

# RETOS FUTUROS DE LA EXPOSICIÓN PERSONAL A CONTAMINANTES EN AIRE

## *FUTURE CHALLENGES REGARDING PERSONAL EXPOSURE TO AIR POLLUTANTS*

Pascual Pérez Ballesta

European Commission. Joint Research Centre. Institute for Environment and Sustainability.

### RESUMEN

El concepto de exposición de la población como un indicador directo del impacto de la contaminación sobre la salud pública es una consecuencia lógica del hecho de definir como objetivo primordial de las medidas de calidad del aire la protección de la salud del individuo. En este artículo se presenta la exposición a contaminantes en aire en diversos ámbitos como: la higiene industrial, la contaminación de ambientes interiores y su repercusión sobre la legislación de calidad del aire. La disminución del riesgo de salud de la población a la exposición de contaminantes en aire abre numerosos retos a la hora de definir indicadores de exposición, estrategias de control y evaluaciones efectivas de la exposición de la población.

**PALABRAS CLAVE:** Exposición personal. Calidad del aire. Contaminación atmosférica.

### INTRODUCCIÓN

Desde la Directiva cuadro europea de 1996 (96/62 EC)<sup>1</sup>, la calidad del aire ha sido una de las legislaciones que más se ha desarrollado y renovado en los últimos años. En dicha legislación se han establecido límites para los principales contaminantes en aire, tanto en aquellos que presentan efectos agudos o crónicos sobre la salud del individuo (NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, PM<sub>10</sub>)<sup>2,3</sup>, como en aquellos otros que están asociados a riesgo de cáncer (benceno, benzo-a-pireno, metales pesados)<sup>4,5</sup>.

Sin embargo, uno de los objetivos más importantes de esta legislación "proteger la salud humana" mediante la medida y el establecimiento de valores límites para los principales contaminantes en aire parece desamparado cuando se cuestionan aspectos como la representatividad de la medida o el grado de protección que ofrece el valor límite establecido en relación al nivel de exposición de la población –en general– y de grupos vulnerables o sensibles –en particular–. En este sentido la reciente propuesta de Directiva CAFE (Clean Air for Europe)<sup>6</sup>, considera la

### ABSTRACT

The concept of population exposure as a direct indicator of the impact of pollution on public health is a consequence of the fact that the final aim of air quality measurements is the protection of the individuals' health. This article presents a picture of the exposure to air pollutants in different environments: industrial hygiene, indoor pollution and air quality legislation. The reduction of the health risk of the population to air pollution exposure opens new challenges when defining exposure indicators, control strategies and an effective assessment human exposure.

**KEY WORDS:** Personal exposure. Air quality. Atmospheric pollution.

exposición de la población como uno de los factores críticos en la política de calidad del aire. Sin embargo, su aplicación práctica se limita a garantizar una mejor representatividad de la exposición de la población mediante medidas de calidad del aire basadas en una selección precisa y adecuada de los puntos fijos de muestro.

Para ciertos contaminantes el nivel de exposición medio en muestras de población es, en general, mayor que el valor medio ambiental. Visto que la legislación vigente está regida por medidas de aire ambiente, la cuestión subyacente es si el control de estos valores ambientales es suficiente o eficaz en la limitación de la exposición de la población. Aspectos como la contaminación en interiores, actividad, costumbres sociales parecen influir significativamente en los niveles de exposición de la población a contaminantes en aire.

La medida de exposición de la población como un indicador adecuado del impacto sobre la salud de la contaminación ambiental nos lleva a una serie de im-

portantes cuestiones que enmarcan la tendencia futura en el control de la contaminación y la protección de la salud pública. De este modo, a la hora de abordar el problema del control de la exposición se destaca como puntos de interés:

- La definición de índices de calidad del aire y su correlación con los niveles de contaminación<sup>7,8</sup>.
- La evaluación de los efectos sobre la salud humana mediante indicadores apropiados (mortalidad o morbilidad: admisiones en hospitales, emergencias, consultas médicas, medicinas, etc.) y su correlación con los niveles de contaminación ambiental<sup>9</sup>.
- La identificación de fuentes interiores y exteriores de emisión, su interacción, la evaluación de microambientes, así como el estudio de la afección del comportamiento individual sobre los niveles de exposición personal.
- La ratificación o definición de medidas ambientales apropiadas, que actúen como indicadores efectivos de la exposición personal y consecuentemente de su impacto en la salud.

