



**ESTUDIO SOBRE LAS EMISIONES Y SU
POSIBLE EFECTO SOBRE EL MEDIO
AMBIENTE Y LA SALUD EN EL ENTORNO
DE PLANTAS CEMENTERAS**

Estudio realizado por URS España

**ESTUDIO SOBRE LAS EMISIONES Y SU
POSIBLE EFECTO SOBRE EL MEDIO
AMBIENTE Y LA SALUD EN EL ENTORNO
DE PLANTAS CEMENTERAS**

ÍNDICE

GLOSARIO	3
RESUMEN DIVULGATIVO	5
1 INTRODUCCIÓN	10
2 OBJETIVOS Y ALCANCE DEL ESTUDIO	12
3 METODOLOGÍA SEGUIDA	14
3.1 Caracterización de cada planta y su entorno	15
3.2 Caracterización de las emisiones atmosféricas	16
3.2.1 Parámetros a considerar	16
3.2.2 Valores de emisión considerados	17
3.3 Evaluación de la exposición	19
3.3.1 Fase I: modelización de la dispersión	20
3.3.1.1 Datos de entrada al modelo. Planta de Holcim en Lorca	21
3.3.1.2 Datos de entrada al modelo. Planta de Lafarge en Montcada	23
3.3.1.3 Datos de entrada al modelo. Planta de Cementos Portland Valderrivas en Vallcarca	26
3.3.1.4 Datos de entrada al modelo. Planta de Cemex en Castillejo	28
3.3.2 Fase II: modelo de ingestión	30
3.4 Evaluación del riesgo potencial	31
3.4.1 Conceptos previos	31
3.4.1.1 Efectos de las emisiones sobre la salud	31
3.4.1.2 Valores Toxicológicos de Referencia (VTR)	33
3.4.2 Evaluación del riesgo potencial	35
3.4.2.1 Análisis de riesgos potenciales para las sustancias con umbral	36
3.4.2.2 Análisis de riesgos potenciales para las sustancias sin umbral	37
4 RESULTADOS OBTENIDOS	40
4.1 Resultados del análisis de riesgos potenciales. Planta de Holcim en Lorca	40
4.1.1 Resultados de la exposición por inhalación	40
4.1.2 Resultados de la exposición por ingestión	42

4.2 Resultados del análisis de riesgos potenciales. Planta de Lafarge en Montcada	46
4.2.1 Resultados de la exposición por inhalación	46
4.2.2 Resultados de la exposición por ingestión	48
4.3 Resultados del análisis de riesgos potenciales. Planta de Cementos Portland Valderrivas en Vallcarca	51
4.3.1 Resultados de la exposición por inhalación	51
4.3.2 Resultados de la exposición por ingestión	54
4.4 Resultados del análisis de riesgos potenciales. Planta de Cemex en Castillejo	57
4.4.1 Resultados de la exposición por inhalación	57
4.4.2 Resultados de la exposición por ingestión	60
5 CONCLUSIONES	64

Glosario

Con objeto de facilitar la lectura y comprensión del texto, se resumen y describen a continuación los acrónimos utilizados en el presente informe:

AAI: Autorización Ambiental Integrada.

ADMS: Air Dispersion Modelling System (Modelo matemático gaussiano utilizado para modelizar la dispersión de contaminantes).

ATSDR: Agency for Toxic Substances and Disease Registry (Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades de EE.UU).

CO: Monóxido de Carbono.

CAA: Concentración Admisible en el Aire.

CERC: Cambridge Environmental Research Consultants Ltd.

CMA: Concentración Media en el Aire.

Cr III/Cr VI: Cromo con valencia 3 y 6, respectivamente.

DDA: Dosis Diaria Admisible.

DDE: Dosis Diaria de Exposición.

E-05: Notación científica para indicar el cociente 1/100.000, equivalente a 0,00001.

ERI: Exceso de Riesgo Individual.

ERU: Exceso de Riesgo Unitario.

ERU_i: Exceso de Riesgo Unitario por inhalación.

ERU_o: Exceso de Riesgo Unitario por ingestión.

HCl: Ácido Clorhídrico.

Glosario

HF: Ácido Fluorhídrico.

IR: Índice de Riesgo.

IRIS: Integrated Risk Information System, base de datos de la US EPA sobre los efectos sobre la salud por exposición a diversas sustancias.

NO_x: Óxidos de Nitrógeno.

NO₂: Dióxido de Nitrógeno.

OCA: Organismo de Control Autorizado.

OEHHA: Office of Environmental Health Hazard Assessment (Oficina de Evaluación del Riesgo Ambiental y para la Salud de California) cuyo objetivo es la protección y mejora del medio ambiente y la salud pública por evaluación científica de los riesgos planteados por sustancia peligrosas.

OMS: Organización Mundial de la Salud.

PCDD: Policlorodibenzodioxina (dioxina).

PCDF: Policlorodibenzofurano (furano).

PM₁₀: Partículas de diámetro inferior a 10 µm.

PM_{2,5}: Partículas de diámetro inferior a 2,5 µm.

SO₂: Dióxido de Azufre.

2,3,7,8-TCDD: 2,3,7,8-tetraclorodibenzodioxina.

TOC: Carbono Orgánico Total.

US EPA: United States Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental de EE.UU).

VTR: Valor Toxicológico de Referencia.

Resumen divulgativo

ANTECEDENTES

La FUNDACIÓN CEMA, en la que se encuentran representadas OFICEMEN, MCA-UGT y FECOMA-CCOO, ha decidido llevar a cabo un estudio sobre emisiones y su posible efecto sobre el medio ambiente y la salud en el entorno de plantas cementeras. Este estudio va más allá de las obligaciones legales, centradas actualmente en el control de emisiones y su comparación con estándares europeos. El mismo, por tanto, se lleva a cabo desde el compromiso de que la operación de las plantas se realice con las máximas garantías de seguridad y salud tanto para los trabajadores como para la población del entorno de las fábricas.

OBJETO DEL ESTUDIO

El objetivo de este estudio es analizar los posibles riesgos para la salud derivados de las emisiones atmosféricas de las plantas cementeras para las personas que residen en el entorno de las mismas.

PLANTAS CEMENTERAS SELECCIONADAS

Para realizar el estudio se han seleccionado cuatro fábricas de cemento, pertenecientes a cuatro grupos empresariales, que son:

- Fábrica de Castillejo (Castilla-La Mancha). CEMEX.
- Fábrica de Montcada i Reixac (Cataluña). LAFARGE.
- Fábrica de Vallcarca (Cataluña). CEMENTOS PORTLAND VALDERRIVAS.
- Fábrica de Lorca (Murcia). HOLCIM.

Los criterios empleados para la selección de las plantas han sido fundamentalmente tres:

- **Distinta ubicación geográfica**, lo que implica distintos entornos de la instalación (natural, rural, industrial y urbano).

La fábrica de Vallcarca se encuentra dentro de un espacio natural protegido y a 200 metros del Mar Mediterráneo, mientras que la fábrica de Montcada, está ubicada en el centro de ese municipio de más de 30.000 habitantes. Por su parte la fábrica de Castillejo se sitúa en una zona de baja densidad de población,

donde predominan los cultivos de secano, mientras que la fábrica de Lorca lo hace en un área industrial con presencia de cultivos de regadío.

- **Empleo de distintos tipos de combustible** para la alimentación de los hornos.

Si bien en todas las plantas el combustible mayoritario empleado es el coque de petróleo, en tres de las plantas objeto de estudio se están utilizando en distinto porcentaje combustibles derivados de residuos, que sustituyen parcialmente el coque de petróleo. En concreto, la planta de Lorca emplea combustibles líquidos (disolventes, residuos de hidrocarburos, rechazo de recuperación de aceites, lodos de depuradora, etc.), la de Castillejo utiliza harinas cárnicas, neumáticos usados y plásticos, y la de Vallcarca emplea únicamente lodos de depuradora.

Por su parte, la planta de Montcada no utilizaba ningún combustible alternativo en el momento de realizar el estudio.

- **Representación de distintos grupos cementeros.**

Las cuatro fábricas seleccionadas, pertenecientes a los grupos cementeros CEMENTOS PORTLAND VALDERRIVAS, CEMEX, HOLCIM y LAFARGE, pueden considerarse representativas del resto de plantas del sector cementero español tanto por la tecnología utilizada, como por sus emisiones y sistemas de control asociados.

METODOLOGÍA EMPLEADA PARA LA REALIZACIÓN DEL ESTUDIO

La metodología utilizada para la realización del presente estudio está contrastada a nivel internacional y se basa en la empleada por la Administración de Francia para el análisis de riesgos para la salud humana, y la utilizada por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos.

Se trata de una metodología compleja, que engloba las siguientes etapas:

1. **Información sobre la planta y su entorno.** En esta fase se han recopilado, entre otros, datos sobre el entorno natural y humano de la fábrica, la climatología de la zona, las infraestructuras existentes, el proceso productivo, los sistemas de control de la contaminación, etc.

Asimismo, durante esta primera etapa se procedió, para cada una de las cuatro fábricas, a la selección de los "receptores", es decir, los puntos del territorio donde se ubican colectivos cuyo nivel de afección se quiere evaluar: núcleos de población, colegios, centros sociales, parques, etc. Estos receptores incluyen tanto a adultos como a niños y personas de la tercera edad, denominados "receptores sensibles".

2. Información sobre las emisiones atmosféricas procedentes de los hornos de las fábricas.

Se han recopilado las emisiones medias representativas del funcionamiento de la instalación a lo largo de un año. Además, para la evaluación del riesgo se han tenido en cuenta, como situación de peor escenario posible, los límites de la Autorización Ambiental Integrada procedentes de la Directiva 2000/76/CE y el Real Decreto 653/2003 (es decir, que las plantas estuviesen emitiendo el máximo de contaminantes permitidos en su autorización ambiental).

3. Evaluación de la exposición.

Para la mejor comprensión de esta etapa es necesario introducir el concepto de riesgo. El riesgo se define como la probabilidad de que de una exposición determinada resulte un efecto adverso. Por tanto, para evaluar la exposición y posteriormente el riesgo es necesario analizar las distintas fases por las que pasa cada contaminante desde que es emitido a la atmósfera. Los contaminantes se dispersan en el aire y se depositan en el suelo por lo que la población del entorno de la fábrica puede verse afectada por las siguientes vías de exposición:

- Por **inhalación** (al respirar el aire de la zona). En este sentido, y con el objeto de evaluar los posibles efectos asociados a esta vía de exposición, se han definido dos tipos de colectivos:
 - Personas que viven en las proximidades de la planta, incluyendo tanto adultos, como lo que se conoce como "receptores sensibles" (niños y personas de la tercera edad).
 - Personas que trabajan en las proximidades de la planta.
- Por **ingestión**. Las partículas presentes en las emisiones atmosféricas pueden depositarse en el suelo y transferirse a la cadena alimentaria. Por tanto, existirían dos tipos de exposición:

Resumen divulgativo

- Exposición directa por ingestión de suelo. Esta exposición se refiere tanto a la ingestión de suelo presente en los alimentos crudos como a la ingestión accidental (por ejemplo, esta exposición podría afectar a niños que juegan en parques y jardines).
- Exposición indirecta por consumo de productos alimenticios (frutas y verduras) cultivados en la zona.

La evaluación de estas dos formas de exposición (por inhalación e ingestión), se realizó mediante modelos matemáticos validados internacionalmente.

Estos modelos calculan la dispersión de los contaminantes en función de datos muy diversos (meteorología, características del terreno, altura de chimeneas) y evalúan posteriormente el paso al organismo de los receptores.

4. Evaluación del riesgo. Los modelos mencionados anteriormente permiten obtener la cantidad de contaminante a la que estaría expuesto un receptor. El análisis de riesgos se realiza contrastando estos datos con los Valores Toxicológicos de Referencia (VTR), y obteniendo unos índices numéricos que expresan el riesgo.

¿Qué es un Valor Toxicológico de Referencia? Se trata de la máxima concentración de un determinado compuesto admisible por el organismo sin que ésta lleve asociada un efecto negativo para el receptor. Los VTR empleados en el presente estudio son internacionalmente aceptados y están avalados, entre otros, por instituciones como la Organización Mundial de la Salud.

Siguiendo el enfoque conservador del estudio, cuando ha estado disponible más de un Valor Toxicológico de Referencia, se ha seleccionado el valor más restrictivo (el valor más bajo).

Para cada contaminante (partículas, gases de proceso, metales pesados, ...), se ha realizado una evaluación del riesgo potencial bien sólo por inhalación o por las dos vías de exposición consideradas (inhalación e ingestión) en función de las características de cada sustancia.

CONCLUSIONES

Los resultados de la evaluación señalan que las emisiones de las cuatro plantas conllevan un riesgo claramente inferior a los valores de referencia considerados internacionalmente como aceptables para todos los contaminantes y en todos los receptores (colectivos potencialmente afectados).

Por citar un ejemplo concreto, para el caso de dioxinas y furanos la exposición obtenida está entre diez mil y diez millones de veces por debajo de los umbrales de exposición definidos por la Organización Mundial de la Salud como seguros.

Esto es especialmente relevante puesto que el presente estudio se ha llevado a cabo con un enfoque claramente conservador, adoptando en cada fase la situación de peor escenario posible.

Se puede concluir que no se ha identificado riesgo potencial para la salud de las personas que viven en las inmediaciones de las cuatro plantas cementeras incluidas en este estudio, aún cuando se diera el caso extremo de que las plantas mantuvieran sus emisiones en los límites de emisión fijados en su Autorización Ambiental Integrada. Asimismo, tampoco se ha identificado ningún aumento del riesgo potencial para la salud en el caso de las plantas que utilizan combustibles derivados de residuos en sustitución del coque de petróleo.

Capítulo 1 ▶ Introducción

El objetivo de este estudio es analizar los potenciales riesgos para la salud derivados de las emisiones atmosféricas de las plantas cementeras para las personas que residen en el entorno de las mismas.

El concepto de riesgo puede definirse como la probabilidad de que de una exposición determinada resulte un efecto adverso. De este modo, un peligro representará un riesgo sólo si existe una vía de exposición y esta exposición puede generar la posibilidad de que se den efectos adversos para la salud.

Toda actividad cotidiana lleva asociado un riesgo para la salud. A modo de ejemplo, en la siguiente tabla se indica el riesgo de morir por causas diversas, tales como accidentes o enfermedades graves:

Tabla 1. Ejemplos de riesgos para la salud humana.

Causa	Riesgo de fallecimiento
Rayo	1/10.000.000 ¹
Accidente de avión	1/3.000.000
Accidente de tráfico	1/10.000
Enfermedad de Alzheimer	1/4.500
Cáncer de pulmón	1/2.222
Enfermedad isquémica del corazón	1/1.250

Con el objeto de minimizar los riesgos para la salud derivados de la presencia de determinados contaminantes en la atmósfera, actualmente existe en la Unión Europea una legislación medioambiental muy restrictiva en materia de calidad del aire. La normativa existente dispone de referencias para proteger la salud y el entorno, estableciendo valores límites de emisión para cada actividad industrial, así como valores límite en inmisión que se han establecido teniendo en cuenta cómo puede afectar el conjunto de las aportaciones de todas las fuentes presentes en un medio determinado a la salud de los ciudadanos y a la calidad del medio.

¹ Una persona de cada diez millones.

El sector cementero es un sector comprometido en el control de la influencia de su actividad en el entorno, y en la comunicación con las partes interesadas. El presente estudio, que analiza el potencial efecto de sus emisiones atmosféricas en la calidad del aire y la salud de las personas que residen en el entorno más cercano, es una muestra más de ese compromiso.

Con el fin de dar un paso más allá de las pautas establecidas por la legislación vigente, y aportar una información más detallada del efecto de las emisiones de cada planta, se ha realizado el presente estudio, en el que se analizan los potenciales riesgos para la salud derivados de las emisiones de las plantas cementeras. Este estudio supone profundizar en el análisis del efecto de la actividad industrial sobre el entorno, incluyendo como factor clave cualquier posible afección sobre la salud de las personas que viven y/o trabajan en el área considerada. Ya no se trata únicamente de analizar la dispersión de las emisiones y de evaluar el posible grado de contaminación del aire debido a las mismas, sino de determinar en qué medida podría afectar esa contaminación a la salud de las personas.

Este estudio se ha realizado siguiendo una metodología ampliamente contrastada por estudios realizados con anterioridad en países como Francia y Estados Unidos.

