



FUNDAMENTOS DE TECNOLOGÍA AMBIENTAL

FRANCISCO JARABO FRIEDRICH
NICOLÁS ELORTEGUI ESCARTÍN
JENNY JARABO UZCÁTEGUI

ENERGÍAS RENOVABLES
ERA SOLAR
RECICLAJE Y USO RESPONSABLE

Prólogo

En el documento de la Conferencia Internacional sobre Educación Ambiental (Tbilisi, Georgia, 1977), se establecieron como objetivos *“Formar una población consciente de la existencia e importancia del medio ambiente global y de su problemática, y que posea los conocimientos, actitudes, motivaciones y competencias necesarias para contribuir de forma individual y colectiva a la resolución de los problemas actuales y a la prevención de otros que podrían sobrevenir”*.

Desde entonces se han editado cientos de obras sobre educación ambiental, la mayoría de ellas haciendo énfasis en los problemas ambientales y en las actitudes hacia ellos. Ésto ha hecho que actualmente exista una cierta conciencia ambiental, principalmente entre la población más joven, lo cual representa una situación muy favorable. Pero una gran parte de los problemas ambientales que se plantean continuamente, o pueden ser prevenidos o tienen solución. El desarrollo tecnológico actual lo permite. Existe la tecnología para reducir en gran parte la contaminación atmosférica. Existe la tecnología para depurar las aguas residuales que podrían contaminar las aguas superficiales o subterráneas. Existe la tecnología para tratar o reutilizar los residuos sólidos y evitar la degradación del paisaje. Existe la tecnología para reducir los niveles de ruido. Y muchas veces ni siquiera es necesario aplicar la tecnología existente para evitar un problema ambiental. Basta aplicar el raciocinio, esa cualidad que distingue al ser humano de los demás seres vivos con los que comparte el entorno.

Y como existe la tecnología, el objetivo que nos hemos planteado en esta obra es darla a conocer. En los últimos años los autores hemos dedicado nuestros esfuerzos a divulgar las energías renovables. Pero las energías renovables y el medio ambiente están íntimamente relacionados; por eso hemos querido abordar también este aspecto, bajo un punto de vista completamente análogo: un estudio de cada una de las fuentes más importantes de contaminación y de los sistemas que se utilizan en cada caso para tratarla, reducirla o evitarla. Hemos intentado elaborar un texto asequible a un nivel básico de conocimientos, sin perder rigor en las aportaciones científicas y técnicas. También hemos optado por utilizar las ilustraciones necesarias para la comprensión del texto. Y la escasez de datos numéricos relativos a valores de cantidades y concentraciones de contaminantes se debe a un intento de no cargar en

exceso el texto con cifras que, aunque quizás pudieran ser de interés en algunos casos, desvirtuarían la idea de generalidad y fijación de conceptos que le hemos querido imprimir a la obra.

En definitiva, esperamos despertar la curiosidad del lector respecto a la tecnología ambiental, animándole a profundizar en los temas que encuentre de mayor interés y cuyo desarrollo puede encontrar en textos mucho más especializados.

Finalmente, no queremos olvidarnos de agradecer a la empresa editora la extraordinaria confianza depositada, una vez más, en nuestro trabajo, y la total colaboración que hemos recibido de su equipo editorial en todo momento.

Santa Cruz de Tenerife, octubre de 1999.

Los autores

Capítulo 1: El ser humano y su entorno



Algunos conceptos básicos

El ser humano es un elemento de la Naturaleza. Como tal, está rodeado de un conjunto de circunstancias físicas que se conoce como medio o ambiente y, de forma redundante, como **medio ambiente** y se relaciona con él de forma continua e inevitable. Al estudio de las relaciones existentes entre los seres vivos y el medio en que viven se le denomina **ecología**.

Como consecuencia de su relación con el medio, el ser humano siempre dejará alguna huella en él. La huella que dejan las acciones humanas sobre el medio se conoce como **impacto ambiental**. Cuando se produce una influencia indeseable sobre el medio que pueda ocasionar daño o peligro es cuando se habla de **contaminación** o de **polución**.

El medio ambiente en la Historia

Como es evidente, la incidencia humana sobre el medio ambiente es tan antigua como la propia humanidad. El ser humano está utilizando la tierra desde hace miles de años, aunque sólo hace diez mil años que practica las técnicas agrícolas, es decir, que utiliza un recurso natural básico: el suelo. Otro recurso fundamental, la energía, sólo empieza a usarlo de forma masiva (combustibles fósiles) hace doscientos años, cuando se produce la Revolución Industrial.

La Revolución Industrial, iniciada en Gran Bretaña en la segunda mitad del siglo XVIII, produjo una serie de fenómenos de industrialización y comercialización acelerados, motivados fundamentalmente por la invención y el desarrollo de la máquina de vapor. Ésto condujo al aumento de la producción, a la disminución y especialización de la mano de obra y, en cierta forma, a una honda transformación social, principalmente por la aparición de nuevos sistemas de transporte y por la emigración del campo a la ciudad.

