



# SALUD Y RESIDUOS

*Residuos “no peligrosos”:*

*Evidencia sobre los efectos en salud y retos para su mejor caracterización*



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE SANIDAD

---

La totalidad o parte de esta publicación puede reproducirse sin permiso adicional, siempre que se mencione la fuente.

Ni el Ministerio de Sanidad ni los autores son responsables del uso que pueda hacerse del contenido de esta publicación, o por cualquier error que, a pesar de una cuidadosa preparación y verificación, pueda aparecer.

© MINISTERIO DE SANIDAD

Secretaría General Técnica

Centro de Publicaciones

Paseo del Prado, 18, 28014 Madrid

NIPO: 133-22-111-X

<https://cpage.mpr.gob.es>

---

## **Directora General de Salud Pública**

Pilar Aparicio Azcárraga.

## **Subdirectora General de Sanidad Ambiental y Salud Laboral**

Covadonga Caballo Diéguez.

## **Coordinación**

Piedad Martín Olmedo. Profesora experta en Protección de la Salud, Escuela Andaluza de Salud Pública (Granada). Investigadora del IBs. Granada, y presidenta de la sección de Evaluación de Impacto en Salud de la European Public Health Association (EUPHA).

## **Autores**

Andrea Pastor Muñoz. TRAGSATEC. Ministerio de Sanidad.

Piedad Martín Olmedo. Profesora experta en Protección de la Salud, Escuela Andaluza de Salud Pública (Granada). Investigadora del IBs. Granada, y presidenta de la sección de Evaluación de Impacto en Salud de la European Public Health Association (EUPHA).

David A. Cáceres Monllor. Ministerio de Sanidad.

Gonzalo Alejandro Martínez Thomas. Ministerio de Sanidad.

Santiago González Muñoz. Ministerio de Sanidad.

## **Revisores**

Agradecemos la colaboración de la Subdirección General de Economía Circular del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico y, especialmente, a Ines Iribarren por su colaboración en la revisión de este documento.

---

*“La eliminación de los desechos de una ciudad  
grande es quizá una de las operaciones  
sociales más importantes”  
(Henry Mayhew)*

---

## GLOSARIO DE ACRÓNIMOS

|       |  |
|-------|--|
| AEE   | Aparatos Eléctricos y electrónicos                       |
| BPA   | Bisfenol A   |
| CAT   | Centros Autorizados de Tratamiento                       |
| CFC   | Clorofluorocarbonos                                      |
| DCC   | Defecto Congénito de Corazón                             |
| DMR   | Directiva Marco de Residuos                              |
| EE    | Estudios Epidemiológicos                                 |
| EEA   | Agencia Europea de Medio Ambiente                        |
| EIS   | Evaluación de Impacto en Salud                           |
| FAO   | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación |
| FVC   | Capacidad Vital Forzada                                  |
| GEI   | Gases de Efecto Invernadero                              |
| HC    | Hidrocarburos  |
| HCFC  | Hidroclorofluorocarbonos                                 |
| HFC   | Hidrofluorocarbonos                                      |
| HPA   | Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos                    |
| IMC   | Índice de Masa Corporal                                  |
| MTP   | Mejoras Técnicas Posibles                                |
| NBNA  | Comportamiento neurológico neonatal                      |
| NFU   | Neumáticos Fuera de Uso                                  |
| OMS   | Organización Mundial de la Salud                         |
| PBDE  | Polibromodifenil éteres                                  |
| PCB   | Policlorobifenilos                                       |
| PCDD  | Policloro dibenzodioxinas                                |
| PCDF  | Policloro dibenzofuranos                                 |
| PEMAR | Programa Estatal de Prevención de Residuos               |
| RAEE  | Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos           |
| RAP   | Responsabilidad Ampliada a Productor                     |

---

|         |  |
|---------|--|
| RCD     | Residuos de Construcción y Demolición                  |
| RM      | Residuos Municipales                                   |
| SANDACH | Subproducto de Animales No Destinados A Consumo Humano |
| SIGRE   | Sistema Integrado de Gestión y Recogida de Envases     |
| TDAH    | Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad     |
| TSH     | Hormona Estimulante de la tiroides                     |
| UE      | Unión Europea  |
| VFVU    | Vehículos al Final de su Vida Útil                     |

---

## RESUMEN EJECUTIVO

La elaboración de este trabajo responde a la necesidad de divulgar y dar a reconocer los posibles impactos en la salud de la población general relacionados con la generación y gestión de residuos no peligrosos. Este documento responde al desarrollo de uno de los objetivos de actuación planteados en el Plan Estratégico de Salud y Medioambiente (2022-2026).

Tradicionalmente, los posibles impactos relacionados con los residuos se han abordado desde las siguientes perspectivas: 1) el impacto ambiental y en salud de los “residuos peligrosos” catalogados así según lo estipulado en el Anexo III de la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados; 2) los impactos sobre el medioambiente; 3) los impactos sobre la salud ocupacional. Los pocos estudios focalizados en la población general se han realizado mayoritariamente sobre los procesos de gestión de los residuos, fundamentalmente vertederos e incineradoras. Este trabajo busca analizar la evidencia científica relativa a posibles efectos en salud en población general de distintas fracciones de residuos, no consideradas, según la normativa vigente, como residuos peligrosos.

Por otro lado, la Ley 33/2011, de 4 de octubre, General de Salud Pública en su artículo 35 determina que “la evaluación de impacto en salud (EIS) deberá prever los efectos directos e indirectos de las políticas sanitarias y no sanitarias sobre la salud de la población y las desigualdades sociales en salud con el objetivo de la mejora de las actuaciones”. Sin embargo, la EIS se ha encontrado con numerosos retos a la hora de ser implementada. Uno de los elementos claves para avanzar en la EIS, se centra en cómo cuantificar y caracterizar los posibles impactos en la salud, y es en este campo donde esta monografía trata de incidir de manera más directa. En concreto, este documento se centra en la revisión de la evidencia científica de los efectos adversos relacionados con la exposición a sustancias peligrosas presentes en las distintas fracciones de residuos generados en entornos urbanos, al tiempo que se identifican y sugieren estrategias, programas y acciones que puedan ayudar en un futuro a mejorar esta caracterización.

---

Por último, gran parte de la población considera la exposición a residuos en el entorno urbano como inocua. Sin embargo, la presencia, transformaciones e introducción de nuevos elementos en el ambiente tiene efectos perjudiciales no solo desde el punto de vista ambiental sino desde la perspectiva de impactos sobre la salud humana. Este documento pretende acercar a la población general los problemas de gestión y tratamiento de los residuos generados en casa, ayudando a priorizar la reducción de su generación y una adecuada segregación de los mismos.

### Introducción al problema

La producción de residuos se encuentra estrechamente relacionada con el desarrollo económico de un área; es por ello que, dentro de un contexto europeo y español, la generación de éstos se ha visto incrementada como resultado del desarrollo industrial.

Según los datos recogidos por Eurostat, en 2018 la generación de residuos en la Unión Europea se incrementó un 3,5% con respecto a los residuos generados durante el año 2016. En España, en el mismo periodo este incremento fue del 6,9%. De estos residuos únicamente el 2,3% se clasificó como “residuo peligroso”. La gestión mayoritaria de estos residuos en España sigue siendo el depósito en vertedero, evidenciando la necesidad de reforzar y mejorar las medidas de prevención y las opciones de tratamiento prioritarias en la jerarquía de residuos. Una gestión poco sostenible de los residuos genera diferentes impactos tanto en el medio ambiente como en la salud humana.

La mayoría de los estudios que abordan los impactos de los residuos en salud humana se han centrado en los efectos que tienen ciertas instalaciones de gestión de residuos como los vertederos y las incineradoras. Sin embargo, existe la necesidad de conocer mejor los efectos de los diferentes flujos y fracciones de residuos sobre la salud humana. Esta tarea es complicada debido a la cantidad de variables concomitantes o factores contextuales que dificultan su caracterización. Además, cada residuo puede dar lugar a más de un efecto en salud, y algunos de dichos efectos se relacionan con múltiples causas (lo que se llama el efecto cóctel). Por último, las concentraciones y las

---

variaciones temporales de dichas exposiciones son muy dispares y dependen sobre todo de condiciones como la composición del suelo, orografía, climatología, etc. (9).

El objetivo de este trabajo es proporcionar una revisión sobre los impactos que los residuos catalogados como no peligrosos tienen sobre la salud humana conforme al marco normativo actual. Este trabajo permite la identificación de los retos y acciones dirigidas a caracterizar mejor la exposición humana a sustancias presentes en las distintas fracciones de residuos en entornos urbanos, con la finalidad de reducirla y así minimizar el riesgo para la salud.

### Metodología aplicada

Para el desarrollo de este trabajo se llevó a cabo una búsqueda exhaustiva de artículos en PubMed y Web of Science en la que se definieron criterios de exclusión que facilitarían la selección de los artículos más relevantes conforme a nuestro objetivo. Los criterios de exclusión establecidos incluían estudios: I) centrados en los efectos en salud por exposición a aguas residuales contaminadas por distintas fracciones de residuo; II) que abordaran aspectos que tienen que ver con la gestión o la remediación de suelos contaminados por residuos; III) que evaluaran los efectos de los procesos de fabricación del producto que se convertirá en residuo; IV) que sólo desarrollaran los impactos ambientales derivados de la exposición a residuos; V) que consideraran exposición ocupacional y; V) que estuvieran escritos en idioma diferente al español o el inglés.

Las diferentes búsquedas realizadas dieron como resultado un total de 761 artículos relacionados con los temas de interés. Tras la aplicación de los criterios de exclusión el número total de artículos revisados fue de 210.

### Resultados obtenidos

La revisión llevada a cabo ha permitido por un lado la identificación de distintas fracciones de residuos, y por otra la caracterización de los efectos en salud asociados con algunas de dichas fracciones (no todas). Las fracciones de residuo más importantes sobre la que empieza a existir evidencia científica son: biorresiduos, papel y cartón, vidrio, residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, pilas y baterías, textil y calzado,

---

medicamentos, residuos sanitarios, aceites de cocina usados, envases, neumáticos fuera de uso, vehículos al final de su vida útil, residuos de construcción y demolición, aceites industriales y residuos mineros. Cada una de estas fracciones fue descrita en función de su potencial tóxico y de las principales vías de exposición con las que se relacionan.

No se pudo identificar evidencia epidemiológica sobre efectos en salud relacionados con todos los flujos y fracciones de residuos descritos en primer término. En este sentido se recabó información sobre impacto en la salud de la población general de los siguientes elementos: residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, neumáticos fuera de uso, plásticos y microplásticos y sobre los tratamientos de gestión de residuos municipales, más concretamente vertederos, incineradoras e instalaciones de compostaje. Cada una de estas fracciones se relacionó con los sistemas del cuerpo humano sobre los que impactan, las alteraciones producidas y las principales enfermedades a las que se asocian.

### Principales conclusiones

Como resultado del trabajo realizado se identificaron tres grandes retos principales:

1. Mejorar la caracterización de la exposición humana a las distintas fracciones de residuos, mediante la aplicación de metodologías complementarias, para de este modo poder obtener una mejor inferencia entre exposición y efectos en salud.
2. Llevar a cabo abordajes de caracterización de la exposición integrales donde se tengan en cuenta todas las posibles rutas de exposición que pudieran estar afectando a una población dada.
3. Mejorar la recogida de información sobre efectos en salud, más específicamente los relacionados potencialmente con sustancias peligrosas presentes en las distintas fracciones de residuos (ej. registros de malformaciones congénitas, registros de cáncer, etc.).

A su vez, se identificaron diferentes agentes cuya colaboración y trabajo serían necesarias para la resolución de estos retos. Estos agentes son: la ciudadanía, las empresas, personal sanitario e investigadores del ámbito ambiental y de salud pública, preferentemente en la conformación de equipos multidisciplinares. Para cada uno de ellos se proponen acciones potenciales que podrían aportar luz y determinar nuevas vías para la resolución de problemas de salud relacionados con los residuos. La

---

cooperación entre todas las partes interesadas podría permitir el diseño de políticas e intervenciones que reduzcan la exposición a residuos en el entorno urbano e incrementen la sensibilización de la población expuesta, aumentando así su compromiso.

## Contenido

|  |           |
|--|-----------|
| <b>CAPÍTULO 1: Introducción al problema y objetivos.....</b>                   | <b>13</b> |
| 1. Introducción .....  | 14        |
| 1.1 Objetivos y criterios de exclusión .....                                   | 16        |
| <b>CAPÍTULO 2: Marco normativo .....</b>                                       | <b>18</b> |
| 1. Marco normativo y de gestión de los residuos .....                          | 19        |
| A. Marco Europeo .....   | 19        |
| B. Marco Estatal.....  | 20        |
| <b>CAPÍTULO 3: Principales fracciones de residuos y potencial tóxico .....</b> | <b>22</b> |
| 1. Principales flujos y fracciones de residuo y potencial tóxico.....          | 23        |
| BIORRESIDUOS .....   | 24        |
| PAPEL Y CARTÓN .....   | 26        |
| VIDRIO.....  | 27        |
| RESIDUOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS (RAEE) .....                    | 28        |
| PILAS Y BATERÍAS .....   | 30        |
| MEDICAMENTOS .....   | 32        |
| RESIDUOS SANITARIOS .....  | 34        |
| ACEITES DE COCINA USADOS .....   | 36        |
| ENVASES.....   | 37        |
| NEUMÁTICOS FUERA DE USO (NFU).....   | 38        |
| VEHÍCULOS AL FINAL DE SU VIDA ÚTIL (VfVU) .....                                | 40        |
| RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD) .....                              | 41        |
| ACEITES INDUSTRIALES .....   | 42        |
| RESIDUOS MINEROS .....   | 43        |
| RESIDUOS DOMÉSTICOS Y RESIDUOS MUNICIPALES (RM) .....                          | 45        |
| <b>CAPÍTULO 4: Principales efectos en salud.....</b>                           | <b>48</b> |
| 1. Principales efectos en salud .....  | 49        |
| EFFECTOS EN SALUD DE LOS RAEE, PILAS Y BATERÍAS.....                           | 53        |
| <i>Efectos sobre sistema endocrino</i> .....                                   | 53        |
| <i>Efectos sobre sistema nervioso</i> .....                                    | 54        |

|  |           |
|--|-----------|
| <i>Efectos sobre el sistema reproductivo</i> .....               | 54        |
| <i>Efectos sobre el sistema respiratorio</i> .....               | 55        |
| <i>Mutaciones genéticas</i> .....                                | 55        |
| <i>Efectos en el desarrollo fetal y Neonatal</i> .....           | 56        |
| <b>EFFECTOS EN SALUD DE LOS NFU</b> .....                        | <b>58</b> |
| <i>Efectos sobre sistema respiratorio</i> .....                  | 58        |
| <i>Efectos sobre enfermedades de transmisión vectorial</i> ..... | 58        |
| <b>EFFECTOS EN SALUD DE PLÁSTICOS Y MICROPLÁSTICOS</b> .....     | <b>60</b> |
| <i>Efectos sobre sistema endocrino</i> .....                     | 61        |
| <i>Efectos sobre sistema cardiovascular</i> .....                | 61        |
| <i>Efectos sobre sistema reproductivo</i> .....                  | 61        |
| <i>Efectos sobre sistema digestivo</i> .....                     | 62        |
| <i>Efectos sobre sistema respiratorio</i> .....                  | 62        |
| <i>Efectos en el desarrollo fetal y Neonatal</i> .....           | 63        |
| <b>EFFECTOS EN SALUD DE LOS RCD</b> .....                        | <b>64</b> |
| <i>Efectos sobre sistema respiratorio</i> .....                  | 64        |
| <i>Efectos sobre sistema cardiovascular</i> .....                | 65        |
| <i>Efectos sobre sistema digestivo y reproductivo</i> .....      | 65        |
| <b>EFFECTOS EN SALUD DE LOS RM</b> .....                         | <b>67</b> |
| <b>INCINERADORAS</b> .....                                       | <b>67</b> |
| <i>Efectos sobre sistema respiratorio y digestivo</i> .....      | 68        |
| <i>Efectos sobre sistema linfático</i> .....                     | 68        |
| <i>Efectos en el desarrollo fetal y Neonatal</i> .....           | 68        |
| <i>Efectos sobre la piel</i> .....                               | 70        |
| <b>VERTEDEROS</b> .....  | <b>71</b> |
| <i>Efectos sobre sistema cardiovascular</i> .....                | 71        |
| <i>Efectos sobre sistema digestivo, inmune y linfático</i> ..... | 71        |
| <i>Efectos sobre sistema respiratorio</i> .....                  | 72        |
| <i>Efectos sobre desarrollo fetal y neonatal</i> .....           | 72        |
| <b>INSTALACIONES DE COMPOSTAJE</b> .....                         | <b>73</b> |

---

|  |            |
|--|------------|
| <b>CAPÍTULO 5: Conclusiones y futuros pasos .....</b>                    | <b>74</b>  |
| <b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>   | <b>81</b>  |
| <b>ANEXO I: Composición principal de las fracciones de residuo .....</b> | <b>97</b>  |
| <b>ANEXO II: Autores de las fotografías.....</b>                         | <b>103</b> |

# CAPÍTULO 1: Introducción al problema y objetivos



# CAPÍTULO I

## 1. Introducción

Se entiende por residuo “cualquier sustancia u objeto que su poseedor deseche o tenga la intención o la obligación de desechar” (1,2). Su producción se encuentra estrechamente relacionada con el desarrollo económico de un área (ciudad, municipio, país, etc.). Dentro del contexto europeo y español la producción de residuos se ha visto incrementada en los últimos años como resultado del desarrollo económico e industrial (3).

Los procesos de producción industrial se componen de etapas de ciclo de vida que van desde la extracción de la materia prima necesaria para la fabricación hasta el fin de vida de la sustancia u objeto. Ese fin puede comprender una nueva reutilización mediante el reciclaje, su depósito final en vertedero o incineradora o la reintroducción al proceso de producción como subproducto o su desclasificación como residuo de acuerdo a la definición de fin de la condición de residuo contemplado en la Ley de Residuos y Suelos Contaminados. Cada etapa del ciclo de vida genera residuos. Por ello, la modificación de estas etapas mediante la incorporación de nuevos productos, procesos innovadores de fabricación y/o mejora de tecnologías puede tener efectos significativos en la generación de residuos.

Según los datos recogidos por Eurostat, en 2018 en la Unión Europea se generaron 5.234 Kg de residuos por habitante, un 3,50% más que los generados durante el año 2016 (3). En España, en el mismo periodo se generaron 2.945 Kg de residuo por habitante, suponiendo un incremento del 6,9% con respecto al año

2016. De estos residuos únicamente el 2,3% ha sido considerado residuo peligroso entendido como “residuo que presenta una o varias de las características de peligrosidad enumeradas en el anexo I de la Ley 7/2022, y aquél que pueda aprobar el Gobierno de conformidad con lo establecido en la normativa europea o en los convenios internacionales de los que España sea parte, así como los recipientes y envases que los hayan contenido”(2).

***Un residuo es cualquier sustancia u objeto que su poseedor deseche o tenga la intención u obligación de desechar***

Las actividades que más contribuyen a la generación de residuos en España son la construcción, la minería y el sector servicios, representando más del 60% del total generado (3,4). Por otro lado, los residuos domésticos, entendidos como residuos generados en los hogares, supusieron un 16,5% (5-7). Éstos, aunque no sean tan significativos como los generados por los sectores de construcción, minería y sector servicios, presentan una naturaleza muy heterogénea, pudiendo generar impactos ambientales y de salud significativos. Es por ello que los principales esfuerzos de las políticas comunitarias y estatales se centran en la separación por fracciones de residuo que faciliten después su caracterización, trazabilidad y tratamiento para

disminuir los impactos que éstos puedan generar. Hasta ahora estas estrategias han conseguido que la generación de residuos no minerales se reduzca un 14% desde 2006 (3,6).

Sin embargo, la gestión mayoritaria de los residuos municipales en España sigue realizándose mediante depósito en vertedero. Las toneladas per cápita de residuos que acaban reciclándose en España han venido incrementándose de forma constante aunque limitada en los últimos años, siendo del 29,8% en 2013, del 33,9% en 2016 y del 38% en 2019 (5). Según los datos publicados por Ecoembes en el año 2019, el uso del contenedor amarillo y el azul ha aumentado en los últimos años, considerando esta práctica consolidada entre la sociedad para este tipo de fracciones (8).

Una gestión deficiente de los residuos genera diferentes impactos tanto en el medio ambiente como en la salud humana (9). Así por ejemplo en el caso de los biorresiduos la opción de gestión más frecuentemente usada en los últimos años (el depósito en vertederos) supone una fuente difusa de emisión de gases de efecto invernadero (GEI) tales como el dióxido de carbono, el metano o diferentes óxidos de nitrógeno. Estas emisiones suponen un 4% de las emisiones totales de GEI (5,10,11).

Los residuos también se han asociado con el deterioro de las aguas continentales y la conservación del medio ambiente marino. Globalmente, de 4,8 a 12,7 millones de toneladas de plásticos (entre el 1,5 y el 4% de la producción mundial de plásticos) terminan en los océanos cada año, afectando a peces, aves, tortugas y cetáceos, muchos de ellos en peligro de extinción, aspecto que ha generado una creciente preocupación pública (12). A nivel de la Unión Europea (UE) se estima que esta cifra oscila entre 150.000 toneladas y

500.000 toneladas anuales (13). En cuanto a la acumulación de residuos abandonados en ecosistemas terrestres los impactos sobre el medio ambiente se relacionan directamente con la liberación de sustancias tóxicas y la persistencia del plástico (12,14-16), con los consiguientes efectos adversos sobre la microbiota del suelo y los ecosistemas naturales.

Esta complejidad ha motivado que la evaluación de los posibles impactos de los residuos sobre la salud, así como el diseño de medidas para la vigilancia o control de tales impactos no siempre haya sido un proceso fácil de llevar a cabo. La mayoría de los estudios que abordan los impactos de los residuos en la salud humana se han centrado en los efectos que tienen ciertas instalaciones de gestión de residuos como los vertederos y las incineradoras (9,14,17,18). Sin embargo, los efectos específicos de cada una de las fracciones de residuos sobre la salud humana no se han descrito de manera exhaustiva debido a la gran cantidad de variables concomitantes tales como la falta de segregación de residuos, la exposición a peligros múltiples por diversas vías de exposición, la concurrencia de factores de índole individual (ej. hábito tabáquico), o factores socioeconómicos que dificultan su caracterización. Además, cada residuo puede dar lugar a más de un efecto en salud, y algunos de dichos efectos se relacionan con múltiples causas (lo que se llama el efecto cóctel). Por último, las concentraciones y las variaciones temporales de dichas exposiciones son muy dispares y dependen sobre todo de condiciones como la composición del suelo, orografía, climatología, etc. (9).

## 1.1 Objetivos y criterios de exclusión

El objetivo principal de este trabajo es **proporcionar una revisión no sistemática de la evidencia científica actual sobre los impactos que los residuos no peligrosos tienen sobre la salud humana**. Con ello se pretende identificar las principales fracciones de residuos que, aun no habiendo sido catalogadas como peligrosas, pueden suponer un riesgo para la salud

humana, ayudando de este modo a definir un plan de acción de cara a futuras intervenciones y políticas.

Para conseguir este objetivo se proponen diferentes objetivos secundarios:



Para el correcto desarrollo de estos objetivos se ha llevado a cabo una búsqueda exhaustiva (no sistemática) en las bases de datos de PubMed y Web Of Science, definiéndose una serie de criterios de exclusión para facilitar la selección de los estudios más pertinentes en relación a nuestro objetivo. Estos criterios excluyeron los siguientes estudios:

- Estudios cuyo objetivo era la evaluación de residuos peligrosos.
- Centrados en los efectos en salud por exposición a aguas residuales contaminadas por distintas fracciones de residuo.
- Que abordaran aspectos que tienen que ver con la gestión o la remediación de espacios contaminados por residuos.
- Que evaluaran los efectos de los procesos de fabricación del producto que se convertirá en residuo.
- Que sólo desarrollaran los impactos ambientales derivados de la exposición a residuos.
- Que consideraran únicamente la exposición ocupacional.
- Estudios escritos en idioma diferente al español o el inglés.

No se impusieron criterios en lo que respecta a la fecha de publicación ya que en muchas fracciones el número de estudios relacionado era limitado.

Tras las diferentes búsquedas realizadas, se encontraron un total de 761 artículos

relacionados con los residuos, su composición y su potencial impacto a la salud pública. Tras la aplicación de los criterios de exclusión definidos, 210 fueron incluidos en este trabajo.

Además se han revisado documentos legislativos, y bases de datos nacionales y europeas (EURLEX, Comisión Europea-Medio Ambiente, MITECO y EUROSTAT) para recabar información sobre generación de residuos.

Para la caracterización de propiedades toxicológicas, efectos en salud y rutas de

exposición de población general de sustancias peligrosas presentes en algunas de las fracciones de residuos analizadas, se ha recurrido a bases de datos de referencia como son los perfiles toxicológicos de Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades de los Estados Unidos (ATSDR), las monografías de la Agencia Internacional de Investigación contra el Cáncer (IARC), o la base de datos International Peer Reviewed Chemical Safety Information (INCHEM).



## CAPÍTULO 2: Marco normativo



# CAPÍTULO II

## 1. Marco normativo y de gestión de los residuos

Los esfuerzos en la regulación de la gestión de los residuos para minimizar sus posibles impactos en el medio ambiente y la salud humana han sido constantes en los últimos años. Estos esfuerzos se han llevado a cabo a distintas escalas legislativas.

### A. Marco Europeo

La primera política en la que se aborda el problema de la gestión de residuos data del año 1975 con la primera directiva comunitaria (14). Ésta se orientó hacia un objetivo último: la necesaria protección del medio ambiente y de la salud humana durante la generación y gestión de los residuos.

En 2008, se aprobó la **Directiva Marco de Residuos** (DMR) (1). Esta directiva obliga a los Estados Miembros a establecer planes y políticas concretas de gestión de residuos, priorizándose la minimización en la generación de residuos, así como la prevención de posibles impactos asociados tanto en el medio ambiente como en la salud humana. Para conseguir este fin se define una jerarquía de las distintas opciones existentes para la gestión de residuos, dando prioridad a la prevención en la generación, seguida de la preparación para la reutilización o el reciclado.

Para reforzar estas actividades se incorpora la definición de subproducto y el procedimiento de “fin de la condición de residuo” con los que los residuos se reintroducen más fácilmente al proceso productivo al ser considerados productos y por tanto sin estar sujetos a la

normativa de residuos reduciendo el consumo de materias primas. Las últimas opciones en la jerarquía de la gestión de residuos son la valorización distinta del reciclado y la eliminación.

Además de este marco, se han desarrollado diferentes iniciativas legislativas específicas sobre flujos de residuos que siguen teniendo esos mismos objetivos. Para instaurar un marco en el que se priorice la prevención en la generación de residuos, la UE propuso en 2011 la “**Hoja de ruta hacia una Europa Eficiente en el uso de los recursos**” (19) que recoge los objetivos y los medios para transformar la economía actual, en un modelo que garantice un uso más eficiente de los recursos, que genere menos residuos y utilice como fuente, siempre que sea posible, aquellos residuos que no pueden ser evitados. En definitiva, se trata de sustituir una economía lineal basada en producir, consumir y tirar, por una economía circular en la que se reincorporen al proceso productivo una y otra vez los materiales que contienen los residuos para la producción de nuevos productos o materias primas.

Además, la Comisión Europea presentó en diciembre de 2015 un **Paquete sobre Economía Circular** con varias propuestas normativas. La modificación de las diferentes directivas de residuos DMR (20), envases (21), Vehículos al Final de su Vida Útil, pilas y baterías, y Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (22) y depósito de residuos en vertederos (23), que tienen como objetivo disminuir el uso de vertederos como opción para la gestión de los residuos, imponer objetivos de reducción de

generación de residuos, aumentar la preparación para la reutilización y el reciclado, mejorar la trazabilidad de los residuos durante su gestión, así como una regulación marco más exhaustiva en lo referente a la responsabilidad ampliada a productor. Posteriormente, la publicación de la Directiva 2019/904 sobre plásticos de un solo uso (24) que prohíbe la utilización de una serie de productos de plástico de un solo uso, entre otros, tiene como objeto reducir los impactos al medio ambiente ocasionados por ese tipo de productos.

## B. Marco Estatal

La trasposición de la DMR quedó plasmada en España en la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados (25). En este marco legislativo, vigente hasta marzo de 2022, se establecieron los objetivos de prevención de la generación de residuos y objetos de preparación para la reutilización y el reciclado de residuos municipales. Además, se estableció un marco por el que se regulaban las actividades de producción y gestión de las diferentes fracciones de residuo. Esta Ley propuso por primera vez un marco legal para aplicar la Responsabilidad Ampliada del Productor (RAP) y la posibilidad de implantar un sistema de depósito, devolución y retorno de envases. En el marco de esta Ley se ha desarrollado una legislación paralela de diversas fracciones de residuos para regular de manera exhaustiva los procedimientos de gestión y, en algunos casos, RAP. Esto ha permitido mejorar la eficacia de la gestión de los residuos reduciendo los impactos en el medio ambiente y la salud humana.