Para la definición de la metodología a seguir, URS realizó un estudio previo² para la FUNDACIÓN CEMA en el que se evaluaban los procedimientos, estudios, metodologías, legislación y normativa de referencia desarrollados hasta el momento, a escala nacional e internacional, en el ámbito del análisis de riesgos en entornos industriales, con el fin de establecer una metodología para la evaluación de los riesgos potenciales para la salud derivados de las emisiones atmosféricas en plantas cementeras.

2 *Comparativa Metodologías Caracterización Ecológica en Entornos Industriales, URS, 2008.*

Capítulo 2 ▶ Objetivos y alcance del estudio

El objetivo de este estudio es analizar los potenciales riesgos para la salud derivados de las emisiones atmosféricas de las plantas cementeras para las personas que se encuentran en el entorno de las mismas. Para ello, se han llevado a cabo las siguientes tareas:

- Caracterización de la situación de las plantas cementeras en España en lo que se refiere a las emisiones atmosféricas que generan. Para ello, se han considerado los parámetros recogidos en la Directiva 2000/76/CE, que regula la incineración y co-incineración de residuos, incorporada a nuestro ordenamiento jurídico interno mediante el Real Decreto 653/2003, de 30 de mayo, sobre incineración de residuos, así como los incluidos en las Autorizaciones Ambientales Integradas (AAI) de cada una de las plantas consideradas.
- Evaluación de la dispersión de las emisiones generadas mediante el empleo de un modelo matemático gaussiano.
- Evaluación del riesgo potencial mediante el cálculo de índices de riesgo y su comparación con valores de referencia considerados como de *no riesgo*. De forma general, estos valores se denominan Valores Toxicológicos de Referencia (VTR), y representan la máxima concentración de un determinado compuesto admisible por el organismo sin que ésta lleve asociada un afecto adverso para el receptor. En función de la vía y tipo de exposición, los VTR se expresan de distintas formas, tal y como se indica en el apartado 3.4.

Para realizar el estudio se han seleccionado cuatro (4) plantas cementeras localizadas en distintas zonas de la geografía española. Las plantas se han seleccionado de manera que se pudieran contemplar situaciones distintas en cuanto a características de proceso y entorno geográfico de afección (natural, rural, industrial y urbano). Las plantas incluidas en el estudio son las siguientes:

- Planta de Holcim en Lorca.
- Planta de Lafarge en Montcada.
- Planta de Cementos Portland Valderrivas en Vallcarca.
- Planta de Cemex en Castillejo.

De las cuatro plantas incluidas en el estudio, tres emplean, además de los combustibles fósiles tradicionales para la alimentación de los hornos, combustibles alternativos procedentes de residuos que, una vez preparados en instalaciones adecuadas, llegan a la planta para ser recuperados o valorizados energéticamente.

Se ha trabajado sobre dos hipótesis de operación. En la primera de ellas se consideran las emisiones representativas de las plantas, y en la segunda, se evalúan los resultados que se obtendrían si las plantas operaran con emisiones iguales a los valores límite de emisión regulados. Para la determinación de los valores límite de emisión se han considerado los establecidos por la Directiva 2000/76/CE y el Real Decreto 653/2003, así como los límites establecidos en la AAI de cada planta.

Capítulo 3 ▶ Metodología seguida

La metodología seguida para el estudio está basada en la desarrollada por la Administración francesa para el análisis de riesgos para la salud humana, la cual a su vez está fundamentada en publicaciones de US EPA³ acerca de la evaluación de riesgos.

Esta metodología comprende las siguientes etapas:

- **Caracterización de cada planta y su entorno.** La primera fase consistió en realizar una evaluación preliminar de cada instalación y su entorno, con el fin de identificar los focos de emisión a considerar, recopilar y analizar datos topográficos y meteorológicos e identificar los potenciales receptores que pueden verse expuestos a las emisiones de las plantas.
- **Caracterización de las emisiones atmosféricas.** Una vez realizada la evaluación preliminar de cada planta y su entorno, se procedió a caracterizar los focos identificados en la fase anterior. Para ello se recopiló toda la información disponible acerca de las concentraciones y caudales de emisión, así como los parámetros físicos (altura, diámetro de chimenea, etc.) relativos a cada foco. El estudio considera los parámetros incluidos en la Directiva 2000/76/CE y el Real Decreto 653/2003 relativos a la incineración de residuos y en las correspondientes Autorizaciones Ambientales Integradas (AAI) de las plantas.
- **Evaluación de la exposición.** Las vías de exposición consideradas fueron la inhalación y la ingestión. La evaluación de la exposición se realizó en dos fases:
 - Fase I. Modelización de la dispersión atmosférica mediante un modelo gaussiano de dispersión, que permite simular el transporte de los contaminantes a través del aire. El modelo emplea los datos topográficos y meteorológicos de la zona estudiada para simular la dispersión de los compuestos emitidos.
 - Fase II. Aplicación de un modelo matemático para la evaluación del paso al organismo de los contaminantes cuyas concentraciones se

³ US EPA: Agencia de Protección Ambiental de EE.UU.

han calculado en la fase anterior, analizando su evolución a través de la cadena trófica. Para ello se consideran las características físico-químicas de los contaminantes evaluados, su potencial de bioacumulación, etc.

- **Evaluación del riesgo potencial.** La cuantificación de los riesgos potenciales se realizará contrastando las concentraciones en aire, suelo y alimentos generadas a partir de los distintos modelos empleados con los Valores Toxicológicos de Referencia (VTR) para cada compuesto evaluado.

3.1 CARACTERIZACIÓN DE CADA PLANTA Y SU ENTORNO

Con el fin de identificar y caracterizar los focos de emisión, así como evaluar las principales características del entorno, URS realizó una visita a cada una de las plantas incluidas en el estudio, en la que se recogió información relativa a:

- **Proceso productivo:** tipos de focos de emisión y características de los mismos, producción anual e incidencias durante el proceso productivo (paradas, sustitución de equipos, etc.).
- **Sistemas de medición de emisiones:** características de los medidores en continuo, calibraciones realizadas a los equipos y controles realizados por entidades externas.
- **Entorno natural:** medio físico y biótico, espacios protegidos, climatología de la zona y calidad del aire.
- **Entorno humano, infraestructuras y núcleos habitados:** se definieron los receptores más sensibles teniendo en cuenta la rosa de los vientos, la proximidad a las plantas y las características de la población (presencia de grupos de riesgo potencial como residentes, trabajadores y niños).

En la siguiente tabla se resumen las principales características asociadas a cada planta. Como puede observarse, las plantas se han seleccionado de forma que se pudieran contemplar situaciones distintas en cuanto a su localización (entorno natural o urbano), combustible empleado (combustibles fósiles o alternativos), orografía y climatología.

Tabla 2. Caracterización de las plantas cementeras incluidas en el estudio.

Planta	Localización	Entorno	Climatología	Tecnología fabricación y capacidad de fabricación	Combustibles empleados
Planta de Holcim	Lorca	Localizada en el interior. Relativamente cercana a gran población (2 km) y a zona agrícola. Presencia de industrias dispersas	Clima mediterráneo subtropical cálido o semicálido	Horno de clínker de vía seca 600.000 t/año de clínker	Combustibles tradicionales (coque de petróleo, carbón) y combustibles alternativos (combustible recuperado a partir de residuos de hidrocarburos, disolventes, serrín impregnado, lodos de depuradora)
Planta de Lafarge	Montcada	Localizada en el interior. Muy cercana a centro de población (500 m). Entorno muy industrializado, proximidad a carreteras y vías rápidas	Clima mediterráneo seco-subhúmedo	Horno de clínker de vía seca 700.000 t/año de clínker gris	Combustibles tradicionales (coque de petróleo, carbón)
Planta de Cementos Portland Valderrivas	Vallcarca	Población dispersa. Cercana a diversos núcleos de población (2 a 10 km). Ausencia de industria en alrededores. Localizada en la costa junto a parque natural	Clima mediterráneo seco-subhúmedo	Hornos de clínker de vía seca 1.150.000 t/año de clínker	Combustibles tradicionales (coque de petróleo, carbón) y combustibles alternativos (lodos de depuradora)
Planta de Cemex	Castillejo	Localizada en el interior. Entorno rural, núcleos a 3,8 y 6,8 Km. Ausencia de industria en alrededores	Clima mediterráneo continental	Hornos de clínker de vía seca 1.500.000 t/año de clínker	Combustibles tradicionales (coque de petróleo, carbón) y combustibles alternativos (harinas, neumáticos, plásticos)

3.2 CARACTERIZACIÓN DE LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS

3.2.1 Parámetros a considerar

Los parámetros considerados en el estudio son los recogidos por la **Directiva 2000/76/CE y el Real Decreto 653/2003 sobre incineración de residuos**. Estas regulan la monitorización y el control de las emisiones del horno de clínker de las siguientes sustancias y compuestos:

- Gases: NO_x , SO_2 , TOC, HCl, HF, CO.
- Partículas totales.

- Dioxinas y furanos (PCDD y PCDF).
- Metales: Antimonio, Arsénico, Cadmio, Cobalto, Cobre, Cromo, Mercurio, Manganeso, Níquel, Plomo, Talio, Vanadio.

Por tanto, para la modelización se han considerado los hornos de cada planta como focos de emisión.

En algunos casos se incluyen además los parámetros Zinc y Estaño por encontrarse regulados en la AAI de la planta.

3.2.2 Valores de emisión considerados

Las situaciones consideradas en el estudio para cada una de las plantas son las siguientes:

- **Situación 1.** Caracterización de los riesgos potenciales asociados a la producción de cada planta considerando las emisiones de la misma en cuanto a composición y caudal.
- **Situación 2.** Análisis de riesgos potenciales suponiendo como valores de emisión los valores límite regulados de los parámetros incluidos en el estudio.

Valores de emisión de las plantas

El objetivo de esta parte del estudio es realizar un análisis del impacto de los contaminantes emitidos durante el funcionamiento de las plantas. Para ello, y con el fin de seleccionar datos de emisión que resulten representativos de la operación normal de las plantas, se ha realizado un análisis de los datos disponibles en los últimos años. En general, se ha considerado que los datos de los últimos dos años son los de mayor representatividad, por lo que son los que se emplearán para la modelización.

- Caudal de emisión. En general se ha trabajado con los caudales de los dos últimos años, ya que se considera que son representativos de la producción de las plantas.
- Gases (NO_x , SO_2 , TOC, HCl, HF, CO) y Partículas totales. En general, se ha considerado la media obtenida a partir de los medidores en continuo.

- Dioxinas y furanos y metales. Se han considerado los valores medios obtenidos a partir de medidas puntuales realizadas por Organismos de Control Autorizados (OCAs) durante los años 2007-2008.

Además, para la determinación de los valores de emisión de las plantas para cada sustancia o trazador se han tenido en cuenta los siguientes aspectos:

- Para la modelización de la emisión de los óxidos de nitrógeno (NO_x), se ha considerado el dato expresado como NO_2 equivalente.
- En el caso del cromo, se dispone únicamente de valores de cromo total. Con el fin de evaluar el efecto de este metal en los dos estados de oxidación en los que suele presentarse (Cr III y Cr VI), se ha realizado una estimación para evaluar la emisión de Cr III y Cr VI por separado. Para ello, se ha tomado como criterio la distribución del metal presente en la materia prima, que suele estar en torno al 30% en Cr VI. Por tanto, para el cálculo de la emisión a partir del dato de análisis de cromo se ha considerado que la cantidad de Cr III y VI corresponde al 70 y 30%, respectivamente.
- Según la Directiva 2000/76/CE y el Real Decreto 653/2003, las dioxinas y furanos se expresan como 2,3,7,8-TCDD (2,3,7,8-tetraclorodibenzodioxina), debido a que es el componente más tóxico. Por lo tanto, para determinar la concentración total de dioxinas y furanos es necesario considerar los factores de equivalencia tóxica antes de realizar la suma total. El conjunto de estos componentes también se asimila a un único trazador en términos de parámetros físico-químicos para los cálculos de transferencias en la cadena alimentaria. Todas estas hipótesis sobrestiman el riesgo potencial, puesto que si se considera el riesgo potencial de cada componente de la familia de dioxinas y furanos por separado, el índice de riesgo disminuye considerablemente.

Valores límite de emisión

Para la determinación de los valores límite de emisión se han considerado los establecidos por la Directiva 2000/76/CE y el Real Decreto 653/2003, así como los límites establecidos en la Autorización Ambiental Integrada (AAI) de cada planta. Para aquellos parámetros no regulados por la Directiva ni el Real Decreto ni incluidos en la AAI, se ha considerado el siguiente criterio:

- Metales. Excepto en el caso del mercurio, los límites establecidos por la Directiva 2000/76/CE y el Real Decreto 653/2003 están expresados en forma de suma. Es decir, se establece que la suma de las concentraciones de emisión de un grupo de metales no puede superar un determinado valor. Por tanto, con el fin de tomar un dato hipotético máximo para cada metal de forma individual se ha realizado una estimación en función del peso de cada compuesto en la analítica real de cada planta, cuando se dispone de datos para ello. En el caso de que no sea así, se ha tomado como valor límite para cada metal el correspondiente a la suma.

3.3 EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN

Las vías de exposición que se han considerado son la inhalación y la ingestión.

Las personas que viven y/o trabajan en las proximidades de las plantas incluidas en el estudio se encuentran potencialmente expuestas de forma directa a los efectos de las emisiones atmosféricas por inhalación del aire ambiente.

Para la evaluación de la **afección por inhalación** se distinguirán dos tipos de receptores:

- Personas que viven en las proximidades de la planta (residentes). Estos receptores incluyen a los adultos, así como a los niños y personas de la 3ª edad, denominados *receptores sensibles*. A efectos de evaluación del riesgo se considera que las personas que viven en las proximidades de las plantas están expuestas a las emisiones durante 24 horas al día.
- Personas que trabajan en las proximidades de la planta. Este grupo de receptores incluye a los adultos en edad de trabajar, que se encuentran expuestos a las emisiones atmosféricas durante su jornada de trabajo. A efectos de evaluación del riesgo se considera que las personas que viven en las proximidades de las plantas están expuestas a las emisiones durante 8 horas al día.

La evaluación de la exposición por inhalación implica considerar tanto el efecto causado por la inhalación de partículas como los asociados a la composición química de cada contaminante. Por tanto, para la evaluación de esta exposición se tendrán en cuenta todos los compuestos seleccionados como trazadores para el estudio (ver Tabla 3).

Por otra parte, las partículas presentes en las emisiones atmosféricas son susceptibles de sedimentar y acumularse en el suelo, lo que se denomina deposición. Debido a esto, puede existir un riesgo por contaminación del suelo y de la cadena alimentaria, lo que dependerá de la composición de estas partículas, de la cantidad depositada y de las características físico-químicas del suelo.

La evaluación de la **exposición por ingestión** se realizará sobre aquellas sustancias sedimentables y bioacumulables en la cadena alimentaria. Por tanto, los compuestos a considerar serán metales y dioxinas y furanos.

Se considerarán dos tipos de exposición:

- Exposición directa por ingestión de suelo, la cual afectará principalmente a los niños que puedan jugar en parques, jardines y otros espacios exteriores y puedan ingerir partículas de suelo.
- Exposición indirecta por consumo de productos alimenticios con origen en la zona donde se produce la sedimentación de compuestos.

3.3.1 Fase I: Modelización de la dispersión

Para la estimación de las concentraciones de los contaminantes en inmisión se ha empleado el modelo matemático de dispersión atmosférica ADMS 4.0, software distribuido por CERC (Cambridge Environmental Research Consultants Ltd.).

El modelo estima las concentraciones medias en inmisión de cada parámetro en cada uno de los puntos definidos. Además, para los parámetros susceptibles de depositarse en el suelo, el modelo calcula la tasa de deposición másica para cada contaminante.

Los datos de entrada al modelo son los siguientes:

- **Datos de emisión.** Para el cálculo de las tasas másicas de emisión de cada contaminante se han empleado las concentraciones en mg/Nm^3 en base seca y corregidas al 10% de oxígeno, y el caudal expresado en Nm^3/h en las mismas condiciones.
- **Datos meteorológicos.** Se han tomado datos meteorológicos de las estaciones de las propias plantas, o en su defecto, de las estaciones más cercanas disponibles.

