

## **TEMA 34**

### **EMPRESA E IMPACTO AMBIENTAL: CONTAMINACIÓN AMBIENTAL Y SALUD. LA CONTAMINACIÓN DE ACUÍFEROS, TRATAMIENTO Y PROTECCIÓN DEL AGUA Y SUELO, CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA, PREVENCIÓN Y EFECTOS SOBRE LA SALUD**

#### **1. CONTAMINACIÓN AMBIENTAL Y SALUD**

La contaminación ambiental es la presencia en el ambiente de agentes potencialmente dañinos para la salud humana y del medio ambiente. Existen evidencias que relacionan la salud ambiental y la salud de las personas, sin embargo, la asociación entre la contaminación ambiental y los efectos en la salud es compleja y con frecuencia está escasamente caracterizada.

La mayoría de los contaminantes pueden implicar un amplio espectro de efectos en la salud y pocas enfermedades son atribuibles directamente a contaminantes únicos. El establecimiento de vinculaciones claras entre la contaminación ambiental y la salud se ve dificultada por factores como largos periodos de latencia entre la exposición y la aparición de los efectos en la salud, exposiciones acumulativas o exposiciones a múltiples contaminantes, que, a su vez, podrían actuar de manera sinérgica.

Si bien la cantidad de agentes contaminantes de naturaleza química, física o biológica presentes en el ambiente es muy elevada, se estima que un porcentaje muy pequeño ha sido evaluado en términos de toxicidad y daños para la salud.

La mayoría de los contaminantes ambientales son de origen humano y provienen de actividades como la industria, la producción energética, el transporte, las actividades domésticas, la gestión de residuos o la agricultura, pero en algunas situaciones la contaminación de origen natural puede llegar a ser relevante. Cabe citar como contaminantes naturales el radón, el arsénico, los metales pesados o el dióxido de azufre, que se liberan al ambiente a través de diferentes vías incluidas la atmosférica, las aguas superficiales o el suelo.

Las sustancias químicas con propiedades peligrosas impactan en el cambio climático, degradan los ecosistemas, contribuyen a la pérdida de biodiversidad, y pueden provocar cánceres, alteraciones en los sistemas inmunitario, respiratorio, reproductor y cardiovascular y aumentar la vulnerabilidad de las personas frente a enfermedades.

La exposición a contaminación está presente de forma invisible en nuestras vidas. La Unión Europea dispone de una amplia legislación para garantizar la protección medioambiental y la salud.

Entre las sustancias y compuestos químicos que contaminan el medioambiente y provocan daños en la salud, y sin ser una relación exhaustiva, destacan los siguientes grupos por su significativa repercusión:

- Microplásticos

Proceden fundamentalmente del desgaste de piezas grandes de plástico, pero también se añaden de manera deliberada en muchos productos como cremas, detergentes o fertilizantes. Se estima que alrededor 42.000 Tn de microplásticos añadidos de forma intencionada se emiten al medioambiente cada año. Estos se acumulan en los animales y en las plantas, pudiendo ser consumidos como alimentos y llegar al ser humano.

- Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP)

Son contaminantes, mayoritariamente sintéticos, que permanecen en el ambiente y en el interior de los organismos vivos durante largos periodos de tiempo, ya que no se degradan con facilidad. Su carácter semivolátil les permite propagarse largas distancias a través del aire o el agua.

Los COP han sido utilizados en la industria por su estabilidad térmica y eficacia en el intercambio de calor (compuestos clorados, como PCB y parafinas cloradas), por sus propiedades ignífugas (bromados, como los PBDE) y repelencia al agua y aceite (fluorados, como los PFOS). También se generan y emiten de forma no intencionada en fuentes antropogénicas, destacando los PCB, las dioxinas y los furanos.

Se acumulan en el tejido adiposo de los seres vivos y son difíciles de metabolizar y eliminar. Pueden producir efectos tóxicos a dosis muy bajas, incluyendo carcinogénesis, daños en el sistema nervioso central, endocrino y reproductivo, malformaciones fetales, trastornos del comportamiento y diabetes.

El Convenio de Estocolmo y el Reglamento UE 2019/1021 sobre COP tienen por objeto proteger la salud humana y el medio ambiente frente a los COP.

- Mercurio

Se encuentra en el medio ambiente de manera natural por su presencia en la corteza terrestre y como consecuencia de la actividad humana. Es tóxico y tiene capacidad de acumularse en los animales. En dosis relativamente bajas puede dar lugar a problemas graves de desarrollo neurológico y a dosis elevadas puede ser mortal. A partir de 2020 se han producido limitaciones legales en lo que se refiere a la comercialización de productos con mercurio añadido, por ejemplo, en baterías, pilas, relés, etc.