A partir de las directrices propuestas para la mejor implantación de la economía circular se

han desarrollado diferentes propuestas legislativas. Un ejemplo de ello es el Real Decreto 293/2018 (26) que tiene por objetivo la reducción del consumo de bolsas de plástico evitando la pérdida de materiales y los impactos debidos al abandono del plástico en el medio ambiente. Esta normativa propone objetivos de uso de plástico reciclado en la fabricación de bolsas y la desincentivación de su uso.

Por otro lado, el Real Decreto 553/2020 (27) por el que se regula el traslado de residuos en el interior del territorio del Estado garantiza la trazabilidad de los traslados de residuos así como que los residuos se destinen a los tratamientos adecuados.

Recientemente se ha aprobado el Real Decreto 646/2020 (28) por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero, el cual traspone la Directiva (UE) 2018/850 (23). Esta normativa obliga al tratamiento de los residuos previo a su depósito a vertedero, incluidos los residuos municipales. Además, prohíbe el vertido de residuos líquidos, explosivos, comburentes, inflamables, corrosivos, infecciosos, neumáticos usados, residuos aptos para la reutilización y el reciclado, residuos diluidos o mezclados.

Para el depósito de los residuos en vertedero se distinguen entre tres clases de vertederos:

- 1) Vertedero de residuos peligrosos**
- 2) Vertederos de residuos no peligrosos**
- 3) Vertederos para residuos inertes**

Uno de los planes desarrollados a partir del marco legislativo definido en la Ley 22/2011 ha sido el Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos (PEMAR) (5). Este plan desarrolla las

orientaciones, los objetivos y medidas relativas a los distintos flujos de residuos en el periodo entre 2016 y 2022.

Para los residuos municipales plantea **7 objetivos** principales:

- 1) Alcanzar el 50% de preparación para la reutilización y reciclado para el 2020
- 2) Limitar de manera gradual el uso de material bioestabilizado en agricultura y destinarlo a la restauración de vertederos y recuperación de taludes e incrementar su valorización energética en instalaciones de incineración y coincineración.
- 3) Limitar la valorización energética a los rechazos de las instalaciones de tratamiento y a materiales no reciclables
- 4) Incrementar la valorización energética del material bioestabilizado generado en instalaciones de incineración y coincineración
- 5) Cumplir con el objetivo de reducción del vertido de residuos biodegradables en 1,5 millones de toneladas
- 6) No depositar residuos municipales sin tratar en vertederos
- 7) Limitar el vertido total de residuos municipales generados al 35% en 2020

Otro aspecto importante dentro de las diferentes intervenciones realizadas para garantizar la adaptación a la economía circular es la Estrategia Española de Economía Circular (29). Esta estrategia pone en valor los materiales y los recursos necesarios para mantener la producción y el consumo evitando o reduciendo al máximo la generación de residuos, estableciendo 10 objetivos cuantitativos a alcanzar para el año 2030. Para ello, propone el desarrollo de diferentes planes

trianuales en los que se incorporen ajustes necesarios para culminar la transición en 2030 a una economía más sostenible. Dichos ajustes incluyen la adaptación de políticas económicas, de fiscalidad, empleo, I+D+i, de consumo, industriales, del agua, agraria y de desarrollo de áreas rurales.

La aprobación de las Directivas (UE) 2018/851 y la Directiva (UE) 2019/904, ha llevado a una modificación del marco regulador a nivel estatal, que se ha visto reflejado en la reciente aprobación de la Ley 7/2022 de 8 de abril de residuos y suelos contaminados para una economía circular (2). Esta normativa mantiene los elementos claves ya existentes, pero enfatiza la obligatoriedad de una mayor segregación en origen de las distintas fracciones de residuos. En especial se obliga a una separación de los biorresiduos para su tratamiento en instalaciones de compostaje y digestión anaerobia, reduciendo así la emisión de GEI. Otras fracciones para las que se introduce la obligación de implantar la recogida separada es fracción textil y los residuos domésticos peligrosos, los aceites de cocina usados y los residuos voluminosos. Además, la Ley introduce una infracción relativa al abandono de residuos en la vía pública.

Por otra parte, esta misma iniciativa legislativa incluye medidas para el control de los “plásticos de un solo uso” así como grandes esfuerzos en cuanto al índice de reparabilidad para la promoción del consumo responsable de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos para reducir su generación.





# BIORRESIDUOS

Son residuos biodegradables de jardines y parques, residuos alimentarios y de cocina procedentes de hogares, oficinas, restaurantes, mayoristas, comedores, servicios de restauración colectiva y establecimientos de consumo al por menor, y residuos comparables procedentes de plantas de transformación de alimentos. El principal origen de esta fracción son los llamados “residuos municipales” (definición no recogida como tal hasta el momento de la entrada en vigor de la Ley 7/2022) (2,25). Es una fracción con características muy singulares ya que no es una fracción uniforme en origen, tipología o composición. Es de naturaleza muy inestable, por su alto contenido en agua y materia orgánica, presentando una densidad bastante elevada, lo que hace que ocupe poco, pero pese mucho.

Sus efectos tóxicos dependen de su composición heterogénea, lo cual dificulta su evaluación. Al ser altamente biodegradables,

los impactos asociados a su almacenamiento y gestión están íntimamente relacionados con la digestión aerobia y anaerobia de estos residuos, las cuales, llevan aparejada la emisión a la atmósfera de diferentes GEI (como es el caso del metano) o de un olor desagradable (amoníaco o sulfuro de hidrógeno) (10,11,30), afectando al bienestar de la población residente en las proximidades de estas instalaciones.

- ✓ Es la fracción más voluminosa, de composición no uniforme y naturaleza inestable.
- ✓ Relacionado con la emisión de Gases de Efecto Invernadero, tienen un papel determinante dentro del cambio climático.
- ✓ Generan una falta de salubridad que condiciona el bienestar y la salud humana.





**Biodegradable**



**Compostable**



**Recyclable**

Asimismo, la presencia y mala gestión de esta fracción de residuos se ha relacionado con problemas de salubridad debido al potencial crecimiento de microorganismos y la falta de higiene. Este crecimiento puede resultar en un incremento de la presencia de patógenos en el ambiente y un riesgo directo para la salud humana. Además, podrían llegar a generar un aumento de resistencia a antimicrobianos por la coexistencia de estos patógenos en el medio ambiente con principios activos de medicamentos eliminados junto con los biorresiduos (31). Una incorrecta gestión de biorresiduos contribuye a una percepción negativa de las condiciones sociodemográficas del entorno (32,33) y al aumento de la presencia de vectores de enfermedad como roedores (34). Además, hace que acaben depositados en vertederos e incineradoras comprometiendo las necesidades de espacio de estas instalaciones (5). Debido al papel que desempeñan en la lucha contra el cambio climático y los beneficios asociados a una correcta gestión de estos residuos que permite obtener enmiendas orgánicas e incluso energía mediante generación de biogás, el aumento de los niveles de recogida separada, la gestión diferenciada de estos residuos y el aumento de la sensibilización ciudadana hacia una mejor gestión se considera una prioridad a abordar en futuras políticas e intervenciones.

## PAPEL Y CARTÓN

El papel y el cartón están fabricados a partir de fibra de celulosa virgen obtenidas de especies vegetales o recuperadas a partir de papel y cartón usados. Existen 4 tipos: 1) papel y cartón para envases y embalajes; 2) papeles gráficos (de prensa, carpetas, etc.); 3) papeles higiénicos y sanitarios y 4) papeles especiales (filtro, decorativo, autoadhesivo) (25).



La diversidad de materiales empleados en la generación de esta fracción lo vincula con ciertos tipos de sustancias químicas con alta toxicidad intrínseca. Entre estos compuestos se han identificado diferentes tipos de fenoles, ftalatos, PCBs y algunos tipos de metales pesados (35) (Mirar Tabla 2 y 3, anexo 1). La población general puede llegar a quedar expuesta a estos compuestos a través de la mala gestión de estos residuos. Por otra parte, el proceso de fabricación de estos productos puede conllevar el vertido de aguas residuales con un alto potencial contaminante afectando a la calidad de aguas superficiales o subterráneas (36).

La fracción de papel y cartón se considera 100% reciclable, y, dados los potenciales efectos que pueden generar en el medio ambiente y la salud humana así como los asociados con los procesos de fabricación, se debe incentivar su reciclaje y plantearse como un objetivo prioritario de planes de gestión.

- ✓ Fracción totalmente reciclable
- ✓ Relacionado con compuestos como fenoles, ftalatos, policlorobifenilos y algunos tipos de metales pesados
- ✓ Los procesos de fabricación de papel y cartón se han relacionado con un mayor potencial tóxico que los residuos derivados, hasta la fecha



## VIDRIO

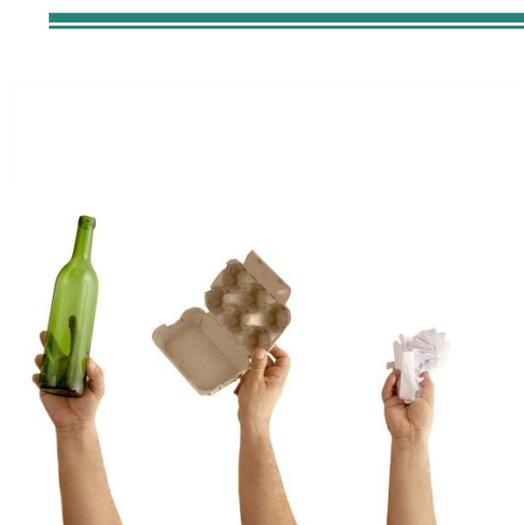
El término vidrio se utiliza normalmente en referencia a los vidrios de silicatos, sustancias que contienen una gran concentración de sílice ( $\text{SiO}_2$ ). Se basan en el enfriamiento de vidrio a partir del estado fundido. Se caracteriza por ser un material inorgánico duro, frágil, transparente y amorfo que se usa principalmente para la construcción de ventanas, lunas, botellas y otros envases así como una gran variedad de productos. Los vidrios se pueden clasificar en: 1) vidrio como envase no reutilizable; 2) vidrio como envase reutilizable; 3) vidrio no envase; 4) utensilios de vidrio para el hogar; 5) elementos de vidrio para la construcción y decoración (25).



- ✓ Fracción considerada habitualmente inerte
- ✓ Puede contener algunos compuestos metálicos como el bario, el cadmio, el plomo, el zinc o el arsénico en cantidades relativamente importantes

Aunque es una fracción considerada habitualmente inerte, varios estudios han relacionado la presencia de este tipo de residuos con concentraciones relativamente importantes de metales tóxicos en formas geoquímicas activas. Entre estos metales se encuentran el bario, el cadmio, el plomo, el zinc y el arsénico (37,38). Estos elementos están integrados en la matriz vítrea del vidrio durante su vida útil. Sin embargo, durante su etapa como residuo esta matriz se quiebra aumentando la disponibilidad de estos tóxicos en el ambiente (38,39).

Al igual que en el caso del papel, el proceso de fabricación de estos productos también genera impactos significativos en el medio ambiente (40). La discusión sobre estos impactos no es objeto de esta revisión. Sin embargo, se debe tener en cuenta a la hora de llegar a conclusiones en cuanto a la generación y gestión de residuos.



# RESIDUOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS (RAEE)

Los Aparatos Eléctricos y Electrónicos (AEE) son todos aquellos aparatos que para funcionar debidamente necesitan corriente eléctrica o campos electromagnéticos, y los aparatos necesarios para generar, transmitir y medir, esas corrientes eléctricas y campos electromagnéticos cuando su tensión nominal no es superior a 1.000 V en corriente alterna y 1.500 V en corriente continua (25).



La compleja composición y heterogeneidad de estos productos (muchas piezas, de numerosos materiales, circuitos, fluidos, etc.) obliga a clasificarlos en categorías. La clasificación recogida en el Real Decreto 110/2015 (41) es de gran importancia ya que facilita su posterior gestión. Desde el 15 de agosto de 2018 los AEE se dividen en:

Aparatos de intercambio de temperatura (frigoríficos, bombas de calor, etc)

- Aparato eléctrico de intercambio de temperatura clorofluorocarburos (CFC), hidroc fluorocarburos (HFCF), hidrocarburos (HC) o amoníaco (NH<sub>3</sub>).
- Aparato eléctrico de aire acondicionado.
- Aparato eléctrico con aceite en circuitos o condensadores.

Monitores, pantallas y aparatos con pantallas de superficie superior a los 100 cm<sup>2</sup>.

- Monitores y pantallas LED.
- Otros monitores y pantallas.

Lámparas.

- Lámparas de descarga (mercurio) y lámparas fluorescentes.
- Lámparas LED.

Grandes aparatos (dimensión exterior superior a 50 cm). Lavadoras, secadoras, lavavajillas, etc.

Pequeños aparatos (sin ninguna dimensión superior a 50 cm). Aspiradoras, máquinas de coser, aparatos de reproducción de sonido o imagen, etc.

Equipos de informática y telecomunicaciones pequeños. Teléfonos móviles, GPS, impresoras, etc.

Paneles fotovoltaicos grandes.

- 7.1-Paneles fotovoltaicos con silicio.
- 7.2-Paneles fotovoltaicos con telurio de cadmio.

Estos aparatos pueden contener sustancias peligrosas necesarias para su funcionamiento. Entre ellas destacan gases como los clorofluorocarbonos (CFC), los Hidroclorofluorocarbonos (HCFC), hidrofluorocarbonos (HFC), hidrocarburos (HC) y/o amoníaco ( $\text{NH}_3$ ).

También se han identificado contaminantes orgánicos persistentes como los ftalatos, fenoles, y metales pesados (Ej. cadmio, mercurio, plomo o arsénico) y un aumento en la concentración de dioxinas asociado a la combustión de RAEE, como por ejemplo, polibromodifenil éteres (PBDE's), policloro dibenzodioxinas (PCDDs) y policloro dibenzofuranos (PCDFs) utilizados esencialmente como retardantes de llama que limitan incendios o controlan su propagación. Estas sustancias son imprescindibles para garantizar la seguridad de los aparatos eléctricos y electrónicos. Estos tóxicos pueden entrar en contacto con el organismo por inhalación, ingestión o contacto dérmico, dependiendo de la naturaleza del tóxico (42,43).

- ✓ La Unión Europea los catalogó como un “problema emergente” dado el aumento exponencial de su generación
- ✓ Residuos con mucha heterogeneidad en composición
- ✓ Tienen un gran potencial tóxico para la salud humana

Los RAEE son un claro ejemplo de la diversidad de componentes que pueden encontrarse en una sola fracción, así como de las diversas vías de exposición que pueden darse. La Unión Europea en 2021 la categorizó como un “problema emergente” y uno de los grandes retos en relación a la gestión de residuos, dado el aumento casi exponencial en su generación, su consumo, y por el hecho de que su gestión supone el traspaso a países en vías de desarrollo (normalmente por vías ilegales) (9,44,45).



## PILAS Y BATERÍAS

Son dispositivos que permiten la obtención de energía eléctrica por transformación de energía química. Se clasifican de acuerdo con el Real Decreto 106/2008 (46). Sus residuos puede generarse en viviendas, actividades comerciales y/o industriales, actividades relacionadas con la administración pública y equipamientos.



Las pilas pueden estar constituidas por uno o varios elementos primarios que no se pueden recargar tras su utilización. Esto se debe a que, una vez que estos elementos primarios son transformados debido a las reacciones de oxidación-reducción que tienen lugar en la pila han finalizado su actividad y no pueden reemplazarse. Se componen de celdas electrolíticas que contienen dos placas de metales distintos (cátodo y ánodo) separadas entre sí por una solución iónica o ácido débil que sirve como medio conductor de electrones entre ellas. Todo ello se contiene dentro de recipientes de plástico o metálicos.

En algunos casos estos dispositivos contienen plomo o cadmio para mejorar su construcción y mercurio para limitar su corrosión. El mercurio también sirve para secuestrar las impurezas contenidas en las materias primas, que generan gases y pueden condicionar la

seguridad y el correcto funcionamiento de la pila (47). Además de estos elementos potencialmente tóxicos, ciertas pilas tienen compuestos de zinc, manganeso o níquel (48).

El acumulador, sin embargo, está constituido por elementos secundarios. Estos pueden ser regenerados y son recargables. Su vida puede contemplar varios ciclos de carga y descarga (47). Al tener una composición parecida a la encontrada en los RAEE las vías de exposición principales coinciden. Es por ello que la mayoría de los estudios encontrados que relacionan este residuo con efectos en salud los abordan de manera simultánea (49-51).



- ✓ Se asocian con un alto contenido en metales
- ✓ Potencial tóxico similar al encontrado en RAEE-por ello, a la hora de realizar evaluaciones de impacto en salud estas fracciones se evalúan en conjunto como “Residuos electrónicos” (E-waste, en sus siglas en inglés)

## TEXTIL Y CALZADO

La ropa de vestir, el calzado, el textil del hogar y otros productos, una vez usados durante un periodo de tiempo determinado, se convierten en residuos. Debido a las cada vez más frecuentes pautas de renovación de vestuario, modas, calidad de tejidos y precios, esta fracción de residuo ha incrementado su presencia (52); sin embargo, es potencialmente reutilizable.



La gran mayoría de estos residuos se generan en viviendas individuales, en actividades comerciales y en servicios municipales. Pueden estar constituidos por fibras naturales de plantas (lino, algodón, seda), animales (piel, lana, cuero), minerales (metales) o de materiales sintéticos derivados del petróleo (poliéster). La composición de este tipo de residuo determina su impacto en el medio ambiente.

Al igual que en el caso del papel, cartón y vidrio, los mayores riesgos medioambientales y de salud relacionados con este tipo de fracción de residuos están asociados no tanto con el residuo en sí mismo sino con su proceso de fabricación. De hecho, la industria textil genera impactos mucho más severos que los de la

industria del papel o del vidrio, como la contaminación de grandes masas de agua o la contaminación química debida al uso de tintes, siendo considerada la segunda industria más contaminante después de la del petróleo (53-57).

- ✓ Residuo potencialmente reutilizable
- ✓ Los procesos de fabricación del textil y el calzado se han relacionado con un mayor potencial tóxico que los residuos derivados, hasta la fecha
- ✓ Segunda industria más contaminante después de la del petróleo



# MEDICAMENTOS

Los medicamentos son toda sustancia cuyo objetivo sea el tratamiento o prevención de enfermedades en seres humanos o animales ejerciendo una acción farmacológica, inmunológica o metabólica (58). Dentro de este trabajo se consideran los medicamentos sobrantes, caducados y los envases de los mismos generados en el ámbito doméstico, formando parte de los residuos municipales. No se incluyen en este grupo las gasas y/o apósitos, agujas y objetos cortantes, prótesis, termómetros, pilas, radiografías o reactivos de laboratorio de las fórmulas magistrales.

La incorrecta eliminación de ciertos medicamentos (antibióticos, hormonales, etc.) puede generar problemas medioambientales como los relacionados con la contaminación de aguas residuales y ecosistemas acuáticos o terrestres, potenciando el problema del incremento de la resistencia antimicrobiana (59,60).

Únicamente el 30% de los antibióticos presentes en las aguas residuales se puedan eliminar en las depuradoras, vertiéndose el resto a los cauces receptores directamente. Además, nuestros sistemas de depuración clásicos podrían beneficiar la propagación de resistencias ya que potencialmente funcionan como amplificadores de dichas resistencias en el seno del propio sistema de depuración y tienen la capacidad de trasladarlas aguas abajo de su punto de vertido (61).

Pero la cuestión no solo son los efectos individuales de los antibióticos, sino también

los generados por sus combinaciones. Este hecho es uno de los mayores peligros sanitarios a los que parecía que nos enfrentábamos en el siglo XXI, antes de la aparición del SARS-CoV2, ya que anualmente morían 700 000 personas en todo el mundo debido a la infección por parte de bacterias resistentes, estimándose que para el año 2050 ese número podría

- ✓ **Fracción compuesta por mezcla de diferentes fracciones (envases, medicina, etc.)**
- ✓ **Probable relación con el aumento de la resistencia antimicrobiana en la población general**
- ✓ **Conocer su movilidad y sus transformaciones una vez convertido en residuo es imprescindible para realizar una correcta evaluación de impacto**

aumentar a 10 millones (62,63).

Desde 2004 ciertas directivas (1,64,65) obligan a todos los Estados Miembros a desarrollar un sistema de recogida de medicamentos consumidos en hogares. A pesar de ello, un estudio llevado a cabo en 2010 por la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA) mostró que de media el 50% de los fármacos caducados o no utilizados no se devolvían a las farmacias sino que se vertían en los inodoros o en los lavabos (66,67).



En España existe un sistema de responsabilidad ampliada a productor para los envase de medicamentos, se denomina SIGRE. En los puntos SIGRE financiados por la industria farmacéutica en aplicación de sus obligaciones de responsabilidad ampliada del productor, se recogen también los residuos de medicamentos no utilizados o caducados. Según los datos reportados por SIGRE para el año 2018, (68) en España se ha registrado un incremento del 12,09% de residuos de este tipo con respecto a los generados durante 2017.

Además, los medicamentos prescritos por médicos no son la únicas fuentes posibles de medicamentos en el medio ambiente. Las actividades ganaderas, que hacen uso de los medicamentos y antibióticos, incluso en modo profiláctico, también suponen una gran entrada de medicamentos en las corrientes de

agua debido a la infiltración de las deyecciones ganaderas en el terreno (69).

En la actualidad desde la Comisión Europea se está llevando a cabo un impulso de programas de investigación dirigidos a dimensionar la magnitud de la incorrecta eliminación de principios activos medicamentosos y su impacto en las aguas residuales, con el objeto de conocer su movilidad y las transformaciones de los medicamentos en el medioambiente, los niveles de exposición de la población a estos medicamentos y los posibles impactos en la salud (70).

# RESIDUOS SANITARIOS

Los residuos sanitarios son aquellos generados en las actividades de diagnóstico, tratamiento y/o inmunización de humanos y animales dentro del ámbito hospitalario o veterinario, ya sea debido al ejercicio de la investigación biomédica o al tratamiento de dolencias (71).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) define, los residuos sanitarios (health-care waste) como los generados en actividades sanitarias, incluidos los residuos infecciosos y patológicos, materiales punzantes, productos químicos, farmacéuticos y genotóxicos, radiactivos y residuos de metales pesados (72). En esta fracción se incluyen también los cultivos y los almacenamientos de agentes infecciosos.

Estos residuos no están regulados de manera específica por ninguna legislación nacional, siendo de aplicación la normativa general de residuos (ley 7/2022) y la normativa específica que, en su caso, haya establecido cada comunidad autónoma. De forma genérica se pueden identificar los residuos sanitarios que no necesitan de una gestión específica y los que necesitan ser gestionados como residuos peligrosos o que requieren de una gestión diferenciada (73,74).

La clasificación descrita es una aproximación a la clasificación de los residuos sanitarios recogida en las distintas normativas que han desarrollado las comunidades autónomas, entre las que se encuentran: Aragón, Canarias, Cantabria, Castilla y León, Cataluña, Comunidad de Madrid, Comunidad Foral de Navarra, Comunidad Valenciana, Extremadura, Galicia, Islas Baleares, La Rioja y País Vasco.

## Residuos no peligrosos:

- Residuos domésticos: residuos similares a los generados en los hogares pero que tienen como origen los centros sanitarios.
- Residuos biosanitarios asimilables a urbanos: residuos propios de la actividad sanitaria que no tienen asociado un riesgo para la salud pública y se pueden gestionar junto con los domésticos (guantes, vendajes, etc.).
- Cadáveres y restos humanos: se han de gestionar de acuerdo con el Reglamento de Policía Sanitaria Mortuoria.

## Residuos peligrosos o que requieren una gestión diferenciada

- Residuos biosanitarios: residuos que se deben gestionar de forma diferenciada por su riesgo para la salud pública. En esta categoría se incluyen los infecciosos y todos los objetos punzantes independientemente de su riesgo de infección.
- Residuos químicos: se caracterizan por la presencia de agentes químicos de cierta peligrosidad intrínseca.
- Residuos de medicamentos Citotóxicos y Citostáticos: residuos caracterizados por sus riesgos carcinógenos, mutágenos o para la reproducción. Están compuestos por restos de medicamentos y todo el material que haya estado en contacto con ellos.
- Residuos Radioactivos: residuos que están contaminados por sustancias radioactivas (radiofármacos).

En la actualidad, la gestión de estos residuos se realiza mayoritariamente mediante incineración. Esto hace que los principales impactos relacionados con esta fracción de residuos se asocien con la emisión de contaminantes como gases de efecto invernadero y material particulado (75) presentes en los gases de salida, si bien las instalaciones de incineración deben respetar los valores límite establecidos en sus autorizaciones.

- ✓ Estos residuos no tienen una clasificación homogénea, lo que condiciona su gestión
- ✓ No disponen de una normativa específica a nivel nacional
- ✓ Es importante identificar los que pueden tener un potencial tóxico infeccioso

La distinción entre residuos peligrosos o que requieren de una gestión diferenciada y no peligrosos no es la única utilizada para categorizar los residuos sanitarios. Algunas alternativas definen estos residuos en función de su origen (72) y otras en función de los riesgos asociados, del estado de los mismos y su procedencia (76-78). Existe la obligación de identificar los residuos infecciosos y gestionarlos de manera diferenciada de los no infecciosos. No obstante, no existen protocolos para evaluar el potencial de infección de los residuos, por lo que, en la mayoría de las ocasiones, se suelen mezclar residuos con distinto potencial infeccioso (79).



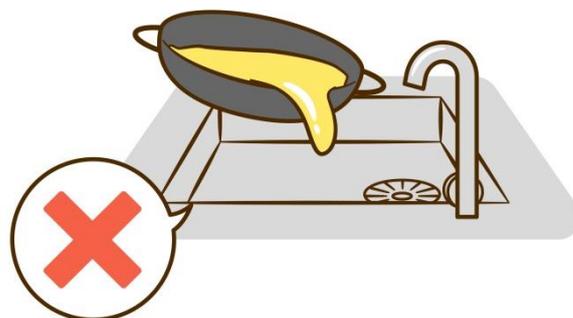
# ACEITES DE COCINA

## USADOS

Son grasas de origen animal o vegetal utilizadas para el cocinado de alimentos que el poseedor desecha o tiene la obligación de desechar. Su origen se debe principalmente a actividades comerciales, domicilios y actividades en administraciones públicas o equipamientos (25).

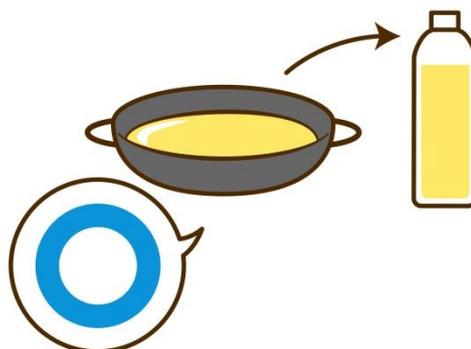


- ✓ Exposición a la población general mínima. Efectos sobre la salud humana no descritos.
- ✓ Relacionados con una alta contaminación de las aguas.



Una mala gestión de estos residuos se ha relacionado con efectos negativos sobre el medio ambiente, alterando la microbiota o eutrofizando las aguas, con la disminución de la concentración de oxígeno en las mismas (80,81). La principal vía de exposición para el ser humano sería el consumo de agua contaminada y no adecuadamente tratada (82).

En condiciones normales y para la inmensa mayoría de la población española, el agua destinada a consumo humano pasa por una serie de tratamientos que eliminan los restos de estos aceites (83), por lo que la exposición a los mismos es pequeña y no se ha estudiado en profundidad.



## ENVASES

La Directiva 94/62/CE (84) define envase como: “Todo producto fabricado con materiales de cualquier naturaleza y que se utilice para contener, proteger, manipular, distribuir y presentar mercancías, desde las materias primas hasta artículos acabados, en cualquier fase de la cadena de fabricación, distribución y consumo. Se consideran también envases todos los artículos desechables utilizados con este mismo fin”. Dentro de este concepto podemos identificar: 1) Envases primarios: son los envases que constituyen una unidad de venta; 2) Envases secundarios: son los envases colectivos, que agrupan las unidades de venta; 3) Envases terciarios: son los envases para facilitar la manipulación y el transporte de varias unidades de venta o de varios envases colectivos. Estos residuos se generan principalmente en domicilios, actividades comerciales e industriales, equipamientos y servicios municipales y en eventos y fiestas.



Los envases pueden estar fabricados a partir de plástico, vidrio, papel-cartón, madera metal o una combinación de ambos. Son los compuestos plásticos generados los que producen un mayor impacto cuando su gestión es deficiente ya que su degradación es extremadamente lenta y está relacionada con

un aumento de concentración de ftalatos, PCB y metales pesados en el ambiente (85).

