,014
Antraceno	0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001
	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002
Fluoranteno	0,004	0,001	0,001	0,004	0,001	0,001
	0,002	0,009	0,009	0,004	0,006	0,006
Pireno	0,006	0,003	0,003	0,007	0,001	0,001
	0,006	0,008	0,008	0,007	0,013	0,013
Benz[a]antraceno	0,004	0,002	0,002	0,005	0,001	0,001
	0,003	0,007	0,007	0,005	0,009	0,009
Criseno	0,009	0,006	0,006	0,009	0,002	0,002
	0,008	0,012	0,012	0,009	0,016	0,016
Benzo[b]fluoranteno	0,015	0,007	0,007	0,019	0,002	0,002
	0,013	0,024	0,024	0,019	0,036	0,036
Benzo[k]fluoranteno	0,005	0,003	0,003	0,005	0,001	0,001
	0,005	0,008	0,008	0,005	0,009	0,009
Benzo[a]pireno	0,007	0,004	0,004	0,008	0,002	0,002
	0,008	0,009	0,009	0,008	0,014	0,014
Dibenz[a,h]antraceno	0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001
	0,002	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002
Benzo[ghi]perileno	0,016	0,011	0,011	0,023	0,003	0,003
	0,019	0,019	0,019	0,023	0,042	0,042
Indeno[1,2,3-cd]pireno	0,012	0,006	0,006	0,010	0,001	0,001
	0,011	0,020	0,020	0,010	0,019	0,019
<b>Suma PAHs</b>	<b>0,102</b>	<b>0,052</b>	<b>0,052</b>	<b>0,123</b>	<b>0,028</b>	<b>0,028</b>
	<b>0,078</b>	<b>0,176</b>	<b>0,176</b>	<b>0,123</b>	<b>0,217</b>	<b>0,217</b>

Fracción 1: 10- 7,2  $\mu\text{m}$   
Zona urbana

Compuesto	Concentración (ng/m <sup>3</sup> )					
	Invierno			Verano		
	Media Mediana	Mínimo Máximo	Percentilo 25 Percentilo 75	Media Mediana	Mínimo Máximo	Percentilo 25 Percentilo 75
Naftaleno	0,018	0,002	0,006	0,025	0,015	0,015
	0,007	0,065	0,012	0,026	0,034	0,034
Acenafteno	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fluoreno	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
	0,000	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001
Fenantreno	0,006	0,000	0,002	0,008	0,004	0,004
	0,003	0,012	0,011	0,007	0,012	0,012
Antraceno	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001
Fluoranteno	0,012	0,000	0,001	0,010	0,005	0,005
	0,001	0,041	0,016	0,012	0,015	0,015
Pireno	0,007	0,000	0,001	0,010	0,007	0,007
	0,001	0,021	0,011	0,007	0,016	0,016
Benz[a]antraceno	0,003	0,000	0,000	0,005	0,003	0,003
	0,001	0,006	0,006	0,005	0,007	0,007
Criseno	0,005	0,000	0,002	0,010	0,007	0,007
	0,003	0,010	0,009	0,009	0,012	0,012
Benzo[b]fluoranteno	0,006	0,001	0,002	0,013	0,011	0,011
	0,004	0,028	0,005	0,011	0,016	0,016
Benzo[k]fluoranteno	0,002	0,000	0,000	0,004	0,002	0,002
	0,002	0,007	0,002	0,004	0,006	0,006
Benzo[a]pireno	0,003	0,000	0,001	0,010	0,003	0,003
	0,002	0,011	0,002	0,007	0,019	0,019
Dibenz[a,h]antraceno	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
	0,000	0,002	0,000	0,001	0,001	0,001
Benzo[ghi]perileno	0,009	0,001	0,004	0,016	0,014	0,014
	0,006	0,025	0,006	0,017	0,018	0,018
Indeno[1,2,3-cd]pireno	0,005	0,000	0,002	0,008	0,007	0,007
	0,004	0,014	0,005	0,008	0,009	0,009
Suma PAHs	0,079	0,006	0,023	0,121	0,120	0,120
	0,040	0,234	0,092	0,121	0,122	0,122

Fracción 1: 10- 7,2  $\mu\text{m}$   
Zona semi-rural

Compuesto	Concentración ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )					
	Invierno			Verano		
	Media Mediana	Mínimo Máximo	Percentilo 25 Percentilo 75	Media Mediana	Mínimo Máximo	Percentilo 25 Percentilo 75
Naftaleno	0,011	0,006	0,006	0,016	0,010	0,010
	0,012	0,015	0,015	0,015	0,025	0,025
Acenafteno	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	0,001
Fluoreno	0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001
	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Fenantreno	0,009	0,001	0,001	0,003	0,001	0,001
	0,013	0,013	0,013	0,004	0,004	0,004
Antraceno	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001
	<0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002
Fluoranteno	0,010	<0,001	<0,001	0,008	0,002	0,002
	0,013	0,017	0,017	0,005	0,016	0,016
Pireno	0,014	0,003	0,003	0,004	0,002	0,002
	0,016	0,023	0,023	0,004	0,006	0,006
Benz[a]antraceno	0,007	0,001	0,001	0,003	0,001	0,001
	0,006	0,013	0,013	0,002	0,005	0,005
Criseno	0,010	0,003	0,003	0,005	0,002	0,002
	0,007	0,019	0,019	0,004	0,007	0,007
Benzo[b]fluoranteno	0,012	0,008	0,008	0,009	0,005	0,005
	0,010	0,018	0,018	0,010	0,011	0,011
Benzo[k]fluoranteno	0,005	0,003	0,003	0,003	0,002	0,002
	0,004	0,008	0,008	0,003	0,005	0,005
Benzo[a]pireno	0,007	0,003	0,003	0,003	0,001	0,001
	0,004	0,013	0,013	0,004	0,005	0,005
Dibenz[a,h]antraceno	0,002	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001
	0,001	0,005	0,005	0,001	0,002	0,002
Benzo[ghi]perileno	0,012	0,007	0,007	0,008	0,003	0,003
	0,008	0,021	0,021	0,009	0,012	0,012
Indeno[1,2,3-cd]pireno	0,009	0,002	0,002	0,006	0,003	0,003
	0,010	0,015	0,015	0,005	0,009	0,009
<b>Suma PAHs</b>	<b>0,109</b>	<b>0,039</b>	<b>0,039</b>	<b>0,069</b>	<b>0,030</b>	<b>0,030</b>
	<b>0,109</b>	<b>0,179</b>	<b>0,179</b>	<b>0,088</b>	<b>0,089</b>	<b>0,089</b>

Fracción 2: 7,2- 3  $\mu\text{m}$   
Zona industrial

Compuesto	Concentración ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )					
	Invierno			Verano		
	Media Mediana	Mínimo Máximo	Percentilo 25 Percentilo 75	Media Mediana	Mínimo Máximo	Percentilo 25 Percentilo 75
Naftaleno	0,020	0,001	0,001	0,026	0,013	0,013
	0,009	0,050	0,050	0,026	0,040	0,040
Acenafteno	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
	<0,001	0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Fluoreno	0,001	0,001	0,001	0,002	<0,001	<0,001
	0,001	0,001	0,001	0,002	0,004	0,004
Fenantreno	0,014	0,012	0,012	0,012	0,006	0,006
	0,016	0,016	0,016	0,012	0,018	0,018
Antraceno	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
	0,001	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002
Fluoranteno	0,016	0,002	0,002	0,015	0,003	0,003
	0,015	0,031	0,031	0,015	0,028	0,028
Pireno	0,020	0,014	0,014	0,011	0,005	0,005
	0,015	0,032	0,032	0,011	0,017	0,017
Benz[a]antraceno	0,016	0,005	0,005	0,008	0,003	0,003
	0,012	0,030	0,030	0,008	0,013	0,013
Criseno	0,026	0,018	0,018	0,014	0,007	0,007
	0,024	0,038	0,038	0,014	0,022	0,022
Benzo[b]fluoranteno	0,036	0,021	0,021	0,020	0,006	0,006
	0,025	0,063	0,063	0,020	0,035	0,035
Benzo[k]fluoranteno	0,012	0,008	0,008	0,006	0,003	0,003
	0,008	0,021	0,021	0,006	0,009	0,009
Benzo[a]pireno	0,019	0,012	0,012	0,009	0,007	0,007
	0,012	0,034	0,034	0,009	0,011	0,011
Dibenz[a,h]antraceno	0,003	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001
	0,003	0,005	0,005	0,001	0,002	0,002
Benzo[ghi]perileno	0,035	0,025	0,025	0,024	0,013	0,013
	0,028	0,052	0,052	0,024	0,034	0,034
Indeno[1,2,3-cd]pireno	0,024	0,017	0,017	0,008	0,006	0,006
	0,017	0,039	0,039	0,008	0,009	0,009
<b>Suma PAHs</b>	<b>0,246</b>	<b>0,142</b>	<b>0,142</b>	<b>0,158</b>	<b>0,073</b>	<b>0,073</b>
	<b>0,215</b>	<b>0,380</b>	<b>0,380</b>	<b>0,158</b>	<b>0,243</b>	<b>0,243</b>

Fracción 2: 7,2- 3  $\mu\text{m}$   
Zona urbana

Compuesto	Concentración (ng/m <sup>3</sup> )					
	Invierno			Verano		
	Media Mediana	Mínimo Máximo	Percentilo 25 Percentilo 75	Media Mediana	Mínimo Máximo	Percentilo 25 Percentilo 75
Naftaleno	0,015 0,008	0,002 0,051	0,006 0,008	0,037 0,023	0,008 0,080	0,008 0,080
Acenafteno	<0,001 <0,001	<0,001 <0,001	<0,001 <0,001	<0,001 <0,001	<0,001 <0,001	<0,001 <0,001
Fluoreno	0,002 0,002	<0,001 0,003	0,001 0,003	0,002 0,002	0,001 0,003	0,001 0,003
Fenantreno	0,014 0,016	0,003 0,024	0,007 0,020	0,014 0,017	0,006 0,019	0,006 0,019
Antraceno	0,001 0,002	<0,001 0,002	0,001 0,002	0,001 0,001	0,001 0,002	0,001 0,002
Fluoranteno	0,021 0,005	0,002 0,061	0,004 0,034	0,016 0,013	0,009 0,026	0,009 0,026
Pireno	0,023 0,025	0,006 0,051	0,006 0,028	0,018 0,013	0,008 0,031	0,008 0,031
Benz[a]antraceno	0,007 0,003	0,002 0,018	0,002 0,009	0,011 0,007	0,007 0,019	0,007 0,019
Criseno	0,015 0,015	0,006 0,029	0,008 0,018	0,020 0,016	0,012 0,032	0,012 0,032
Benzo[b]fluoranteno	0,018 0,017	0,011 0,025	0,011 0,025	0,032 0,034	0,024 0,039	0,024 0,039
Benzo[k]fluoranteno	0,007 0,006	0,004 0,010	0,004 0,009	0,011 0,011	0,006 0,017	0,006 0,017
Benzo[a]pireno	0,010 0,008	0,005 0,017	0,006 0,015	0,013 0,013	0,011 0,014	0,011 0,014
Dibenz[a,h]antraceno	0,001 0,001	0,001 0,002	0,001 0,001	0,001 0,001	<0,001 0,002	<0,001 0,002
Benzo[ghi]perileno	0,028 0,028	0,017 0,039	0,019 0,037	0,039 0,037	0,028 0,051	0,028 0,051
Indeno[1,2,3-cd]pireno	0,017 0,016	0,010 0,027	0,011 0,022	0,026 0,021	0,015 0,042	0,015 0,042
<b>Suma PAHs</b>	<b>0,180</b> <b>0,142</b>	<b>0,083</b> <b>0,306</b>	<b>0,086</b> <b>0,284</b>	<b>0,241</b> <b>0,267</b>	<b>0,164</b> <b>0,302</b>	<b>0,164</b> <b>0,302</b>

