

# Environment International

## La mortalidad por cáncer en ciudades situadas en las proximidades de incineradoras y de instalaciones para la recuperación o eliminación de residuos peligrosos

Javier García-Pérez a,b,\* Pablo Fernández-Navarro a,b, Adela Castelló a, María Felicitas López-Cima a,b, Rebeca Ramis a,b, Elena Boldo a,b, Gonzalo López-Abente a,b

a Área de Epidemiología Ambiental y Cáncer, Centro Nacional de Epidemiología, Instituto de Salud Carlos III, Avda. Monforte de Lemos, 5, 28029 Madrid, España  
b CIBER Epidemiología y Salud Pública (CIBERESP), España

INFORMACIÓN SOBRE EL ARTÍCULO	RESUMEN
<p>Historia del artículo: Recibido el 23 de julio de 2012 Aceptado el 18 de octubre de 2012 Disponible en línea xxxx</p> <p>Palabras clave: Mortalidad por cáncer Tratamiento de residuos Incineradoras Vehículos para desguace INLA Modelo BYM</p>	<p><i>Antecedentes:</i> Las plantas de tratamiento de residuos liberan al medio ambiente emisiones tóxicas que afectan a las ciudades cercanas a las mismas.</p> <p><i>Objetivos:</i> Investigar si podría haber un exceso de mortalidad por cáncer en ciudades próximas a incineradoras o instalaciones para la recuperación o eliminación de residuos peligrosos sitas en España, de acuerdo con las diferentes categorías de actividades industriales.</p> <p><i>Métodos:</i> Se diseñó un estudio ecológico para examinar la mortalidad municipal provocada por 33 tipos de cáncer durante el período 1997–2006. Se calculó la exposición de la población a la contaminación sobre la base de la distancia desde la ciudad de residencia a la fuente de contaminación. Utilizando los modelos de regresión propuestos por Besag, York y Mollié (BYM) con aproximaciones de Laplace anidadas integradas para la inferencia bayesiana y modelos combinados de regresión Poisson, evaluamos el riesgo de morir de cáncer en una zona de 5 kilómetros alrededor de las instalaciones, analizamos el efecto de cada categoría de actividad industrial y realizamos análisis individuales en un radio de 50 kilómetros en torno a cada una de las instalaciones.</p> <p><i>Resultados:</i> Se detectó un exceso de mortalidad por cáncer (modelo BYM: riesgo relativo, intervalos de credibilidad y confianza del 95%) en el conjunto de las poblaciones que residen cerca de dichas instalaciones (1,06, 1,04–1,09), y, principalmente, las próximas a incineradoras (1,09, 1,01–1,18) e instalaciones de manipulación de chatarra o de vehículos para desguace, en particular (1,04, 1,00–1,09). Cabe señalar especialmente los resultados relativos a tumores en la pleura (1,71, 1,34–2,14), el estómago (1,18, 1,10–1,27), el hígado (1,18, 1,06–1,30), los riñones (1,14, 1,04–1,23), los ovarios (1,14, 1,05–1,23), los pulmones (1,10, 1,05–1,15), la leucemia (1,10, 1,03–1,17), en el colon o el recto (1,08, 1,03–1,13) y en la vejiga (1,08, 1,01–1,16) obtenidos en las proximidades de dichas instalaciones.</p> <p><i>Conclusiones:</i> Nuestros resultados confirman la hipótesis de la existencia de un incremento significativo del riesgo de muerte por cáncer en los municipios próximos a incineradoras e instalaciones para la recuperación o eliminación de residuos peligrosos.</p> <p>© 2012 Elsevier Ltd. Todos los derechos reservados.</p>

## 1. Introducción

La generación de residuos por las actividades humanas es un motivo de preocupación en todo el mundo. Las incineradoras y las instalaciones para la recuperación o eliminación de residuos de los municipios ayudan a abordar este problema pero, inevitablemente, generan y liberan al medio ambiente emisiones y efluentes tóxicos, como las dioxinas, que son sustancias carcinógenas reconocidas por el Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (CIIC) (CIIC, 1997), que afectan a los municipios cercanos a dichas instalaciones.

Algunos estudios han asociado la exposición a las emisiones de las incineradoras con efectos adversos para la reproducción (Dummer et al., 2003), con problemas respiratorios (Miyake et al., 2005) y con el cáncer (Comba et al., 2003; Knox, 2000; Viel et al., 2008). Con respecto al tratamiento (eliminación o recuperación) de residuos peligrosos, que comprende actividades como el reciclaje de chatarra y de vehículos para desguace o el refinado de aceites usados, y al tratamiento físico y/o químico de los residuos, apenas hay estudios epidemiológicos sobre los efectos de estas instalaciones para la salud de las poblaciones de los municipios próximos a estas instalaciones, aunque se sabe que emiten sustancias carcinógenas, como por ejemplo, dioxinas, arsénico, benzina, cadmio y cromo (Agencia de Protección del Medio Ambiente, 2002; Landrigan et al., 1989). Por lo tanto, convendría verificar si la proximidad a zonas residenciales de este tipo de instalaciones contaminantes tan poco estudiadas podría influir en la frecuencia de la incidencia del cáncer.

En el caso de las fuentes de contaminación en España, las directivas aprobadas por la Comisión Europea en el año 2002 contemplaban un nuevo método para estudiar las consecuencias de la contaminación industrial, titulado Prevención y control integrados de la contaminación (IPPC), de conformidad con la Directiva 96/61/CE (codificada recientemente en la Directiva 2008/1/CE) y con la Ley 16/2002, que incorpora esta Directiva en el sistema jurídico español y que establece que, para poder operar en España, las industrias sujetas a los instrumentos legislativos mencionadas deben obtener un permiso medioambiental Integrado. En 2007, en virtud de este mismo acto normativo se creaba el registro europeo de emisiones y transferencias de contaminantes integrado (PRTR europeo), que establece la obligación de declarar todas las emisiones contaminantes liberadas a la atmósfera, al agua y al suelo que superen los límites fijados, y proporciona información detallada sobre la dirección y el tipo de actividad industrial que se realiza en las instalaciones. Por tanto, los registros IPPC y PRTR europeo constituyen un inventario de industrias, clasificadas por situación geográfica, que tienen un impacto ambiental en Europa. Dichos registros son un recurso muy útil para la vigilancia de la contaminación industrial y, por extensión, permiten establecer una asociación entre la proximidad de estas instalaciones contaminantes a zonas residenciales y sus efectos sobre la salud, por ejemplo, sobre la incidencia del cáncer (García-Pérez et al., 2012; Lopez-Abente et al., 2012; López-Cima et al., 2011).