Los factores ambientales a los que los plásticos suelen estar expuestos hacen que reduzcan su tamaño, dando lugar a los microplásticos y nanoplásticos. Estos microplásticos hacen que los compuestos potencialmente tóxicos de los plásticos queden más biodisponibles, por lo que es un residuo de gran trascendencia ambiental y para la salud humana. La toxicidad de los microplásticos depende de tres factores principales: las partículas, la composición química y los biofilms (86,87).

- ✓ Pueden ser de plástico, cartón, madera, metal o combinaciones de ambos.
- ✓ Los envases plásticos se han relacionado con un aumento en la concentración de ftalatos, Policlorobifenilos y metales pesados
- ✓ El tamaño de las partículas, la composición química y la generación de biofilms condiciona el potencial tóxico de los plásticos

La principal vía de exposición a estos compuestos es por vía oral, especialmente por contaminación de aguas de consumo. En cuanto a la alimentación, se han encontrado concentraciones significativas en pescado y marisco, especialmente en mejillones. Sin embargo, dos estudios, uno desarrollado en 2016 por la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (88) y otro en 2017 por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (89) concluyeron que los niveles de ingesta de PCB, hidrocarburos policíclicos aromáticos (HPA) y Bisfenol A (BPA) no se incrementan de manera significativa por la ingesta de microplásticos.

# NEUMÁTICOS FUERA DE USO (NFU)

Estos residuos son piezas de caucho, con o sin cámara de aire, que se montan sobre una llanta de una rueda. El poseedor de estas piezas ha querido deshacerse de ellas o se ha visto obligado a hacerlo debido a la normativa vigente.

En España, este tipo de residuos se generan principalmente en los talleres donde se realiza el cambio de neumáticos y en los Centros Autorizados de Tratamiento (CAT) donde se lleva a los vehículos al final de su vida útil. Algunos de ellos pueden ser preparados para la reutilización mediante su recauchutado o su destino a neumático de segunda mano y utilizados de nuevo, otros no tienen esa opción y pasan por un proceso de reciclado para la separación de sus componentes: el caucho, el metal y la fibra textil o son valorizados como fuente de energía en la industria del cemento, centrales térmicas, etc.



Los mayores impactos relacionados con los neumáticos fuera de uso se dan durante su vida útil, por abrasión de la rueda que hace que los principales metales pesados (zinc, cadmio y plomo) de los que se compone el neumático entren en contacto con el pavimento de las carreteras y contaminen los suelos o se incorporen a las partículas en suspensión afectando la calidad del aire ambiente (90-92). Su abrasión se ha relacionado también con un aumento de microplásticos en el aire, aunque esta vía de exposición no es mayoritaria (93).

Una vez convertidos en residuos, los Neumáticos Fuera de Uso pueden suponer un problema si son objeto de una combustión, o son abandonados en acopios ilegales, por su capacidad de generar microclimas. Estos microclimas se forman cuando existe una precipitación sobre el residuo ya que, debido al diseño de la rueda, parte del agua precipitada queda en el interior, lo cual puede favorecer el crecimiento de plagas y enfermedades, como algunos macroinvertebrados con potencial actividad vectorial como es el caso del *Aedes albopictus* en el territorio español (94,95).

- ✓ Exposición a la población general mínima. Efectos sobre la salud humana no descritos
- ✓ Relacionados con una alta contaminación de las aguas



- *En mayo de 2016 se produjo un incendio de Neumáticos Fuera de Uso en la localidad castellano-manchega de Seseña. Este incendio arrasó 80.000 toneladas de neumáticos de los 100.000 acumulados en el área. La población cercana al incendio tuvo que ser desalojada debido a los picos alarmantes de contaminación del aire que se alcanzaron.*
- *Sin embargo, no hubo que lamentar afectados de gravedad. El incendio estuvo activo durante 24 días. Este incidente puso de manifiesto la necesidad de gestión de este tipo de vertederos, promoviendo diferentes intervenciones para su control y clausura.*
- *En la foto se observa las acciones realizadas de retirada de residuo en el perímetro del vertedero de NFU tras el incendio.*

*Fecha de realización de la foto: 05-07-2016*

La combustión de estos residuos es el tipo de exposición más analizada y los riesgos para la salud humana están relacionados con la contaminación de las aguas y del aire (92,96). El componente más preocupante es la emisión de HPA, siendo de especial relevancia los fenoles y los benzotiazoles. Sus efectos en la contaminación de las aguas sólo se han analizado en macroinvertebrados. Sin embargo, estos análisis concluyeron que los metales pesados de los neumáticos no quedaban biodisponibles tras su deposición (97).

No existe una amplia evidencia de los posibles riesgos para la salud humana por acumulación de metales pesados en plantas o en cadenas tróficas derivados de una inadecuada gestión de neumáticos.

# VEHÍCULOS AL FINAL DE SU VIDA ÚTIL (VFFVU)

Se define a los Vehículo al Final de su Vida Útil (VFFVU) como aquellos vehículos que se han convertido en residuos siempre que se entreguen a un Centro Autorizado de Tratamiento (CAT) que expida el certificado de destrucción (98). Este tipo de residuos se generan cuando el poseedor del vehículo considera o es obligado a apartar el vehículo de la circulación.

- ✓ Exposición a la población general mínima. Efectos sobre la salud humana no descritos.
- ✓ Relacionados con una alta contaminación de las aguas.

Esta fracción no genera impactos por sí misma. Dentro de los CAT se separa el vehículo por sus componentes entre los que se incluyen: plásticos, metales, RAEE, NFU o aceites industriales.

Por tanto, la toxicidad asociada a este residuo será la asociada a las distintas fracciones en las que se separa y es por ello que llevar a cabo una separación segura y por profesionales es muy importante para la prevención de riesgos.

En caso contrario, pueden quedar restos de aceites y grasas industriales o líquidos de freno en el suelo que pueden acabar generando un cóctel tóxico (90), aunque no hay estudios que evidencien la posible exposición humana y los riesgos para la salud humana asociados.



# RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD)

Son resultado de una actividad de construcción, rehabilitación, reparación, reforma o demolición de un bien o inmueble o de trabajos que modifiquen sustancialmente la forma del terreno o el subsuelo. En su gran mayoría son materiales no peligrosos, minerales, hormigón cerámicos y yeso. Su aprovechamiento no debe presentar problemas, siempre que se tomen medidas de separación adecuadas y puede contribuir a la disminución en el uso de nuevos recursos minerales naturales. Este aprovechamiento estará condicionado a la naturaleza de los materiales primarios y a su posible contaminación por sustancias peligrosas.



Entre los RCD considerados peligrosos podemos encontrar adhesivos, emulsiones alquitranadas o materiales con base de amianto, no siempre claramente identificadas y clasificadas como tal, previo a su eliminación. Otros pueden ser fuente de contaminación indirecta como el uso de aditivos de hormigón, sistemas con CFC o elementos a base de yeso (99).

- ✓ Residuos vinculados a una alta ocupación de espacio
- ✓ Aumentan las partículas en suspensión especialmente en ambientes urbanos.
- ✓ Estos residuos cuando se abandonan pueden ser refugio para roedores y otros animales que pueden suponer un riesgo de zoonosis.

Son residuos cuyo mayor impacto deriva de la ocupación de espacio, el movimiento de tierras y consiguiente levantamiento de partícula en suspensión en su manipulación y de la acumulación, que puede generar que los restos más peligrosos acaben contaminando el suelo.

Una evaluación de riesgo exhaustiva en esta fracción estaría justificada sobre todo en el campo de la prevención de riesgos laborales, ya que es una de las fracciones predominantes en España y se ha descrito como una de las mayores fuentes de partículas en ambientes urbanos (100-103). Otra cuestión a evaluar es la capacidad que tienen estos residuos cuando se abandonan para convertirse en refugio para roedores y otros animales que pueden suponer un riesgo de zoonosis (104). Muchos de estos residuos siguen emitiendo sustancias tóxicas, como las fibras de asbesto contenidas en el amianto, después de largo tiempo de abandono (105).

# ACEITES INDUSTRIALES

Los aceites industriales usados son aquellos aceites utilizados en la industria y los aceites de lubricación, de base mineral, sintética o asimilada de origen animal, y en particular los aceites de los motores de combustión, de los sistemas de transmisión, de los lubricantes, de las turbinas y de los sistemas hidráulicos, así como las mezclas y emulsiones que los contengan, excluidos los aceites para cocinar, que hayan dejado de ser aptos para el uso originalmente previsto. Esto se debe a que, durante su uso, los aceites industriales van perdiendo propiedades. Debido a esto, las cadenas de hidrocarburos y los aditivos se van degradando, generando mezclas complejas de derivados orgánicos oxidados, partículas recogidas y floculadas por el desgaste de la maquinaria y otros aditivos utilizados. Esto hace que estos residuos deban catalogarse y gestionarse como residuos peligrosos, no incluidos en esta revisión pero con una relación sólida con diferentes efectos nocivos en la salud (106).

Este tipo de residuo se genera principalmente en talleres de automoción, garajes, estaciones de servicio o estaciones de engrase. También se genera este tipo de residuos en industrias productivas y en procesos de mantenimiento y lubricación de maquinaria.

- ✓ La gran mayoría se consideran residuos peligrosos
- ✓ Su mala gestión se asocia con un aumento de la contaminación, especialmente en ecosistemas acuáticos, que compromete las cadenas tróficas o hacia la atmósfera cuando se quema sin tratamiento o con tratamiento insuficiente que la elimine

La mala gestión de estos puede ocasionar una contaminación de aguas y suelos por escorrentía, afectando a las cadenas tróficas. Su quema o su utilización como combustible, sin ningún tratamiento previo o con un tratamiento inadecuado, fuera de instalaciones de incineración/coincineración de residuos, puede liberar a la atmósfera ciertas sustancias como cloro metales pesados (107).



# RESIDUOS MINEROS

Las industrias extractivas son establecimientos o empresas que practican la extracción de recursos minerales con fines comerciales. Los residuos de este tipo de actividades se denominan “residuos mineros” y pueden ser sólidos, acuosos o de textura pastosa (25).

Se generan en las propias minas, canteras o graveras y se almacenan en instalaciones de residuos mineros que pueden ser de tres tipos:

## Escombreras

- Son las instalaciones de residuos mineros construidas para el depósito de residuos mineros sólidos en superficie.

## Balsas

- Son las instalaciones de residuos mineros naturales o construidas para la eliminación de residuos mineros de grano fino junto con cantidades diversas de agua libre, resultantes del tratamiento y beneficio de recursos minerales y del aclarado y reciclado del agua usada para dicho tratamiento y beneficio.

## Presas mineras

- Son estructuras diseñadas y construidas para contener agua o residuos mineros en una balsa.

Sus características y composición dependen del origen de la actividad minera. En la minería no metálica, existe un número importante de instalaciones mineras ligadas a la extracción de áridos, y que generan poca cantidad de

residuos. Destaca también la minería del carbón, que en general produce residuos no peligrosos.

- ✓ La composición de estos residuos depende del origen de la actividad minera, algunos podrían catalogarse como residuos peligrosos.
- ✓ Entre los metales más problemáticos se encuentran el plomo, cadmio, arsénico y mercurio
- ✓ En 1998 en España la balsa minera de Aznalcóllar colapsó ocasionando grandes daños medioambientales y socioeconómicos

Sin embargo, en el caso de la minería metálica, algunos podrían clasificarse como residuos peligrosos. Entre lo más problemáticos se encuentran los que contienen plomo, cadmio, arsénico y mercurio (94,108-111) que, en caso de mala gestión, podrían acabar contaminando diferentes factores ambientales.

A este respecto cabe destacar el accidente de la balsa minera del Aznalcóllar (Andalucía), acontecido el 25 de abril de 1998 en donde la rotura de la balsa y vertido al río Guadiamar de unos 6 Hm<sup>3</sup> de lodos y aguas ácidas con pH en torno a 5,5 y una alta concentración de metales en disolución (arsénico, cobalto, cromo, cobre, mercurio, manganeso, níquel, plomo, estaño, uranio y zinc, entre otros), ocasionaron graves daños medioambientales y de carácter socioeconómico, en el límite mismo del Parque Nacional de Doñana (112). Como consecuencia del incidente se paralizó la actividad minera, se decretó la eliminación de las cosechas en zonas limítrofes, y se suprimió la actividad agrícola de los suelos afectados por el vertido. En programas de seguimientos los daños sobre

cadenas tróficas sólo se han descrito sobre macroinvertebrados como los lagartos de la zona, en donde se encontraron altos niveles de elementos traza como el arsénico, mercurio y cadmio y cuya densidad de población se vio drásticamente reducida durante los 20 años siguientes al accidente (113).



*El desastre de Aznalcóllar fue el segundo de los 59 grandes accidentes ecológicos de la minería en todo el mundo y el mayor en España hasta la fecha. Se produjo el día 25 de abril de 1998 por la rotura de la balsa minera de Aznalcóllar. Aproximadamente 5,5 millones de metros cúbicos de lodos tóxicos y 1,9 millones de aguas ácidas alcanzaron los ríos Agrio y Guadiamar, colmándolos. El barro afectó a un total de 4600 hectáreas y alcanzó la zona norte del parque nacional de Doñana. Los contaminantes más destacados relacionados con la catástrofe fueron el arsénico, el cobalto, el cromo, el cobre, el mercurio, el manganeso, el níquel, el plomo, el estaño, el uranio y el zinc. En la foto que se muestra la retirada de lodos en zonas agrarias resultado del proyecto de protección y restauración de medio.*

*Fecha de realización de la foto: 01-07-1998*

# RESIDUOS DOMÉSTICOS Y RESIDUOS MUNICIPALES (RM)

Este conjunto de residuos se ha dejado para el final ya que no es un flujo de residuos uniforme y la comprensión de su composición y toxicidad intrínseca se puede entender mejor una vez exploradas las distintas fracciones de residuo que pueden componerlos. Tradicionalmente este conjunto de residuos ha sido nombrado de múltiples maneras. Uno de los menos utilizados en la literatura científica es curiosamente el recogido en el actual marco normativo como “residuo doméstico”, definido con anterioridad. Otro término más ampliamente empleado en estudios de toxicidad y efectos en salud es el de “residuo sólido urbano”. Éste es definido comúnmente como “residuo orgánico (alimentos, excedentes de comida), de cartón, papel, madera o materiales inorgánicos (vidrio, plástico y metales), generados en el ámbito de núcleos urbanos o en sus zonas de influencia” (114).

Este término no está recogido ni en la normativa comunitaria ni la española como tal.

El término de “residuo municipal” (RM), es quizás el término más amplio al incluir “residuos mezclados y residuos recogidos de forma separada de origen doméstico, incluidos papel y cartón, vidrio, metales, plásticos, biorresiduos, madera, textiles, envases, residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, residuos de pilas y acumuladores, y residuos voluminosos, incluidos los colchones y los

muebles”. Incluye, además, “los residuos mezclados o recogidos de forma separada procedentes de otras fuentes, cuando esos residuos sean similares en naturaleza y composición a los residuos de origen doméstico”. Esta definición deja fuera a los residuos procedentes de producción, la agricultura, la silvicultura, la pesca, las fosas sépticas y la red de alcantarillado y plantas de tratamiento de aguas residuales, incluidos los lodos de depuradora, los vehículos al final de su vida útil y los residuos de construcción y demolición.

- ✓ Los residuos siguen siendo mayoritariamente gestionados en vertederos
- ✓ La carga de contaminación derivada de la actividad de las incineradoras se ha disminuido drásticamente los últimos años.
- ✓ Los centros de compostaje emiten gases que pueden condicionar la salud humana además de servir como transporte de vectores, bacterias, hongos y otros tipos de endotoxinas.

En cuanto a su toxicidad intrínseca y los efectos en salud, es preciso aclarar que la mayor parte de estudios se han centrado no en los RM *per se* sino en los impactos asociados a los distintos métodos de eliminación, es decir, sobre la incineración, acumulación en vertederos y compostaje de este tipo de residuos (115).

En cuanto a la composición de los RM, como ya se ha descrito, se encuentran mezcladas fracciones de distinta naturaleza. Este hecho unido a que en la mayoría de los casos los compuestos de naturaleza tóxica presentes en los mismos sean liberados al medio ambiente

en concentraciones basales, por debajo incluso de límites legales existentes, ha hecho que los posibles impactos sobre la salud humana no hayan sido abordados de forma más sistemática (9,106,116-118).

En el caso de los métodos de eliminación de estos residuos, la vía de exposición abordada principalmente por la literatura ha sido la inhalatoria. Sin embargo, no sólo la calidad del aire se ve comprometida debido a la presencia de vertederos, incineradoras y plantas de compostaje. Otras fracciones como el agua superficial y subterránea, el suelo y la propia cadena alimentaria pueden verse comprometidas por los contaminantes derivados de estos procesos. Es por ello que, otras vías de exposición como la ingestión o la exposición dérmica a contaminantes cuya fuente son estos tratamientos de eliminación, deben tenerse en cuenta para tener una caracterización total de la exposición y el impacto sobre la salud que pueden llegar a generar estas instalaciones sobre la población que vive cerca de ellas.

### **Incineradoras**

Las incineradoras aplican un tratamiento térmico a los residuos que reciben. El calor emitido por ese tratamiento térmico puede recuperarse para la generación de energía o no. En el proceso de incineración se produce la emisión al aire de compuestos típicamente ligados a los procesos de combustión como son los gases  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$  y gases ácidos que pueden estar compuestos de azufre, halógenos, compuestos orgánicos como dioxinas o furanos y metales volátiles. También se produce la emisión de material particulado. Este proceso también deriva en la generación de residuos sólidos como cenizas, escorias inertes y residuos de los sistemas de

depuración de los gases generados durante la combustión (119).

Las incineradoras de residuos han sido reguladas desde los años 80 mediante varias directivas, la última de las cuales es la actual Directiva 2010/75 UE sobre emisiones industriales. En España, la incineración de residuos está regulada por el Real Decreto 815/2013, que traspone la Directiva anteriormente citada.

Además, los residuos también pueden incinerarse en régimen de coincineración en otras instalaciones (cementeras, centrales térmicas u otras) las cuales también están reguladas por el Real Decreto 815/2013.



Desde el año 2000 los esfuerzos legislativos por introducir la Mejores Técnicas Disponibles (MTD) (9,120,121) y el control de las emisiones en las incineradoras han conseguido que se reduzcan del orden de entre 3-4 veces la magnitud de contaminantes emitidos, con la consiguiente reducción del potencial tóxico.

### **Vertederos**

Los vertederos, principal operación de tratamiento para la eliminación de residuos en España (5), son depósitos controlados como superficiales, en los cuales se almacenan residuos por períodos de tiempo prolongados. Estos depósitos deben estar dotados de

elementos de impermeabilización que eviten la contaminación de distintas fracciones de suelo, agua superficial, agua subterránea y aire. Es por ello, que el vertido de residuos no controlado está prohibido (115). Sin embargo, los recursos para conseguir este fin son limitados y en algunas ocasiones se han producido actividades no autorizadas en este ámbito. Como consecuencia de las mismas, en 2017, el Tribunal de Justicia Europeo sentenció y condenó a España por el incumplimiento de las directivas europeas 2008/98/CE y

1999/31/CE por no haber completado el cierre de 61 vertederos ilegales, cuya actividad podría poner en serio riesgo la salud humana y el medioambiente (122,123).



Los peligros más comúnmente relacionados con la acumulación de RM en vertederos son emisiones de  $H_2S$ ,  $SO_2$ ,  $CH_4$ ,  $NH_3$ , vapores de mercurio, compuestos orgánicos volátiles, HPA y dioxinas. Asimismo, puede darse una contaminación de suelos y aguas subterráneas y superficiales por lixiviados derivados de estas instalaciones, en donde destacan la presencia de metales pesados, restos de plaguicidas y principios farmacéuticos y, en algunas ocasiones, microorganismos patógenos (116,124-126). El estudio de los impactos en salud derivados de lixiviados, quedan fuera del objeto de estudio de esta revisión, aunque sin

duda son merecedores de un abordaje específico en el futuro.

### *Instalaciones de compostaje*

Las instalaciones de compostaje son instalaciones en donde se lleva a cabo un proceso biológico aeróbico, mediante el cual los microorganismos actúan sobre la materia degradándose y generando como excedente compost, el cual funciona bien como abono en la agricultura.

Los peligros asociados con el compostaje incluyen algunos gases derivados de las digestiones microbianas como el  $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $NH_3$ ,  $H_2S$ , compuestos alcanos (hexano), aromáticos (benceno, etil-benceno, p-etil tolueno) y halogenados (1,2-diclorobenceno, tricloroetileno) (125). Muchos de estos compuestos se han detectado en mayor concentración que en vertederos.



Estos compuestos pueden funcionar como aerosoles que transporten, o sirvan de vectores para bacterias, hongos, actinomicetos, endotoxinas y glucanos. La vía de exposición principal abordada es por tanto la vía inhalatoria aunque también se pueden dar afecciones relacionadas con la exposición dérmica.



# CAPÍTULO IV

## 1. Principales efectos en salud

Los residuos constituyen desde 1980 una de las amenazas ambientales para la salud humana más importantes incorporada para su estudio y seguimiento en el Proceso Europeo de Medio Ambiente y Salud promovido por la OMS, pero no ha sido hasta la sexta reunión interministerial celebrada en Ostrava (República Checa), en junio de 2017, cuando se ha priorizado su abordaje de manera específica. En este sentido, los 53 Estados Miembros de la Región Europea de la OMS se comprometieron en Ostrava a: **“prevenir y eliminar los efectos adversos para el medio ambiente y la salud, los costes y las desigualdades relacionadas con la gestión de residuos y los sitios contaminados, avanzando hacia la eliminación y el tráfico de residuos no controlados e ilegales, y la gestión racional de los residuos y los sitios contaminados en el contexto de la transición a una economía circular”** (127).

*Los residuos constituyen una de las amenazas ambientales para la salud humana más importantes*

Según diversas revisiones llevadas a cabo en las últimas décadas, la evidencia científica disponible sobre posibles efectos en salud asociados a la exposición a residuos es poco concluyente (9,106,117,120,125,128,129).

La dificultad para caracterizar tales impactos se vincula entre otros factores a la alta variabilidad de las fracciones de residuos tal y como se ha ilustrado en el capítulo anterior. Actualmente, si bien se dispone de una mayor información sobre las características intrínsecas de peligrosidad y toxicidad de cada una de dichas fracciones atendiendo a su composición y a las nuevas estrategias de recogida separada planteadas a nivel comunitario y nacional, no existe aún una amplia evidencia científica de posibles efectos en salud de cada una de ellas, en parte debido a una incompleta gestión diferenciada de las mismas. En muchas localidades en nuestro país, estas fracciones se siguen gestionando dentro de grandes categorías como son los residuos domésticos o RM. Por otra parte, la evidencia científica más amplia existente, como ya se ha mencionado, hace referencia a los procesos de eliminación del conjunto de los residuos más que a la evaluación de impactos de fracciones individuales.

Otros aspectos que han dificultado en las últimas décadas la adecuada caracterización de los impactos en salud asociados a los residuos ha sido la dificultad para definir la muestra de la población afectada, la dificultad para acceder a información sociodemográfica desagregada de esta población afectada a nivel censal o inferior, o la baja caracterización del grado de contaminación en los puntos donde las personas pueden entrar en contacto con los residuos o con emisiones, vertidos o lixiviados derivados de las instalaciones de tratamiento (9,116,125). A este respecto, cabe resaltar también que debido a la gran variabilidad en la composición de las distintas fracciones de residuos, así como el hecho de que en la mayoría de los casos los compuestos de naturaleza tóxica presentes en las mismas sean liberados al medio ambiente en bajas concentraciones, por debajo incluso de límites legales existentes, ha hecho que los posibles impactos sobre la salud humana no hayan sido abordados de forma más sistemática (106,117). Muchos compuestos de cadmio, arsénico, cromo VI, o níquel han sido catalogados por la IARC como carcinogénicos tipo 1 sobre la base de estudios toxicológicos en animales de experimentación o sobre población humana expuesta a dosis altas.

Sin embargo, la evidencia de asociación de distintos tipos de cáncer a la exposición a estas sustancias en concentraciones ambientales bajas, como las asociadas a la exposición a distintos tipos de residuos, es aún contradictoria. Además, esta asociación no tiene en cuenta los posibles efectos sinérgicos por exposición a peligros múltiples, ni la posibilidad de efectos crónicos a dosis bajas mantenidas en el tiempo, actualmente sometido a un intenso debate científico (130-134). La OMS propone que se prioricen estudios teniendo en cuenta la posible

***Muchos compuestos de cadmio, arsénico, cromo VI, níquel han sido catalogados por la IARC como carcinogénicos tipo 1***

presencia de compuestos con una inherente mayor toxicidad o virulencia (caso de peligros biológicos), mayor persistencia medioambiental o poder de bioacumulación, u otros rasgos de peligrosidad como alta reactividad en contacto con agua o aire (9).

Otro de los elementos limitantes viene condicionado por las metodologías empleadas para caracterizar la exposición a peligros ambientales dentro de los estudios epidemiológicos (EE) que han tratado de evidenciar asociaciones de esas exposiciones con efectos en salud. Derivado del análisis llevado cabo por diversos grupos de investigación, existe un amplio consenso sobre el orden jerárquico de calidad de las aproximaciones utilizadas para dicha caracterización, según la cual el uso de la proximidad de la residencia a una instalación de residuos o área contaminada es considerada como la peor estimación de la exposición humana, mientras que la biomonitorización humana se considera el enfoque más preciso (135-139).

En la revisión realizada por Hoek et al. (2018) sobre metodologías de caracterización de la exposición empleadas en EE centrados en vertederos de residuos peligrosos, incineradoras de RM y otras zonas contaminadas, un 85% de los 147 estudios identificados utilizaron indicadores cualitativos de exposición, basados en la descripción de la actividad contaminante, el municipio o código

postal de residencia de los sujetos de estudio, o en la distancia de dicha residencia a las instalaciones de tratamiento de residuos mediante diferentes estimaciones métricas (escala continua o definición de áreas concéntricas alrededor del sitio con radio arbitrario).

Solo el 12% del total de estudios identificados utilizaron métodos de modelización de datos ambientales (principalmente datos de calidad del aire), un 1% campañas de monitorización ambiental dirigidas, y solo un 7% aplicaron un diseño de biomonitorización (ver tabla 1). Una proporción muy similar sobre los métodos señalados se identificó en la revisión de los datos utilizados en estudios de vigilancia epidemiológica en zonas contaminadas con

residuos realizada por Martin-Olmedo et al. (2018).

El uso de la distancia y la residencia como indicativos de la exposición, considerando un gradiente homogéneo de contaminación decreciente a medida que aumenta la distancia a las fuentes, se estima que puede introducir importantes sesgos y errores en las estimaciones de asociación debido a que no se tienen en cuenta importantes características del entorno local (ej. meteorología, topografía, etc.) y las particularidades de la fuente emisora de peligros (ej. altura de la chimenea en una incineradora) que pueden afectar significativamente a la dispersión de contaminantes en suelos y otros medios (135,139,140).

Tabla 1: Métodos de evaluación de la exposición en EE seleccionados de zonas con instalaciones de gestión de residuos y otras zonas contaminadas, adaptado de Hoek et al. 2018 y Nieuwenhuijsen et al. (2006)

| Calidad de los métodos                          | Métodos   | Indicador  | Nº estudios |
|---|---|--|-------------|
| Enfoque menos preciso para la exposición humana | Proximidad                                      | Residencia en municipio con instalación de riesgo  | 65          |
|   |   | Distancia a instalación de riesgo  | 57          |
| ↓   | Modelización ambiental                          | Modelo de dispersión de la contaminación atmosférica (modelos multimedia)  | 17          |
| ↓   |   |  |             |
| ↓   | Monitorización ambiental                        | Medición de contaminantes en suelo, aire, agua, alimentos  | 2           |
| ↓   | Métodos directos de evaluación de la exposición | Directo (dispositivos portátiles) o indirecto (integrando la actividad del tiempo con la monitorización ambiental) | 0           |
| Aproximación más precisa                        |   |  |             |
|   | Biomonitorización                               | Pb en sangre, Cd en orina, pelo  | 10          |

En cualquier caso, si se utiliza la residencia como indicador de exposición, se recomienda promover el uso de la codificación geográfica para determinar la posición de la residencia en lugar del código postal completo o el bloque censal, y maximizar la desagregación de los datos para minimizar el sesgo ecológico diferencial (118,136,139).

Por otra parte, es importante tener presente posibles variaciones temporales en la exposición asociadas tanto a fluctuaciones en las emisiones desde las fuentes a lo largo del tiempo (ej. picos en las masas de residuos que se incineren) como a la movilidad de la población. En este sentido, Cordioli et al. (2013) y Martin-Olmedo et al. (2019) sugieren calcular la exposición acumulada, es decir, la suma de las concentraciones de exposición anual durante la duración de la exposición. En estudios futuros, se deben desarrollar esfuerzos para reconstruir historias que recojan variación en la residencia de los sujetos de estudio, así como la variabilidad en las fuentes a lo largo del tiempo, al menos en el análisis de sensibilidad para la modelización ambiental.

