

INFORME SOBRE LOS EFECTOS EN LA SALUD ASOCIADOS AL PLAN DE MEJORA DE LA CALIDAD DEL AIRE DE LA AGLOMERACIÓN DE SEVILLA Y ÁREA METROPOLITANA

1. INTRODUCCION

a) Objetivo del informe.-

El objetivo del presente informe será valorar los efectos sobre la salud derivados de la implantación del Plan de Mejora de la calidad del aire de la Aglomeración de Sevilla y Área Metropolitana, tanto los efectos de la reducción de la contaminación como de los producidos por la aplicación de las medidas contenidas en el Plan.

b) Breve descripción del área.-

El plan que se está informando es de aplicación a la zona que comprende los términos municipales de Albaida del Aljarafe, Alcalá de Guadaíra, La Algaba, Almensilla, Bollullos de la Mitación, Bormujos, Camas, Castilleja de Guzmán, Castilleja de la Cuesta, Coria del Río, Dos Hermanas, Espartinas, Gelves, Gines, Mairena del Aljarafe, Olivares, Palomares del Río, La Puebla del Río, Salteras, San Juan de Aznalfarache, Santiponce, Sevilla, Tomares, Umbrete, Valencina de la Concepción y Villanueva del Ariscal, con una población total de 1.187.379 habitantes según datos del padrón de 2008 publicados por el Instituto de Estadística de Andalucía (IEA) y una superficie de 1.390,9 km² [IEA, 2003].

En relación a los aspectos socioeconómicos, la zona de Sevilla y Área Metropolitana tiene una gran variedad productiva, en la que coexisten servicios, industria, sector agrario y sector turístico, hecho que facilita la superación de etapas de recesión económica, como la actual. El sector agrícola y su industria de transformación han sido históricamente dos de las actividades predominantes en la aglomeración de Sevilla, favorecidas por los ricos suelos de la vega del río Guadalquivir, muy adecuados para el cultivo en regadío. De este modo, la industria de la alimentación y bebidas tiene un papel relevante en el tejido industrial, siendo el principal sector en lo que se refiere al el número de establecimientos.

La zona también cuenta con industrias especializadas en material de transporte, en concreto industria naval, fabricación de componentes de automoción y construcción aeronáutica. En el sector de la metalurgia y fabricación de productos metálicos, destacan la fabricación de ascensores y de maquinaria agrícola en la capital, el complejo siderúrgico-metálico ubicado en el eje de la A-92 entre Sevilla y Alcalá de Guadaíra y el conjunto de empresas de estructura y carpintería metálica ubicadas entre Sevilla y Dos Hermanas.

Por otra parte, el sector de tecnologías avanzadas se halla concentrado principalmente en el Parque Tecnológico Cartuja 93 y en el polígono PISA, en Mairena del Aljarafe.



Otros sectores industriales que merecen especial mención por su desarrollo en la zona son la industria del papel, ediciones y artes gráficas, caucho y materias plásticas y fabricación de material y equipos eléctricos, radio y televisión. En el ámbito de la construcción, Sevilla cuenta con las sedes regionales de las principales empresas constructoras españolas, así como con un importante tejido de pequeñas y medianas empresas vinculadas a la construcción y la promoción inmobiliaria.

Acerca de los servicios y actividades terciarias, aunque en los últimos años se han creado algunas grandes superficies comerciales periféricas y hoteles, la mayoría de los centros administrativos, culturales, comercio y ocio se ubican en la capital, contando ésta con un gran desarrollo del sector turístico debido al elevado valor de su patrimonio histórico-artístico.

En lo concerniente al clima, la zona de Sevilla y su Área Metropolitana se integra, casi en su totalidad, dentro de la zona climática “Bajo Guadalquivir”, no obstante, una pequeña parte del Área Metropolitana, correspondiente al sur del municipio de La Puebla del Río, comprende también la zona climática “Costa y Condado de Huelva”. Las precipitaciones no son demasiado abundantes, situándose entre los 500 y los 600 mm anuales, predominando la sequía estival y las lluvias invernales. Es también destacable en este ámbito la elevada insolación, que en algunos lugares supera las 3.000 horas de sol anuales.

c) Origen de las actuaciones.-

En esta zona, los datos registrados en diferentes estaciones de la Red de Vigilancia y Control de la Calidad del Aire ponen de manifiesto superaciones de los valores que establece la norma para partículas (número de superaciones del valor límite diario), dióxido de nitrógeno y ozono.

Con objeto de mejorar la situación, la Consejería de Medio Ambiente, en coordinación con el resto de Administraciones competentes, ha elaborado un Plan de Mejora de la Calidad del Aire. En el mismo se estudian las posibles causas de las superaciones y se establecen las medidas adecuadas para reducir los niveles de partículas en el aire ambiente a los legalmente establecidos. A partir de los análisis de regresión realizados con las estaciones de la Red de Vigilancia en Andalucía, en función del tipo de estación, el valor medio anual considerado de seguridad para evitar superaciones diarias se sitúa en 32 µg/m³, por lo que el objetivo de reducción del Plan de Mejora se ha fijado en esa cantidad.

Dentro de las actuaciones previstas en la normativa para la elaboración de los planes de mejora de la calidad del aire, es obligatoria [Decreto 239/2011, de 12 de julio] la redacción de un informe vinculante de la Consejería con competencias en materia de salud que refleje el impacto que se produce sobre la salud de la población como consecuencia del estado ambiental de la zona.

Como en este caso, este informe no se ha solicitado con anterioridad a la formulación del plan, sino “a posteriori”, se va a modificar el enfoque del informe sanitario y se sustituirá por una evaluación del plan desde el punto de vista de la salud pública. Esta actuación recoge uno de los posibles enfoques previstos en las guías



internacionales editadas para la evaluación de actividades con repercusión en la salud. [ATDSR, 2005].

La evaluación del plan “a posteriori” conlleva la identificación, evaluación y cuantificación en la medida de lo posible de los diferentes impactos que tienen las medidas presentes en los planes sectoriales sobre la salud de la población en su conjunto y sobre las diferencias en salud que existen entre diversos colectivos.

En el caso que nos ocupa se produce un hecho muy significativo como es el que dicho plan tiene como objetivo prioritario la protección de la salud a través de medidas de reducción de la contaminación. Así, aunque se trata de un plan de medio ambiente, la práctica totalidad de sus objetivos se concentran en la protección de la salud.

d) Breve descripción del proceso de evaluación del riesgo.-

La evaluación de riesgos sobre la salud es una de las tres fases que componen el análisis del riesgo, junto con la gestión del riesgo y la comunicación del riesgo. De acuerdo a las definiciones aceptadas internacionalmente [IPCS, 2004], la evaluación del riesgo es un procedimiento estandarizado y basado en evidencias científicas que comprende cuatro fases: identificación del peligro, caracterización del peligro, evaluación de la exposición y caracterización del riesgo.

En los siguientes apartados se realizará una evaluación del riesgo al que están sometidas las personas que habitan en la zona objeto del estudio teniendo en cuenta el estado de partida ambiental, el estado al que se llegará con la aplicación de las medidas previstas en el plan y el estado al que podría llegarse si se redujesen aún más los niveles de contaminación mediante medidas adicionales. De esta forma, se podrá evaluar el impacto que sobre la salud poseen las medidas adoptadas y el que podría conseguirse si se tomasen otras medidas extraordinarias de protección de la salud. Todo ello, sin perjuicio del análisis posterior de otros impactos indirectos sobre la salud de la población que estén asociados a las medidas.



2. EVALUACIÓN DEL RIESGO PARA LA SALUD DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

2.1. IDENTIFICACION DEL PELIGRO

Como parte de las actuaciones de la Red de Vigilancia de la Calidad del Aire en Andalucía (en adelante RVCAA), la Consejería de Medio Ambiente cuenta con diez estaciones de medida fijas en esta zona, siete en Sevilla (cinco de tipo urbano y dos suburbanas), una en Alcalá de Guadaíra (urbana), una en Mairena del Aljarafe (suburbanas) y otra en Dos Hermanas (de tipo urbano). Aunque el tipo de mediciones que realizan es distinto de unas estaciones a otras, en general se han realizado campañas de mediciones anuales para los años 2003 a 2010 de los siguientes contaminantes:

TOPOLOGIA DE LAS ESTACIONES														
ESTACIÓN	MUNICIPIO	SO₂	CO	O₃	NO	NO₂	NO_x	PM₁₀	PM_{2,5}	TOL	BCN	PXY	EBCN	METEO.
Alcalá de Guadaíra	Alcalá de Guadaíra	o	o	o	o	o	o	o						
Aljarafe	Mairena del Aljarafe	o		o	o	o	o	o						o
Bermejales	Sevilla	o	o	o	o	o	o	o						o
Centro	Sevilla	o	o	o	o	o	o							o
Dos Hermanas	Sevilla	o	o	o	o	o	o							
Príncipes	Sevilla	o	o		o	o	o	o						
Ranilla	Sevilla	o	o		o	o	o		o	o	o	o		
San Jerónimo	Sevilla			o	o	o	o	o						o
Santa Clara	Sevilla		o	o	o	o	o	o						o
Torneo	Sevilla	o	o	o	o	o	o	o						o

Cuadro 1: Topología de las estaciones y contaminantes medidos.

En cuanto a las mediciones indicativas que sirven de apoyo a los datos de las RVCAA, tenemos las campañas de Unidades móviles de Calidad del Aire, la Red de muestreo de partículas con captadores gravimétricos y la Red de benceno-tolueno-etilbenceno-xilenos (BTEX) con captadores difusivos.

La Unidad Móvil de Calidad del Aire (UMI), presta apoyo a la RVCAA, ya que permite controlar zonas donde no hay unidades de medición fijas o que están alejadas de núcleos urbanos, así como responder a denuncias formuladas por los ciudadanos. Se ha realizado una campaña en la Puebla del Río (2007) analizando en casi todos los casos O₃, CO, SO₂, NO₂, NO_x, y PM₁₀.

Con objeto de reforzar la vigilancia y el control de las partículas, tanto de las PM₁₀, como de las PM_{2,5}, desde el 2006 hay instalados una serie de captadores gravimétricos en determinadas estaciones de la RVCAA, con objeto de disponer de mediciones de partículas en paralelo basadas en el método de atenuación de la radiación beta y el gravimétrico. Además, el uso de estos equipos permite identificar:



- Factores de corrección entre el método de referencia por el de gravimetría y el de medición por radiación beta.
- Determinación química de los metales para los que la normativa establece valores límite y objetivo, además de otros.
- Determinación de otras especies químicas como aniones, cationes solubles y elementos mayores que permiten identificar las principales fuentes de emisión responsables ó el único origen de la contaminación.
- Determinación de los HAP precursores de ozono.

En concreto, en Sevilla hay dos captadores gravimétricos que se encuentran ubicados en las estaciones de Príncipes y Alcalá de Guadaíra.

Otras de las mediciones indicativas se realizan con captadores difusivos. Con respecto a los datos de concentración ambiente de Benceno, Tolueno, Xilenos y Etilbenceno, se aprovecha la infraestructura existente con las estaciones de medida para realizar muestreos mensuales mediante estos captadores, permitiendo realizar así una evaluación de contaminantes precursores de ozono troposférico y comprobación de los niveles de benceno medidos con dos técnicas de medida diferentes. Las estaciones de la RVCCAA de la zona de Sevilla y su área metropolitana en la cuáles hay ubicados captadores difusivos de BTEX son Ranilla, Príncipes, Aljarafe, Alcalá de Guadaíra, Dos Hermanas, Torneo, Santa Clara, Bermejales y Centro.

En el caso de partículas se han realizado también estudios para identificar la parte de las mismas que puede ser atribuida a intrusiones de aire cargado de partículas saharianas y una caracterización del material particulado obtenido atendiendo al hecho de que por su origen industrial resultaba conveniente discernir los contenidos de metales en el material particulado. El muestreo de PM₁₀ se ha realizado mediante captadores de alto volumen, empleando filtros de microfibra de cuarzo previamente tarados en el Laboratorio Andaluz de Referencia de la Calidad del Aire (LARCA), y posterior análisis químico de los filtros muestreados, con 61 determinaciones analíticas por muestra.

La interpretación de los resultados del análisis químico del material particulado discrimina entre componentes mayoritarios y elementos traza.

Los estudios analizados incluyen la determinación de: carbono total, Al, Ca, Na, K, Mg, Fe, SO₄²⁻, PO₄³⁻, NO₃⁻, Cl⁻, NH₄, Li, Be, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Rb, Sr, Y, Zr, Ba, Nb, Mo, Cd, Sn, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Tl, Pb, Bi, Th y U. Indirectamente se determina también: sulfato marino, carbonatos, carbono no mineral y SiO₂.



a) Contaminantes presentes en la zona que presentan un peligro potencial para la salud.-

El objetivo de esta fase es seleccionar aquellos contaminantes ambientales que pudieran resultar de interés en relación con su posible efecto para la salud. Estos contaminantes de interés deben cumplir al menos una de las siguientes condiciones:

1. La concentración del contaminante excede el valor de referencia (se ha decidido seleccionar como tal en primer lugar el valor normativo correspondiente, aunque en ausencia de los mismos se pueden usar valores aportados por una agencia internacional o incluso estimaciones basadas en los estudios relevantes más recientes)
2. El contaminante es cancerígeno, debido al mecanismo de acción de estos compuestos (en cuyo caso se asume que no existe una dosis libre de riesgo y cualquier presencia supone un peligro para la salud)
3. Existe preocupación en la población por la presencia de ese contaminante (percepción del riesgo elevada)

En el apartado anterior se comentó como se ha realizado una caracterización ambiental de la zona centrándose en las posibles fuentes de riesgo para la salud humana. Una vez efectuadas todas estas mediciones, los responsables de Medio Ambiente han comparado los valores con los límites marcados en la normativa vigente en el momento de la elaboración del Plan, en concreto en las siguientes normas:

- Real Decreto 1073/2002, de 18 de octubre, sobre evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente en relación con el dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, óxidos de nitrógeno, partículas, plomo, benceno y monóxido de carbono
- Real Decreto 1796/2003, de 26 de diciembre, relativo al ozono en el aire ambiente
- Real Decreto 812/2007, de 22 de junio, sobre evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente en relación con el arsénico, el cadmio, el mercurio, el níquel y los hidrocarburos aromáticos policíclicos

Actualmente la norma vigente es el Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire, que transpone al ordenamiento jurídico español la *Directiva 2008/50/CE del Parlamento europeo y del Consejo de 21 de mayo de 2008*, relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa, y que deroga las normas relacionadas anteriormente.

De acuerdo con estos límites, que se pueden consultar en la propia legislación o en el Plan de Mejora de la Calidad del Aire de la Aglomeración de Sevilla y Área Metropolitana, se pueden obtener las siguientes conclusiones:

Los valores registrados para **dióxido de azufre** muestran que no se supera ninguno de los valores límites establecidos en la legislación para este contaminante durante el periodo evaluado.



En cuanto a los **óxidos de nitrógeno**, las estaciones de Ranilla y Torneo son las que registran los niveles anuales más altos de este contaminante. Sin contar los sucesivos márgenes de tolerancia que ha habido cada año hasta 2010, las estaciones de Ranilla (2003 a 2007), Torneo (2005 a 2007), Bermejales (2004) y Príncipes (2005) han superado el valor límite anual de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En el resto de estaciones, no se supera este valor. A partir del 2008 ninguna estación ha superado valor límite medio anual de NO_2 . En relación al valor límite horario, analizando las superaciones de este valor ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$, aunque la norma permite sobrepasarlo un máximo de 18 ocasiones por año civil) sin tener en consideración el margen de tolerancia, se observa que son las estaciones de tráfico Ranilla y Torneo donde se registra el mayor número de superaciones a lo largo del periodo evaluado. Si tenemos en cuenta el margen de tolerancia existente en cada año, no se incumple ningún año el valor límite horario legislado, aunque en el año 2010 se registraron valores por encima de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 18 ocasiones (justo el máximo permitido por la norma) en las estaciones de Bermejales y Torneo.