En este contexto, el presente estudio tenía por objeto: 1) evaluar el posible exceso de mortalidad atribuible a 33 tipos de tumores entre la población española residente en las proximidades de incineradoras y plantas de tratamiento de residuos peligrosos incluidas en la Directiva IPPC y el reglamento sobre el PRTR europeo; 2) analizar este riesgo de acuerdo con las diferentes categorías de actividad industrial y para cada una de las instalaciones individuales; y 3) realizar este análisis para el conjunto de la población en general y desglosada por sexo, utilizando distintos enfoques estadísticos.

---

Abreviaturas: CIIC, Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer; IPPC, por sus siglas en inglés, Prevención y control integrados de la contaminación; PRTR europeo, registro europeo de emisiones y transferencias de contaminantes integrado; INE, Instituto Nacional de Estadística; PCB, bifenilo policlorado; RR, riesgos relativos; BYM, Modelo propuesto por Besag, York y Mollié; INLA, aproximación de Laplace anidada integrada; HAP, hidrocarburo aromático policíclico; NHL, linfoma no Hodgkin.

\* Autor perteneciente al Área de Epidemiología Ambiental y Cáncer, Centro Nacional de Epidemiología, Instituto de Salud Carlos III, Avda. Monforte de Lemos, 5, 28029 Madrid, España. Tel.: +34 918222643; fax: +34 913877815.

Direcciones de correo electrónico: [jgarcia@isciii.es](mailto:jgarcia@isciii.es) (J. García-Pérez), [pfernandezn@isciii.es](mailto:pfernandezn@isciii.es) (P. Fernández-Navarro), [acastello@isciii.es](mailto:acastello@isciii.es) (A. Castelló), [flcina@isciii.es](mailto:flcina@isciii.es) (M.F. López-Cima), [rramis@isciii.es](mailto:rramis@isciii.es) (R. Ramis), [eiboldo@isciii.es](mailto:eiboldo@isciii.es) (E. Boldo), [glabente@isciii.es](mailto:glabente@isciii.es) (G. López-Abente).

0160-4120/\$ – véanse los preliminares © 2012 Elsevier Ltd. Todos los derechos reservados.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2012.10.003>

## 2. Materiales y métodos

Elaboramos un estudio ecológico para evaluar la asociación existente entre la mortalidad por cáncer y la proximidad a las incineradoras y plantas de tratamiento de residuos peligrosos de los municipios (8098 municipios españoles), durante el período 1997–2006. Realizamos análisis independientes para el conjunto de la población y para cada sexo.

### 2.1. Datos sobre mortalidad

Se obtuvieron datos del Instituto Nacional de Estadística (INE) sobre la mortalidad observada en los municipios durante el período estudiado y correspondientes a 33 tipos de tumores malignos (véanse los datos suplementarios, cuadro 1, donde se muestra la lista de tumores analizados y sus códigos de acuerdo con la Clasificación Internacional de Enfermedades, revisiones novena y décima). Se calcularon los casos previstos sobre la base de las tasas específicas correspondientes al conjunto de la población española y desglosadas por grupo de edades (18 grupos: 0–4, ..., 80–84 años y más de 85 años), sexo y períodos de cinco años, (1997–2001, 2002–2006), y se multiplicaron los datos obtenidos por persona/años para cada municipio, desglosados por los mismos estratos. Se calcularon los datos de persona/años para cada quinquenio multiplicando las poblaciones respectivas por 5 (se tomaron los datos correspondientes a 1999 y 2004 como estimación del punto medio de población durante el período estudiado). Además, analizamos de manera específica las leucemias y el cáncer cerebral en personas con edades comprendidas entre los 15 y los 25 años, dado que estos son los tumores más frecuentes entre los adolescentes y los jóvenes según nuestros datos.

### 2.2. Datos sobre la exposición a la contaminación industrial

Se calculó la exposición de la población a la contaminación industrial tomando la distancia del centroide de la ciudad de residencia a la instalación industrial. Consultamos la base de datos para fines industriales (industrias sujetas a la Directiva IPPC e instalaciones pertenecientes a actividades industriales no sujetas a la Directiva e incluidas en el PRTR europeo) elaborada por el Ministerio español de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente en 2007. Teniendo en cuenta los períodos de inducción mínimos para los tumores objeto de estudio, generalmente 10 años para los tumores y 1 año para las leucemias (Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas, 2006), se utilizaron dos bases de datos para fines industriales:

- a) para el estudio de las leucemias, seleccionamos las 129 instalaciones correspondientes a las categorías de la Directiva IPPC 5.1 (instalaciones para la recuperación o eliminación de residuos peligrosos de una capacidad de más de 10 toneladas por día) y 5.2 (instalaciones para la incineración de los residuos municipales de una capacidad de más de 3 toneladas por hora), que entraron en funcionamiento antes del año 2002 (un año antes de la mitad del período estudiado), denominadas “instalaciones anteriores a 2002”; y
- b) para los restantes tumores, seleccionamos las 67 instalaciones correspondientes a las categorías 5.1 y 5.2 de la Directiva IPPC que entraron en funcionamiento antes de 1993 (10 años antes de la mitad del período de estudio), denominadas “instalaciones anteriores a 1993”.

La fecha (año) de comienzo de las actividades industriales respectivas la facilitaron las propias industrias.