- **Datos topográficos.** Se ha empleado el Modelo Digital del Terreno (MDT) de cada zona a evaluar.
- **Receptores.** Los receptores a analizar han sido identificados en campo y consensuados con los responsables de las plantas en función de los puntos de interés para la comunidad.

A continuación se indican los datos de entrada al modelo para cada una de las plantas.

3.3.1.1 Datos de entrada al modelo. Planta de Holcim en Lorca

Focos de emisión

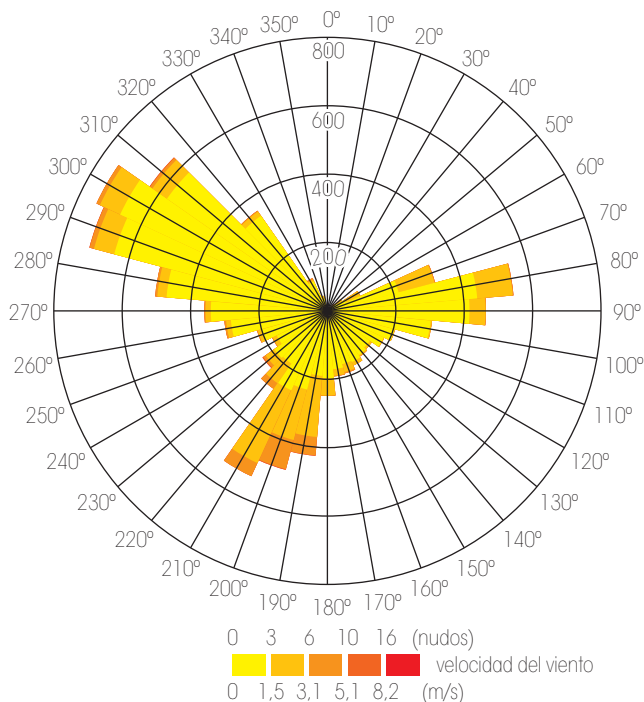
El único foco de emisión considerado corresponde al horno de cemento, cuyo caudal de emisión es de 199.556 Nm³/h en base seca y corregido al 10% de oxígeno.

Datos meteorológicos

Los datos horarios de dirección y velocidad del viento, temperatura y humedad atmosférica se han obtenido a través de la página web de la Comunidad Autónoma de Murcia. Tras realizar un análisis de los datos disponibles, se han considerado los datos correspondientes al intervalo 2006-2008.

En la Figura 1 se muestra la rosa de los vientos de la planta de Holcim en Lorca para el intervalo de tiempo considerado.

Figura 1. Rosa de los vientos de la planta de Holcim en Lorca.



Como puede verse en la figura, los vientos dominantes provienen del noroeste, sur y este, siendo la componente sur la que presenta velocidades más altas. Por tanto, cabe esperar que la dispersión tenga lugar en dirección norte, mientras que en el resto de direcciones la dispersión será menor y la pluma se centrará en el entorno inmediato de la planta.

Receptores

Con el fin de estudiar los posibles riesgos para la salud de las personas que habitan/trabajan alrededor de la planta, se han seleccionado varios puntos del territorio o receptores. En este caso, los receptores se encuentran localizados en el municipio de Lorca, por tratarse de la zona habitada más cercana a la planta.

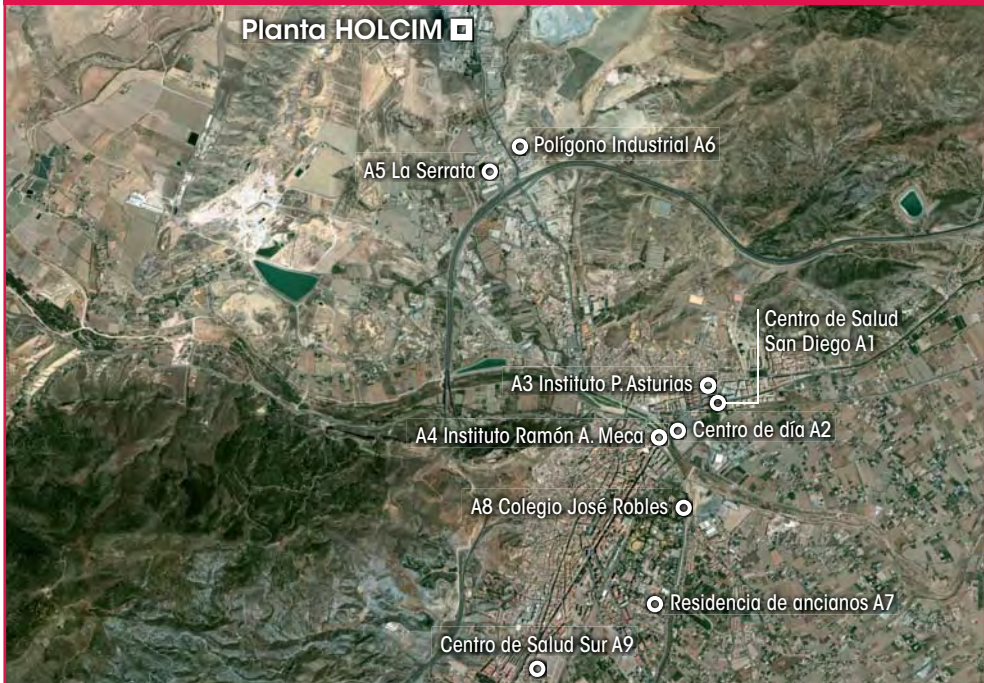
En las siguientes figuras se muestra la zona de estudio considerada respecto a la ubicación de la planta:



Datos topográficos

Una vez localizados los receptores, es necesario definir la malla sobre la que se obtendrán los resultados del modelo. Para ello, se emplea el Modelo Digital del Terreno (MDT) de la zona a evaluar. En este caso, se ha definido una malla cuadrada de 10 x 10 km.

Figura 3. Ortofoto del área de estudio considerada para la modelización. Planta de Lorca (Holcim).



3.3.1.2 Datos de entrada al modelo. Planta de Lafarge en Montcada

Focos de emisión

El único foco de emisión considerado corresponde al horno de cemento; cuyo caudal de emisión es de $175.000 \text{ Nm}^3/\text{h}$ en base seca y corregido al 10% de oxígeno.

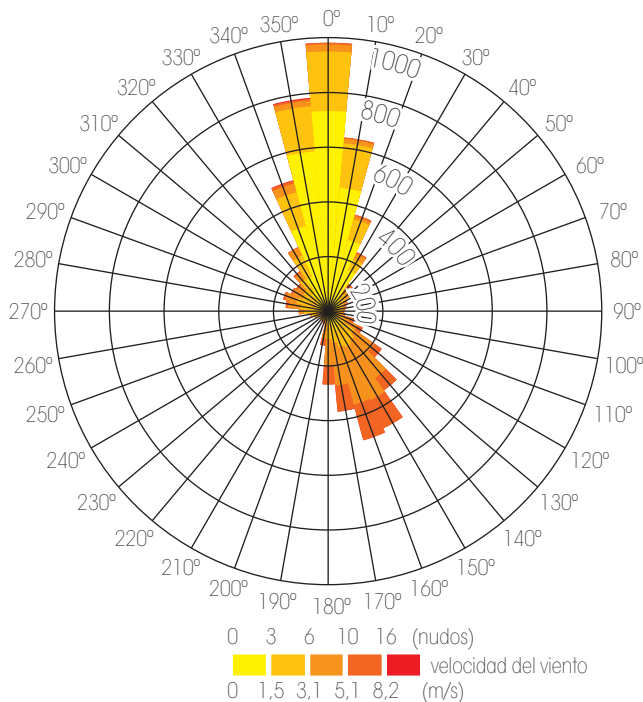
Datos meteorológicos

Los datos de dirección y velocidad del viento y temperatura han sido proporcionados por la Xarxa de Vigilància i Prevenció de la Contaminació Atmosfèrica de Catalunya (XVPCA), y corresponden a la estación de medición localizada en el municipio de Montcada i Reixac para el periodo 2002-2005. La estación no dispone de datos meteorológicos más actuales, ya que desde 2005 la estación mide únicamente concentraciones de contaminantes en inmisión. Para la estimación de la humedad relativa y nubosidad se han considerado los datos de la estación de Cerdanyola del Vallés, por ser ésta la más cercana a la planta.

En la Figura 4 se muestra la rosa de los vientos empleada para el estudio a partir de los datos de dirección y velocidad de viento obtenidos.

Los vientos dominantes en la planta de Lafarge en Montcada provienen del norte y del sureste, siendo esta última la que presenta velocidades más altas, de hasta 8 m/s. Por tanto, cabe esperar que la dispersión tenga lugar en las direcciones sur y noroeste, favoreciéndose la dispersión a lo largo de la dirección noroeste, mientras que en la dirección sur la dispersión será menor y la pluma se centrará en el entorno más cercano a la planta.

Figura 4. Rosa de los vientos de la planta de Lafarge en Montcada.



Receptores

Con el fin de estudiar los posibles riesgos para la salud de las personas que habitan/trabajan alrededor de la planta, se han seleccionado varios puntos del territorio o receptores. En este caso, los receptores se encuentran localizados tanto en el municipio de Montcada i Reixac como en los alrededores del mismo.

En las siguientes figuras se muestra la zona de estudio considerada respecto a la ubicación de la planta.

Datos topográficos

Una vez localizados los receptores, es necesario definir la malla sobre la que se obtendrán los resultados del modelo. Para ello, se emplea el Modelo Digital del Terreno (MDT) de la zona a evaluar. En este caso, se ha definido una malla cuadrada de 7 x 7 km.

Figura 5. Área de estudio considerada para la modelización. Planta de Montcada (Lafarge).

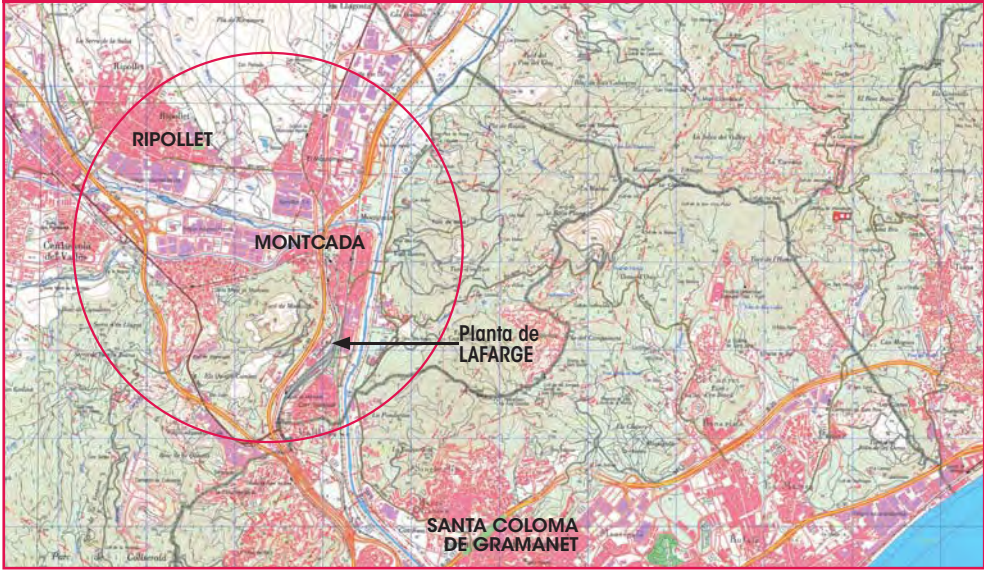


Figura 6. Ortofoto del área de estudio considerada para la modelización. Planta de Montcada (Lafarge).



3.3.1.3 Datos de entrada al modelo. Planta de Cementos Portland Valderrivas en Vallcarca

Focos de emisión

En la planta de Cementos Portland Valderrivas en Vallcarca existen dos hornos, cuyos caudales son de 199.201 Nm³/h (Horno VI) y 336.230 Nm³/h (Horno VII), ambos en base seca y corregidos al 10% de oxígeno.

Datos meteorológicos

Los datos horarios de dirección y velocidad del viento, temperatura, humedad atmosférica y radiación solar han sido proporcionados por la planta, a partir de los datos generados por la estación meteorológica situada en la propia instalación (modelo EM-300 de la firma MCV S.A.).

En la Figura 7 se muestra la rosa de los vientos empleada para el estudio a partir de los datos de dirección y velocidad de viento obtenidos.

Como puede verse en la figura, los vientos dominantes provienen del noroeste, existiendo además una pequeña contribución de la componente sureste. Por tanto, cabe esperar que la dispersión tenga lugar en la dirección sureste y noroeste.

Receptores

Con el fin de estudiar los posibles riesgos para la salud de las personas que

Figura 7. Rosa de los vientos de la planta de Cementos Portland Valderrivas en Vallcarca.

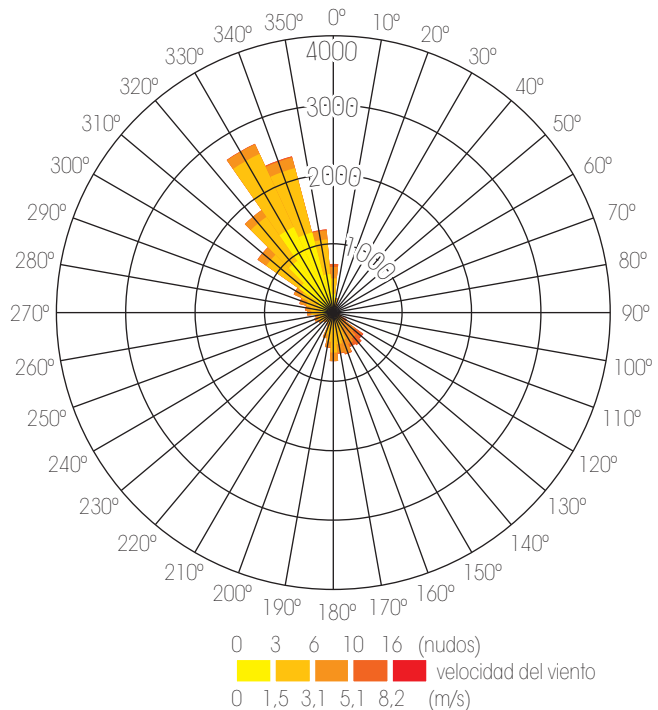


Figura 8. Área de estudio considerada para la modelización. Planta de Vallcarca (Cementos Portland Valderrivas).

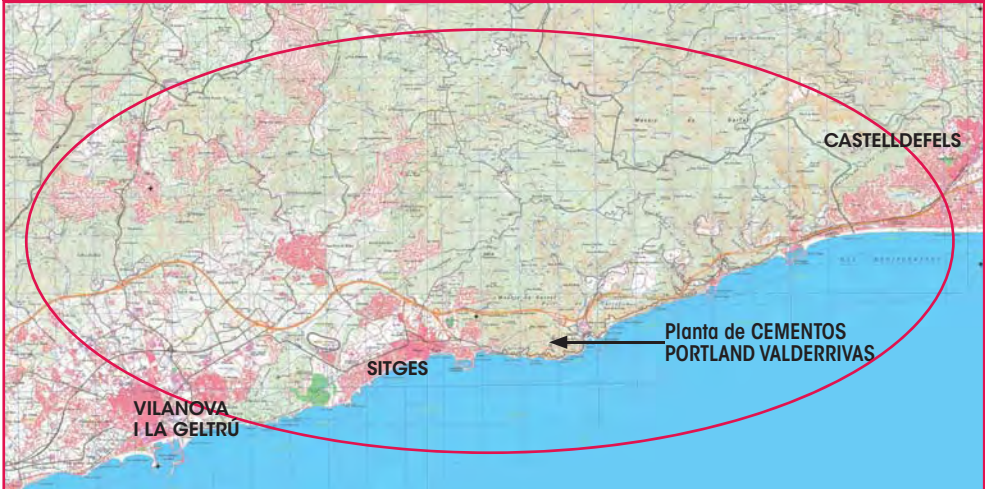


Figura 9. Ortofoto del área de estudio considerada para la modelización. Planta de Vallcarca (Cementos Portland Valderrivas).



habitan/trabajan alrededor de la planta, se han seleccionado varios puntos del territorio o receptores. En este caso, los receptores se encuentran localizados a una distancia de entre 2 y 12 km de la planta. En las siguientes figuras se muestra la zona de estudio considerada respecto a la ubicación de la planta.