En lo que se refiere a las **partículas inferiores a diez micras** y siempre teniendo en cuenta que se han usado solo los datos obtenidos por métodos gravimétricos y que se han descontado las aportaciones inequívocamente atribuibles a causas naturales como las intrusiones de aire sahariano, tal y como recoge la directiva europea con la que se van a comparar los datos, los datos registrados mediante los sensores ubicados en las diferentes estaciones pertenecientes a la Red de Vigilancia y Control de la Calidad del Aire (RVCCA) en Sevilla y Área Metropolitana muestran que se ha superado en los años 2005, 2006, 2007 y 2008, en diferentes estaciones de la Red de Vigilancia y Control de la Calidad del Aire de Sevilla y Área Metropolitana, la media anual ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) de PM_{10} , siendo el 2006 el año donde se registra el valor medio anual más alto con $63 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

En relación al valor límite diario, se registraron superaciones del valor límite más el margen de tolerancia en el 2004 y desde el 2005 al 2009 del valor límite, siendo también en el 2006 cuando se registran el número más elevado de superaciones (126) en la estación de Santa Clara. Al igual que en los valores medios anuales se observa desde el 2009 un descenso importante en el número de superaciones diarias registradas en Sevilla y su Área Metropolitana, llegando en 2010 a no superarse el valor límite diario en ninguna de las estaciones de la zona.

Con respecto a los valores registrados por estación, indicar que es en la estación de Aljarafe la que ha registrado los valores medios anuales más elevados en la mayor parte del periodo evaluado, superando tanto el valor límite anual como el diario desde el 2005 al 2008. Destaca también la estación de Santa Clara y Alcalá de Guadaíra por reiterar en las superaciones de los valores límite de las PM_{10} durante el periodo evaluado.

En relación con los niveles de **ozono**, en Sevilla y su área metropolitana se han registrado superaciones durante el periodo evaluado tanto del umbral de información a la población como del umbral de alerta para el ozono.

La estación de Aljarafe ha registrado el mayor número de superaciones del umbral de información a la población ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$) en todo el periodo evaluado, con 79



superaciones (año 2004) Con respecto al umbral de alerta, indicar que durante el periodo evaluado, se han dado siete ocasiones en las que se han registrado valores horarios por encima de $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$, siendo la última en la estación de Aljarafe en el 2008.

En cuanto al *Valor objetivo para la protección de la salud humana*, máxima diaria de las medias móviles octohorarias de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con un número máximo de superaciones de 25 días por cada año civil de promedio en un periodo de 3 años, que debe verificarse a partir del 1 de enero de 2010 [RD 1796/2003, de 26 de diciembre; RD 102/2011, de 28 de enero], el Plan de Mejora no menciona ningún dato acerca de las mismas.

Por otro lado, los niveles de **monóxido de carbono (CO)** registrados no indican superación del valor límite para la protección de la salud humana de este contaminante (media de ocho horas máxima registrada en un día superior a $10.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

En cuanto a los niveles de **metales (arsénico, níquel, cadmio y plomo)** se tienen los valores obtenidos mediante muestreo en las estaciones de Príncipes y Alcalá, observándose que las concentraciones muestreadas están por debajo de los valores recogidos en la normativa vigente.

En relación al benceno, el análisis de los datos anuales medios de **benceno**, indica que los niveles registrados se encuentran lejos del valor límite legislado.

Realizado el análisis de las concentraciones medidas en los últimos años en la zona de los distintos contaminantes comparándolos con los valores normativos, se han puesto de manifiesto valores en la zona más elevados que los valores que establece la normativa en el caso de las partículas menores de diez micras, tanto en el valor límite anual como en el número de superaciones anuales del valor límite diario, dióxido de nitrógeno y ozono (umbral de información y umbral de alerta)

b) Análisis de los factores que modifican la peligrosidad de las PM10.-

A continuación, se resumen los resultados de la caracterización química de PM₁₀ realizada en la estación de inmisión de **Príncipes** y **Alcalá** durante los años 2007 y 2008, en el marco del estudio “Composición química de PM₁₀ y PM_{2.5} en estaciones representativas de la Red de Vigilancia y Control de la Calidad del Aire de la Junta de Andalucía”, encargado por la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía al Departamento de Geología de la Universidad de Huelva, unidad asociada al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) en materia de contaminación atmosférica.

Del análisis de los datos disponibles de la caracterización de las partículas, se echan en falta datos reales sobre la distribución granulométrica de las partículas o, como mínimo, el dato del porcentaje de las partículas que tienen un tamaño inferior a 2,5 micras. Por el contrario, sí se posee suficiente información respecto a los componentes minoritarios de las partículas (en particular, metales) como se ve en la siguiente tabla.



	Estación de Príncipes	Estación de Alcalá
PARTÍCULAS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10})	48,6	45,9
Sustancia	(ng/m^3)	(ng/m^3)
Litio	0,8	0,6
Berilio	0,0	0,0
Escandio	0,2	0,6
Titanio	43,6	40,7
Vanadio	7,6	5,7
Cromo*	3,6	3,0
Manganeso	13,5	11,2
Cobalto	0,5	1,4
Níquel	4,9	5,1
Cobre	38,1	23,3
Zinc	42,1	34,8
Galio	1,5	0,9
Germanio	0,0	0,0
Arsénico	1,6	1,4
Selenio	0,7	1,4
Rubidio	1,8	1,4
Estroncio	6,6	5,5
Itrio	0,3	0,4
Zirconio	2,4	2,6
Niobio	0,3	0,2
Molibdeno	0,5	1,5
Cadmio	0,3	0,3
Estaño	4,3	4,8
Antimonio	4,5	1,7
Cesio	0,1	0,1
Bario	24,2	18,0
Lantano	0,9	0,6
Cerio	1,3	1,1
Praseodimio	0,1	0,1
Hafnio	0,1	0,1
Volframio	0,1	0,5
Talio	0,1	0,1
Plomo	11,0	9,0
Bismuto	0,2	0,1
Torio	0,2	0,2
Uranio	0,0	0,1

* Expresado en los valores de comparación como cromo(VI)

Cuadro 2. Niveles medios y componentes mayores y traza en PM_{10} , campaña de muestreo de 2007-2008 (Plan de Mejora de la Calidad del Aire de Sevilla y Área Metropolitana, Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía)

No obstante, para poder determinar los componentes de las partículas que se escogerán para posteriormente evaluar el riesgo no existen, en la mayoría de los casos,



valores legales, por lo que será necesario buscar valores de comparación, que derivan de la bibliografía científica (estudios epidemiológicos o toxicológicos) y que ya incorporan de por sí factores de seguridad o incertidumbre.

La tabla que se inserta a continuación incluye valores de *concentración de referencia* para exposiciones crónicas (Chronic Reference Concentrations, RfCs de la EPA) [EPA, 2010], una medida del *riesgo por unidad de dosis* (Inhalation Unit Risk, IUR) y los *valores de riesgo mínimo* (Minimal Risk Levels, MRLs) [ATSDR, 20009].

Sustancia	NIVELES MEDIOS 2007-2008		VALORES DE COMPARACIÓN			
	Príncipes (ng/m ³)	Alcalá (ng/m ³)	Norma (ng/m ³)	IUR (ng/m ³) ⁻¹	RfCi (ng/m ³)	MRLs ⁽¹⁾ (ng/m ³)
Litio	0,8	0,6	-	-	-	-
Berilio	0,0	0,0	-	2,4 Exp-06	20	-
Escandio	0,2	0,6	-	-	-	-
Titanio	43,6	40,7	-	-	-	-
Vanadio	7,6	5,7	-	-	100 ⁽³⁾	800 (ag), 100 (cron)
Cromo ⁽²⁾	3,6	3,0	-	8,4 Exp -05	100	300
Manganeso	13,5	11,2	-	-	50	40 (cron)
Cobalto	0,5	1,4	-	9 Exp -06	6	100 (cron)
Níquel	4,9	5,1	20	2,4 Exp -07	50	200 (ag), 90 (cron)
Cobre	38,1	23,3	-	-	1,5 Exp +05 ⁽⁴⁾	-
Zinc	42,1	34,8	-	-	1,1 Exp +06 ⁽⁴⁾	-
Galio	1,5	0,9	-	-	-	-
Germanio	0,0	0,0	-	-	-	-
Arsénico	1,6	1,4	6	4,3 Exp -06	15	-
Selenio	0,7	1,4	-	-	2 Exp +04	-
Rubidio	1,8	1,4	-	-	-	-
Estroncio	6,6	5,5	-	-	2,2 Exp +06 ⁽⁴⁾	-
Itrio	0,3	0,4	-	-	-	-
Zirconio	2,4	2,6	-	-	-	-
Niobio	0,3	0,2	-	-	-	-
Molibdeno	0,5	1,5	-	-	1,8 Exp 3 ⁽⁴⁾	-
Cadmio	0,3	0,3	5	1,8 Exp -06	10 ⁽⁹⁾	30 (ag), 10 (cron)
Estaño	4,3	4,8	-	-	2,2 Exp +06 ⁽⁴⁾	-
Antimonio	4,5	1,7	-	-	1500 ⁽⁴⁾	-
Cesio	0,1	0,1	-	-	-	-
Bario	24,2	18,0	-	-	500	-
Lantano	0,9	0,6	-	-	-	-
Cerio	1,3	1,1	-	-	900	-
Praseodimio	0,1	0,1	-	-	-	-
Hafnio	0,1	0,1	-	-	-	-
Volframio	0,1	0,5	-	-	-	-
Talio	0,1	0,1	-	-	260 ⁽⁴⁾	-
Plomo	11,0	9,0	500	-	-	-
Bismuto	0,2	0,1	-	-	-	-



NIVELES MEDIOS 2007-2008			VALORES DE COMPARACIÓN			
Sustancia	Príncipes	Alcalá	Norma	IUR	RfCi	MRLs ⁽¹⁾
	(ng/m ³)	(ng/m ³)	(ng/m ³)	(ng/m ³) ⁻¹	(ng/m ³)	(ng/m ³)
Torio	0,2	0,2	-	-	-	-
Uranio	0,0	0,1	-	-	300	400 (ag), 300 (cron)

(1) Según revisión de la ATSDR de Diciembre de 2010

(2) Expresado en los valores de comparación como Cromo (VI)

NOTA: Excepto en los casos que se reseñan a continuación los valores de comparación del IUR y del RfCi se corresponden con los valores según revisión de la EPA Junio 2011.

(3) Según Air Quality Guidelines for Europe Second Edition WHO Regional Publications, European Series, No. 9

(4) Según Risk-Based Concentration de la EPA Región III de 12-2006

Cuadro 3. Niveles medios y componentes mayores y traza en PM₁₀, obtenidos en la campaña de muestreo de 2007-2008 y valores de comparación (Nota: se han cambiado las unidades originales para facilitar la comparación con los valores medios medidos)

En la tabla anterior se observa que ninguno de los componentes del material particulado medidos en la zona de estudio supera el valor de referencia (valor normativo, RfCi o MRL)

c) Análisis de la calidad de los datos y de las incertidumbres detectadas.-

Un aspecto muy importante a tener en cuenta respecto de los datos obtenidos y de la selección de contaminantes efectuada es la discusión sobre la calidad de los mismos. Este análisis es fundamental a la hora de efectuar posteriormente el proceso de caracterización del riesgo y de evaluación de la exposición de la población y para ello se debería dar respuesta a las siguientes preguntas:

1. ¿Se conoce lo suficiente sobre los contaminantes como para poder efectuar una caracterización del riesgo correcta, incluyendo los efectos sinérgicos?
2. ¿Son los datos disponibles de suficiente calidad y cantidad como para evaluar de forma correcta las rutas de exposición?
3. Si se identifican algunas lagunas en los datos de los que se dispone, ¿cómo se podrían cubrir?

En el caso concreto de datos de calidad del aire, los datos que hay que analizar para asegurar la representatividad de los mismos son, entre otros, la duración y frecuencia de la toma de muestras, la distancia entre las principales fuentes y los puntos de toma de muestra o si los datos proceden de muestras simples o de campañas de mayor o menor duración [ATSDR, 1994].

En todo caso, se analizará también si la ubicación de los puntos de muestreo además de ser conforme a los eventuales requisitos legislativos, proporciona datos sobre áreas y aglomeraciones que registran las concentraciones más altas a las que la población puede llegar a verse expuesta durante un periodo significativo de tiempo, así como las concentraciones que existen en las zonas más representativas de la dispersión de la población en el territorio.



Por otro lado, todo lo anterior debe entenderse extendido a las mediciones efectuadas para caracterizar la composición de las partículas que, por su menor duración y por afectar a un número reducido de estaciones, ven más comprometidas su representatividad y la calidad estadística de los datos.

Aparte de las deficiencias encontradas como la ausencia de caracterización de la granulometría de las partículas, al no disponerse de ulterior información para poder evaluar de forma completa la idoneidad de los muestreos, las técnicas de análisis y los cálculos efectuados para estimar la aportación de fuentes naturales, así como la idoneidad de la ubicación de las estaciones o puntos de muestreo, se va a dar por supuesto que **éstas son acordes con la legislación vigente y representativas de la realidad de Sevilla y su área metropolitana.**

En consecuencia, en la realización de este informe se van a asumir una serie de supuestos necesarios para poder evaluar el riesgo conforme a los parámetros de calidad establecidos en la literatura científica [Ballester, 2003]. Así, se asume que los datos ambientales disponibles miden realmente la exposición de la población y que dichos datos son representativos de la exposición media de la población en su conjunto, dando por hecho que los procedimientos de calidad de los datos [Informes Calidad Aire Consejería de Medio Ambiente] y de los laboratorios son los correctos.

d) Percepción del riesgo.-

Otro factor importante que debe ser tenido en cuenta en la caracterización de la zona es la percepción de la situación ambiental y su relación con posibles afecciones a la salud que puedan derivarse de estas circunstancias. No obstante, en esta zona no se ha detectado una especial percepción de deterioro ambiental y su relación con la salud de la población, por lo que no se seleccionará ningún contaminante sobre la base de la sensibilidad percibida por la comunidad hacia ellos.

e) Selección de contaminantes.-

Por último, teniendo en cuenta todo lo anterior, vamos a proceder a la selección de los contaminantes según los criterios mencionados en la página seis del presente informe:

- Las **partículas** como tal, el **dióxido de nitrógeno** y el **ozono**, por haber superado los valores de referencia correspondientes.
- El **benceno**, **berilio**, **romo**, **cobalto**, **níquel**, **arsénico** y **cadmio**, por su clasificación como carcinogénicos.

Por tanto, para las fases posteriores de la evaluación de riesgos, deben evaluarse los riesgos genéricos asociados a la presencia de partículas menores de diez micras, así como, por su carácter cancerígeno, los riesgos asociados a la presencia de determinados compuestos químicos en dicho material particulado (en particular los efectos del berilio, romo, cobalto, níquel, arsénico y cadmio) y a la presencia de benceno.



2.2. CARACTERIZACION DEL PELIGRO

Una vez identificados los contaminantes que son de interés, en este apartado mostramos una revisión de las características químicas, físico-químicas y toxicológicas descritas en la bibliografía científica para los mismos. Por último, identificaremos los valores de referencia descritos para cada contaminante, a partir de los cuales se considera que la exposición de la población implica riesgo para la salud y por tanto necesidad de gestión.

a) *Dióxido de nitrógeno*

El NO₂ tiene efectos para la salud tanto directos como indirectos, ya que el dióxido de nitrógeno, en presencia de hidrocarburos y de luz ultravioleta, es la principal fuente de ozono troposférico y de nitratos en forma de aerosoles, los cuales forman una importante fracción de la masa de las partículas menores de 2,5 µm en aire ambiente. En muchos estudios epidemiológicos se ha usado el NO₂ como marcador de un cóctel de contaminantes relacionados con la combustión, en particular aquellos emitidos por el tráfico o por fuentes de combustión en ambientes interiores.