Fracción 2: 7,2- 3  $\mu\text{m}$   
Zona semi-rural

Compuesto	Concentración (ng/m <sup>3</sup> )					
	Invierno			Verano		
	Media Mediana	Mínimo Máximo	Percentilo 25 Percentilo 75	Media Mediana	Mínimo Máximo	Percentilo 25 Percentilo 75
Naftaleno	0,012	0,005	0,005	0,014	0,010	0,010
	0,015	0,017	0,017	0,012	0,019	0,019
Acenafteno	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Fluoreno	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
	0,001	0,002	0,002	<0,001	0,001	0,001
Fenantreno	0,010	0,002	0,002	0,004	0,002	0,002
	0,011	0,016	0,016	0,002	0,007	0,007
Antraceno	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
	<0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Fluoranteno	0,011	<0,001	<0,001	0,009	<0,001	<0,001
	0,013	0,020	0,020	0,002	0,023	0,023
Pireno	0,013	0,002	0,002	0,005	0,001	0,001
	0,014	0,022	0,022	0,002	0,011	0,011
Benz[a]antraceno	0,006	<0,001	<0,001	0,003	<0,001	<0,001
	0,008	0,009	0,009	0,004	0,004	0,004
Criseno	0,010	0,002	0,002	0,005	0,001	0,001
	0,012	0,015	0,015	0,006	0,007	0,007
Benzo[b]fluoranteno	0,010	0,003	0,003	0,010	0,003	0,003
	0,008	0,019	0,019	0,010	0,018	0,018
Benzo[k]fluoranteno	0,004	0,001	0,001	0,003	0,001	0,001
	0,003	0,008	0,008	0,003	0,005	0,005
Benzo[a]pireno	0,004	0,001	0,001	0,005	0,001	0,001
	0,003	0,008	0,008	0,007	0,007	0,007
Dibenz[a,h]antraceno	0,001	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	<0,001
	<0,001	0,003	0,003	0,001	0,004	0,004
Benzo[ghi]perileno	0,010	0,004	0,004	0,013	0,003	0,003
	0,006	0,022	0,022	0,015	0,021	0,021
Indeno[1,2,3-cd]pireno	0,018	0,002	0,002	0,007	0,002	0,002
	0,021	0,030	0,030	0,008	0,011	0,011
<b>Suma PAHs</b>	<b>0,110</b>	<b>0,023</b>	<b>0,023</b>	<b>0,079</b>	<b>0,024</b>	<b>0,024</b>
	<b>0,151</b>	<b>0,158</b>	<b>0,158</b>	<b>0,097</b>	<b>0,117</b>	<b>0,117</b>

Fracción 3: 3- 1,5  $\mu\text{m}$   
Zona industrial

Compuesto	Concentración (ng/m <sup>3</sup> )					
	Invierno			Verano		
	Media Mediana	Mínimo Máximo	Percentilo 25 Percentilo 75	Media Mediana	Mínimo Máximo	Percentilo 25 Percentilo 75
Naftaleno	0,036	0,003	0,003	0,026	0,016	0,016
	0,012	0,095	0,095	0,026	0,036	0,036
Acenafteno	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
	<0,001	0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Fluoreno	0,001	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	<0,001
	0,001	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003
Fenantreno	0,010	0,003	0,003	0,007	0,004	0,004
	0,012	0,014	0,014	0,007	0,010	0,010
Antraceno	0,001	0,001	0,001	0,001	<0,001	<0,001
	0,001	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002
Fluoranteno	0,016	<0,001	<0,001	0,012	0,001	0,001
	0,017	0,030	0,030	0,012	0,023	0,023
Pireno	0,017	0,008	0,008	0,007	0,004	0,004
	0,013	0,030	0,030	0,007	0,010	0,010
Benz[a]antraceno	0,018	0,001	0,001	0,006	0,002	0,002
	0,010	0,042	0,042	0,006	0,011	0,011
Criseno	0,026	0,006	0,006	0,004	0,002	0,002
	0,019	0,054	0,054	0,004	0,007	0,007
Benzo[b]fluoranteno	0,047	0,013	0,013	0,026	0,010	0,010
	0,019	0,109	0,109	0,026	0,042	0,042
Benzo[k]fluoranteno	0,016	0,005	0,005	0,008	0,004	0,004
	0,007	0,036	0,036	0,008	0,011	0,011
Benzo[a]pireno	0,026	0,006	0,006	0,010	0,006	0,006
	0,009	0,065	0,065	0,010	0,014	0,014
Dibenz[a,h]antraceno	0,004	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001
	0,002	0,009	0,009	0,002	0,003	0,003
Benzo[ghi]perileno	0,039	0,013	0,013	0,028	0,013	0,013
	0,020	0,085	0,085	0,028	0,044	0,044
Indeno[1,2,3-cd]pireno	0,033	0,011	0,011	0,012	0,009	0,009
	0,017	0,072	0,072	0,012	0,014	0,014
<b>Suma PAHs</b>	<b>0,292</b>	<b>0,072</b>	<b>0,072</b>	<b>0,151</b>	<b>0,077</b>	<b>0,077</b>
	<b>0,192</b>	<b>0,613</b>	<b>0,613</b>	<b>0,151</b>	<b>0,224</b>	<b>0,224</b>

Fracción 3: 3- 1,5  $\mu\text{m}$   
Zona urbana

Compuesto	Concentración ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )					
	Invierno			Verano		
	Media Mediana	Mínimo Máximo	Percentilo 25 Percentilo 75	Media Mediana	Mínimo Máximo	Percentilo 25 Percentilo 75
Naftaleno	0,017	<0,001	0,002	0,034	0,013	0,013
	0,008	0,063	0,011	0,031	0,057	0,057
Acenafteno	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Fluoreno	0,001	<0,001	0,001	0,002	0,001	0,001
	0,001	0,003	0,001	0,002	0,003	0,003
Fenantreno	0,012	0,006	0,008	0,012	0,005	0,005
	0,011	0,019	0,016	0,014	0,017	0,017
Antraceno	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
	0,001	0,002	0,001	0,001	0,003	0,003
Fluoranteno	0,030	0,004	0,006	0,016	0,013	0,013
	0,027	0,087	0,028	0,014	0,020	0,020
Pireno	0,022	0,008	0,010	0,019	0,009	0,009
	0,021	0,037	0,035	0,021	0,026	0,026
Benz[a]antraceno	0,009	0,004	0,004	0,010	0,007	0,007
	0,007	0,017	0,012	0,009	0,012	0,012
Criseno	0,017	0,009	0,015	0,016	0,014	0,014
	0,017	0,027	0,018	0,016	0,018	0,018
Benzo[b]fluoranteno	0,026	0,018	0,021	0,028	0,020	0,020
	0,023	0,042	0,027	0,026	0,038	0,038
Benzo[k]fluoranteno	0,010	0,006	0,008	0,009	0,007	0,007
	0,008	0,016	0,010	0,009	0,010	0,010
Benzo[a]pireno	0,015	0,008	0,009	0,011	0,007	0,007
	0,013	0,030	0,014	0,009	0,017	0,017
Dibenz[a,h]antraceno	0,002	<0,001	0,001	0,001	<0,001	<0,001
	0,001	0,004	0,003	0,001	0,003	0,003
Benzo[ghi]perileno	0,035	0,022	0,029	0,027	0,021	0,021
	0,030	0,056	0,038	0,021	0,039	0,039
Indeno[1,2,3-cd]pireno	0,024	0,018	0,019	0,018	0,008	0,008
	0,022	0,035	0,025	0,022	0,025	0,025
<b>Suma PAHs</b>	<b>0,221</b>	<b>0,131</b>	<b>0,144</b>	<b>0,203</b>	<b>0,184</b>	<b>0,184</b>
	<b>0,194</b>	<b>0,437</b>	<b>0,200</b>	<b>0,209</b>	<b>0,215</b>	<b>0,215</b>



Fracción 3: 3- 1,5  $\mu\text{m}$   
Zona semi-rural

Compuesto	Concentración (ng/m <sup>3</sup> )					
	Invierno			Verano		
	Media Mediana	Mínimo Máximo	Percentilo 25 Percentilo 75	Media Mediana	Mínimo Máximo	Percentilo 25 Percentilo 75
Naftaleno	0,011	0,002	0,002	0,020	0,010	0,010
	0,013	0,017	0,017	0,024	0,025	0,025
Acenafteno	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Fluoreno	0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001
	0,001	0,001	0,001	<0,001	0,001	0,001
Fenantreno	0,009	0,002	0,002	0,004	0,002	0,002
	0,011	0,013	0,013	0,004	0,007	0,007
Antraceno	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
	0,001	0,001	0,001	<0,001	0,001	0,001
Fluoranteno	0,011	0,001	0,001	0,014	0,001	0,001
	0,016	0,017	0,017	0,008	0,033	0,033
Pireno	0,014	0,001	0,001	0,007	0,001	0,001
	0,018	0,021	0,021	0,006	0,014	0,014
Benz[a]antraceno	0,005	0,001	0,001	0,003	<0,001	<0,001
	0,007	0,008	0,008	0,001	0,006	0,006
Criseno	0,009	0,003	0,003	0,005	0,001	0,001
	0,009	0,014	0,014	0,002	0,010	0,010
Benzo[b]fluoranteno	0,011	0,005	0,005	0,009	0,004	0,004
	0,009	0,020	0,020	0,007	0,016	0,016
Benzo[k]fluoranteno	0,004	0,002	0,002	0,003	0,001	0,001
	0,003	0,006	0,006	0,002	0,006	0,006
Benzo[a]pireno	0,004	0,002	0,002	0,005	0,001	0,001
	0,003	0,006	0,006	0,003	0,011	0,011
Dibenz[a,h]antraceno	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001
	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	0,001
Benzo[ghi]perileno	0,009	0,004	0,004	0,012	0,003	0,003
	0,009	0,013	0,013	0,013	0,021	0,021
Indeno[1,2,3-cd]pireno	0,008	0,003	0,003	0,008	0,002	0,002
	0,003	0,016	0,016	0,008	0,013	0,013
<b>Suma PAHs</b>	<b>0,095</b>	<b>0,038</b>	<b>0,038</b>	<b>0,091</b>	<b>0,027</b>	<b>0,027</b>
	<b>0,104</b>	<b>0,144</b>	<b>0,144</b>	<b>0,080</b>	<b>0,167</b>	<b>0,167</b>