El Convenio de Minamata y el Reglamento UE 2017/852 sobre mercurio tienen por objetivo proteger la salud humana y el medio ambiente frente al mercurio antropogénico.

- Biocidas

Son sustancias químicas activas, en ocasiones organismos, que se utilizan para proteger la salud humana y del medio ambiente frente al efecto dañino de determinadas plagas, algas, hongos y bacterias.

Se utilizan como desinfectantes, conservantes y plaguicidas, fundamentalmente.

Los usos permitidos, dosis, métodos de aplicación y usuarios están restringidos a lo dispuesto en la Resolución de Autorización e Inscripción en el Registro de Biocidas emitida por el Ministerio de Sanidad.

El Reglamento UE 528/2012 establece disposiciones relativas a la comercialización y uso de biocidas.

- Fitosanitarios

Son mezclas químicas que persiguen proteger a los vegetales de agentes nocivos, pero su uso incorrecto puede perjudicar la salud de las personas y el medio ambiente.

Para la comercialización de fitosanitarios (insecticidas, herbicidas, fungicidas, etc.) estos deben tener una autorización y estar inscritos en el Registro Oficial de Productos Fitosanitarios del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

La presencia en el ambiente de sustancias químicas, físicas y biológicas peligrosas para la salud humana y ambiental da lugar a diferentes formas de contaminación: contaminación del aire,

contaminación del agua, contaminación del suelo, contaminación lumínica y contaminación acústica.

Con independencia del proceso a través del cual los contaminantes se transfieren al medio ambiente, es fundamental tener en cuenta factores, o propiedades de los mismos, que condicionan los efectos en la salud, en particular, la persistencia, movilidad, acumulación y toxicidad.

## **2. LA CONTAMINACIÓN DE ACUÍFEROS**

La Organización Mundial de la Salud define el agua contaminada como aquella que sufre cambios en su composición hasta quedar inservible.

Los contaminantes del agua pueden ser de origen natural o artificial (antropogénico):

- Contaminantes naturales: al agua, a través de su ciclo natural, puede entrar en contacto con sustancias contaminantes. Pueden ser minerales, sustancias orgánicas, disueltas o en suspensión, o gases provenientes de la atmósfera o de la transformación bacteriana de materia orgánica.
- Contaminantes artificiales: son desechos líquidos o sólidos que se vierten a las aguas.

Los vertidos deliberados de contaminantes, los derrames durante operaciones de transporte, almacenamiento o durante los procesos productivos, las fugas y escorrentías son importantes focos de contaminación de acuíferos. Los límites legales de vertidos a las corrientes, establecidos para muchos sectores y actividades, pretenden mantener los niveles de contaminación dentro de unos límites aceptados.

Cuando las aguas subterráneas desembocan en una masa de agua local, como un río o un lago, la contaminación pasa a esa masa de agua. Algunas sustancias químicas tienden a depositarse en el sedimento del fondo, mientras que otras son transportadas por el agua en movimiento.

Los principales contaminantes del agua, agrupados en grandes categorías, pueden ser: compuestos orgánicos, contaminantes inorgánicos, organismos microbiológicos, sólidos en suspensión y nutrientes.

- *Contaminantes orgánicos*

Son compuestos químicos que pueden tener origen natural o de síntesis.

La mayoría de la materia orgánica contaminante se produce en actividades industriales, como el refinado de petróleo, la minería de carbón, la síntesis orgánica y fabricación de productos sintéticos, las industrias siderúrgica, textil, de madera y pasta de papel. Otra parte importante de estos contaminantes se vierte al medio acuático a través de escorrentías en superficies urbanas y agrícolas donde se hayan utilizado fitosanitarios para tratar cultivos.

Los compuestos orgánicos biodegradables son descompuestos por microbios aeróbicos.

- *Contaminantes inorgánicos*

El arsénico, antimonio, hierro, plomo, cobalto, nitrato, fósforo, sílice, sulfato, zinc, y el selenio, en forma de elemento o en combinación con otros compuestos, pueden considerarse contaminantes inorgánicos si exceden los valores límite permisibles. Estos contaminantes inorgánicos no son biodegradables y suponen un peligro para la flora, la fauna y la salud pública.