Datos topográficos

Una vez localizados los receptores, es necesario definir la malla sobre la que se obtendrán los resultados del modelo. Para ello, se emplea el Modelo Digital del Terreno (MDT) de la zona a evaluar. En este caso, se ha definido una malla cuadrada de 18 x 8 km, adaptándose la malla a la presencia de la costa.

3.3.1.4 Datos de entrada al modelo. Planta de Cemex en Castillejo

Focos de emisión

En la planta de Cemex en Castillejo existen dos hornos cuyos caudales son de 251.168 Nm³/h (Horno V) y 248.648 Nm³/h (Horno VI), ambos en base seca y corregidos al 10% de oxígeno.

Datos meteorológicos

Los datos horarios de dirección y velocidad del viento, temperatura, humedad atmosférica y radiación solar han sido proporcionados por una estación meteorológica localizada en una instalación cercana a la planta.

En la Figura 10 se muestra la rosa de los vientos em-

Figura 10. Rosa de los vientos de la planta de Cemex en Castillejo.

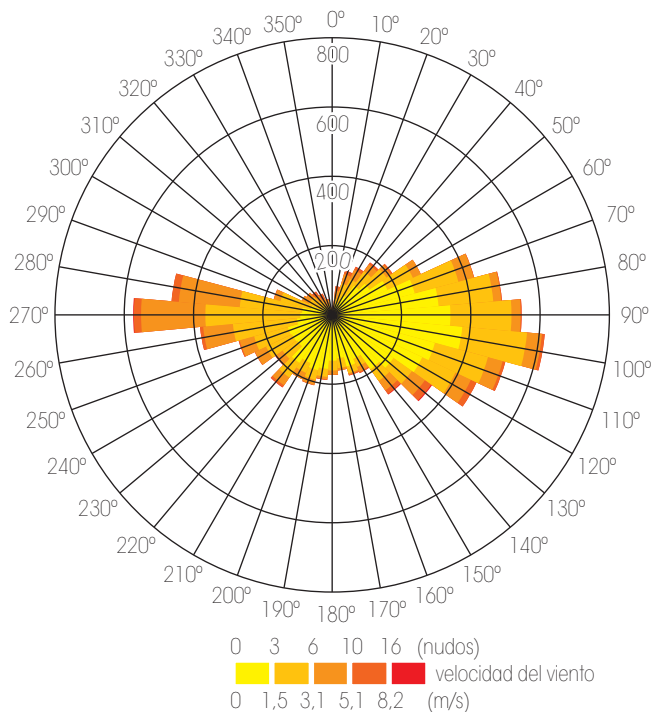


Figura 11. Área de estudio considerada para la modelización. Planta de Castillejo (Cemex).



pleada para el estudio a partir de los datos de dirección y velocidad de viento obtenidos.

Los vientos dominantes en la planta de Cemex en Castillejo provienen del este y oeste, siendo la componente oeste-este la que presenta velocidades más altas. Por tanto, cabe esperar que la dispersión tenga lugar en dirección este y oeste, mientras que en el resto de direcciones la dispersión será menor y la pluma se centrará en el entorno inmediato de la planta.

Receptores

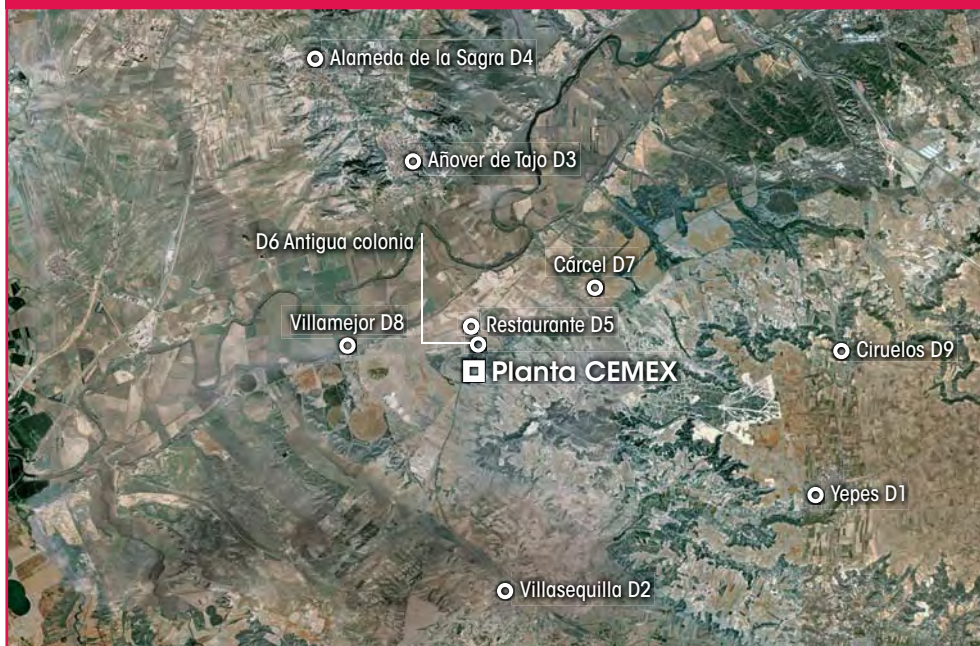
Con el fin de estudiar los posibles riesgos para la salud de las personas que habitan/trabajan alrededor de la planta, se han seleccionado varios puntos del territorio o re-

ceptores. En este caso, los receptores se encuentran localizados a una distancia de entre 0,5 y 11 km de la planta. En las siguientes figuras se muestra la zona de estudio considerada respecto a la ubicación de la planta.

Datos topográficos

Una vez localizados los receptores, es necesario definir la malla sobre la que se obtendrán los resultados del modelo. Para ello, se emplea el Modelo Digital del Terreno (MDT) de la zona a evaluar. En este caso, se ha definido una malla cuadrada de 22 x 22 km para poder incluir todos los municipios identificados como receptores potenciales.

Figura 12. Ortofoto del área de estudio considerada para la modelización. Planta de Castillejo (Cemex).



3.3.2 Fase II: Modelo de ingestión

El modelo de ingestión es un modelo analítico basado en ecuaciones cinéticas publicadas por US EPA, en el que se evalúa la transferencia de cada compuesto a través de la cadena alimentaria. El cálculo se realiza a partir de las tasas de deposición para cada compuesto determinadas por el modelo de dispersión.

Los documentos de referencia empleados son los siguientes:

- US EPA, 2005. Human Risk Assessment Protocol for Hazardous Waste Combustion Facilities, USEPA Office of Solid Waste Emergency Response (OSWER), EPA520-R-05-006.
- US EPA, 1994. Estimation Exposure to Dioxin-Like compounds. EPA/600/6-88/005Cc. Office of Research and Development, National Centre of Exposure Assessment, Washington DC.
- United States Environmental Protection Agency, 1991. Risk Assessment Guidance for Superfund: Volume I – Human Health Evaluation Manual, Part B, Development of Risk-Based Preliminary Remediation Goals. Office of Emergency and Remedial Response, Washington, DC.
- Radiation Site Cleanup Regulations: Technical Support Document for the Development of Radiation Cleanup Levels for Soil (EPA 402-R-96-011 A).

3.4 EVALUACIÓN DEL RIESGO POTENCIAL

3.4.1 Conceptos previos

La evaluación del riesgo conlleva una comparación entre el nivel de exposición de los receptores y los niveles de referencia reconocidos internacionalmente. Para ello es necesario tener en cuenta los siguientes conceptos:

- Efectos sobre la salud.
- Valores Toxicológicos de Referencia (VTR).

3.4.1.1 Efectos de las emisiones sobre la salud

Existen dos tipos de efectos sobre la salud:

Efectos asociados a las sustancias con umbral

Se trata de los efectos asociados a sustancias que, según la información disponible hasta el momento, no presentan riesgo significativo para la salud humana cuando se encuentran presentes en el medio por debajo de una determinada concentración (concentración umbral).

Para los efectos con umbral, el nivel de riesgo potencial se calcula por comparación directa entre la exposición y el valor umbral, expresado en forma de índice de riesgo ($IR = \text{Exposición}/\text{Umbral}$). De este modo, un Índice de Riesgo igual a 1 indica el umbral por debajo del cual no existe riesgo para la salud humana.

Efectos asociados a las sustancias sin umbral

Los efectos asociados a las sustancias sin umbral son de tipo estocástico o probabilístico. Esto implica que la exposición a estas sustancias lleva asociada la probabilidad de que aparezcan efectos adversos para la salud. Estos efectos son de tipo genotóxico, por lo que las sustancias cancerígenas y mutagénicas suelen estar clasificadas dentro de este grupo. Debido a esto, los efectos asociados a sustancias sin umbral se denominan cancerígenos.

El riesgo de desarrollar una patología adversa debido a la exposición a un compuesto se calcula a partir del parámetro **Exceso de Riesgo Individual** (ERI). El ERI se calcula a partir del ERU, que expresa la probabilidad de que el receptor se vea afectado por el efecto de una sustancia en concreto si se expone a una unidad de concentración de esa sustancia. Los valores de ERU de cada sustancia se han obtenido a partir de bases de datos internacionalmente reconocidas.

Para el presente estudio, se considerará un valor de 1/100.000 (10^{-5}) como valor de referencia para el Exceso de Riesgo Individual, siguiendo la pauta habitual en los estudios de riesgos. De este modo un ERI igual a 1/100.000 indicaría que una persona de cada 100.000 desarrollaría una patología adversa por haber estado expuesto a una sustancia contaminante.

Cabe destacar que hay sustancias para las que se han definido valores toxicológicos asociados a los efectos con y sin umbral, como es el caso del arsénico (ver Tabla 3).

En el caso de las dioxinas, sólo se consideran los efectos con valor umbral asociado. La dioxina TCDD (elemento más tóxico del grupo de congéneres denominado "dioxinas") fue clasificada por el CIIC⁴ como "carcinógeno humano". Dado que la TCDD se clasifica como cancerígena, se considera que el conjunto de dioxinas y furanos lo son, ya que este compuesto puede estar presente en dicho grupo. Aunque estos compuestos

4 El Centro Internacional OMS de Investigaciones sobre el Cáncer (CIIC) realizó en 1997 una evaluación de la TCDD.

se consideren como cancerígenos, no disponen de un mecanismo de acción genotóxico, es decir, no afectarían al material genético. Esto da lugar a que se reconozca un valor umbral de toxicidad por debajo del cual la exposición no tiene consecuencias nefastas para el organismo. El conjunto de la comunidad científica está de acuerdo en este punto. Estos compuestos están clasificados, por lo tanto, como sustancias con un valor umbral asociado.

3.4.1.2 Valores Toxicológicos de Referencia (VTR)

Los Valores Toxicológicos de Referencia representan la máxima concentración de un determinado compuesto admisible por el organismo sin que ésta lleve asociada un afecto adverso para el receptor.

Los Valores Toxicológicos de Referencia empleados en el presente estudio provienen de diferentes bases de datos publicadas por organismos científicos especializados (US EPA, ATSDR, OMS, etc.) e internacionalmente reconocidos.

Para las sustancias que tienen un efecto a partir de un valor umbral, los datos disponibles han sido revisados para poder eliminar las incertidumbres asociadas a la elección de los VTR pertinentes en función del tipo de exposición considerado.

Para las sustancias sin valor umbral, los datos publicados por los organismos especializados no permiten, en general, realizar una jerarquización de los VTR a partir del análisis de incertidumbres asociadas. Por tanto, se ha seleccionado una aproximación sobrestimada para la evaluación de riesgos potenciales, que corresponde al valor más conservador.

En la Tabla 3 se resumen los valores toxicológicos empleados en el estudio para cada trazador en función de la vía de exposición. Los VTR recogidos en la tabla son los siguientes:

- CAA ($\mu\text{g}/\text{m}^3$): Concentración Admisible en el Aire.
- ERU_i ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)⁻¹: Exceso de Riesgo Unitario por inhalación.
- DDA (mg/kg/día): Dosis Diaria Admisible por ingestión.
- ERU_o (mg/kg/día)⁻¹: Exceso de Riesgo Unitario por ingestión.

Tabla 3. Valores Toxicológicos de Referencia empleados.

Parámetro	INHALACIÓN				INGESTIÓN			
	CAA (µg/m³) (con umbral)	Ref	ERU, (µg/m³) ⁻¹ (sin umbral)	Ref	DDA (mg/kg/día) (con umbral)	Ref	ERU _o (mg/kg/día) ⁻¹ (sin umbral)	Ref
NO _x	4,00E+01	1	-	-	-	-	-	-
SO ₂	2,00E+01	1	-	-	-	-	-	-
TOC	NA	-	-	-	-	-	-	-
HCl	2,00E+01	2	-	-	-	-	-	-
HF	1,40E+01	3	-	-	-	-	-	-
CO	10.000	1	-	-	-	-	-	-
PM tot	20	1*	-	-	-	-	-	-
Dioxinas y Furanos	4,00E-05	4	-	-	1,00E-09	17	-	-
Sb	1,40E+00	5	-	-	4,00E-04	5	-	-
As	3,00E-02	6	3,30E-03	13	3,00E-04	18	1,50E+00	23
Cd	0,02	6	1,80E-03	14	1,00E-03	19	-	-
Co	1,00E-01	7	-	-	-	-	-	-
Cu	1,00E+00	8	-	-	-	-	-	-
Cr III	60	8	-	-	-	-	-	-
Cr VI	0,1	9	4,00E-02	15	-	-	-	-
Mn	5,00E-02	10	-	-	-	-	-	-
Hg	3,00E-01	11	-	-	-	-	-	-
Ni	9,00E-02	12	3,80E-04	15	-	-	-	-
Pb	5,00E-01	1	1,20E-05	16	3,57E-03	20	8,50E-03	24
Tl	NA	-	-	-	6,98E-05	21	-	-
V	NA	-	-	-	3,00E-04	22	-	-
Sn	7,00E+03	25	-	-	2,00E+00	27	-	-
Zn	1,05E+03	26	-	-	3,00E-01	28	-	-

1 Real Decreto 1073/2002
 1* Se asimilará que el VTR para PM total es el mismo que para PM 10
 2 IRIS, 07/1995
 3 CalEPA, 08/2003 (doc 04/2005)
 4 CalEPA, 02/2000 (doc 04/2005) (derivado de la vía oral). Valor dado para la dioxina 2,3,7,8-TCDD
 5 IRIS 02/1991 (derivado de la vía oral)
 6 INERIS 12/2006: CalEPA, 01/2001 (doc 05/2008)
 7 ATSDR, 10/2004, partículas (doc 11/2007)
 8 INERIS, 2004: RVM, 03/2001 (sales insolubles y metales)
 9 INERIS, 2004: IRIS, 09/2008
 10 IRIS, 12/1993
 11 IRIS, 06/1995, elemental
 12 ATSDR, 09/2005, partículas (doc 11/2007)
 13 INERIS, 12/2006: Cal EPA, 07/1990 (doc 05/2005)
 14 INERIS, 2004: IRIS, 06/1992

15 INERIS 2004: OMS, 1999 (doc 2000, 2ª edición)
 16 CalEPA, 04/1997, inorgánico (doc 05/2005)
 17 INERIS 2004: ATSDR, 12/1998 (doc 11/2007)
 18 INERIS 12/2006: IRIS, 02/1993 (inorgánico)
 19 INERIS 2004: IRIS, 02/1994 (alimentación)
 20 INERIS 2004: OMS, JEFCA, 1999, (PTWI = 25 µg/kg/semana) y GDWQ, 2006
 21 IRIS, 09/1990, valor para el carbonato de talio (8*10-5, convertido en talio)
 22 ATSDR, 07/1992, (doc 11/2007, derivado de un valor subcrónico)
 23 INERIS 12/2006: IRIS, 04/1998 (inorgánico)
 24 Cal EPA, 10/2000, inorgánico (doc 05/2005)
 25 OMS, JECFA, 2000, inorgánico, derivado de la vía oral
 26 INERIS 2004: IRIS, 08/2005, derivado de la vía oral
 27 OMS, JECFA, 2005, inorgánico
 28 INERIS 2004: IRIS, 08/2005

Para el TOC no existe un valor de referencia para el cálculo del índice de riesgo ya que no se trata de un compuesto individual, sino de una forma de expresar el contenido de carbono total presente en un efluente. Por tanto, este parámetro no se ha incluido en la evaluación de riesgos. No obstante, con el fin de evaluar el riesgo asociado a los compuestos orgánicos sí se ha incluido en la evaluación la familia de dioxinas y furanos, considerada como la más relevante desde el punto de vista medioambiental según los documentos sobre Mejores Técnicas Disponibles (MTDs) en el sector cemento.