Fracción: 4: 1,5- 0,95  $\mu\text{m}$   
Zona industrial

Compuesto	Concentración ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )					
	Invierno			Verano		
	Media Mediana	Mínimo Máximo	Percentilo 25 Percentilo 75	Media Mediana	Mínimo Máximo	Percentilo 25 Percentilo 75
Naftaleno	0,037	0,004	0,004	0,024	0,017	0,017
	0,007	0,100	0,100	0,024	0,031	0,031
Acenafteno	0,002	0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001
	0,002	0,002	0,002	<0,001	<0,001	<0,001
Fluoreno	0,002	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001
	0,002	0,005	0,005	0,002	0,003	0,003
Fenantreno	0,021	0,006	0,006	0,008	0,003	0,003
	0,020	0,036	0,036	0,008	0,014	0,014
Antraceno	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
	0,002	0,003	0,003	0,001	0,002	0,002
Fluoranteno	0,032	0,001	0,001	0,018	0,010	0,010
	0,047	0,049	0,049	0,018	0,026	0,026
Pireno	0,037	0,022	0,022	0,010	0,005	0,005
	0,038	0,052	0,052	0,010	0,016	0,016
Benz[a]antraceno	0,077	0,007	0,007	0,017	0,006	0,006
	0,061	0,162	0,162	0,017	0,028	0,028
Criseno	0,099	0,023	0,023	0,030	0,016	0,016
	0,089	0,186	0,186	0,030	0,043	0,043
Benzo[b]fluoranteno	0,175	0,053	0,053	0,086	0,029	0,029
	0,118	0,353	0,353	0,086	0,142	0,142
Benzo[k]fluoranteno	0,063	0,019	0,019	0,026	0,012	0,012
	0,050	0,120	0,120	0,026	0,041	0,041
Benzo[a]pireno	0,129	0,024	0,024	0,042	0,022	0,022
	0,101	0,262	0,262	0,042	0,062	0,062
Dibenz[a,h]antraceno	0,014	0,005	0,005	0,007	0,001	0,001
	0,010	0,027	0,027	0,007	0,012	0,012
Benzo[ghi]perileno	0,150	0,048	0,048	0,105	0,034	0,034
	0,139	0,264	0,264	0,105	0,177	0,177
Indeno[1,2,3-cd]pireno	0,134	0,041	0,041	0,046	0,028	0,028
	0,137	0,224	0,224	0,046	0,064	0,064
<b>Suma PAHs</b>	<b>0,975</b>	<b>0,256</b>	<b>0,256</b>	<b>0,423</b>	<b>0,184</b>	<b>0,184</b>
	<b>0,837</b>	<b>1,830</b>	<b>1,830</b>	<b>0,423</b>	<b>0,662</b>	<b>0,662</b>

Fracción 4: 1,5- 0,95  $\mu\text{m}$   
Zona urbana

Compuesto	Concentración (ng/m <sup>3</sup> )					
	Invierno			Verano		
	Media Mediana	Mínimo Máximo	Percentilo 25 Percentilo 75	Media Mediana	Mínimo Máximo	Percentilo 25 Percentilo 75
Naftaleno	0,019	0,001	0,004	0,043	0,007	0,007
	0,005	0,076	0,010	0,027	0,094	0,094
Acenafteno	0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001
	<0,001	0,002	0,001	<0,001	0,001	0,001
Fluoreno	0,003	0,001	0,002	0,003	0,001	0,001
	0,003	0,004	0,004	0,003	0,006	0,006
Fenantreno	0,016	0,009	0,012	0,017	0,006	0,006
	0,019	0,020	0,020	0,017	0,028	0,028
Antraceno	0,002	0,001	0,002	0,002	0,001	0,001
	0,002	0,003	0,003	0,002	0,004	0,004
Fluoranteno	0,038	0,009	0,010	0,022	0,020	0,020
	0,032	0,101	0,037	0,021	0,024	0,024
Pireno	0,028	0,013	0,014	0,022	0,007	0,007
	0,029	0,045	0,036	0,027	0,034	0,034
Benz[a]antraceno	0,018	0,006	0,012	0,019	0,013	0,013
	0,015	0,035	0,022	0,019	0,025	0,025
Criseno	0,036	0,017	0,030	0,031	0,026	0,026
	0,037	0,053	0,044	0,028	0,041	0,041
Benzo[b]fluoranteno	0,064	0,048	0,052	0,081	0,059	0,059
	0,065	0,085	0,069	0,082	0,103	0,103
Benzo[k]fluoranteno	0,024	0,017	0,020	0,027	0,018	0,018
	0,024	0,032	0,025	0,026	0,038	0,038
Benzo[a]pireno	0,044	0,025	0,034	0,034	0,024	0,024
	0,043	0,071	0,047	0,038	0,039	0,039
Dibenz[a,h]antraceno	0,004	0,002	0,003	0,006	0,002	0,002
	0,004	0,007	0,006	0,007	0,008	0,008
Benzo[ghi]perileno	0,079	0,066	0,071	0,090	0,054	0,054
	0,073	0,103	0,085	0,106	0,109	0,109
Indeno[1,2,3-cd]pireno	0,061	0,046	0,059	0,058	0,031	0,031
	0,063	0,073	0,063	0,068	0,075	0,075
<b>Suma PAHs</b>	<b>0,436</b>	<b>0,274</b>	<b>0,361</b>	<b>0,456</b>	<b>0,417</b>	<b>0,417</b>
	<b>0,405</b>	<b>0,692</b>	<b>0,449</b>	<b>0,463</b>	<b>0,488</b>	<b>0,488</b>

Fracción 4: 1,5- 0,95  $\mu\text{m}$   
Zona semi-rural

Compuesto	Concentración (ng/m <sup>3</sup> )					
	Invierno			Verano		
	Media Mediana	Mínimo Máximo	Percentilo 25 Percentilo 75	Media Mediana	Mínimo Máximo	Percentilo 25 Percentilo 75
Naftaleno	0,016	0,001	0,001	0,019	0,013	0,013
	0,022	0,024	0,024	0,016	0,029	0,029
Acenafteno	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	0,001
Fluoreno	0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001
	0,001	0,002	0,002	<0,001	0,002	0,002
Fenantreno	0,011	0,004	0,004	0,004	0,002	0,002
	0,013	0,018	0,018	0,002	0,008	0,008
Antraceno	0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001
	0,001	0,001	0,001	<0,001	0,001	0,001
Fluoranteno	0,017	<0,001	<0,001	0,018	0,002	0,002
	0,024	0,025	0,025	0,012	0,039	0,039
Pireno	0,017	0,001	0,001	0,005	0,002	0,002
	0,020	0,031	0,031	0,002	0,011	0,011
Benz[a]antraceno	0,013	<0,001	<0,001	0,005	0,001	0,001
	0,012	0,027	0,027	0,001	0,014	0,014
Criseno	0,023	0,004	0,004	0,008	0,002	0,002
	0,020	0,043	0,043	0,002	0,020	0,020
Benzo[b]fluoranteno	0,034	0,011	0,011	0,018	0,006	0,006
	0,032	0,061	0,061	0,015	0,033	0,033
Benzo[k]fluoranteno	0,015	0,003	0,003	0,006	0,002	0,002
	0,012	0,031	0,031	0,005	0,012	0,012
Benzo[a]pireno	0,025	0,003	0,003	0,012	0,002	0,002
	0,018	0,054	0,054	0,008	0,027	0,027
Dibenz[a,h]antraceno	0,001	0,001	0,001	0,002	<0,001	<0,001
	0,001	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003
Benzo[ghi]perileno	0,031	0,012	0,012	0,028	0,008	0,008
	0,030	0,051	0,051	0,038	0,039	0,039
Indeno[1,2,3-cd]pireno	0,038	0,013	0,013	0,019	0,006	0,006
	0,035	0,067	0,067	0,025	0,028	0,028
<b>Suma PAHs</b>	<b>0,245</b>	<b>0,055</b>	<b>0,055</b>	<b>0,148</b>	<b>0,048</b>	<b>0,048</b>
	<b>0,244</b>	<b>0,435</b>	<b>0,435</b>	<b>0,131</b>	<b>0,264</b>	<b>0,264</b>

Fracción 5: 0,95- 0,49  $\mu\text{m}$   
Zona industrial

Compuesto	Concentración ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )					
	Invierno			Verano		
	Media Mediana	Mínimo Máximo	Percentilo 25 Percentilo 75	Media Mediana	Mínimo Máximo	Percentilo 25 Percentilo 75
Naftaleno	0,074	0,004	0,004	0,023	0,011	0,011
	0,006	0,213	0,213	0,023	0,036	0,036
Acenafteno	0,002	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001
	0,002	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002
Fluoreno	0,003	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
	0,004	0,005	0,005	0,001	0,002	0,002
Fenantreno	0,030	0,012	0,012	0,013	0,008	0,008
	0,025	0,053	0,053	0,013	0,019	0,019
Antraceno	0,005	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001
	0,006	0,007	0,007	0,001	0,002	0,002
Fluoranteno	0,061	0,005	0,005	0,060	0,013	0,013
	0,066	0,090	0,090	0,060	0,108	0,108
Pireno	0,082	0,052	0,052	0,014	0,010	0,010
	0,079	0,116	0,116	0,014	0,019	0,019
Benz[a]antraceno	0,198	0,027	0,027	0,033	0,012	0,012
	0,161	0,405	0,405	0,033	0,054	0,054
Criseno	0,232	0,061	0,061	0,052	0,030	0,030
	0,196	0,439	0,439	0,052	0,074	0,074
Benzo[b]fluoranteno	0,418	0,136	0,136	0,168	0,060	0,060
	0,283	0,835	0,835	0,168	0,276	0,276
Benzo[k]fluoranteno	0,162	0,051	0,051	0,056	0,026	0,026
	0,144	0,291	0,291	0,056	0,086	0,086
Benzo[a]pireno	0,383	0,085	0,085	0,105	0,055	0,055
	0,370	0,693	0,693	0,105	0,155	0,155
Dibenz[a,h]antraceno	0,036	0,009	0,009	0,017	0,005	0,005
	0,019	0,081	0,081	0,017	0,029	0,029
Benzo[ghi]perileno	0,372	0,124	0,124	0,235	0,078	0,078
	0,331	0,661	0,661	0,235	0,393	0,393
Indeno[1,2,3-cd]pireno	0,357	0,120	0,120	0,104	0,064	0,064
	0,346	0,604	0,604	0,104	0,145	0,145
<b>Suma PAHs</b>	<b>2,415</b>	<b>0,693</b>	<b>0,693</b>	<b>0,886</b>	<b>0,374</b>	<b>0,374</b>
	<b>2,096</b>	<b>4,457</b>	<b>4,457</b>	<b>0,886</b>	<b>1,398</b>	<b>1,398</b>