Cada una de las instalaciones se clasificó dentro de una de las nueve categorías de actividades industriales siguientes, según el tipo de residuos generados y el tratamiento aplicado:

1. “*Incineración*”: incineración de residuos urbanos (municipales) sólidos y especiales (9 instalaciones anteriores a 2002 y 5 anteriores a 1993);
2. “*Chatarra y vehículos para desguace*”: desguace y/o descontaminación de chatarra reciclada (productos de metales férreos y no férreos) y equipos eléctricos y/o electrónicos (32 instalaciones anteriores a 2002 y 23 anteriores a 1993);
3. “*Aceites usados y residuos aceitosos*”: tratamiento de aceites usados, contaminantes marinos aceitosos (MARPOL) y descontaminación de equipos contaminados por bifenilos policlorados (PCB) (24 instalaciones anteriores a 2002 y 8 anteriores a 1993);

4. “*Envases*”: reciclaje de envases industriales de metal y de plástico (9 instalaciones anteriores a 2002 y 5 anteriores a 1993);
5. “*Disolventes*”: recuperación de disolventes usados (7 instalaciones anteriores a 2002 y 5 anteriores a 1993);
6. “*Líquidos de lavaje*”: regeneración de ácidos de decapado y líquidos básicos y ácido clorhídrico utilizado para el decapado de metales (7 instalaciones anteriores a 2002 y anteriores a 1993);
7. “*Tratamiento físico y/o químico*”: tratamiento físico y/o químico de residuos no incluidos en las secciones anteriores (8 instalaciones anteriores a 2002 y 4 anteriores a 1993);
8. “*Residuos Industriales*”: tratamiento de residuos industriales no incluidos en las secciones anteriores, como la recuperación de residuos de la industria del hierro y el acero (15 instalaciones anteriores a 2002 y 7 anteriores a 1993); y
9. “*Residuos no especificados en otra categoría*”: tratamiento de residuos no incluidos en las secciones anteriores, como residuos médicos o baterías de plomo, residuos fotoquímicos o textiles (18 instalaciones anteriores a 2002 y 5 anteriores a 1993). Esta categoría también comprende las instalaciones que manipulan distintos tipos de residuos o que aplican distintos procesos de tratamiento.

Debido a la presencia de errores en la localización inicial de las industrias, se validaron previamente las coordenadas geográficas de las instalaciones industriales registradas en la base de datos de 2007 de los registros IPPC y PRTR europeo. Se comprobó exhaustivamente cada una de las direcciones utilizando Google Earth (con la aplicación *street-view*), el sistema español de información geográfica sobre terrenos agrícolas (que incluye ortofotografías y mapas topográficos en los que se muestran los nombres de las industrias) (Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente, 2012), el servidor de Google Maps y la página web de las “Páginas amarillas” (que permite buscar direcciones y empresas) y las páginas web de las propias industrias, para verificar que la instalación industrial estaba situada exactamente en el lugar correcto. En el 25% de los casos, las coordenadas de las incineradoras y las instalaciones de tratamiento de residuos se corrigieron en una distancia de 4471 metros o más con respecto a la localización original incluida en la base de datos de los registros IPPC y PRTR europeo.

### 2.3. Análisis estadístico

Se realizaron tres tipos de análisis para evaluar el posible exceso de mortalidad por cáncer en municipios cercanos (“próximos”) respecto de los situados a distancia (“alejados”) de incineradoras e instalaciones de tratamiento de residuos peligrosos, denominado análisis “municipios próximos respecto de municipios alejados”. En todos los casos se tomó una distancia de 5 km como zona de proximidad (“exposición”) a las instalaciones industriales, de acuerdo con la distancia utilizada en otros estudios sobre estos tipos de instalaciones (Federico et al., 2010; Knox, 2000; Leem et al., 2006):

- 1) en una primera fase, realizamos un análisis de los “municipios próximos respecto de los alejados” para calcular los riesgos relativos (RR) de los municipios situados a una distancia de  $\leq 5$  km de las incineradoras e instalaciones de tratamiento de residuos peligrosos en conjunto. La variable, “exposición”, se codificó como: a) zona expuesta o cercana (“próxima”), que comprendía los municipios situados a una distancia de  $\leq 5$  km de una incineradora o de una instalación de tratamiento de residuos peligrosos; b) zona intermedia, que comprendía los municipios situados a una distancia de  $\leq 5$  km de una instalación industrial distinta de las incineradoras o las instalaciones de tratamiento de residuos peligrosos, y c) zona no expuesta (“alejada”), que comprendía municipios en los que no hay ninguna industria registrada (en los registros IPPC y PRTR europeo) en un radio de 5 km alrededor de su centroide municipal (grupo de referencia);
- 2) en un segundo análisis, decidimos estratificar el riesgo obtenido en análisis anterior según las diferentes categorías de actividad industrial y, a tal fin, creamos una variable de “exposición” según la cual la zona expuesta se estratificó en los siguientes grupos: Grupo 1, que comprendía los municipios situados en las cercanías ( $\leq 5$  km) de una o más instalaciones pertenecientes a la categoría “Incineración”; Grupo 2, si la categoría era “Chatarra y vehículos para desguace”, y así sucesivamente, hasta el Grupo 9, si la categoría era “Residuos no especificados en otra categoría”; y el Grupo 10, que comprendía los municipios situados en las proximidades de dos o más instalaciones pertenecientes a diferentes categorías de

actividad (“diversas categorías de sustancias contaminantes”). Las zonas intermedias y no expuestas se definieron de la misma manera que en la fase anterior; y,

- 3) por último, teniendo en cuenta que las características suelen variar de una incineradora a otra o de una instalación de tratamiento de residuos peligrosos a otra, realizamos varios análisis de “municipios próximos respecto de municipios alejados” para las distintas instalaciones individuales, y el análisis se limitó a una zona de 50 km alrededor de cada una de dichas instalaciones, al objeto de tener un grupo a efectos de comparación a nivel local.

En todos los análisis anteriores utilizamos dos enfoques estadísticos basados en los modelos log-lineales para calcular los RR y los intervalos de credibilidad y confianza del 95%), suponiendo que el número de muertes por estrato seguía la distribución de Poisson:

- a) un modelo autorregresivo condicional bayesiano propuesto por Besag, York y Mollié (BYM) (Besag et al., 1991), con variables explicativas:

$$O_i \sim \text{Poisson}(\mu_i) = \text{con } E_i \lambda_i$$

$i = 1; \dots; 8.098$  municipios;  $j = 1; \dots; 6$  posibles variables de confusión