3.4.2 Evaluación del riesgo potencial

Para la evaluación del riesgo potencial se considerarán las dos vías de exposición mencionadas, inhalación e ingestión.

Para el análisis por **inhalación** se considerarán las concentraciones en el aire en inmisión para cada contaminante determinadas a partir de la modelización con ADMS 4.0.

Para el análisis por **ingestión** se evaluarán las tasas de deposición para cada compuesto determinadas por el modelo de dispersión, las cuales se emplearán en el modelo de ingestión desarrollado por US EPA para el cálculo de la transferencia de cada compuesto a través de la cadena alimentaria. En este cálculo se tendrá en cuenta únicamente la ingestión de suelo, frutas y verduras, ya que se considera que, dados los sistemas de producción ganadera y mercado actuales, la cantidad de carne de bovino, aves, huevos y leche producida para consumo en el área de influencia es muy reducida comparada con la posible ingestión de frutas y verduras.

Para el análisis del riesgo potencial por ingestión se considerarán las siguientes vías de exposición:

- Ingestión de suelo. Este escenario considera la ingestión directa del suelo en las proximidades de los receptores.
- Ingestión de frutas y verduras cultivadas para autoconsumo. Este escenario considera la exposición para todos los residentes, incluyendo adultos y niños, que pueden consumir las verduras o frutas cultivadas directamente en un huerto

situado en las proximidades donde se encuentra el receptor. Para el cálculo se ha considerado:

- Una exposición continua durante 30 años.
- Un consumo diario de verduras tipo tubérculo (patatas, zanahorias), de verduras de hoja (espinacas, lechuga) y de verduras tipo fruto (tomates, calabacín), procedentes de huerto particular. Las cantidades consumidas por los adultos y niños se han obtenido a partir de la base de datos CIBLEX⁵. Esta hipótesis corresponde a un escenario teórico según el cual los receptores consumirían verduras cultivadas por ellos mismos.

Siguiendo un criterio conservador, se ha considerado que la totalidad de las sustancias ingeridas son asimiladas por el organismo de las personas expuestas, lo que implica que la biodisponibilidad oral es del 100% para todos los compuestos.

3.4.2.1 Análisis de riesgos potenciales para las sustancias con umbral

Se trata de los efectos asociados a sustancias que, según la información disponible hasta el momento, no presentan riesgo significativo para la salud humana cuando se encuentran presentes en el medio por debajo de una determinada concentración.

Para los efectos con umbral, el Índice de Riesgo (IR) se calcula a partir de la Concentración Media en el Aire (CMA) y la Concentración Admisible en el Aire (CAA) para una exposición por inhalación, y de la Dosis Diaria de Exposición (DDE) y la Dosis Diaria Admisible (DDA) para una exposición por ingestión:

$$IR = \frac{CMA}{CAA} \quad \text{ó} \quad IR = \frac{DDE}{DDA}$$

Los índices de riesgo se calculan para cada sustancia y vía de exposición y son ponderados en función de la duración de la exposición.

La Concentración Admisible en el Aire (CAA) y la Dosis Diaria Admisible (DDA) se obtienen a partir de los Valores Toxicológicos de Referencia (VTR) para cada sustancia. Estos Valores Toxicológicos de Referencia representan la máxima concentración de un

⁵ CIBLEX, Junio de 2003. Base de datos de parámetros descriptivos de la población francesa en un entorno contaminado.

determinado compuesto que puede ser admitida por el organismo sin que ésta lleve asociada un efecto adverso para el receptor.

Un valor inferior a 1 del índice de riesgo individual indicaría que la exposición calculada es inferior a la exposición de referencia obtenida a partir de referencias legales, trabajos de expertos en este tema, etc.

En el caso de la exposición por inhalación, los VTRs considerados corresponden a los receptores más sensibles. Por tanto, no se ha calculado un índice de riesgo por inhalación en función de la vulnerabilidad de la población expuesta, ya que todos los receptores se han considerado como sensibles.

Para la exposición por ingestión, los cálculos se han realizado de forma independiente para población adulta e infantil, con el fin de considerar las distintas prácticas alimenticias de ambos grupos de población.

3.4.2.2 Análisis de riesgos potenciales para las sustancias sin umbral

La exposición a las sustancias sin umbral lleva asociada la probabilidad de que aparezcan efectos adversos para la salud independientemente de la dosis de exposición. Por tanto, en este caso no es posible calcular un índice de riesgo, ya que el término de concentración admisible en el aire no es aplicable para estos efectos.

Los efectos sin umbral se caracterizan a partir del parámetro Exceso de Riesgo Individual (ERI), en función del Exceso de Riesgo Unitario por inhalación o ingestión (ERU_i o ERU_o)

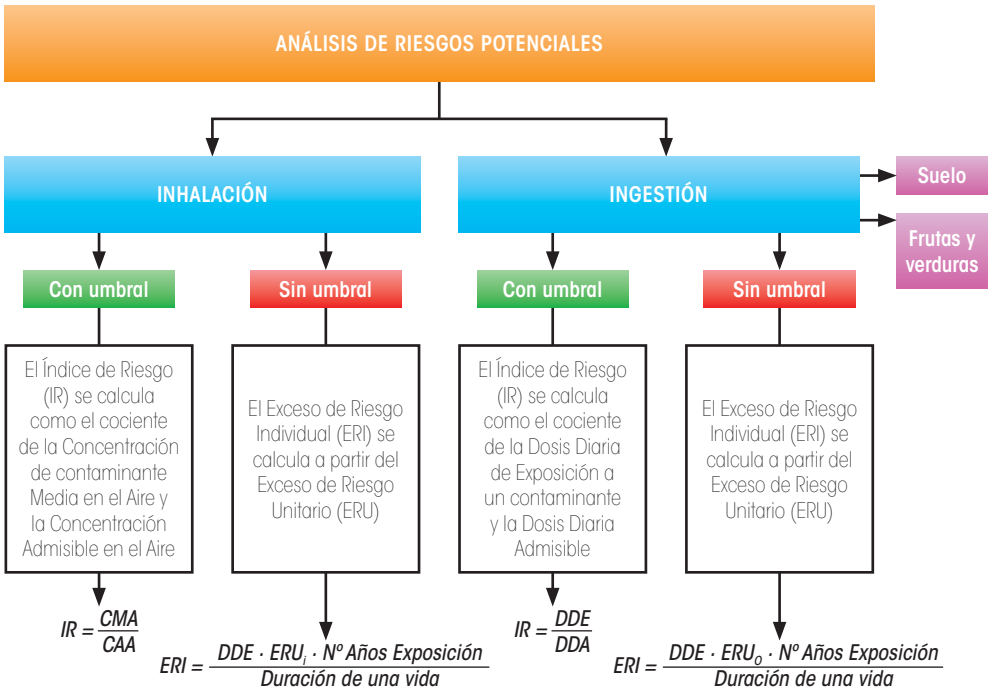
$$ERI = \frac{DDE \cdot ERU_o \cdot N^{\circ} \text{ Años Exposición}}{\text{Duración de una vida}} \quad \text{ó} \quad ERI = \frac{DDE \cdot ERU_i \cdot N^{\circ} \text{ Años Exposición}}{\text{Duración de una vida}}$$

Según las recomendaciones de la OMS, se considera que el riesgo potencial es aceptable si el parámetro ERI es inferior a 10⁻⁵, es decir, 1/100.000.

El ERI tiene en cuenta el número de años que dura la exposición sobre la duración total de una vida. Para este estudio, se ha considerado una duración de la vida de 70 años. Este valor es coherente con el empleado para la determinación de los ERU, según la documentación consultada.

El cálculo del riesgo por efectos sin umbral sólo se ha calculado para adultos porque supone una duración de la exposición de 30 años sobre una vida de 70.

En la siguiente figura se resume la metodología a seguir para el cálculo del riesgo potencial asociado a cada receptor, en función del tipo de exposición y parámetro considerado.



Para la evaluación del riesgo potencial para cada parámetro se han tenido en cuenta los siguientes aspectos:

- En el caso del TOC, puesto que se trata de una forma de expresar el contenido en carbono orgánico total y no de un parámetro como tal, no existe un VTR asociado, por lo que se incluirá en la modelización para el cálculo de la concentración en inmisión pero no se considerará para el análisis de riesgos potenciales.
- Para las partículas totales tampoco existe VTR, ya que únicamente se dispone de valores toxicológicos de referencia para PM_{10} y $PM_{2.5}$. En este caso, se considerará

para partículas totales el mismo VTR que para PM_{10} , siguiendo un criterio conservador en la evaluación de riesgos.

- Para el talio y el vanadio no existe VTR asociado, por lo que se incluirán en la modelización para el cálculo de la concentración en inmisión pero no se considerarán para el análisis de riesgos por inhalación.
- El cadmio no dispone de un valor de ERU (Exceso de Riesgo Unitario) asociado a la exposición por vía oral, dado que tanto la base de datos del IRIS como de OEHHA consideran que, con la información que se dispone actualmente, no es posible determinar un valor de ERU. Por lo tanto, el cadmio no se considerará en el cálculo del exceso de riesgo individual (ERI) por vía oral en el análisis de riesgos.

Capítulo 4 ▶ Resultados obtenidos

Para cada contaminante o trazador, se han calculado las concentraciones medias anuales en inmisión para las emisiones reales de las plantas, así como para el caso hipotético de emisiones iguales a los valores límite establecidos. Además, el modelo proporciona la tasa másica de deposición de contaminantes en el suelo.

A partir de estos datos se realizó el análisis de riesgos por inhalación y por ingestión. Para la evaluación de riesgos por inhalación se contrastó la concentración en inmisión de cada contaminante con los VTRs correspondientes. Para la evaluación por ingestión se empleó un modelo cinético que permite calcular la dosis a la que está expuesto cada receptor debido a la transferencia de los contaminantes depositados a través de la cadena alimentaria.

En los siguientes apartados se muestran los resultados obtenidos.

Para inhalación se presentan los valores de los índices IR (Índice de Riesgo) y Exceso de Riesgo Individual máximo y mínimo obtenidos para el conjunto de todos los receptores. Se han calculado los índices ERI tanto para trabajadores como para residentes. En las tablas se incluyen los resultados para residentes ya que presentan una exposición mayor que los trabajadores.

El análisis de riesgos por ingestión considera únicamente la exposición para las zonas residenciales. Por tanto, en el análisis de riesgos potenciales se han excluido los receptores situados en zonas industriales.

4.1 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE RIESGOS POTENCIALES. PLANTA DE HOLCIM EN LORCA

4.1.1 Resultados de la exposición por inhalación

A continuación se muestran los resultados de riesgo obtenidos para inhalación, a partir de los valores de emisión de la planta. Se presentan los valores de los índices IR (Índice de Riesgo) y Exceso de Riesgo Individual máximo y mínimo obtenidos para el conjunto de todos los receptores.

Los resultados del Índice de Riesgo (IR) menores que 1 muestran que los valores de exposición hallados se encuentran por debajo de los umbrales definidos a partir de

Tabla 4. Rango de resultados de riesgo por inhalación obtenidos para el conjunto de los receptores a partir de los valores de emisión. Planta de Lorca (Holcim).

Exposición por inhalación	Efectos con umbral		Efectos sin umbral	
	IR		ERI Residentes	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
NO _x	1,11E-02	1,54E-04	-	-
SO ₂	3,03E-03	4,21E-05	-	-
HCl	6,62E-05	9,19E-07	-	-
HF	7,27E-06	1,01E-07	-	-
CO	4,06E-05	5,63E-07	-	-
PM tot	3,23E-04	7,50E-06	-	-
Dioxinas y Furanos	3,39E-08	1,30E-09	-	-
Sb	1,86E-06	2,70E-08	-	-
As	8,66E-05	1,26E-06	3,68E-09	5,34E-11
Cd	2,33E-05	3,33E-07	3,59E-10	5,14E-12
Co	4,65E-06	6,75E-08	-	-
Cu	7,83E-07	1,14E-08	-	-
Cr III	4,13E-09	1,10E-10	-	-
Cr VI	5,78E-06	1,54E-07	9,92E-09	2,64E-10
Mn	8,60E-05	1,25E-06	-	-
Hg	1,85E-06	2,69E-08	-	-
Ni	1,86E-05	2,71E-07	2,73E-10	3,97E-12
Pb	3,71E-06	5,39E-08	9,53E-12	1,39E-13
REFERENCIA	1		1·10 ⁻⁵	

los cuales no se considera que exista riesgo significativo de desarrollar una afección para la salud.

Para simplificar la cuantificación del riesgo, en la Tabla 5 se indica el índice de riesgo para cada grupo de parámetros comparado con el umbral por debajo del cual se considera que no hay riesgos significativos para la salud.

Para los efectos asociados a las sustancias sin umbral, el Exceso de Riesgo Individual (ERI) expresa la probabilidad de desarrollar una afección para la salud a lo largo de una vida. A modo de resumen, en la siguiente tabla se indican los valores de ERI para

Tabla 5. Índice de riesgo para cada grupo de parámetros y comparativa con umbral (inhalación). Planta de Lorca (Holcim).

Contaminante	Índice de riesgo
NO _x	Entre 100 y 10.000 veces por debajo del umbral
SO ₂	Entre 1.000 y 100.000 veces por debajo del umbral
Gases: CO, HCl, HF	Entre 100.000 y 10.000.000 veces por debajo del umbral
Partículas	Entre 10.000 y 1.000.000 veces por debajo del umbral
Dioxinas y Furanos	Entre 100.000.000 y 1.000.000.000 veces por debajo del umbral
Metales	Entre 100.000 y 10.000.000.000 veces por debajo del umbral

cada grupo de parámetros comparados con la probabilidad considerada como no significativa:

Tabla 6. Exceso de riesgo individual para cada grupo de parámetros y comparativa con probabilidad no significativa (inhalación). Planta de Lorca (Holcim).

Contaminante	Valor de ERI
As, Cr VI	Entre 10.000 y 1.000.000 veces por debajo de la probabilidad considerada como no significativa*
Cd, Pb, Ni	Entre 100.000 y 100.000.000 veces por debajo de la probabilidad considerada como no significativa*

* Nota: En la literatura sobre toxicología se considera probabilidad no significativa para efectos sin umbral: 1/100.000.

En la Tabla 7 se muestran los resultados de los índices de riesgo bajo la hipótesis de que la planta mantuviera sus emisiones en niveles iguales a los límites de emisión establecidos en su autorización. Puesto que las emisiones reales son menores que estos límites, se trata de una hipótesis altamente conservadora.

Del análisis de los resultados obtenidos se desprende que, incluso bajo la hipótesis de que la planta mantuviera sus emisiones en niveles iguales a los límites permitidos de acuerdo con la legislación europea y española de modo continuado, no se apreciaría riesgo significativo por inhalación para ninguno de los receptores.

4.1.2 Resultados de la exposición por ingestión

A continuación, en la Tabla 8, se muestran los resultados de riesgo obtenidos para ingestión a partir de los valores de emisión de la planta. Se presentan los valores de los Índices IR (Índice de Riesgo) y ERI (Exceso de Riesgo Individual) máximo y mínimo obtenidos para el conjunto de todos los receptores.

Tabla 7. Rango de resultados de riesgo por inhalación obtenidos para el conjunto de los receptores en la hipótesis de valores límite de emisión. Planta de Lorca (Holcim).

Exposición por inhalación	Efectos con umbral		Efectos sin umbral	
	IR		ERI Residentes	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
NO _x	1,13E-02	1,57E-04	-	-
SO ₂	1,39E-02	1,92E-04	-	-
HCl	2,80E-04	3,89E-06	-	-
HF	4,36E-05	6,06E-07	-	-
PM tot	5,65E-04	1,92E-05	-	-
Dioxinas y Furanos	2,30E-05	8,86E-07	-	-
Sb	2,58E-05	3,74E-07	-	-
As	1,20E-03	1,75E-05	5,11E-08	7,41E-10
Cd	3,37E-04	1,29E-05	5,19E-9	2,00E-10
Co	6,45E-05	9,36E-07	-	-
Cu	1,10E-05	1,59E-07	-	-
Cr III	6,19E-08	2,38E-09	-	-
Cr VI	8,68E-05	3,34E-06	1,49E-07	5,72E-09
Mn	1,19E-03	1,73E-05	-	-
Hg	7,17E-05	1,04E-06	-	-
Ni	2,59E-04	3,76E-06	3,79E-09	5,50E-11
Pb	5,16E-05	7,48E-07	1,33E-10	1,92E-12
REFERENCIA	1		1·10 ⁻⁵	

Tabla 8. Rango de resultados de riesgo por ingestión obtenidos para el conjunto de los receptores a partir de los valores de emisión. Planta de Lorca (Holcim).