A su vez, como objetivos estratégicos que definen acciones específicas a medio plazo, se puede destacar:

- La evaluación de la situación actual de los niveles de exposición de los ciudadanos europeos.
- La protección de poblaciones sensibles a la contaminación, evaluación de la exposición real de dichos grupos (niños, ancianos, diabéticos, asmáticos, etc.) y aplicación de acciones adecuadas.

- Información efectiva al público sobre el impacto de la contaminación y de futuros eventos o episodios de contaminación a fines preventivos.
- El establecimiento de directrices políticas adecuadas para la gestión y control de los niveles tanto de la población general como de grupos vulnerables.

## CONTAMINACIÓN EN AMBIENTES DE TRABAJO, INTERIORES Y EXTERIORES

### Ambientes de trabajo

El concepto de exposición a contaminantes químicos tiene su principal aplicación en ambientes de trabajo (higiene industrial), donde la relación entre contaminación y efecto sobre la salud es directa. Estudios epidemiológicos llevados a cabo en ambientes de trabajo han procurado datos iniciales para la estimación de niveles de riesgo en la exposición de contaminantes a concentraciones ambientales y consecuentemente propuestas para los estándares de calidad del aire<sup>10-12</sup>. La evaluación del nivel de exposición en lugares de trabajo se efectúa tanto por la necesidad de determinar las eficacias de los sistemas de control de la contaminación en locales industriales, como para confirmar las quejas o síntomas de los trabajadores debido a la contaminación. Sin embargo, existen niveles tolerados basados en mediciones de exposición personal, como función del tiempo (de 15 minutos a 8 horas) y

**Tabla I. Valores límites para calidad del aire e higiene industrial según las directivas europeas.**

Compuesto	Calidad del aire Valor límite <sup>a</sup> , µg/m <sup>3</sup> (Período de referencia)	Higiene industrial Valor límite (Período de referencia)
Dióxido de azufre	350 (1 hora) 125 (24 horas) 20 (1 año)	1 ppm (8 horas ó 15 min)
Óxidos de nitrógeno	200 (NO <sub>2</sub> ) (1 hora) 40 (NO <sub>2</sub> ) (1 año) 30 (NO <sub>x</sub> ) (1 año)	NO <sub>2</sub> , 1 ppm (8 horas)
Ozono	120 (1 año)	n. d.
Monóxido de Carbono	10 mg/m <sup>3</sup> (8 horas)	n. d.
Benceno	5 (1 año)	1 ppm (8 horas)
PM <sub>10</sub>	50 (24 horas) 40 (1 año)	
Plomo	0,5 (1 año)	150 µg/m <sup>3</sup> (8 horas) <sup>b</sup>
Benzo[a]pireno	1 ng/m <sup>3</sup> (1 año)	n. d.
Ársenico	5 µg/m <sup>3</sup> (1 año)	0,1 mg/m <sup>3</sup> (8 horas) <sup>b</sup>
Cadmio		0,025 mg/m <sup>3</sup> (8 horas) <sup>b</sup>
Niquel	20 ng/m <sup>3</sup> (1 año)	n. d.

<sup>a</sup> Concentraciones expresadas a 20 °C y 101,3 kPa. Plomo, B[a]P, As, Cd y Ni son medidos en la fracción PM10.  
<sup>b</sup> Valores definidos por la HSE (Health and Safety Executive, UK)  
n. d. No definido

de las características toxicológicas de los compuestos bajo consideración<sup>13</sup>. En la tabla I se muestran los valores límites establecidos por las directivas europeas de calidad del aire así como los valores definidos en ambientes laborales<sup>14-16</sup>.

En general, los niveles de concentración entre higiene industrial y calidad del aire difieren en varios órdenes de magnitud. Pese a ello, muchas de las técnicas de medida de exposición personal utilizadas para determinar exposición general de la población derivan de las técnicas analíticas usadas en ambientes de trabajo<sup>17</sup>.