En relación a las medias anuales, la OMS define un valor límite anual de 40 µg/m³ debido a que existen ciertas evidencias de su efecto sobre la salud a largo plazo asociados a la exposición en aire ambiente a mezclas de contaminantes que incluyen al NO₂. Algunos estudios epidemiológicos relacionan la concentración anual de NO₂ con aumentos de síntomas bronquíticos en niños asmáticos o con la reducción de la función pulmonar en niños. Algunos estudios recientes en aire interior han puesto de manifiesto efectos sobre el sistema respiratorio en población infantil a concentraciones de NO₂ incluso por debajo de los 40 µg/m³, efectos que quizás puedan ser explicados, al menos en parte, por la presencia de otros componentes en la mezcla de contaminantes [OMS, 2006]. Por otro lado, la EPA establece un National Ambient Air Quality Standards (NAAQS) anual de 53 ppb (107 µg/m³) [EPA, 1996] y en Canadá el nivel anual máximo deseable es 32 ppb (62 µg/m³) [Health Canada, 2011]

En cuanto a las medias horarias, la OMS establece un AQG de 200 µg/m³ para el dióxido de nitrógeno. Varios estudios toxicológicos sobre efectos a corto plazo en humanos han mostrado efectos agudos tras una exposición de una hora a concentraciones de NO₂ superiores a 500 µg/m³. Aunque la menor concentración de NO₂ a la que existe efecto directo sobre la función pulmonar en asmáticos es 560 µg/m³, algunos estudios en población asmática sobre sensibilidad bronquial sugieren un aumento en dicha sensibilidad a partir de 200 µg/m³ de NO₂ [OMS, 2006]

Por otro lado, la EPA ha establecido un National Ambient Air Quality Standards (NAAQS) de 100 ppb (194 µg/m³), expresado como la media en tres años del percentil 98 de la distribución anual de las concentraciones máximas horarias, tras la revisión del NAAQS realizada en 2010 [EPA, 2011], y Canadá tiene un nivel máximo aceptable horario de 213 ppb (413 µg/m³) [Health Canada, 2011]



b) Partículas

La materia particulada presente en el aire es una mezcla compleja de sustancias orgánicas e inorgánicas, variando en forma, tamaño, composición, y origen. Respecto a los mecanismos de formación, las partículas pueden ser primarias, emitidas como tales a la atmósfera, o secundarias, generadas por reacciones químicas. Dichas reacciones químicas pueden consistir en la interacción entre gases precursores en la atmósfera para formar una nueva partícula por condensación, o entre un gas y una partícula atmosférica para dar lugar a un nuevo aerosol por adsorción o coagulación.

Según su capacidad de penetración en las distintas zonas del aparato respiratorio, las partículas se clasifican en:

- Inhalables, son las que pueden entrar en el sistema respiratorio.
- Torácicas, que alcanzan la región traqueobronquial. Todas las partículas de diámetro menor de 10 μm (PM_{10}) tienen un tamaño suficiente para penetrar en la región traqueobronquial.
- Respirables, que son las que tienen el potencial de entrada en la región de intercambio de gas. Tienen un diámetro inferior a 2,5 μm ($\text{PM}_{2,5}$) y pueden alcanzar la cavidad alveolar, por lo que pueden provocar mayores afecciones. Además presentan en su composición un mayor contenido en sustancias con capacidad tóxica, como los metales en transición.

Los componentes más importantes de la materia particulada son los sulfatos, nitratos, amonio, otros iones inorgánicos (sodio, potasio, calcio, magnesio y cloruro), carbono orgánico y elemental, materiales de la corteza terrestre, agua contenida en el interior de las partículas y metales pesados. Las partículas más pequeñas (partículas finas) contienen los aerosoles formados en reacciones producidas en la atmósfera, residuos de combustión incompleta y vapores metálicos y orgánicos de condensación. Las partículas más grandes, con un diámetro entre 2,5 y 10 μm (partículas gruesas), contienen normalmente materiales resuspendidos de la corteza terrestre y materiales originados en carreteras e industrias.

Las partículas con un tamaño comprendido entre 0,1 y 1 μm pueden permanecer en la atmósfera durante días o semanas y pueden ser transportadas en la atmósfera largas distancias. En cambio, las partículas gruesas se depositan fácilmente, normalmente a menos de diez kilómetros del lugar de origen¹. En este caso, no obstante, la cercanía de los focos industriales y de transporte a las zonas habitadas convierten en poco relevante este hecho.

Centrándonos en los efectos asociados a la materia particulada, conviene decir que hasta hace relativamente poco tiempo se había considerado que las partículas constituían fundamentalmente un problema sanitario limitado a ámbitos urbanos fuertemente industrializados, pero algunos estudios indicaron que en los países desarrollados puede tratarse de un problema de salud pública más generalizado y preocupante [Zeger y cols, 2000]. Uno de los motivos por los que las partículas causan

¹ No obstante, las tormentas de arena pueden transportar partículas gruesas de tipo mineral incluso a más de mil kilómetros de distancia.



tal preocupación es que no parece haber ningún umbral de concentración por debajo del cual no existan efectos nocivos. [Schwartz y Zanobetti, 2000]

Las evaluaciones realizadas al respecto por la OMS [WHO, 2004] indican la relevancia de las PM_{2,5} en los efectos sobre la salud producidos por las partículas. Esta fracción es la responsable principal de la acidez y actividad mutagénica del material particulado, y los estudios epidemiológicos apuntan a que los efectos perjudiciales de PM₁₀ se encuentran principalmente localizados en la fracción de PM_{2,5}.

En concreto, los efectos sobre la esperanza de vida por exposición a largo plazo a partículas parecen ser atribuibles principalmente a las PM_{2,5}, mientras que las partículas gruesas podrían tener más impacto en la morbilidad respiratoria. Las partículas primarias, derivadas de instalaciones de combustión, tienen un considerable potencial inflamatorio, mientras que los nitratos, sulfatos y cloruros son componentes de las partículas con una toxicidad más baja.

No obstante, a pesar de estas diferencias entre los distintos componentes de las partículas bajo condiciones de laboratorio, actualmente no es posible cuantificar con precisión la contribución de cada uno de éstos a los efectos causados por la exposición a las mismas. Los efectos que pueden inducir en el organismo dependen de la granulometría, la morfología y la composición química, el tiempo de exposición y la susceptibilidad de cada persona.

De forma cualitativa, se ha observado que los efectos causados por exposiciones a corto plazo incluyen reacciones inflamatorias pulmonares, diversos síntomas pulmonares e incluso efectos adversos en el sistema cardiovascular. Asimismo se puede relacionar con diferentes aumentos en el uso de determinados medicamentos, en los ingresos hospitalarios e incluso en la mortalidad inespecífica. [Schwartz, 2000]

En cuanto a los efectos causados por exposiciones a largo plazo, se han descrito aumentos en la sintomatología de irritación de las vías respiratorias inferiores, disminución de la función pulmonar en niños y adultos, aumento de la incidencia de la Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC) y finalmente una disminución en la esperanza de vida. Esta disminución está ligada al aumento de la mortalidad por enfermedades cardiopulmonares y probablemente al aumento de incidencia del cáncer de pulmón. [European Comission, 2006]

El exceso de mortalidad en ciudades con altos niveles de contaminación por partículas respecto al observado en ciudades con una contaminación relativamente baja es del 15-20%. En la Unión Europea, la esperanza de vida media es 8,6 meses más baja debido a la exposición a PM_{2,5} antropogénico. [WHO, 2011]

Asimismo, se ha calculado que la reducción de la exposición a PM_{2,5} en veinticinco ciudades europeas a los niveles recomendados por la OMS (10 µg PM_{2,5}/m³) podría añadir **hasta veintidós meses** a la esperanza de vida por cada ciudadano que tuviese actualmente treinta años, dependiendo de la ciudad y de su actual nivel de contaminación. En el caso de las ciudades andaluzas incluidas en el estudio, se estima una ganancia en la esperanza de vida de 10,2 meses en Sevilla, 9,3 en Granada y 2,2 meses en Málaga. [Aphekom Project, 2008-2011].



c) Ozono.

Se han demostrado los efectos a corto plazo de la exposición a ozono sobre la función pulmonar, síntomas respiratorios, inflamación pulmonar y daño por estrés oxidativo, y su influencia en la mortalidad respiratoria e ingresos hospitalarios. Además, hay indicios de que, directa o indirectamente, el ozono puede producir efectos en el sistema cardiovascular, sobre el sistema nervioso central y sobre el sistema inmunitario en pulmones [EPA, 2006]. A largo plazo, hay evidencias de que la exposición a ozono produce efectos crónicos, pero la OMS no considera dicha evidencia suficiente como para recomendar un valor límite anual. Las altas concentraciones de ozono, del orden de $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (media octohoraria), se ha asociado con efectos inflamatorios y fisiológicos en pulmones durante el ejercicio, en adultos jóvenes expuestos en periodos de 6,6 horas, efectos en niños y un aumento de la mortalidad diaria que se estima en un 3-5% [OMS, 2006]. Existen ciertos grupos de población potencialmente más vulnerables a la acción del ozono. Esta diferencia entre grupos poblacionales puede ser debida a varias causas, como tener alguna enfermedad respiratoria, realizar en mayor o menor grado ejercicio físico al aire libre o debido a la variabilidad genética. El RD 102/2011, de 28 de enero, establece un *valor objetivo para la protección de la salud humana* (máxima diaria de las medias móviles octohorarias) de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ que no deberá superarse más de 25 días por cada año civil de promedio en un período de 3 años, y un *objetivo a largo plazo para la protección de la salud humana* (máxima diaria de las medias móviles octohorarias en un año civil) de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La OMS, sin embargo, define un Air Quality Guideline (máximo diario de las medias octohorarias) de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. [OMS 2006]

d) Benceno.

El efecto adverso más significativo de la exposición prolongada a benceno es la hemotoxicidad, genotoxicidad y carcinogenicidad. En lo que respecta a este último, ésta ha sido establecida tanto en humanos como en animales de laboratorio. Se ha demostrado un aumento de mortalidad por leucemia en exposiciones ocupacionales, y se han dado casos de inducción en ratones y ratas de varios tipos de tumores (primariamente con origen epitelial) tras exposición oral e inhalación a $320\text{--}960 \text{ mg}/\text{m}^3$. [OMS 2000]. Al ser carcinogénico, no hay un nivel seguro para el mismo. El RD 102/2011, de 28 de enero, establece un *valor límite para la protección de la salud* de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y la EPA define para el benceno unos valores de Unidad de Riesgo de Cáncer (IUR): $7.8 \text{ exp-}06 (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ y RfCi: $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para el efecto cancerígeno y no cancerígeno, respectivamente. Las concentraciones de benceno en aire ambiente asociados con un exceso de riesgo de 1/10.000, 1/100.000 y 1 entre un millón son, respectivamente, 17, 1,7 y $0,17 \mu\text{g}/\text{m}^3$. [Crump, 1994]

e) Características toxicológicas de los componentes de PM_{10} seleccionados



- **Belirio.** El peligro del berilio para la salud se limita casi exclusivamente a la exposición por inhalación y al contacto cutáneo. No obstante, a menos que se libere la sustancia en el ambiente, la población se suele enfrentar a una exposición a unos niveles tan bajos que se considera que no existe riesgo para la salud. Los efectos agudos por berilio solo se han descrito para exposiciones ocupacionales y causan diversas afecciones al tracto respiratorio (traqueobronquitis e incluso neumonitis química con edema pulmonar), pero se requieren concentraciones muy elevadas (sobre 100 microgramos por metro cúbico). Los efectos crónicos producen un síndrome denominado berilosis (inflamación pulmonar granulomatosa relacionada con disnea, tos, dolor de pecho y disminución de capacidad pulmonar) y pueden detectarse a concentraciones mucho menores (2 microgramos) pero en periodos de exposición elevados (10 años). Este síndrome requiere de un proceso de sensibilización previa causada por motivos genéticos o por previas exposiciones a partículas que contienen berilio.

El principal peligro del berilio en todo caso lo constituye pues su probada carcinogenicidad. Según el IARC (volumen 58 de las monografías del IARC), el berilio y sus compuestos son carcinogénicos del grupo 1 al existir suficiente evidencia epidemiológica en humanos al respecto. Los principales cánceres relacionados con la inhalación de compuestos de berilio son el de pulmón y a mucha distancia el del sistema nervioso central. En 2009 se ha revisado la información referente al berilio y se ha confirmado su carácter cancerígeno [Straif et al, The Lancet Oncology, 2009]. La EPA ha definido para el berilio los siguientes valores de referencia IUR: $2,4 \text{ Exp-06 (ng/m}^3\text{)}^{-1}$; RfCi: 20 ng/m^3 para sus efectos cáncer y no-cáncer, respectivamente.

- **Cromo.** De acuerdo con los datos de dosis-respuesta obtenidos tanto en humanos como en animales, los efectos no cancerígenos más significativos de los compuestos que contienen **cromo (VI)** son respiratorios (irritación nasal y pulmonar, alteraciones en las funciones pulmonares), gastrointestinales (irritaciones, úlceras y otras lesiones del estómago e intestino delgado), hematológicos (anemias hipocrómicas) y afectan a la capacidad reproductora especialmente masculina alterando en especial el epidídimo y reduciendo el recuento de espermatozoides [ATSDR, 2008]. En todo caso, los efectos gastrointestinales están más relacionados con la ingestión que con la inhalación. Además, se ha observado que la inhalación de cromo (VI) está relacionada con la aparición de cánceres del tracto respiratorio y de pulmón. [Environmental Health Criteria, IPCS, 1998] La EPA ha definido para el Cr (VI) los siguientes valores de referencia IUR: $8.4 \text{ exp-5 (ng/m}^3\text{)}^{-1}$; RfCi= 100 ng/m^3 para sus efectos cáncer y no-cáncer, respectivamente.

- **Cobalto.** Se han observado diversos efectos por vía inhalatoria que incluyen disminución de la capacidad pulmonar, inflamación de las vías respiratorias y fibrosis. Se trata de un producto sensibilizante y en estudios con animales se ha detectado además un aumento de la incidencia de hiperplasia y enfisema [ATSDR,



2004]. Los estudios sobre efectos carcinogénicos de que se dispone presentan resultados diversos, siendo algunos positivos y otros negativos. En todo caso, el IARC ha clasificado tanto al cobalto como a alguno de sus compuestos como posible carcinogénico para humanos (grupo 2B) [IARC, 1991]. La EPA ha definido para el cobalto los siguientes valores de referencia IUR: 9×10^{-6} (ng/m^3)⁻¹; RfCi: $6 \text{ ng}/\text{m}^3$ para sus efectos cáncer y no-cáncer, respectivamente.

- **Níquel.** Los potenciales efectos nocivos del **níquel** por vía respiratoria suelen aparecer a concentraciones muy superiores a las existentes en el medio ambiente natural y consisten en inflamación de los tejidos pulmonares [Environmental Health Criteria, IPCS, 1991]. Por el contrario, existe una creciente certeza de la carcinogenicidad de algunos compuestos de níquel, especialmente los óxidos [IARC, 1990]. En todo caso, el principal efecto nocivo del níquel es ser sensibilizante, pero por contacto o vía dérmica (dermatitis de contacto). La EPA ha definido para el níquel los siguientes valores de referencia IUR: 2.4×10^{-7} (ng/m^3)⁻¹; RfCi: $50 \text{ ng}/\text{m}^3$ para sus efectos cáncer y no-cáncer, respectivamente.
- **Arsénico.** Aunque los principales efectos nocivos del arsénico son de sobra conocidos y se refieren a su ingestión aguda o crónica, se sabe también que la inhalación de compuestos de arsénico inorgánico puede causar irritación en las vías respiratorias [ATSDR, 2007], náuseas, efectos sobre la piel y, especialmente, elevar el riesgo de contraer cáncer de pulmón [Environmental Health Criteria, IPCS, 2001]. En ocasiones se ha descrito también una mayor incidencia de cáncer en hígado, sistema digestivo y piel. El IARC lo clasifica como carcinogénico clase 1 [IARC, 1980]. La EPA ha definido para el arsénico los siguientes valores de referencia IUR: 4.3×10^{-6} (ng/m^3)⁻¹; RfCi $15 \text{ ng}/\text{m}^3$ para sus efectos cáncer y no-cáncer, respectivamente,
- **Cadmio.** Los efectos del cadmio por vía respiratoria son similares a los de otros elementos fuertemente oxidantes. Los efectos agudos incluyen edemas, traqueobronquitis y neumonía por destrucción de las células pulmonares. A largo plazo los efectos se vuelven crónicos y se produce daño en las células epiteliales de la nariz, perdiendo sensibilidad olfativa. También se han descrito daños renales a largo plazo [ATSDR, 2008]. En cuanto a las evidencias sobre los efectos cancerígenos, existe una gran discusión al respecto. El IARC lo clasifica como cancerígeno (grupo 1) [IARC, 1997] pero la EPA solo lo califica de posible cancerígeno (grupo B1) [IRIS, EPA 1992]. La EPA ha definido para el cadmio los siguientes valores de referencia IUR: 1.8×10^{-6} (ng/m^3)⁻¹; RfCi $10 \text{ ng}/\text{m}^3$ para sus efectos no-cáncer y cáncer, respectivamente.

f) *Estándares o niveles objetivo/guía de consenso internacional para el material particulado.*



Se trata de dar una descripción más cuantitativa de la relación dosis-respuesta y de los niveles a los que no se producen efectos adversos sobre la salud. Respecto a este último extremo, ya se ha mencionado que los diversos estudios apuntan a que no existe un nivel de concentración sin riesgo, lo que convierte al material particulado en un contaminante particularmente peligroso.