Exposición por ingestión	Efectos con umbral				Efectos sin umbral	
	IR NIÑOS		IR ADULTOS		ERI Residentes	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
Dioxinas y Furanos	2,51E-06	1,01E-07	7,06E-07	2,83E-08	-	-
Sb	1,67E-06	2,54E-08	3,33E-07	5,09E-09	-	-
As	1,19E-06	1,82E-08	2,24E-07	3,42E-09	4,33E-11	6,60E-13
Cd	2,67E-07	4,02E-09	5,87E-08	8,83E-10	-	-
Pb	1,50E-06	2,29E-08	1,77E-07	2,70E-09	2,30E-12	3,51E-14
TI	5,38E-06	2,16E-07	6,88E-07	2,76E-08	-	-
V	4,81E-06	7,33E-08	5,39E-07	8,22E-09	-	-
REFERENCIA	1				1·10 ⁻⁵	

Los resultados obtenidos para el Índice de Riesgo (IR) son menores que 1. Esto implica que los valores de exposición hallados se encuentran por debajo de los valores umbral definidos para cada parámetro. Por tanto, se considera que no existe riesgo significativo de desarrollar una afección para la salud.

Para simplificar la cuantificación del riesgo, en la siguiente tabla se indica el índice de riesgo para cada grupo de parámetros comparado con el umbral por debajo del cual se considera que no hay riesgos significativos para la salud.

Tabla 9. Índice de riesgo para cada grupo de parámetros y comparativa con umbral (ingestión). Planta de Lorca (Holcim).

Contaminante	Índice de riesgo
Dioxinas y Furanos	Entre 1.000.000 y 10.000.000 veces por debajo del umbral
Metales	Entre 1.000.000 y 1.000.000.000 veces por debajo del umbral

Para los efectos asociados a las sustancias sin umbral, el Exceso de Riesgo Individual (ERI) expresa la probabilidad de desarrollar una afección para la salud a lo largo de una vida. A modo de resumen, en la siguiente tabla se indican los valores de ERI para cada grupo de parámetros comparados con la probabilidad considerada como no significativa:

Tabla 10. Exceso de riesgo individual para cada grupo de parámetros y comparativa con probabilidad no significativa (ingestión). Planta de Lorca (Holcim).

Contaminante	Valor de ERI
As	Entre 1.000.000 y 100.000.000 veces por debajo de la probabilidad considerada como no significativa*
Pb	Entre 10.000.000 y 1.000.000.000 veces por debajo de la probabilidad considerada como no significativa*

* Nota: En la literatura sobre toxicología se considera probabilidad no significativa para efectos sin umbral: 1/100.000.

En la Tabla 11 se muestran los resultados de los índices de riesgo bajo la hipótesis de que la planta mantuviera sus emisiones en niveles iguales a los límites de emisión establecidos en su autorización. Puesto que las emisiones reales son menores que estos límites, se trata de una hipótesis altamente conservadora.

Del análisis de los resultados obtenidos se desprende que, incluso bajo la hipótesis de que la planta mantuviera sus emisiones en niveles iguales a los límites permitidos de

Tabla 11 Rango de resultados de riesgo por ingestión obtenidos para el conjunto de los receptores a partir de los valores límite de emisión. Planta de Lorca (Holcim).

Exposición por ingestión	Efectos con umbral				Efectos sin umbral	
	IR NIÑOS		IR ADULTOS		ERI Residentes	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
Dioxinas y Furanos	9,49E-05	3,81E-06	2,67E-05	1,07E-06	-	-
Sb	2,32E-05	3,53E-07	4,63E-06	7,06E-08	-	-
As	1,66E-05	2,52E-07	3,12E-06	4,75E-08	6,01E-10	9,16E-12
Cd	4,11E-06	1,65E-07	9,03E-07	3,62E-08	-	-
Pb	2,09E-05	3,18E-07	2,46E-06	3,75E-08	3,20E-11	4,88E-13
Tl	5,21E-05	7,93E-07	6,66E-06	1,01E-07	-	-
V	6,68E-05	1,02E-06	7,49E-06	1,14E-07	-	-
REFERENCIA	1				1·10 ⁻⁵	

acuerdo con la legislación europea y española de modo continuado, no se apreciaría riesgo significativo por inhalación para ninguno de los receptores.

Se ha calculado, además, la deposición de contaminantes (cantidad de contaminantes sedimentada sobre el suelo) que implicaría un índice de riesgo por ingestión igual a la unidad (umbral de riesgo) para las personas que se alimentaran a base de vegetales cultivados en ese terreno. En la siguiente tabla se presentan estos valores, denominados deposición seca umbral (F_{umb}) y además se comparan con los valores de deposición más elevados obtenidos a partir de las emisiones de la planta en el conjunto de los receptores (F).

Tabla 12. Deposición seca máxima y cociente entre el valor más desfavorable de deposición y la deposición máxima calculada. Planta de Lorca (Holcim).

Receptor con mayor tasa de deposición	F_{umb} ($\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$)*		Cociente F/F_{umb} **	
	Adultos	Niños	Adultos	Niños
Dioxinas y Furanos	3,75E-09	1,05E-09	7,12E-07	2,54E-06
Sb	1,25E-02	2,51E-03	3,86E-07	1,91E-06
As	1,78E-02	3,42E-03	2,70E-07	1,40E-06
Cd	1,32E-02	2,90E-03	6,50E-08	2,96E-07
Pb	1,31E-02	1,81E-03	2,61E-07	1,89E-06
Tl	3,06E-03	4,47E-04	9,89E-07	6,78E-06
V	1,05E-03	1,41E-04	8,19E-07	6,11E-06

* Deposición seca umbral ($IR=1$).

** Cociente entre la deposición seca del receptor con una deposición asociada más elevada y la deposición seca umbral.

Los resultados obtenidos para el cociente F/F_{umb} están muy por debajo de la unidad. Esto implica que los valores de deposición de contaminantes procedentes de la planta están al menos un millón de veces por debajo de la deposición que daría lugar a un índice de riesgo por ingestión igual a la unidad.

4.2.RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE RIESGOS POTENCIALES. PLANTA DE LAFARGE EN MONTCADA

4.2.1 Resultados de la exposición por inhalación

A continuación se muestran los resultados de riesgo obtenidos para inhalación, a partir de los valores de emisión de la planta. Se presentan los valores de los índices IR (Índice

Tabla 13. Rango de resultados de riesgo por inhalación obtenidos para el conjunto de los receptores a partir de los valores de emisión. Planta de Montcada (Lafarge).

Exposición por inhalación	Sustancias con umbral		Sustancias sin umbral	
	IR		ERI Residentes	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
NO _x	2,19E-01	3,53E-02	-	-
SO ₂	1,81E-02	2,93E-03	-	-
HCl	6,03E-05	9,74E-06	-	-
HF	1,98E-04	3,21E-05	-	-
CO	8,25E-04	1,33E-04	-	-
PM tot	5,48E-03	1,19E-03	-	-
Dioxinas y Furanos	1,11E-06	2,41E-07	-	-
Sb	2,90E-05	4,65E-06	-	-
As	3,55E-03	5,70E-04	1,51E-07	2,42E-08
Cd	1,24E-02	1,99E-03	1,92E-07	3,08E-08
Co	2,39E-05	3,84E-06	-	-
Cu	3,42E-04	5,49E-05	-	-
Cr III	3,44E-06	5,53E-07	-	-
Cr VI	8,85E-04	1,42E-04	1,52E-06	2,44E-07
Mn	2,20E-02	3,54E-03	-	-
Hg	2,60E-04	4,14E-05	-	-
Ni	5,00E-03	8,03E-04	7,33E-08	1,18E-08
Pb	7,87E-04	1,71E-04	2,02E-09	4,39E-10
REFERENCIA	1		1·10 ⁵	

de Riesgo) y Exceso de Riesgo Individual máximo y mínimo obtenidos para el conjunto de todos los receptores.

Los resultados obtenidos para el Índice de Riesgo (IR) son menores que 1. Esto implica que los valores de exposición hallados se encuentran por debajo de los valores umbral definidos para cada parámetro. Por tanto, se considera que no existe riesgo significativo de desarrollar una afección para la salud.

Para simplificar la cuantificación del riesgo, en la siguiente tabla se indica el índice de riesgo para cada grupo de parámetros comparado con el umbral por debajo del cual se considera que no hay riesgos significativos para la salud.

Tabla 14. Índice de riesgo para cada grupo de parámetros y comparativa con umbral (inhalación). Planta de Montcada (Lafarge).

Contaminante	Índice de riesgo
NO _x	Entre 10 y 100 veces por debajo del umbral
SO ₂	Entre 100 y 1.000 veces por debajo del umbral
Gases: CO, HCl, HF	Entre 10.000 y 1.000.000 veces por debajo del umbral
Partículas	Aproximadamente, 1.000 veces por debajo del umbral
Dioxinas y Furanos	Entre 1.000.000 y 10.000.000 veces por debajo del umbral
Metales	Entre 100 y 10.000.000 veces por debajo del umbral

Para los efectos asociados a las sustancias sin umbral, el Exceso de Riesgo Individual (ERI) expresa la probabilidad de desarrollar una afección para la salud a lo largo de una vida. A modo de resumen, en la siguiente tabla se indican los valores de ERI para cada grupo de parámetros comparados con la probabilidad considerada como no significativa:

Tabla 15. Exceso de riesgo individual para cada grupo de parámetros y comparativa con probabilidad no significativa (inhalación). Planta de Montcada (Lafarge).

Contaminante	Valor de ERI
As, Cr VI	Entre 10 y 1.000 veces por debajo de la probabilidad considerada como no significativa*
Cd, Pb, Ni	Entre 100 y 100.000 veces por debajo de la probabilidad considerada como no significativa*

* Nota: En la literatura sobre toxicología se considera probabilidad no significativa para efectos sin umbral: 1/100.000.

A continuación se muestran los resultados de los índices de riesgo bajo la hipótesis de que la planta mantuviera sus emisiones en niveles iguales a los límites de emisión es-

tablecidos en su autorización. Puesto que las emisiones reales son menores que estos límites, se trata de una hipótesis altamente conservadora.

Tabla 16. Rango de resultados de riesgo por inhalación obtenidos para el conjunto de los receptores a partir de los valores límite de emisión. Planta de Montcada (Lafarge).

Exposición por inhalación	Sustancias con umbral		Sustancias sin umbral	
	IR		ERI Residentes	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
NO _x	2,41E-01	3,89E-02	-	-
SO ₂	3,02E-02	4,86E-03	-	-
HCl	6,08E-03	9,81E-04	-	-
HF	8,87E-04	1,43E-04	-	-
PM tot	1,63E-02	3,54E-03	-	-
Dioxinas y Furanos	2,72E-05	5,89E-06	-	-
Sb	5,27E-05	8,63E-06	-	-
As	6,45E-03	1,06E-03	2,73E-07	4,48E-08
Cd	1,02E-02	1,67E-03	1,57E-07	2,58E-08
Co	4,34E-05	7,11E-06	-	-
Cu	6,22E-04	1,02E-04	-	-
Cr III	6,27E-06	1,03E-06	-	-
Cr VI	1,61E-03	2,64E-04	2,76E-06	4,52E-07
Mn	4,01E-02	6,56E-03	-	-
Hg	1,87E-03	3,04E-04	-	-
Ni	9,11E-03	1,49E-03	1,34E-07	2,19E-08
Pb	1,46E-03	3,16E-04	3,75E-09	8,13E-10
REFERENCIA	1		1·10 ⁻⁵	

Del análisis de los resultados obtenidos se desprende que, incluso bajo la hipótesis de que la planta mantuviera sus emisiones en niveles iguales a los límites permitidos de acuerdo con la legislación europea y española de modo continuado, no se apreciaría riesgo significativo por inhalación para ninguno de los receptores.

4.2.2 Resultados de la exposición por ingestión

A continuación se muestran los resultados obtenidos para ingestión, a partir de los valores de emisión de la planta. Se presentan los valores de los índices IR (Índice de Riesgo) y ERI (Exceso de Riesgo Individual) máximo y mínimo obtenido para el conjunto de todos los receptores.

Tabla 17. Rango de resultados de riesgo por ingestión obtenidos para el conjunto de los receptores a partir de los valores de emisión. Planta de Montcada (Lafarge).

Exposición por ingestión	Efectos con umbral				Efectos sin umbral	
	IR NIÑOS		IR ADULTOS		ERI Residentes	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
Dioxinas y Furanos	4,86E-05	1,12E-05	1,37E-05	3,15E-06	-	-
Sb	9,48E-06	1,62E-06	2,11E-06	3,61E-07	-	-
As	2,03E-05	3,48E-06	4,62E-06	7,92E-07	8,91E-10	1,53E-10
Cd	4,72E-05	8,09E-06	1,08E-05	1,85E-06	-	-
Pb	9,87E-05	2,27E-05	1,20E-05	2,76E-06	1,56E-10	3,60E-11
Tl	5,16E-04	1,19E-04	8,53E-05	1,96E-05	-	-
V	1,32E-03	3,03E-04	1,52E-04	3,51E-05	-	-
REFERENCIA	1				1·10 ⁵	

Los resultados obtenidos para el Índice de Riesgo (IR) son menores que 1. Esto implica que los valores de exposición hallados se encuentran por debajo de los valores umbral definidos para cada parámetro. Por tanto, se considera que no existe riesgo significativo de desarrollar una afección para la salud.

Para simplificar la cuantificación del riesgo, en la siguiente tabla se indica el índice de riesgo para cada grupo de parámetros comparado con el umbral por debajo del cual se considera que no hay riesgos significativos para la salud.

Tabla 18. Índice de riesgo para cada grupo de parámetros y comparativa con umbral (ingestión). Planta de Montcada (Lafarge).

Contaminante	Índice de riesgo
Dioxinas y Furanos	Entre 100.000 y 1.000.000 veces por debajo del umbral
Metales	Entre 1.000 y 10.000.000 veces por debajo del umbral

Para los efectos asociados a las sustancias sin umbral, el Exceso de Riesgo Individual (ERI) expresa la probabilidad de desarrollar una afección para la salud a lo largo de una vida. A modo de resumen, en la Tabla 19 se indican los valores de ERI para cada grupo de parámetros comparados con la probabilidad considerada como no significativa.

A continuación, en la Tabla 20, se muestran los resultados de los índices de riesgo bajo la hipótesis de que la planta mantuviera sus emisiones en niveles iguales a los límites de

emisión establecidos en su autorización. Puesto que las emisiones reales son menores que estos límites, se trata de una hipótesis altamente conservadora.

Tabla 19. Exceso de riesgo individual para cada grupo de parámetros y comparativa con probabilidad no significativa (ingestión). Planta de Montcada (Lafarge).

Contaminante	Valor de ERI
As	Aproximadamente 100.000 veces por debajo de la probabilidad considerada como no significativa*
Pb	Entre 100.000 y 1.000.000 veces por debajo de la probabilidad considerada como no significativa*

* Nota: En la literatura sobre toxicología se considera probabilidad no significativa para efectos sin umbral: 1/100.000.

Tabla 20. Rango de resultados de riesgo por ingestión obtenidos para el conjunto de los receptores a partir de los valores límite de emisión. Planta de Montcada (Lafarge).

Exposición por ingestión	Efectos con umbral				Efectos sin umbral	
	IR NIÑOS		IR ADULTOS		ERI Residentes	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
Dioxinas y Furanos	1,19E-03	2,73E-04	3,34E-04	7,68E-05	-	-
Sb	1,73E-05	3,01E-06	3,85E-06	6,69E-07		
As	3,71E-05	6,45E-06	8,44E-06	1,47E-06	1,63E-09	2,83E-10
Cd	3,90E-05	6,78E-06	8,93E-06	1,55E-06	-	-
Pb	1,83E-04	4,21E-05	2,23E-05	5,12E-06	2,90E-10	6,66E-11
TI	4,05E-04	9,30E-05	6,69E-05	1,54E-05	-	-
V	2,44E-03	5,62E-04	2,83E-04	6,50E-05	-	-
REFERENCIA	1				1 · 10 ⁻⁵	

Del análisis de los resultados obtenidos se desprende que, incluso bajo la hipótesis de que la planta mantuviera sus emisiones en niveles iguales a los límites permitidos de acuerdo con la legislación europea y española de modo continuado, no se apreciaría riesgo significativo por inhalación para ninguno de los receptores.