### Contaminación en interior

En los últimos años existe un interés creciente por los efectos en la salud causados por la contaminación en interiores. De hecho, los problemas de salud se han acentuado debido a factores como: la necesidad de incrementar la eficacia energética de los edificios, que conlleva una disminución del número de recambios-hora del aire en ambientes interiores; el desarrollo de nuevas tecnologías que ha llevado al uso cada vez más frecuente de materiales sintéticos en la construcción; la presencia de fuentes internas de contaminación como productos de limpieza, procesos de combustión (calefacción, cocción...) e infiltraciones del exterior (contaminantes de origen antropogénico –emisiones de tráfico– o naturales como el radón).

La contaminación en interiores esta a su vez relacionada con el tipo de actividad desarrollada, por ejemplo, la presencia de procesos de combustión (calefacción, cocinar, fumar). En definitiva, los ambientes interiores pueden considerarse como sistemas donde el nivel de contaminación viene controlado mediante un balance de materia. Así, en función de

los flujos de intercambio con el aire exterior, su nivel de contaminación y la presencia de fuentes internas pueden convertir los ambientes interiores en zonas de alta exposición. En la tabla II se indican los principales contaminantes de interiores.

### Aire ambiente

En los países en vías de desarrollo, la contaminación ambiental viene vinculada a cuestiones energéticas como el uso de combustibles fósiles de baja calidad para la generación de potencia o calefacción, así como la presencia de industrias contaminantes. El tipo de contaminantes asociados a dichas emisiones, en particular óxido de azufre y humos negros, dejan de ser críticos en países desarrollados donde la contaminación urbana tiende a ser dominada por emisiones de tráfico, y en los que los principales contaminantes son los óxidos de nitrógeno, compuestos volátiles orgánicos y materia particulada<sup>18</sup>.

La evaluación de puntos calientes, así como la distribución espacial de la contaminación del aire son de gran importancia en estudios de exposición. A su vez, el interés creciente por la identificación de fuentes de contaminación, obliga a la cuantificación de un número considerable de compuestos: metales pesados, compuestos orgánicos volátiles, compuestos policíclicos y materia particulada que son trazadores de la génesis de la contaminación<sup>19-21</sup>. Dichos estudios son de gran interés a la hora de identificar políticas efectivas de reducción de la contaminación ambiental a nivel local. Sin embargo, la tendencia actual es hacia una valoración integrada de la política de reducción de emisiones, donde factores de emisión, costes y calidad ambiental se optimizan en un balance económico<sup>22</sup>.

**Tabla II. Principales contaminantes en ambientes interiores.**

▶ CO <sub>2</sub> (combustión, actividades metabólicas, motores de vehículos)
▶ CO (combustión de carburantes, estufas, calentadores, humo de tabaco)
▶ Dióxido de nitrógeno (aire exterior, combustión de carburantes, motores de vehículos)
▶ Ozono (reacciones fotoquímicas)
▶ Sustancias orgánicas (adhesivos, disolventes, materiales de construcción, combustión, pinturas, humo de tabaco)
▶ Dióxido de azufre (aire exterior, combustión de carburantes)
▶ Partículas (re-suspensión, humo de tabaco y combustión de materiales)
▶ Hidrocarburos aromáticos policíclicos (combustión de carburantes y humo de tabaco)
▶ Asbestos (aislante, material antiincendio)
▶ Formaldehído (muebles, aislamientos)
▶ Radón (terreno, materiales de construcción - cemento, piedras)
▶ Esporas y hongos (terreno, plantas, alimentos caducados, superficies internas)
▶ Polen (aire exterior, árboles, plantas, hierbas)
▶ Microorganismos (personas, animales, plantas, sistemas de aire acondicionado)
▶ Alergenos (polvo, humedad, animales domésticos, insectos)

### LA EXPOSICIÓN COMO FACTOR DE CONTROL

Los estudios de exposición general de la población han demostrado que la complejidad de la exposición personal no puede ser representada por ningún micro-ambiente en particular<sup>23</sup>. Esto es debido al hecho de que la exposición es una función del tiempo y del espacio; las personas vienen expuestas a una variedad de compuestos y niveles de contaminantes en función de su actividad, costumbres y estilo de vida. La representatividad de los puntos de muestreo en estaciones fijas como indicadores de exposición es siempre un punto de discusión. Algunos estudios han mostrado pésimas correlaciones entre valores de exposición y aquellos derivados de las redes de muestreo<sup>24</sup>. Es por ello que, más allá de los criterios legislativos, la caracterización de puntos calientes y la representatividad de las estaciones de muestreo como indicadores de niveles de exposición de la población se han convertido en puntos esenciales en las técnicas de diseño de redes de muestreo<sup>25-27</sup>.