La salinización del agua puede deberse a factores naturales, como la interacción geoquímica del agua con suelos salinos o a actividades antropogénicas como la agricultura de regadío. La salinidad en sí misma puede no ser perjudicial para la salud, pero puede ocasionar una disminución de la fertilidad de la tierra y del rendimiento de los cultivos.

Los metales pesados como el plomo, el cadmio o el mercurio tienen especial importancia por su efecto en la salud y el medio ambiente, a causa de su persistencia, elevada toxicidad y bioacumulación.

- *Contaminantes microbiológicos*

Son habituales en las masas de agua dulce contaminadas por vertidos de aguas residuales sin tratar. Entre estos agentes microbianos figuran bacterias patogénicas, virus, helmintos, protozoos y otros organismos pluricelulares complejos.

- *Sólidos en suspensión y sustancias inmiscibles*

Las partículas en suspensión son un importante medio de transporte de contaminantes orgánicos e inorgánicos. En ellas encontramos la mayoría de los metales pesados tóxicos, contaminantes orgánicos, patógenos y nutrientes. También está presente una cantidad apreciable de material orgánico biodegradable, que es el responsable del consumo del oxígeno en dilución en los ríos.

Estas partículas proceden de actividades de urbanización, construcción, deforestación, minería, entre otros, y de fuentes naturales relacionadas con la erosión continental o catástrofes naturales.

- *Nutrientes*

El enriquecimiento de las aguas con nutrientes de origen vegetal, fundamentalmente fósforo y nitrógeno, fenómeno que se denomina eutrofización, genera un mayor crecimiento de las plantas y algas que cubren la superficie del agua. Este material vegetal, al descomponerse, produce el agotamiento de las reservas de oxígeno de las masas de agua, provocando la mortalidad de los peces y la liberación de gases indeseables como el dióxido de carbono o el metano.

La contaminación del agua se puede medir mediante diferentes parámetros físicos, químicos y biológicos, de manera independiente o interrelacionados entre sí:

- *Físicos*: características organolépticas (color, olor, sabor), turbidez, temperatura, conductividad, radiaciones alfa y beta.
- *Químicos*: salinidad y dureza, pH, oxígeno disuelto, medidores de materia que consume oxígeno (DQO, DBO), medidores de materia inorgánica (cationes, aniones).
- *Biológicos*: bacterias, virus, hongos, algas.

Los sólidos en suspensión pueden medirse a través de su concentración o de parámetros como la turbiedad. Su principal causa son los procesos erosivos y extractivos, y el efecto sobre los ecosistemas acuáticos se manifiesta en la reducción de la penetración de la luz y el impedimento de la fotosíntesis. Se depositan sobre las plantas acuáticas y branquias de los peces, y en los fondos generando condiciones anaeróbicas.

La conductividad permite indicar la mineralización de las aguas. Conjugando cationes sodio, potasio, magnesio, así como los aniones carbonatos, bicarbonatos, sulfatos y cloruros, fundamentalmente.

La temperatura es un parámetro que afecta a la solubilidad de los gases y que puede producir desplazamientos en el equilibrio de las reacciones químicas y bioquímicas. El calor reduce la solubilidad del oxígeno en agua, disminuyendo la cantidad de oxígeno disuelto disponible para la respiración de las especies. Al disminuir el nivel de oxígeno disuelto, la actividad metabólica de las especies acuáticas aeróbicas aumenta, y con ello la demanda de oxígeno.

El pH de una solución refleja la concentración de iones de hidrógeno. Determinados organismos acuáticos son muy sensibles a los cambios de pH. Una solución ácida tiene un exceso de iones de hidrógeno, mientras que una básica o alcalina tiene una carencia de iones de hidrógeno. En aguas puras la concentración de iones de hidrógeno e iones hidroxilo ( $\text{OH}^-$ ) es  $10^{-7}$  moles/litro, que equivale a pH neutro (7). La determinación del pH es importante en las fases de tratamiento del agua.

En relación a los indicadores de contaminación por materia que consume oxígeno cabe destacar los procesos de oxidación de materia orgánica, la biooxidación de sales de nitrógeno y la oxidación de agentes reductores disueltos.

### Índices de contaminación

- *Índices de contaminación por mineralización*

Se expresa mediante diferentes variables o parámetros: la conductividad como reflejo del conjunto de sólidos disueltos; la dureza en cuanto recoge los cationes calcio y magnesio; y la alcalinidad como indicador de aniones carbonato y bicarbonato.

- *Índices de contaminación por materia orgánica*

Se expresa en diferentes variables fisicoquímicas la demanda bioquímica o química de oxígeno.