Se ha calculado, además, la deposición de contaminantes (cantidad de contaminantes sedimentada sobre el suelo) que implicaría un índice de riesgo por ingestión igual a la unidad (umbral de riesgo) para las personas que se alimentaran a base de vegetales cultivados en ese terreno. En la siguiente tabla se presentan estos valores, denominados deposición seca umbral (F_{umb}) y además se comparan con los valores de deposición más elevados obtenidos a partir de las emisiones de la planta en el conjunto de los receptores (F).

Tabla 21. Deposición seca máxima y cociente entre el valor más desfavorable de deposición y la deposición máxima calculada. Planta de Montcada (Lafarge).

Receptor con mayor tasa de deposición	F _{umb} (µg/m ² /s)*		Cociente F/F _{umb} **	
	Adultos	Niños	Adultos	Niños
Dioxinas y Furanos	3,75E-09	1,05E-09	1,38E-05	4,91E-05
Sb	2,00E-02	4,42E-03	2,36E-06	1,07E-05
As	2,38E-02	5,38E-03	5,19E-06	2,30E-05
Cd	2,44E-02	5,54E-03	1,18E-05	5,20E-05
Pb	2,62E-02	3,68E-03	1,75E-05	1,24E-04
Tl	4,50E-03	7,83E-04	1,09E-04	6,27E-04
V	2,10E-03	2,86E-04	2,28E-04	1,67E-03

* Deposición seca umbral (IR=1).

** Cociente entre la deposición seca del receptor con una deposición asociada más elevada y la deposición seca umbral.

Los resultados obtenidos para el cociente F/F_{umb} están muy por debajo de la unidad. Esto implica que los valores de deposición de contaminantes procedentes de la planta están al menos mil veces por debajo de la deposición que daría lugar a un índice de riesgo por ingestión igual a la unidad.

4.3. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE RIESGOS POTENCIALES. PLANTA DE CEMENTOS PORTLAND VALDERRIVAS EN VALLCARCA

4.3.1 Resultados de la exposición por inhalación

A continuación (Tabla 22) se muestran los resultados de riesgo obtenidos para inhalación, a partir de los valores de emisión de la planta. Se presentan los valores de los índices IR (Índice de Riesgo) y Exceso de Riesgo Individual máximo y mínimo obtenidos para el conjunto de todos los receptores.

Los resultados obtenidos para el Índice de Riesgo (IR) son menores que 1. Esto implica que los valores de exposición hallados se encuentran por debajo de los valores umbral definidos para cada parámetro. Por tanto, se considera que no existe riesgo significativo de desarrollar una afección para la salud.

Para simplificar la cuantificación del riesgo, en la Tabla 23 se indica el índice de riesgo para cada grupo de parámetros comparado con el umbral por debajo del cual se considera que no hay riesgos significativos para la salud.

Tabla 22. Rango de resultados de riesgo por inhalación obtenidos para el conjunto de los receptores a partir de los valores de emisión. Planta de Vallcarca (Cementos Portland Valderrivas).

Exposición por inhalación	Sustancias con umbral		Sustancias sin umbral	
	IR		ERI Residentes	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
NO _x	6,84E-02	1,12E-02	-	-
SO ₂	1,84E-02	2,98E-03	-	-
HCl	4,26E-05	6,95E-06	-	-
HF	6,17E-05	9,99E-06	-	-
CO	1,23E-03	1,99E-04	-	-
PM tot	7,15E-04	9,92E-05	-	-
Dioxinas y Furanos	1,58E-06	2,16E-07	-	-
Sb	1,55E-05	2,37E-06	-	-
As	7,23E-04	1,11E-04	3,07E-08	4,35E-09
Cd	1,59E-03	2,41E-04	2,45E-08	3,36E-09
Co	4,89E-05	7,49E-06	-	-
Cu	5,38E-05	8,17E-06	-	-
Cr III	2,20E-07	3,35E-08	-	-
Cr VI	5,65E-05	8,60E-06	9,68E-08	1,35E-08
Mn	3,57E-04	5,42E-05	-	-
Hg	7,65E-05	1,18E-05	-	-
Ni	2,94E-04	4,47E-05	4,31E-09	5,99E-10
Pb	2,89E-05	4,07E-06	7,43E-11	9,35E-12
REFERENCIA	1		1·10 ⁻⁵	

Tabla 23. Índice de riesgo para cada grupo de parámetros y comparativa con umbral (inhalación). Planta de Vallcarca (Cementos Portland Valderrivas).

Contaminante	Índice de riesgo
NO _x	Aproximadamente 100 veces por debajo del umbral
SO ₂	Entre 100 y 1.000 veces por debajo del umbral
Gases: CO, HCl, HF	Entre 1.000 y 1.000.000 veces por debajo del umbral
Partículas	Entre 10.000 y 100.000 veces por debajo del umbral
Dioxinas y Furanos	Entre 1.000.000 y 10.000.000 veces por debajo del umbral
Metales	Entre 1.000 y 100.000.000 veces por debajo del umbral

Para los efectos asociados a las sustancias sin umbral, el Exceso de Riesgo Individual (ERI) expresa la probabilidad de desarrollar una afección para la salud a lo largo de una vida. A modo de resumen, en la siguiente tabla se indican los valores de ERI para cada grupo de parámetros comparados con la probabilidad considerada como no significativa:

Tabla 24. Exceso de riesgo individual para cada grupo de parámetros y comparativa con probabilidad no significativa (inhalación). Planta de Vallcarca (Cementos Portland Valderrivas).

Contaminante	Valor de ERI
As, Cr VI	Entre 1.000. y 10.000 veces por debajo de la probabilidad considerada como no significativa*
Cd, Pb, Ni	Entre 1.000 y 10.000.000 veces por debajo de la probabilidad considerada como no significativa*

* Nota: En la literatura sobre toxicología se considera probabilidad no significativa para efectos sin umbral: 1/100.000.

A continuación se muestran los resultados de los índices de riesgo bajo la hipótesis de que la planta mantuviera sus emisiones en niveles iguales a los límites de emisión establecidos en su autorización. Puesto que las emisiones reales son menores que estos límites, se trata de una hipótesis altamente conservadora.

Tabla 25a. Rango de resultados de riesgo por inhalación obtenidos para el conjunto de los receptores a partir de los valores límite de emisión. Planta de Vallcarca (Cementos Portland Valderrivas).

Exposición por inhalación	Sustancias con umbral		Sustancias sin umbral	
	IR		ERI Residentes	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
NO _x	7,14E-02	1,18E-02	-	-
SO ₂	1,07E-01	1,78E-02	-	-
HCl	1,76E-03	2,92E-04	-	-
HF	2,80E-04	4,64E-05	-	-
PM tot	8,22E-03	9,97E-04	-	-
Dioxinas y Furanos	1,37E-05	1,66E-06	-	-
Sb	2,45E-04	3,59E-05	-	-
As	1,14E-02	1,68E-03	4,85E-07	7,11E-08
Cd	9,82E-03	1,52E-03	1,52E-07	2,34E-08
Co	6,91E-04	1,01E-04	-	-
REFERENCIA	1		1·10 ⁻⁵	

Tabla 25b. Rango de resultados de riesgo por inhalación obtenidos para el conjunto de los receptores a partir de los valores límite de emisión. Planta de Vallcarca (Cementos Portland Valderrivas).

Exposición por inhalación	Sustancias con umbral		Sustancias sin umbral	
	IR		ERI Residentes	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
Cu	2,47E-04	3,63E-05	-	-
Cr III	2,04E-06	3,00E-07	-	-
Cr VI	5,26E-04	7,72E-05	9,02E-07	1,32E-07
Mn	2,11E-03	3,09E-04	-	-
Hg	5,86E-04	8,60E-05	-	-
Ni	2,02E-03	2,96E-04	2,96E-08	4,34E-09
Pb	4,21E-04	5,54E-05	1,08E-09	1,42E-10
REFERENCIA	1		1·10 ⁻⁵	

Del análisis de los resultados obtenidos se desprende que, incluso bajo la hipótesis de que la planta mantuviera sus emisiones en niveles iguales a los límites permitidos de acuerdo con la legislación europea y española de modo continuado, no se apreciaría riesgo significativo por inhalación para ninguno de los receptores.

4.3.2 Resultados de la exposición por ingestión

En la Tabla 26 se recopilan los resultados obtenidos para ingestión, a partir de los valores de emisión de la planta. Se presentan los valores de los índices IR (Índice de Riesgo) y ERI (Exceso de Riesgo Unitario) máximo y mínimo obtenidos para el conjunto de todos los receptores.

Los resultados obtenidos para el Índice de Riesgo (IR) son menores que 1. Esto implica que los valores de exposición hallados se encuentran por debajo de los valores umbral definidos para cada parámetro. Por tanto, se considera que no existe riesgo significativo de desarrollar una afección para la salud.

Para simplificar la cuantificación del riesgo, en la Tabla 27 se indica el índice de riesgo para cada grupo de parámetros comparado con el umbral por debajo del cual se considera que no hay riesgos significativos para la salud.

Tabla 26. Rango de resultados de riesgo por ingestión obtenidos para el conjunto de los receptores a partir de los valores de emisión. Planta de Vallcarca (Cementos Portland Valderrivas).

Exposición por ingestión	Efectos con umbral				Efectos sin umbral	
	IR NIÑOS		IR ADULTOS		ERI Residentes	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
Dioxinas y Furanos	9,33E-04	7,36E-05	2,62E-04	2,07E-05	-	-
Sb	1,03E-05	1,24E-06	2,05E-06	2,47E-07	-	-
As	7,33E-06	8,85E-07	1,38E-06	1,66E-07	2,65E-10	3,20E-11
Cd	1,35E-05	1,60E-06	2,97E-06	3,52E-07	-	-
Pb	8,80E-06	9,35E-07	1,04E-06	1,10E-07	1,35E-11	1,44E-12
Tl	2,65E-05	3,20E-06	3,38E-06	4,09E-07	-	-
V	5,91E-04	6,22E-05	6,63E-05	6,97E-06	-	-
REFERENCIA	1				1·10 ⁻⁵	

Tabla 27. Índice de riesgo para cada grupo de parámetros y comparativa con umbral (ingestión). Planta de Vallcarca (Cementos Portland Valderrivas).

Contaminante	Índice de riesgo
Dioxinas y Furanos	Entre 10.000 y 100.000 veces por debajo del umbral
Metales	Entre 10.000 y 10.000.000 veces por debajo del umbral

Para los efectos asociados a las sustancias sin umbral, el Exceso de Riesgo Individual (ERI) expresa la probabilidad de desarrollar una afección para la salud a lo largo de una vida. A modo de resumen, en la siguiente tabla se indican los valores de ERI para cada grupo de parámetros comparados con la probabilidad considerada como no significativa:

Tabla 28. Exceso de riesgo individual para cada grupo de parámetros y comparativa con probabilidad no significativa (ingestión). Planta de Vallcarca (Cementos Portland Valderrivas).

Contaminante	Valor de ERI
As	Entre 100.000 y 1.000.000 veces por debajo de la probabilidad considerada como no significativa*
Pb	Entre 1.000.000 y 10.000.000 veces por debajo de la probabilidad considerada como no significativa*

* Nota: En la literatura sobre toxicología se considera probabilidad no significativa para efectos sin umbral: 1/100.000.

A continuación se muestran los resultados de los índices de riesgo bajo la hipótesis de que la planta mantuviera sus emisiones en niveles iguales a los límites de emisión es-

tablecidos en su autorización. Puesto que las emisiones reales son menores que estos límites, se trata de una hipótesis altamente conservadora.

Tabla 29. Rango de resultados de riesgo por ingestión obtenidos para el conjunto de los receptores a partir de los valores límite de emisión. Planta de Vallcarca (Cementos Portland Valderrivas).

Exposición por ingestión	Efectos con umbral				Efectos sin umbral	
	IR NIÑOS		IR ADULTOS		ERI Residentes	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
Dioxinas y Furanos	8,02E-03	6,43E-04	2,26E-03	1,81E-04	-	-
Sb	1,62E-04	1,99E-05	3,23E-05	3,98E-06	-	-
As	1,16E-04	1,42E-05	2,17E-05	2,67E-06	4,19E-09	5,15E-10
Cd	8,28E-05	1,05E-05	1,82E-05	2,30E-06	-	-
Pb	1,28E-04	1,37E-05	1,51E-05	1,62E-06	1,96E-10	2,11E-11
Tl	2,74E-04	3,40E-05	3,50E-05	4,34E-06	-	-
V	5,56E-03	5,86E-04	6,23E-04	6,56E-05	-	-
REFERENCIA	1				1 · 10 ⁻⁵	

Del análisis de los resultados obtenidos se desprende que, incluso bajo la hipótesis de que la planta mantuviera sus emisiones en niveles iguales a los límites permitidos de acuerdo con la legislación europea y española de modo continuado, no se apreciaría riesgo significativo por inhalación para ninguno de los receptores.

Se ha calculado, además, la deposición de contaminantes (cantidad de contaminantes sedimentada sobre el suelo) que implicaría un índice de riesgo por ingestión igual a la unidad (umbral de riesgo) para las personas que se alimentaran a base de vegetales cultivados en ese terreno. En la siguiente tabla (Tabla 30) se presentan estos valores, denominados deposición seca umbral (F_{umb}) y además se comparan con los valores de deposición más elevados obtenidos a partir de las emisiones de la planta en el conjunto de los receptores (F).

Los resultados obtenidos para el cociente F/F_{umb} están muy por debajo de la unidad. Esto implica que los valores de deposición de contaminantes procedentes de la planta están al menos mil veces por debajo de la deposición que daría lugar a un índice de riesgo por ingestión igual a la unidad.

Tabla 30. Deposición seca máxima y cociente entre el valor más desfavorable de deposición y la deposición máxima calculada. Planta de Vallcarca (Cementos Portland Valderrivas).

Receptor con mayor tasa de deposición	F _{umb} (µg/m ² /s)*		Cociente F/F _{umb} **	
	Adultos	Niños	Adultos	Niños
Dioxinas y Furanos	3,75E-09	1,05E-09	6,33E-04	2,26E-03
Sb	1,24E-02	2,50E-03	5,54E-06	2,75E-05
As	1,78E-02	3,40E-03	3,86E-06	2,01E-05
Cd	1,31E-02	2,88E-03	7,18E-06	3,28E-05
Pb	1,30E-02	1,80E-03	3,62E-06	2,62E-05
Tl	3,05E-03	4,43E-04	1,13E-05	7,76E-05
V	1,04E-03	1,40E-04	2,21E-04	1,65E-03

* Deposición seca umbral (IR=1).

** Cociente entre la deposición seca del receptor con una deposición asociada más elevada y la deposición seca umbral.

4.4. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE RIESGOS POTENCIALES. PLANTA DE CEMEX EN CASTILLEJO

4.4.1 Resultados de la exposición por inhalación

A continuación se muestran los resultados de riesgo obtenidos para inhalación, a partir de los valores de emisión de la planta. Se presentan los valores de los índices IR (Índice de Riesgo) y Exceso de Riesgo Individual máximo y mínimo obtenidos para el conjunto de todos los receptores.

Tabla 31a. Rango de resultados de riesgo por inhalación obtenidos para el conjunto de los receptores a partir de los valores de emisión. Planta de Castillejo (Cemex).

Exposición por inhalación	Sustancias con umbral		Sustancias sin umbral	
	IR		ERI Residentes	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
NO _x	6,07E-02	8,58E-04	-	-
SO ₂	1,75E-04	2,49E-06	-	-
HCl	9,23E-04	1,32E-05	-	-
HF	3,36E-05	4,74E-07	-	-
CO	1,11E-04	1,55E-06	-	-
REFERENCIA	1		1·10 ⁻⁵	

Tabla 31b. Rango de resultados de riesgo por inhalación obtenidos para el conjunto de los receptores a partir de los valores de emisión. Planta de Castillejo (Cemex).