En un estudio general de riesgo de la población es de gran importancia la consideración de grupos particularmente sensibles a la contaminación, que pueden desarrollar reacciones o síntomas de mayor virulencia que la población normal, aun siendo expuestas a idénticos niveles de contaminación. En estos subgrupos encontramos personas asmáticas, diabéticos, ancianos y niños; donde los niveles de riesgo se estiman como mínimo tres veces superiores a la media poblacional<sup>28</sup>.

### METODOLOGÍAS PARA LA EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN DE LA POBLACIÓN

La exposición personal conlleva una variación temporal-espacial de difícil modelación, puesto que se encuentra asociada a la decisión y voluntad del individuo. El nivel de concentración en un lugar determinado varía con el tiempo, así la exposición de un individuo dependerá no sólo del tiempo que ha permanecido en el lugar en cuestión sino también del instante específico. Por otro lado, la situación es aún más complicada, visto que, en un determinado micro-ambiente, la concentración no es necesariamente homogénea. En definitiva, la concentración asociada a un determinado lugar o micro-ambiente es siempre un valor representativo medio en la cobertura del estudio y no tiene por que ser igual al nivel de exposición recibido por la persona que ha

frecuentado dicho lugar. Esto introduce una incertidumbre adicional a cualquier estudio o estimación determinista de la exposición de la población.

En principio, medidas directas de exposición, a través de un muestreo personal o análisis de marcadores biológicos de exposición (en orina o sangre) ofrecerían los valores más precisos para la estimación de los niveles de exposición de la población; salvando la incertidumbre asociada a la limitación de la muestra poblacional. Sin embargo, este tipo de metodologías son particularmente costosas, por lo que normalmente se procede al uso de modelos de exposición. Todos los modelos de exposición, tanto aquellos matemáticos como estadísticos<sup>29</sup>, sufren en mayor o menor grado de las carencias anteriormente señaladas. Por ejemplo, en aquellos modelos de tipo determinista o matemático, donde se combina inventarios de emisión, modelos de dispersión y modelos de actividad de población se encuentran limitados por las incertidumbres inherentes al modelo usado. Otros modelos de exposición se basan en la cuantificación de los niveles de contaminación en distintos micro-ambientes, estimando la exposición media del individuo en función de los tiempos de residencia en cada uno de los micro-ambientes considerados (AirPEx)<sup>30</sup>. Los modelos más recientes incorporan las ventajas de utilizar sistemas de información geográfica para la localización del individuo (GIS), definiendo igualmente patrones de actividades<sup>31,32</sup>. La mayor parte de estos modelos necesitan de una validación experimental, por lo que se encuentra en parte apoyado por datos experimentales<sup>33</sup>.

### ESTUDIOS EUROPEOS DE EXPOSICIÓN A CONTAMINANTES

Aunque son numerosos los datos de exposición de la población encontrados en bibliografía<sup>34</sup>, existe un número limitado de estudios experimentales de exposición de la población que abarca una dimensión Europea. Los proyectos EXPOLIS<sup>23,35,36</sup> y MACBETH<sup>37</sup> han evaluado niveles de exposición en diversas ciudades Europeas. La metodología difiere entre ambos proyectos. EXPOLIS midió un extenso rango de compuestos orgánicos con períodos de muestreo de 48 horas. El proyecto MACBETH midió compuestos aromáticos cubriendo un período medio de 108 horas. Mientras que el primer estudio se enfocó hacia las medidas de interiores y la importancia de las fuentes de emisión

Tabla III. Resultados del proyecto MACBETH<sup>37</sup>.