Fracción 5: 0,95- 0,49  $\mu\text{m}$   
Zona urbana

Compuesto	Concentración (ng/m <sup>3</sup> )					
	Invierno			Verano		
	Media Mediana	Mínimo Máximo	Percentilo 25 Percentilo 75	Media Mediana	Mínimo Máximo	Percentilo 25 Percentilo 75
Naftaleno	0,020 0,010	0,002 0,071	0,009 0,010	0,028 0,022	0,010 0,050	0,010 0,050
Acenafteno	0,001 <0,001	<0,001 0,003	<0,001 <0,001	<0,001 <0,001	<0,001 <0,001	<0,001 <0,001
Fluoreno	0,003 0,003	0,002 0,004	0,002 0,003	0,001 0,001	0,001 0,002	0,001 0,002
Fenantreno	0,019 0,017	0,010 0,028	0,015 0,024	0,009 0,008	0,006 0,015	0,006 0,015
Antraceno	0,002 0,002	0,002 0,003	0,002 0,002	0,001 0,001	0,001 0,001	0,001 0,001
Fluoranteno	0,037 0,016	0,002 0,118	0,005 0,043	0,027 0,020	0,006 0,057	0,006 0,057
Pireno	0,033 0,027	0,015 0,059	0,022 0,042	0,015 0,011	0,008 0,025	0,008 0,025
Benz[a]antraceno	0,035 0,030	0,010 0,072	0,018 0,046	0,017 0,014	0,002 0,035	0,002 0,035
Criseno	0,061 0,058	0,028 0,102	0,047 0,072	0,025 0,022	0,005 0,048	0,005 0,048
Benzo[b]fluoranteno	0,120 0,115	0,065 0,175	0,100 0,128	0,089 0,052	0,020 0,196	0,020 0,196
Benzo[k]fluoranteno	0,046 0,045	0,032 0,068	0,036 0,048	0,024 0,017	0,006 0,050	0,006 0,050
Benzo[a]pireno	0,093 0,089	0,053 0,161	0,067 0,095	0,030 0,013	0,004 0,073	0,004 0,073
Dibenz[a,h]antraceno	0,009 0,007	0,004 0,014	0,006 0,011	0,006 0,001	0,001 0,017	0,001 0,017
Benzo[ghi]perileno	0,156 0,148	0,101 0,222	0,148 0,159	0,088 0,041	0,012 0,210	0,012 0,210
Indeno[1,2,3-cd]pireno	0,123 0,132	0,085 0,159	0,103 0,137	0,064 0,047	0,007 0,140	0,007 0,140
<b>Suma PAHs</b>	<b>0,757</b> <b>0,713</b>	<b>0,484</b> <b>1,237</b>	<b>0,540</b> <b>0,811</b>	<b>0,425</b> <b>0,279</b>	<b>0,129</b> <b>0,868</b>	<b>0,129</b> <b>0,868</b>

Fracción 5: 0,95- 0,49  $\mu\text{m}$   
Zona semi-rural

Compuesto	Concentración (ng/m <sup>3</sup> )					
	Invierno			Verano		
	Media Mediana	Mínimo Máximo	Percentilo 25 Percentilo 75	Media Mediana	Mínimo Máximo	Percentilo 25 Percentilo 75
Naftaleno	0,019	0,005	0,005	0,022	0,014	0,014
	0,021	0,030	0,030	0,027	0,027	0,027
Acenafteno	0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001
	<0,001	0,004	0,004	<0,001	0,003	0,003
Fluoreno	0,002	0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001
	0,002	0,002	0,002	<0,001	0,001	0,001
Fenantreno	0,012	0,004	0,004	0,006	0,003	0,003
	0,015	0,016	0,016	0,005	0,011	0,011
Antraceno	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
	0,001	0,001	0,001	<0,001	0,001	0,001
Fluoranteno	0,015	0,002	0,002	0,027	0,001	0,001
	0,022	0,023	0,023	0,035	0,045	0,045
Pireno	0,019	0,006	0,006	0,007	0,001	0,001
	0,023	0,027	0,027	0,005	0,016	0,016
Benz[a]antraceno	0,015	<0,001	<0,001	0,010	<0,001	<0,001
	0,017	0,027	0,027	0,004	0,027	0,027
Criseno	0,026	0,007	0,007	0,016	0,003	0,003
	0,029	0,043	0,043	0,006	0,039	0,039
Benzo[b]fluoranteno	0,049	0,026	0,026	0,044	0,011	0,011
	0,059	0,063	0,063	0,054	0,067	0,067
Benzo[k]fluoranteno	0,021	0,010	0,010	0,016	0,004	0,004
	0,023	0,030	0,030	0,018	0,026	0,026
Benzo[a]pireno	0,035	0,012	0,012	0,037	0,007	0,007
	0,043	0,049	0,049	0,042	0,062	0,062
Dibenz[a,h]antraceno	0,003	0,001	0,001	0,005	0,001	0,001
	0,003	0,004	0,004	0,005	0,010	0,010
Benzo[ghi]perileno	0,045	0,035	0,035	0,071	0,018	0,018
	0,048	0,053	0,053	0,085	0,111	0,111
Indeno[1,2,3-cd]pireno	0,056	0,028	0,028	0,057	0,017	0,017
	0,070	0,070	0,070	0,061	0,094	0,094
<b>Suma PAHs</b>	<b>0,318</b>	<b>0,139</b>	<b>0,139</b>	<b>0,322</b>	<b>0,086</b>	<b>0,086</b>
	<b>0,395</b>	<b>0,419</b>	<b>0,419</b>	<b>0,409</b>	<b>0,472</b>	<b>0,472</b>

Fracción 6: < 0,49  $\mu\text{m}$   
Zona industrial

Compuesto	Concentración (ng/m <sup>3</sup> )					
	Invierno			Verano		
	Media Mediana	Mínimo Máximo	Percentilo 25 Percentilo 75	Media Mediana	Mínimo Máximo	Percentilo 25 Percentilo 75
Naftaleno	0,049	0,006	0,006	0,028	0,013	0,013
	0,067	0,076	0,076	0,028	0,042	0,042
Acenafteno	0,031	0,006	0,006	0,004	<0,001	<0,001
	0,009	0,078	0,078	0,004	0,008	0,008
Fluoreno	0,006	0,003	0,003	0,004	0,003	0,003
	0,003	0,013	0,013	0,004	0,005	0,005
Fenantreno	0,051	0,018	0,018	0,019	0,012	0,012
	0,027	0,107	0,107	0,019	0,025	0,025
Antraceno	0,019	0,004	0,004	0,003	0,002	0,002
	0,014	0,038	0,038	0,003	0,004	0,004
Fluoranteno	0,078	0,005	0,005	0,070	0,023	0,023
	0,072	0,158	0,158	0,070	0,117	0,117
Pireno	0,121	0,105	0,105	0,033	0,018	0,018
	0,113	0,145	0,145	0,033	0,048	0,048
Benz[a]antraceno	0,344	0,062	0,062	0,047	0,030	0,030
	0,422	0,547	0,547	0,047	0,064	0,064
Criseno	0,411	0,122	0,122	0,091	0,050	0,050
	0,346	0,765	0,765	0,091	0,131	0,131
Benzo[b]fluoranteno	0,836	0,320	0,320	0,378	0,141	0,141
	0,613	1,576	1,576	0,378	0,615	0,615
Benzo[k]fluoranteno	0,314	0,122	0,122	0,120	0,054	0,054
	0,265	0,555	0,555	0,120	0,186	0,186
Benzo[a]pireno	0,491	0,129	0,129	0,119	0,079	0,079
	0,412	0,933	0,933	0,119	0,159	0,159
Dibenz[a,h]antraceno	0,049	0,011	0,011	0,048	0,011	0,011
	0,025	0,110	0,110	0,048	0,085	0,085
Benzo[ghi]perileno	0,896	0,376	0,376	0,556	0,225	0,225
	0,674	1,637	1,637	0,556	0,886	0,886
Indeno[1,2,3-cd]pireno	0,717	0,263	0,263	0,338	0,130	0,130
	0,654	1,235	1,235	0,338	0,546	0,546
<b>Suma PAHs</b>	<b>4,413</b>	<b>1,560</b>	<b>1,560</b>	<b>1,857</b>	<b>0,799</b>	<b>0,799</b>
	<b>3,731</b>	<b>7,949</b>	<b>7,949</b>	<b>1,857</b>	<b>2,915</b>	<b>2,915</b>