Aunque la salud ocupacional no es el objeto central de este trabajo, es importante tener presente la exposición a sustancias tóxicas de los trabajadores y los accidentes laborales relacionados con la gestión de residuos. Esta exposición suele ocurrir de forma más frecuente y a dosis muy superiores que aquellas a las que se ve sometida la población general. Es por ello que este grupo poblacional suele ser el elegido para la realización de la mayoría de estudios epidemiológicos (117,125).

Por todo ello en este capítulo se sintetizará la evidencia epidemiológica existente de efectos en salud humana asociados a las siguientes fracciones de residuos:

Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), pilas y baterías

Neumáticos Fuera de Uso (NFU)

Plásticos y microplásticos

Residuos de construcción y Demolición (RCD)

Residuos Municipales (RM)

En esta revisión, al centrarnos solo en residuos considerados *a priori* como no peligrosos, los residuos sanitarios se abordarán dentro del grupo de residuos asimilables a residuos domésticos o RM.



# EFECTOS EN SALUD DE LOS RAEE, PILAS Y BATERÍAS

La presencia de compuestos tóxicos de distinta naturaleza en la composición de este tipo de residuos (ver capítulo 3) pueden comprometer el buen funcionamiento de los sistemas endocrino, nervioso, reproductivo y respiratorio. Además, se han vinculado con procesos de mutación genética y efectos en el desarrollo fetal y neonatal.

El problema fundamental en la gestión de los RAEE es la gran externalización que se le da al proceso. Esto hace que las exposiciones a estos residuos se den de manera desigual en puntos muy concretos a escala global. Es por ello que, la mayoría de los estudios relacionados con los efectos en salud se ubican en países subdesarrollados (Ghana) o en vías de desarrollo (China). Sin embargo, esto no hace que los resultados encontrados no estén relacionados con los procesos de producción y comercialización de los países más desarrollados, ya que es el alto consumo de este tipo de productos en las culturas occidentales lo que genera una alta exposición en otras zonas del mundo dedicadas a la gestión de este residuo. El aspecto de equidad en salud relativa a los residuos es un elemento relevante que debe ser abordado de forma específica, y al que desde un punto de vista político no recibe la suficiente atención en Europa.

Por otra parte, existe cierta tendencia a la acumulación de electrodomésticos en puntos limpios y a su abandono en el medio ambiente.

El efecto de estas contaminaciones focales no ha sido evaluado. Futuros estudios deberían aproximarse a una evaluación de riesgo de la gestión de este tipo de residuos para delimitar si existe o no una amenaza para ciertos grupos poblacionales.

***El aspecto de equidad en salud relativa a los residuos es un elemento relevante que debe ser abordado de forma específica.***

## ***Efectos sobre sistema endocrino***

El tipo de sustancias constitutivas de los residuos RAEE intervienen en el sistema endocrino generando efectos tóxicos y de disrupción endocrina (42), asociados a su vez con trastornos como la obesidad, enfermedades cardíacas, diabetes, infertilidad, cáncer, daños neuronales (141), o con alteración de los niveles de hormonas tiroideas y sexuales. A este respecto, se ha detectado una asociación de tipo inverso especialmente estrecha entre los niveles de PBDEs y los niveles de tiroxina (T4) (142-144).

Una disminución de esta hormona se relaciona con el hipotiroidismo que se caracteriza por desarrollar síntomas de cansancio, insomnio, ganancia de peso, estreñimiento, piel seca, caída del cabello, bajo rendimiento intelectual, disminución de masa ósea y problemas de desarrollo de crecimiento y en la pubertad.

Por otra parte, la asociación con los niveles de la hormona estimulante de la tiroides (TSH) son inconsistentes (142-145). Los efectos más relevantes derivados de disrupción endocrina se observan en el aparato reproductor, que se desarrollarán en un apartado específico.

Obesidad

Diabetes

Enfermedades cardíacas

Hipotoidismo

Aunque muchos estudios han abordado estas asociaciones, el mecanismo de acción por el que los elementos tóxicos presentes en los RAEE alteran la función del sistema endocrino no se ha identificado de manera clara aún, y requiere el desarrollo de estudios epidemiológicos y epigenéticos más complejos.

### **Efectos sobre sistema nervioso**

Un estudio desarrollado en una zona contaminada por RAEE evaluó el comportamiento neurológico neonatal (NBNA en sus siglas en inglés). Este estudio encontró una relación inversa entre las concentraciones de plomo y la puntuación de NBNA (146). Esto significa que los neonatos expuestos a plomo pueden desarrollar una baja integridad funcional de las neuronas, es decir, un bajo desarrollo del sistema nervioso. Estos resultados son consistentes con otros hallazgos en donde se describió un decrecimiento de 0,71 puntos del cociente intelectual cuando se aumentaba 10 microgramo/L la exposición a plomo (147) por medio de la ingesta de alimentos contaminados.

Cuando se evaluó el comportamiento de niños de entre 3 a 7 años residentes en un área próxima a la acumulación de RAEE se observó: 1) alta incidencia del trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH), 2) baja concentración en las tareas a realizar (problemas para leer, bajo rendimiento escolar, alta tasa de abandono escolar), y 3) dificultad para emitir juicios y pensar (146). Estos efectos se relacionan con las altas concentraciones de plomo que se encuentran en estas áreas, afectando el desarrollo intelectual, psicológico y los hábitos de salud de los niños.

Baja integridad funcional de las neuronas

Decrecimiento del Coeficiente Intelectual

Aumento en la incidencia de Trastornos por Déficit de Atención e Hiperactividad

Baja concentración

### **Efectos sobre el sistema reproductivo**

El significativo aumento que se viene registrando en afecciones de salud reproductiva en los últimos años podría estar vinculado con la contaminación ambiental y suelen estar mediadas por un proceso de disrupción endocrina.

El alto contenido en BPA que pueden presentar muchos RAEE, puede actuar modificando la actividad del estrógeno y se ha relacionado con toxicidad reproductiva específicamente en mujeres en pubertad (148). En los hombres se ha relacionado con una baja calidad de esperma. Un estudio elaborado sobre hombres que habitaban una zona de alta exposición a

RAEE encontró bajos niveles de testosterona relacionados con altos niveles de hormonas luteinizante y folículo-estimulantes (149). Estas hormonas están relacionadas con hipogonadismo y problemas de fertilidad, además de un aumento en el riesgo cardiovascular (141,150).

Previos estudios ecológicos han relacionado las áreas afectadas por la presencia de RAEE con azoospermia, astenozoospermia y epididimitis en comparación con las áreas libres de RAEE (151). Sin embargo, estos estudios no demuestran causalidad y son precisos más estudios epidemiológicos longitudinales.

Toxicidad reproductiva, especialmente en mujeres

Baja calidad de esperma

Bajos niveles de testosterona

Hipogonadismo

Problemas de fertilidad

Azoospermia

Astenozoospermia

Epididimitis

(FVC) en niños de educación primaria (entre 8 y 13 años) de una población expuesta. Esta asociación es especialmente relevante en el caso del cromo y el níquel ya que esta exposición en etapas primarias de la vida hace que se provoquen daños irreparables en la función pulmonar (152).

Por otra parte, se ha observado que un incremento en la inhalación de partículas puede aumentar la presencia de macrófagos estimulando la liberación de oxígeno reactivo, hecho que puede derivar en daños en la tráquea y el pulmón (153). Sin embargo, no se ha podido concretar la plausibilidad biológica de estas asociaciones.

Decrecimiento de la Capacidad Vital Forzada

Daños en tráquea y pulmones

### *Mutaciones genéticas*

Las mutaciones genéticas relacionadas con áreas contaminadas con restos de RAEE se relaciona con daños en el ADN, cambios en la expresión génica y alteración de la estructura del cromosoma (150,154-165).

### *Efectos sobre el sistema respiratorio*

Debido a la inhalación de metales como el cromo, manganeso, litio y níquel presentes en los RAEE y en las pilas se ha detectado un decrecimiento en la Capacidad Vital Forzada<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Máximo volumen de aire espirado, con el máximo esfuerzo posible, partiendo de una inspiración máxima

### Daño en el ADN

- Las altas concentraciones de metales pesados inducen la generación de un elevado número de radicales libres que contribuyen al estrés oxidativo y destruyen el balance metabólico de radicales de oxígeno libre en el cuerpo, generando daños en el ADN (147,148). Habitantes de áreas contaminadas por RAEE han mostrado una alta concentración de estos radicales libres (147). Otro estudio encontró bajos niveles de superóxido dismutasa y glutatión peroxidasa en mujeres embarazadas expuestas (142), lo que se relaciona con altos niveles de estrés oxidativo e infertilidad o subfertilidad, aborto, preeclampsia, diabetes gestacional o ruptura prematura de membranas. Este estudio también encontró altos niveles de malonildialdehído en la misma población. Este es un producto final del estrés oxidativo con un gran potencial mutagénico y citotóxico.
- Otro daño descrito esta vez sobre población neonata expuesta fue una alta tasa de daño y cambios en la longitud de la cola de linfocitos asociada positivamente con las concentraciones de cromo encontrados en los neonatos que nacieron en una zona contaminada en comparación con los del área de referencia (149).

### Alteración de la expresión génica

- La molécula MicroARN (miARN) regula la expresión, modificación, traducción y transcripción de los genes. Cuando se comparó la función de estas moléculas entre hombres expuestos y no expuestos se encontró una reducción en la expresión de 109 genes y un aumento en la expresión de 73 (154). Un ejemplo de sobreexpresión es la generación de metalotioneínas en mujeres embarazadas con una alta concentración de cadmio en la placenta (155,156). Estas proteínas son ricas en cisteína y tienen una gran capacidad de enlazar grandes cantidades de metales pesados, pudiendo secuestrar estos metales tóxicos y reducir sus efectos en el organismo.

### Alteración de la estructura del cromosoma

- Los telómeros son los extremos de los cromosomas. Están formados por ADN no codificante, cuya función principal es mantener la integridad de los cromosomas y la estabilidad del genoma (157). Diversos estudios centrados en la población expuesta a RAEE, especialmente en mujeres en cuya placenta se encontraron altos niveles de cadmio (punto crítico de  $[Cd]=0,0294 \mu\text{g/g}$ ), se han detectado acortamientos de telómero, los cuales se relacionan con problemas a la hora del parto, déficit en el crecimiento fetal y bajo peso al nacer (158-160). También se ha relacionado con riesgo de desarrollar cáncer, especialmente en población más envejecida (154,161).
- Entre la población expuesta se han encontrado también tasas altas de mutaciones cromosómicas y de presencia de micronúcleos. Estos micronúcleos contienen daño cromosómico en ciertos fragmentos del cromosoma y/o cromosomas que no fueron incluidos en el proceso de división celular, normalmente relacionado con defectos en el proceso de reparación del ADN y de mutaciones cromosómicas (162).

### *Efectos en el desarrollo fetal y Neonatal*

Las exposiciones a los contaminantes en el periodo fetal son determinantes en el posterior desarrollo del individuo. En este caso, exposiciones a sustancias tóxicas como los metales pesados y los contaminantes orgánicos persistentes se han asociado con muerte fetal, embarazo prematuro, anencefalia (ausencia de parte del cerebro y/o el cráneo), bajo peso y estatura al nacer y malas puntuaciones de APGAR, que evalúa el color de la piel, la frecuencia cardíaca, el tono muscular y la respiración (166-170).

Algunos estudios también muestran una mayor concentración de hormonas vinculadas al crecimiento como el factor de crecimiento insulínico tipo I y la proteína 3 de unión al factor de crecimiento parecido a la insulina (IGFBP3) en las placentas de madres residentes en zonas contaminadas por presencia de RAEE, generando una exposición fetal (171).

Por otra parte, los niños son susceptibles a la contaminación por exposición a RAEE, necesitando menos dosis de sustancias peligrosas para presentar efectos en salud. En este sentido, bajas concentraciones de plomo, manganeso y níquel pueden inhibir la síntesis y funcionalidad de hormonas como la TSH.

También se relaciona con alteraciones en la absorción del calcio, hierro y zinc, asociado con

atrasos en el proceso de crecimiento, bajo Índice de Masa Corporal (IMC), peso y estatura al nacer (172). Las altas concentraciones de cromo en zonas contaminadas por RAEE se han relacionado con un mayor perímetro torácico (173).

Muerte fetal

Embarazo prematuro

Anencefalia

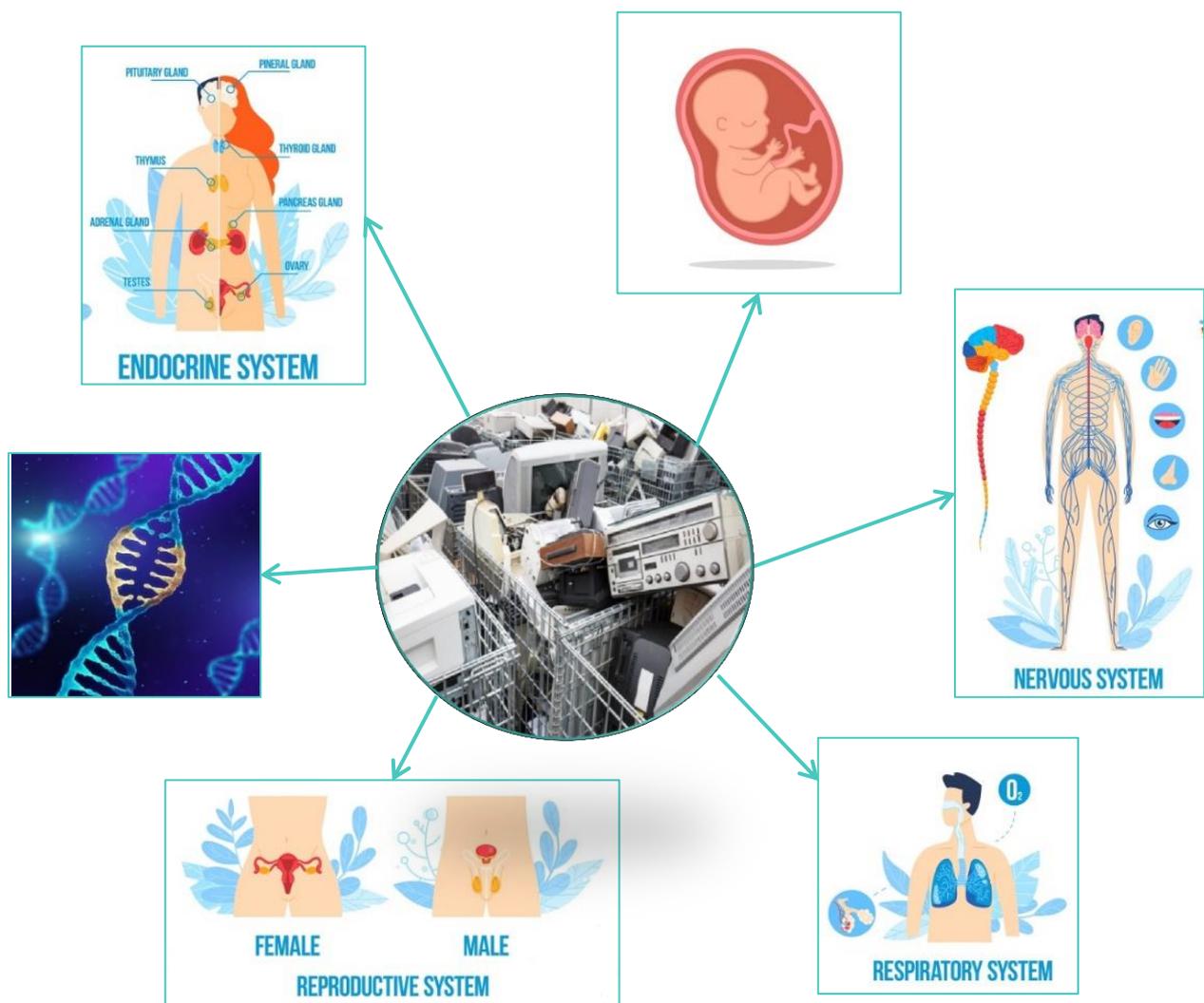
Bajo peso al nacer

Baja estatura

Bajo IMC

Retrasos en el crecimiento

Mayor perímetro torácico



# EFECTOS EN SALUD DE LOS NFU

Estos residuos tienen una alta concentración de caucho que, en caso de no gestionarse adecuadamente, pueden quedar abandonados en el medio ambiente. Los efectos de este potencial impacto al medio ambiente y a la salud quedan fuera de este apartado ya que más adelante se desarrollarán extensamente los efectos de los plásticos y microplásticos sobre la salud.

Por otra parte, estos residuos son totalmente reutilizables y valorizables, por lo que en todo caso se debe evitar el almacenamiento ilegal de los mismos en acopios no controlados, sobre todo teniendo en cuenta que los potenciales efectos en salud se deben a la combustión espontánea de estos acopios como en incidente ocurrido en Seseña en 2016.

Este tipo de residuos se han visto relacionados con efectos sobre el sistema respiratorio y están involucrados en la transmisión de algunas enfermedades vectoriales.

## *Efectos sobre sistema respiratorio*

Los efectos sobre este sistema están estrechamente vinculados a la exposición por inhalación debida a la combustión de los neumáticos. Las partículas y los olores provocan una exacerbación de enfermedades respiratorias previas, especialmente en población vulnerable como niños, ancianos y personas asmáticas (96). Además, el potencial tóxico de los elementos que se inhalan, como los HPA, hace que el riesgo de padecer cáncer de pulmón en la población expuesta pueda

verse incrementada. Sin embargo, estos efectos sólo podrán ser descrito a largo plazo y sería necesario el desarrollo de un programa de vigilancia epidemiológica para identificarlos correctamente (96,174).

Estos efectos, por lo general de tipo agudo, se han analizado solo en el caso de accidentes como el ocurrido en Seseña en el año 2016 (96,174,175). Se necesitaría incluir en los Planes de Salud y Medio Ambiente el desarrollo de indicadores que permitan una monitorización de posibles efectos a largo plazo en población expuesta a este tipo de incidentes con la finalidad de demostrar causalidad y tipo de afecciones crónicas vinculadas a esta exposición, como los tipos de cánceres más frecuentes y enfermedades respiratorias que puedan darse.

Exacerbación de enfermedades respiratorias como el Asma

Potencial asociación con el desarrollo de cáncer de pulmón

## *Efectos sobre enfermedades de transmisión vectorial*

Tal y como hemos explicado anteriormente en el capítulo 3, el diseño de los neumáticos hace que en su interior queden restos de agua cuando ésta precipita sobre ellos. El agua genera microclimas dentro de la rueda imitando las condiciones ideales para que ciertas poblaciones de vectores crezcan en lugares donde no se encuentra su nicho ecológico.

Las enfermedades de transmisión vectorial requieren que un vector se encuentre con un caso infectado en periodo virémico y que

posteriormente transmite la enfermedad a otra persona. Por lo tanto, un aumento en la población de vectores aumentaría la probabilidad de que dichos vectores se encuentren con un caso en periodo virémico, aumentando el riesgo de transmisión vectorial.

Este es el caso del mosquito *Aedes albopictus*, responsable de la transmisión de

enfermedades como el Dengue, el Zika y el Chikungunya.

Aumento de enfermedades transmitidas por vectores (especialmente las relacionadas con mosquitos)



# EFECTOS EN SALUD DE PLÁSTICOS Y MICROPLÁSTICOS

La evidencia científica existente en la actualidad en cuanto a los efectos de los microplásticos en la salud humana no es muy robusta. Sin embargo, algunas afecciones sobre distintos sistemas están comenzando a ser descritos y deben ser estudiados con mayor profundidad en el futuro. Esto es especialmente relevante para detectar las poblaciones más expuestas y tomar las medidas pertinentes, en caso de que fuera necesario.

La gran mayoría de los estudios realizados sobre los efectos de los microplásticos se han llevado a cabo sobre macroinvertebrados (88,89, 97,176-178) y no sobre población humana por lo que aún hay mucho trabajo por hacer. Sobre todo, teniendo en cuenta la ubicuidad de este residuo en nuestro día a día y la emergente importancia que tiene para la sociedad esta exposición.

Dependiendo de las condiciones físicas de las partículas como su tamaño, la forma o la superficie que se mantiene en contacto con el ser humano, se hipotetizan diferentes escenarios en los que los microplásticos podrían impactar en la salud humana (179). Sin embargo, no se conoce con exactitud estos efectos.

En cuanto a las características químicas de los microplásticos, ciertos monómeros como el 1,3-butadieno, el óxido de etileno y el cloruro

de vinilo pueden migrar hacia el medio ambiente o el ser humano por abrasión o lixiviación, aunque en concentraciones muy pequeñas (87). Sin embargo, los ftalatos, los elementos utilizados como retardantes de llama (compuestos orgánicos halogenados en su mayoría) o los contaminantes orgánicos persistentes suelen migrar más fácilmente (180-182). Aun así, el incremento de la concentración de estos compuestos debido a microplásticos suele ser pequeño.

***Factores como el tamaño, la composición o los microorganismos asociados a los microplásticos pueden ser esenciales para entender el potencial impacto que pueden tener estos residuos en la salud humana***

Por último, los microplásticos son superficies lo suficientemente estables como para que sobre ellas se generen biofilms. Gracias a estos biofilms los microorganismos son capaces de garantizar su supervivencia y estabilidad a largo plazo. Estas películas no suelen contener microorganismos patógenos pero, en algunas ocasiones, pueden encontrarse *Pseudomonas aeruginosa*, relacionada con infecciones y periodos de estrés oxidativo, *Legionella spp.* y *Naegleria fowleri*, relacionado con el desarrollo de meningocefalia amebiana, una enfermedad que afecta al sistema nervioso central (87,183).

Los órganos involucrados no sólo en la digestión del microplástico, sino en su transporte y en su filtración como es el caso del hígado, los riñones o el bazo, deben tenerse en

consideración a la hora de evaluar los riesgos en salud de estos residuos. Además, es necesario que se identifique a las poblaciones que se ven expuestas ya que se ha visto una posible relación entre la exposición aérea a microplásticos y la afección en la placenta que pueden resultar en daños del feto.

### *Efectos sobre sistema endocrino*

El BPA ha sido descrito como una sustancia con un gran potencial de disrupción endocrina. Su exposición se ha asociado con un aumento en la actividad estrogénica incluso a concentraciones muy bajas (184). También se ha descrito la unión de BPA a receptores de andrógenos, lo que impide que la transcripción genética dependiente de estos andrógenos, lo que se asocia con problemas fisiopatológicos en la próstata (185,186).

En cuanto a su asociación con las hormonas tiroideas, su exposición se asocia con una estimulación de la hormona TSH en los varones recién nacidos y un decrecimiento en la producción de T4 en las mujeres embarazadas (187).

Aumento de la actividad estrogénica

Problemas fisiopatológicos en la próstata

Estimulación de TSH en varones recién nacidos

Decrecimiento de la producción de T4 en mujeres embarazadas

### *Efectos sobre sistema cardiovascular*

Se ha descrito un efecto del BPA sobre la actividad pancreática en ratas que, como consecuencia, inhibe la producción de insulina. Esto sugiere una potencial relación con un aumento en el riesgo de desarrollar diabetes (188-190).

Existe evidencia sobre ratas de un aumento en el riesgo de otras enfermedades cardiovasculares por exposición a BPA como anginas de pecho, arritmias, hipertensión e infartos (191,192). Sin embargo, no se han descrito estos impactos sobre la salud humana y se necesita clarificar los mecanismos biológicos por los que se producen estos efectos.

Potencial asociación con el desarrollo de diabetes

Potencial asociación con el desarrollo de anginas de pecho

Potencial asociación con el desarrollo de arritmias

Potencial asociación con el desarrollo de hipertensión

Potencial asociación con el desarrollo de infartos

### *Efectos sobre sistema reproductivo*

Mediado por el efecto de la disrupción endocrina derivada de la exposición de BPA asociado a plásticos, se han descrito altas incidencias de cáncer de útero, ovario, próstata y cáncer testicular (184,193-196).

La evidencia más sólida se encuentra en su afección sobre el sistema reproductivo femenino, concretamente una disfunción en los ovarios, relacionada con la alteración del proceso de meiosis y baja calidad de los oocitos (197). Otros estudios han relacionado disfunción uterina y de próstata en ratas pero no en humanos (184).

Cáncer de útero

Cáncer de ovarios

Cáncer de próstata

Cáncer testicular

Baja calidad de oocitos

### Efectos sobre sistema digestivo

La vía de exposición principal es por ingestión de microplásticos, por lo que el sistema de diana para estudiar impactos es el sistema digestivo. Esto se debe a que se ha encontrado translocación de partículas de plástico en el tracto intestinal de cangrejos, moluscos y algunos mamíferos (198-202). Futuros estudios deberán abordar este evento en humanos ya que hasta la fecha sólo se ha descrito para macroinvertebrados (176,203,204). Además, se deberán hacer seguimientos a largo plazo para entender cómo puede afectar esto a la función del sistema digestivo.

La reciente descripción de microplásticos en comida, especialmente en mariscos, y en el agua de consumo ha aumentado la preocupación de la población general por la exposición a este tipo de residuo (88,89,202,205,206). Actualmente existen

esfuerzos regulatorios y en investigación para comprender y controlar mejor esta exposición. Estudios preliminares han encontrado restos de microplásticos en las excreciones de humanos sin determinar muy bien el efecto que han tenido estas partículas sobre el intestino (203,207).

Potencial traslocación de microplásticos en el intestino delgado

Restos de microplásticos en excreciones humanas sin un efecto concreto sobre la salud humana

### Efectos sobre sistema respiratorio

Esta vía de exposición se relaciona con los efectos que tienen partículas de microplásticos de máximo 5 mm de diámetro sobre la salud. Estos pueden llegar a formar parte del material particulado en suspensión de material e invadir el espacio alveolar y trasladarse a otras regiones del cuerpo, llegándose a identificar restos de microplásticos en el tejido embrionario de peces cebrá (86,208). Un estudio realizado *in vitro* sobre células registró un nivel alto de estrés oxidativo. Sin embargo, aún no se ha demostrado que estos niveles de estrés oxidativo puedan llegar a suponer una amenaza para la salud humana (16). Esta cuestión tendrá que ser abordada en futuros estudios toxicológicos y epidemiológicos.

Invasión del espacio alveolar

Posible exacerbación de enfermedades respiratorias

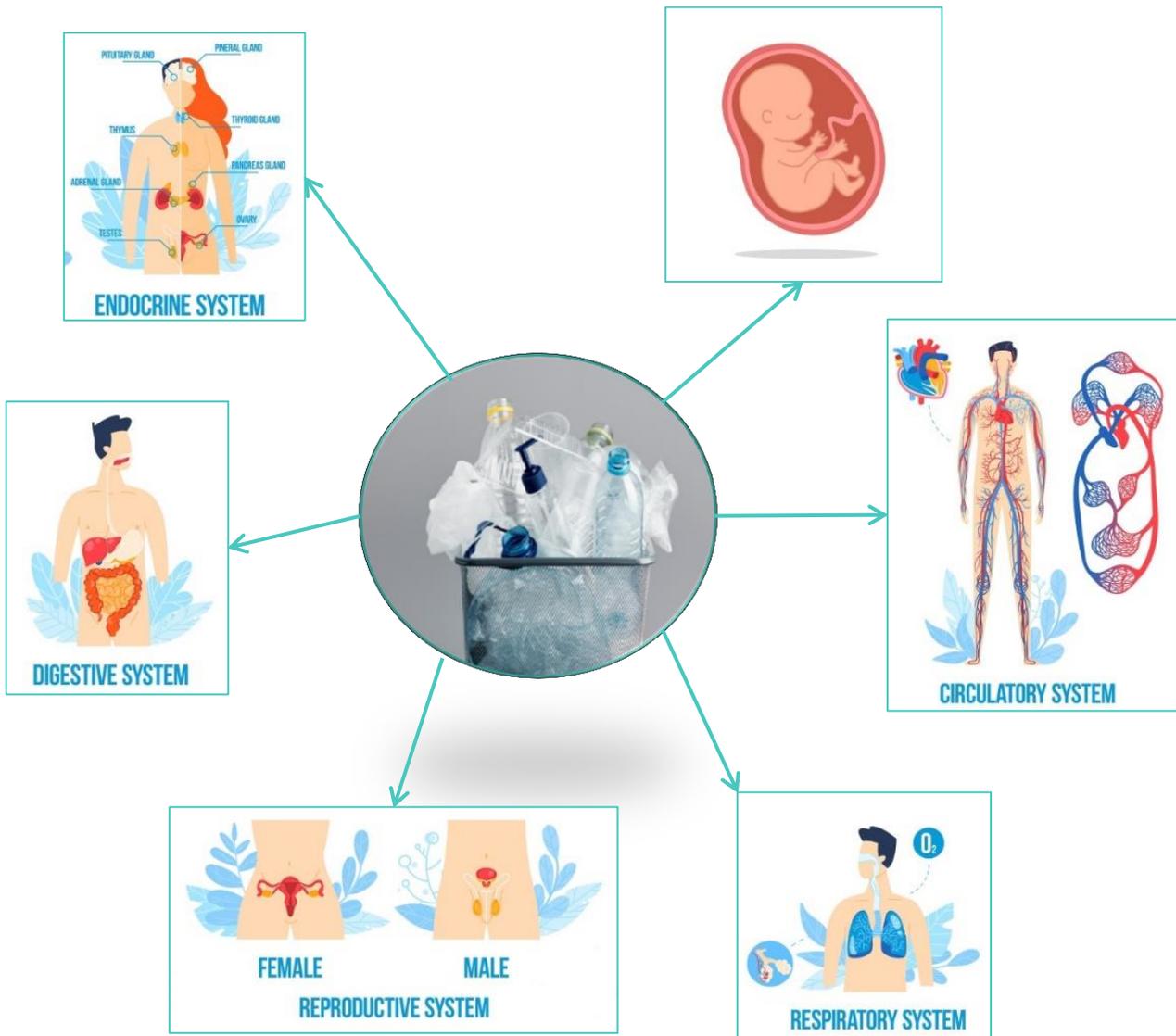
Potencial aumento de estrés oxidativo

## Efectos en el desarrollo fetal y Neonatal

La exposición a BPA durante el periodo gestacional afecta al desarrollo neurológico de los fetos y se asocia a problemas de conducta en neonatos y población infantil (209-211). Sin embargo, estos resultados resultaron inconsistentes a la hora de reportar una asociación robusta y consistente en el tiempo (184).