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) se define como la cantidad de oxígeno consumido por las materias o sustancias en el agua, oxidables en unas condiciones determinadas (incubación durante 5 días a 20°C, oscuridad, pH 6-8). Es una estimación de las materias oxidables presentes en el agua, cualquiera que sea su origen. Cuanto mayor sea el valor DBO, mayor es el grado de contaminación.

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) mide la cantidad de materia susceptible de oxidación química con dicromato potásico o con permanganato potásico. Se expresa en mg de  $\text{O}_2/\text{ml}$  relacionándolo con la cantidad de oxígeno equivalente.

La DQO es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica por medios químicos y convertirla en  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ . Cuanto mayor sea la DQO, más contaminada está el agua.

La principal diferencia entre la DBO y la DQO es que la segunda engloba la primera. En la DBO sólo se detecta el material orgánico biodegradable, mientras que en la DQO se busca la oxidación completa de la muestra, de manera que todo el material orgánico, biodegradable o no, es químicamente oxidado. Para una muestra de agua, el valor de DQO siempre ha de ser mayor que el DBO.

DBO y DQO mantienen una relación para cada tipo de agua. La relación entre DQO y DBO proporciona una idea de la naturaleza de los contaminantes orgánicos (biodegradables o no).

El Carbono Orgánico Total (TOC) mide el contenido total de carbono de los compuestos orgánicos presentes en la muestra de agua. Se emplean aparatos que producen oxidación en fase gaseosa. Se inyecta una cantidad conocida de muestra en un horno de alta temperatura. En presencia de un catalizador, el carbono orgánico se oxida a anhídrido carbónico, cuya producción se mide cuantitativamente con un analizador de infrarrojos.

- *Índices de contaminación por sólidos en suspensión:* se determina mediante la concentración de sólidos en suspensión.
- *Índices de contaminación trófico*  
La calidad de las aguas superficiales, sobre todo de lagos y embalses, se ve afectada por la eutrofización, que hace referencia al enriquecimiento de las aguas en sustancias nutritivas que producen modificaciones sintomáticas como el aumento de algas y otras plantas acuáticas, la degradación de la pesca y el deterioro de la calidad del agua.  
Para evaluar la carga de nutrientes en una masa de agua se utilizan una serie de indicadores biológicos (clorofila y densidad alga en la zona fótica) y fisicoquímicos (concentración de fósforo total en la zona fótica).

### 3. TRATAMIENTO Y PROTECCIÓN DEL AGUA Y SUELO

#### Tratamiento y protección del suelo

Para el estudio de los suelos contaminados es necesario tener en cuenta no solo la capa más superficial de la corteza terrestre, sino profundidades que pueden alcanzar desde varios hasta cientos de metros, teniendo en cuenta especialmente la presencia de agua subterránea que pudiera llegar a ser consumida por las personas.

Los contaminantes más comunes suelen ser hidrocarburos, metales pesados, herbicidas y plaguicidas asociados a la agricultura, y compuestos organoclorados derivados de la industria.

La selección de la técnica de tratamiento del suelo o descontaminación dependerá de la naturaleza de los contaminantes presentes (tipo y concentración), de las características del emplazamiento y de la calidad del suelo, entre otros factores. El análisis previo permite determinar la conveniencia de llevar a cabo una descontaminación in-situ o ex-situ.

Los principales métodos para el tratamiento son:

- *Tratamiento biológico:* utiliza bacterias u hongos para descomponer la materia contaminante. Es eficaz para la eliminación de sustancias orgánicas y puede atenuar la presencia de compuestos nitrogenados, halogenados, metales e hidrocarburos. Se trata de una opción económica, sin embargo, requiere de varios meses para llevarse a cabo.
- *Oxidación química:* convierte los contaminantes en sustancias no peligrosas. Reactivos químicos se incorporan en el suelo para una eliminación rápida del contaminante. La oxidación in-situ es una opción versátil, sobre todo en zonas contaminadas de difícil acceso.
- *Estabilización del suelo:* implica la adición de agentes inmovilizadores para reducir la movilidad de los contaminantes. El proceso de estabilización se lleva a cabo en dos fases. Primero se modifica el contaminante a una forma menos peligrosa, y posteriormente se solidifica para reducir su movilidad y evitar que se traslade a zonas donde no se puede o resulta más difícil actuar.

- *Métodos físicos* como el lavado con una solución líquida o agua para separar los contaminantes. Durante este proceso, la solución retira contaminantes, pero debe ser tratada posteriormente, al no garantizarse una descontaminación completa.