Fracción: 6: < 0,49  $\mu\text{m}$   
Zona urbana

Compuesto	Concentración (ng/m <sup>3</sup> )					
	Invierno			Verano		
	Media Mediana	Mínimo Máximo	Percentilo 25 Percentilo 75	Media Mediana	Mínimo Máximo	Percentilo 25 Percentilo 75
Naftaleno	0,029	0,001	0,008	0,059	0,014	0,014
	0,016	0,102	0,017	0,033	0,131	0,131
Acenafteno	0,004	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	<0,001
	0,005	0,009	0,005	0,001	0,006	0,006
Fluoreno	0,009	0,006	0,007	0,010	0,003	0,003
	0,010	0,012	0,010	0,006	0,022	0,022
Fenantreno	0,048	0,013	0,051	0,043	0,019	0,019
	0,053	0,069	0,053	0,025	0,084	0,084
Antraceno	0,008	0,005	0,007	0,006	0,003	0,003
	0,007	0,012	0,008	0,003	0,011	0,011
Fluoranteno	0,061	0,039	0,049	0,094	0,028	0,028
	0,054	0,100	0,066	0,123	0,132	0,132
Pireno	0,110	0,059	0,103	0,055	0,029	0,029
	0,119	0,137	0,132	0,039	0,098	0,098
Benz[a]antraceno	0,157	0,078	0,123	0,116	0,072	0,072
	0,184	0,200	0,200	0,130	0,146	0,146
Criseno	0,216	0,119	0,190	0,139	0,075	0,075
	0,210	0,327	0,236	0,167	0,174	0,174
Benzo[b]fluoranteno	0,400	0,293	0,332	0,469	0,204	0,204
	0,376	0,541	0,456	0,478	0,723	0,723
Benzo[k]fluoranteno	0,154	0,109	0,122	0,149	0,089	0,089
	0,140	0,222	0,177	0,159	0,199	0,199
Benzo[a]pireno	0,250	0,173	0,213	0,184	0,091	0,091
	0,256	0,350	0,258	0,188	0,274	0,274
Dibenz[a,h]antraceno	0,023	0,020	0,022	0,042	0,012	0,012
	0,022	0,025	0,024	0,026	0,089	0,089
Benzo[ghi]perileno	0,781	0,537	0,606	0,725	0,303	0,303
	0,775	0,997	0,991	0,825	1,048	1,048
Indeno[1,2,3-cd]pireno	0,409	0,310	0,366	0,398	0,248	0,248
	0,398	0,509	0,462	0,393	0,552	0,552
Suma PAHs	2,658	2,099	2,255	2,492	1,198	1,198
	2,392	3,500	3,046	2,874	3,403	3,403

Fracción 6: < 0,49  $\mu\text{m}$   
Zona semi-rural

Compuesto	Concentración (ng/m <sup>3</sup> )					
	Invierno			Verano		
	Media Mediana	Mínimo Máximo	Percentilo 25 Percentilo 75	Media Mediana	Mínimo Máximo	Percentilo 25 Percentilo 75
Naftaleno	0,015	0,004	0,004	0,049	0,007	0,007
	0,015	0,026	0,026	0,024	0,117	0,117
Acenafteno	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	<0,001
	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,006	0,006
Fluoreno	0,002	0,001	0,001	0,003	0,001	0,001
	0,002	0,003	0,003	0,001	0,006	0,006
Fenantreno	0,008	0,004	0,004	0,008	0,005	0,005
	0,009	0,011	0,011	0,005	0,015	0,015
Antraceno	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001
	0,001	0,002	0,002	0,001	0,005	0,005
Fluoranteno	0,006	0,001	0,001	0,031	0,007	0,007
	0,006	0,010	0,010	0,026	0,061	0,061
Pireno	0,012	0,007	0,007	0,051	0,005	0,005
	0,013	0,016	0,016	0,012	0,136	0,136
Benz[a]antraceno	0,015	<0,001	<0,001	0,049	0,001	0,001
	0,022	0,024	0,024	0,005	0,141	0,141
Criseno	0,019	0,005	0,005	0,076	0,004	0,004
	0,025	0,026	0,026	0,008	0,217	0,217
Benzo[b]fluoranteno	0,083	0,025	0,025	0,131	0,013	0,013
	0,096	0,127	0,127	0,045	0,335	0,335
Benzo[k]fluoranteno	0,032	0,009	0,009	0,047	0,004	0,004
	0,033	0,053	0,053	0,013	0,125	0,125
Benzo[a]pireno	0,027	0,006	0,006	0,091	0,005	0,005
	0,034	0,039	0,039	0,025	0,244	0,244
Dibenz[a,h]antraceno	0,005	0,003	0,003	0,013	0,001	0,001
	0,007	0,007	0,007	0,014	0,025	0,025
Benzo[ghi]perileno	0,086	0,032	0,032	0,245	0,017	0,017
	0,095	0,131	0,131	0,102	0,615	0,615
Indeno[1,2,3-cd]pireno	0,091	0,028	0,028	0,150	0,014	0,014
	0,104	0,140	0,140	0,081	0,355	0,355
<b>Suma PAHs</b>	<b>0,401</b>	<b>0,126</b>	<b>0,126</b>	<b>0,950</b>	<b>0,084</b>	<b>0,084</b>
	<b>0,490</b>	<b>0,586</b>	<b>0,586</b>	<b>0,361</b>	<b>2,405</b>	<b>2,405</b>

## ANEXO III

*Concentraciones medias, mínimos, máximos, medianas y percentilos 25 y 75 expresadas en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  correspondientes a los VOCs estudiados intramuros y extramuros en las distintas zonas*

Zona industrial extramuros

N=4

	media	mínimo	máximo	mediana	percentilo 25	percentilo 75
Hexano	40,12	22,44	69,04	34,51	26,12	54,12
Heptano	16,37	11,78	18,52	17,59	14,64	18,10
Octano	8,04	6,49	9,88	7,89	6,58	9,49
Nonano	7,87	3,13	19,27	4,55	3,24	12,50
Decano	5,27	2,62	11,80	3,33	2,86	7,68
Undecano	3,91	1,71	9,62	2,16	1,83	5,99
Dodecano	1,62	0,69	3,92	0,94	0,75	2,49
Tridecano	0,83	0,39	1,86	0,54	0,40	1,26
<b>Suma Alcanos</b>	<b>84,04</b>	<b>50,52</b>	<b>113,05</b>	<b>86,29</b>	<b>57,82</b>	<b>110,26</b>
Metilciclopentano	7,09	4,61	9,57	7,09	4,64	9,54
Ciclohexano	6,89	3,91	8,59	7,53	5,50	8,28
Metilciclohexano	12,43	9,09	16,00	12,30	10,60	14,25
<b>Suma cicloalcanos</b>	<b>26,40</b>	<b>17,61</b>	<b>30,27</b>	<b>28,87</b>	<b>22,68</b>	<b>30,12</b>
Benceno	18,46	11,04	22,20	20,30	15,50	21,42
Tolueno	22,76	19,66	28,84	21,28	19,79	25,74
Etilbenceno	3,30	1,96	4,82	3,21	2,48	4,12
m+p-Xilenos	14,65	4,06	28,18	13,18	8,03	21,27
Estireno	0,11	0,02	0,19	0,12	0,05	0,17
o-Xileno	5,45	2,96	9,83	4,50	3,64	7,26
4-Etiltolueno	1,86	1,33	2,90	1,60	1,46	2,25
3-Etiltolueno	0,78	0,57	1,21	0,66	0,57	0,98
2-Etiltolueno	0,56	0,20	1,05	0,49	0,34	0,78
Naftaleno	0,33	0,08	0,70	0,26	0,14	0,51
<b>Suma aromáticos</b>	<b>68,25</b>	<b>42,60</b>	<b>88,87</b>	<b>70,78</b>	<b>53,29</b>	<b>83,22</b>
Clorobenceno	0,23	0,02	0,38	0,25	0,11	0,34
Tricloroetileno	0,29	0,05	0,86	0,12	0,05	0,52
Tetracloroetileno	0,48	0,01	1,63	0,14	0,05	0,91
<b>Suma clorados</b>	<b>0,99</b>	<b>0,16</b>	<b>2,86</b>	<b>0,47</b>	<b>0,27</b>	<b>1,72</b>
$\alpha$ - Pineno	0,16	0,02	0,34	0,13	0,03	0,28
$\beta$ - Pineno	0,04	<0,01	0,09	0,05	0,01	0,08
(+)-2-Careno	0,35	0,01	0,91	0,25	0,09	0,61
(+)-3-Careno	0,02	<0,01	0,07	0,01	<0,01	0,04
Limoneno	0,03	<0,01	0,12	0,01	<0,01	0,07
<b>Suma Terpenos</b>	<b>0,61</b>	<b>0,19</b>	<b>1,24</b>	<b>0,50</b>	<b>0,20</b>	<b>1,02</b>
<b>Suma VOCs</b>	<b>180,30</b>	<b>111,08</b>	<b>233,78</b>	<b>188,17</b>	<b>135,37</b>	<b>225,23</b>

## Zona industrial intramuros

N=21

	media	mínimo	máximo	mediana	percentilo 25	percentilo 75
Hexano	30,71	7,17	73,36	23,26	19,55	33,14
Heptano	14,32	4,49	31,49	13,49	11,21	16,64
Octano	8,08	2,40	16,84	6,58	5,81	9,90
Nonano	9,44	2,14	32,44	6,59	3,97	10,01
Decano	11,57	1,85	51,53	7,19	4,46	12,71
Undecano	14,25	1,07	57,15	5,62	3,13	18,51
Dodecano	6,20	0,35	45,10	2,10	1,32	4,94
Tridecano	3,24	0,21	27,66	0,97	0,56	2,36
<b>Suma Alcanos</b>	<b>97,81</b>	<b>47,93</b>	<b>313,58</b>	<b>85,10</b>	<b>55,11</b>	<b>116,73</b>
Metilciclopentano	7,35	2,25	23,15	5,90	4,65	9,31
Ciclohexano	6,44	2,34	24,87	5,41	3,52	7,41
Metilciclohexano	11,05	3,15	20,78	11,01	9,22	13,12
<b>Suma cicloalcanos</b>	<b>24,85</b>	<b>7,75</b>	<b>53,53</b>	<b>21,97</b>	<b>18,86</b>	<b>28,76</b>
Benceno	20,98	9,39	37,46	21,92	16,18	24,60
Tolueno	42,60	11,30	224,45	23,87	19,86	37,06
Etilbenceno	6,49	1,45	22,08	3,49	3,01	4,96
m+p-Xilenos	22,74	2,87	94,78	12,77	6,55	21,32
Estireno	0,37	0,11	1,36	0,29	0,20	0,41
o-Xileno	8,56	1,88	26,28	4,84	4,18	8,70
4-Etítolueno	8,00	1,14	79,84	2,37	1,55	3,90
3-Etítolueno	3,09	0,39	33,32	0,88	0,65	1,60
2-Etítolueno	2,26	0,18	20,82	0,78	0,52	1,73
Naftaleno	1,88	0,11	11,00	1,23	0,28	2,40
<b>Suma aromaticos</b>	<b>116,98</b>	<b>31,38</b>	<b>372,93</b>	<b>73,71</b>	<b>61,57</b>	<b>92,52</b>
Clorobenceno	0,15	0,01	0,44	0,12	0,02	0,28
Tricloroetileno	0,10	<0,01	0,72	0,04	0,03	0,08
Tetracloroetileno	0,12	0,01	1,28	0,06	0,04	0,08
<b>Suma clorados</b>	<b>0,37</b>	<b>0,07</b>	<b>1,64</b>	<b>0,30</b>	<b>0,13</b>	<b>0,45</b>
$\alpha$ - Pineno	2,65	0,19	28,23	0,86	0,53	1,40
$\beta$ - Pineno	1,32	0,05	9,53	0,58	0,22	1,42
(+)-2-Careno	5,76	0,01	26,34	2,98	0,05	8,39
(+)-3-Careno	0,02	<0,01	0,14	0,01	<0,01	0,02
Limoneno	12,20	<0,01	90,24	0,06	0,01	13,55
<b>Suma Terpenos</b>	<b>21,94</b>	<b>1,93</b>	<b>92,96</b>	<b>13,75</b>	<b>6,07</b>	<b>22,07</b>
<b>Suma VOCs</b>	<b>261,95</b>	<b>108,02</b>	<b>625,07</b>	<b>212,28</b>	<b>156,58</b>	<b>314,32</b>