En cuanto a los *niveles objetivo* de diversos países u organizaciones, en primer lugar se deben considerar los objetivos vigentes en la Unión Europea. En el ámbito de la normativa comunitaria, hay que hacer mención a la *Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo*, de 21 de mayo de 2008, relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa. Ésta supone la revisión de la anterior y la unificación de varias normas del acervo comunitario con el fin de ofrecer mayor simplificación y eficacia normativa para el cumplimiento de los objetivos de mejora de la calidad del aire ambiente y considerando los objetivos del sexto programa de acción comunitario en materia de medio ambiente.

Uno de los principales aspectos novedosos es la nueva regulación de las partículas en suspensión de tamaño inferior a 2,5 micras ($PM_{2,5}$), dado que estas partículas finas tienen importantes repercusiones negativas para la salud humana. El control de este parámetro se aborda a partir de un doble enfoque, combinándose el establecimiento de un *valor objetivo* para 2010 y de un *valor límite*, que es de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para las partículas $PM_{2,5}$.

A fecha de hoy, una vez terminados los periodos en que se permitían márgenes de tolerancia para el cumplimiento de los valores límites de partículas PM_{10} , el valor límite diario para la protección de la salud humana en 24 horas es de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Este límite no puede superarse en más de treinta y cinco ocasiones por año. El valor límite anual para la protección de la salud humana (contabilizado en un año civil) es de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

La OMS ha presentado [WHO, 2006] unos valores de referencia para las PM_{10} ambientales tanto en lo que se refiere a la media anual ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) como a la media diaria medida en 24 horas ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Además de estos valores de referencia, se han establecido tres niveles objetivo para los que se han determinado una serie de medidas sucesivas y complementarias cuya aplicación permite alcanzar dichos objetivos.

Los niveles objetivo marcados (para medias anuales de contaminantes) y las razones por las que se han establecido estos objetivos (cuantificando los beneficios para la salud de la población que se podrían alcanzar) son los siguientes:

Objetivo nº 1: ($70 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Este objetivo se ha marcado como base porque dicho nivel de contaminación se asocia con aproximadamente un 15% más de mortalidad a largo plazo en comparación con el nivel de referencia anual antes mencionado.

Objetivo nº 2: ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Este objetivo se ha marcado porque aparte de otros beneficios para la salud de más complicada cuantificación, este nivel de contaminante se asocia con una disminución de la mortalidad prematura de aproximadamente un 6% (entre 2 y 11%) respecto del nivel marcado en el objetivo nº 1.

Objetivo nº 3: ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Este objetivo se ha marcado porque aparte de otros beneficios para la salud de más complicada cuantificación, este nivel de contaminante se



asocia con una disminución de la mortalidad prematura de aproximadamente un 6% (entre 2 y 11%) respecto del nivel marcado en el objetivo nº 2.

g) Estimación de la relación dosis-respuesta frente a PM₁₀-

De entre las diferentes posibilidades de caracterización de la materia particulada se prefieren usar los valores de PM₁₀ y PM_{2.5} porque hay una mayor cantidad de estudios epidemiológicos basados en estos parámetros y, además, la mayor parte de los países cuentan con sistemas de monitorización o de cálculo estimatorio de estas variables. [WHO, 2006]

De entre todos los posibles efectos sobre la salud que causan las partículas, la OMS ha seleccionado como indicadores los tres siguientes:

- Mortalidad en adultos (por causas cardiovasculares y cáncer de pulmón) asociada a exposiciones a largo plazo.
- Mortalidad en niños por causas respiratorias asociada a exposiciones a corto plazo.
- Mortalidad global (incluyendo todas las causas y grupos de edad) atribuible a exposiciones a corto plazo.

La OMS ha preferido evaluar la mortalidad frente a la morbilidad por la sencillez de obtención de datos y porque existe una fuerte evidencia de que los datos de mortalidad están bien correlacionados con los de morbilidad en aquellos países en que existen datos fiables.

Las funciones que relacionan dosis (partículas) y respuesta (mortalidad, en este caso) tienen la forma de funciones de **riesgo relativo**, con lo cual cuantifican la diferencia de impactos que se deriva de situaciones en las que se producen dos niveles de exposición distintos. En general, dependen de un coeficiente de correlación “β” para el que se da un intervalo (para el 95% de confianza) y un valor preferente o sugerido “X₀”. El valor real o medido se denomina “X”.

Las funciones seleccionadas son las siguientes [Pope y cols, 2002] salvo la de infantes [Ritz y cols, 2000]:

- Para correlacionar la mortalidad por todas las causas y grupos de edad asociadas a exposiciones a corto plazo a PM₁₀,

$$RR = \exp [\beta (X - X_0)] \quad \text{con } \beta = 0.0008 (0.0006-0.0010)$$

- Para correlacionar la mortalidad por causas respiratorias en menores de cinco años asociada a exposiciones a corto plazo a PM₁₀,

$$RR = \exp [\beta (X - X_0)] \quad \text{con } \beta = 0.00166 (0.00034-0.0030)$$

- Para correlacionar la mortalidad en adultos mayores de 30 años debida a causas cardiovasculares y exposiciones a largo plazo a PM_{2.5},

$$RR = [(X+1)/(X_0+1)]^\beta \quad \text{con } \beta = 0.15515 (0.0562-0.2541)$$

- Para correlacionar la mortalidad en adultos mayores de 30 años debida a causas pulmonares y exposiciones a largo plazo a PM_{2.5},



$$RR = [(X+1)/(X_0+1)]^\beta \quad \text{con } \beta = 0.23218 (0.08563-0.37873)$$

En realidad, la fórmula de la exposición a partículas a corta duración es simplemente una expresión matemática que intenta sistematizar los resultados encontrados en un número importante de estudios que coinciden en encontrar un aumento de un 0.8% en la mortalidad por todas las causas por cada $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de aumento en la concentración de PM_{10} en la media diaria. En consecuencia, en casos como éste en que los efectos sobre la salud provienen igualmente de exposiciones repetidas a corta duración, el impacto en salud se estimará a base de ejemplificar el incremento diario que puede llegar a producirse como consecuencia de los niveles puntuales elevados de contaminación y de su repetición a lo largo del año, extrapolando la relación antes mencionada.



2.3. EVALUACION DE LA EXPOSICIÓN

En este apartado se analizan las fuentes de contaminación, los medios y mecanismos de transporte, los posibles puntos de exposición, los modos o vías de exposición y la población potencialmente expuesta a los contaminantes. Como se verá a continuación, al haber asumido inicialmente una serie de condiciones de partida en la evaluación de los datos, este apartado se simplifica bastante.

Para este caso, por ejemplo, el manejo de los datos de inmisiones que ha servido de partida para la determinación de los contaminantes de interés nos permite limitar el interés del informe a la presencia de PM₁₀ en el aire, lo que nos lleva a considerar la inhalación como la única vía de exposición relevante. En principio, se puede presuponer una frecuencia de exposición variable en función de que las personas se encuentren en el exterior o en el interior de edificios.

En todo caso, siempre que la evaluación esté basada en estudios epidemiológicos, ese tipo de diferentes exposiciones (interior y exterior) con sus consecuentes diferencias en la magnitud, granulometría y composición de las partículas habrá sido incorporada a los resultados aunque siempre se acabe referenciando los mismos a la concentración ambiental de PM₁₀ como si fuera la única fuente de exposición.

a) Fuentes de emisiones.

En lo que respecta a partículas, en líneas generales cabe destacar la gran contribución de la fracción crustal al total de partículas, muy superior a otros emplazamientos urbanos de España. La materia mineral es con diferencia el principal aporte a los niveles de PM₁₀, suponiendo casi el 50 % de su composición, asociado, entre otros, al sector de la construcción.

Otra de las principales fuentes antropogénicas locales, correspondiente a la principal fuente inventariada, es el tráfico rodado, fuente que queda perfectamente identificada en el análisis de contribución de fuentes mediante modelo de receptor y cuya contribución a los niveles de inmisión queda de manifiesto con las limitaciones comentadas anteriormente. A continuación, la siguiente fuente local inventariada es el sector residencial/comercial/institucional, con emisiones asociadas a la combustión de gasóleo, gases licuados del petróleo y gas natural en calderas y calentadores, y partículas con un perfil químico similar al de instalaciones industriales de combustión. Adicionalmente determinadas actividades extractivas e industrias locales pueden tener una incidencia moderada sobre zonas próximas a la localización de estas instalaciones.

Por último, destacar también el transporte tanto de partículas de origen sahariano como el transporte regional de masas de aire envejecidas cargadas de partículas con alto tiempo de residencia en la atmósfera, con previsible origen en los polígonos industriales de Huelva.

En cuanto a las emisiones de NO_x, los datos evidencian que las emisiones más altas corresponden al tráfico rodado, con un 50,0% en 2007, seguidas de las procedentes de la fabricación de cemento, cales y yesos con un 21,4% para el mismo año.



b) Vías de exposición de las poblaciones.

Una vez analizados los puntos de emisiones, hay que centrarse en el medio y mecanismo de transporte, en el punto de exposición, en el modo o vía de exposición, así como en la población potencialmente expuesta [Environmental Health Criteria, IPCS, 2006]. Como se indicó anteriormente, el estudio se centra en el material particulado atmosférico, por lo que el medio es el aire. Se ha asumido que los datos disponibles son representativos de toda la zona en la que están ubicadas las estaciones de medición, y que cumplen lo dispuesto en la legislación en lo que respecta a la ubicación de los puntos de muestreo (ver discusión).

Por tanto para la realización del estudio se entiende que el punto de exposición será cualquier lugar exterior de la zona donde se ubica la estación de medición, y la vía de exposición es la **vía inhalatoria** sin contemplar otras vías, como por ejemplo la dérmica [Environmental Health Criteria, IPCS, 2009]. Asimismo, para determinar la población expuesta se considerará el número de habitantes de los municipios en los que están ubicadas las estaciones.

c) Tiempo de exposición.

El objetivo de este apartado es reflexionar y llegar a una conclusión sobre cómo se va a cuantificar la exposición de la población. Esta cuantificación servirá para obtener información sobre los posibles efectos de la salud y ya que se ha puesto de manifiesto que la exposición a contaminantes atmosféricos provoca efectos diferentes a corto y a largo plazo, parece razonable entender que se necesitarían al menos dos estándares para cuantificar la exposición, uno que haga referencia a la exposición a corto plazo y otro a la exposición a largo plazo.

En lo que respecta a la exposición real de los ciudadanos al material particulado, se conoce que la misma viene produciéndose desde hace décadas. Es de suponer que las concentraciones de partículas han ido variando a lo largo de este tiempo, pero no se tienen datos precisos de cómo se ha ido produciendo esta variación a lo largo de todos estos años. En realidad, teniendo en cuenta que los posibles efectos para la salud de los contaminantes se producen a lo largo de años, la información existente puede considerarse insuficiente a la hora de realizar un análisis riguroso de la situación.

En cualquier caso, en general lo que se viene haciendo en la mayor parte de los estudios sobre contaminación publicados [Environmental Health Criteria, IPCS, 1994] es intentar conciliar dos grupos de datos que se pueden manejar: los que se dispone mediante mediciones o cálculos y los usados en los diferentes estudios epidemiológicos contra los que se van a comparar los datos reales. De esta forma, consideramos inabordable la estimación de los efectos para la salud derivados de exposiciones con anterioridad a la fecha en la que se dispone de mediciones. No obstante, este hecho no impide que podamos realizar estimaciones de ganancias en salud con un alto grado de confianza, si consideramos las diferencias que se producirían de alcanzarse los valores legales y objetivo de la OMS respecto a los que tenemos en la actualidad.

En lo que respecta a los datos usados en los diferentes estudios epidemiológicos, lo que se suele hacer es asumir que la evaluación de la exposición es equivalente a la que



se produciría con una exposición continua a lo largo de un periodo de tiempo para una concentración de contaminante uniforme. En este caso, simplemente lo que hay que decidir es cuál es el nivel que se va a considerar para caracterizar el nivel medio de exposición real.

d) Niveles de exposición a contaminantes.

En lo que respecta a los datos de que se dispone, la Consejería de Medio Ambiente ha facilitado los datos que son necesarios para realizar la comparación con los estándares legales de las directivas europeas. Así, en el caso de partículas, por ejemplo, se posee el dato de la media anual de partículas tabulado para una serie de años (que será el que nos debe valer para caracterizar la exposición a largo plazo) y el número de superaciones del valor máximo admisible diario. Este último dato es, por el contrario, de una naturaleza no comparable a los datos que se emplean en los estándares de la OMS para el impacto a corto plazo. [Ritz y cols, 2000]

No obstante y dado que en este caso en particular existen riesgos asociados a las exposiciones a corto plazo, se han solicitado datos extra a la Consejería de Medio Ambiente que incluyen los valores de las medias diarias de partículas. Con estos datos lo que se va a realizar es una estimación a modo de ejemplo de las consecuencias que pueden derivarse de los altos niveles puntuales de contaminantes en la zona y de su repetición a lo largo del año. Para ello, elegiremos los tres picos de concentración más altos que sean representativos de la exposición a la que se someten los ciudadanos en esta área.

Para el cálculo de la exposición a largo plazo, en ambos casos se necesita un único valor de concentración para introducirlo en las fórmulas ya aportadas (lo que se denominaba como “X” en las ecuaciones, ver página 19) y este valor debe ser representativo de la exposición a la que se ha visto sometida la población. Para que las incertidumbres siempre estén en el ámbito de la seguridad, lo que se va a hacer es escoger el valor más elevado de entre los disponibles.

Para cuantificar la exposición a largo plazo se escogerá, pues, el **valor medio anual más elevado** de estos años, eligiendo de este modo el *peor escenario posible*. No obstante, es necesario realizar un par de puntualizaciones. La primera responde al hecho de que los datos que proporciona la Consejería de Medio Ambiente son de PM₁₀ mientras que las fórmulas de estimación de riesgo relativo de la OMS requieren datos de PM_{2.5}. Para subsanar este hecho, se va a realizar una aproximación consistente en suponer una relación lineal entre ambos parámetros, que de acuerdo con la literatura científica puede aproximarse a que **el 60% del material particulado pertenece a la fracción de partículas finas**. [USEPA, 1996]

La segunda puntualización se refiere a la necesidad de seleccionar valores que sean representativos de la exposición a la población. En este caso, se dispone de varias estaciones de medida aunque no en todas se superan los valores límite. Al tratarse de un área metropolitana muy extensa se ha intentado seleccionar un número representativo de estaciones teniendo en cuenta su localización geográfica y se han priorizado aquellas estaciones que registran los valores más elevados. Para cada estación se ha escogido el



valor anual más elevado. Además, se usará el valor calculado para el punto denominado como “hot spot”, que es el punto de mayor concentración de tráfico calculado mediante modelización de los flujos de tráfico. En este caso, el hot spot se encuentra en la zona denominada “Circunvalación SE-30”. Se considera que con estos valores se consigue una estimación perfectamente representativa de las condiciones globales de exposición.