En definitiva, hasta hace sólo un siglo, los cambios en las formas de vida y en la actividad humana fueron muy lentos, por lo que su impacto en el medio ambiente pasó casi desapercibido. En cambio, la concentración de la población en las áreas urbanas industriales y las condiciones de vida en las mismas hicieron que la población empezase a tomar conciencia de los problemas ambientales.

A mediados del siglo XX la preocupación por los problemas del medio ambiente

se hace más evidente; este fenómeno tiene su origen en la aglomeración de la población en las ciudades, y en el aumento masivo de la producción a escala mundial, que pone de manifiesto la escasez de recursos naturales. En la década de los sesenta se comienza a dar un tratamiento sistemático a los problemas ambientales. La inquietud creciente de la población de los países industrializados por proteger el medio ambiente culminó en la Conferencia sobre el Medio Humano, organizada por la Organización de Naciones Unidas (ONU) en Estocolmo, en 1972.

Desde esa fecha se ha despertado la conciencia de proteger el entorno, tanto en los gobiernos como en el conjunto de la sociedad. Sin embargo, los problemas se han ido agudizando aún cuando el medio ambiente es Patrimonio de la Humanidad y se ha ido degradando hasta tal punto, que está siendo necesario establecer modelos de crecimiento y de desarrollo compatibles con la conservación y protección del medio ambiente y con la utilización racional de los recursos.

La Revolución Industrial y el posterior proceso de urbanización han modificado profundamente el medio ambiente durante el siglo XX, ya que se han alterado los factores físicos, se han explotado incorrectamente los recursos naturales y se han generado residuos a gran escala y en diferentes ámbitos, que la propia Naturaleza no ha sido capaz de regular, debido a la gran velocidad con que se han producido todos estos hechos.

En definitiva, si bien hoy día es más necesario que nunca reducir los efectos ocasionados por el ser humano sobre el medio ambiente en los últimos años, no debe olvidarse que el objetivo fundamental es evitar desde el principio el deterioro ambiental mediante las acciones necesarias sobre las causas, mucho más eficaces y menos costosas que las acciones sobre los efectos.

Concepciones ambientales

A lo largo de esta evolución del efecto del factor humano sobre el ambiente han ido surgiendo diferentes puntos de vista acerca de su protección

En sus primeras fases, el medio ambiente se contempló desde un punto de vista **naturalista**, en el que la preocupación se centra exclusivamente en el medio natural y con una visión muy compartimentada de su funcionamiento, de manera que no se contemplan interacciones entre distintas especies, ni entre éstas y el medio físico. Esta

posición ambiental es la que justifica acciones como las repoblaciones masivas de árboles no autóctonos o la conservación a ultranza de especies animales en reservas orientadas a una sola especie. Sin embargo, esta línea ambiental ha mostrado con el tiempo sus limitaciones: si se conservan a ultranza a los elefantes y su población crece lo suficiente, terminan arruinando la sabana por la presión que ejercen sus necesidades de alimentación.

Una evolución de estas ideas llevó al **ecologismo naturalista**, en la que se reconocen las relaciones entre los seres vivos de una forma descriptiva, sin desarrollarse modelos explicativos de esas relaciones. Esta concepción ambiental encontró su límite en el papel del ser humano en el ambiente: si su papel es el de perturbar el medio natural y sus relaciones, los humanos sobran en él y sólo podrá ser conservado con su ausencia. Con este planteamiento se pasó de las reservas animales a los grandes parques naturales de gran diversidad de especies e interacciones.

La necesidad de integrar a la sociedad humana en el medio ambiente sustentó la aparición del **modelo natural-sociocultural**, en el que el medio ambiente entra en las ciudades y contempla la interacción humana como una más de las existentes. Este modelo, más que integrar el ambiente humano en el natural, suma el medio urbano al natural, manteniendo la separación entre ambos y la concepción del medio urbano como una degradación que sería deseable corregir. De esta forma, este modelo sigue sin aceptar la existencia de la sociedad humana, lo que dificulta la búsqueda de soluciones de compatibilidad entre Naturaleza y sociedad.

La aceptación de esta integración entre Naturaleza y sociedad, apoyada por la teoría general de los sistemas de Bertalanffy, es la que llevó a la aparición de un modelo **sistémico**, en el que se contempla el planeta como un todo relacionado en el que cualquier modificación de una de sus partes afectará a las demás. Este modelo se ha visto reforzado por fenómenos globales, como el efecto invernadero del CO₂, el agujero de ozono o el impacto del cambio climático natural sobre las sociedades humanas a lo largo de la historia, desde las glaciaciones hasta el avance del desierto del Sáhara o los caprichos de “El Niño”.