## Zona urbana extramuros

N=13

	media	mínimo	máximo	mediana	percentilo 25	percentilo 75
Hexano	8,48	3,65	38,39	5,17	4,73	5,92
Heptano	2,63	1,49	3,25	2,64	2,35	3,00
Octano	1,01	<0,01	1,54	1,04	0,84	1,25
Nonano	1,31	0,65	4,58	1,04	0,77	1,30
Decano	1,65	0,84	3,88	1,48	0,93	1,70
Undecano	0,98	0,50	2,41	0,84	0,70	0,94
Dodecano	0,36	<0,01	1,21	0,32	0,26	0,37
Tridecano	0,25	<0,01	0,93	0,20	0,16	0,25
<b>Suma Alcanos</b>	<b>16,67</b>	<b>9,23</b>	<b>54,78</b>	<b>13,18</b>	<b>11,54</b>	<b>15,61</b>
Metilciclopentano	1,66	<0,01	2,65	1,73	1,38	2,10
Ciclohexano	1,35	0,46	2,70	1,35	1,14	1,56
Metilciclohexano	1,42	0,82	1,81	1,40	1,27	1,68
<b>Suma cicloalcanos</b>	<b>4,43</b>	<b>2,21</b>	<b>5,93</b>	<b>4,57</b>	<b>4,08</b>	<b>4,97</b>
Benceno	4,37	2,91	7,69	3,88	3,54	5,17
Tolueno	10,95	5,98	19,65	9,40	7,73	13,49
Etilbenceno	2,05	1,03	3,74	1,67	1,36	2,78
m+p-Xilenos	8,22	2,46	20,28	7,01	5,48	9,45
Estireno	0,13	0,00	0,29	0,10	0,04	0,22
o-Xileno	2,55	1,05	5,83	1,97	1,55	3,37
4-Etítolueno	1,37	<0,01	3,86	1,17	0,97	1,65
3-Etítolueno	0,54	<0,01	1,62	0,44	0,35	0,60
2-Etítolueno	0,39	<0,01	1,31	0,30	0,26	0,43
Naftaleno	0,73	<0,01	7,20	0,07	0,05	0,40
<b>Suma aromaticos</b>	<b>31,30</b>	<b>16,71</b>	<b>57,62</b>	<b>25,69</b>	<b>20,23</b>	<b>37,56</b>
Clorobenceno	0,01	<0,01	0,03	<0,01	<0,01	0,01
Tricloroetileno	0,14	<0,01	1,22	0,02	<0,01	0,10
Tetracloroetileno	2,31	<0,01	21,51	0,08	0,01	1,50
<b>Suma clorados</b>	<b>2,45</b>	<b>0,01</b>	<b>22,73</b>	<b>0,12</b>	<b>0,02</b>	<b>1,67</b>
α - Pineno	0,07	<0,01	0,28	0,05	0,04	0,09
β - Pineno	0,03	<0,01	0,11	0,02	0,01	0,02
(+)-2-Careno	0,62	<0,01	1,55	0,46	0,21	0,84
(+)-3-Careno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Limoneno	0,03	<0,01	0,23	<0,01	<0,01	<0,01
<b>Suma Terpenos</b>	<b>0,75</b>	<b>0,16</b>	<b>1,70</b>	<b>0,51</b>	<b>0,32</b>	<b>1,23</b>
<b>Suma VOCs</b>	<b>55,61</b>	<b>31,14</b>	<b>140,96</b>	<b>45,48</b>	<b>38,43</b>	<b>55,71</b>

## Zona urbana intramuros

N=23

	media	mínimo	máximo	mediana	percentilo 25	percentilo 75
Hexano	8,34	3,49	28,99	6,30	4,56	8,07
Heptano	5,49	1,81	29,92	3,33	2,45	4,41
Octano	3,83	0,78	34,78	1,81	1,05	3,27
Nonano	13,00	0,58	71,14	5,17	1,41	10,77
Decano	22,46	0,91	107,76	9,03	2,70	29,02
Undecano	16,45	0,57	111,67	5,53	3,20	13,90
Dodecano	3,95	0,24	25,23	2,47	0,69	3,07
Tridecano	0,99	0,00	3,44	0,82	0,28	1,56
<b>Suma Alcanos</b>	<b>74,51</b>	<b>12,41</b>	<b>323,10</b>	<b>42,40</b>	<b>21,38</b>	<b>73,83</b>
Metilciclopentano	2,44	1,21	7,90	2,12	1,74	2,65
Ciclohexano	3,72	0,79	15,45	2,23	1,54	4,60
Metilciclohexano	8,08	1,03	97,97	2,37	1,50	4,15
<b>Suma cicloalcanos</b>	<b>14,24</b>	<b>4,17</b>	<b>106,35</b>	<b>7,72</b>	<b>5,62</b>	<b>10,42</b>
Benceno	5,14	2,30	20,59	4,55	3,22	5,65
Tolueno	18,61	2,37	48,66	13,96	11,15	22,11
Etilbenceno	2,59	1,29	6,60	2,15	1,74	3,49
m+p-Xilenos	9,06	2,37	17,13	7,82	5,41	13,36
Estireno	0,61	0,11	6,60	0,29	0,23	0,43
o-Xileno	3,18	1,47	9,13	2,51	1,88	3,77
4-Etiltolueno	6,27	0,84	48,38	1,99	1,25	4,51
3-Etiltolueno	2,45	0,32	19,46	0,73	0,50	1,71
2-Etiltolueno	2,15	0,27	14,04	0,79	0,42	1,57
Naftaleno	4,76	0,06	81,52	0,36	0,14	1,52
<b>Suma aromaticos</b>	<b>54,83</b>	<b>20,54</b>	<b>161,13</b>	<b>42,10</b>	<b>31,21</b>	<b>73,81</b>
Clorobenceno	0,34	<0,01	2,26	0,01	<0,01	0,20
Tricloroetileno	0,18	<0,01	1,92	0,03	0,01	0,10
Tetracloroetileno	1,67	0,01	15,51	0,16	0,05	0,42
<b>Suma clorados</b>	<b>2,19</b>	<b>0,01</b>	<b>15,59</b>	<b>0,39</b>	<b>0,15</b>	<b>2,31</b>
α - Pineno	0,85	0,23	2,67	0,72	0,51	0,85
β - Pineno	0,72	0,06	2,32	0,66	0,34	0,97
(+)-2-Careno	13,58	<0,01	86,30	4,83	1,64	17,63
(+)-3-Careno	0,03	<0,01	0,27	<0,01	<0,01	0,01
Limoneno	1,25	<0,01	16,01	<0,01	<0,01	0,05
<b>Suma Terpenos</b>	<b>16,44</b>	<b>0,77</b>	<b>89,88</b>	<b>9,92</b>	<b>3,55</b>	<b>19,35</b>
<b>Suma VOCs</b>	<b>162,21</b>	<b>44,26</b>	<b>482,42</b>	<b>109,32</b>	<b>76,81</b>	<b>232,89</b>

## Zona semi-rural extramuros

N=5

	media	mínimo	máximo	mediana	percentilo 25	percentilo 75
Hexano	6,87	1,89	21,23	3,33	2,55	5,36
Heptano	1,11	0,66	1,77	0,94	0,73	1,45
Octano	0,46	0,23	0,74	0,45	0,34	0,57
Nonano	0,65	0,41	0,80	0,76	0,53	0,77
Decano	1,06	0,64	2,01	0,88	0,86	0,92
Undecano	0,67	0,44	1,06	0,64	0,55	0,68
Dodecano	0,21	0,14	0,40	0,18	0,14	0,19
Tridecano	0,20	0,07	0,57	0,10	0,09	0,17
<b>Suma Alcanos</b>	<b>11,24</b>	<b>6,97</b>	<b>25,44</b>	<b>7,94</b>	<b>7,02</b>	<b>8,85</b>
Metilciclopentano	0,80	0,39	1,06	0,93	0,56	1,05
Ciclohexano	0,55	0,31	0,73	0,53	0,48	0,72
Metilciclohexano	0,59	0,38	0,79	0,66	0,42	0,70
<b>Suma cicloalcanos</b>	<b>1,94</b>	<b>1,29</b>	<b>2,57</b>	<b>2,16</b>	<b>1,49</b>	<b>2,19</b>
Benceno	2,14	1,60	2,42	2,28	2,09	2,29
Tolueno	5,52	3,79	9,82	4,71	4,46	4,84
Etilbenceno	0,72	0,49	1,11	0,74	0,50	0,75
m+p-Xilenos	2,61	0,86	4,67	2,67	2,13	2,73
Estireno	0,06	0,01	0,09	0,06	0,05	0,08
o-Xileno	0,83	0,57	1,36	0,75	0,68	0,79
4-Etiltolueno	0,56	0,18	0,85	0,60	0,47	0,71
3-Etiltolueno	0,24	0,09	0,39	0,21	0,16	0,36
2-Etiltolueno	0,20	0,03	0,33	0,17	0,14	0,31
Naftaleno	0,11	0,03	0,20	0,11	0,05	0,15
<b>Suma aromaticos</b>	<b>12,99</b>	<b>9,06</b>	<b>20,42</b>	<b>11,77</b>	<b>10,84</b>	<b>12,87</b>
Clorobenceno	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Tricloroetileno	0,34	<0,01	1,57	0,01	<0,01	0,13
Tetracloroetileno	0,31	<0,01	1,35	0,04	<0,01	0,15
<b>Suma clorados</b>	<b>0,65</b>	<b>0,00</b>	<b>2,91</b>	<b>0,06</b>	<b>0,01</b>	<b>0,27</b>
$\alpha$ - Pineno	0,12	0,04	0,26	0,11	0,04	0,15
$\beta$ - Pineno	0,05	<0,01	0,15	0,02	0,01	0,07
(+)-2-Careno	0,21	<0,01	0,49	0,18	0,16	0,22
(+)-3-Careno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Limoneno	0,02	<0,01	0,09	<0,01	<0,01	<0,01
<b>Suma Terpenos</b>	<b>0,40</b>	<b>0,14</b>	<b>0,91</b>	<b>0,35</b>	<b>0,20</b>	<b>0,40</b>
<b>Suma VOCs</b>	<b>27,23</b>	<b>17,57</b>	<b>41,59</b>	<b>24,56</b>	<b>22,49</b>	<b>29,93</b>