- b) un modelo de regresión de Poisson combinado (Gelman y Hill, 2007):

$$O_i \sim \text{Poisson}(\mu_i) = \text{con } E_i \lambda_i$$

$i = 1; \dots; 8.098$  municipios;  $j = 1; \dots; 6$  variables potenciales de confusión

donde  $\lambda_i$  es el riesgo relativo (RR) en el municipio  $i$ , el número de muertes observadas en el municipio  $i$  para cada tipo de cáncer ( $O_i$ ) es la variable dependiente y el número de muertes previstas en el municipio  $i$  para cada tipo de cáncer ( $E_i$ ) es la desviación, en ambos casos. Todas las estimaciones para la variable de “exposición” ( $Expos_i$ ) se ajustaron para los siguientes indicadores sociodemográficos estandarizados, ( $Soc_{ij}$ ), tomados como variables potenciales de confusión directamente del censo de 1991 por su disponibilidad a nivel municipal y su capacidad explicativa con respecto a determinados patrones de mortalidad geográfica (López-Abente et al., 2006): tamaño de la población ( $ps_i$ ) (clasificada en tres niveles: 0–2000, 2000–10.000 y  $\geq 10.000$  habitantes); porcentaje de alfabetización ( $ill_i$ ), agricultores ( $far_i$ ) y desempleados ( $unem_i$ ); promedio de personas por familia ( $pph_i$ ); y renta media ( $inc_i$ ) según el Anuario de Márketing español, como medida del nivel de renta (Ayuso Orejana et al., 1993). Sus patrones geográficos muestran el desarrollo económico, demográfico y social de España y en ellos se aprecia cierta correspondencia espacial entre analfabetismo, desempleo y zonas de población más jóvenes. La variable de “exposición” y las covariantes potenciales de confusión eran las expresiones de los efectos fijos en los modelos.

Para evaluar el problema de la autocorrelación espacial (presencia de patrones geográficos en los datos espaciales contiguos) se aplicó la estadística I de Moran a los cocientes de mortalidad estandarizados (Bivand et al., 2008). El modelo autorregresivo bayesiano BYM aborda este problema mediante la inclusión de dos componentes de efectos aleatorios, a saber, una expresión espacial de los factores de contigüidad de los municipios ( $b_i$ ); y una expresión de heterogeneidad municipal ( $h_i$ ). Se utilizaron aproximaciones de Laplace anidadas integradas (INLA) (Rue et al., 2009) para obtener la inferencia bayesiana. Con este fin utilizamos R-INLA (The R-INLA project, 2012) con la opción de estimación de Laplace simplificada de los parámetros. Se incluyó un total de 8.098 municipios y se obtuvieron los datos espaciales sobre los municipios contiguos mediante el procesamiento de los mapas oficiales del INE.

Además, el modelo de regresión de Poisson combinado incluye la provincia como expresión de los efectos aleatorios ( $p_i$ ), para tener en cuenta la variabilidad geográfica y la dispersión extra-Poisson y considerar los municipios no expuestos pertenecientes a la misma provincia como grupo de referencia en cada caso, algo que se justifica por las diferencias geográficas observadas en la mortalidad atribuible a algunos tumores (López-Abente et al., 2006).

Por último, se realizó un análisis residual (basado en las desviaciones residuales) para someter a prueba los modelos.

### 3. Resultados

La fig. 1 representa la distribución geográfica de las 129 instalaciones estudiadas según las diferentes categorías de actividades industriales, junto con sus códigos PRTR y el año de comienzo de las operaciones. Véanse los datos suplementarios, cuadro 2, donde figura una descripción detallada del tipo de actividad que se realiza en cada una de las instalaciones y las sustancias contaminantes emitidas durante el decenio precedente. En total, en el año 2007, las 129 instalaciones emitieron 525.428 toneladas de sustancias tóxicas a la atmósfera y 4.984 toneladas al agua, incluidas sustancias carcinógenas como el arsénico (32 kg a la atmósfera y 33 kg al agua), el cromo (81 kg a la atmósfera y 80 kg al agua) e hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) (48 kg a la atmósfera y 126 kg al agua). Se ofrece información más detallada sobre el volumen de las emisiones en los datos suplementarios, cuadros 3 y 4, donde se muestran los tipos de sustancias emitidos por estas instalaciones a la atmósfera y al agua, respectivamente, y el volumen de las mismas.

En el cuadro 1 se muestran los riesgos relativos (RR) y los intervalos de credibilidad y confianza del 95% para los cánceres estadísticamente significativos en los municipios situados a  $\leq 5$  km de distancia de incineradoras y de instalaciones de tratamiento de residuos peligrosos, calculados a partir de modelos de regresión combinados de BYM y de Poisson y el test I de Moran para la autocorrelación espacial. En general, se observó un exceso de mortalidad por cáncer en ambos sexos y los dos modelos mostraban RR idénticos, que eran más elevados en los hombres (RR = 1,08) que en las mujeres (RR = 1,03). En el caso de tumores específicos, las estimaciones de ambos modelos eran bastante similares en general (ligeramente más elevadas y significativas en el modelo combinado en el caso de los tumores de la cavidad oral y la faringe, el esófago y el linfoma no Hodgkin (NHL) y algo más elevadas en el modelo BYM en el caso del cáncer renal). Algunos tipos de cáncer –por ejemplo, todos los cánceres combinados (en hombres y mujeres) o los tumores malignos en el estómago (en hombres y mujeres) y en el pulmón, la vejiga, la cavidad oral y la faringe, en el colon o el recto y en el hígado (en los hombres)– reflejaban una autocorrelación espacial estadísticamente significativa, por lo que se consideró adecuado utilizar el modelo BYM para tener en cuenta esta autocorrelación espacial. Sobre la base de este modelo aparecieron RR estadísticamente significativos para los tumores en el estómago, el hígado, la pleura y el riñón (en hombres y mujeres), en el colon o el recto, en el pulmón, la vejiga, la vesícula y la leucemia (en los hombres) y en el cerebro y los ovarios (en las mujeres). En estos resultados debe tenerse en cuenta el exceso de riesgo de cáncer de pleura (RR = 1,84 en los hombres y RR = 1,52 en las mujeres). Con respecto a las leucemias y el cáncer cerebral en los grupos menores de 15 años y menores de 25 años, no se observó un exceso de riesgo estadísticamente significativo (véanse los datos suplementarios, cuadro 5, donde se muestran los RR de morir de leucemia y de cáncer cerebral entre los grupos menores de 15 años y menores de 25 años en municipios situados a  $\leq 5$  km de distancia de incineradoras y de instalaciones de tratamiento de residuos peligrosos, calculados a partir de modelos BYM).