En cuanto a la cuantificación del impacto sobre la salud pública de la reducción de los niveles de **benceno** y de **componentes del material particulado**, en primer lugar se calcularán la dosis de exposición de las sustancias seleccionadas en el apartado anterior. Posteriormente, se analizarán las posibles implicaciones que pudieran tener para la salud pública, diferenciando entre las sustancias que tienen un efecto cancerígeno de aquellas que no lo tienen. Para estimar el riesgo teórico de cáncer se empleará la *Unidad de Riesgo de Cáncer* (UR), que se define como el riesgo incremental de cáncer por unidad de concentración del contaminante en toda la vida, esto es, el riesgo por unidad de concentración. Los valores estándar por defecto que se utilizarán serán los de la ATSDR: para el peso medio de un adulto, 70 kilogramos, y para la duración de la exposición, 70 años de vida y 30 años de tiempo en la misma localidad de residencia (percentil 90). [ATSDR, 1994]

En todo caso, al poseer datos de dos estaciones diferentes, lo que se va a hacer es realizar los cálculos para las dos estaciones y asumir que son representativos de lo que está pasando en la zona en general. Si fuera necesario reducir la información a la hora de obtener conclusiones, se elegirá siempre **el valor más elevado** de los que se obtengan.

La *dosis de exposición* se calcularía del siguiente modo:

$$DE = \frac{C \cdot ID \cdot FE}{PC} \text{ (mg/Kg peso} \cdot \text{día)}$$

donde,

DE = dosis de exposición (mg/Kg peso·día)

C = concentración del contaminante (mg/m³)

ID = Inhalación de aire diaria² (m³/día)

PC= Peso corporal (se tomará un peso medio de 70 Kg)

FE = Factor de exposición (sin unidad). El factor de exposición expresa con qué frecuencia y por cuanto tiempo una persona puede estar en contacto en el medio con la sustancia en cuestión³.

A pesar de lo expuesto anteriormente, al evaluar la exposición a gases atmosféricos el cálculo de la dosis de exposición por vía inhalatoria no suele ser necesaria, ya que la dosis en la literatura toxicológica están expresadas normalmente en unidades de masa de sustancia por volumen de aire por lo que, al objeto de seleccionar

² La EPA considera un volumen medio de aire inhalado, en hombres de 19 años o más, de 15,2 m³/día.

³ Se calcula usando la siguiente expresión Factor de Exposición = (F x DE) / AT, donde F es la frecuencia de exposición (días/año), DE es la duración de la exposición (en años) y TP es el tiempo promedio (DE x 365 días/año).



los contaminantes de interés, estos valores pueden ser comparados directamente con las concentraciones ambientales medidas en el lugar. Se ha considerado para ello que el FE sea la unidad, o lo que es lo mismo que la exposición tendrá lugar las 24 horas del día, todos los días del año.



2.4. CARACTERIZACION DEL RIESGO

En este apartado vamos a estudiar el impacto sobre la salud que tendrán las medidas adoptadas/a adoptar por el plan de mejora. Para ello, siempre que sea posible en primer lugar se estimarán las implicaciones en la salud pública de los niveles de los contaminantes presentes (según los datos aportados), para posteriormente comparar los resultados con los niveles que se pretenden alcanzar en el plan de mejora y con los niveles objetivo propuestos por la OMS. De de esta manera, estimaremos los cuadros de enfermedad evitables, en caso que este plan se pusiera en marcha y alcanzara los objetivos propuestos, así como para aquel escenario en el que se adoptaran acciones adicionales y se consiguieran los niveles objetivo propuestos por la OMS. En el caso de que esto no fuera posible, la caracterización del riesgo se limitará a una valoración cualitativa con objeto de identificar posibles situaciones de riesgo para la salud en la población de la zona de estudio.

En primer lugar vamos a realizar un estudio de las posibles implicaciones en salud pública derivadas de la concentración de los distintos contaminantes seleccionados en el presente informe. Dicho estudio se realizará en relación con:

- 1) Riesgos asociados a la exposición de corta duración a partículas.
- 2) Riesgos asociados a la exposición de corta duración a dióxido de nitrógeno.
- 3) Riesgos asociados a la exposición de corta duración a ozono.
- 4) Riesgos asociados a la exposición de larga duración a partículas.
- 5) Riesgos asociados a la exposición de larga duración a los componentes del material particulado.
- 6) Riesgos asociados a la exposición de larga duración al benceno.

1) Riesgos asociados a exposiciones de corta duración a partículas.

En cuanto a los riesgos vinculados a la **exposición a corto plazo al material particulado**, tal y como se comentó en el apartado anterior resulta imposible caracterizar la exposición por la falta de datos coherentes al respecto. El número de superaciones diarias del límite impuesto por la directiva en un año es una medida del posible riesgo asociado a la repetición de situaciones de peligro pero no permite estimar el riesgo de cada una de las exposiciones a corto plazo.

No obstante y dado que en este caso en particular son los riesgos asociados a las exposiciones a corto plazo los que han desencadenado la necesidad de redactar un plan de mejora de la calidad del aire, como ya se mencionó en el apartado anterior, lo que se va a realizar es una estimación a modo de ejemplo de las consecuencias que pueden derivarse de los altos niveles puntuales de contaminantes en la zona y de su repetición a lo largo del año. Para ello, elegiremos los tres picos de concentración más altos que sean representativos de la exposición a la que se someten los ciudadanos en esta área, lo que se traduce en elegir la estación (Santa Clara) y el año (2006) en que más superaciones se han producido.

Estos niveles puntuales serían los siguientes:



13 de agosto de 2006.

Valor diario: 112 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Sobremortalidad calculada: 5% exceso

12 de agosto de 2006.

Valor diario: 93 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Sobremortalidad calculada: 3.4% exceso

23 de junio de 2006.

Valor diario: 93 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Sobremortalidad calculada: 3.4% exceso

En cualquier caso, puede realizarse una *valoración global cualitativa*, comparando los niveles actuales con los límites impuestos con la directiva y que también están basados en su correspondiente evaluación de riesgos, para concluir que si se producen más superaciones del nivel máximo diario propuesto de las permitidas por la directiva se estará produciendo un riesgo para la salud y no se producirá en caso contrario.

En este caso, con los datos reales aportados por la Consejería de Medio Ambiente **se constatan situaciones de riesgo en algunas de las zonas** como las estaciones de Alcalá de Guadaíra, Aljarafe, Bermejales y Santa Clara situadas en diferentes municipios del área metropolitana.

2) *Riesgos asociados a la exposición de corta duración a dióxido de nitrógeno.*

Las estaciones de Ranilla y Torneo son las que registran los niveles anuales más altos de NO_2 . Sin contar los sucesivos márgenes de tolerancia que ha habido cada año hasta 2010, las estaciones de Ranilla (2003 a 2007), Torneo (2005 a 2007), Bermejales (2004) y Príncipes (2005) han superado el valor límite anual de 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Este valor límite anual se estableció debido a los efectos tóxicos directos por exposición crónica a NO_2 a niveles bajos, efectos que podrían ser explicados, al menos en parte, por la exposición a otros contaminantes producidos en la combustión, principalmente por el tráfico, como se explicó anteriormente, y que no se miden de manera rutinaria.

Dado que los valores medidos en esta zona son similares al valor límite en todo el periodo de estudio, se considera que existe la posibilidad de que se den en la población los efectos sobre la salud descritos sobre el sistema respiratorio, principalmente en la población infantil.

3) *Riesgos asociados a exposiciones de corta duración a ozono.*

La ausencia en el Plan de Mejora de los valores alcanzados de ozono y de las máximas octohorarias hacen imposible una evaluación precisa de los posibles efectos derivados de la exposición a altos niveles de ozono. El número de superaciones de los umbrales de información o alerta en un año puede dar una idea sobre situaciones de riesgo pero no permite estimar el riesgo de cada una de las exposiciones a corto plazo.

A este respecto, solo podemos comparar con los umbrales impuestos en la directiva y que también están basados en su correspondiente evaluación de riesgos, para concluir que si se producen más superaciones del nivel máximo diario propuesto de las



permitidas se estará produciendo un riesgo para la salud y no se producirá en caso contrario, esto es, se hará una *valoración cualitativa*. En este caso, con los datos reales aportados por la Consejería de Medio Ambiente se constatan situaciones de riesgo en un número importante de zonas, siendo de especial interés por haberse incluso superado los niveles de alerta la zona de la estación de Aljarafe, situada en el municipio de Mairena del Aljarafe.

4) Riesgos asociados a exposiciones de larga duración a partículas

Como ya se ha mencionado, las funciones que se van a emplear para la estimación del riesgo relativo son las siguientes:

- Para correlacionar la mortalidad en adultos mayores de 30 años debida a causas cardiovasculares y exposiciones a largo plazo a PM2.5,

$$RR = [(X+1)/(X_0+1)]^\beta \quad \text{con } \beta = 0.15515 \text{ (0.0562-0.2541)}$$

- Para correlacionar la mortalidad en adultos mayores de 30 años debida a causas pulmonares y exposiciones a largo plazo a PM2.5,

$$RR = [(X+1)/(X_0+1)]^\beta \quad \text{con } \beta = 0.23218 \text{ (0.08563-0.37873)}$$

En las fórmulas anteriores, X representa la concentración en partículas PM_{2.5} existente en la zona y X₀ la concentración en partículas límite u objetivo. Los valores de X se seleccionan de acuerdo con los criterios dados en el apartado anterior y se transforman desde el valor de PM₁₀ al valor calculado o estimado de PM_{2.5} (USEPA, 1996). Se tiene entonces para los emplazamientos seleccionados:

Mairena del Aljarafe (estación Aljarafe):

Valor de PM₁₀ seleccionado = 63 µg/m³ (media año 2006)

Valor de PM_{2.5} estimado = 37.8 µg/m³ (obtenido a partir de la media año 2006)

Sevilla (estación Santa Clara):

Valor de PM₁₀ seleccionado = 50 µg/m³ (media año 2007)

Valor de PM_{2.5} estimado = 30 µg/m³ (obtenido a partir de la media año 2007)

Alcalá de Guadaira (estación Alcalá):

Valor de PM₁₀ seleccionado = 44 µg/m³ (media año 2007)

Valor de PM_{2.5} estimado = 26.4 µg/m³ (obtenido a partir de la media año 2007)

Sevilla (Hot Spot en SE-30):

Valor de PM₁₀ seleccionado = 49 µg/m³ (calculado media año 2009)

Valor de PM_{2.5} estimado = 29.4 µg/m³ (obtenido a partir del cálculo año 2009)

En cuanto a los valores objetivo o umbral (X₀) podemos señalar los siguientes:

- Valor de referencia legal en UE = 25 µg/m³ (desde 2010)



- Valor objetivo del Plan de Mejora⁴ = 19.2 µg/m³
- Valor objetivo marcado por la OMS = 20 µg/m³
- Valor de referencia nº 1 de la OMS⁵ = 42 µg/m³
- Valor de referencia nº 2 de la OMS⁶ = 30 µg/m³

Estos dos últimos valores de referencia no son de aplicación por cuanto los niveles actuales de partículas ya están por debajo de estos objetivos mínimos de la OMS en la mayor parte de los casos.

Los resultados (riesgo que se podría evitar si se redujesen los niveles de material particulado a los valores de referencia marcados por los organismos internacionales que se citan) que se obtendrían son los siguientes:

Riesgo Relativo	Riesgos cardiovasculares		Riesgos pulmonares	
	Lim legal UE	Objetivo Plan	Lim legal UE	Objetivo Plan
Mairena Aljarafe	1.0641	1.1066	1.0974	1.1636
Sevilla Sta Clara	1.0277	1.0687	1.0417	1.1046
Alcalá de Gra.	1.0082	1.0484	1.0123	1.0733
Hot Spot	1.0246	1.0655	1.0370	1.0996

Cuadro 4: Riesgo relativo para los riesgos cardiovasculares y pulmonares en la zona de estudio.

De los resultados se desprende una clara correlación entre la **disminución del riesgo** de contraer una enfermedad cardiovascular o pulmonar y la **reducción de los niveles de material particulado a los valores de referencia** recomendados por la UE o la OMS. La selección del nivel deseado se realiza de forma que se cumplan simultáneamente los límites legales establecidos para la media anual y la media diaria. A partir de los análisis de regresión realizados con las estaciones de la Red de Vigilancia en Andalucía, en función del tipo de estación, el valor medio anual considerado de seguridad para evitar superaciones diarias se sitúa en 32 µg/m³, por lo que el objetivo de reducción se fija en esa cantidad, y no en los 40 µg/m³. Esta reducción se encuentra más próxima e incluso superando el nivel objetivo de la OMS.

Como podemos observar, los resultados muestran un moderado impacto positivo en la salud como consecuencia de la aplicación del plan de mejora. Si se hubiera optado simplemente por reducir los niveles de partículas a los niveles marcados por la UE, se habría traducido en una reducción en casos de **enfermedades cardiovasculares** de entre un 0.8 y un 6.4% y los de **enfermedades pulmonares** de entre un 1.2 y un 9.7%.

No obstante, el Plan de Mejora ha adoptado un objetivo más ambicioso implementando medidas adicionales encaminadas a alcanzar la reducción de partículas a unos límites del mismo orden de los marcados como objetivo por la OMS. Hecho que

⁴ Transformado del objetivo de PM₁₀

⁵ Transformado del objetivo de PM₁₀

⁶ Transformado del objetivo de PM₁₀



se espera que tenga un claro impacto sobre la salud de la población, ya que supondría la reducción adicional de un 4% y un 6% de la tasa de enfermedades cardiovasculares y enfermedades pulmonares, respectivamente.

5) Riesgos asociados a la exposición de larga duración a los componentes del material particulado.

Para poder evaluar el impacto de la adopción de las medidas contempladas en el plan de mejora en la exposición de larga duración a los metales presentes y seleccionados del material particulado se empleará el Riesgo de Cáncer Teórico, asumiendo que la población está expuesta a éstos durante toda la vida. Al considerar exposiciones de por vida, el riesgo de cáncer se calculará del siguiente modo:

$$\text{Riesgo de Cáncer} = \frac{\text{Concentración de la sustancia en el aire } (\mu\text{g}/\text{m}^3)}{\text{Unidad de Riesgo de Cáncer } (\text{UR}) (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}}$$

Este cálculo estima un **exceso teórico de riesgo de cáncer** expresado como la proporción de población que puede ser afectada por un carcinógeno durante una exposición de por vida. Para las estimaciones en las que se utiliza este índice toxicológico, un riesgo estimado de cáncer bajo (menor de 10^{-6}) puede indicar que la literatura toxicológica sostendría como conclusión que el riesgo sería *aceptable*, mientras que un riesgo estimado de cáncer elevado (mayor de 10^{-6}) indica la necesidad de un estudio más pormenorizado en el que se debería revisar la mejor evidencia científica disponible antes de emitir alguna conclusión sobre riesgos potenciales de cáncer. Cabe mencionar que el tipo de riesgo considerado como *manifiesto* demanda una actuación inmediata y es aquel que da lugar a más de 1 caso de exceso de cáncer por cada 10.000 persona. [WHO Working Group, 2000]

Sustancia	UR (ng/m ³) ⁻¹	Estación de Príncipes ng/m ³	Riesgo de Cáncer	Estación de Alcalá ng/m ³	Riesgo de Cáncer
Arsénico	4,3 E-06	1,60	6,88 E-06	1,40	6,02E-06
Berilio	2,4 E-06	0,03	7,0 2E-08	0,03	7,20E-08
Cadmio	1,8 E-06	0,30	5,40 E-07	0,30	5,40E-07
Cobalto	9,0 E-06	0,50	4,50 E-06	1,40	1,26E-05
Cromo	8,4 E-05	3,60	3,02 E-04	3,00	2,52E-04
Níquel	2,4 E-07	4,90	1,18 E-06	5,10	1,22E-06

NOTA: Los valores son los resultados del análisis químico de elementos traza (ng/m³) en PM10 en el Área Metropolitana de Sevilla en las estaciones de Príncipes y Alcalá (ubicadas dentro del Área Metropolitana de Sevilla) de la campaña de muestreo de 2007-2008.

Cuadro 5: Riesgo de Cáncer teórico para cada sustancia en la Aglomeración de Sevilla y Área Metropolitana.



Se observa que en ambas estaciones de muestreo el cromo, el níquel, el arsénico y el cobalto presentan un Riesgo de cáncer teórico superior a 10^{-6} , por lo que se estudiarán más detenidamente.

Los resultados en relación con el exceso teórico de riesgo de cáncer debido a la exposición a **cobalto** en Alcalá, reflejan una estimación de un poco más de un caso evitable de cáncer cada cien mil personas. Para el **níquel** y el **arsénico**, los resultados señalan una estimación de menos de siete casos de cáncer evitables por cada millón de personas.