## Zona semi-rural intramuros

N=22

	media	mínimo	máximo	mediana	percentilo 25	percentilo 75
Hexano	10,87	3,88	49,25	7,11	4,63	13,10
Heptano	3,81	0,56	14,77	2,63	1,84	5,69
Octano	2,59	0,41	8,42	1,60	1,22	3,52
Nonano	8,56	0,78	58,62	2,74	2,26	9,65
Decano	14,97	1,12	147,27	7,85	2,96	9,59
Undecano	13,51	0,92	100,87	5,52	2,41	11,32
Dodecano	4,88	0,24	22,40	1,52	0,93	5,15
Tridecano	2,06	0,15	11,70	0,94	0,41	1,93
<b>Suma Alcanos</b>	<b>58,78</b>	<b>10,44</b>	<b>394,39</b>	<b>38,79</b>	<b>19,10</b>	<b>58,60</b>
Metilciclopentano	3,66	0,83	11,37	2,63	1,39	5,14
Ciclohexano	5,77	0,64	90,93	1,59	1,13	2,20
Metilciclohexano	3,13	0,50	15,18	1,56	1,12	4,40
<b>Suma cicloalcanos</b>	<b>12,57</b>	<b>2,72</b>	<b>96,57</b>	<b>7,36</b>	<b>4,08</b>	<b>11,88</b>
Benceno	7,08	1,72	17,13	4,51	3,58	11,41
Tolueno	27,54	3,75	159,00	16,98	8,53	26,20
Etilbenceno	4,74	0,60	45,62	1,65	1,02	2,50
m+p-Xilenos	16,66	0,84	193,02	4,44	2,96	10,04
Estireno	0,49	0,01	1,18	0,34	0,20	0,82
o-Xileno	5,12	0,70	48,55	1,75	1,08	2,79
4-Etiltolueno	3,04	0,56	15,85	1,23	0,84	3,41
3-Etiltolueno	1,17	0,19	5,82	0,48	0,31	1,45
2-Etiltolueno	1,07	0,16	6,03	0,47	0,29	1,07
Naftaleno	2,21	0,07	21,20	0,75	0,22	2,10
<b>Suma aromaticos</b>	<b>69,13</b>	<b>9,46</b>	<b>479,05</b>	<b>38,05</b>	<b>29,86</b>	<b>77,34</b>
Clorobenceno	0,37	<0,01	2,51	0,02	0,01	0,15
Tricloroetileno	0,56	<0,01	9,74	0,02	0,01	0,13
Tetracloroetileno	0,09	0,01	0,61	0,04	0,01	0,13
<b>Suma clorados</b>	<b>1,02</b>	<b>0,02</b>	<b>9,90</b>	<b>0,20</b>	<b>0,09</b>	<b>1,11</b>
$\alpha$ - Pineno	2,38	0,24	15,78	1,28	0,62	3,05
$\beta$ - Pineno	1,98	0,11	11,19	1,37	0,44	2,29
(+)-2-Careno	15,09	<0,01	135,76	1,43	0,03	13,91
(+)-3-Careno	0,04	<0,01	0,26	0,01	<0,01	0,03
Limoneno	11,23	<0,01	84,41	0,19	<0,01	10,94
<b>Suma Terpenos</b>	<b>30,73</b>	<b>1,50</b>	<b>141,55</b>	<b>17,64</b>	<b>8,32</b>	<b>39,39</b>
<b>Suma VOCs</b>	<b>172,23</b>	<b>27,83</b>	<b>986,38</b>	<b>121,18</b>	<b>87,13</b>	<b>175,49</b>



## Zona residencial extramuros

N=1

	<b>concentración</b>
Hexano	3,20
Heptano	1,65
Octano	0,53
Nonano	0,56
Decano	0,97
Undecano	0,65
Dodecano	0,21
Tridecano	0,01
<b>Suma Alcanos</b>	<b>7,78</b>
Metilciclopentano	1,17
Ciclohexano	0,75
Metilciclohexano	0,92
<b>Suma cicloalcanos</b>	<b>2,84</b>
Benceno	2,23
Tolueno	5,28
Etilbenceno	1,20
m+p-Xilenos	5,04
Estireno	0,03
o-Xileno	1,40
4-Etiltolueno	0,66
3-Etiltolueno	0,23
2-Etiltolueno	0,20
Naftaleno	0,07
<b>Suma aromaticos</b>	<b>16,33</b>
Clorobenceno	<0,01
Tricloroetileno	0,02
Tetracloroetileno	0,04
<b>Suma clorados</b>	<b>0,07</b>
$\alpha$ - Pineno	0,13
$\beta$ - Pineno	0,03
(+)-2-Careno	0,53
(+)-3-Careno	<0,01
Limoneno	<0,01
<b>Suma Terpenos</b>	<b>0,69</b>
<b>Suma VOCs</b>	<b>27,71</b>

## Zona residencial intramuros

N=14

	media	mínimo	máximo	mediana	percentilo 25	percentilo 75
Hexano	12,34	2,61	49,31	4,64	2,91	18,36
Heptano	5,75	1,34	31,30	2,10	1,73	8,53
Octano	2,91	0,48	8,76	1,42	1,03	5,74
Nonano	7,16	0,82	20,61	4,34	3,84	10,11
Decano	14,32	1,06	43,88	10,27	5,57	1,73
Undecano	13,54	1,02	49,46	10,07	3,36	1,03
Dodecano	3,08	0,48	9,46	1,97	1,02	4,22
Tridecano	0,91	0,27	4,10	0,61	0,38	0,97
<b>Suma Alcanos</b>	<b>60,00</b>	<b>11,75</b>	<b>127,24</b>	<b>61,88</b>	<b>26,95</b>	<b>76,06</b>
Metilciclopentano	2,99	0,50	11,40	1,33	0,86	3,02
Ciclohexano	2,27	0,04	5,76	1,51	0,78	3,97
Metilciclohexano	4,33	0,67	21,29	1,88	1,17	5,71
<b>Suma cicloalcanos</b>	<b>9,58</b>	<b>2,00</b>	<b>37,03</b>	<b>6,38</b>	<b>2,92</b>	<b>12,95</b>
Benceno	4,91	1,76	15,26	3,99	2,44	6,21
Tolueno	24,18	4,62	72,63	15,49	7,60	34,22
Etilbenceno	6,64	0,72	46,60	2,06	1,55	4,18
m+p-Xilenos	27,22	1,32	223,74	6,09	4,34	13,17
Estireno	0,39	0,04	1,82	0,25	0,18	0,33
o-Xileno	6,97	0,82	50,09	2,10	1,68	3,97
4-Etiltolueno	3,86	0,54	14,12	2,09	1,05	4,26
3-Etiltolueno	1,61	0,22	6,65	0,82	0,43	1,72
2-Etiltolueno	1,17	0,19	3,41	0,82	0,39	1,25
Naftaleno	2,74	0,08	25,06	0,49	0,20	1,40
<b>Suma aromaticos</b>	<b>79,68</b>	<b>12,72</b>	<b>412,99</b>	<b>33,88</b>	<b>27,28</b>	<b>74,65</b>
Clorobenceno	0,09	<0,01	0,40	0,02	<0,01	0,15
Tricloroetileno	0,56	0,02	6,55	0,04	0,03	0,11
Tetracloroetileno	1,66	0,04	14,56	0,20	0,10	0,42
<b>Suma clorados</b>	<b>2,31</b>	<b>0,09</b>	<b>14,86</b>	<b>0,38</b>	<b>0,19</b>	<b>0,69</b>
$\alpha$ - Pineno	1,76	0,30	4,28	1,50	0,80	2,70
$\beta$ - Pineno	1,35	0,16	3,66	1,41	0,44	1,88
(+)-2-Careno	8,15	0,01	25,58	4,37	0,03	12,69
(+)-3-Careno	0,04	<0,01	0,19	0,01	<0,01	0,05
Limoneno	13,17	<0,01	73,83	0,03	0,01	13,35
<b>Suma Terpenos</b>	<b>24,48</b>	<b>2,18</b>	<b>78,21</b>	<b>17,42</b>	<b>5,44</b>	<b>30,31</b>
<b>Suma VOCs</b>	<b>176,04</b>	<b>53,44</b>	<b>578,83</b>	<b>119,36</b>	<b>98,96</b>	<b>197,59</b>

## ANEXO IV

*Resultados del ensayo de mutagenicidad de extractos orgánicos provenientes de distintas fracciones de material particulado en suspensión de zonas industrial, urbana y semi-rural*

Muestra	Dosis <sup>a</sup>	Rev/placa <sup>b</sup>	Resultado <sup>c</sup>	Rev l/ mg <sup>d</sup>	r <sup>2e</sup>	Rev l/m <sup>3f</sup>	
<b>Verano 2000</b>							
<b>Urbana</b>							
Fracción 10-3 µm	0,00 <sup>g</sup>	40,0 ± 4					
	0,94	70,0 (82-58)	NM	0,09	ns	<0,01	
	3,75	74,5 (60-89)					
	7,50	74,5 (62-87)					
Fracción 3-0,49 µm	11,24	59,0 (55-63)					
	0,85	63,0 (60-66)	ND	3,79	0,7213	0,02	
	1,70	70,0 (83-57)					
	2,55	76,5 (71-82)					
Fracción < 0,49µm	4,25	81,0 (94-68)					
	1,00	84,0 ± 11	M	37,34	0,9981	0,30	
	2,00	112,0 ± 9					
	4,01	179,0 ± 15					
Industrial	10,03	432,0 ± 35					
	0,00 <sup>g</sup>	50,0 ± 10					
	Fracción 10-3 µm	1,14	66,0 (68-64)	NM	0,05	ns	<0,01
		4,57	53,0 (57-49)				
6,86		59,0 (65-53)					
13,72		62,5 (64-61)					
Fracción 3-0,49 µm	1,15	89,0 ± 32	M	26,00	0,9924	0,40	
	2,31	104,0 ± 12					
	3,46	141,0 ± 21					
	6,35	215,0 ± 22					
Fracción < 0,49µm	0,98	82,0 ± 18	M	34,05	0,9637	0,59	
	1,96	124,0 ± 11					
	3,92	228,0 ± 25					
	9,80	365,0 ± 21					
<b>Semi-rural 1</b>							
Fracción 10-3 µm	0,00 <sup>g</sup>	44,0 ± 5					
	1,76	59,0 (65-53)	NM	0,22	ns	<0,01	
	3,52	73,0 (69-77)					
	5,27	82,0 (64-100)					
Fracción 3-0,49 µm	10,55	63,5 (61-66)					
	1,04	102,0 (104-100)	ND	42,21	ns	0,13	
	1,74	117,0 (110-124)					
	2,78	151,0 (148-154)					
Fracción < 0,49µm	1,86	131,0 (127-135)	M	31,18	0,9649	0,17	
	4,65	209,0 (200-218)					
	9,3	319,0 (205-285)					