Al reconocer este concepto de interacción global, el papel de la sociedad humana en el medio ambiente deja de ser el de mantenerse al margen y ver pasivamente actuar a la Naturaleza, para adoptar un papel activo; la interacción

humana con el ambiente no tiene por qué ser únicamente negativa, sino que se pueden utilizar conocimientos y tecnología para estudiarlo, controlarlo y mejorarlo. Es en este concepto ambiental donde halla su justificación el desarrollo de la tecnología ambiental que aquí se pretende introducir.

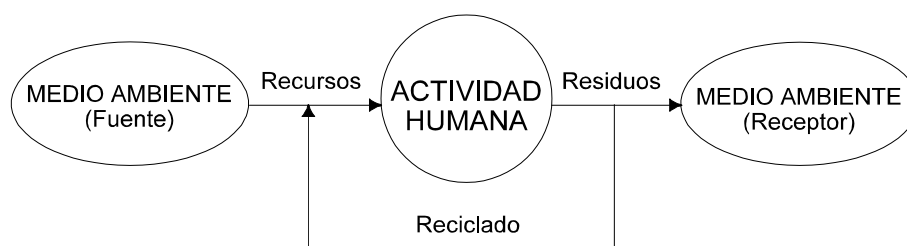
Bajo este modelo, el objetivo del estudio del medio ambiente será establecer las relaciones entre todas las partes del planeta con el fin de lograr las mejores condiciones posibles para todos los que en él habitan. Y como ese beneficio global exigirá siempre soluciones de compromiso, la polémica sobre la adecuación de las decisiones ambientales siempre estará garantizada.

Relación entre medio ambiente y actividad humana

El medio ambiente puede considerarse como un conjunto de elementos esenciales e imprescindibles para las funciones del ser humano, que puede ser contemplado como:

- **Fuente** de recursos naturales para la actividad humana.
- **Receptor** de impactos debidos a la actividad humana.

La relación entre el medio ambiente y la actividad humana tiene lugar a través de un flujo recíproco de materiales y energía que se rige por los principios de la conservación: la cantidad de materiales devueltos al medio ambiente como residuos de la actividad humana debe ser igual a la cantidad de materiales que el medio ambiente proporciona a la actividad humana.



Relación entre medio ambiente y actividad humana

En este modelo de balance de materia hay que tener en cuenta dos hechos:

- Los residuos no tienen que ser necesariamente contaminantes.
- La Naturaleza tiene una determinada capacidad de autorregulación.

Esto es debido a que la relación establecida no es de cantidades, sino de *flujos* (cantidades por unidad de tiempo). De ello se deduce que, con un ritmo adecuado de

utilización de los recursos, puede evitarse que la degradación del medio ambiente rebase ciertos límites. Cuando se vislumbra la posibilidad de agotamiento de un recurso o cuando comienza a superarse la capacidad de absorción de un residuo, aparece la amenaza de deterioro del medio ambiente o el problema de la contaminación.

Por otra parte, los flujos se ven afectados por la población y, en el caso humano, por el estilo de vida. Un gran aumento de población de cualquier especie acelera los flujos y lleva rápidamente a sobrepasar la capacidad de autorregulación de la Naturaleza; esta situación es evidente en la población humana, pero no exclusiva de ésta, siendo conocidos los casos de la superpoblación de conejos en Australia, la de elefantes en Tanzania, la de palomas en las ciudades europeas o incluso la de las bíblicas plagas de insectos.

En cuanto al estilo de vida, es notorio que el consumo de recursos norteamericano o europeo tiene efectos ambientales mucho mayores que el asiático o el africano. Sin embargo, está apareciendo una nueva tendencia por la que, países que se están industrializando y que no tienen una gran conciencia ambiental (casos de China o México) están alcanzando efectos ambientales negativos semejantes a los de los grandes consumidores, pero sin el modelo de vida de éstos.

Gestión ambiental

El ser humano ha de aceptar la responsabilidad de vigilar y proteger su medio ambiente, administrando debidamente los recursos de que dispone. Para ello ha de partir de una perspectiva que haga posible la actividad humana, manteniendo la calidad de vida y el equilibrio del entorno a largo plazo. Es, por tanto, necesario emprender una serie de acciones encaminadas a lograr la máxima racionalidad en los procesos de decisión relativos a la protección del medio ambiente, acciones que pueden englobarse en dos puntos principales:

- Valorar correctamente las consecuencias, tanto positivas como negativas, a corto y largo plazo, que cada acción pueda tener sobre el medio ambiente.
- Encontrar soluciones tecnológicas capaces de mitigar o anular estas consecuencias.