La Ley de residuos y suelos contaminados y el Real Decreto de actividades contaminantes del suelo, pretenden proteger y preservar el suelo.

Mediante las dos normas anteriores se establecen aspectos importantes como:

- Definición de actividades económicas consideradas potencialmente contaminantes del suelo.
- Criterios para declarar un suelo como contaminado.
- Obligación para los causantes de la contaminación o propietarios de los suelos de llevar a cabo tareas de descontaminación.

### Tratamiento y protección del agua

Muchas plantas de tratamiento de agua combinan las técnicas de coagulación, sedimentación, filtración y desinfección para proporcionar agua limpia y apta para el consumo. La combinación de coagulación-sedimentación y filtración es probablemente la tecnología de tratamiento de agua más extendida, aunque nuevas tecnologías y procesos de tratamiento se están incorporando en este campo.

- **Coagulación - sedimentación**

El proceso de coagulación implica la adición al agua contaminada de compuestos, denominados coagulantes, que poseen carga positiva. Esta carga positiva del coagulante – sales de aluminio o hierro, o polímeros, generalmente - neutraliza la carga negativa de las partículas disueltas en el agua o en suspensión. Cuando ocurre esta reacción, las partículas se juntan o coagulan. Las partículas grandes, o más pesadas, se depositan en el fondo, pudiendo separarse de manera más fácil. La sedimentación se produce con mayor rapidez cuanto mayor sea el tamaño del coágulo (aproximadamente 1 segundo para partículas mayores de 10 mm, 10 segundos para tamaños de 1 mm, 2 minutos para 0.1 mm, y horas para partículas inferiores a 10 micras (protozoos, algas, bacterias, etc.).

En las instalaciones de tratamiento de agua, el coagulante añadido al agua se mezcla rápidamente, de manera que circula a través del agua. El agua puede ser filtrada directamente con filtros de tamaño medio (arena y grava), membranas de microfiltración o ultrafiltración, o puede ser llevada a un tanque de sedimentación.

En el tanque de sedimentación, o clarificador, las partículas pesadas se depositan en el fondo y son retiradas, y el agua pasa a una fase de filtración.

La fase de coagulación puede retirar o eliminar una cantidad elevada de compuestos orgánicos, incluido material orgánico disuelto. También puede retirar partículas en suspensión, incluidas inorgánicas, como el hierro. Sin embargo, puede aún contener patógenos. Los patógenos que se eliminan en estos procesos son aquellos que están adheridos a sustancias disueltas en el agua que son retiradas en la coagulación.

Puesto que la coagulación no elimina por completo todos los virus y bacterias, el agua no puede utilizarse aún para consumo. No obstante, es una fase fundamental del proceso de tratamiento del agua, puesto que elimina muchos contaminantes que dificultarían el proceso de desinfección.

- **Filtración**

El sistema de filtración consiste en filtros con poros de tamaño diferente. A menudo contiene arena, grava y carbón.

Existen dos tipos básicos de filtración de arena: lento y rápido. La filtración de arena lenta es un proceso biológico, en el que se usan bacterias para tratar el agua. La bacteria crea una comunidad en la capa superior de la arena y limpia el agua que pasa a través de la misma. Este sistema requiere grandes superficies para operar porque la velocidad del flujo del agua oscila entre 0,1 y 0,3 m/h. Este condicionante, añadido a las necesidades y tiempos prolongados de limpieza, hace que el sistema rápido sea prevalente en muchos casos.

La filtración de arena rápida es un proceso físico que elimina los sólidos suspendidos. En este caso, la velocidad del flujo de agua alcanza los 2m/h y generalmente los filtros se limpian dos veces al día y se incorporan inmediatamente a la operación.

La tecnología moderna permite combinar ambos métodos aumentando la eficacia de los procesos a través de diferentes técnicas.

En un sistema convencional de tratamiento, las partículas mayores de 0,1 mm se retiran a través de filtración de arena. Con frecuencia la combinación de filtros de diferentes tamaños se utiliza para que las partículas de mayor tamaño no obstruyan demasiado rápido el sistema. Utilizando materiales finos como la arena, o recurriendo a coagulantes, es posible eliminar las partículas entre 1 y 100 micras de tamaño.

La filtración de arena lenta elimina bacterias, protozoos y virus, y produce agua esencialmente limpia, aunque es aconsejable utilizar desinfectante en una fase final como medida de prevención.