Concentración de benceno, µg/m <sup>3</sup>	Antwerp	Atenas	Copenhague	Murcia	Padova	Rouen
Nivel medio de fondo	4,4	20,7	3,1	11,7	8	4,7
Concentración media en hogares	9,6	10,1	4,5	15,1	7	9,5
Exposición personal media	10,7	18,8	6,6	25,5	10,6	13,4

**Tabla IV. Resultados del proyecto PEOPLE<sup>40</sup>.**

Concentración de benceno, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Bruselas	Lisboa	Bucarest	Ljubljana	Madrid	Dublin
Nivel de fondo de la ciudad	2,5	3,8	7,1	3,1	4,5	1,1
Máxima concentración medida	6,2	7,9	18,2	5,4	15,0	2,9
Exposición personal media	4,3	4,1	14,4	4,0	9,6	2,4

internas, en particular de productos de limpieza; el segundo proyecto se centró en la comparación entre grupos particularmente expuestos de la población, como policías de tráfico, y aquellos que en principio no lo estarían, por ejemplo profesores de escuelas<sup>38,39</sup>. Un proyecto más reciente PEOPLE, que determina niveles de exposición a compuestos aromáticos en seis ciudades Europeas, dispone de tiempos de exposición más reducidos, 12 horas, y una distribución de muestras representativa de la población que se desplaza de casa al trabajo y viceversa<sup>40</sup>. Por último, el proyecto AIRMEX<sup>41</sup>, determina relaciones interior/exterior y medidas personales en varias ciudades del sur y centro europeas de compuestos orgánicos volátiles (aromáticos, carbonilos y terpenos).

Como observación general de estos estudios de exposición se destaca el hecho de que los niveles medios de exposición de la población son más altos que los niveles medios de concentración determinados en aire ambientes exteriores e interiores. En la tabla III se muestran los resultados medios de interior, exterior y medidas personales del proyecto MACBETH llevado a cabo en varias ciudades Europeas, que confirman dicha tendencia. Esta situación es igualmente explícita en los resultados del proyecto PEOPLE (ver tabla IV), aunque en este caso, también se observa que la media de la exposición está por debajo de los valores máximos encontrados en aire ambiente.

Este tipo de estudios basados en medidas reales, dan una estimación más objetiva de los valores reales de la exposición de la población. Pese al hecho de que los niveles medios de fondo difieren de los valores de exposición medidos en la población estudiada, se demuestra, sin embargo, una correlación significativa. Por tanto, como conclusión del proyecto PEOPLE se puede señalar que los niveles de fondo definen un nivel mínimo de exposición de la población en el cual emisiones relacionadas con la actividad y la localización están superpuestas<sup>40</sup>.

## CONCLUSIONES

La contaminación interior representa un riesgo importante para la salud de la población. En este sentido la legislación actual de la calidad del aire es inadecuada para el control de fuentes internas<sup>42</sup>. Una serie de medidas tanto de carácter educativo, como el establecimiento de una legislación que controle emisio-

nes de productos domésticos y de construcción o del humo de tabaco, se revela como pertinente.

La disminución del riesgo para la salud pública de la contaminación ambiental requerirá el estudio y evaluación integrada de los compuestos clasificados como de riesgo para la salud -tanto aquellos considerados cancerígenos como no-cancerígenos- presentes en áreas o zonas de posible exposición de la población<sup>22</sup>; siendo el objetivo último la reducción de dichos compuestos a niveles aceptables de riesgo.