Exposición por inhalación	Sustancias con umbral		Sustancias sin umbral	
	IR		ERI Residentes	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
PM tot	1,72E-03	2,24E-05	-	-
Dioxinas y Furanos	3,88E-07	5,75E-09	-	-
Sn	8,36E-09	1,25E-10	-	-
As	7,94E-04	1,18E-05	3,37E-08	5,02E-10
Cd	9,64E-04	1,42E-05	1,49E-08	2,19E-10
Zn	6,79E-08	1,01E-09	-	-
Cu	8,01E-06	1,17E-07	-	-
Cr III	2,04E-07	3,05E-09	-	-
Cr VI	5,22E-05	7,82E-07	8,96E-08	1,34E-09
Mn	9,91E-04	1,46E-05	-	-
Hg	4,19E-05	6,27E-07	-	-
Ni	2,01E-04	2,99E-06	2,95E-09	4,38E-11
Pb	2,14E-04	3,23E-06	5,51E-10	8,30E-12
REFERENCIA	1		1·10 ⁻⁵	

Los resultados obtenidos para el Índice de Riesgo (IR) son menores que 1. Esto implica que los valores de exposición hallados se encuentran por debajo de los valores umbral definidos para cada parámetro. Por tanto, se considera que no existe riesgo significativo de desarrollar una afección para la salud.

Para simplificar la cuantificación del riesgo, en la Tabla 32 se indica el índice de riesgo para cada grupo de parámetros comparado con el umbral por debajo del cual se considera que no hay riesgos significativos para la salud.

Para los efectos asociados a las sustancias sin umbral, el Exceso de Riesgo Individual (ERI) expresa la probabilidad de desarrollar una afección para la salud a lo largo de una vida. A modo de resumen, en la Tabla 33 se indican los valores de ERI para cada grupo de parámetros comparados con la probabilidad considerada como no significativa.

Tabla 32. Índice de riesgo para cada grupo de parámetros y comparativa con umbral (inhalación). Planta de Castillejo (Cemex).

Contaminante	Índice de riesgo
NO _x	Entre 100 y 10.000 veces por debajo del umbral
SO ₂	Entre 10.000 y 1.000.000 veces por debajo del umbral
Gases: CO, HCl, HF	Entre 10.000 y 10.000.000 veces por debajo del umbral
Partículas	Entre 1.000 y 100.000 veces por debajo del umbral
Dioxinas y Furanos	Entre 10.000.000 y 1.000.000.000 veces por debajo del umbral
Metales	Entre 10.000 y 1.000.000.000 veces por debajo del umbral

Tabla 33. Exceso de riesgo individual para cada grupo de parámetros y comparativa con probabilidad no significativa (inhalación). Planta de Castillejo (Cemex).

Contaminante	Valor de ERI
As, Cr VI	Entre 1.000 y 100.000 veces por debajo de la probabilidad considerada como no significativa*
Cd, Pb, Ni	Entre 1.000 y 10.000.000 veces por debajo de la probabilidad considerada como no significativa*

* Nota: En la literatura sobre toxicología se considera probabilidad no significativa para efectos sin umbral: 1/100.000.

A continuación se muestran los resultados de los índices de riesgo bajo la hipótesis de que la planta mantuviera sus emisiones en niveles iguales a los límites de emisión establecidos en su autorización. Puesto que las emisiones reales son menores que estos límites, se trata de una hipótesis altamente conservadora.

Del análisis de los resultados obtenidos se desprende que, incluso bajo la hipótesis de que la planta mantuviera sus emisiones en niveles iguales a los límites permitidos de acuerdo con la legislación europea y española de modo continuado, no se apreciaría riesgo significativo por inhalación para ninguno de los receptores.

Tabla 34a. Rango de resultados de riesgo por inhalación obtenidos para el conjunto de los receptores a partir de los valores límite de emisión. Planta de Castillejo (Cemex).

Exposición por inhalación	Sustancias con umbral		Sustancias sin umbral	
	IR		ERI Residentes	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
NO _x	1,12E-01	1,59E-03	-	-
SO ₂	5,61E-03	7,98E-05	-	-
HCl	2,81E-03	3,99E-05	-	-
REFERENCIA	1		1·10 ⁻⁵	

Tabla 34b. Rango de resultados de riesgo por inhalación obtenidos para el conjunto de los receptores a partir de los valores límite de emisión. Planta de Castillejo (Cemex).

Exposición por inhalación	Sustancias con umbral		Sustancias sin umbral	
	IR		ERI Residentes	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
HF	4,01E-04	5,69E-06	-	-
CO	3,74E-04	5,60E-06	-	-
PM tot	7,72E-03	1,01E-04	-	-
Dioxinas y Furanos	7,79E-06	1,17E-07	-	-
Sb	2,22E-03	3,33E-05	-	-
As	7,15E-03	1,07E-04	3,03E-07	4,55E-09
Cd	1,56E-02	2,33E-04	2,40E-07	3,60E-09
Co	3,11E-02	4,66E-04	-	-
Cu	1,36E-03	2,07E-05	-	-
Cr III	1,90E-06	2,86E-08	-	-
Cr VI	4,89E-04	7,36E-06	8,38E-07	1,26E-08
Mn	7,67E-03	1,14E-04	-	-
Hg	1,04E-03	1,55E-05	-	-
Ni	1,73E-03	2,59E-05	2,54E-08	3,80E-10
Pb	2,18E-03	3,30E-05	5,60E-09	8,48E-11
Zn	6,13E-07	9,20E-09	-	-
Sn	8,16E-08	1,23E-09	-	-
REFERENCIA	1		$1 \cdot 10^{-5}$	

4.4.2 Resultados de la exposición por ingestión

A continuación (Tabla 35) se muestran los resultados de riesgo obtenidos para ingestión, a partir de los valores de emisión de la planta. Se presentan los valores de los índices IR (Índice de Riesgo) y ERI (Exceso de Riesgo Unitario) máximo y mínimo obtenidos para el conjunto de todos los receptores.

Los resultados obtenidos para el Índice de Riesgo (IR) son menores que 1. Esto implica que los valores de exposición hallados se encuentran por debajo de los valores umbral definidos para cada parámetro. Por tanto, se considera que no existe riesgo significativo de desarrollar una afección para la salud.

Tabla 35. Rango de resultados de riesgo por ingestión obtenidos para el conjunto de los receptores a partir de los valores de emisión. Planta de Castillejo (Cemex).

Exposición por ingestión	Efectos con umbral				Efectos sin umbral	
	IR NIÑOS		IR ADULTOS		ERI Residentes	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
Dioxinas y Furanos	1,76E-05	3,53E-07	4,95E-06	9,94E-08	-	-
Sn	3,25E-07	6,56E-09	9,20E-08	1,85E-09	-	-
As	5,21E-06	1,05E-07	1,13E-06	2,27E-08	2,17E-10	4,38E-12
Cd	4,49E-06	9,00E-08	1,01E-06	2,03E-08	-	-
Pb	3,37E-05	6,80E-07	4,06E-06	8,20E-08	5,28E-11	1,07E-12
Tl	2,28E-05	4,58E-07	3,52E-06	7,05E-08	-	-
Zn	1,94E-06	3,91E-08	5,55E-07	1,12E-08	-	-
REFERENCIA	1				1 · 10 ⁻⁵	

Para simplificar la cuantificación del riesgo, en la siguiente tabla se indica el índice de riesgo para cada grupo de parámetros comparado con el umbral por debajo del cual se considera que no hay riesgos significativos para la salud.

Tabla 36. Índice de riesgo para cada grupo de parámetros y comparativa con umbral (ingestión). Planta de Castillejo (Cemex).

Contaminante	Índice de riesgo
Dioxinas y Furanos	Entre 100.000 y 10.000.000 veces por debajo del umbral
Metales	Entre 100.000 y 1.000.000.000 veces por debajo del umbral

Para los efectos asociados a las sustancias sin umbral, el Exceso de Riesgo Individual (ERI) expresa la probabilidad de desarrollar una afección para la salud a lo largo de una vida. A modo de resumen, en la siguiente tabla se indican los valores de ERI para cada grupo de parámetros comparados con la probabilidad considerada como no significativa:

Tabla 37. Exceso de riesgo individual para cada grupo de parámetros y comparativa con probabilidad no significativa (ingestión). Planta de Castillejo (Cemex).

Contaminante	Índice de riesgo
As	Entre 100.000 y 10.000.000 veces por debajo de la probabilidad considerada como no significativa*
Pb	Entre 1.000.000 y 10.000.000 veces por debajo de la probabilidad considerada como no significativa*

* Nota: En la literatura sobre toxicología se considera probabilidad no significativa para efectos sin umbral: 1/100.000.

A continuación se muestran los resultados de los índices de riesgo bajo la hipótesis de que la planta mantuviera sus emisiones en niveles iguales a los límites de emisión establecidos en su autorización. Puesto que las emisiones reales son menores que estos límites, se trata de una hipótesis altamente conservadora.

Tabla 38. Rango de resultados de riesgo por ingestión obtenidos para el conjunto de los receptores a partir de los valores límite de emisión. Planta de Castillejo (Cemex).

Exposición por ingestión	Efectos con umbral				Efectos sin umbral	
	IR NIÑOS		IR ADULTOS		ERI Residentes	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
Dioxinas y Furanos	3,53E-04	7,12E-06	9,94E-05	2,00E-06	-	-
Sb	8,67E-04	1,75E-05	1,87E-04	3,76E-06	-	-
As	4,69E-05	9,46E-07	1,02E-05	2,05E-07	1,96E-09	3,95E-11
Cd	7,27E-05	1,46E-06	1,64E-05	3,31E-07	-	-
Pb	3,43E-04	6,92E-06	4,13E-05	8,34E-07	5,37E-10	1,09E-11
Tl	4,50E-04	9,07E-06	6,94E-05	1,40E-06	-	-
V	1,25E-02	2,52E-04	1,43E-03	2,88E-05	-	-
Sn	3,18E-06	6,42E-08	8,99E-07	1,82E-08	-	-
Zn	1,75E-05	3,54E-07	5,01E-06	1,01E-07	-	-
REFERENCIA	1				1·10 ⁻⁵	

Del análisis de los resultados obtenidos se desprende que, incluso bajo la hipótesis de que la planta mantuviera sus emisiones en niveles iguales a los límites permitidos de acuerdo con la legislación europea y española de modo continuado, no se apreciaría riesgo significativo por inhalación para ninguno de los receptores.

Se ha calculado, además, la deposición de contaminantes (cantidad de contaminantes sedimentada sobre el suelo) que implicaría un índice de riesgo por ingestión igual a la unidad (umbral de riesgo) para las personas que se alimentaran a base de vegetales cultivados en ese terreno. En la siguiente tabla (Tabla 39) se presentan estos valores, denominados deposición seca umbral (F_{umb}) y además se comparan con los valores de deposición más elevados obtenidos a partir de las emisiones de la planta en el conjunto de los receptores (F).

Los resultados obtenidos para el cociente F/F_{umb} están muy por debajo de la unidad. Esto implica que los valores de deposición de contaminantes procedentes de la planta

Tabla 39. Deposición seca máxima y cociente entre el valor más desfavorable de deposición y la deposición máxima calculada. Planta de Castillejo (Cemex).

Receptor con mayor tasa de deposición	F _{umb} (µg/m ² /s)*		Cociente F/F _{umb} **	
	Adultos	Niños	Adultos	Niños
Dioxinas y Furanos	3,78E-09	1,06E-09	4,95E-06	1,76E-05
Sb	2,01E-02	4,34E-03	-	-
As	2,55E-02	5,51E-03	1,13E-06	3,08E-06
Cd	2,29E-02	5,17E-03	1,01E-06	2,74E-06
Pb	3,19E-02	3,84E-03	4,06E-06	1,95E-05
Tl	5,42E-03	8,35E-04	3,52E-06	1,39E-05
V	2,63E-03	3,01E-04	-	-
Sn	7,68E-01	2,17E-01	9,20E-08	3,25E-07
Zn	1,55E-01	4,43E-02	5,55E-07	1,94E-06

* Deposición seca umbral (IR=1).

** Cociente entre la deposición seca del receptor con una deposición asociada más elevada y la deposición seca umbral.

están al menos mil veces por debajo de la deposición que daría lugar a un índice de riesgo por ingestión igual a la unidad.

Capítulo 5 ▶ Conclusiones

Se han evaluado los riesgos potenciales por inhalación e ingestión de los contaminantes emitidos por cuatro plantas cementeras con diferentes características representativas de las diversas condiciones del sector en cuanto a su localización (entorno rural con población más lejana o entorno urbano), combustible empleado (combustibles fósiles o alternativos), emisiones, orografía y condiciones meteorológicas. Los parámetros considerados se encuentran regulados por su Autorización Ambiental Integrada de acuerdo a la normativa europea y estatal (Prevención y Control Integrados de la Contaminación, incineración de residuos).

Una vez evaluados los índices de riesgo para los receptores del entorno de las plantas, considerando la exposición por inhalación e ingestión de suelo y las frutas y verduras producidas en las zonas estudiadas, se puede concluir que no existe riesgo significativo para la salud para ninguno de los receptores.

Los resultados muestran que tanto los índices de riesgo (IR) como los excesos de riesgo individual (ERI) calculados son inferiores a los umbrales de riesgo para todos los parámetros y en todos los receptores en varios órdenes de magnitud:

- **Óxidos de nitrógeno (NO_x) y dióxido de azufre (SO₂):** riesgo por inhalación evaluado como no significativo por estar las concentraciones en aire (inmisión) derivadas de la emisión de las plantas por debajo de los estándares de calidad del aire definidos en la normativa de acuerdo a las recomendaciones de la OMS y otros organismos.
- **Partículas:** riesgo por inhalación evaluado como no significativo por estar las concentraciones en aire (inmisión) derivadas de la emisión de las plantas entre mil y un millón de veces por debajo de los estándares de calidad del aire definidos en la normativa de acuerdo a las recomendaciones de la OMS y otros organismos.
- **Monóxido de carbono (CO), ácido clorhídrico (HCl) y ácido fluorhídrico (HF):** riesgo por inhalación evaluado como no significativo por estar las concentraciones en aire (inmisión) derivadas de la emisión de las plantas entre mil y diez millones de veces por debajo de los umbrales recomendados por varias agencias ambientales.

- **Dioxinas y furanos:** para estas sustancias no se ha detectado riesgo significativo por inhalación ni por ingestión, pues los valores de exposición de las personas alrededor de las plantas están al menos entre diez mil y diez millones de veces por debajo de los umbrales de exposición definidos como aceptables.
- **Metales:** para estas sustancias no se ha detectado riesgo significativo por inhalación ni por ingestión, pues los índices de riesgo obtenidos a partir de los valores de exposición de las personas alrededor de las plantas están al menos entre cien y mil millones de veces por debajo de los umbrales de riesgo definidos como aceptables.

Para las cuatro plantas, los resultados muestran que:

- Para las sustancias con umbral, todas las concentraciones calculadas son muy inferiores a sus VTR correspondientes (índices de riesgo muy inferiores a 1) para todos los receptores.
- Para las sustancias sin umbral, los índices de Exceso de Riesgo Individual (ERI) son también muy inferiores al valor de referencia considerado (1/100.000) para todos los receptores.
- Los valores de deposición de contaminantes sobre el suelo se encuentran entre mil y diez millones de veces por debajo de los valores de deposición seca máxima calculados que implicarían un índice de riesgo en el umbral aceptable.
- Estas conclusiones son válidas tanto para la evaluación realizada con los valores de emisión de las plantas como con los valores límite de emisión. Los cálculos realizados a partir de estos últimos muestran que, si bien los índices de riesgo obtenidos al trabajar con esta hipótesis de cálculo son más elevados que cuando se trabaja con los valores de emisión de las plantas, estos siguen estando muy por debajo de los umbrales de riesgo.
- Los índices de riesgo calculados se encuentran en rangos similares tanto en las plantas que emplean únicamente combustibles fósiles como en las que utilizan, además, combustibles alternativos derivados de residuos. De manera que el tipo

de combustible utilizado no presenta una influencia significativa en los índices de riesgos calculados.

Por tanto, puede concluirse que no se ha identificado riesgo potencial para la salud en ninguno de los receptores considerados para ninguno de los escenarios evaluados.

Estudio realizado por URS España.
Diseño y maquetación: Alcubo.



Fundación Laboral del Cemento
y el Medio Ambiente

C/ José Abascal 57, 4º
28003, MADRID
Tel.: (+34) 91 451 81 18 - Fax: (+34) 91 401 05 86
www.fundacioncema.org