La filtración rápida elimina partículas en suspensión que pueden tener adheridas bacterias, pero es difícil eliminar bacterias, protozoos y virus. En plantas de tratamiento de aguas, la filtración elimina un elevado número de contaminantes y requiere desinfección posterior para que se pueda consumir.

Entre la legislación ambiental relacionada por la protección de las aguas cabe citar los siguientes textos normativos:

- Ley de Aguas
- Ley de protección del medio marino
- Real Decreto sobre vertidos de sustancias peligrosas desde tierra al mar
- Real Decreto sobre protección de las aguas subterráneas contra contaminación y deterioro
- Real Decreto para la evaluación del estado de las aguas superficiales y normas de calidad
- Real Decreto sobre el tratamiento de aguas residuales urbanas

#### **4. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA**

La contaminación del aire se ha ido agravando desde los inicios de la revolución industrial y muchos núcleos urbanos superan las recomendaciones de la OMS respecto a los principales contaminantes de la atmósfera. Puede ser fruto de factores naturales como la emisión de cenizas y gases volcánicos, humos de incendios, bacterias, elementos radiactivos, etc., o derivar de la actividad del ser humano, que es la que supone mayor riesgo.



La contaminación del aire es el principal riesgo de contaminación ambiental en Europa y se asocia a enfermedades del corazón, del pulmón, derrames cerebrales y cánceres, entre otras. Se estima que la exposición a contaminación atmosférica produce cerca de 400.000 muertes prematuras en la UE cada año.

Las principales fuentes emisoras de contaminantes atmosféricos son las grandes instalaciones de combustión, el sector del refino, cementeras, incineración de residuos y transporte.

Los contaminantes más habituales son el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), los óxidos de nitrógeno (NO y NO<sub>2</sub>), el ozono (O<sub>3</sub>), el monóxido de carbono (CO), el plomo (Pb) y las partículas en suspensión.

La combustión de combustibles fósiles en fuentes estacionarias produce SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> y partículas, entre ellas aerosoles de sulfatos y nitratos. Los vehículos a motor de gasolina destacan como fuente de emisión de NO<sub>x</sub>, CO y Pb, mientras que los motores diésel emiten cantidades significativas de partículas SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>.

Principales contaminantes atmosféricos:

- *Gases acidificantes*

Los gases acidificantes más importantes son el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y el amoníaco (NH<sub>3</sub>). Estos contaminantes emitidos a la atmósfera regresan a la superficie en forma de depósito seco o húmedo (arrastrados por lluvias, nieve, granizo, etc.) o después de sufrir una transformación química.

La oxidación del dióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno en ácido sulfúrico o nítrico puede producirse en la atmósfera o después de haberse depositado en la superficie. El amoníaco puede reaccionar con estos ácidos para formar partículas de sulfato amónico y de nitrato amónico.

Entre las iniciativas europeas e internacionales para reducir el problema de la acidificación se encuentra el Protocolo de Gotemburgo relativo a la reducción de la acidificación, de la eutrofización y del ozono en la troposfera, desarrollado en el marco del Convenio de Ginebra sobre la contaminación atmosférica transfronteriza a gran distancia.

Asimismo, en la Unión Europea se han aprobado una serie de normas con implantación progresiva, relativas a la emisión de NO<sub>x</sub> en el transporte.

- *Gases eutrofizantes*

Son gases eutrofizantes los óxidos de nitrógeno y el amoníaco, principalmente.

Estos gases reaccionan con el agua atmosférica y forman sales solubles al alcanzar el suelo, que son arrastradas por escorrentías hasta masas de agua, pudiendo producir problemas de eutrofización.

Las iniciativas para la reducción y control de los gases eutrofizantes están muy ligadas a los gases acidificantes (los segundos engloban prácticamente a los primeros), destacando el Protocolo de Gotemburgo.

- *Gases precursores del ozono troposférico*

El ozono troposférico está presente en las capas más bajas de la atmósfera. Se forma a través de ciertos precursores (compuestos orgánicos volátiles no metánicos, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y metano en menor medida). La luz solar hace que estas sustancias químicas reaccionen y provoquen la formación de ozono. Es en verano y primavera cuando se alcanzan las máximas concentraciones debido a la luz solar.

En la Directiva 2002/3/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de febrero de 2002, relativa al ozono en el aire ambiente, se establecen los umbrales de información y alerta para las concentraciones de ozono. Dicha Directiva se traspuso al ordenamiento interno español mediante Real Decreto 1796/2003, de 26 de diciembre, relativo al ozono en el aire ambiente. Este real decreto ha sido derogado por el Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire.