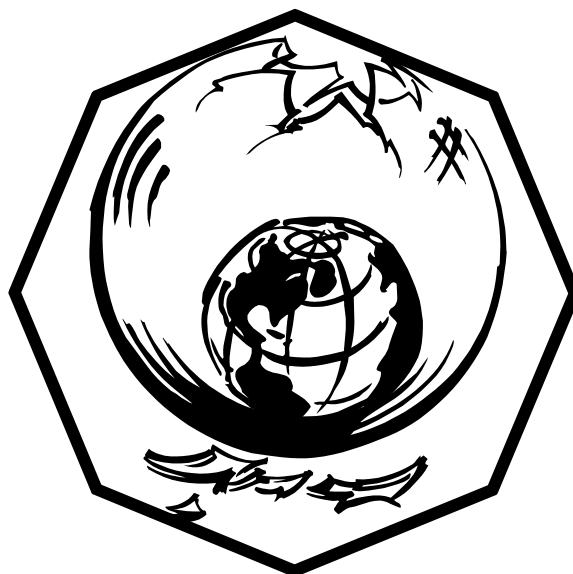
Es decir, habrá primero que definir y cuantificar el problema para luego poner

en marcha los procesos que se han diseñado con el fin de lograr la mejor resolución de dicho problema.

Si bien el estudio de los problemas del medio ambiente es un tema de gran complejidad, por su diversidad, se intentará dar aquí una visión general de los mismos, para lo cual se abordará un esquema de desarrollo en función de los factores de impacto físico:

- Alteración de procesos naturales
- Contaminación atmosférica
- Contaminación de las aguas
- Residuos sólidos
- Ruido

Capítulo 2: Alteración de procesos naturales



La Tierra como sistema dinámico

Los procesos naturales están sometidos a cambios continuos, tanto en el espacio como en el tiempo. Al ser humano le ha costado mucho conocer y comprender estos cambios, debido a su propia percepción del tiempo y del espacio. La vida humana es muy breve en comparación con la duración de muchos fenómenos naturales, permitiendo conocer pocos cambios temporales. Por otro lado, la capacidad de desplazamiento humana ha sido, hasta hace muy pocos años, muy pequeña, restringiendo mucho las diferencias en el espacio que se podían observar.

Sólo desde que se han podido analizar los procesos naturales en una escala de tiempo adecuada y se ha podido ver el planeta de forma global, se dispone de una información adecuada para *aprender* a observar la actuación de la naturaleza. El ser humano se encuentra todavía en esta fase de aprendizaje, empírica, que aún no le ha permitido modelar, y muchísimo menos predecir, el comportamiento de los fenómenos naturales. Sirva como ejemplo la Meteorología, la disciplina que estudia los fenómenos atmosféricos. A pesar de sus grandes avances, sus predicciones no son fiables más allá de las seis horas, y sólo con cierto margen de probabilidad. Y los fenómenos atmosféricos sólo son algunos de los muchos fenómenos naturales que se producen de forma continua sobre la Tierra.

Los fenómenos naturales han moldeado el planeta desde que se formó, y lo siguen haciendo sin intervención humana. Generalmente los cambios se producen a muy poca velocidad, como la orogenia (formación de montañas) o su fenómeno compensatorio destructivo, la erosión (desgaste de la superficie terrestre por el agua y el viento). Estos fenómenos provocan cambios que son absorbidos por el resto del medio natural, que dispone de tiempo suficiente para adaptarse y volver a lograr el equilibrio. Pero otras veces, suceden fenómenos destructivos a gran velocidad, como huracanes, terremotos o erupciones volcánicas, catástrofes de cuyos efectos pueden quedar secuelas que el medio natural suele no poder restaurar, ya que posiblemente tenga que crearse un nuevo estado de equilibrio, completamente diferente al anterior.

Es decir, la propia naturaleza es capaz de producir cambios climáticos, contaminar el aire y las aguas, destruir ecosistemas y paisajes, desertizar, esquilmar o salinizar suelos o desestabilizar terrenos. No es imprescindible la intervención humana para producir efectos destructivos; todo ello forma parte de la dinámica del

planeta y ya sucedía así antes de que los seres humanos aparecieran sobre la Tierra.

La presencia humana

La importancia numérica de la población mundial actual supone, no sólo que su presencia se tiene que notar, sino que además comience a jugar un papel fundamental en las alteraciones del medio. El resultado del modelado del planeta con los seres humanos como nuevos elementos incorporados, sobreabundantes y consumidores de recursos, tiene que ser forzosamente distinto al de la situación anterior. La actividad humana, dirigida principalmente a la supervivencia, necesariamente ha de afectar al entorno natural. Si se conociese suficientemente el funcionamiento de los procesos naturales, así como la dinámica de interacción de la actividad humana sobre el medio, se podría intentar lograr que ciertos efectos se compensasen o, al menos, no se sumasen para acelerar los cambios. Se trata, pues, de tener una comprensión lo más objetiva posible de la realidad para intentar, en lo posible, no alterar los procesos naturales, en aras a la supervivencia no sólo de la especie humana, sino de todas las demás especies.