Afección al desarrollo neurológico fetal

Potencial desarrollo de problemas de conducta en neonatos y población infantil



# EFFECTOS EN SALUD DE LOS RCD

Estos residuos se caracterizan por su gran heterogeneidad, tanto en composición como en tamaño. Estos factores son determinantes para evaluar sus posibles impactos en salud.

Los vertederos asociados a la recogida de las fracciones finas de los RCD han identificado un incremento en las concentraciones de metales pesados (Arsénico, Cromo, Cobre, Cadmio y Plomo), retardantes de llama, presentes también en los RAEE, y un aumento en la producción de metano, ácido sulfhídrico y vapor de mercurio. Estos compuestos se relacionan potencialmente con el aumento de casos de cáncer, daños en el hígado y los riñones, daño en el desarrollo fetal y desórdenes neurológicos (212). Estos elementos suelen presentarse en forma de nanopartículas, incrementando la concentración de partículas en el aire y facilitando la interacción con la población expuesta por vía respiratoria (213).

***Los RCD se identifican con un incremento en las concentraciones de metales pesados, retardantes de llama, y un aumento en la producción de metano, ácido sulfhídrico y vapor de mercurio***

En cuanto a composición, el elemento más analizado relacionado con este flujo de residuos son las fibras de asbestos contenidas en el amianto. Desde 2002 el uso y

comercialización del amianto está prohibido en España (214). Sin embargo, su eliminación de las infraestructuras en las que sigue presente representa un gran reto, ya que la retirada de los materiales con amianto, conocida como *desamiantado* es la operación con mayor riesgo de exposición (215).



Los efectos de la exposición a amianto pueden darse hasta 75 años después de su exposición (216). Es por ello que desde la OMS se incentiva la vigilancia sobre la exposición a amianto y sus enfermedades relacionadas (215). En España, la divulgación sobre sus efectos y el análisis sobre posibles vías para la eliminación del riesgo se realiza y revisa de manera periódica mediante Protocolos de Vigilancia Sanitaria específicas para el Amianto (216).

## ***Efectos sobre sistema respiratorio***

Debido a su característica fibrosa, la principal vía de exposición al amianto es respiratoria. Es por ello que las patologías relacionadas con el sistema respiratorio son muy numerosas.

Entre ellas destaca la asbestosis, un proceso inflamatorio de las estructuras alveolares muy parecido a las fibrosis pulmonares ideopáticas.

Otras de las patologías relacionadas son las alteraciones pleurales como el derrame pleural benigno o el engrosamiento pleural. El derrame pleural benigno es una exposición común en los primeros 20 años de exposición pero puede darse hasta 60 años después de la exposición inicial. Esta patología no suele presentar sintomatología. Mientras, el engrosamiento pleural es una patología menos frecuente que suele producir un dolor torácico y dificulta la respiración. También se han encontrado placas pleurales relacionadas con exposición ocupacional, fuera del objetivo de este trabajo.

La exposición a amianto también se relaciona con el desarrollo de procesos tumorales (217). Entre ellos, se encuentra el desarrollo de mesotelioma maligno y cáncer de pulmón. Algunos estudios han encontrado asociación con el cáncer de laringe. Esta se encuentran dentro de las enfermedades de origen profesional por exposición a amianto recogidas en Real Decreto 1299/2006 (218).

El 25% de los casos de mesotelioma maligno se relacionan con exposición a amianto (217,219,220). Este tipo de tumor tiene una supervivencia mediana entre 6-12 meses y suele presentar dolor torácico.

En cuanto al cáncer pulmonar(217,220), puede aparecer a unas exposiciones bajas a amianto. La exposición conjunta entre el amianto y el tabaco provocan un efecto sinérgico sobre la aparición de esta patología.

Por último, es de mencionar el pseudotumor tumor de asbesto o síndrome de Blesovsky (221), una patología menos frecuente que el engrosamiento pleural o las placas pleurales. Es una patología poco conocida muy asociada a la exposición de amianto. La mayoría de los

pacientes son asintomáticos aunque pueden llegar a presentar dificultad respiratoria.

Asbestosis

Alteraciones pleurales (engrosamiento, placas o derrames)

Mesotelioma maligno

Cáncer de pulmón

Potencialmente asociado a Cáncer de laringe

Pseudotumor por asbesto

### ***Efectos sobre sistema cardiovascular***

Se ha descrito una asociación entre la exposición a amianto y un engrosamiento del pericardio que puede resultar asintomático o derivar en una insuficiencia cardíaca(216).

Engrosamiento del pericardio

### ***Efectos sobre sistema digestivo y reproductivo***

Se han encontrado asociaciones entre la exposición a amianto y carcinomas gastrointestinales (217,219) y de ovarios (217,222).

Menos robusta es la asociación encontrada con los carcinomas de riñón y mama (216,217).

Cáncer de ovario

Cáncer gastrointestinal

Potencialmente asociado a Cáncer de mama

Potencialmente asociado a Cáncer de riñón



# EFECTOS EN SALUD DE LOS RM

Tal y como se aborda en el capítulo 3, la complejidad en la composición de los RM ha hecho que la literatura haya abordado la exposición a los mismos y el análisis de posibles efectos sobre la salud humana desde la perspectiva de las distintas instalaciones encargadas de su tratamiento.

A este respecto, hay que tener presente, que diferentes prácticas de gestión de residuos pueden dar lugar a la liberación de diferentes sustancias específicas, que afectan a diferentes distintas matrices ambientales atendiendo a sus propiedades físico-químicas y a las características climatológicas y topográficas del área donde están ubicadas (129). Así, por ejemplo, en el caso de la quema o incineración de RM, el aire es identificado como la principal vía de dispersión de contaminantes que pueden afectar a la población general, generando contaminantes como las dioxinas que a su vez, pueden acabar depositándose y afectando a pastos, explotaciones ganaderas y cultivos. De este modo, la ingestión de ciertos alimentos contaminados como productos lácteos o huevos pueden representar una fuente indirecta de exposición que debería ser tenida en cuenta (223).

Otras prácticas, como la acumulación de RM en vertederos, está relacionada, como ya se ha explicado en el capítulo 3, con emisiones a la atmósfera de una amplia variedad de gases de efecto invernadero y elementos tóxicos, pero también con lixiviados contaminantes que pueden afectar a suelos, aguas superficiales y subterráneas, y, por tanto, a la población

(124,126). Es por ello necesario enfatizar la dificultad y la necesidad de definir modelos de exposición integrales que abarquen las diversas rutas de exposición que pueden afectar a la población, así como el efecto concomitante de exposiciones a peligros múltiples y, todo ello, teniendo presente otros determinantes de la salud que puedan afectar a los resultados en salud como son las condiciones socioeconómicas de las poblaciones afectadas (118).

*La complejidad de los RM ha hecho que se haya abordado la exposición a los mismos y el análisis de posibles efectos sobre la salud humana desde la perspectiva de las distintas instalaciones de tratamiento y eliminación.*

## INCINERADORAS

Como hemos introducido en el capítulo 3, estas instalaciones han sufrido mejoras considerables desde el inicio de su uso. En base a estos cambios un estudio reciente ha clasificado las incineradoras en 3 tipos diferentes en función del grado de aplicación de las Mejores Técnicas Disponibles (119), revisadas éstas en la Decisión de Ejecución (UE) 2019/2010.

La primera generación de incineradoras corresponde a las reguladas por la Directiva europea 89/429/EEC en donde las Mejores Técnicas Disponibles (MTD) no se aplicaban.

La segunda generación representa un periodo de transición de implementación paulatina de las MTD. Este tipo de incineradoras se desarrolló entre el año 1989 y el 2006.

Por último, la tercera generación corresponde a las incineradoras que se construyeron a partir de 2006, dotadas de mejores tecnologías para minimizar las emisiones de sustancias tóxicas conforme lo estipulado en el marco de la Directiva europea 2010/75/EU (121).

### **Efectos sobre sistema respiratorio y digestivo**

Varios estudios han descrito una posible asociación entre incidencia de cáncer de pulmón y laringe y exposición a emisiones de gases de incineradoras de primera y segunda generación (224-232). Sin embargo, no hay evidencia suficiente para determinar si esta asociación se mantiene en las incineradoras de tercera generación.

En cuanto a afecciones al sistema digestivo, sólo se ha encontrado asociación con cáncer de estómago, colon e hígado en la población que vive en la cercanía de una incineradora de primera generación. Esta evidencia se ha encontrado prioritariamente en radios de menos de 3 Km alrededor de la incineradora (129,224,225), sólo un estudio encontró evidencia en un radio de 7,5 Km (224).

Cáncer de pulmón y laringe (1ª y 2ª generación)

Cáncer de estómago, colon e hígado (1ª generación)

### **Efectos sobre sistema linfático**

La existencia de una asociación entre la exposición a dioxinas y los Linfomas No-Hodgkin fue descrita en diversos estudios centrados en emisiones desde incineradoras de primera generación (224,233,234). Sin embargo, esta asociación se vuelve débil para las incineradoras de segunda generación, en donde sólo un artículo encuentra asociación (235). No hay estudios que aborden este posible efecto en salud para incineradoras de tercera generación.

Linfoma No Hodgking (1ª y 2ª generación)

### **Efectos en el desarrollo fetal y Neonatal**

Los resultados de diversas revisiones sistemáticas centradas en la posible asociación entre incineración de RM y efectos en la salud de recién nacidos y neonatos son poco concluyentes hasta el momento (17,236-238).

En el caso de malformaciones congénitas, algunos estudios identificaron un riesgo incremental de ciertas anomalías como defectos del tubo neural, espina bífida y alteraciones cardíacas congénitas con consecuencias letales en el caso de incineradoras de primera generación (239).

También se ha informado en el caso de incineradoras de segunda generación sobre un mayor riesgo de aparición de labio y paladar hendido (240,241) displasia renal (alteración de la morfología del riñón debida a un mal desarrollo) y otros defectos urológicos como uropatías obstructivas (241,242) y aumento de la mortalidad de neonatos a consecuencia de diversas anomalías congénitas combinadas (243). La inconsistencia de algunos de los resultados derivados de estos estudios puede deberse al pequeño número de casos analizados, diferencias en la naturaleza de los RM analizados, distintos perfiles de exposición de la población afectada, variabilidad en el diseño de estudios aplicados y limitaciones en la caracterización de la exposición. En una investigación reciente llevada a cabo por el grupo de Parkes et al. (2020), se ha buscado aumentar la potencia de estos análisis diseñando un estudio nacional de cohorte retrospectivo que incluía a madres residentes en un radio de 10 Km de 10 incineradora de Inglaterra y Escocia en funcionamiento entre 2003 y 2010. En esta aproximación se trató de mejorar la evaluación de la exposición combinando datos diarios de concentraciones modelizadas de PM<sub>10</sub> como indicador de las emisiones de las incineradoras, conjuntamente con una mejora de la geolocalización de los sujetos de estudio y la determinación de la distancia de su residencia a cada incineradora de referencia.

Se analizaron los grupos de anomalías congénitas específicas más frecuentemente abordados en estudios previos, incluyendo anomalías del sistema nervioso, defectos congénitos de corazón (DCC), defectos de la pared abdominal, fisuras orofaciales, defectos en las extremidades, del sistema digestivo, urinario, y órganos genitales.

En los análisis se tuvieron en cuenta diversos factores de confusión, incluido el año de nacimiento, sexo, edad materna, índice de privación (herramienta que se utiliza para identificar áreas con situación socioeconómica desfavorable), etnia y área de residencia. Las características y los términos de efectos aleatorios se incluyeron en los modelos para tener en cuenta las diferencias en las tasas de referencia entre áreas y en la materia prima del incinerador.

Este estudio identificó a 219.486 nacimientos, mortinatos, y finalización del embarazo por anomalía fetal, de los cuales 5.154 fueron casos de anomalías congénitas. No se encontraron asociaciones entre las concentraciones de PM<sub>10</sub> emitidas y todas las categorías de anomalías congénitas analizadas ajustando por todos los factores de confusión, ni tampoco para las distintas categorías de anomalías individualmente. Sin embargo, en términos de proximidad, se observó un exceso de riesgo de todas las anomalías congénitas del 2% [OR 1,02; IC del 95% 1,00-1,04]; del 4% para CHD [OR 1,04; 95% IC 1,01-1,08] y del 7% para anomalías genitales [OR 1,07; 95% IC 1,02-1,12] (específicamente hipospadias, un defecto de nacimiento por el cual la abertura de la uretra se encuentra en la parte inferior del pene en lugar de en la punta) por cada kilómetro de proximidad a una incineradora. No obstante, los propios autores reconocen que estas asociaciones con la proximidad podrían reflejar confusión residual, y recomiendan un mayor seguimiento de las exposiciones y los resultados de salud en recién nacidos y niños cerca de incineradoras (244).

Defectos en el tubo neural (1ª generación)

Labio y paladar hendido (2ª generación)

Displasia renal (2ª generación)

Uropatías obstructivas (2ª generación)

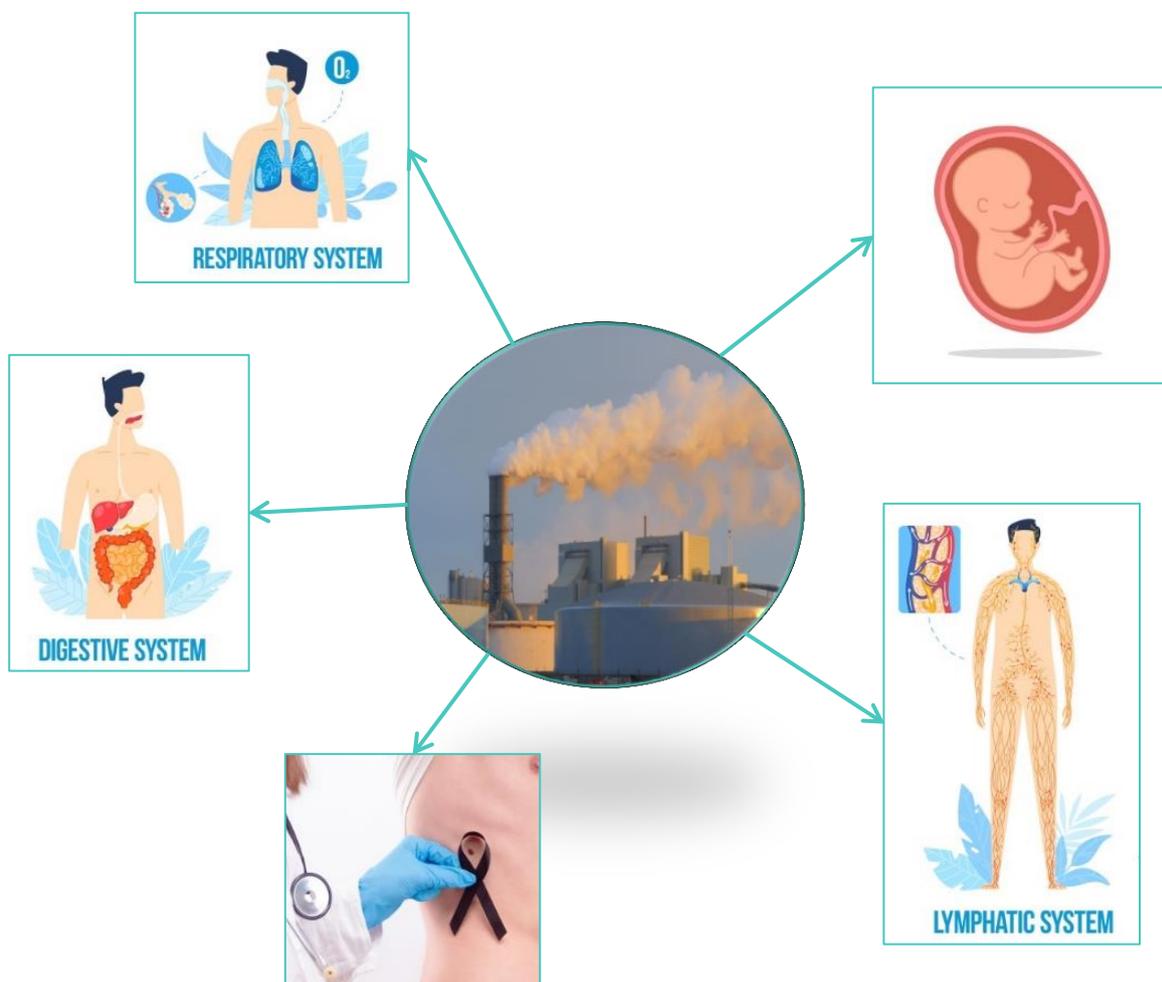
Aumento de mortalidad en neonatos (2ª generación)

Anomalías congénitas

### Efectos sobre la piel

La asociación con efectos sobre la piel sólo se ha descrito para la exposición a incineradoras de primera generación. Concretamente Viel et al. (2000), Comba et al, (2003) y Zambon et al (2007) describieron un exceso de riesgo de padecer sarcoma de tejidos blandos. Esta asociación no se encontró en las incineradoras de segunda generación y no se han realizado estudios en donde se desarrollen estos posibles efectos en relación a incineradoras de tercera generación.

Sarcoma de tejidos blandos (1ª generación)



## VERTEDEROS

La evaluación de la exposición a peligros emitidos desde los vertederos se ha realizado tradicionalmente, al igual que en otras instalaciones de gestión de residuos, utilizando como indicador la distancia que hay entre el vertedero y la población expuesta que como ya se dijo, es un pobre indicador de la exposición que puede introducir bastantes sesgos. Un estudio multicéntrico llevado a cabo en varios países europeos concluyó que a 3 Km de las fuentes de contaminación (vertederos) se hallaban partículas pero que, en cualquier caso, la carga de contaminación era menor que la registrada por otras fuentes como el tráfico rodado (117).

No obstante, la OMS estima que la población vulnerable a los efectos nocivos por la proximidad de un vertedero al lugar de residencia se da a una distancia inferior a los 2 Km (9). Es por esta aproximación que no se puede discernir cuál es el compuesto concreto que genera dicho efecto o si, por el contrario, es un efecto sinérgico de todos los compuestos emitidos desde el vertedero.

Los principales efectos en salud derivados de la contaminación ambiental asociada a vertederos se han descrito en relación a los sistemas cardiovascular, digestivo, inmune y respiratorio. También se han encontrado algunas evidencias que apuntan a un posible efecto sobre el desarrollo fetal y en neonatos.

### *Efectos sobre sistema cardiovascular*

La evidencia científica sobre los efectos que tiene la cercanía a vertederos sobre este sistema es limitada. Únicamente un estudio

encontró asociación entre la cercanía de la instalación y el desarrollo de enfermedades como la diabetes y la hipertensión (245). En este artículo se hipotetiza con la posibilidad de que la exposición a ciertos metales pesados como el arsénico, el cadmio y el mercurio puedan tener relación con los resultados observados. Esta hipótesis concuerda con los resultados observados por otros estudios que evalúan el potencial tóxico de estos metales pesados (246).

Potencial asociación con el desarrollo de diabetes e hipertensión

### *Efectos sobre sistema digestivo, inmune y linfático*

Una evidencia algo más robusta pero que necesita de una mejor exploración, es la que se ha identificado para los sistemas digestivo e inmune. En cuanto al sistema digestivo, se ha identificado un incremento en el riesgo de padecer cáncer de páncreas, laringe, hígado y riñón en lugares con una alta proximidad a vertederos (9,120,125,128).

Por otra parte, un estudio ha observado alteraciones de la respuesta inmunitaria en niños de 10 años (126,245,247). Se sugiere que esta respuesta puede estar relacionada con la exposición a H<sub>2</sub>S y CO<sub>2</sub>. También se ha asociado la proximidad de los vertederos con el desarrollo de linfomas No-Hodgkin (9,120,125,128).

Cáncer de páncreas

Cáncer de laringe

Cáncer de hígado

Cáncer de riñón

Alteración de respuesta inmunitaria

Desarrollo de Linfomas No Hodgkin

### ***Efectos sobre sistema respiratorio***

La exposición a partículas relacionadas con la mala calidad de aire derivada de la presencia del vertedero, concentraciones altas de H<sub>2</sub>S y CO<sub>2</sub> y la presencia de malos olores se han relacionado con una alteración de la función pulmonar, pudiendo generar tos, fatiga, bronquitis crónica, desarrollo de asma, y/o muerte prematura debido a afecciones respiratorias como el cáncer de pulmón.

Esta situación también puede aumentar la probabilidad de infecciones respiratorias como la neumonía (9,120,245,248-250). Estas alteraciones de la función pulmonar se han observado también en niños de 10 años (126).

Tos, fatiga

Bronquitis crónica

Cáncer pulmonar

### ***Efectos sobre desarrollo fetal y neonatal***

En cuanto a anomalías congénitas la evidencia científica es limitada y se concentra en zonas que reciben residuos industriales o peligrosos.

Es decir, no es suficiente para inferir la presencia de asociación causal sobre la cercanía de vertederos de residuos no peligrosos (251).

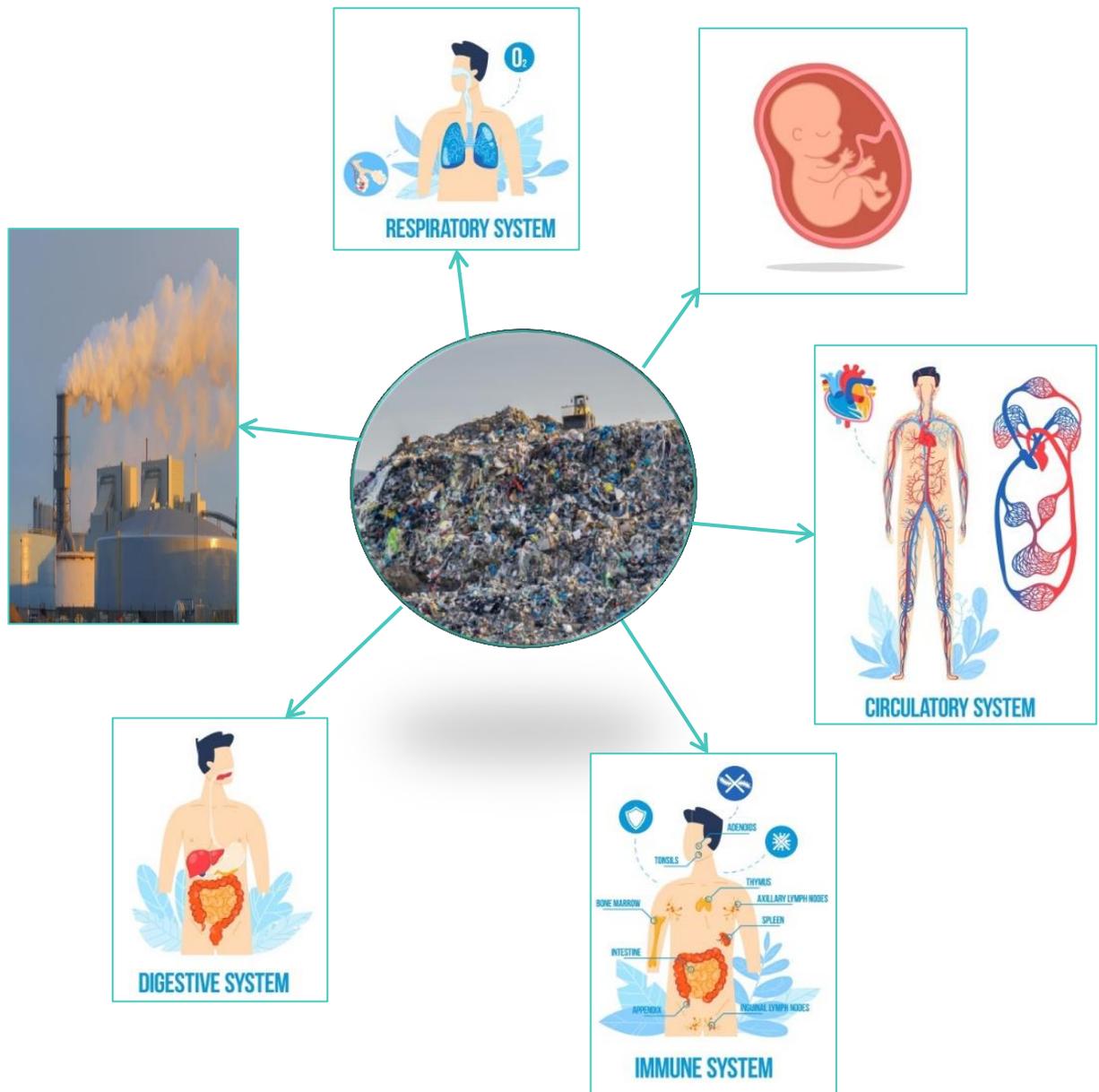
Sin embargo, un estudio que evaluó los efectos que provocó el incendio de un vertedero sobre el desarrollo fetal y los eventos al nacer identificó un número significativo de partos pretérmino (por debajo de las 32 semanas de gestación y un muy bajo peso al nacer, por debajo del kilo y medio) en los fetos cuyas madres estuvieron expuestas al incendio.

Además se encontró un incremento del riesgo no significativo de presentar un pequeño tamaño al nacer y de aborto que debería abordarse en profundidad en futuros estudios (252).

Potencial asociación a parto pretérmino

Potencial asociación con poco tamaño al nacer

Potencial asociación con abortos



## INSTALACIONES DE COMPOSTAJE

La mayoría de los estudios que evalúan efectos en salud son de exposición ocupacional que no entran dentro de los objetivos de este trabajo (253).

Sólo un estudio encontró un pequeño incremento no significativo en la admisión hospitalaria por enfermedad en población residente en un área próxima a un centro de compostaje (254-256).

Sin embargo, tal y como se ha explicado en el capítulo 3, se ha asociado la presencia de estas instalaciones con diferentes agentes, físicos, químicos y biológicos, que pueden provocar efectos negativos en salud y deben analizarse en futuros estudios (253,257-259).

Potencial asociación con el aumento de admisión hospitalaria

# CAPÍTULO 5: Conclusiones y futuros pasos





En este trabajo no se contemplan los efectos en salud descritos en evidencia científica sobre residuos considerados peligrosos por la legislación vigente, Subproductos de Animales No Destinados a Consumo Humano (SANDACH), ni los generados debidos a una exposición ocupacional. Tampoco se han abordado en profundidad las cuestiones referidas al tratamiento de aguas residuales, los residuos generados por dicho tratamiento ni los residuos agropecuarios.

El objetivo ha sido reunir la evidencia científica que existe hasta la fecha sobre potenciales efectos en salud generados por la exposición a las distintas fracciones que componen los RM y algunas otras fracciones que pueden impactar sobre la población general. Para ello, se ha priorizado la evidencia que relacionaba directamente cada fracción de residuo con el efecto, sin desarrollar efectos indirectos que pudieran estar asociados con la exposición a residuos (ej. la relación de los residuos con el cambio climático y el efecto de éste sobre la salud). Por todo ello, podemos adelantar que la carga de enfermedad total asociada a la exposición de la población a los residuos es mucho mayor de lo que hasta ahora se ha podido constatar.

En cuanto a los resultados obtenidos, se han identificado varios problemas transversales en la caracterización de los posibles impactos en la salud de las distintas fracciones de residuos, principalmente:

Falta de estudios homogéneos

Diferentes vías de gestión

Definiciones de exposición

Necesidad de dotación de recursos para el control de prácticas ilegales

Necesidad de generación de evidencia más robusta

Se trata de un tema complejo que requiere de abordajes más innovadores y de la aplicación de metodologías diversas pero complementarias. Además, hasta la fecha la evaluación de impacto de muchas de las fracciones existentes sólo se ha realizado sobre el medio ambiente. Análisis completos de los ciclos de vida y del consumo de ciertos productos podrían disminuir la carga de contaminación ya que industrias como las de hidrocarburos, textil o papel producen un mayor impacto durante la etapa de fabricación que como residuo.