Procede considerar también el Protocolo de Gotemburgo relativo a la reducción de la acidificación, de la eutrofización y del ozono en la troposfera.

- *Partículas en suspensión*

Las partículas en suspensión engloban una gran variedad de compuestos con características fisicoquímicas diferentes, y gran variedad en cuanto al origen, las vías de formación y los efectos en la salud y medioambiente.

El tamaño de las partículas determina la metodología de muestreo y la normativa aplicable. Cuanto más pequeña sea la partícula, más tiempo se mantiene en suspensión en el aire y puede recorrer cientos de kilómetros. Las redes de control llevan a cabo la determinación de partículas de menos de 10 micras de diámetro (PM10), por su capacidad para penetrar en las vías respiratorias. Partículas menores de 2,5 micras (PM2,5) pueden ser más perjudiciales para la salud al depositarse en los alvéolos.

La mayor parte de las PM10 son partículas primarias emitidas directamente a la atmósfera por fenómenos naturales o actividades humanas. Las PM2,5 suelen estar compuestas por partículas secundarias formadas a partir de un precursor gaseoso.

En relación a la normativa sobre emisión de partículas en la industria, cabe citar la Directiva 2010/75/UE, de 24 de Noviembre de 2010, sobre las emisiones industriales.

- *Metales pesados*

Se define como "metal pesado" aquel elemento químico cuyo peso atómico está comprendido entre 63.55 (Cu) y 200.59 (Hg) o cuya densidad se encuentra entre 4 g/cm<sup>3</sup> hasta 7 g/cm<sup>3</sup>. También puede clasificarse como metal pesado atendiendo al número atómico.

Los metales pesados más conocidos por su impacto en la salud y medioambiente son el mercurio (Hg), el plomo (Pb), el cadmio (Cd) y el talio (Tl), así como el cobre (Cu), zinc (Zn) y cromo (Cr). En ocasiones se incluye, al hablar de contaminación por metales pesados, a otros elementos tóxicos ligeros como el berilio (Be) o el aluminio (Al), o algún semimetal como el arsénico (As).

La peligrosidad de estos metales radica en la dificultad para degradarse y en su tendencia a bioacumularse y biomagnificarse (la concentración aumenta a medida que se asciende en la cadena alimenticia), provocando en las personas gran variedad de efectos físicos y psíquicos.

El Protocolo de Aarhus sobre metales pesados es uno de los protocolos derivados del Convenio de Ginebra sobre contaminación transfronteriza a larga distancia de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (UNECE).

- *Contaminantes orgánicos persistentes (COP)*

Son sustancias químicas tóxicas, resistentes a la degradación, que se acumulan en tejidos de seres vivos y que pueden transportarse a gran distancia de la fuente, lo que supone una amenaza global para la salud humana y el medio ambiente. Los COP pueden permanecer años y, incluso, décadas antes de degradarse.

Pueden clasificarse en intencionales y no intencionales.

Lo intencionales se utilizan en procesos industriales o se producen como resultado de éste: plaguicidas PFOS, PBDE, PCB, HBB y PCB. Los no intencionales son subproductos derivados de reacciones químicas como el caso de las dioxinas y furanos.

El Convenio de Estocolmo tiene por misión regular y controlar los COP.

- *Sustancias que agotan la capa de ozono*

Las emisiones de hidrocarburos halogenados, principalmente clorofluorocarbonos (CFC), hidroclorofluorocarbonos (HCFC), halones, tetracloruro y bromuro de metilo (denominadas Sustancias que agotan la capa de ozono, SAO) resultan especialmente dañinas para la atmósfera, disminuyendo la concentración de ozono en la estratosfera.

En 1987 se adoptó el Protocolo de Montreal con el objetivo de reducir y eliminar el uso de SAO en actividades como la refrigeración, la protección contra incendios o la fabricación de espumas aislantes, entre otros. Se han conseguido importantes logros, y actualmente la producción y consumo de SAO están prácticamente eliminados en muchos países, y los esfuerzos se dirigen evitar el uso en los países en desarrollo. No obstante, la utilización de nuevas sustancias sustitutivas de las SAO, fundamentalmente determinados gases fluorados, está ocasionando nuevos problemas ambientales y su eliminación plantea nuevos retos.

- *Compuestos Orgánicos Volátiles*

Son hidrocarburos en estado gaseoso a temperatura ambiente normal o muy volátiles a esta temperatura. Presentan una cadena molecular con un número de carbonos inferior a doce y contienen otros elementos como oxígeno, flúor, cloro, bromo, azufre o nitrógeno. Los más abundantes en el aire son metano, tolueno, n-butano, i-pentano, etano, benceno, n-pentano, propano y etileno. Tienen un origen tanto natural (COV biogénicos) como antropogénico (debido a la evaporación de disolventes orgánicos, a la quema de combustibles, al transporte, etc.).