En lo que refiere al **cromo**, hay que tener en cuenta que las estimaciones para el cálculo del aumento de la tasa de cáncer están referidos a la concentración de **cromo hexavalente** mientras que las mediciones se suelen realizar, y en este caso se han realizado, referidas a la concentración de cromo total. Asumiendo que todo el cromo existente fuese cromo hexavalente, que es en este caso el *peor escenario*, los resultados de exposición a cromo señalan una estimación de alrededor de tres casos evitables de cáncer por cada 10.000 habitantes.

Esta cantidad está ligeramente por encima de lo que se considera un *riesgo manifiesto*. A pesar de ello y por los motivos que se discutirán más adelante se entiende que este valor está sobreestimado (ver discusión)

No obstante y con independencia de las incertidumbres asociadas al cálculo del riesgo debido a la exposición al cromo, podemos afirmar que se trata de un contaminante que merece una atención especial, y será tratado en el apartado destinado a la discusión.

Una vez evaluadas las implicaciones en salud pública que presentan los contaminantes estudiados, podemos observar el importante margen de mejora en salud de la población que se daría como resultado de alcanzar los objetivos propuestos en el plan de mejora. A continuación vamos a realizar el cálculo, por contaminante analizado y teniendo en cuenta que la mejora en los niveles de partículas atendiendo a los criterios del plan (valores de referencia UE y objetivo del plan) van acompañada de una concentración constante de metales en su composición.

Como todos los cálculos realizados han asumido una relación lineal entre la concentración de metales pesados en la atmósfera y el incremento en el exceso teórico de riesgo de desarrollar cáncer debido a la exposición a dicha concentración de metales, resulta que cualquier disminución en la concentración de metales estará correlacionada con una disminución en el número de casos de cáncer en exceso que se producen.

En consecuencia, si se está partiendo de unos niveles medios iniciales de $47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} y el objetivo de las medidas diseñadas por la Consejería de Medio Ambiente es alcanzar el objetivo de $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ello supondrá que la reducción de material particulado supone aproximadamente un 31,9%. Tal y como se ha razonado anteriormente, esta reducción se produciría en la misma proporción en la incidencia en exceso del cáncer. Como se ve en el siguiente cuadro, se produce una importante reducción del exceso de cáncer que, en el caso más preocupante (cromo), puede suponer hasta once casos por cada 100.000 habitantes.



Riesgo de Cáncer	Príncipes		Alcalá	
	Inicial	Con medidas	Inicial	Con medidas
Arsénico	6,88E-06	4,54 E-06	6,02E-06	4,20 E-06
Cobalto	4,50E-06	2,96 E-06	1,26E-05	8,78 E-06
Cromo	3,02E-04	1,97 E-04	2,52E-04	1,75 E-04
Níquel	1,18E-06	7,90 E-07	1,22E-06	8,50 E-07

Cuadro 6: Riesgo de Cáncer teórico para cada sustancia si se cumpliera el objetivo propuesto en el Plan de Mejora.

6) *Riesgos asociados a la exposición de larga duración al benceno.*

En lo que respecta al benceno, y siguiendo la misma metodología descrita en el apartado anterior, observamos en la tabla que se inserta a continuación que prácticamente todos los valores están un poco por encima del límite de lo que se considera *riesgo aceptable* (un riesgo estimado de cáncer menor de 10^{-6}), aunque sin llegar a acercarse a valores que impliquen un *riesgo manifiesto*.

En los casos más desfavorables (Ranilla y Torneo), los resultados señalan una estimación de aproximadamente dos casos de cáncer evitables por cada 100.000 personas.

Estación	UR ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ¹	Año	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Riesgo de Cáncer
Alcalá de Guadaíra	7,8E-06	2008	0,84	6,55E-06
Aljarafe		2006	1,13	8,81E-06
Bermejales		2007	1,23	9,59E-06
Centro		2007	1,23	9,59E-06
Dos Hermanas		2007	1,28	9,98E-06
Príncipes		2007	1,01	7,88E-06
Ranilla		2007	2,69 ⁽¹⁾	2,10E-05
Santa Clara		2007	1,24	9,67E-06
Torneo		2007	2,28	1,78E-05

(1) Valor medio anual de benceno ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) medido por el método automático para el año 2008 en la estación de Ranilla.
NOTA: El resto de valores son los valores medios anuales de benceno ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) medidos mediante captadores difusivos para el periodo 2006-2010 en la zona de Sevilla y Área Metropolitana.

Cuadro 7: Riesgo de Cáncer teórico para el benceno en cada una de las localizaciones de la Aglomeración de Sevilla y Área Metropolitana.



3. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEL RIESGO

De entre los riesgos para la salud pública detectados en este informe, los más graves son el posible **aumento de la mortalidad por causas pulmonares y cardiovasculares asociada a la exposición a partículas**, los posibles efectos sobre el sistema respiratorio derivados de los niveles de **dióxido de nitrógeno** y de **ozono**, y los derivados del **carácter carcinogénico del cromo hexavalente**, con un exceso de riesgo de cáncer ligeramente superior a un caso entre 10.000 habitantes, que es el nivel de riesgo a partir del cual se considera que existe un *riesgo manifiesto* [ATSDR, 1994]. Por otro lado, se han detectado otros posibles efectos carcinogénicos asociados a la presencia en Alcalá de Guadaíra de cobalto, con un riesgo intermedio entre el *riesgo manifiesto* y el *riesgo aceptable*, así como los efectos asociados a la presencia de arsénico, benceno, berilio, y níquel, así como al cobalto en la estación situada en el parque de Los Príncipes, pero los mismos se encuentran en el rango de valores considerados como de *riesgo aceptable* (ver págs. 29-30)

Peor de los escenarios

Antes de pasar a discutir los resultados obtenidos por el presente trabajo cabe señalar que en caso de diferentes opciones se ha elegido siempre aquella que significara el **peor escenario posible**, siguiendo las directrices sobre el particular de los diferentes organismos internacionales. Esto podría llevar en ciertos casos a una sobreestimación de los efectos sobre la salud. Aunque este hecho se va a discutir a continuación caso por caso.

Calidad de los datos

Otro aspecto a considerar es que se debe ser consciente en todo momento de que la validez de este tipo de conclusiones está condicionada a la representabilidad que tienen una serie de simplificaciones y/o modelizaciones de la realidad que se han ido realizando a lo largo de este informe. De forma general, hemos asumido la validez de los laboratorios que han arrojado los datos, que éstos son representativos, entendiendo que la ubicación de los puntos de muestreo son acordes a los requisitos legislativos y por tanto proporcionan las concentraciones más altas a las que las poblaciones pueden estar expuestas durante un periodo de tiempo significativo, así como las que existen en las zonas más representativas de la dispersión de la población en el territorio. Es decir que miden realmente la exposición de la población y además que los datos son representativos de la exposición media de la población en su conjunto. En todo caso, los posibles errores derivados de asumir estos hechos podrían originar ciertas variaciones en los cálculos numéricos de la caracterización del riesgo, aunque se estima que el resultado final no diferiría esencialmente.

Material particulado

En la cuantificación de la exposición a largo plazo a partículas se ha escogido para cada localización el valor medio anual más elevado de estos años. Por otra parte, cabe considerar que se han utilizado estudios que modelizan datos asociados a



exposiciones a partículas a corto y largo plazo. Se han seleccionado aquellos que optan por utilizar una regresión usando una función de Poisson (ya que la mortalidad como tal es un evento escaso en la distribución) basados en al menos 3 años de observaciones realizados en más de 100 ciudades, tanto de países desarrollados como en vías de desarrollo y por tanto que recogen diferentes niveles de polución, demografía, tasas de consumo de tabaco, exposiciones ocupacionales, niveles socioeconómicos y condiciones climatológicas [Cohen y cols., 2004]. En relación al uso de estas estimaciones y la validez que tienen a la hora de aplicarlas a nivel local, cabe resaltar que la OMS se ha pronunciado al respecto indicando que las funciones que relacionan dosis de exposición y resultados en salud basadas en este tipo de estudios son de aplicación prácticamente a todas las localizaciones, ya que tienen en cuenta multitud de circunstancias diferentes. En todo caso, existen informes que intentan cuantificar a escala nacional las cargas de enfermedad al material particulado haciendo para ello un análisis en profundidad de los datos obtenidos a escala local [Ostro, 2004]. Por otra parte, algunos de los estudios tomados en consideración en el presente trabajo, incluyen datos de España y otras ciudades del ámbito mediterráneo [WHO Regional Office for Europa, 2000] por lo que entendemos que la exposición a las partículas está bien caracterizada.

Otro aspecto a considerar y que debe quedar reflejado en este apartado es que todos los cálculos se han realizado para datos de PM_{10} y no de $PM_{2.5}$. Se echa en falta una **caracterización de la granulometría** del material particulado, ya que los efectos sobre la salud son muy dependientes de este hecho. Para subsanar esta deficiencia se ha supuesto que existe una relación constante entre PM_{10} y $PM_{2.5}$ y que dicha relación es idéntica a la que se acepta comúnmente en la literatura científica [USEPA, 1996].

Componentes del material particulado atmosférico

Con relación a la **caracterización de la composición de las partículas** se ha efectuado en una campaña de medición mucho **menos representativa** tanto en lo que respecta a la duración de la misma como al número de estaciones de medida utilizadas. En consecuencia, la extrapolación de estos resultados a la exposición a lo largo de toda una vida introduce un **nivel de incertidumbre elevado**. Por otra parte, hemos asumido que la disminución de la concentración de metales en el aire que se respira es directamente proporcional al descenso global de la concentración de partículas (al asumir que la concentración relativa de dicho metal se va a mantener constante). Este aspecto cobra especial relevancia cuando analizamos el cromo. Es evidente que la disminución real de la cantidad de metales solo puede conseguirse cuando se limiten las emisiones de estos compuestos, ya que todas las medidas que reduzcan la cantidad de aquellas partículas que no posean compuestos metálicos van a producir un efecto nulo sobre la cuantía de metales en el aire (se producirá una disminución de la cantidad global pero aumentará en el mismo grado la concentración relativa de metales en las partículas). Aunque habría que realizar un estudio en profundidad sobre las principales fuentes (concentradas y difusas) de cada uno de los metales, dicho estudio excede el propósito de este informe y, en general, hemos estimado que **la concentración relativa de metales en el material particulado va a ser constante**, con lo que cada disminución



de los niveles totales de partículas redundará en una disminución de la misma cuantía proporcional de los metales pesados objeto del informe.

Cromo

Para el caso particular de la evaluación del riesgo asociada a la presencia de compuestos de **cromo**, se han efectuado al menos dos estimaciones que nos han llevado a sobrevalorar el riesgo existente y por tanto las ganancias en salud derivadas de la reducción de las emisiones de éste. Por una parte, se ha supuesto que todo el cromo presente en las partículas es cromo hexavalente (el más peligroso para la salud) al no contar con la información sobre la especiación del cromo en el aire ambiente. Por otra, al estimar que se va a mantener la proporción de metales cuando se hagan efectivas las medidas de reducción de emisiones.

Con relación a la proporción desconocida de los distintos estados de oxidación del cromo, puede asumirse que el calor producido en la combustión puede oxidar una proporción desconocida a su estado hexavalente, por lo que podría afirmarse que en el aire ambiente habrá cierta proporción del cromo que se encuentre en forma hexavalente, pero no el total como se ha supuesto. Así, mientras está en el aire probablemente el cromo hexavalente es estable, y cuando se produce la deposición y entra en contacto con materia orgánica, el cromo (VI) se reduce finalmente a la forma trivalente. (WHO, 1988)

El resto de simplificaciones de la realidad se han tomado de forma que se estuviese del lado de la seguridad (peor escenario) y su discusión es la siguiente:

- a) Para la realización de este estudio se ha hecho tan solo una valoración cuantitativa de los **episodios de contaminación agudos**.
- b) En todo caso, parece ser que los niveles registrados en los episodios de contaminación puntual en los últimos años no han alcanzado niveles que se consideran perjudiciales a corto plazo para la salud, aunque la **sucesión de efectos agudos**, aunque sean de carácter leve podría llegar a ser perjudicial a largo plazo.
- c) No se ha tenido en cuenta la posible agravación de los efectos en la exposición de **poblaciones vulnerables**, como en los niños, personas con edad avanzada o con patologías previas. A todos los efectos se han usado funciones que son de aplicación a la población en general mayor de 30 años, con lo que se excluyen de forma expresa a los niños y sin considerar de forma específica a ancianos o personas con patologías previas. Estos grupos sí están considerados en las funciones (ya que la población general de los grupos estudiados debe incluir ancianos y personas con patologías como es lógico) pero restaría por saber si en las mismas proporciones que en la zona de estudio.



- d) Dentro de los efectos a largo plazo, sólo se han evaluado los **efectos observables**: mortalidad, en el caso de los efectos cancerígenos, y morbimortalidad, en el caso de los efectos no cancerígenos.
- e) Los datos evaluados han sido obtenidos entre 2003 y 2010 (2007-2008 en el caso de los componentes del material particulado, como los metales) y en este estudio se ha asumido, para poder realizar la evaluación del riesgo, que los niveles de contaminantes han sido constantes. Pero una lectura más realista de la situación implicaría afirmar que en este estudio se han evaluado los **riesgos para la salud derivados de una exposición durante toda la vida a unos niveles de contaminantes como los que hay actualmente**. Se desconocen con precisión los valores de contaminantes que había hace veinte o treinta años. Igualmente, la estimación de la reducción de mortalidad o morbimortalidad si se alcanzase un nivel de referencia parte de un cálculo en el que se evalúan los riesgos para la salud que se habrían derivado de una exposición, durante toda una vida, a los niveles de contaminantes que se quieren obtener en el futuro.
- f) Igualmente, la simplificación efectuada de que la **composición de las partículas no iba a variar** en el proceso de abatimiento del material particulado a través de las medidas previstas es poco realista, ya que muchas de las medidas previstas por Medio Ambiente están dirigidas al tráfico o a la eliminación de la contabilidad de partículas de origen natural en las que el contenido de metales pesados suele ser muy inferior al resto.
- g) No se ha considerado la **exposición ocupacional**, por lo que los efectos sobre la salud causados en los trabajadores de las industrias derivados de la exposición en ambiente laboral no han sido evaluados.
- h) La metodología utilizada implica que no se han considerado los posibles efectos de **potenciación**, de **sinergia** o de **antagonismo** que puedan producirse entre diferentes sustancias, ni los **efectos aditivos** por la absorción de una misma sustancia por diferentes vías.

Por tanto, se observa que pudiera haber una sobreestimación o infravaloración de los resultados obtenidos en este informe. Este hecho se expone de modo resumido en el siguiente cuadro:

Incertidumbre considerada	Impacto estimado sobre la caracterización del riesgo	
Asunción del peor escenario posible en caso de diferentes alternativas	<i>Sobreestimación</i>	+
Todo el cromo medido es cromo hexavalente	<i>Sobreestimación</i>	+
No consideración de los episodios de contaminación agudos	<i>Infravaloración</i>	-



Incertidumbre considerada	Impacto estimado sobre la caracterización del riesgo	
No consideración de efectos en poblaciones vulnerables	<i>Infravaloración</i>	-
No evaluación de efectos a largo plazo de las superaciones del valor diario por sucesión de daños repetidos	<i>Infravaloración / Sin efecto</i>	-/0
No evaluación de efectos a largo plazo distintos de los observables	<i>Infravaloración</i>	-
Evaluación sólo sobre datos actuales por ausencia de datos fiables en el pasado	<i>Infravaloración / Indeterminada</i>	-/±
Cálculo de PM _{2.5} a partir de datos de PM ₁₀	<i>Indeterminada</i>	±
Representatividad en la caracterización de material particulado	<i>Indeterminada</i>	±
Proporción de metales en partículas constante tras la implantación de medidas del Plan de Mejora	<i>Infravaloración / Indeterminada</i>	-/±
No evaluación de exposiciones ocupacionales	<i>Infravaloración</i>	-
Se considera que los datos son válidos para llevar a cabo la ER	<i>Indeterminada / Sin efecto</i>	± /0
No consideración de potenciación, efectos sinérgicos o antagónicos, ni de efectos aditivos.	<i>Infravaloración</i>	-

Cuadro 8: Incertidumbres consideradas y su impacto sobre los resultados de la evaluación de riesgos (ER).