Finalmente, parece adecuado, que los planes de gestión de calidad del aire estén basados en estudios de exposición, visto que de este modo se garantiza una relación directa sobre el impacto en la salud pública<sup>43</sup>.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Council Directive 96/62 EC Ambient air quality assessment and management. Official Journal L 296, 27/09/1996, pp. 51-60.
2. Council Directive 1999/30/EC of 22 April 1999 relating to limit values for sulphur dioxide, nitrogen dioxide and oxides of nitrogen, particulate matter and lead in ambient air. Official Journal L 163, 29/06/1999, pp. 0041 – 0060.
3. Council Directive 2002/3/EC of 12 February 2002 relating to ozone in ambient air. Official Journal, L 67, 9.3.2002, pp.14-30.
4. Council Directive 2000/69/EC of 16 November 2000 relating to limit values for benzene and carbon monoxide in ambient air. Official Journal L 313, 13/12/2000, pp. 12-21.
5. Council Directive 2004/107/EC of 15 December 2004 relating to arsenic, cadmium, mercury, nickel and polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air, Official Journal, L 023, 26/01/2005, pp. 3-16.
6. Directive on Ambient Air Quality and Cleaner Air for Europe (the "CAFE" Directive) (COM(2005) 447). [http://europa.eu.int/comm/environment/air/cape/pdf/com\\_2005\\_447\\_en.pdf](http://europa.eu.int/comm/environment/air/cape/pdf/com_2005_447_en.pdf)
7. Gombert S., Asta J., Seaward M.R.D. Assessment of lichen diversity by index of atmospheric purity (IAP) index of human impact (IHI) and other environmental factors in an urban area (Grenoble, Southeast France). Science of the Total Environment, 2004, 324, 183-199.
8. Ferrao Vargas V. M. Mutagenic activity as a parameter to assess ambient air quality for protection of the environment and human health. Mutation Research. 2003, 544, 313-319.
9. APHEIS 2004, Air Pollution and Health: A European in-