Históricamente, por necesidad e ignorancia, y más actualmente, por negligencia, el ser humano se ha sumado a los efectos destructivos naturales. Para satisfacer la necesidad de obtener alimentos a gran escala, el ser humano ha procedido a la deforestación de grandes áreas boscosas, al pastoreo intensivo de amplios pastizales y a la sobreexplotación de terrenos con monocultivos. Junto con la irrigación inadecuada y la explotación abusiva de acuíferos, ha colaborado en la desertización de extensas superficies, en el agotamiento de nutrientes y en la salinización de suelos. Con la excesiva explotación pesquera y cinegética y, sobre todo, con el uso indiscriminado de productos agroquímicos, ha destruido no sólo una gran cantidad de especies, sino numerosos ecosistemas terrestres y acuáticos, imposibles de recuperar.

La extracción de minerales también ha dejado sus secuelas: inestabilidad de terrenos, degradación o destrucción de paisajes y contaminación de aire y agua. Sin embargo, son los asentamientos urbanos y las instalaciones relacionadas con ellos los que han puesto en marcha la mayor variedad de procesos degenerativos del medio ambiente. La urbanización de extensas zonas, la construcción de vías de comunicación (carreteras, vías férreas) y de transporte energético (líneas eléctricas, gasoductos) y

la modificación de vías fluviales (embalses, trasvases) sin prever las posibles consecuencias ambientales, no sólo han potenciado los fenómenos destructivos ya mencionados, sino que han llegado incluso a causar cambios microclimáticos y un considerable incremento de los efectos catastróficos naturales.

Se hace evidente, pues, que no se puede seguir desequilibrando el medio con la actividad humana. Incluso, los propios seres humanos ven afectadas negativamente su capacidad productiva y sus condiciones de vida al sufrir los efectos de sus propias acciones sobre el entorno. En consecuencia, es necesario estudiar la interacción entre las nuevas actividades humanas que se pongan en marcha y el medio en que se llevan a cabo. Como ya se ha mencionado, no se conoce lo suficiente sobre estas interacciones; por tanto, al realizar lo que se conoce como “evaluación del impacto ambiental” será necesario tener presente la escasa capacidad predictiva de que se dispone y la consiguiente imprecisión de dicha evaluación.

Impacto ambiental

Se dice que hay un impacto ambiental cuando una actividad produce una alteración en el medio ambiente. Obsérvese que, debido a las leyes físico-químicas que rigen la materia y la energía, toda actividad tiene impacto ambiental, sea cual sea la especie viviente que lleve a cabo la actividad. La evaluación de este impacto consiste en realizar un estudio encaminado a identificar las causas y predecir, prevenir o evitar los efectos que una actividad pueda causar al entorno.

El concepto “*alteración*” es una valoración cualitativa que es necesario cuantificar, diferenciando los componentes naturales de los artificiales, si se pretende utilizar como medida para expresar la magnitud del efecto de una determinada acción sobre el medio ambiente. De ésto se deduce la dificultad inmediata que surge al tratar de expresar numéricamente características del entorno que pueden resultar de difícil medición.

Una alteración puede ser directa o indirecta, grande o pequeña, positiva o negativa, de efecto sobre un entorno reducido o amplio, temporal (reversible) o permanente (irreversible). Y todas estas calificaciones pueden variar en función de la referencia espacial y temporal escogidas para estudiarlas y del marco ideológico con que se evalúan. Así, por ejemplo, una pista forestal puede ser muy beneficiosa según

unas concepciones ambientales y nefasta según otras; una repoblación pudo considerarse adecuada en otro tiempo y muy perjudicial actualmente.

A pesar de estas grandes limitaciones, los estudios de impacto ambiental son el único instrumento que permite introducir consideraciones ambientales en la planificación de actividades, con vistas a que éstas puedan llevarse a cabo de forma equilibrada respecto al entorno.

Las **acciones** que requieren una evaluación de impacto ambiental antes de su ejecución van aumentando en número, según aumenta el grado de conocimiento de los efectos ambientales. Un resumen de las principales se muestra en la relación del cuadro adjunto.

- Extracción de minerales energéticos, metalíferos y no metalíferos
- Tratamiento de minerales
- Actividades manufactureras:
 - Tratamiento de combustibles (coquerías, refinerías de petróleo)
 - Industria metalúrgica (acero, metales no férreos)
 - Transformación de metales (construcción naval, automovilística)
 - Fabricación de productos minerales no metálicos (cemento, vidrio, yeso)
 - Industria química (ácido sulfúrico, amoníaco)
 - Industrias alimentaria y de bebidas (mataderos, conservas, cervecerías)
 - Industrias textil y del cuero (tinte, curtido)
 - Industrias de muebles de madera, papel y artes gráficas (celulosa, tintas)
- Proyectos agrícolas
- Almacenamiento y tratamiento de residuos
- Infraestructuras para el transporte y los servicios
- Proyectos urbanísticos

Acciones que requieren evaluación de impacto ambiental

Una vez definida la acción que se desea realizar, hay que tener en cuenta los **factores ambientales**, es decir, los componentes del medio susceptibles de ser perturbados. Entre otros, se podrían nombrar los factores relacionados en el cuadro adjunto.