Se emplean en actividades o industrias de pintura, siderurgia, madera, cosmética, etc.

Algunos son extremadamente peligrosos para la salud, como el benceno, el cloruro de vinilo y 1,2 dicloroetano.

Dada su importancia, existen diferentes normas que regulan la emisión de COV debidas al uso de disolventes orgánicos (p.ej. pinturas y gasolinás) destacando la Directiva sobre emisiones industriales que, entre otros aspectos, impone valores límite de emisión para instalaciones y actividades que utilicen disolventes orgánicos.

Además de la contaminación atmosférica por agentes químicos, la presencia de ruidos o vibraciones en el ambiente puede producir molestias, riesgo o daño para las personas y animales, y para el desarrollo con normalidad de sus actividades.

## **5. PREVENCIÓN Y EFECTOS SOBRE LA SALUD**

Existen tres factores que influyen en el riesgo de daño tóxico derivado de los contaminantes ambientales: sus propiedades fisicoquímicas, la dosis que llega a los puntos críticos de los tejidos del cuerpo y la capacidad de respuesta de esos tejidos a las sustancias.

Los riesgos potenciales para la salud dependen de la presencia de contaminantes en el ambiente y su concentración. Para que se produzca un daño en la salud, la exposición se debe producir a una dosis suficiente para que tenga consecuencias adversas. En este contexto, se entiende por exposición el contacto entre el agente peligroso y el organismo.

La dosis se refiere a la cantidad de sustancia en el cuerpo.

Uno de los principios fundamentales de la epidemiología ambiental es que existe una relación entre el nivel de exposición y el efecto en la salud. Se acepta de manera generalizada que en muchas ocasiones esa relación es lineal, es decir, el efecto o la respuesta aumenta con el incremento de la exposición al contaminante. Sin embargo, en algunos casos la relación dosis-respuesta no es lineal y adopta formas curvilíneas.

Puesto que las exposiciones pueden ser de corta o larga duración, los efectos en la salud pueden ser agudos o crónicos, y pueden manifestarse en un intervalo de tiempo mayor o menor desde el inicio de la exposición. Muchos efectos agudos aparecen inmediatamente y tienen efectos que no superan los minutos, horas o pocos días. Muchos efectos crónicos tienen periodos de latencia de años, como el caso de algunos cánceres.

La epidemiología pretende identificar esa relación, pero la influencia de diversos y múltiples factores supone un reto para la epidemiología e implica un elevado grado de incertidumbre en no pocas ocasiones.

Las metodologías de evaluación y control de los riesgos para la salud de origen ambiental son similares a los utilizados en los lugares de trabajo. Las disciplinas de seguridad, higiene, toxicología, epidemiología, habituales en prevención de riesgos laborales son herramientas básicas en la ciencia medioambiental. Estas metodologías incluyen la identificación y evaluación de los riesgos, la valoración de las opciones de control, las medidas de prevención y control y el programa continuo de vigilancia de la exposición.

Así pues, la salud en el trabajo y la salud ambiental están estrechamente ligadas por metodologías comunes, especialmente en materia de evaluación y control de la exposición, y no es extraño que se observen riesgos para la salud ambiental con motivo de la observación de daños en la salud de los trabajadores y viceversa. En términos generales, es más fácil la identificación de riesgos en una población acotada, como puede ser una población trabajadora, que en una comunidad entera. La epidemiología en el trabajo ha contribuido en gran medida al conocimiento de los efectos de la exposición ambiental, lo que constituye una razón más para vincular estos dos ámbitos.

Relacionar la salud ambiental y la salud en el trabajo mejora la toma de decisiones. Sustituir una sustancia tóxica para las personas trabajadoras por otra que no lo sea, o lo sea en menor medida, puede tener sentido desde el punto de vista de salud laboral, pero si esa sustancia no es biodegradable y daña el medio ambiente probablemente no será la solución más óptima.

Las normas de salud ambiental suelen ser más estrictas que las de salud en el trabajo, con el argumento de garantizar la protección de una población más amplia, diversa y sensible: personas de edad avanzada, niños, enfermos, embarazadas. Estrechar la relación entre el ámbito de la salud ambiental y laboral puede redundar en una mayor coherencia a la hora de establecer políticas públicas.