Los análisis del cuadro precedente, que incluyen los dos modelos de regresión y el test de autocorrelación espacial, se realizaron por separado para cada uno de los tumores (véanse los datos suplementarios, cuadros 6 y 7, donde se muestra el RR de muerte por cáncer en los municipios situados a  $\leq 5$  km de distancia de incineradoras e instalaciones de tratamiento de residuos peligrosos en conjunto –calculado utilizando los modelos BYM – y los valores p del test I de Moran para los análisis de autocorrelación espacial, respectivamente). En el análisis residual del modelo BYM para todos los tumores estudiados, los gráficos de las desviaciones residuales con respecto a la distancia a la instalación más próxima mostraban un patrón de dispersión aparentemente aleatorio, coherente con un modelo bien adaptado (véanse los datos suplementarios, fig. 1).

El cuadro 2 muestra los RR y los intervalos de credibilidad y confianza del 95% calculados con modelos BYM para cánceres para los cuales se obtuvieron resultados estadísticamente significativos en el análisis del riesgo estratificado por categoría de actividad industrial. Para todos los cánceres combinados se observó un exceso de riesgo estadísticamente significativo asociado a varias categorías de sustancias contaminantes (en hombres y mujeres), incineradoras e instalaciones para el reciclaje de chatarra y vehículos para desguace (población total) e instalaciones para la regeneración de líquidos de lavaje (en hombres), si bien en ningún caso fueron superiores al 10%. Por lo que respecta al resto de los tumores, cabe señalar el exceso de riesgos significativos observados para los siguientes tipos de cáncer (hemos destacado los RR estadísticamente significativos más elevados para cada tumor): cánceres de estómago y colorrectal en hombres que residen en las proximidades de industrias de reciclaje de envases (RR = 1,53 y 1,29,

respectivamente); cánceres de hígado y ovarios en mujeres que residen en los alrededores de instalaciones para la regeneración de líquidos de lavaje (RR = 1,55 y 1,29, respectivamente); cánceres de vesícula, pulmón y pleura en hombres que residen en zonas próximas a incineradoras (RR = 1,43, 1,19 y 1,98, respectivamente); cáncer de piel en hombres que residen en las proximidades de instalaciones de tratamiento de disolventes (RR = 3,30); linfoma de Hodgkin y cáncer de riñón en hombres que residen en zonas en los alrededores de instalaciones de tratamiento físico y químico (RR = 5,64 y 2,43, respectivamente); cáncer de vejiga y tiroides en hombres y leucemia en mujeres que residen cerca de instalaciones de reciclaje de chatarra y vehículos para desguace (RR = 1,16, 1,97 y 1,23, respectivamente); cáncer cerebral en mujeres que residen en las cercanías de otras instalaciones de tratamiento de residuos (RR = 3,29); y cánceres de pleura en los hombres, vulva y vagina en las mujeres, y en el tejido conjuntivo en la población total (RR = 4,85, 1,85 y 1,48, respectivamente), en zonas situadas en torno a instalaciones de tratamiento de aceites usados y residuos aceitosos. Si analizamos los resultados relativos a la estratificación del riesgo por categoría de actividad industrial, se encontraron las siguientes asociaciones entre tumores malignos y la proximidad a zonas residenciales de determinados tipos de instalaciones: a) “Incineradoras” y tumores en el pulmón, la pleura y la vesícula (hombres) y en el estómago (mujeres); b) “Instalaciones para el reciclaje de chatarra y vehículos para desguace” y cáncer de riñón (hombres y mujeres), tumores en el estómago, la vejiga y el tiroides (hombres) y leucemia (mujeres); c) “Instalaciones para el tratamiento de aceites usados y residuos aceitosos” y cáncer del tejido conjuntivo (población total), tumores en el estómago, la pleura y la piel (hombres) y en la vulva y la vagina (mujeres); d) “instalaciones de reciclaje de envases” y tumores en el estómago, cáncer colorrectal y cerebral (hombres); e) “Instalaciones para la recuperación de disolventes usados” y cáncer de piel (hombres); f) “Instalaciones para la regeneración de líquidos de lavaje” y el cáncer de estómago (población total), cáncer colorrectal (hombres) y tumores en el hígado y los ovarios (mujeres); g) “Instalaciones para el tratamiento físico y/o químico de residuos” y cáncer de riñón (hombres); h) “instalaciones de tratamiento de residuos industriales” y tumores en el estómago, la vulva y la vagina (mujeres); e, i) “Instalaciones para el tratamiento de residuos no especificados en otra categoría” y cáncer cerebral (mujeres). Además, los municipios próximos a diversas instalaciones de “varias categorías de sustancias contaminantes” presentaban importantes resultados en relación con tumores malignos en el estómago y la pleura (hombres y mujeres), en el colon o el recto, el hígado, la vesícula, el pulmón y leucemia (hombres) y tumores en los ovarios (mujeres).

El cuadro 3 muestra los RR en las proximidades de determinadas incineradoras e instalaciones de tratamiento de residuos peligrosos que registraron un exceso de riesgo estadísticamente significativo en el análisis de los “municipios próximos respecto de los municipios alejados” y en los que se habían producido  $\geq 15$  muertes. Se obtuvieron resultados significativos en un total de 3 incineradoras, 15 instalaciones para el reciclaje de chatarra y vehículos para desguace, 6 para el tratamiento de aceites usados y residuos aceitosos, 3 de reciclaje de envases, 2 para la recuperación de disolventes usados, 3 para la regeneración de líquidos de lavaje, 3 para el tratamiento físico y/o químico de residuos, 4 de tratamiento de residuos industriales y 6 instalaciones para el tratamiento de residuos no especificados en otra categoría. Muchas de las instalaciones presentaban RR considerablemente elevados para más de un tumor simultáneamente, y esto se aplicaba especialmente a las instalaciones ‘372’, ‘4699’ y ‘5692’ (“chatarra y vehículos para desguace”), ‘3710’ (“residuos industriales”), y ‘6053’ (“residuos no especificados en otra categoría”), con resultados estadísticamente significativos para 6 tumores, y las instalaciones ‘3055’ y ‘7476’ (“chatarra y vehículos para desguace”), ‘3713’ (“líquidos de lavaje”), ‘3110’ (“tratamiento físico y/o químico”), ‘3711’ (“residuos industriales”), y ‘7478’ (“residuos no especificados en otra categoría”), con resultados estadísticamente significativos para 5 tumores. También cabe señalar que hay 11 instalaciones con un exceso de riesgo significativo para todos los cánceres combinados: instalaciones ‘372’ (RR = 1,28 en las mujeres), ‘3055’ (RR = 1,10 en la población total), ‘5692’ (RR = 1,30 en las mujeres), ‘6051’ (RR = 1,21 en las mujeres), ‘3050’ (RR = 1,19 en las mujeres), ‘3110’ (RR = 1,30 en las mujeres) y ‘7478’ (RR = 1,10 en la población total), en la provincia de Barcelona; instalaciones ‘4699’ (RR = 1,13 en los hombres), ‘5910’ (RR = 1,27 en los hombres), ‘3710’ (RR = 1,13 en los hombres) y ‘3711’ (RR = 1,33 en los hombres), en la provincia de Vizcaya e instalación ‘5493’ (RR = 1,20 en los hombres), en la provincia de Granada.