Obsérvese que estos factores pueden ser muy variables, e incluso, muy específicos, según la perturbación que se desee evitar. Así, por ejemplo, en la isla canaria de La Palma se ha establecido una reglamentación muy estricta sobre la

contaminación lumínica que producen los núcleos habitados. Su eficaz aplicación permite mantener un cielo de alta calidad para la observación astronómica que se lleva a cabo en el observatorio astrofísico del Roque de los Muchachos, uno de los más importantes del mundo.

- Contaminación atmosférica
- Contaminación de las aguas
- Efectos sobre el suelo
- Recursos naturales minerales, flora y fauna
- Factores territoriales y paisajísticos
- Aspectos humanos sociales y económicos

Factores ambientales

El estudio detallado de los factores ambientales involucrados permitirá determinar los **indicadores de impacto**, es decir, aquéllos parámetros que proporcionan la medida de la magnitud de la alteración que se puede producir. Ésta es la fase más compleja, ya que durante la misma se intenta cuantificar el impacto ambiental. Por ello se han desarrollado diferentes métodos, citándose a continuación algunos de los más usados:

- **Listas de chequeo:** Relaciones normalizadas en las que se recogen los posibles impactos que de forma general pueden derivarse de una acción concreta, y de las que se van extrayendo aquéllos que realmente se producen en el caso estudiado.
- **Matrices causa-efecto** (Método de Leopold): Tablas de doble entrada en las que las columnas recogen las acciones que pueden alterar el medio ambiente y las filas recogen las características del medio susceptibles de ser alteradas (factores ambientales); en las celdas resultantes se identifican los impactos, bien cualitativamente (con una marca) o bien cuantitativamente (con números).

Actividades que pueden causar efectos ambientales

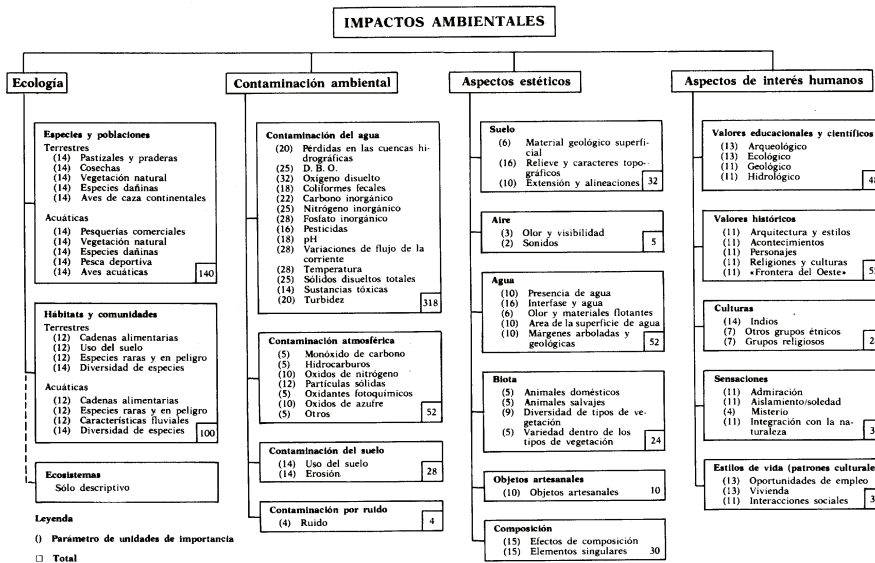
INSTRUCCIONES	A. MODIFICACION DEL REGIMEN		B. TRANSFORMACION DEL TERRITORIO Y CONSTRUCCION	
	1	2	3	4
1. Identificar todas las acciones (situadas en la parte superior de la matriz) que tienen lugar en el proyecto propuesto.				
2. Bajo cada una de las acciones propuestas, trazar una barra diagonal en la intersección con cada uno de los términos laterales de la matriz, en caso de que haya un posible impacto.				
3. Una vez completa la matriz, en la esquina superior izquierda de cada cuadro con barra, calificar de 1 a 10 la MAGNITUD del posible impacto. 10 representa la máxima magnitud y 1 la mínima (el cero no es válido). Delante de cada calificación poner + si el impacto es beneficioso. En la esquina inferior derecha de cada cuadro calificar de 1 a 10 la IMPORTANCIA del posible impacto (por ejemplo, si es regional o simplemente local); 10 representa la máxima importancia y 1 la mínima (el cero no es válido).				
4. El texto que acompañe la matriz consistirá en la descripción de los impactos más significativos, es decir aquellos cuyas filas y columnas estén señaladas con las mayores calificaciones y aquellos cuadros señalados con números superiores.				