Muestra	Dosis <sup>a</sup>	Rev/placa <sup>b</sup>	Resultado <sup>c</sup>	Rev I/ mg <sup>d</sup>	r <sup>2e</sup>	Rev I/m <sup>3f</sup>
<b>Semi-rural 2</b>	0,00 <sup>g</sup>	43,8 ± 9				
Fracción 10-3 µm	1,45	44,0 (40-48)	NM	0,11	ns	<0,01
	2,90	53,0 (49-57)				
	5,80	50,0 (47-53)				
	7,25	49,0 (45-53)				
Fracción 3-0,49 µm	1,72	78,0 (73-83)	ND	17,61	ns	0,05
	2,00	77,0 (74-80)				
	2,29	78,0 (75-81)				
	2,86	98,0 (91-105)				
Fracción < 0,49µm	1,85	109,0 (99-119)	M	30,20	0,9694	0,10
	3,69	173,0 (169-177)				
	6,46	226,0 (219-233)				
<b>Invierno 2000</b>						
<b>Urbana</b>	0,00 <sup>g</sup>	43,8 ± 9				
Fracción 10-3 µm	0,9	40,0 (37-43)	NM	0,23	ns	<0,01
	1,97	58,0 (55-61)				
	3,95	73,0 (69-77)				
	4,93	52,0 (48-56)				
Fracción 3-0,49 µm	0,61	71,0 (68-74)	M	50,91	0,9793	0,28
	0,81	86,0 (80-92)				
	1,21	115,0 (104-126)				
	1,61	120,0(107-133)				
	2,02	146,0 (138-154)				
Fracción < 0,49µm	0,94	73,0 ± 12	M	42,62	0,9319	1,11
	1,90	155,0 (146-164)				
	3,77	241,0 (232-250)				
	6,60	297,0 ± 40				
<b>Industrial</b>	0,00 <sup>g</sup>	45,0 ± 8				
Fracción 10-3 µm	0,86	96,0 (87-105)	ND	8,98	ns	0,08
	3,46	79,0 (70-88)				
	6,91	121,0 (113-129)				
	8,64	106,0 (99-113)				
Fracción 3-0,49 µm	0,72	138,0 (134-142)	M	87,33	0,9656	1,20
	2,15	254,5 (236-273)				
	3,59	339,5 (373-306)				
	6,46	262,5 (250-275)				
Fracción < 0,49µm	1,05	162,5 ± 16	M	47,29	0,5632	1,22
	2,10	254,5 ± 25				
	4,20	282,0 ± 42				
	7,35	329,5 ± 45				

Muestra	Dosis <sup>a</sup>	Rev/placa <sup>b</sup>	Resultado <sup>c</sup>	Rev l/ mg <sup>d</sup>	r <sup>2 e</sup>	Rev l/m <sup>3f</sup>
<b>Verano 2001</b>						
<b>Urbana</b>	0,00 <sup>g</sup>	48,0 ± 4				
Fracción 10-3 µm	1,10	42,5 (40-45)	NM	0,01	ns	<0,01
	2,21	41,5 (35-48)				
	2,94	50 (49-51)				
	3,68	52 (50-54)				
Fracción 3-0,49 µm	0,72	51,5 (42-59)	ND	13,77	ns	0,05
	1,44	58,0 (54-62)				
	1,92	72,0 (69-75)				
	2,40	91,0 (90-92)				
Fracción < 0,49µm	1,37	84,0 ± 22	M	28,07	0,9808	0,34
	3,54	173,0 ± 14				
	6,20	214,0 ± 15				
	8,85	292,0 ± 20				
<b>Industrial</b>	0,00 <sup>g</sup>	34,0 ± 5				
Fracción 10-3 µm	0,66	37,0 ± 4	NM	0,06	ns	<0,01
	1,33	52,0 ± 8				
	7,30	35,0 ± 10				
Fracción 3-0,49 µm	0,81	45,0 ± 11	M	11,17	0,9377	0,07
	2,43	72,0 ± 14				
	5,26	82,0 ± 10				
	6,88	115,0 ± 12				
Fracción < 0,49µm	0,80	87,0 ± 9	M	29,97	0,9019	0,24
	1,59	104,0 ± 15				
	3,18	140,0 ± 21				
	6,36	210,0 ± 25				
<b>Semi-rural</b>	0,00 <sup>g</sup>	45,6 ± 13				
Fracción 10-3 µm	2,06	32,0 (29-35)	NM	<0,01	ns	<0,01
	4,12	57,0 (53-61)				
	8,24	48,0 (46-50)				
	14,41	39,5 (36-43)				
Fracción 3-0,49 µm	1,04	45,0 (36-54)	M	7,19	0,9770	0,04
	4,16	72,0 (66-78)				
	5,20	82,0 (80-84)				
	7,80	102,5 (94-111)				
	9,36	116,0 (114-118)				
Fracción < 0,49µm	1,36	41,0 (35-47)	M	2,50	0,8536	0,01
	3,26	49,5 (39-60)				
	6,52	61,0 (53-69)				
	9,78	74,0 (73-75)				

Muestra	Dosis <sup>a</sup>	Rev/placa <sup>b</sup>	Resultado <sup>c</sup>	Rev l/ mg <sup>d</sup>	r <sup>2 e</sup>	Rev l/m <sup>3f</sup>
<b>Invierno 2001</b>						
<b>Industrial</b>	0,00 <sup>g</sup>	42,6 ± 10				
Fracción 10-3 µm	1,95	48,0 (42-54)	NM	0,03	ns	<0,01
	3,90	33,5 (52-35)				
	7,80	51,0 (50-52)				
	11,70	58,0 (56-60)				
Fracción 3-0,49 µm	0,86	47,0 ± 10	M	9,25	0,9550	0,04
	1,72	63,0 ± 9				
	3,87	86,0 ± 11				
	6,03	95,0 ± 4				
Fracción <0,49 µm	1,64	77,0 ± 10	M	16,16	0,9750	0,14
	3,29	94,0 ± 2				
	6,57	164,0 ± 14				
	9,86	192,0 ± 16				
<b>Semi-rural</b>	0,00 <sup>g</sup>	44,0 ± 3				
Fracción 10-3 µm	0,64	45,0 (44-47)	NM	<0,01	ns	<0,01
	1,29	39,0 (37-41)				
	1,93	41,0 (39-43)				
	3,22	50,0 (49-51)				
Fracción 3-0,49 µm	0,68	46,0 (41-51)	NM	2,07	ns	0,01
	1,35	44,0 (43-45)				
	1,69	49,5 (45-54)				
	3,04	49,5(48-51)				
Fracción <0,49 µm	0,82	43,0 ± 10	M	13,39	0,8202	0,07
	1,53	45,0 ± 8				
	2,55	82,0 ± 7				
	4,08	106,0 ± 9				
<b>Invierno 2002</b>						
<b>Urbana</b>	0,00 <sup>g</sup>	50,0 ± 5				
Fracción 10-3 µm	1,39	49,7 ± 6	ND	0,13	ns	< 0,01
	2,77	59,0 ± 10				
	5,54	87,3 ± 22				
	11,08	126,5 ± 30				
Fracción 3-0,49 µm	1,02	129,3,0 ± 35	ND	0,38	ns	< 0,01
	3,06	106,5 ± 30				
	7,14	110,0 ± 25				
Fracción <0,49 µm	1,57	130,3 ± 34	M	48,84	0,9755	0,57
	3,14	191,3 ± 40				
	6,28	405,0 ± 40				
	9,42	481,3 ± 26				

Muestra	Dosis <sup>a</sup>	Rev/placa <sup>b</sup>	Resultado <sup>c</sup>	Rev l/ mg <sup>d</sup>	r <sup>2e</sup>	Rev l/m <sup>3f</sup>
Fracción < 0,49µm Sin S9	0,00	47± 9	M	20,58	0,9926	0,24
	1,57	90,3± 10				
	3,14	115,3± 12				
	6,28	179± 20				
	9,42	236± 25				
<b>Industrial</b>	0,00 <sup>g</sup>	50,0 ± 5				
Fracción 10-3 µm	1,48	109 (108-110)	ND	0,72	ns	< 0,10
	2,96	165,5 (105-113)				
	4,44	122,5 (120-125)				
	7,40	161,5 (155-168)				
Fracción 3-0,49 µm	1,44	53 (48-58)	M	26,30	0,7713	0,16
	4,32	44 (40-80)				
	7,20	299 (245-353)				
	10,08	331 (325-337)				
Fracción <0,49 µm	1,27	128,0 ± 14	M	43,76	0,9044	0,40
	3,39	243,0 ± 10				
	6,80	252,3 ± 15				
	10,20	546,5 ± 50				
Fracción <0,49 µm Sin S9	0,00 <sup>g</sup>	50,0 ± 5	ND	ND	ns	ND
	6,80	178,5 (172-185)				
	10,20	209,5 (184-235)				

Todos los extractos fueron ensayados con activación metabólica (S9) excepto donde indica sin S9

<sup>a</sup> Dosis (mg/placa) está dada como mg equivalentes del extracto original de material particulado por placa.

<sup>b</sup> Cada dato está referido a la media de dos placas y valores medidos entre paréntesis o la media ± SD de tres placas.

<sup>c</sup> El resultado fue calculado por "modified twofold increase rule" (USEPA, 1983) como NM: no mutagénico, M: mutagénico, ND: indefinido en las condiciones experimentales (número de diluciones) usadas para la prueba.

<sup>d</sup> Revertantes inducidos/mg de material particulado, calculado por regresión lineal de la parte lineal de la curva dosis-respuesta.

<sup>e</sup> Coeficiente de correlación r<sup>2</sup> calculado por regresión lineal de la curva dosis-respuesta considerando revertantes inducidos.

<sup>f</sup> Revertantes inducidos/m<sup>3</sup> calculado sobre la base del contenido de material particulado/ m<sup>3</sup> de aire.

<sup>g</sup> Revertantes control.

ns: no significativo.



Biblioteca Central  
Fac. Cs. Exactas  
U.N.L.P

DONACION.....  
A.....  
Fecha. 16.09.09.....  
Inv. R..... Inv..... B. 57.167