- formation system. Health impact assessment of air pollution and communication strategy. Third year report 2002-2003. <http://www.apehis.net/>
10. Benzene position Paper. 1998. <http://europa.eu.int/comm/environment/air/pdf/pp-benzene.pdf>
  11. EPAQS report [DETR Expert Panel on Air Quality Standards 1999].
  12. WHO, 2001, Air Quality Guidelines for Europe, 2nd ed. WHO Regional Publications, Regional Office for Europe. Copenhagen, Denmark.
  13. Seeley M.R., Tonner-Navarro L.E., Beck B.D., Deskin R., Feron V.J., Johanson G., Bolt H.M. Procedures for Health Risk Assessment in Europe. Regulatory Toxicology and Pharmacology, 2001, 34, 153-169
  14. Council Directive 2000/39/EC of 8 June 2000 establishing a first list of indicative occupational exposure limit values in implementation of Council Directive 98/24/EC on the protection of the health and safety of workers from the risks related to chemical agents at work (Text with EEA relevance). Official Journal, L 142, 16/06/2000, pp. 0047 - 0050
  15. Council Directive 82/605/EEC of 28 July 1982 on the protection of workers from the risks related to exposure to metallic lead and its ionic compounds at work (first individual Directive within the meaning of Article 8 of Directive 80/1107/EEC). Official Journal, L 247, 23/08/1982, pp. 0012 - 0021
  16. Council Directive 90/394/EEC of 28 June 1990 on the protection of workers from the risks related to exposure to carcinogens at work (Sixth individual Directive within the meaning of Article 16 (1) of Directive 89/391/EEC). Official Journal, L 196, 26/07/1990, pp. 0001 - 0007
  17. Harper M.. Assessing workplace chemical exposure: the role of exposure monitoring. J. Environ. Monitoring, 2004, 6, 404-412.
  18. Fenger J.. Urban air Quality. Atmos. Env. 1999, 33, 4877-4900.
  19. Zhao W., Hopke P. K., Karl T. Source Identification of Volatile Organic Compounds in Houston, Texas. Env. Sci. Technol., 2004, 38, 1338-1347.
  20. Almeida S.M., Pio C.A., Freitas M.C., Reis M.A., Trancoso M.A.. Source apportionment of fine and coarse particulate matter in a sub-urban area at the Western European Coast. Atmospheric Environment, 2005, 39, 3127-3138.
  21. Charron A., Harrison R. M. Fine (PM<sub>2.5</sub>) and Coarse (PM<sub>2.5-10</sub>) Particulate Matter on A Heavily Trafficked London Highway: Sources and Processes. Environ. Sci. Technol., 2005,39, 7768-7776.
  22. Tam B.N., Neumann C.M. A human health assessment of hazardous air pollutants in Portland. Journal of Environmental Management, 2004, 73, 131-145.
  23. Edwards R.D., Jantunen M.J. Benzene exposure in Helsinki, Finland. Atmos. Env. 2001, 35, 1411-1420.
  24. Gulliver J., Briggs D.J. Personal exposure to particle air pollution in transport microenvironments. Atm. Env., 2004, 38, 1-8.
  25. Kanaroglou P. S., Jerrett M., Morrison J., Beckerman B., Arain M.A., Gilbert N.L., Brook J.R. Establishing an air pollution monitoring network for intraurban population exposure assessment: A location-allocation approach. Atm. Env., 2005, 39, 2399-2409.
  26. Chow J.C., Engelbrecht J.P., Watson J.G., Wilson W.E., Frank N.H., Zhu T. Designing monitoring networks to represent outdoor human exposure. Chemosphere, 2002, 49, 961-978.
  27. Baldauf R.W., Lane D.D. and Marote G.A. Ambient Air Quality Monitoring Network Design for Assessing Human Health Impacts from Exposures to Airborne Contaminants. Environmental Monitoring and Assessment. 2001, 66, 63-76.
  28. Abraham K., Mielke H., Huisinga W., Gundert-Remy U. Elevated internal exposure of children in simulated acute inhalation of volatile organic compounds: effects of concentration and duration. Arch. Toxicol., 2005, 79, 63-73
  29. Ryan P.B. An overview of human exposure modeling. Journal of Exposure Assessment and Environmental Epidemiology, 1991, 1, 453-473.
  30. Freijer, J.I., Bloemen, H.J.Th., De Loos, S. Marra, M., Rombout, P.J.A., Steentjes, G. M., Van Veenn M.P. AirPEX: Air Pollution Exposure Model. RIVM The Netherlands. Report No. 650010 005. 1977
  31. Grabbe H., Hamilton R., Machin N. Using GIS and Dispersion Modelling tools to assess the effect of the Environment on Health. Transactions in GIS, 2000, 43, 235-244.
  32. Gram F., Nafstad P., Haheim L.L. Estimating residential air pollution exposure among citizens in Oslo 1974-1998 using a geographical information system. J. Environ. Monit., 2003, 5, 541-546.
  33. Kousa A., Kukkonen J., Karppinen A., Aarnio P., Koskentalo T. A model for evaluating the population exposure to ambient air pollution in an urban area. Atm. Env. 2002, 36, 2109-2119.
  34. Schwela D., Hakkinen P.J. Human exposure assessment resources on the World Wide Web. Toxicology, 2004,198, 169-176.
  35. Edwards R.D., Jurvelin J., Saarela K., Jantunen M.J., VOC Concentrations Measured in Personal Samples and Residential Indoor, Outdoor and Workplace Microenvironments in EXPOLIS-Helsinki, Finland. Atmospheric Environment, 2001, 35, 4531-4543
  36. Edwards R.D., Jurvelin J., Koistinen K., Saarela K., Jantunen M.J., VOC source identification from personal and residential indoor, outdoor and workplace micro-environment samples in EXPOLIS-Helsinki, Finland. Atmospheric Environment, 2001, 35, 4829-4841.
  37. Cocheo V., Sacco P., Boaretto C., De Saeger E., Pérez Ballesta P., Skov H., Goelen E., Gonzalez N., Baeza Caracena A., 2000, Urban Benzene and Population Exposure, Nature, 404, p 141.
  38. González-Flesca N., Bates M. S., Delmas V., Cocheo V. Benzene Exposure Assessment at indoor, outdoor and personal levels. The French contribution to the Life Macbeth programme. Environmental Monitoring and Assessment, 2000, 65, 59-67.
  39. Skov H., Hansen A.B., Lorenzen G., Andersen H.V., Lofstrom P., Christensen C.S. Benzene exposure and the effect of traffic pollution in Copenhagen, Denmark. Atmospheric Environment, 2001, 35, 2463-2471.
  40. Pérez Ballesta P., Field R.A., Connolly R., Cao N., Baeza Caracena A., De Saeger E. Population exposure to benzene: One day cross sections in six European cities. Aceptado en Atmospheric Environment.
  41. Kotzias D. Indoor air and human exposure assessment - needs and approaches. Experimental and Toxicologic Pathology, 2005, 57:1, 5-7
  42. Spaeth K.R.. Don't hold your Breath: Personal Exposures to VOCs and Other Toxins in Indoor Air and What's (not) being done about it. Preventive Medicine, 2000, 31, 631-637.
  43. Seika M, Metz, N. Urban air quality management: the traditional vs. an exposure-based approach. The Science of the Total Environment 235 (1999) 359-361.