Pese a los problemas encontrados el trabajo realizado evidencia el potencial tóxico de las fracciones analizadas así como las inequidades sanitarias, sociales y ambientales derivadas de la, en muchos casos desigual, exposición a estos residuos, en especial aquellas que afectan a poblaciones vulnerables. Durante la revisión de la literatura científica se ha podido describir una mayor afección a mujeres embarazadas, fetos, neonatos y niños en edad de desarrollo. Esto hace que los residuos generen efectos desiguales no sólo a nivel de desarrollo económico sino también en la población más sensible y en perspectiva de género. Estas cuestiones pueden resultar claves para la identificación de futuros pasos a seguir y retos a plantear tanto en la caracterización de los impactos en salud derivados de los residuos

como de su remediación, monitorización y control.

La complejidad encontrada en los RAEE y los RM, aun siendo el conjunto de residuos con mayor cantidad de evidencia, nos permite ejemplificar muchos de los retos de aproximaciones a los que la evaluación de impacto en salud humana de los residuos se tiene que enfrentar, entre ellos, el efecto de multiexposición que poseen los RM por su propia naturaleza, la dificultad para caracterizar adecuadamente la exposición o la falta de datos ampliamente disponibles, especialmente sobre ubicación y caracterización de posibles puntos de vertido no controlado.



En el caso de los RAEE, la gran mayoría de los estudios incluidos en esta revisión tienen problemas de potencia estadística y diseño del estudio.

Los diseños son mayoritariamente ecológicos, no pudiendo inferir una causalidad ni una relación con los efectos sobre el individuo en las áreas expuestas. En cuanto a los efectos en salud de las instalaciones de eliminación de RM

tienen una evidencia limitada, mostrando, en muchos casos, resultados contradictorios.

Tradicionalmente, se ha utilizado como medida de exposición de la carga contaminante de las instalaciones de eliminación de residuos la distancia a los mismos. En este sentido, la OMS considera que la población vulnerable a los efectos de las instalaciones de tratamiento y eliminación de residuos en un radio de 2 Km alrededor de ellas (9). Para subsanar las muchas limitaciones que supone utilizar la distancia como medida de la exposición, los estudios más recientes están introduciendo mecanismos de modelización de la dispersión de los contaminantes desde el foco emisor, para ajustar el dato de exposición de residencia de las personas de la población afectada. La introducción de estas técnicas ha generado resultados más precisos con propuestas específicas en intervenciones y políticas de protección.

Tal como se ha visto a lo largo del trabajo, la vía de exposición más estudiada hasta ahora para evaluar los efectos en salud ha sido la vía inhalatoria. Sin embargo, otras vías de exposición como la ingestión o el contacto dermal deben evaluarse para tener una buena caracterización de los impactos en salud.

En cuanto a la evolución en las técnicas de tratamiento y eliminación de residuos, y su posible repercusión en la salud humana, los estudios que abordan los impactos en salud de las incineradoras de tercera generación y los compostajes deben ser abordados en futuros estudios. Por otra parte, el desarrollo de nuevas metodologías que permitan evaluar cambios en tendencias, como estudios de cohorte o de evaluación de costo-eficiencia de sistemas de monitorización pueden aportar nuevas ideas clave para la protección de la población general.

por otra parte, la mejora en la recogida de información de salud, con registro y seguimiento de casos de morbi/mortalidad relacionados según la evidencia científica con ciertos tipos de tóxicos presentes en los residuos tratados en zonas próximas a una población, en lo que viene a ser una vigilancia epidemiológica ajustada a este tipo de problemática, permitiría hacer un seguimiento y mejorar asimismo las estimaciones de riesgo en estudios longitudinales que se planteen en el futuro.

***Tradicionalmente, se ha utilizado como medida la distancia a las instalaciones de tratamiento y eliminación de residuos. La introducción de nuevas metodologías nos permitiría obtener resultados***

Otro de los retos es la generación de evidencia científica más robusta. La caracterización de la composición de las distintas fracciones de residuo viene determinada por los ciclos de generación. Además, la composición de los residuos puede verse modificada con el paso del tiempo. Esto puede darse en objetos en donde se den procesos físico-químicos como pilas y baterías, RAEE o aceites industriales. La inclusión en estudios futuros de las modificaciones en la composición de este tipo de productos que darán lugar a residuos condicionados por los ciclos de vida productivos, pueden ayudar en la selección de contaminantes relevantes en salud pública asociados en cada momento del ciclo, sobre los que centrar la caracterización del impacto en la salud.

Algunos de los residuos identificados en este trabajo son conjuntos de fracciones. Esta relación se observa claramente en los llamados

“Residuos Municipales” pero esta pluralidad se observa en otras fracciones como los Vehículos al Final de su Vida Útil y los medicamentos. En el caso de los Vehículos al Final de su Vida Útil su gestión se realiza a través de Centros Autorizados de Tratamiento, donde se lleva a cabo la tarea de separar las fracciones (plástico, baterías, aceites industriales, NFU, RAEEs, etc) que tienen su propia caracterización de impacto en salud.

Por otro lado, tenemos también la fracción de residuos sanitarios. En este trabajo se ha expuesto la necesidad del desarrollo de un marco legislativo estatal que aúne la clasificación de estos residuos y permita generar un marco de gestión que garantice la minimización del riesgo de impactos en la salud.

***Gracias a la identificación y descripción de los retos se han identificado acciones que podrían disminuir el impacto de los residuos en la población general***

Además, se debe tener especial interés en buscar interacciones no sólo con respecto a la composición de los RM o RAEE sino también desde el punto de vista de los determinantes sociales en salud. Aspectos como el ajuste de los resultados por el nivel socioeconómico del área o de los participantes en una monitorización puede darnos valores más ajustados y con menos sesgos, ya que las personas que viven más cerca de estas instalaciones suelen tener un perfil

sociodemográfico bajo, incrementando su carga de enfermedad por otras vías (tabaco, alcoholismo, baja adherencia a dieta mediterránea, bajo desarrollo del ejercicio físico, baja accesibilidad al sistema de salud, etc.). Para ello sería preciso mejorar el acceso a información desagregada a nivel censal de datos socioeconómicos básicos, algo que no es posible en todas las regiones.

Esto es especialmente sensible en el caso de las incineradoras ya que las Mejores Técnicas Disponibles responsables del descenso en la carga del impacto en salud de estas instalaciones no son accesibles debido al coste de su implementación, lo que hace que países en vías de desarrollo o subdesarrollados las incineradoras sigan siendo de primera o segunda generación. En el caso de Europa, no se ha encontrado mayor problema en la aplicación de la legislación vigente, que garantiza la implantación de las Mejores Técnicas Disponibles. Sin embargo, se siguen realizando actividades ilegales alrededor de la gestión de la basura, como vertederos ilegales o quemas incontroladas de residuos, que suelen situarse en zonas altamente deprimidas.

Estas desigualdades sociales e injusticias ambientales hacen que los efectos en salud derivadas de estas exposiciones sean también desiguales por lo que se deben tener en cuenta a la hora de generar intervenciones decisivas que las minimicen. A partir de estos retos se deberían proponer acciones diferenciadas dirigidas a la población general, los profesionales de la salud, la investigación y las empresas.

|                      |  |
|----------------------|--|
| <b>Ciudadanos</b>    | <p>Diseñar e implementar estrategias público-privadas de comunicación y educación para la salud a las que se informe de las bases de la economía circular y sobre la necesidad de llevar a cabo una correcta segregación y eliminación de los residuos, especialmente de los domésticos y RAEE, para minimizar los impactos negativos a corto y largo plazo.</p> <p>Elaborar materiales informativos sobre riesgos para la salud en relación a los residuos domésticos o de uso común, dirigidos a población.</p> <p>Evaluar las intervenciones de sensibilización</p>   |
| <b>Empresa</b>       | <p>Reforzar la adecuada gestión de residuos</p> <p>Proponer acciones conjuntas público-privadas para priorizar al restauración de espacios contaminados por mala gestión de residuos</p> <p>Normalización y estandarización de las memorias de los gestores de residuos y el método de notificación de las mismas.</p> <p>Evaluar la implantación de planes, políticas y programas que garanticen la minimización de impactos cuya fuente son la actividad industrial</p>  |
| <b>Sanitarios</b>    | <p>Mejorar el diagnóstico de exposición por Amianto y generar un registro de enfermedades relacionadas</p> <p>Identificar efectos en salud preclínicos relacionados con contaminantes presentes en residuos</p> <p>Generar un registro de casos de morbi-mortalidad específicamente relacionados con los compuestos presentes en residuos</p> <p>Evaluar las intervenciones de formación activa de profesionales en salud</p> <p>Identificar un listado de enfermedades prioritarias relacionadas con la exposición a los residuos y a instalaciones de gestión de residuos.</p>   |
| <b>Investigación</b> | <p>Definir un plan nacional de investigación sobre los residuos y sus efectos en la salud</p> <p>Mejora de la caracterización de la exposición humana.</p> <p>Mejorar la definición de modelos de exposición integral, que incorpore la exposición por múltiples rutas y vías de exposición (oral, inhalatoria, dermal)</p> <p>Llevar a cabo estudios epidemiológicos tanto sobre exposición ocupacional como población general</p> <p>Mejorar la recogida y acceso a datos de calidad ambiental de distintos medios potencialmente afectados por acumulación o tratamiento de residuos (aire, suelos, aguas superficiales y subterráneas, alimentos), con caracterización de los peligros más relevantes.</p> |

Por otra parte, y tal y como se ha tratado de describir a lo largo de este documento, es importante tener presente que la acumulación de residuos de distinta naturaleza libera al medio ambiente múltiples compuestos, los cuales pese a encontrarse concentraciones muy bajas, pueden interaccionar entre sí generando efectos nocivos en la salud que no se pueden identificar a través de aproximaciones en donde la medición de exposición es la distancia a la fuente contaminante. Además, existe un paradigma en relación a los nuevos químicos. Se estima que se generan más de 40.000 compuestos químicos nuevos anuales de los cuales sus efectos en salud son minoritariamente evaluados.

En línea con los residuos que necesitan una caracterización del impacto más profunda, se encuentran aquellos cuyos efectos se han analizado únicamente tras eventos y accidentes puntuales o sobreexposición a entornos contaminados en el pasado con escasa monitorización. Entre los episodios más destacables que han ocurrido en España podemos señalar el relacionado con el incendio del acopio de NFU localizado en Seseña durante 2016 y mencionado en el capítulo 3. Otro episodio relacionados con la actividad industrial es el accidente de Aznalcóllar, en donde una balsa de escorias fruto de la industria minera colapsó, contaminando las aguas y el suelo de metales pesados.

Ninguno de los estudios plantea el impacto que genera un residuo por el hecho de ocupar un espacio, ya sea en la vía pública, en ecosistemas acuáticos o terrestres. Esta aproximación se realiza con gran frecuencia en los estudios de evaluación de impacto ambiental e incluirla como posible impacto en la salud de las personas a nivel psicosocial

podría ayudar a entender mejor el papel de los residuos en el día a día de la gente e identificar los desafíos que tenemos que enfrentar para reducir su generación y mejorar su gestión (ej. residuos de gran volumen no pueden ser transportados por todos los ciudadanos; los residuos que ocupan un espacio en la vía pública generan una baja percepción del barrio; pueden resultar en barreras para el desplazamiento de algunos ciudadanos, etc).

***Muchos de los ciclos de vida de los residuos tienen ámbito geográfico mundial. Normalmente generando externalización de los impactos negativos hacia países subdesarrollados o en vías de desarrollo.***

Por último, ciertos ciclos de vida de los residuos abordados tienen un ámbito geográfico mundial. Muchos de los productos catalogados como residuos son externalizados, bien como producto de segunda mano bien como residuo para su gestión en el país receptor. Esto también ocurre con los procesos industriales más contaminantes como los de la industria textil, donde el proceso de fabricación se lleva a cabo fuera del país en donde ese producto se consume(260-262). En ambos casos se da un marco de injusticia ambiental en donde se dan externalizaciones de impactos en la salud poblacional normalmente en países en vías de desarrollo o subdesarrollados.

# BIBLIOGRAFÍA

1. Parlamento Europeo. Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de noviembre de 2008 sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas. 2008.
2. Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular. BOE de 4/9/2022.
3. Eurostat. Waste statistics-Data extracted in June 2019 [Internet]. 2019. Disponible en: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics)
4. Eurostat. Waste management indicators-Data extracted November 2019 [Internet]. 2019. Disponible en: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste\\_management\\_indicators&oldid=461870](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_management_indicators&oldid=461870)
5. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos (PEMAR). Madrid; 2015.
6. Eurostat. Municipal waste statistics-data extracted June 2019 [Internet]. 2019. Disponible en: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Municipal\\_waste\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Municipal_waste_statistics)
7. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Resolución de 20 de diciembre de 2013, de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural, por la que se publica el Acuerdo del consejo de ministros de 13 de diciembre de 2013, por el que se aprueba el programa Estatal de Prevención. Boletín Oficial del Estado 2014.
8. ECOEMBES. Resultados del Reciclaje 2019. 2020.
9. World Health Organization. Waste and human health: Evidence and needs. World Health Organization, regional office for Europe. Bonn, Germany: World Health Organization; 2015.
10. De La Barrera B, Hooda PS. Greenhouse gas emissions of waste management processes and options: A case study. Waste Manag Res. 2016;34(7):658-65.
11. Eurostat. Greenhouse gas emission statistics-emission inventories [Internet]. 2019. Disponible en: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Greenhouse\\_gas\\_emission\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Greenhouse_gas_emission_statistics)
12. Espino Penilla M, Koot Y. Nuestro mundo cubierto de plástico: de la movilidad global del plástico a las consecuencias y respuestas locales. Inf Científicos Técnicos-UNPA. 2020;12(4):146-60.
13. Eurostat. Packaging waste statistics-Statistics Explained [Internet]. 2019. Disponible en: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Packaging\\_waste\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Packaging_waste_statistics)
14. Baldacci S, Gorini F, Santoro M, Pierini A, Minichilli F, Bianchi F. Environmental and individual exposure and the risk of congenital anomalies: A review of recent epidemiological evidence. Epidemiol Prev. 2018;42(2-3):1-34.
15. Chae Y, An YJ. Current research trends on plastic pollution and ecological impacts on the soil ecosystem: A review. Vol. 240, Environmental Pollution. 2018. p. 387-95.
16. Hwang J, Choi D, Han S, Choi J, Hong J. An assessment of the toxicity of polypropylene microplastics in human derived cells. Sci Total Environ. 2019;684:657-69.
17. Candela S, Bonvicini L, Ranzi A, Baldacchini F, Broccoli S, Cordioli M, et al. Exposure to emissions from municipal solid waste incinerators and miscarriages: a multisite study of the MONITER Project. Environ Int. 2015;78:51-60.

18. Vaccari M, Vinti G, Cesaro A, Belgiorno V, Salhofer S, Dias MI, et al. WEEE Treatment in Developing Countries: Environmental Pollution and Health Consequences-An Overview. *Int J Environ Res Public Health*. 2019;16(9).
19. Comisión Europea. Hoja de ruta hacia una Europa eficiente en el uso de los recursos. 2011.
20. Diario Oficial de la Unión Europea. Directiva (UE) 2018/851 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifica la Directiva 2008/98/CE sobre los residuos. 2018.
21. Parlamento Europeo. Directiva (UE) 2018/852 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifica la Directiva 94/62/CE relativa a los envases y residuos de envases. *Diario Oficial de la Unión Europea* 2018.
22. Diario Oficial de la Unión Europea. Directiva (UE) 2018/849 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifican la Directiva 2000/53/CE relativa a los vehículos al final de su vida útil, la Directiva 2006/66/CE relativa a las pilas y acumuladores y a los residuos de pilas y acumuladores y la Directiva 2012/19/UE sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. 2018.
23. Unión Europea. Directiva (UE) 2018/850 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifica la Directiva 1999/31/CE relativa al vertido de residuos. 2018.
24. Diario Oficial de la Unión Europea. Directiva (UE) 2019/904 del Parlamento Europeo y del Consejo de 5 de junio de 2019 relativa a la reducción del impacto de determinados productos de plástico en el medio ambiente. 2019.
25. Ley 22/2011, de 28 de julio, de Residuos y suelos contaminados. *Boletín Oficial del Estado* de 29/7/2011.
26. Real Decreto 293/2018, de 18 de mayo, sobre reducción del consumo de bolsas de plástico y por el que se crea el Registro de Productores. *Boletín Oficial del Estado* de 19/5/2018.
27. Real Decreto 553/2020, de 2 de junio, por el que se regula el traslado de residuos en el interior del territorio del Estado. *Boletín Oficial del Estado* de 19/6/2020.
28. Real Decreto 646/2020, de 7 de julio, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero. *Boletín Oficial del Estado* de 8/7/2020.
29. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Ministerio de Ciencia e Innovación, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Ministerio de Industria, Comercio y Turismo, Ministerio de Consumo, et al. *Estrategia Española de Economía Circular 2030*. 2020.
30. Ardolino F, Parrillo F, Arena U. Biowaste-to-biomethane or biowaste-to-energy? An LCA study on anaerobic digestion of organic waste. *J Clean Prod*. 2018;174:462-76.
31. Furukawa M, Misawa N, Moore JE. Recycling of domestic food waste: Does food waste composting carry risk from total antimicrobial resistance (AMR)? *Br Food J*. 2018;120(11):2710-5.
32. Forsyth AJM, Davidson N. The nature and extent of illegal drug and alcohol-related litter in Scottish social housing community: A photographic investigation. *Addict Res Theory*. 2010;18(1):71-83.
33. Skogan WG. *Disorder and Decline: Crime and the Spiral of Decay in American Neighborhoods*. Free Press. New York; 1990.
34. Roper S, Parker C. How (and Where) The Mighty Have Fallen: Branded Litter. *J Mark Manag*. 2006;22(5-6):473-87.
35. Pivnenko K, Olsson ME, Götze R, Eriksson E, Astrup TF. Quantification of chemical contaminants in the paper and

- board fractions of municipal solid waste. *Waste Manag.* 2016;51:43-54.
36. Catalin Puitel Gheorghe Asachi A, Gavrilesco D, Catalin Puitel A, Dutuc G, Craciun G. Environmental impact of pulp and paper mills. *Environ Eng Manag J.* 2012;11(1):81-5.
  37. Augustsson A, Åström M, Bergbäck B, Elert M, Höglund LO, Kleja DB. High metal reactivity and environmental risks at a site contaminated by glass waste. *Chemosphere.* 2016;154:434-43.
  38. Hagner M, Romantschuk M, Penttinen OP, Egfors A, Marchand C, Augustsson A. Assessing toxicity of metal contaminated soil from glassworks sites with a battery of biotests. *Sci Total Environ.* 2018;613-614:30-8.
  39. Mutafela RN, Marques M, Jani Y, Kriipsalu M, Hogland W. Physico-chemical characteristics of fine fraction materials from an old crystal glass dumpsite in Sweden. *Chem Ecol.* 2019;35(9):877-90.
  40. Vellini M, Savioli M. Energy and environmental analysis of glass container production and recycling. *Energy.* 2009;34(12):2137-43.
  41. Real Decreto 110/2015, de 20 de febrero, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. *Boletín Oficial del Estado* de 21/2/2015.
  42. Grant K, Goldizen FCFC, Sly PDPD, Brune M-NM-N, Neira M, van den Berg M, et al. Health consequences of exposure to e-waste: a systematic review. *Lancet Glob Heal.* 2013;1(6):e350-61.
  43. Akram R, Natasha, Fahad S, Hashmi MZMZ, Wahid A, Adnan M, et al. Trends of electronic waste pollution and its impact on the global environment and ecosystem. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2019;26(17):16923-38.
  44. Pascuas Rengifo Y, Correa Cruz L, Marlés Betancourt C. Residuos electrónicos: análisis de las implicaciones socioambientales y alternativas frente al metabolismo urbano. *Ciencia, Docencia y Tecnol.* 2018;29(56):242-52.
  45. European Court of Auditors. EU actions and existing challenges on electronic waste. 2021.
  46. Real Decreto 106/2008, de 1 de febrero, sobre pilas y acumuladores y la gestión ambiental de sus residuos. *Boletín Oficial del Estado* de 12/2/2008.
  47. Afolayan AO. Accumulation of Heavy Metals from Battery Waste in Topsoil, Surface Water, and Garden Grown Maize at Omilende Area, Olodo, Nigeria. *Glob Challenges.* 2018;2(3):1700090.
  48. Zhang J, Chen C, Zhang X, Liu S. Study on the Environmental Risk Assessment of Lead-Acid Batteries. *Procedia Environ Sci.* 2016;31:873-9.
  49. Harper M, Pacolay B, Hintz P, Andrew ME. A comparison of portable XRF and ICP-OES analysis for lead on air filter samples from a lead ore concentrator mill and a lead-acid battery recycler. *J Environ Monit.* 2006;8(3):384-92.
  50. Obeng-Gyasi E. Sources of lead exposure in various countries. *Rev Environ Health.* 2019;34(1):25-34.
  51. Awere E, Obeng PAA, Bonoli A, Obeng PAA. E-waste recycling and public exposure to organic compounds in developing countries: a review of recycling practices and toxicity levels in Ghana. *Environ Technol Rev.* 2020;9(1):1-19.
  52. Barahona Gaete MLN. Análisis del Fast Fashion como generador de patrones de consumo insostenibles (Monografía). Fundación Universidad de América. 2018.
  53. Khan S, Malik A. Environmental and health effects of textile industry wastewater. In: *Environmental Deterioration and Human Health: Natural and Anthropogenic Determinants.* Springer Netherlands; 2014. p. 55-71.
  54. Akhtar MF, Ashraf M, Javeed A, Anjum

- AA, Sharif A, Saleem M, et al. Association of textile industry effluent with mutagenicity and its toxic health implications upon acute and sub-chronic exposure. *Environ Monit Assess.* 2018;190(3):179.
55. Sieja K, von Mach-Szczypiński J, von Mach-Szczypiński J. Health effect of chronic exposure to carbon disulfide (CS<sub>2</sub>) on women employed in viscose industry. *Med Pr.* 2018;69(3):317-23.
56. Bick R, Halsey E, Ekenga CC. The global environmental injustice of fast fashion. *Environ Health.* 2018;17(1):92.
57. Hinson AV, Lokossou VK, Schlünssen V, Agodokpessi G, Sigsgaard T, Fayomi B. Cotton Dust Exposure and Respiratory Disorders among Textile Workers at a Textile Company in the Southern Part of Benin. 2016;
58. Ley 29/2006, de Garantías y Uso Racional del Medicamento y Productos Sanitarios. *Boletín Oficial del Estado de 27/7/2006.*
59. Fouz N, Pangesti KNA, Yasir M, Al-Malki AL, Azhar EI, Hill-Cawthorne GA, et al. The Contribution of Wastewater to the Transmission of Antimicrobial Resistance in the Environment: Implications of Mass Gathering Settings. *Trop Med Infect Dis.* 2020;5(1).
60. Alexander J, Hembach N, Schwartz T. Evaluation of antibiotic resistance dissemination by wastewater treatment plant effluents with different catchment areas in Germany. *Sci Reports* 2020 101. 2020;10(1):1-9.
61. Uluseker C, Kaster KM, Thorsen K, Basiry D, Shobana S, Jain M, et al. A Review on Occurrence and Spread of Antibiotic Resistance in Wastewaters and in Wastewater Treatment Plants: Mechanisms and Perspectives. *Front Microbiol* [Internet]. 2021 Oct 11 [cited 2022 Jan 18];12. Disponible en:/pmc/articles/PMC8542863/
62. AEMPS. Plan estratégico y de acción para reducir el riesgo de selección y diseminación de la resistencia a los anti bióticos. Agencia Española de Medicamentos y Productos Sanitarios, 2015.
63. González-Pleiter M, Gonzalo S, Rodea-Palomares I, Leganés F, Rosal R, Boltes K, et al. Toxicity of five antibiotics and their mixtures towards photosynthetic aquatic organisms: Implications for environmental risk assessment. *Water Res.* 2013;47(6):2050-64.
64. Diario Oficial de la Unión Europea. Directiva 2004/27/CE del parlamento europeo y del consejo de 31 de marzo de 2004 que modifica la Directiva 2001/83/CE por la que se establece un código comunitario sobre medicamentos de uso humano.
65. Real Decreto 1345/2007, de 11 de octubre, por el que se regula el procedimiento de autorización, registro y condiciones de dispensación de los medicamentos de uso humano fabricados industrialmente. *Boletín Oficial del Estado de 7/11/2007.*
66. European Environment Agency. Pharmaceuticals in the environment Results of an EEA workshop. 2010.
67. Vollmer G. Disposal of Pharmaceutical Waste in Households-A European Survey. *Green Sustain Pharm.* 2010;165-78.
68. SIGRE. Memoria de sostenibilidad 2018. 2018.
69. Manyi-Loh C, Mamphweli S, Meyer E, Okoh A. Antibiotic Use in Agriculture and Its Consequential Resistance in Environmental Sources: Potential Public Health Implications. *Mol A J Synth Chem Nat Prod Chem.* 2018;23(4).
70. European Commission. Horizon Europe Strategic Plan (2021-2024).
71. Insa E, Zamorano M, López R. Critical review of medical waste legislation in Spain. *Resour Conserv Recycl.* 2010;54(12):1048-59.
72. World Health Organization. Health-care waste. 2018.