4. ANALISIS DE OTROS EFECTOS POTENCIALES SOBRE LA SALUD DE LAS MEDIDAS ADOPTADAS EN EL PLAN

a. Descripción de las medidas, responsables y plazos de ejecución.-

El Plan incluye una extensa batería de medidas sectoriales destinadas al abatimiento de partículas en la zona combinando estrategias de control, fomento, sensibilización y regulación en diferentes áreas. Algunas de estas medidas forman parte de otros planes sectoriales pudiendo tener incluso un efecto indirecto sobre la mejora ambiental mientras que otras son específicas del plan y tienen como principal efecto la disminución de la contaminación por partículas. En todo caso, estas medidas tendrán seguramente otras repercusiones positivas o negativas en la salud de la población.

Las medidas se dirigen a disminuir las emisiones de partículas procedentes de las zonas industriales y/o extractivas, las provenientes del tráfico (algunas específicas para tráfico interurbano o urbano) y a la promoción de la eficiencia energética como medio indirecto de reducir las emisiones asociadas a la producción de energía.

Las principales medidas presentes en el plan conjuntamente con los responsables de ejecutarlas son las siguientes:

- Control de emisiones en las principales industrias a través de la actualización y control de las autorizaciones ambientales integradas.- *Consejería de Medio Ambiente.*
- Control de emisiones en explotaciones minerales al aire libre y otras empresas que manejen sólidos pulverulentos.- *Consejería de Medio Ambiente.*
- Introducir criterios ambientales en las ordenanzas municipales que regulen las obras de construcción, demolición e infraestructuras.- *Ayuntamientos respectivos.*
- Mejora y ampliación de las redes de transporte público.- *Consejería de Obras Públicas y Transportes conjuntamente con los Ayuntamientos respectivos.*
- Planes de movilidad urbana y de movilidad de empresas.- *Consejería de Obras Públicas y Transportes conjuntamente con los Ayuntamientos respectivos.*
- Medidas disuasorias del uso de transporte privado y de fomento del transporte sostenible (peatonalización, aparcamientos disuasorios, carriles-bici, restricciones acceso a zonas, fomento del teletrabajo).- *Consejería de Obras Públicas y Transportes conjuntamente con los Ayuntamientos respectivos.*
- Mejora infraestructuras viarias, especialmente caminos de tierra y creación de zonas de velocidad reducida.- *Consejería de Obras Públicas y Transportes, Diputación Provincial y Ayuntamientos respectivos.*
- Reducción de emisiones vehículos, especialmente pesados y públicos.- *Consejería de Obras Públicas y Transportes y Ayuntamientos respectivos.*
- Aplicación del Código Técnico de Edificación y Plan Renove Viviendas.- *Consejería de Vivienda y Ordenación del Territorio y Ayuntamientos respectivos.*
- Fomento medidas de eficiencia energética en hogares y empresas.- *Consejería de Economía, Innovación y Ciencia.*
- Fomento de la conducción eficiente y de otras medidas de sensibilización ambiental.- *Consejería de Medio Ambiente.*



La mayor parte de las medidas pueden ofrecer resultados a corto plazo siempre y cuando sean implementadas por las administraciones competentes salvo quizá las destinadas a la sensibilización ambiental y a las medidas de mejora de la eficiencia energética, cuyo impacto es más suave y progresivo. Por otra parte, algunas de las obras de infraestructuras no tienen prevista su realización hasta años muy posteriores al inicio del plan, con lo que hay que tener en cuenta el retraso en ofrecer soluciones.

En todo caso, existe una gran cantidad de medidas que ya están en proceso de implantación o que habían sido planificadas con anterioridad a la puesta en marcha de este plan. De hecho, los últimos datos de la RVCAA muestran que **la tendencia al descenso de la contaminación** se mantiene e incluso se intensifica en las dos últimas campañas.

Como último aspecto a considerar, aunque no entra dentro del propósito de este informe entendemos que se debe poner de manifiesto que en muchas de las fichas de medidas no se encuentra ni el **presupuesto previsto ni la fecha de realización** con lo que subyace la duda de si realmente la medida se acabará poniendo en marcha o depende de la aprobación de alguna administración.

b. Valoración de las medidas.-

Las medidas dirigidas a la reducción de emisiones en el **ámbito industrial** se consideran muy efectivas y tendentes a conseguir que las emisiones se adapten a las mejores tecnologías disponibles. En este ámbito, pues, no se pueden lograr unos estándares de calidad más exigentes. La Consejería de Medio Ambiente estima que la reducción de contaminación a que pueden contribuir alcanza incluso el 35% del total de la existente en el año 2007.

Las reducciones de emisiones asociadas al **tráfico** son interesantes (de entre 2 y 6.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y se producen tanto por la modernización de la flota con vehículos con menores emisiones específicas como por la mejora de la fluidez del tráfico que repercute en menores emisiones por trayecto. En base a la evolución del parque de vehículos y al efecto de su renovación sobre las emisiones de PM_{10} , se estima que las emisiones de PM_{10} medias por vehículo puedan situarse en 2015 en el 96% de las emisiones unitarias actuales. Subyace la duda, en todo caso, de si estas reducciones no se verán compensadas por un posible aumento del parque automovilístico.

Asimismo, considerando las medidas de fomento del transporte público (entre las que destaca el eje ferroviario transversal Huelva-Sevilla-Granada-Almería), las medidas de fomento del transporte no motorizado y las medidas disuasorias al uso del vehículo particular, se estima una reducción de la intensidad media diaria de vehículos en el rango 2 - 4%. Para este tipo de medidas se puede prever un efecto más duradero si se combinan con medidas de concienciación de la ciudadanía.

En cuanto al **sector doméstico**, la mejora de la calidad del aire asociada a estas medidas viene derivada fundamentalmente de la renovación del parque de edificios, por el menor consumo de energía en calefacción y producción de agua caliente sanitaria, siendo por tanto medidas a largo plazo y de muy compleja valoración a corto y medio plazo. No obstante, se estima que estas medidas pueden resultar efectivas por cuanto su



realización conlleva una disminución de costes globales para las economías domésticas y ello facilitará su adopción y aceptación.

c. *Otros efectos potenciales sobre la salud de estas medidas.-*

En este apartado se analizarán los posibles impactos sobre la salud de la población de las medidas consideradas que no tengan que ver con los efectos directos que se producen como consecuencia de la disminución de los niveles de partículas en el aire. Algunos de estos efectos pueden ser considerados de forma global, es decir, derivados del total de las medidas sin poder diferenciar la contribución de cada grupo de medidas en particular. Este tipo de efectos son los que se van a considerar en primer lugar.

Como efecto más significativo, conviene llamar la atención hacia el hecho de que la mayor parte de las medidas del plan no sólo provocan una disminución de la emisión de partículas sino que producen una **disminución paralela de la emisión de otros contaminantes** como óxidos de azufre o de nitrógeno. Igualmente la disminución del material particulado puede causar el descenso en la formación de otros contaminantes secundarios.

Aunque los niveles de dichos contaminantes en el ambiente de la zona no alcanzan los niveles considerados de riesgo, cualquier disminución de sus niveles va a representar una mejora en la salud de la población. Esta mejora podría ser cuantificada si se aportasen datos sobre las disminuciones en los niveles de los contaminantes que se logran con las medidas. No obstante, al no disponer de dichos datos sólo se puede realizar una evaluación de forma cualitativa, cuya conclusión es que probablemente se producirá una mejora adicional en la salud como consecuencia del descenso de los niveles del resto de especies contaminantes.

Otro aspecto interesante a considerar es el incremento en el nivel de empleo que se puede inducir como consecuencia de la puesta en marcha de todo este grupo de medidas, que debe sumarse al mantenimiento del empleo que se produce por ejemplo a través de las autorizaciones ambientales integradas concedidas en la zona. Sin este tipo de autorizaciones, las empresas deben cesar su actividad con la consiguiente pérdida de empleo que supondría y que se evita así. Aunque no todas las medidas contribuyen con la misma intensidad (e incluso puede haber algunas que supongan una disminución puntual de empleos), se estima que el efecto global de las medidas es positivo sobre el empleo.

El **aumento de empleo** provoca un aumento de los ingresos e incluso del nivel de satisfacción personal en su conjunto, lo que se ha relacionado tradicionalmente con una mejora en los niveles de salud. En consecuencia, se estima que se producirá un efecto positivo sobre la salud derivado de la mejora económica que supondrá la implementación de estas medidas.

Por otro lado, la **mejora global del medio ambiente** causada por la reducción de emisiones de partículas y de otras especies contaminantes va a repercutir en una serie de efectos positivos sobre la calidad de las aguas superficiales, la calidad del suelo, la misma limpieza en vías urbanas, el paisaje y los recursos naturales, etc. Toda esta mejora repercute de forma positiva sobre la percepción que los ciudadanos tienen de su



entorno e incrementa su autoestima y bienestar, lo que se considera que tiene un efecto positivo sobre la salud en su conjunto.

En segundo lugar, se verán algunos de los principales efectos de carácter secundario o indirecto pero que están directamente relacionados con alguno de los grupos de medidas previstas en el plan. Para su análisis se va a proceder a efectuar un repaso por cada uno de dichos grupos de medidas, intentando poner de manifiesto estos efectos secundarios que pueden inducir.

Dentro de las medidas encaminadas a reducir las emisiones de carácter industrial, las que se derivan de la aplicación de las **autorizaciones ambientales integradas**, en general sus efectos son bastante directos o inmediatos y ya se han descrito anteriormente. Además, hay que considerar también que las nuevas tecnologías que llevan asociadas permiten una diversificación en el empleo de la zona y la posibilidad de exportar los conocimientos adquiridos a otras zonas, incrementando el impacto económico positivo global.

En cuanto a la eliminación de emisiones difusas o fugitivas en **actividades extractivas o industrias que manejan sólidos pulverulentos**, se destaca el grupo de medidas basadas en el riego de caminos o instalaciones. En este tipo de actividades se debe tener en cuenta el posible riesgo de extensión o diseminación de legionelosis que puede suponer una amenaza para la salud de la población. Estos riesgos pueden ser reducidos con facilidad poniendo en marcha las medidas de control previstas en la normativa de referencia, concretamente el Real Decreto 865/2003, de 4 de julio, por el que se establecen los criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis.

Otro grupo de medidas se refiere a la reducción de partículas en las **obras de construcción y demolición**. Algunas de las medidas previstas hacen referencia a la necesidad de regar las vías de comunicación por las que se transportan los residuos para evitar la resuspensión del polvo. Además de tener en cuenta lo dicho anteriormente para la prevención de la legionelosis, se estima que un riego inadecuado de las vías urbanas puede incrementar el riesgo de accidentabilidad, en particular para los vehículos más ligeros. En consecuencia, sería conveniente habilitar medidas que reduzcan este riesgo.

Entre las medidas de fomento del transporte público se prevé la construcción de algunas **infraestructuras de tipo tranviario o ferroviario** que de forma global van a reducir el tráfico. Esto conllevará una reducción de los niveles de ruido para las personas cercanas a las vías de comunicación y beneficios adicionales en cuanto a la reducción de accidentes. Además, las mejoras de accesibilidad permitirán consolidar las redes sociales y aumentar el acceso de poblaciones desfavorecidas a los servicios públicos. Todos estos factores son positivos de cara a la salud de la ciudadanía.

Por otra parte, hay que tener en cuenta las posibles molestias que se causen a los ciudadanos en las proximidades de estas infraestructuras tanto en el tiempo de su construcción como en el de su explotación y habilitar mecanismos para reducir los impactos visuales, de ruido, de contaminación lumínica y del aire. Igualmente se deben habilitar mecanismos para impedir que las vías impidan la comunicación entre zonas contiguas (pueden crear zonas segregadas o dificultar el acceso a servicios públicos de forma local) o que supongan un riesgo por atropellamiento para la población.



También sería conveniente que se habilitasen medidas para que el aumento de tráfico de vehículos pesados y/o maquinaria de construcción no afecte de forma significativa a la salud de la población en el periodo de construcción. Por último, se deberían intentar minimizar las desigualdades que suponen que el trazado de estas líneas dé cobertura de forma preferente a unas zonas respecto a otras, intentando maximizar los beneficios en la accesibilidad en su conjunto.

En cuanto a los **planes de movilidad** y en especial a los de las empresas, se entiende que la sustitución de vehículos individuales por colectivos genera beneficios adicionales de todo tipo para los trabajadores, reduciendo los niveles de estrés y de accidentabilidad (tanto laboral como *in itinere*), aparte de poder suponer una mejora económica importante (al reducir el uso del vehículo propio se reducen los gastos en combustible y de mantenimiento) y de suponer más tiempo libre puesto que en general, estos planes conllevan una racionalidad de los horarios de trabajo. Todas estas circunstancias se relacionan con posibles mejoras en la salud de los mismos.

En general, todas las medidas que estén orientadas a **reducir el uso de vehículo propio** van a suponer una disminución en los niveles de sedentarismo incrementando la salud de la población, una reducción del gasto en combustible y, en especial, una disminución de las desigualdades sociales que penalizan a aquellos grupos de población que no se pueden permitir la compra o el uso de un vehículo propio.

Dentro de estas medidas, las relacionadas con la **peatonalización de espacios** tienden a crear entornos más saludables por la ausencia de los humos y ruidos procedentes del tráfico. Además se evitan los accidentes de tráfico, en particular los atropellamientos, y se crea un entorno que facilite las relaciones sociales y la práctica de la actividad física suave. También puede permitir el aumento paralelo de las zonas verdes, lo que mejora la percepción del entorno tal y como se mencionó al comentar la mejora de los ecosistemas en medidas anteriores. En otro orden de cosas, si la peatonalización afecta a zonas amplias pueden crearse problemas de movilidad para la tercera edad o las personas con discapacidad que deben ser tenidos en cuenta y corregidos de forma adecuada.

Para el análisis de la **construcción de parkings** nos remitimos a la mayor parte de los impactos ya mencionados para la construcción de todo tipo de infraestructuras: ruido y contaminación a nivel local e incremento de tráfico y de transporte de residuos en el entorno. Igualmente se valora de forma negativa el efecto sobre las desigualdades sociales que pueden tener medidas como el **ecopase** o la rotación de vehículos ya que perjudican de forma más notable a las capas sociales de menores recursos.

En cuanto al **teletrabajo**, hay una gran discusión sobre las posibles repercusiones que puede generar sobre la salud. Reduce la necesidad de desplazarse mejorando la conciliación de la vida familiar y social e incrementando el tiempo libre de los que optan por este modelo. Pero por otro lado, reduce las relaciones sociales e incrementa el sedentarismo de la población, por lo que es complicado evaluar el efecto global sobre la salud que produce.

Existe todo otro grupo de medidas de **construcción, mejora o renovación de infraestructuras, normalmente de la red viaria intermunicipal**. En este caso, como los anteriores existe una serie de ventajas globales que se deben contraponer a las



molestias locales que pueden suponer. Todo ello sin contar con el posible agravamiento de las desigualdades en salud que podría suponer el incremento a nivel local de impactos negativos de cara a la salud y las posibles desigualdades que se generen en el acceso o no a dichas infraestructuras.

En todo caso, la mayor parte de estas infraestructuras se encuentran en lugares no habitados con lo que los efectos locales pueden no ser en exceso significativos. En todo caso, se requeriría un estudio más detallado de cada una de estas medidas por separado con el objetivo de identificar estos impactos positivos y negativos y proponer medidas correctoras o potenciadoras de los mismos, a fin de optimizar el resultado de las intervenciones.

En cuanto a la reducción de emisiones de los vehículos vía sustitución de combustibles o mejora de la eficiencia en el transporte, destaca de forma especial el recurso a los **biocombustibles**. Se trata de un tema bastante controvertido por sus efectos globales (contribución a la deforestación y al incremento de precios de alimentos de primera necesidad) [Fargione y cols, 2010] pero cuyos efectos locales no están del todo claros.

Por la gran cantidad de aditivos químicos que se añaden a los alcoholes de base, no existe un consenso definitivo aún sobre los efectos sobre la salud que pueden producir a largo plazo y existen estudios que denuncian una mayor producción de ozono troposférico [Guarrieiro y cols, 2010] , de óxidos de nitrógeno y de aldehídos mientras que se reducen el monóxido de carbono, los hidrocarburos inquemados y con ello, las partículas [Hill y cols, 2009]. Convendría realizar estudios en profundidad sobre el impacto en salud de estos productos antes de potenciar de forma generalizada su uso.