#### 4. Explicación

El presente estudio es uno de los primeros que utilizan los datos para fines industriales que figuran en los registros IPPC y PRTR europeo para explorar los efectos del tratamiento de residuos

industriales en la mortalidad por cáncer en los municipios próximos a las instalaciones dedicadas a esta actividad. En general, de los resultados obtenidos se desprende que existe un riesgo más elevado, aunque moderado, de mortalidad por todos los cánceres combinados, mayor entre los hombres que entre las mujeres, entre las personas que residen cerca de incineradoras y plantas de tratamiento de residuos peligrosos en general. Al estratificar el riesgo por actividad industrial, se detectó un exceso de riesgo elevado en municipios próximos a “incineradoras” (población total), “instalaciones para el reciclaje de chatarra y vehículos para desguace”, “instalaciones para la regeneración de líquidos de lavaje” (hombres), y varias instalaciones de “diversas categorías de sustancias contaminantes” (hombres y mujeres).

Al analizar individualmente cada uno de los tipos de cánceres se observó un exceso significativo de riesgo de sufrir tumores malignos en el estómago, el hígado, la pleura y los riñones (hombres u mujeres), en el colon o el recto, los pulmones, la vejiga y la vesícula y de leucemia (hombres) y de tumores en el cerebro y los ovarios (mujeres). Además, al estratificar el riesgo por categorías de actividad industrial, se encontraron las siguientes asociaciones entre otros tumores malignos y la proximidad a zonas residenciales de determinados tipos de instalaciones. “Instalaciones para el reciclaje de chatarra y vehículos para desguace”, y tumores de estómago y del tiroides (hombres); “instalaciones para el tratamiento de aceites usados y residuos aceitosos” y el cáncer del tejido conjuntivo (población total), tumores cutáneos (hombres) y en la vulva y la vagina (mujeres); “instalaciones para la recuperación de disolventes usados” y tumores cutáneos (hombres); e “instalaciones de tratamiento de residuos industriales” y tumores en la vulva y la vagina (mujeres).

El hecho de que aparecieran resultados estadísticamente significativos, con un  $RR \geq 1,10$ , principalmente para los tumores de los sistemas digestivo y respiratorio (en la población total), nos indujo a sospechar que existen dos rutas posibles de exposición a la contaminación generada por dichas instalaciones, a saber: exposición directa a las sustancias contaminantes emitidas a la atmósfera y exposición indirecta a las sustancias contaminantes y a los efluentes líquidos vertidos al agua, que luego pueden pasar al suelo y a los acuíferos, y a las sustancias contaminantes emitidas a la atmósfera, que luego pasan a las plantas. En tales casos, las toxinas pueden pasar a la cadena trófica y afectar a la población.

La hipótesis de que un exceso de mortalidad por cáncer podría deberse a la exposición de la población a la contaminación industrial se ve reforzada por algunos estudios recientes que han encontrado asociaciones entre la proximidad a zonas residenciales de determinados tipos de instalaciones industriales y algunos tumores malignos (García-Pérez et al., 2010, 2012; López-Abente et al., 2012; Musti et al., 2009; Tsai et al., 2009). En relación con las incineradoras y las plantas de tratamiento de residuos peligrosos, los estudios se han centrado casi exclusivamente en las zonas próximas a las incineradoras, donde se han encontrado asociaciones con algunos tumores, como el NHL (Floret et al., 2003; Viel et al., 2011), los sarcomas de los tejidos blandos (Comba et al., 2003) y los tumores infantiles (Knox, 2000).

Algunos estudios ecológicos, como los aquí mencionados, proponen nuevas hipótesis y líneas de investigación con respecto a la exposición de la población a la contaminación industrial. A este respecto, uno de los principales puntos fuertes de nuestro estudio es la integridad del análisis exploratorio, mediante un examen exhaustivo de la mortalidad debida a 33 tipos de cáncer con referencia a diferentes categorías de actividad industrial. Otro de los puntos fuertes es el empleo de diversos enfoques metodológicos para la realización del análisis estadístico: uno basado en un modelo espacial jerárquico a nivel municipal, con inclusión de variables explicativas (modelo BYM), en el que el uso de expresiones espaciales en el modelo no solo lo hacía menos susceptible a la falacia ecológica (Clayton et al., 1993), sino que, además, permitía tener en cuenta la heterogeneidad geográfica de la distribución de la mortalidad; el otro enfoque, basado en un modelo de regresión combinado de Poisson, estaba justificado por su simplicidad de ajuste y por unos tiempos de cálculo más breves. Si bien los resultados de los dos modelos utilizados no son muy diferentes en términos generales, la presencia de autocorrelación espacial en algunos de los tumores estudiados aconseja utilizar modelos espaciales. Además, el método de cálculo que permite el INLA, como alternativa a los métodos Montecarlo basados en cadenas de Markov, constituye un salto cualitativo en el uso de modelos jerárquicos con variables explicativas (Rue et al., 2009). Hay que tener en cuenta que, a la hora de detectar asociaciones potenciales, los modelos combinados parecen ser más sensibles que los modelos espaciales, que son más restrictivos. Un ejemplo de ello son los resultados obtenidos sobre el NHL en los varones, donde el modelo combinado produjo resultados estadísticamente

significativos (RR = 1,12, intervalo de confianza del 95% = 1,03–1,22) mientras que el modelo BYM no mostraba una asociación estadísticamente significativa (RR = 1.07, intervalo de credibilidad del 95% = 0.97–1,19).