73. Decreto 2263/1974, de 20 de julio, por el que se aprueba el reglamento de policia sanitaria mortuoria. Boletín Oficial del Estado de 17/8/1974.
74. de Miguel Moro JI, Dorado Fernández E, Cáceres Monllor DA, Carrillo Rodríguez MF. Normativa comparada sobre prácticas sanitarias de conservación cadavérica en España. *Rev Esp Salud Publica*. 2020;
75. Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico. Residuos Sanitarios. 2021.
76. Chung JW, Meltzer DO. Estimate of the Carbon Footprint of the US Health Care Sector. *JAMA*. 2009;302(18):1970-2.
77. Kanisek S, Gmajnić R, Barać I. Risk of Potential Exposure Incident in Non-healthcare Workers in Contact with Infectious and Municipal Waste. *Zdr Varst*. 2018;57(2):65-71.
78. Kure OA. Determination of organic pollutants in hospital wastewater and food samples within Ahmadu Bello University Teaching Hospital. *Pelagia Res Libr Adv Appl Sci Res*. 2012(3):1691-701.
79. Komilis DP. Issues on medical waste management research. *Waste Manag*. 2016;48:1-2.
80. Leite MB, de Araújo MM, Nascimento IA, da Cruz AC, Pereira SA, do Nascimento NC. Toxicity of water-soluble fractions of biodiesel fuels derived from castor oil, palm oil, and waste cooking oil. *Environ Toxicol Chem*. 2011;30(4):893-7.
81. Ortner ME, Müller W, Schneider I, Bockreis A. Environmental assessment of three different utilization paths of waste cooking oil from households. *Resour Conserv Recycl*. 2016;106:59-67.
82. Park D-U, Colt JS, Baris D, Schwenn M, Karagas MR, Armenti KR, et al. Estimation of the probability of exposure to metalworking fluids in a population-based case-control study. *J Occup Environ Hyg*. 2017;176(3):139-48.
83. Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. Boletín Oficial del Estado de 21/2/2003.
84. Parlamento Europeo. Directiva 94/62/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 20 de diciembre de 1994, relativa a los envases y residuos de envases. Diario Oficial Parlamento Europeo.
85. Center for International Environmental Law. El plástico y la salud: los costos ocultos de un planeta plástico. 2013.
86. Rhodes CJ. Plastic pollution and potential solutions. *Sci Prog*. 2018;101(3):207-60.
87. Karbalaeei S, Hanachi P, Walker TR, Cole M. Occurrence, sources, human health impacts and mitigation of microplastic pollution. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2018;25(36):36046-63.
88. EFSA Panel on Contaminants in the Food chain. Presence of microplastics and nanoplastics in food, with particular focus on seafood. Vol. 14, *EFSA Journal*. 2016.
89. Fao. Microplastics in fisheries and aquaculture Status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organisms and food safety.
90. Horner JM. Environmental health implications of heavy metal pollution from car tires. *Rev Environ Health*. 1996;11(4).
91. Adamiec E, Jarosz-Krzemińska E, Wieszała R. Heavy metals from non-exhaust vehicle emissions in urban and motorway road dusts. *Environ Monit Assess*. 2016;188(6):1-11.
92. Adeyi AA, Oladoye PO. Assessment of heavy metals in simulated leachates and the ashes of end-of-life tyres. *Int J Environ Waste Manag*. 2020;25(4):474.
93. He Z, Li G, Chen J, Huang Y, An T, Zhang C. Pollution characteristics and health risk assessment of volatile organic

- compounds emitted from different plastic solid waste recycling workshops. *Environ Int.* 2015;77:85-94.
94. Dahmana H, Mediannikov O. Mosquito-Borne Diseases Emergence/Resurgence and How to Effectively Control It Biologically. *Pathogens.* 2020;9(4):310.
  95. Centro de Coordinación de Alertas y Emergencias Sanitarias. Plan Nacional de preparación y respuesta frente a enfermedades transmitidas por vectores. Parte I: Dengue, Chikungunya y Zika. Madrid; 2016.
  96. Rovira J, Domínguez-Morueco N, Nadal M, Schuhmacher M, Domingo JL. Temporal trend in the levels of polycyclic aromatic hydrocarbons emitted in a big tire landfill fire in Spain: Risk assessment for human health. *J Environ Sci Heal.* 2018;53(3):222-9.
  97. Redondo-Hasselerharm PE, De Ruijter VN, Mintenig SM, Verschoor A, Koelmans AA. Ingestion and Chronic Effects of Car Tire Tread Particles on Freshwater Benthic Macroinvertebrates. *Environ Sci Technol.* 2018;52(23):13986-94.
  98. Real Decreto 265/2021, de 13 de abril, sobre los vehículos al final de su vida útil y por el que se modifica el Reglamento General de Vehículos, aprobado por el Real Decreto 2822/1998, de 23 de diciembre. 2021. Boletín Oficial del Estado de 14/4/2021.
  99. Gallen C, Drage D, Eaglesham G, Grant S, Bowman M, Mueller JF. Australia-wide assessment of perfluoroalkyl substances (PFASs) in landfill leachates. *J Hazard Mater.* 2017;331:132-41.
  100. Ministerio de Sanidad Bienestar y Consumo. Evaluación del programa de vigilancia de la salud de los trabajadores expuestos al amianto. 2018.
  101. Ministerio de Sanidad SS e I. Protocolos de vigilancia sanitaria específica Amianto. 2013.
  102. Cook E, Velis C. Construction and demolition waste management: A systematic review of risks to occupational and public health. *engrXiv;* 2020.
  103. Oliveira MLS, Izquierdo M, Querol X, Lieberman RN, Saikia BK, Silva LFO. Nanoparticles from construction wastes: A problem to health and the environment. *J Clean Prod.* 2019;219:236-43.
  104. Kazemi-Moghaddam V, Dehghani R, Hadei M, Dehqan S, Sedaghat MM, Latifi M, et al. Rodent-borne and rodent-related diseases in Iran. *Comp Clin Pathol* 2018 284. 2018;28(4):893-905.
  105. Neitzel RL, Sayler SK, Demond AH, D'Arcy H, Garabrant DH, Franzblau A. Measurement of asbestos emissions associated with demolition of abandoned residential dwellings. *Sci Total Environ.* 2020;722:137891.
  106. Fazzo L, Minichilli F, Santoro M, Ceccarini A, Della Seta M, Bianchi F, et al. Hazardous waste and health impact: a systematic review of the scientific literature. *Environ Health.* 2017;16(1):107.
  107. Aleer S, Adetutu EM, Makadia TH, Patil S, Ball AS. Harnessing the hydrocarbon-degrading potential of contaminated soils for the bioremediation of waste engine oil. *Water Air Soil Pollut.* 2011;218(1-4):121-30.
  108. Gorostiza S, Saurí D. Naturalizing pollution: A critical social science view on the link between potash mining and salinization in the Llobregat river basin, northeast Spain. *Philos Trans R Soc B Biol Sci.* 2019;374(1764).
  109. Álvarez R, Ordóñez A, Pérez A, De Miguel E, Charlesworth S. Mineralogical and environmental features of the asturian copper mining district (Spain): A review. *Eng Geol.* 2018;243:206-17.
  110. Sánchez Bisquert D, Matías Peñas Castejón J, García Fernández G. The impact of atmospheric dust deposition

- and trace elements levels on the villages surrounding the former mining areas in a semi-arid environment (SE Spain). *Atmos Environ*. 2017;152:256-69.
111. Garcia-Ordiales E, Higuera P, Esbrí JM, Roqueñí N, Loredó J. Seasonal and spatial distribution of mercury in stream sediments from almadén mining district. *Geochemistry Explor Environ Anal*. 2018;19(2):121-8.
  112. Arenas JM, Carrero G, Galache J, Mediavilla C, Silgado A, Vázquez EM. Actuaciones realizadas tras el accidente de Aznalcóllar. *Boletín Geológico y Min*. 2001;Especial:35-56.
  113. Fuentes I, Márquez-Ferrando R, Pleguezuelos JM, Sanpera C, Santos X. Long-term trace element assessment after a mine spill: Pollution persistence and bioaccumulation in the trophic web. *Environ Pollut*. 2020;267:115406.
  114. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Gestión de biorresiduos de competencia municipal. 2012.
  115. Ley 22/2011, de 28 de julio, de Residuos y suelos contaminados. *Boletín Oficial del Estado* de 29/7/2011.
  116. Rushton L. Health hazards and waste management. *Br Med Bull*. 2003;68(1):183-97.
  117. Forastiere F, Badaloni C, De Hoogh K, Von Kraus MK, Martuzzi M, Mitis F, et al. Health impact assessment of waste management facilities in three European countries. *Environ Heal A Glob Access Sci Source*. 2011;10(1).
  118. Martín-Olmedo P, Ranzi A, Santoro M, Dack S, De Hoogh K, Martuzzi M, et al. Methods and data needs to assess health impacts of chemicals in industrial contaminated sites. *Epidemiol Prev*. 2019;43(4):223-37.
  119. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Mejores Técnicas Disponibles de referencia europea para Incineración de Residuos. Madrid; 2011.
  120. Mattiello A, Chiodini P, Bianco E, Forgione N, Flammia I, Gallo C, et al. Health effects associated with the disposal of solid waste in landfills and incinerators in populations living in surrounding areas: A systematic review. *Int J Public Health*. 2013;58(5):725-35.
  121. Diario Oficial de la Unión Europea. Directiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 24 de noviembre de 2010 sobre emisiones industriales (prevención y control integrados de la contaminación). 2010.
  122. Quesada-Ruiz LC, Rodríguez-Galiano V, Jordá-Borrell R. Characterization and mapping of illegal landfill potential occurrence in the Canary Islands. *Waste Manag*. 2019;85:506-18.
  123. Tribunal de Justicia Europeo. Sentencia del Tribunal de justicia de 15 marzo 2017. 2017.
  124. Wu C, Liu J, Liu S, Li W, Yan L, Shu M, et al. Assessment of the health risks and odor concentration of volatile compounds from a municipal solid waste landfill in China. *Chemosphere*. 2018;202:1-8.
  125. Giusti L. A review of waste management practices and their impact on human health. *Waste Manag*. 2009;29(8):2227-39.
  126. Yu Y, Yu Z, Sun P, Lin B, Li L, Wang Z, et al. Effects of ambient air pollution from municipal solid waste landfill on children's non-specific immunity and respiratory health. *Environ Pollut*. 2018;236:382-90.
  127. World Health Organization. Declaration of the Sixth Ministerial Conference on Environment and Health. 2017.
  128. Porta D, Milani S, Lazzarino AI, Perucci CA, Forastiere F. Systematic review of epidemiological studies on health effects associated with management of solid waste. *Environ Heal A Glob Access Sci Source*. 2009;8(1).
  129. Vinti G, Bauza V, Clasen T, Medlicott K, Tudor T, Zurbrügg C, et al. Municipal

- Solid Waste Management and Adverse Health Outcomes: A Systematic Review. *Int J Environ Res Public Heal* 2021, Vol 18, Page 4331. 2021;18(8):4331.
130. Tsatsakis AM, Docea AO, Tsitsimpikou C. New challenges in risk assessment of chemicals when simulating real exposure scenarios; simultaneous multi-chemicals' low dose exposure. *Food Chem Toxicol*. 2016;96:174-6.
  131. Kienzler A, Bopp SK, van der Linden S, Berggren E, Worth A. Regulatory assessment of chemical mixtures: Requirements, current approaches and future perspectives. *Regul Toxicol Pharmacol*. 2016;80:321-34.
  132. Sand S, Lindqvist R, Von Rosen D, Ilback NG. Dose-related severity sequence, and risk-based integration, of chemically induced health effects. *Toxicol Sci*. 2018;165(1):74-89.
  133. Vandenberg LN, Colborn T, Hayes TB, Heindel JJ, Jacobs DR, Lee DH, et al. Hormones and endocrine-disrupting chemicals: Low-dose effects and nonmonotonic dose responses. *Endocr Rev*. 2012;33(3):378-455.
  134. Carpenter DO, Arcaro K, Spink DC. Understanding the human health effects of chemical mixtures. *Environ Health Perspect*. 2002;110(1):25-42.
  135. Hoek G, Ranzi A, Alimehmeti I, Ardeleanu E-R, Arrebola JP, Avila P, et al. A review of exposure assessment methods for epidemiological studies of health effects related to industrially contaminated sites. *Epidemiol Prev*. 2018;42(5-6S1):21-36.
  136. Martin-Olmedo P, Hams R, Santoro M, Ranzi A, Hoek G, De Hoogh K, et al. Environmental and health data needed to develop national surveillance systems in industrially contaminated sites. *Epidemiol Prev*. 2018;42(5-6):11-20.
  137. Nieuwenhuijsen M, Paustenbach D, Duarte-Davidson R. New developments in exposure assessment: the impact on the practice of health risk assessment and epidemiological studies. *Environ Int*. 2006;32(8):996-1009.
  138. National Research Council. *Environmental Epidemiology, Volume 1: Public Health and Hazardous Wastes*. Environmental Epidemiology, Volume 1. National Academies Press; 1991.
  139. Cordioli M, Ranzi A, De Leo G, Lauriola P. A review of exposure assessment methods in epidemiological studies on incinerators. *J Environ Public Health*. 2013;2013.
  140. Pascal M, Pascal L, Bidondo M, Cochet A, Sarter H, Stempfelet M, et al. A review of the epidemiological methods used to investigate the health impacts of air pollution around major industrial areas. *J Environ Public Health*. 2013;2013:73792.
  141. Xu X, Zeng X, Boezen HMM, Huo X. E-waste environmental contamination and harm to public health in China. *Front Med*. 2015;9(2):220-8.
  142. Zhang J, Jiang Y, Zhou J, Wu B, Liang Y, Peng Z, et al. Elevated body burdens of PBDEs, dioxins, and PCBs on thyroid hormone homeostasis at an electronic waste recycling site in China. *Environ Sci Technol*. 2010;44(10):3956-62.
  143. Wang H, Zhang Y, Liu Q, Wang F, Nie J, Qian Y, et al. Examining the relationship between brominated flame retardants (BFR) exposure and changes of thyroid hormone levels around e-waste dismantling sites. *Int J Hyg Environ Health*. 2010;213(5):369-80.
  144. Bi X, Thomas G, Jones K, Qu W, Sheng G, Martin F, et al. Exposure of electronics dismantling workers to polybrominated diphenyl ethers, polychlorinated biphenyls, and organochlorine pesticides in South China. *Environ Sci Technol*. 2007;41(16):5647-53.
  145. Han G, Ding G, Lou X, Wang X, Han J, Shen H, et al. Correlations of PCBs, DIOXIN, and PBDE with TSH in children's blood in areas of computer E-waste

- recycling. *Biomed Environ Sci*. 2011;24(2):112-6.
146. Li Y, Xu X, Wu K, Chen G, Liu J, Chen S, et al. Monitoring of lead load and its effect on neonatal behavioral neurological assessment scores in Guiyu, an electronic waste recycling town in China. *J Environ Monit*. 2008;10(10):1233-8.
  147. Wang X, Miller G, Ding G, Lou X, Cai D, Chen Z, et al. Health risk assessment of lead for children in tinfoil manufacturing and e-waste recycling areas of Zhejiang Province, China. *Sci Total Environ*. 2012;426:106-12.
  148. Sieratowicz A, Stange D, Schulte-Oehlmann U, Oehlmann J. Reproductive toxicity of bisphenol A and cadmium in *Potamopyrgus antipodarum* and modulation of bisphenol A effects by different test temperature. *Environ Pollut*. 2011;159(10):2766-74.
  149. Yang Y, Lu XS, Li DL, Yu YJ. Effects of environmental lead pollution on blood lead and sex hormone levels among occupationally exposed group in an E-waste dismantling area. *Biomed Environ Sci*. 2013;26(6):474-84.
  150. Zhou X, Ju Y, Wu Z, Yang K. Disruption of sex hormones and oxidative homeostasis in parturient women and their matching fetuses at an e-waste recycling site in China. *Int J Occup Environ Health*. 2013;19(1):22-8.
  151. Xu X, Zhang Y, Yekeen TATA, Li Y, Zhuang B, Huo X. Increase male genital diseases morbidity linked to informal electronic waste recycling in Guiyu, China. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2014;21(5):3540-5.
  152. Zheng G, Xu X, Li B, Wu K, Yekeen TA, Huo X. Association between lung function in school children and exposure to three transition metals from an e-waste recycling area. *J Expo Sci Environ Epidemiol*. 2013;23(1):67-72.
  153. Crouch E, Wright J. Surfactant proteins a and d and pulmonary host defense. *Annu Rev Physiol*. 2001;63:521-54.
  154. Li R, Yang Q, Qiu X, Li K, Li G, Zhu P, et al. Reactive oxygen species alteration of immune cells in local residents at an electronic waste recycling site in northern China. *Environ Sci Technol*. 2013;47(7):3344-52.
  155. Biron-Shental T, Sukenik-Halevy R, Sharon Y, Goldberg-Bittman L, Kidron D, Fejgin MD, et al. Short telomeres may play a role in placental dysfunction in preeclampsia and intrauterine growth restriction. *Am J Obstet Gynecol*. 2010;202(4):381.e1-381.e7.
  156. Broberg K, Björk J, Paulsson K, Höglund M, Albin M. Constitutional short telomeres are strong genetic susceptibility markers for bladder cancer. *Carcinogenesis*. 2005;26(7):1263-71.
  157. Liu Q, Cao J, Li KQ, Miao XH, Li G, Fan FY, et al. Chromosomal aberrations and DNA damage in human populations exposed to the processing of electronics waste. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2009;16(3):329-38.
  158. Halliwell B, Whiteman M. Measuring reactive species and oxidative damage in vivo and in cell culture: how should you do it and what do the results mean? *Br J Pharmacol*. 2004;142(2):231-55.
  159. Li Y, Xu X, Liu J, Wu K, Gu C, Shao G, et al. The hazard of chromium exposure to neonates in Guiyu of China. *Sci Total Environ*. 2008;403(1-3):99-104.
  160. Li Y, Li M, Liu Y, Song G, Liu N. A microarray for microRNA profiling in spermatozoa from adult men living in an environmentally polluted site. *Bull Environ Contam Toxicol*. 2012;89(6):1111-4.
  161. Li Y, Huo X, Liu J, Peng L, Li W, Xu X. Assessment of cadmium exposure for neonates in Guiyu, an electronic waste pollution site of China. *Environ Monit Assess*. 2011;177(1-4):343-51.
  162. Zhang Q, Zhou T, Xu X, Guo Y, Zhao Z,

- Zhu M, et al. Downregulation of placental S100P is associated with cadmium exposure in Guiyu, an e-waste recycling town in China. *Sci Total Environ*. 2011;410-411:53-8.
163. Lu W, Zhang Y, Liu D, Songyang Z, Wan M. Telomeres-Structure, Function, and Regulation. *Exp Cell Res*. 2013;319(2):133.
164. Lin S, Huo X, Zhang Q, Fan X, Du L, Xu X, et al. Short placental telomere was associated with cadmium pollution in an electronic waste recycling town in China. *PLoS One*. 2013;8(4):e60815.
165. Akkad A, Hastings R, Konje J, Bell S, Thurston H, Williams B. Telomere length in small-for-gestational-age babies. *BJOG*. 2006;113(3):318-23.
166. Xu X, Yang H, Chen A, Zhou Y, Wu K, Liu J, et al. Birth outcomes related to informal e-waste recycling in Guiyu, China. *Reprod Toxicol*. 2012;33(1):94-8.
167. Wu K, Xu X, Liu J, Guo Y, Li Y, Huo X. Polybrominated diphenyl ethers in umbilical cord blood and relevant factors in neonates from Guiyu, China. *Environ Sci Technol*. 2010;44(2):813-9.
168. Wu K, Xu X, Peng L, Liu J, Guo Y, Huo X. Association between maternal exposure to perfluorooctanoic acid (PFOA) from electronic waste recycling and neonatal health outcomes. *Environ Int*. 2012;48:1-8.
169. Wu K, Xu, XJ L, Guo Y, Huo X. In utero exposure to polychlorinated biphenyls and reduced neonatal physiological development from Guiyu, China. *Ecotoxicol Environ Saf*. 2011;74(8):2141-7.
170. Guo Y, Huo X, Wu K, Liu J, Zhang Y, Xu Y. Carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons in umbilical cord blood of human neonates from Guiyu, China. *Sci Total Environ*. 2012;427-428:35-40.
171. Xu X, Yekeen TA, Xiao Q, Wang Y, Lu F, Huo X. Placental IGF-1 and IGFBP-3 expression correlate with umbilical cord blood PAH and PBDE levels from prenatal exposure to electronic waste. *Environ Pollut*. 2013;182:63-9.
172. Yang H, Huo X, Yekeen TA, Zheng Q, Zheng M, Xu X. Effects of lead and cadmium exposure from electronic waste on child physical growth. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2013;20(7):4441-7.
173. Xu X, Yekeen TATA, Liu J, Zhuang B, Li W, Huo X. Chromium exposure among children from an electronic waste recycling town of China. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2015;22(3):1778-85.
174. Nadal M, Rovira J, Díaz-Ferrero J, Schuhmacher M, Domingo JL. Human exposure to environmental pollutants after a tire landfill fire in Spain: Health risks. *Environ Int*. 2016;97:37-44.
175. Artíñano B, Gómez-Moreno FJ, Díaz E, Amato F, Pandolfi M, Alonso-Blanco E, et al. Outdoor and indoor particle characterization from a large and uncontrolled combustion of a tire landfill. *Sci Total Environ*. 2017 Sep 1;593-594:543-51.
176. Scopetani C, Cincinelli A, Martellini T, Lombardini E, Ciofini A, Fortunati A, et al. Ingested microplastic as a two-way transporter for PBDEs in *Talitrus saltator*. *Environ Res*. 2018;167:411-7.
177. Andrady AL. Microplastics in the marine environment. *Mar Pollut Bull*. 2011;62(8):1596-605.
178. Rillig MC. Microplastic in Terrestrial Ecosystems and the Soil? *Environ Sci Technol*. 2012;46:6453-4.
179. Filho WL, Havea PH, Balogun A-L, Boenecke J, Maharaj AA, Ha'apio M, et al. Plastic debris on Pacific Islands: Ecological and health implications. *Sci Total Environ*. 2019;670:181-7.
180. Anh HQ, Nam VD, Tri TM, Ha NM, Ngoc NT, Mai PTN, et al. Polybrominated diphenyl ethers in plastic products, indoor dust, sediment and fish from informal e-waste recycling sites in Vietnam: a comprehensive assessment of contamination, accumulation pattern, emissions, and human exposure. *Environ Geochem Health*.

- 2017;39(4):935-54.
181. Babayemi J, Sindiku O, Osibanjo O, Weber R. Substance flow analysis of polybrominated diphenyl ethers in plastic from EEE/WEEE in Nigeria in the frame of Stockholm Convention as a basis for policy advice. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2015;22(19):14502-14.
  182. Oloruntoba K, Sindiku O, Osibanjo O, Balan S, Weber R. Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in chicken eggs and cow milk around municipal dumpsites in Abuja, Nigeria. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2019;179:282-9.
  183. Černá K, Wittlingerová Z, Zimová M, Janovský Z. Exposure to airborne fungi during sorting of recyclable plastics in waste treatment facilities. *Med Pr.* 2017;68(1):1-9.
  184. Almeida S, Raposo A, Almeida-González M, Carrascosa C. Bisphenol A: Food Exposure and Impact on Human Health. *Compr Rev Food Sci Food Saf.* 2018;17(6):1503-17.
  185. Sun H, Xu LC, Chen JF, Song L, Wang XR. Effect of bisphenol A, tetrachlorobisphenol A and pentachlorophenol on the transcriptional activities of androgen receptor-mediated reporter gene. *Food Chem Toxicol.* 2006;44(11):1916-21.
  186. Teng C, Goodwin B, Shockley K, Xia M, Huang R, Norris J, et al. Bisphenol A affects androgen receptor function via multiple mechanisms. *Chem Biol Interact.* 2013;203(3):556-64.
  187. Chevrier J, Gunier RB, Bradman A, Holland NT, Calafat AM, Eskenazi B, et al. Maternal urinary bisphenol a during pregnancy and maternal and neonatal thyroid function in the CHAMACOS study. *Environ Health Perspect.* 2013;121(1):138-44.
  188. Indumathi D, Jayashree S, Selvaraj J, Sathish S, Mayilvanan C, Akilavalli N, et al. Effect of bisphenol-A on insulin signal transduction and glucose oxidation in skeletal muscle of adult male albino rat: *Hum Exp Toxicol.* 2013;32(9):960-71.
  189. Batista TM, Alonso-Magdalena P, Vieira E, Amaral MEC, Cederroth CR, Nef S, et al. Short-Term Treatment with Bisphenol-A Leads to Metabolic Abnormalities in Adult Male Mice. *PLoS One.* 2012;7(3):e33814.
  190. Nadal A, Alonso-Magdalena P, Soriano S, Quesada I, Ropero AB. The pancreatic  $\beta$ -cell as a target of estrogens and xenoestrogens: Implications for blood glucose homeostasis and diabetes. *Mol Cell Endocrinol.* 2009;304(1-2):63-8.
  191. Gao X, Wang H-S. Impact of Bisphenol A on the Cardiovascular System — Epidemiological and Experimental Evidence and Molecular Mechanisms. *Int J Environ Res Public Heal* 2014, Vol 11, Pages 8399-8413. 2014;11(8):8399-413.
  192. Posnack NG, Jaimes III R, Asfour H, Swift LM, Wengrowski AM, Sarvazyan N, et al. Bisphenol A Exposure and Cardiac Electrical Conduction in Excised Rat Hearts. *Environ Health Perspect.* 2014;122(4):384-90.
  193. Song H, Zhang T, Yang P, Li M, Yang Y, Wang Y, et al. Low doses of bisphenol A stimulate the proliferation of breast cancer cells via ERK1/2/ERK signals. *Toxicol Vitro.* 2015;30(1):521-8.
  194. Dolinoy DC, Huang D, Jirtle RL. Maternal nutrient supplementation counteracts bisphenol A-induced DNA hypomethylation in early development. *Proc Natl Acad Sci.* 2007;104(32):13056-61.
  195. Maffini M V, Rubin BS, Sonnenschein C, Soto AM. Endocrine disruptors and reproductive health: The case of bisphenol-A. *Mol Cell Endocrinol.* 2006;254-255:179-86.
  196. Bromer JG, Zhou Y, Taylor MB, Doherty L, Taylor HS. Bisphenol-A exposure in utero leads to epigenetic alterations in the developmental programming of uterine estrogen response. *FASEB J.*

- 2010;24(7):2273-80.
197. Machtinger R, Combelles CMH, Missmer SA, Correia KF, Williams P, Hauser R, et al. Bisphenol-A and human oocyte maturation in vitro. *Hum Reprod.* 2013;28(10):2735-45.
  198. Browne MA, Dissanayake A, Galloway TS, Lowe DM, Thompson RC. Ingested Microscopic Plastic Translocates to the Circulatory System of the Mussel, *Mytilus edulis* (L.). *Environ Sci Technol.* 2008;42(13):5026-31.
  199. Watts A, Urbina M, Goodhead R, Moger J, Lewis C, Galloway T. Effect of Microplastic on the Gills of the Shore Crab *Carcinus maenas*. *Environ Sci Technol.* 2016;50(10):5364-9.
  200. Schmidt C, Lautenschlaeger C, Collnot E, Schumann M, Bojarski C, Schulzke J, et al. Nano-and microscaled particles for drug targeting to inflamed intestinal mucosa: a first in vivo study in human patients. *J Control Release.* 2013;165(2):139-45.
  201. Revel M, Châtel A, Mouneyrac C. Micro(nano)plastics: A threat to human health? *Curr Opin Environ Sci Heal.* 2018;1:17-23.
  202. Wilson M, Arkin C, Allen C, Guerrero L, Khalid H. Plastic & Health, the hidden costs of plastic planet. 2019.
  203. MacArthur E. Beyond plastic waste. *Science* (80-). 2017;358(6365):843.
  204. Toussaint B, Raffael B, Angers-Loustau A, Gilliland D, Kestens V, Petrillo M, et al. Review of micro-and nanoplastic contamination in the food chain. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess.* 2019;36(5):639-73.
  205. Liao C, Kannan K. A survey of bisphenol A and other bisphenol analogues in foodstuffs from nine cities in China. *Food Addit Contam Part A, Chem Anal Control Expo risk Assess.* 2014;31(2):319-29.
  206. Koelmans AA, Mohamed Nor NH, Hermsen E, Kooi M, Mintenig SM, De France J. Microplastics in freshwaters and drinking water: Critical review and assessment of data quality. *Water Res.* 2019;155:410-22.
  207. Wang T, Rovira J, Sierra J, Chen S-J, Mai B-X, Schuhmacher M, et al. Characterization and risk assessment of total suspended particles (TSP) and fine particles (PM2.5) in a rural transformational e-waste recycling region of Southern China. *Sci Total Environ.* 2019;692:432-40.
  208. Gasperi J, Wright SL, Dris R, Collard F, Mandin C, Guerrouache M, et al. Microplastics in air: Are we breathing it in? *Curr Opin Environ Sci Heal.* 2018;1:1-5.
  209. Jones BA, Watson N V. Perinatal BPA exposure demasculinizes males in measures of affect but has no effect on water maze learning in adulthood. *Horm Behav.* 2012 Apr 1;61(4):605-10.
  210. EFSA Panel on Food Contact Materials, Enzymes F and PA (CEF). Scientific Opinion on the risks to public health related to the presence of bisphenol A (BPA) in foodstuffs. *EFSA J.* 2015 Jan 1;13(1).
  211. Farooq MU, Muhammad &, Jalees I, Qurat-UI-Ain &, Hussain G, Anis M, et al. Health risk assessment of endocrine disruptor bisphenol A leaching from plastic bottles of milk and soft drinks. *Environ Sci Pollut Res.* 2021;
  212. Molla AS, Tang P, Sher W, Bekele DN. Chemicals of concern in construction and demolition waste fine residues: A systematic literature review. *J Environ Manage.* 2021 Dec 1;299:113654.
  213. Oliveira MLS, Izquierdo M, Querol X, Lieberman RN, Saikia BK, Silva LFO. Nanoparticles from construction wastes: A problem to health and the environment. *J Clean Prod.* 2019 May 10;219:236-43.
  214. Ministerio de la Presidencia. Orden de 7 de diciembre de 2001 por la que se modifica el anexo I del Real Decreto

- 1406/1989, de 10 de noviembre, por el que se imponen limitaciones a la comercialización y al uso de ciertas sustancias y preparados peligrosos. 2001. Boletín Oficial del Estado de 14/12/2001.
215. Organización Mundial de la Salud. Eliminación de las enfermedades relacionadas con el asbesto. 2018.
216. Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad. Protocolos de vigilancia sanitaria específica Amianto. 2013.
217. IARC. IARC Monographs: arsenic, metals, fibres and dusts. Iarc Monogr Eval Carcinog Risks to humans. 2012;100(Arsenic, metals, fibres, and dusts):407-43.
218. Real Decreto 1299/2006, de 10 de noviembre, por el que se aprueba el cuadro de enfermedades profesionales en el sistema de la Seguridad Social y se establecen criterios para su notificación y registro. Boletín Oficial del Estado de 19/12/2006.
219. Nation of Science EM. Asbestos: Selected cancers. Asbestos: Selected Cancers. National Academies Press; 2006. 1-327 p.
220. Gaffney SH, Grespin M, Garnick L, Drechsel DA, Hazan R, Paustenbach DJ, et al. Anthophyllite asbestos: state of the science review. J Appl Toxicol [Internet]. 2017 Jan 1 [cited 2022 Mar 18];37(1):38-49. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27397058/>
221. Musk AW, De Klerk N, Reid A, Hui J, Franklin P, Brims F. Asbestos-related diseases. Int J Tuberc Lung Dis [Internet]. 2020 Jun 1 [cited 2022 Mar 18];24(6):562-7. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32553000/>
222. Nowak D, Schmalfeldt B, Tannapfel A, Mahner S. Asbestos Exposure and Ovarian Cancer-a Gynaecological Occupational Disease. Background, Mandatory Notification, Practical Approach. Geburtshilfe Frauenheilkd [Internet]. 2021 May 1 [cited 2022 Mar 18];81(5):555-61. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34035550/>
223. Xu P, Chen Z, Wu L, Chen Y, Xu D, Shen H, et al. Health risk of childhood exposure to PCDD/Fs emitted from a municipal waste incinerator in Zhejiang, China. Sci Total Environ. 2019;689:937-44.
224. Elliott P, Shaddick G, Kleinschmidt I, Jolley D, Grundy C, Walls P, et al. Cancer incidence near municipal solid waste incinerators in Great Britain. Br J Cancer. 1996;73(5):702-10.
225. Ranzi A, Fano V, Erspamer L, Lauriola P, Perucci CA, Forastiere F. Mortality and morbidity among people living close to incinerators: a cohort study based on dispersion modeling for exposure assessment. Environ Heal. 2011;10(1):22.
226. Romanelli AM, Bianchi F, Curzio O, Minichilli F. Mortality and Morbidity in a Population Exposed to Emission from a Municipal Waste Incinerator. A Retrospective Cohort Study. Int J Environ Res Public Heal 2019, Vol 16, Page 2863. 2019;16(16):2863.
227. Reeve NF, Fanshawe TR, Keegan TJ, Stewart AG, Diggle PJ. Spatial analysis of health effects of large industrial incinerators in England, 1998-2008: a study using matched case-control areas. BMJ Open. 2013;3(1):e001847.
228. García-Pérez J, Fernández-Navarro P, Castelló A, López-Cima MF, Ramis R, Boldo E, et al. Cancer mortality in towns in the vicinity of incinerators and installations for the recovery or disposal of hazardous waste. Environ Int. 2013;51:31-44.
229. Fukuda Y, Nakamura K, Takano T. Dioxins Released from Incineration Plants and Mortality from Major Diseases: an Analysis of Statistical Data