MATRIZ EJEMPLO				
	a	b	c	d
a	2	1	3	4
b	2	3	2	1
c	3	2	1	2
d	4	1	2	3

ACCIONES PROPUESTAS		A. MODIFICACION DEL REGIMEN		B. TRANSFORMACION DEL TERRITORIO Y CONSTRUCCION	
1	2	3	4	5	6
1. TIERRA					
a.	Recursos minerales				
b.	Materiales de construcción				
c.	Suelos				
d.	Geomorfología				
e.	Campos magnéticos y radiactividad de fondo				
f.	Factores físicos singulares				
2. AGUA					
a.	Continuales				
b.	Marinos				
c.	Subterráneas				
d.	Calidad				
e.	Temperatura				
f.	Recarga				
g.	Nieve, hielo y heladas				
h.	Cantidad (gases, partículas)				
i.	Clima (viento, mar) (a)				
j.	Temperatura				
3. PROCESOS					
a.	Inundaciones				
b.	Erosión				
c.	Deposición (sedimentación y precipitación)				
d.	Solución				
e.	Sorben (intercambio de iones, complejos)				
f.	Compactación y asientos				
g.	Estabilidad				
h.	Sismología (terremotos)				
i.	Movimientos de aire				

Ejemplo de matriz de Leopold

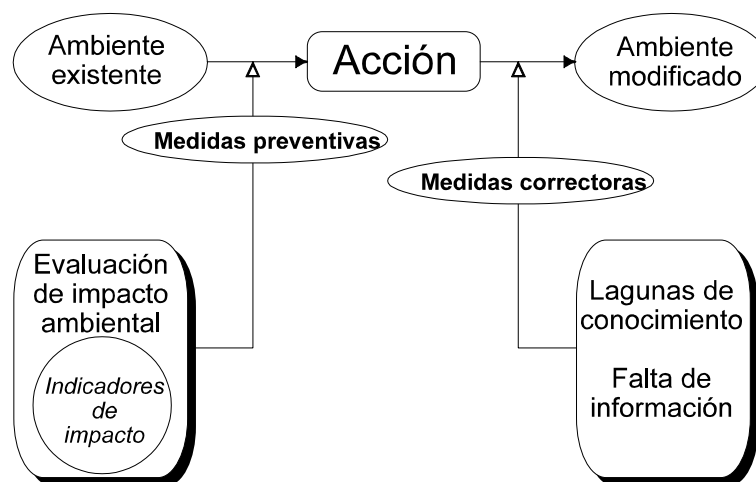
- **Modelos cuantitativos (Método de Batelle):** Se define una serie de parámetros ambientales en unas "funciones de evaluación" que permiten obtener valores cuantitativos denominados "unidades de impacto ambiental", que representan un número comparable para el impacto de la acción sobre cada uno de los indicadores de impacto definidos.



Matriz de impactos del método de Batelle

- **Métodos “ad hoc”:** Considerando que las metodologías existentes son incompletas y muy subjetivas, se suelen combinar los métodos mencionados y ampliarlos, según el buen criterio del evaluador, de tal forma que se adapten a la acción concreta que se desea evaluar; es decir, en cada caso se usa el método o los métodos más adecuados.

La evaluación del impacto ambiental permitirá establecer las medidas correspondientes para atenuar los efectos que tiene la acción evaluada. Generalmente se aplican medidas **preventivas** o protectoras, de tal manera que el medio sea mínimamente afectado. No obstante, el desconocimiento de la respuesta de los ecosistemas ante estímulos nuevos muchas veces obligará a establecer posteriormente medidas **correctoras**, cuya necesidad se podrá establecer durante el propio desarrollo de la acción.