Otras ventajas del estudio son su elevada capacidad estadística, gracias a la inclusión de un gran número de muertes notificadas, factor que permite identificar un exceso de mortalidad de una magnitud inferior, de acuerdo con los efectos previstos de las exposiciones medioambientales; un análisis del riesgo en las zonas próximas a actividades industriales, como plantas de reciclaje de chatarra o de vehículos para desguace, que nunca habían sido estudiadas en su conjunto, y análisis individuales pormenorizados de las instalaciones respectivas; la eliminación, a los efectos del presente estudio, de las instalaciones que habían entrado en funcionamiento recientemente y cuya posible influencia en el desarrollo de tumores es discutible, si se tienen en cuenta los períodos mínimos de latencia de los tumores analizados; y la inclusión en los análisis como “categoría intermedia” de municipios situados en las proximidades de industrias distintas de las incineradoras y las instalaciones de tratamiento de residuos peligrosos, lo que evita la obtención de resultados que induzcan a una interpretación errónea de los efectos de dichas industrias (que emiten sustancias tóxicas que podrían tener relación con los tumores estudiados) y establecer un grupo de referencia “limpio” constituido por municipios en cuyas proximidades no existe ninguna instalación industrial.

Aparte de las limitaciones inherentes a todos los estudios ecológicos, también cabe señalar en nuestro caso la inclusión de muchas variables en los modelos, debido a lo cual los análisis podrían ser susceptibles al error del tipo I; la no inclusión de factores que podrían estar asociados con la distancia y que podrían inducir a confusión (aunque los ajustes realizados para incluir las variables socioeconómicas mitigarían en cierta medida esta falta de información, dado que muchos factores de riesgo relacionados con el estilo de vida, como el hábito de fumar, el consumo de alcohol, el tipo de dieta o los agentes infecciosos, muestran una distribución correlacionada con la situación socioeconómica (Prattala et al., 2009; Woitas-Slubowska et al., 2010)); el empleo de la distancia desde el municipio de residencia a los centros industriales como “variable sustitutiva” de la exposición de la población a la contaminación industrial, basándonos en el supuesto de un modelo isotrópico, habida cuenta de que la exposición real puede depender de los regímenes de viento o de la forma del relieve geográfico (aunque ello podría limitar la capacidad de detectar resultados positivos, sin invalidar las asociaciones observadas); y el uso de datos de mortalidad en lugar de datos de incidencia, debido a la ausencia de un registro nacional de incidencias basado en la población (si bien, en España, los tumores con índices de supervivencia más bajos están bien documentados en los certificados de defunción (Pérez-Gómez et al., 2006)).

En la elaboración del estudio, una decisión crítica fue la elección, a la hora de estratificar el riesgo en los análisis, de las categorías de actividad industrial de acuerdo con las características de los residuos aplicables y el tipo de tratamiento utilizado (Agència de Residus de Catalunya, 2012; Plan Territorial Especial de Ordenación de Residuos (PTEOR), 2012). Además, no se incluyeron en el estudio los vertederos, las plantas de compostaje ni las instalaciones de tratamiento de aguas residuales, puesto que no pertenecen a las categorías 5.1 y 5.2 del registro IPPC.

Otro aspecto que debe tenerse en cuenta es que las comunidades pobres no tienen más remedio que vivir en zonas contaminadas, próximas a vertederos e instalaciones industriales (Parodi et al., 2005), por lo que es muy importante insistir en que los resultados y las conclusiones no son simplemente un reflejo de la situación socioeconómica.

#### *4.1. Incineradoras*

La incineración es un tratamiento térmico que genera sustancias sospechosas y reconocidas como carcinógenas, por ejemplo, dioxinas, arsénico, cromo, bencina, hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), cadmio, plomo, tetracloroetano, hexaclorobenceno, níquel y naftalina (Comisión Europea, 2006).

Algunos estudios epidemiológicos que analizan los aumentos de la incidencia del cáncer en municipios cercanos a incineradoras han proporcionado una evidencia limitada (Porta et al., 2009). Los resultados de un estudio sobre la incidencia del cáncer en las proximidades de 72 incineradoras del Reino Unido (Elliott et al., 1996), que mostraba aumentos estadísticamente significativos de determinados cánceres, se revisaron con un criterio crítico (Elliott et al., 2000) y, según los autores,

dichos resultados podrían haberse visto afectados por factores parciales, lo que, a su vez, significaría que los efectos observados no podrían atribuirse a las emisiones de las incineradoras. Sin embargo, en varios estudios realizados en otros países se observó un exceso de riesgos de tumores hematológicos, de cáncer de pulmón y de algunos cánceres del sistema digestivo (Biggeri et al., 1996; Comba et al., 2003; Floret et al., 2003; Knox, 2000; Ranzi et al., 2011; Viel et al., 2011).

Los resultados de nuestro estudio muestran un exceso de riesgos para todos los cánceres combinados y de cáncer de pulmón y, en particular, un notable incremento del riesgo de tumores en la pleura y la vesícula (hombres) y en el estómago (mujeres). Los análisis individualizados de las instalaciones revelaron riesgos relativos estadísticamente significativos de linfoma no Hodgkin (NHL) en zonas cercanas a las instalaciones '467' y '4857', situadas en el mismo municipio, así como elevados riesgos de tumores en el ovario y el cerebro en mujeres que residen en las proximidades de la incineradora '2438'.

#### *4.2. Instalaciones para el reciclaje de chatarra y el desguace de vehículos de motor*

Uno de los resultados más sorprendentes de nuestro estudio es el exceso de riesgo detectado – estadísticamente significativo en todos los cánceres combinados, tumores malignos en el estómago, la vejiga y el tiroides (en los hombres), cáncer renal (en hombres y mujeres) y leucemia (en las mujeres) y casi estadísticamente significativos en tumores malignos en el pulmón (en hombres), cáncer de pleura (en las mujeres) y linfoma de Hodgkin (en la población total) – en las cercanías de instalaciones dedicadas al reciclaje de chatarra y al desguace y/o la descontaminación de vehículos. El motivo por el que se agruparon estas actividades en una sola categoría a efectos analíticos fue que, hasta hace relativamente poco tiempo, en España, estos tipos de residuos entraban dentro del ámbito del sector de la chatarra (Muñoz et al., 2011). En Europa, los vehículos para desguace se definieron como residuos peligrosos en el año 2002, debido a la composición tóxica de los materiales que los constituyen, es decir, aceites usados, líquido de frenos, filtros de aceite, materiales absorbentes, baterías y combustible. El tratamiento aplicado por estos tipos de instalaciones (Joung et al., 2007; Nourredine, 2007; Santini et al., 2012) genera sustancias sospechosas y reconocidas como carcinógenas, por ejemplo, dioxinas, furanos, PCB similares a las dioxinas, plomo, cromo, HAP, cadmio o níquel, y otras sustancias peligrosas, como por ejemplo, polvos granulados.