En cuanto a las medidas de reducción de velocidad en vías interurbanas, se estima que se puede producir una sensible disminución en los niveles de accidentes pero no se cuenta con estadísticas definitivas que permitan sustentar esta afirmación. Se recomienda en todo caso que estas medidas se engloben dentro de un fomento de la conducción eficiente.

En el epígrafe denominado de medidas **dirigidas al sector residencial, comercial o institucional** se incluyen la mejora del aislamiento térmico de las viviendas, la dotación de las mismas de energía solar térmica y la rehabilitación de viviendas para aumentar la eficiencia en el uso de energía.

Todas estas medidas contribuyen al bienestar de la población y a la reducción de desigualdades al tener un enfoque de promoción y ayuda económica en la que se priorizan los grupos de menor poder adquisitivo. Además, tanto la mejora del aislamiento térmico y de la eficiencia energética como el recurso a la energía solar permiten abaratar los costes en que incurren las unidades familiares aumentando su renta disponible.

Las medidas de **prevención y sensibilización** previstas apuntan a la misma dirección en el sentido de promover el ahorro de energía, el consumo responsable y la concienciación ciudadana. El impacto es similar al descrito anteriormente en el sentido de aumento del bienestar y de la renta disponible como consecuencia del menor gasto realizado.



En todo caso, se entiende que estas medidas de prevención y sensibilización serían más efectivas y recibirían un mayor apoyo por parte de la ciudadanía si se hubiera fomentado la participación de la misma en la toma de decisiones por cuanto se verían entonces como una contribución voluntaria a la resolución de un problema que afecta a todos. Se echa en falta en todo el proceso de redacción del plan la búsqueda del consenso y de la participación de las partes implicadas, lo que es especialmente grave en este caso en que la ciudadanía está tan sensibilizada al respecto.

d. Resumen de las afecciones secundarias a la salud.-

Dentro de los efectos indirectos de las medidas tomadas con el fin de reducir los niveles de material particulado, los más significativos están relacionados de forma global con el paralelo descenso de los niveles de otros contaminantes que también ejercen un efecto positivo sobre la salud. No se ha podido cuantificar este efecto por no haberse facilitado información sobre el descenso de estos otros niveles.

El resto de los efectos solo puede valorarse a efectos cualitativos. Se espera un aumento del empleo y de la actividad económica global que puede correlacionarse con una mejora en salud y una mejora en la calidad del medio ambiente, de los recursos naturales y del aspecto del entorno que se cree repercutirá positivamente en la percepción que los ciudadanos tienen de su nivel de bienestar.

Los descensos en los niveles de tráfico, de conseguirse, conseguirán una disminución de los niveles de ruido y de los índices de accidentabilidad. Esto puede conseguirse también mediante la realización de infraestructuras como la puesta en funcionamiento de transporte público o la mejora de las vías de comunicación.

En este último caso, hay que tener en cuenta las molestias causadas a la población que vive en la proximidad de las obras durante su realización y las posibles desigualdades introducidas entre la población con acceso a estas infraestructuras y los que no la poseen. Como efecto favorable de estas últimas cabe destacar el que faciliten el acceso de la ciudadanía a los servicios públicos y ayuden a consolidar las redes sociales.

Las medidas de fomento de la reducción de uso de vehículo privado con medidas disuasorias o a través del fomento del uso de transportes no motorizados se relacionan con mejoras en los niveles de actividad física y entornos más saludables que fomentan la sociabilidad y el contacto humano. Hay que tener precaución, no obstante, con las medidas que pueden incrementar las desigualdades sociales al introducir peajes o tasas por el uso de vehículos que perjudican de forma más notoria a las poblaciones con menos recursos.

El uso de biocombustibles es otro de los factores que introduce más incertidumbres en cuanto a su posible beneficio global sobre la salud de la población, con factores favorables y desfavorables. Se recomienda una investigación más en profundidad que permita esclarecer este punto.

Las medidas destinadas al fomento de la eficiencia energética y del consumo sostenible se consideran beneficiosas por reducir las desigualdades sociales al estar dirigidas a las poblaciones de menor renta y además incrementan la renta disponible de las unidades familiares siendo muy beneficiosas a largo plazo.



En general, se echa en falta a la hora de potenciar la eficacia de las medidas de concienciación ciudadana que se haya fomentado más la participación de la población de forma que asumiese como propios los objetivos de mejora del plan.



5. CONCLUSIONES

1. Se constatan situaciones de riesgo para la salud derivadas de las concentraciones alcanzadas de ozono en numerosas zonas, principalmente en diferentes municipios del área metropolitana, como Alcalá de Guadaira y Aljarafe, así como en algunas áreas localizadas en la periferia de la capital, como Los Bermejales y Santa Clara.
2. Se considera que existe la posibilidad de que los niveles de dióxido de nitrógeno alcanzados en algunas zonas provoquen efectos sobre el sistema respiratorio, principalmente en la población infantil.
3. Los niveles de partículas existentes en Sevilla y su área metropolitana en el período analizado pueden constituir un riesgo para la salud de la población de la zona.
4. La reducción de la concentración de partículas a los niveles que figuran como objetivo del Plan de Mejora, respecto a los más altos medidos en los últimos años, implicaría reducción en casos de enfermedades cardiovasculares de entre un 4,8 y un 10,7% y de casos de enfermedades pulmonares de entre un 7,3 y un 16,4%.
5. Los niveles de cromo existentes en la zona podrían suponer un exceso de riesgo de cáncer de entre dos y tres casos cada 10.000 habitantes, y la reducción de los niveles de partículas a los niveles marcados como objetivo en el Plan de Mejora puede suponer una reducción de entre 8 y 10 casos por cada 100.000 habitantes.
6. Los niveles de cobalto registrados en la estación de Alcalá de Guadaira podrían suponer un exceso de riesgo de cáncer de poco más de un caso cada 100.000 habitantes, y la reducción de los niveles de partículas a los niveles marcados como objetivo en el Plan de Mejora puede suponer una reducción de unos cuatro casos por cada millón de habitantes.
7. Los niveles de benceno existentes en la zona podrían suponer, en algunos casos, un exceso de riesgo de cáncer superior a un caso entre 100.000 habitantes.
8. Se recomienda un estudio más a fondo de los niveles de cromo para asegurar que los niveles medidos de cromo total representan realmente el riesgo descrito en el punto quinto.
9. Se hace necesario identificar y priorizar aquellas medidas incluidas en el Plan que tengan incidencia directa sobre la concentración de cromo y, en la zona de influencia de la estación de Alcalá de Guadaira, sobre la concentración de cobalto, así como incluir medidas adicionales con este mismo fin.

Como conclusión final, los resultados de este estudio demuestran que la aplicación de las medidas contenidas en el Plan de Mejora tendrá un **impacto positivo en la salud de la ciudadanía**, por lo que se desde esta Secretaría General de Salud Pública y Participación se informa favorablemente y se realiza una **valoración positiva** de dicho Plan.



BIBLIOGRAFIA

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), 1994. *Environmental Data Needed for Public Health Assessments. A Guidance Manual*. Atlanta, GA: U. S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), 2005. *ATDSR Public Health Assessment Guidance Manual*. Atlanta, GA: U. S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), 2004. *Toxicological profile for Cobalt*. Atlanta, GA: U. S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), 2007. *Toxicological profile for Arsenic*. Atlanta, GA: U. S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), 2008. *Toxicological profile for Chromium*. Atlanta, GA: U. S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), 2008. *Toxicological profile for Cadmium. Draft for Public Comment*. Atlanta, GA: U. S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.

Agency for Toxic Substances and Disease registry (ATSDR), 2009. *Minimal Risk Levels (MRLs)* December 2009. Atlanta, GA: U. S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.

Anderson HR y cols. *Air pollution and daily admissions for chronic obstructive pulmonary disease in 6 european cities: results from the APHEA project*. 1997. Eur Respir J 10: 1064-1071.

APHEIS. *Air Pollution and Health: a European Information System. Health impact assessment of air pollution in 26 European cities*. 2001. Second-year Report. 2000-2001
Asociación de Grandes Industrias del Campo de Gibraltar. *Informe económico-social 2009*.

Ballester F, Tenías JM, Pérez-Hoyos S. *Efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud: una introducción*. Rev Esp Salud Pública 1999; 73: 109-121.

Ballester F y cols. *El proyecto MECAM: Estudio multicéntrico español sobre la relación entre la contaminación atmosférica y la mortalidad*. Rev Esp Salud Pública 1999:165-175

Ballester F. *La evaluación del impacto en salud de la contaminación atmosférica*. Rev. Salud Ambiental 2003;3(2): 102-107.

Ballester F y cols. *Air pollution and cardiovascular admissions association in Spain: results within the MECAS project*. J Epidem Comm Health 2006, 60:328-336

Centro Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), 2003-6. *Diagnóstico sobre la situación ambiental del entorno del Campo de Gibraltar*. Informes del Centro Superior de Investigaciones Científicas, diversos años.

Chen W, Zhuang Z, Attfield MD, Chen BT, Gao P, Harrison JC, Fu C, Chen JQ, Wallace WE. 2001. *Exposure to silica and silicosis among tin miners in China: exposure-response analyses and risk assessment*. Occup Environ Med. 58(1):31-7.



Cohen AJ y cols. *Comparative quantification of health risks: global and regional burden of disease attributable to selected major risk factors*. Geneva 2004. World Health Organization, Vol 2.

Consejería de Medio Ambiente. *Informe de Calidad del Aire Ambiente*. Diciembre de 2005, 2006, 2007, 2008, 2009 y 2010. Junta de Andalucía.

Consejería de Medio Ambiente. *Plan de Calidad Ambiental del Campo de Gibraltar*. Documento Base. Junio 2001. Junta de Andalucía.

Decreto 74/1996, de 20 de febrero, por el que se aprueba el Reglamento de Calidad del Aire. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.

Directiva 2008/50/CE del Parlamento europeo y del Consejo de 21 de mayo de 2008, relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa.

Environmental Health Criteria 108. *Nickel*. International Programme on Chemical Safety. Geneva, 1991. World Health Organization.

Environmental Health Criteria 170. *Assessing human health risks of chemicals: derivation of guidance values for health-based exposure limits*. Geneva, 1994. World Health Organization, International Programme on Chemical Safety.

Environmental Health Criteria 224. *Arsenic and Arsenic Compounds*. Second Edition. International Programme on Chemical Safety. Geneva, 2001. World Health Organization.

Environmental Health Criteria 237. *Principles for evaluating health risks in children associated with exposure to chemicals*. International Programme on Chemical Safety. Geneva, 2006. World Health Organization.

Environmental Health Criteria 239. *Principles for modelling dose-response for the risk assessment of chemicals*. Geneva, 2009. World Health Organization, International Programme on Chemical Safety.

Environmental Health Criteria 61. *Chromium*. International Programme on Chemical Safety. Geneva, 1998. World Health Organization.

Environmental Health Criteria 81. *Vanadium*. International Programme on Chemical Safety. Geneva, 1988. World Health Organization.

EPA Region 3's *Risk-based concentrations (RBCs) list environmental and health guidelines*. Resident Air Supporting Table, May 2010.

Fargione J, Plevin R y Hill J. *The Ecological Impact of Biofuels*. 2010. Annual Review of Ecology, Vol 41, pp 351-357.

Guarieiro, L y cols. *Modelling the impacts of Diesel, Biodiesel and Diesel Ethanol Fuel Blends on Atmospheric Ozone and Carbonyl Concentrations*. Jan 2010. Am Ass for Aerosol Research.

Hardy AR y cols. *Comparative review of risk terminology*. Central Science Laboratory, York, UK, 2007.

Health Impact Assessment: main concepts and suggested approach. Gothenburg consensus paper. December 1999. World Health Organization Regional Office for Europe.

Healthy People in a healthy environment. Environmental impacts on health: better understanding for better protection. Review of the European information base for policy. European Commission, 2006.

Hill J y cols. *Climate Change and Health Costs of Air Emissions from Biofuels and Gasoline*. 2009. Proceed Nat Acad Science United States. Vol 106 (6), pp 2077-2082.



Hnizdo E, Sluis-Cremer GK. 1993. *Risk of silicosis in a cohort of white South African gold miners. Am J Ind Med.* 24(4):447-57.

Integrated Risk Information System. *IRIS Substance List.* U. S. Environmental Protection Agency (EPA).

International Agency for the Research on Cancer. *Arsenic.* 1980. Lyons, IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Vol 23, pp 39-141.

International Agency for the Research on Cancer. *Chromium, nickel and welding.* 1990. Lyons, IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Vol 49, pp 463-474.

International Agency for the Research on Cancer. *Cadmium and cadmium compounds.* 1997. Lyons, IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Vol 58, pp 119-ss.

International Agency for the Research on Cancer. *Cobalt and cobalt compounds.* 1991. Lyons, IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Vol 52, pp 363-ss.

IPCS. *Risks assessment terminology. Part 1: IPCS/OECD key generic terms used in chemical hazard/risk assessment. Part 2 IPCS glossary of key exposure assessment terminology.* Geneva, 2004. World Health Organization, International Programme on Chemical Safety.

Krewski D y cols. *Reanalysis of the Harvard Six Cities Study and the American Cancer Society Study of Particulate Air Pollution and Mortality.* Boston, MA, 2000. Health Effects Institute.

Office of Environmental Health Hazard Assessment (OEHHA), 2005. *Determination of Noncancer Chronic Reference Exposure Levels (chRELS). Silica (Crystalline respirable).* California Environmental Protection Agency (Cal/EPA)

Orden de 15 de septiembre de 2005, por la que se aprueba el Plan de Acción Medioambiental para el Campo de Gibraltar. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.

Orden de 18 de abril de 2000, mediante la que se acuerda la formulación de un Plan de Calidad Ambiental del Campo de Gibraltar. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.

Ostro B. *Outdoor Air Pollution: Assessing the environmental burden of disease at national and local levels.* Geneva, World Health Organization, 2004 (WHO Environmental Burden of Diseases Series No 5).

Pope AC y cols. *Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particules air pollution.* JAMA 2002;287:1132-1141.

Quantification of the Health Effects of Exposure to Air Pollution. Report of a WHO Working Group Bilthoven, Netherlands 20-22 Nov 2000.

Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire. (BOE Núm. 25 de 29 de enero de 2011)

Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes, PRTR-España, <http://www.prtr-es.es/>

Ritz B, Yu F, Chapa G, Fruin S. *Effect of air pollution on preterm birth among children born in Southern California between 1989 and 1993.* 2000. Epidemiology, 11(5): 502-511.



Schwartz J, *Assesing confounding , effect modification, and thresholds in the association between ambient particles and daily deaths*. 2000. Environmental Health Perspectives, 108(6): 563-568.

Schwartz J, Dockery DW, Neas LM. *Is daily mortality associated specifically with fine particles?* 1996. Journal of the Air and Waste Management Association, 46: 927-939.

Schwartz J, Zanobetti A. *Using meta-smoothing to estimate dose-response trends across multiple studies, with application to air pollution and daily death*. 2000. Epidemiology 11(6): 666-672.

Steenland K, Brown D. 1995. *Silicosis among gold miners: exposure--response analyses and risk assessment*. Am J Public Health. 85(10):1372-7.

USEPA. *Review of the National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter: policy assessment of scientific and technical information*. Research Triangle Park, NC. 1996. Staff paper EPA-452\R-96-013.

Van Leeuwen CJ, Vermeire TG y col. *Risk assessment of chemicals: an introduction*. 2007 Dordrecht. Ed Springer.

World Health Organization Regional Office for Europe, 2000. *Air quality guidelines for Europe. Second edition*. Copenhaguen. WHO Regional Publications. European Series, No 91.

World Health Organization. *Meta-analysis of time-series studies and panel studies of Particulate Matter (PM) and ozone (O3)*. 2004. report of WHO Task Group. Final Draft.

Zeger SL y cols. *Exposure measurement error in time-series studies of air pollution: concepts and consequences*. 2000. Environmental Health Perspectives, 108 (5): 419-426.