- by Municipalities. *J Med Dent Sci.* 2003;50(4):249-55.
230. Federico M, Pirani M, Rashid I, Caranci N, Cirilli C. Cancer incidence in people with residential exposure to a municipal waste incinerator: An ecological study in Modena (Italy), 1991-2005. *Waste Manag.* 2010;30(7):1362-70.
231. Ancona C, Badaloni C, Mataloni F, Bolignano A, Bucci S, Cesaroni G, et al. Mortality and morbidity in a population exposed to multiple sources of air pollution: A retrospective cohort study using air dispersion models. *Environ Res.* 2015;137:467-74.
232. Biggeri A, Barbone F, Lagazio C, Bovenzi M, Stanta G. Air pollution and lung cancer in Trieste, Italy: Spatial analysis of risk as a function of distance from sources. *Environ Health Perspect.* 1996;104(7):750-4.
233. Viel J-F, Arveux P, Baverel J, Cahn J-Y. Soft-Tissue Sarcoma and Non-Hodgkin's Lymphoma Clusters around a Municipal Solid Waste Incinerator with High Dioxin Emission Levels. *Am J Epidemiol.* 2000;152(1):13-9.
234. Michelozzi P, Fusco D, Forastiere F, Ancona C, Dell'Orco V, Perucci CA. Small area study of mortality among people living near multiple sources of air pollution. *Occup Environ Med.* 1998;55(9):611-5.
235. Viel J-F, Daniau C, Gorla S, Fabre P, de Crouy-Chanel P, Sauleau E-A, et al. Risk for non Hodgkin's lymphoma in the vicinity of French municipal solid waste incinerators. *Environ Heal.* 2008;7(1):51.
236. Ashworth DC, Elliott P, Toledano MB. Waste incineration and adverse birth and neonatal outcomes: A systematic review. *Environ Int.* 2014;69:120-32.
237. Santoro M, Minichilli F, Linzalone N, Coi A, Maurello MT, Sallese D, et al. Adverse reproductive outcomes associated with exposure to a municipal solid waste incinerator. *Ann Ist Super Sanità.* 2016;52(4):576-81.
238. Candela S, Ranzi A, Bonvicini L, Baldacchini F, Marzaroli P, Evangelista A, et al. Air Pollution from Incinerators and Reproductive Outcomes: A Multisite Study. *Epidemiology.* 2013;24(6):863-670.
239. Dummer T, Dickinson H, Parker L. Adverse pregnancy outcomes around incinerators and crematoriums in Cumbria, north west England, 1956-93. *J Epidemiol Community Health.* 2003;57(6):456-61.
240. Ten Tusscher G, Stam G, Koppe J. Open chemical combustions resulting in a local increased incidence of orofacial clefts. *Chemosphere.* 2000;40(9-11):1263-70.
241. Cordier S, Chevrier C, Robert-Gnansia E, Lorente C, Brula P, Hours M. Risk of congenital anomalies in the vicinity of municipal solid waste incinerators. *Occup Environ Med.* 2004;61(1):8.
242. Cordier S, Lehébel A, Amar E, Anzivino-Viricel L, Hours M, Monfort C, et al. Maternal residence near municipal waste incinerators and the risk of urinary tract birth defects. *Occup Environ Med.* 2010;67(7):493-9.
243. Tango T, Fujita T, Tanihata T, Minowa M, Doi Y, Kato N, et al. Risk of adverse reproductive outcomes associated with proximity to municipal solid waste incinerators with high dioxin emission levels in Japan. *J Epidemiol.* 2004;14(3):83-93.
244. Parkes B, Hansell AL, Ghosh RE, Douglas P, Fecht D, Wellesley D, et al. Risk of congenital anomalies near municipal waste incinerators in England and Scotland: Retrospective population-based cohort study. *Environ Int.* 2020;134:104845.
245. Norsa'adah B, Salinah O, Naing NN, Sarimah A. Community Health Survey of Residents Living Near a Solid Waste Open Dumpsite in Sabak, Kelantan, Malaysia. *Int J Environ Res Public Health.* 2020 Jan;17(1).

246. Jan AT, Azam M, Siddiqui K, Ali A, Choi I, Haq QMR. Heavy metals and human health: Mechanistic insight into toxicity and counter defense system of antioxidants. *Int J Mol Sci*. 2015;16(12):29592-630.
247. Chen QL, Li H, Zhou XY, Zhao Y, Su JQ, Zhang X, et al. An underappreciated hotspot of antibiotic resistance: The groundwater near the municipal solid waste landfill. *Sci Total Environ*. 2017 Dec 31;609:966-73.
248. Mataloni F, Badaloni C, Golini MN, Bolignano A, Bucci S, Sozzi R, et al. Morbidity and mortality of people who live close to municipal waste landfills: a multisite cohort study. *Int J Epidemiol*. 2016;45(3):806-15.
249. Pukkala E, Pönkä A. Increased Incidence of Cancer and Asthma in Houses Built on a Former Dump Area. *Environ Health Perspect*. 2001;109(11).
250. Fielder HMP, Palmer SR, Poon-king C, Moss N, Coleman G. Addressing Environmental Health Concerns near Trecatti Landfill Site, United Kingdom. *Arch Environ Health*. 2010;56(6):529-35.
251. Shaddick G, Ranzi A, Thomas ML, Aguirre-Perez R, Dunbar Bekker-Nielsen M, Parmagnani F, et al. Towards an assessment of the health impact of industrially contaminated sites: waste landfills in Europe. *Epidemiol Prev*. 2018;42(5-6 Suppl 1):69-75.
252. Mazzucco W, Tavormina E, Macaluso M, Marotta C, Cusimano R, Alba D, et al. Do emissions from landfill fires affect pregnancy outcomes? A retrospective study after arson at a solid waste facility in Sicily. *BMJ Open*. 2019;9(7):e027912.
253. Robertson S, Douglas P, Jarvis D, Marczylo E. Bioaerosol exposure from composting facilities and health outcomes in workers and in the community: A systematic review update. *Int J Hyg Environ Health*. 2019;222(3):364-86.
254. Douglas P, Bakolis I, Fecht D, Pearson C, Leal Sanchez M, Kinnersley R, et al. Respiratory hospital admission risk near large composting facilities. *Int J Hyg Environ Health*. 2016;219(4-5):372-9.
255. Douglas P, Tyrrel SF, Kinnersley RP, Whelan M, Longhurst PJ, Walsh K, et al. Sensitivity of predicted bioaerosol exposure from open windrow composting facilities to ADMS dispersion model parameters. *J Environ Manage*. 2016;184(2):448-55.
256. Byrnes HF, Miller BA, Morrison CN, Wiebe DJ, Woychik M, Wiehe SE. Association of environmental indicators with teen alcohol use and problem behavior: Teens' observations vs. objectively-measured indicators. *Health Place*. 2017;43:151-7.
257. Douglas P, Tyrrel SF, Kinnersley RP, Whelan M, Longhurst PJ, Hansell AL, et al. Predicting *Aspergillus fumigatus* exposure from composting facilities using a dispersion model: A conditional calibration and validation. *Int J Hyg Environ Health*. 2017;220(1):17-28.
258. Kermani M, Farzadkia M, Kalantari RR, Bahmani Z. Fine particulate matter (PM 2.5) in a compost facility: heavy metal contaminations and health risk assessment, Tehran, Iran. *Environ Sci Pollut Res* 2018 2516. 2018;25(16):15715-25.
259. Williams B, Douglas P, Roca Barcelo A, Hansell AL, Hayes E. Estimating *Aspergillus fumigatus* exposure from outdoor composting activities in England between 2005 and 14. *Waste Manag*. 2019;84:235-44.
260. Barsalou O, Picard MH. International Environmental Law in an Era of Globalized Waste. *Chinese J Int Law*. 2018 Sep 1;17(3):887-906.
261. Lieselot Bisschop. Illegal trade in hazardous waste. In: *Handbook of Transnational Environmental Crime*. Edward Elgar Publishing Ltd.; 2016. p. 1-525.

- 
262. Müller SM. Hidden Externalities: The Globalization of Hazardous Waste. *Bus Hist Rev.* 2019;93(1):51-74.
263. Unión Europea. Reglamento (CE) n° 1272/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2008, sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas, y por el que se modifican y derogan las Directivas 67/548/CEE y 1999/45/CE y se modifica el. 2008.
264. Tapia Carrasco C, Iribarren Campaña I, Sanz Gaspar A. Guía Técnica Para la Clasificación de los Residuos. 2020.
265. European Chemicals Agency (ECHA). Información sobre sustancias químicas. 2021.

## ANEXO I: Composición principal de las fracciones de residuo

Tabla 2: Toxicidad intrínseca y ruta de exposición en humanos preferente por presencia de ciertos contaminantes orgánicos en distintas fracciones de residuos

| Contaminante   | Tipo de residuo  | Toxicidad intrínseca  | Referencia               |
|--|--|---|--------------------------|
| Contaminantes orgánicos persistentes y dioxinas                    |  |   |                          |
| Policloruros de bifenilos (PCB)                                    | RM; RAEE; Plásticos; Papel y cartón  | Sustancia muy tóxica para la vida acuática con efectos a duraderos. Daño en órganos por exposición prolongada   | (35,42,43,85,263,264)    |
| Polibromodifenil ésteres (PBDE)                                    | RM; RAEE; VFU; Textiles; Plásticos; Aceites industriales; Tierra y Escombros | Posible relación con enfermedades crónicas. Posibles daños en el neurodesarrollo. Daño en la función del hígado (presunto carcinogénico). Disruptor endocrino. Puede afectar la fertilidad y puede dañar al feto. Se sospecha que puede ser tóxico para la vida acuática. Se relaciona con episodios de fatiga, falta de concentración cansancio, dolores de cabeza, malestar e irritabilidad. Gastrointestinalmente puede reducir el apetito, provocar diarrea, pérdida de peso y dolor abdominal. | (42,43,53-57,85,106,265) |
| Policlorodibenzodioxinas (PCDD)<br>Policlorodibenzofurandos (PCDF) | RM; VFU; RAEE; Plásticos   | Grupo de contaminantes. Ruta de exposición más analizada, vía oral. Puede ser mortal en caso de ingestión. Puede dañar el hígado. Puede perjudicar la fertilidad. Provoca daños en órganos cuando hay exposiciones altas o prolongadas. Puede deprimir la respuesta inmune.   | (42,43,85,265)           |
| Tetrabromobisfenol A (TBBA)  | RM; RAEE; NFU; Plásticos; Aceites industriales                               | Muy tóxico para organismos acuáticos, con efectos duraderos   | (42,43,85,92,96,106,263) |
| -Benzotiazoles   | RAEE; NFU  | Puede provocar una reacción alérgica en la piel. Nocivo o muy tóxico para organismos acuáticos, con efectos duraderos.  | (42,43,92,96,263)        |
| Dietil ftalato (DEP)   | RM; Plásticos; Aceites industriales; Papel y cartón                          | Exposición dermal genera acantosis e inflamación. Posible daño en las funciones del hígado. Posible aparición de carcinomas con exposiciones prolongadas de tiempo. Posible efecto mutagénico no evidenciado en estudios <i>in vivo</i> . Posibles efectos negativos en fertilidad cuando exposición larga. Posibles daños en fetos en exposiciones altas. Posible pérdida de peso a exposiciones prolongadas.  | (35,85,106,265)          |
| 2-C-metil-D-eritritol-2,4-ciclopirofosfato (MecPP)                 | RM; Plásticos  | Puede perjudicar la fertilidad o dañar al feto.   | (85,265)                 |

| Contaminante                      | Tipo de residuo                                     | Toxicidad intrínseca   | Referencia        |
|-----------------------------------|---|--|-------------------|
| Bis(2-etilhexil) ftalato (DEHP)   | RM; Plásticos; Aceites industriales; Papel y Cartón | Puede perjudicar a la fertilidad. Puede dañar al feto.   | (35,85,106,263)   |
| Ftalato de bencilo y butilo (BBP) | RM; Plásticos; Papel y cartón                       | Puede dañar al feto. Se sospecha que puede dañar la fertilidad. Muy tóxico para organismo acuáticos, con efectos nocivos duraderos.  | (35,85,263)       |
| Ftalato de dibutilo (DBP)         | RM; Plásticos; Papel y cartón                       | Puede dañar al feto. Se sospecha que puede dañar la fertilidad. Muy tóxico para organismos acuáticos.  | (35,85,263)       |
| Diisobutilftalato (DIBP)          | RM; Plásticos; Aceites industriales; Papel y cartón | Puede dañar al feto. Se sospecha que puede perjudicar la fertilidad.   | (35,85,106,263)   |
| 1,3-butadieno                     | RM; Plásticos                                       | Gas extremadamente inflamable. Puede provocar defectos genéticos. Puede provocar cáncer.   | (85,263)          |
| Óxido de etileno                  | RM; Plásticos                                       | Gas extremadamente ininflamable. Provoca irritación cutánea. Provoca irritación ocular grave. Puede irritar las vías respiratorias. Tóxico en caso de ingestión e inhalación. Puede provocar defectos genéticos. Puede provocar cáncer.  | (85,263)          |
| Bisfenol-A (BPA)                  | RM; RAEE; Plásticos; Papel y cartón                 | Provoca irritación ocular grave, Puede provocar una reacción alérgica en la piel. Provoca irritación cutánea. Tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.   | (35,42,43,85,263) |
| Dimetil sulfato                   | VFU; Aceites industriales                           | Peligro de combustión, mortal si se inhala, tóxico en caso de ingestión, graves quemaduras en la piel y lesiones oculares, puede provocar una reacción cutánea alérgica, susceptible de provocar defectos genéticos. Puede provocar cáncer, provoca daños en el hígado, los riñones y los pulmones. Provoca daños en los pulmones tras exposiciones prolongadas o repetidas. Nocivo para los organismos acuáticos. | (106,263)         |
| Polidimetilsiloxanos              | VFU; Aceites industriales                           | Tóxico cuando se ingiere. Provoca graves lesiones dérmicas. Irritación ocular. Posible daño renal. Posible efecto de disrupción endocrina. Posible daño en el hígado. Posibles efectos adversos sobre el sistema respiratorio. Posible efectos adversos sobre el feto.   | (106)             |
| Alquilditiofosfato de Zinc        | VFU; Aceites industriales                           | Daños severos oculares e irritación en la piel.  | (265)             |
| Glicol de polialquileno (PAG)     | VFU; Aceites industriales                           | Mortal por inhalación, es nocivo por ingestión, provoca una grave irritación ocular, puede causar efectos nocivos duraderos en la vida acuática y provoca irritación cutánea.  | (106,265)         |

| Contaminante                                     | Tipo de residuo    | Toxicidad intrínseca   | Referencia      |
|--|--------------------|--|-----------------|
| Nonylfenol (NP)                                  | RM; Papel y cartón | Líquido y vapores muy inflamables, provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves, puede provocar una reacción alérgica en la piel, nocivo en caso de inhalación. Muy tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.  | (35,263)        |
| 4-Nonylfenol                                     | RM; Papel y cartón | Se sospecha que perjudica a la fertilidad. Puede dañar al feto. Nocivo en caso de ingestión. Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves. Muy tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.   | (35,263)        |
| 4-cloro-3-metilfenol (4-C-3-MP)                  | RM; Papel y cartón | Nocivo en caso de ingestión. Nocivo en contacto con la piel. Puede provocar una reacción alérgica en la piel. Provoca lesiones oculares graves. Peligrosos para el medio ambiente acuático.  | (35,263)        |
| 4-octylfenol (4-OP) y 4-tert-octylfenol (4-t-OP) | RM; Papel y cartón | Provoca irritación cutánea. Provoca lesiones oculares graves. Muy tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.   | (35,263)        |
| 2-fenilfenol (2-PP)                              | RM; Papel y cartón | Provoca irritación cutánea, provoca irritación ocular grave, puede irritar las vías respiratorias. Peligrosos para el medio ambiente acuático.   | (35,263)        |
| di (2-metoxietil) ftalato (DMEP)                 | RM; Papel y cartón | Puede dañar el feto. Se sospecha que perjudica a la fertilidad.  | (35,263)        |
| Benceno (y derivados)                            | RM; NFU            | Se sospecha que puede generar defectos genéticos, puede provocar síntomas de alergia o asma, lesiones oculares graves, puede ser nocivo en caso de inhalación, muy tóxico para organismos acuáticos.   | (92,96,125,263) |
| Tolueno (y derivados)                            | RM; NFU            | Puede provocar una reacción alérgica en la piel, provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves, puede irritar las vías respiratorias, líquido y vapor muy inflamable. Se sospecha que daña al feto, puede ser mortal en caso de ingestión o inhalación, puede perjudicar determinados órganos y provocar somnolencia o vértigo. Es nocivo para organismos acuáticos. | (92,96,125,263) |
| Tricloroetileno                                  | RM                 | Se sospecha que puede generar defectos genéticos, puede generar una reacción alérgica en la piel, irritación ocular grave. Puede provocar somnolencia o vértigo, puede provocar cáncer. Es nocivo para organismos acuáticos.   | (125,263)       |

Tabla 2: Toxicidad intrínseca y ruta de exposición en humanos preferente por presencia de ciertos contaminantes orgánicos en distintas fracciones de residuos

| Contaminante                           | Tipo de residuo  | Toxicidad intrínseca   | Referencia                     |
|--|--|--|--------------------------------|
| Metales pesados/Compuestos inorgánicos |  |  |                                |
| Plomo                                  | RM; RAEE; NFU; Pilas y/o baterías; Papel y cartón; Vidrio, RCD | Puede perjudicar la fertilidad y dañar al feto.<br>Puede perjudicar a los niños alimentados por leche materna.   | (35,37,38,42,43, 47,90-92,263) |
| Cadmio                                 | RM; RAEE; NFU; Pilas y/o baterías; Papel y cartón; Vidrio,RCD  | Puede provocar cáncer. Efectos genéticos y es nocivo en caso de gestión, inhalación o contacto con la piel.<br>Perjudica a riñones y huesos por exposición prolongada o repetida.<br>Sustancia muy tóxica para la vida acuática con efectos a duraderos.   | (35,37,38,42,43, 47,90-92,263) |
| Arsénico                               | RM Vidrio; residuos mineros,RCD                                | Tóxico en caso de ingestión. Tóxico en caso de inhalación. Muy tóxico para los organismos acuáticos con efectos duraderos.   | (35,37,38,94,108 -111,263)     |
| Cobalto                                | RM; Residuos mineros; Papel y cartón                           | Puede provocar síntomas de alergia o asma o dificultades respiratorias en caso de inhalación. Puede provocar una reacción alérgica en la piel. Puede ser nocivo para organismos acuáticos, con efectos duraderos.  | (35,263)                       |
| Estaño                                 | RM; Plásticos; Residuos mineros                                | Especies orgánicas: Posible efecto mortal en caso de inhalación e ingestión. Posible alteración de la función renal. Posible alteración de la función respiratoria. Posibles efectos de malestar gastrointestinal. Posible inflamación ocular y nasal. Posibles efectos neurológicos adversos. Posibles daños hepáticos. Reducción de peso.<br>Especies inorgánicas: Puede provocar neumoconiosis por exposición prolongada. Posible irritación de la piel y las mucosas al contacto. Posible daño en el sistema digestivo por ingestión. Reducción de peso. | (85) (94,108-111)              |
| Uranio                                 | Residuos mineros   | Mortal en caso de ingestión. Mortal en caso de inhalación. Puede perjudicar determinados órganos en exposición prolongada o repetida. Puede ser tóxico y nocivo para organismos acuáticos, con efectos duraderos.  | (94,108-111,263)               |
| Plata                                  | RM; RAEE; Residuos mineros                                     | Puede provocar una reacción alérgica en la piel. Provoca lesiones oculares graves. Nocivo en caso de ingestión. Puede provocar daños en órganos por exposición prolongada o repetida. Muy tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.   | (42,43,94,108-111,263)         |

| Contaminante                                  | Tipo de residuo   | Toxicidad intrínseca  | Referencia                            |
|---|---|---|---------------------------------------|
| Oro   | Residuos mineros; RAEE                                      | Puede provocar decoloración de la piel (Crisiasis). Posible efecto alérgico en la piel. Posible efecto irritante en la piel. Posibilidad de daños en la córnea (Crisiasis ocular y úlceras). La inhalación está asociada a la aparición de cánceres respiratorios, de estómago e hígado, causalidad no demostrada. Puede provocar problemas en el sistema respiratorio.   | (94,108-111)                          |
| Mercurio inorgánico (menos sulfuro mercúrico) | RM; RAEE; Pilas y/o baterías; Residuos mineros              | Mortal en caso de ingestión, en contacto con la piel y en caso de inhalación. Puede perjudicar varios órganos por exposición prolongada o repetida. Sustancia muy tóxica para la vida acuática con efectos duraderos.   | (42,43,47,94,108-111,263)             |
| Metilmercurio                                 | RM; RAEE  | Mortal en caso de ingestión, en contacto con la piel y en caso de inhalación. Puede perjudicar varios órganos por exposición prolongada o repetida. Sustancia muy tóxica para la vida acuática con efectos a duraderos.   | (42,43,263)                           |
| Cromo   | RM; RAEE; Papel y cartón, RCD                               | Puede crear un incendio o una explosión; muy comburente. Tóxico en caso de ingestión y contacto con la piel. Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves. Puede provocar una reacción alérgica en la piel. Mortal en caso de. Inhalación. Puede provocar alergia, asma o dificultades respiratorias. Puede provocar efectos genéticos o cáncer. Puede perjudicar la fertilidad o dañar al feto. Provoca daños en los órganos tras exposiciones prolongadas. | (35,42,43,263)                        |
| Zinc  | RM; RAEE; NFU; Pilas y/o baterías; Vidrio; Residuos mineros | Se inflama espontáneamente en contacto con el aire y en contacto con el agua desprende gases inflamables que también pueden inflamarse espontáneamente. Sustancia muy tóxica para la vida acuática con efectos a duraderos.   | (37,38,42,43,48,90-92,94,108-111,263) |
| Níquel  | RM; RAEE; Pilas y/o baterías; Papel y cartón                | Puede provocar una reacción alérgica en la piel; susceptible de causar cáncer; perjudica a determinados órganos por exposición prolongada o repetida. Nocivo para los organismos acuáticos, con efectos duraderos.  | (35,42,43,48,263)                     |
| Litio   | RM; RAEE  | En contacto con el agua desprende gases inflamables que también pueden inflamarse espontáneamente. Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves.   | (42,43,263)                           |
| Bario   | RM; RAEE; Vidrio  | Puede agravar un incendio, es nocivo en caso de inhalación e ingestión.   | (37,38,42,43,263)                     |
| Manganeso                                     | RM; Pilas y/o baterías;                                     | Nocivo en caso de ingestión, puede provocar una reacción alérgica en la piel, provoca irritación ocular grave. Nocivo en caso de inhalación. Se sospecha que daña el feto. Puede provocar daños en los órganos tras exposiciones prolongadas o repetidas. Muy tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.  | (48,263)                              |

| Contaminante      | Tipo de residuo | Toxicidad intrínseca  | Referencia  |
|-------------------|-----------------|---|-------------|
| Berilio           | RM; RAEE        | Tóxico en caso de ingestión, provoca irritación cutánea o reacción alérgica en la piel, provoca irritación ocular grave, puede irritar las vías respiratorias, es mortal en caso de inhalación, puede provocar cáncer por inhalación y dañar órganos por exposición prolongada o repetida | (42,43,263) |
| Cloruro de vinilo | RM; Plásticos   | Gas extremadamente inflamable. Puede provocar cáncer.   | (85,263)    |
| Amianto           | RCD             | Puede provocar cáncer. Perjudica a determinados órganos por exposición prolongada o repetida.   | (99,263)    |

## ANEXO II: Autores de las fotografías

- Foto 1: Árbol solitario creciendo en vertedero de basura. ©Fotolia. Rangizzz.
- Foto 2: Continentes construidos a partir de residuos humanos. ©Fotolia. Pailov.
- Foto 3: Gente reciclando. ©Fotolia. SpicyTruffel.
- Foto 4: Cubo de basura verde con mazo de madera. ©Fotolia. Gearst.
- Foto 5: concepto Eco con el símbolo del reciclaje. ©Fotolia. Fotobrika.
- Foto 6: Palabras clave. Cedido por Marian Mendoza.
- Foto 7: Residuos Domésticos destinados a compost. ©Fotolia. Victoria M.
- Foto 8: Icono biodegradable, organico y compostable. ©Fotolia. Tasha Vector.
- Foto 9: Residuo de papel y cartón. ©Fotolia. Airborne77.
- Foto 10: Símbolo del reciclaje en papel con cespced de fondo. ©Fotolia. New Africa.
- Foto 11: Cristal recilado. ©Fotolia. Curto.
- Foto 12: Reciclando. ©Fotolia. Izzetugutinen.
- Foto 13: Vertedero de dispositivos electrónicos. ©Fotolia, Zlikovec.
- Foto 14: Cinco manos sujetan residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. ©Fotolia. Sergey.
- Foto 15: Pilas. ©Fotolia. Gudellaphoto.
- Foto 16: Batería de coche gastada. ©Fotolia. Olaksandr Delyk.
- Foto 17: Pila de ropa gastada. ©Fotolia. Ventura.
- Foto 18: Residuo textil. ©Fotolia. Swapan.
- Foto 19: Medicamentos en papelera. ©Fotolia. TR Design.
- Foto 20: Residuos médicos peligrosos. ©Fotolia. Mrallen.
- Foto 21: Sartén con aceite usado. ©Fotolia. África Studio.
- Foto 22: Gestión de aceite usado. ©Fotolia. ヌキ.
- Foto 23: Envases en basura de metal. ©Fotolia. Pzemek Klos.
- Foto 24: Acopio de NFU. ©Fotolia. Mr.B-King.
- Foto 25: Acciones de recuperación del vertedero de neumáticos en seseña. Banco de imágenes del Grupo Tragsa.
- Foto 26: Vista de VFU. ©Fotolia. Reznik\_val.
- Foto 27: Demolición de un edificio. ©Fotolia. Valey Bareta.
- Foto 28: Aceites industriales usados en filtros. ©Fotolia. Phantom1311.
- Foto 29: Retirada de lodos en zona afectada por el desastre de aznalcollar. Banco de imágenes del Grupo Tragsa.
- Foto 30: Contaminación derivada de la actividad de una planta incineradora. ©Fotolia. Acnaleksy.
- Foto 31: Pila de basura en vertederos. ©Fotolia. Vchalup.
- Foto 32: Profesional trabajando en una planta de compostaje. ©Fotolia. Kzenan.
- Foto 33: Corazón de residuos. ©Fotolia. Artem Sokol.
- Foto 34: ilustración ODS Salud. ©Fotolia. Ricardo SM.
- Foto 35: Sistema endocrino. ©Fotolia. Seahorsevector.
- Foto 36: Sistema nervioso. ©Fotolia. Seahorsevector.
- Foto 37: Sistema respiratorio. ©Fotolia. Seahorsevector.
- Foto 38: Sistema reproductivo. ©Fotolia. Seahorsevector.
- Foto 39: Feto en desarrollo. ©Fotolia. Anwat.
- Foto 40: Doble hélice ADN. ©Fotolia. Nobeastsofierce.
- Foto 41: NFU abandonados. ©Fotolia. Thongchainak.
- Foto 42: Aedes aegypti. ©Fotolia. Mycteria.
- Foto 43: Viejo y muy peligroso, tejado hecho con restos de amianto. ©Fotolia. Tomas Ragina.
- Foto 44: Crespón negro simbolizando las enfermedades oncológicas asociadas a la piel. ©Fotolia.

---

Monstar Studio.

Foto 45: Sistema circulatorio. ©Fotolia. Seahorsevector.

Foto 46: Sistema digestivo. ©Fotolia. Seahorsevector.

Foto 47: Patrón de distintos tipos de residuos. ©Fotolia. Алена Лебедева.