Según los datos de los que disponemos, no se ha realizado ningún estudio epidemiológico sobre las poblaciones que viven en las proximidades de estos tipos de instalaciones. Por lo que respecta a la exposición profesional, de los resultados de algunos estudios se desprende la existencia de asociaciones entre la exposición al polvo orgánico y la aparición de problemas gastrointestinales y respiratorios entre las personas que trabajan en instalaciones de recuperación y reciclaje de materiales (Gladding et al., 2003; Ivens et al., 1997). Sin embargo, cabe señalar que existen estudios que han evaluado la exposición a la radiación ionizante y a los materiales radioactivos entre los trabajadores dedicados al procesamiento y reciclaje de chatarra (Lubenau y Yusko, 1998; Vearrier et al., 2009). Estos agentes son sustancias reconocidas como carcinógenas que provocan leucemia y cáncer de tiroides y podrían tener relación con el exceso significativo de riesgo de padecer estos tumores detectado en las proximidades de estas instalaciones por nuestro estudio.

#### *4.3. Instalaciones para el tratamiento de aceites usados y residuos aceitosos*

En estas instalaciones se realiza el tratamiento (limpieza, refinado, fraccionamiento térmico, gasificación y destilación) de todo tipo de aceites usados y residuos aceitosos, y la descontaminación de equipos contaminados por bifenilos policlorados (PCB), un grupo de sustancias organocloradas definidas como residuos aceitosos en el Catálogo Europeo de Residuos y en la Lista de Residuos Peligrosos (Agencia de Protección del Medio Ambiente, 2002). Entre las sustancias emitidas por estas instalaciones hay sustancias sospechosas y reconocidas como carcinógenas, por ejemplo, dioxinas, arsénico, PAH, bencina, cromo, níquel, plomo, naftalina o tetracloroetano.

Según los datos de los que disponemos, no se han realizado estudios epidemiológicos ni ocupacionales de las poblaciones cercanas a este tipo de instalaciones, por lo que, a este respecto, nuestro estudio es el primero en el que se ha analizado el riesgo de morir de cáncer en las zonas próximas a estas fuentes de contaminación y, de hecho, se ha detectado un exceso de riesgos de padecer tumores malignos en el tejido conjuntivo (población total), la pleura, la piel y el estómago

(hombres) y en la vulva y la vagina (mujeres). En algunas de estas instalaciones se refinan aceites, actividad en la que pueden generarse unos niveles importantes de hidrocarburos aromáticos policíclicos y PCB derivados de la fusión de los aceites de corte de los motores usados y los aceites para transformadores (Hewstone, 1994). Es sabido que la exposición a largo plazo a determinados líquidos de corte y aceites minerales provoca un incremento de algunos cánceres profesionales, como los de estómago y la piel (DHHS (NIOSH), 1998; Mackerer, 1989). Ello podría explicar el exceso de riesgos observados en relación con estos tumores, dado que solo se observaron en los hombres, y cabría interpretar una posible exposición profesional, suponiendo que la residencia de los trabajadores estuviera distribuida de forma homogénea.

#### *4.4. Instalaciones para la regeneración de líquidos de lavaje*

En las operaciones de decapado de metales (es decir, la inmersión de metales, como el acero inoxidable, en baños ácidos para eliminar la capa de óxidos que se forma en la superficie tras los tratamientos térmicos) se descarga anualmente en Europa una gran cantidad de efluentes procedentes de los líquidos de lavaje (Frias y Pérez, 1998). Dichos efluentes representan un grave problema para el medio ambiente, ya que este tipo de residuos contiene nitratos, fluoruros, ácidos y metales pesados (Singhal et al., 2006; Vijay y Sihorwala, 2003). Además, los trabajadores de las plantas de tratamiento de estos residuos están expuestos a materiales radioactivos (Donzella et al., 2007). En nuestro estudio observamos un incremento estadísticamente significativo en el riesgo general de muerte por todos los tipos de cánceres (hombres) en las proximidades de dichas instalaciones, y esto se aplica especialmente en el caso de los tumores malignos en el estómago (población total), en el colon o el recto (los hombres), en el hígado (las mujeres) y los ovarios, y casi estadísticamente significativos en el caso de los tumores en el pulmón y la pleura (hombres).

## **5. Conclusión**

Los resultados de nuestro estudio confirman la hipótesis de un riesgo estadísticamente significativo más elevado de morir de todos los tipos de cánceres, tanto en los hombres como en las mujeres que residen en municipios situados cerca de incineradoras y plantas de tratamiento de residuos peligrosos y, concretamente, un mayor exceso de riesgo de padecer tumores en el estómago, el hígado, la pleura, los riñones y los ovarios. Además, este es uno de los primeros estudios en los que se analiza el riesgo de muerte por cáncer asociado a actividades industriales específicas en este sector a nivel nacional. También es uno de los primeros en los que se destaca el exceso de riesgo observado en las proximidades de incineradoras e instalaciones para el reciclaje de chatarra y vehículos para desguace, la regeneración de líquidos de lavaje y el tratamiento de aceites usados y residuos aceitosos.

## **Reconocimiento**

El presente estudio ha sido financiado por el Fondo de Investigación Sanitaria de España (FIS 080662 y FIS CP11/0012) y por ISCIII EPY 1398/09 y forma parte del proyecto MEDEA (Mortalidad en áreas pequeñas españolas y desigualdades socioeconómicas y ambientales).

## **Apéndice A. Datos suplementarios**

Pueden consultarse en línea datos suplementarios de este artículo en la dirección <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2012.10.003>.