Esquema de la evaluación de impacto ambiental

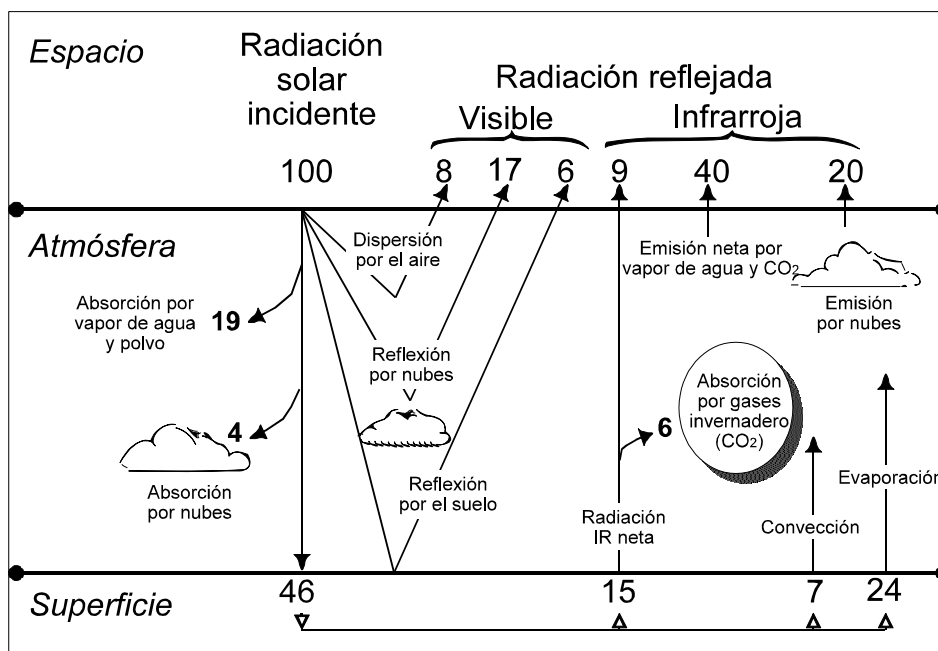
Efectos ambientales globales

Existen varios efectos ambientales que por su actualidad y magnitud conviene mencionar. Tienen lugar en los tres medios del planeta (aire, agua y tierra) y lo que es más importante, son de carácter global o extenso. El origen de algunos de ellos es natural, sin embargo, pueden verse potenciados en distinta medida por la actividad

humana.

Efecto invernadero

La Tierra recibe del sol radiaciones electromagnéticas de muchas longitudes de onda, de las que algunas, como la luz visible, atraviesan la atmósfera y calientan la superficie. Toda la materia, por el hecho de estar caliente, desprende parte de ese calor, pero en forma de radiaciones de onda larga (infrarrojos). El dióxido de carbono contenido en la atmósfera actúa como un filtro para las radiaciones de onda larga, por lo que impide su salida al espacio exterior, quedando esta energía encerrada en la atmósfera, calentándola. Gracias a este fenómeno, conocido como “*efecto invernadero*”, la temperatura media de la Tierra es unos 30 °C superior a la que tendría sin atmósfera, lo que hace posible que el planeta sea habitable. Si se analiza el balance de energía representado en el esquema adjunto, puede observarse que las energías incidente y reflejada son iguales, pero ello depende del valor absorbido por el CO₂ (6%); si aumentase este valor, la energía reflejada disminuiría y la Tierra se calentaría.

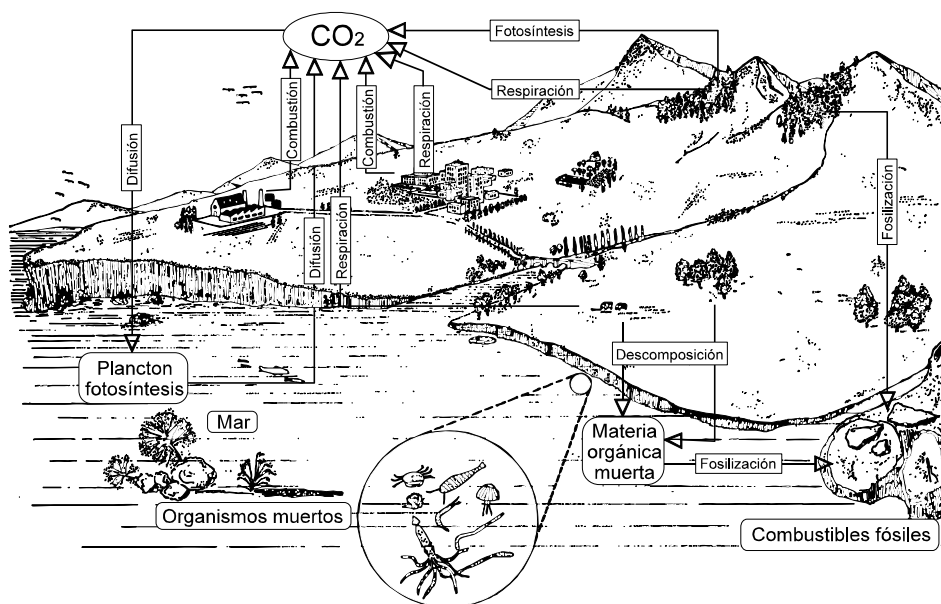


Balance de energía en la Tierra

De forma natural, la concentración de dióxido de carbono permanece estable en la atmósfera, gracias al equilibrio del ciclo del carbono sobre la Tierra. Algunos investigadores plantean que la ruptura de este equilibrio por un aumento excesivo de la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera aumentaría su temperatura

global en varios grados, lo que podría causar profundos cambios climáticos sobre la superficie del planeta, de consecuencias por el momento imprevisibles.

En la actualidad se maneja la hipótesis de que la elevación de la temperatura media que se ha observado en algunas partes del planeta sea debida a la influencia humana. Por un lado, el consumo de energías fósiles produce una disipación térmica y un aumento de la cantidad de dióxido de carbono en el aire, debido a la incorporación del carbono almacenado en forma de hidrocarburos y, por tanto, ausente del ciclo del carbono, en un período de tiempo muy corto. Por otro lado, la deforestación a gran escala también modifica el balance del ciclo del carbono en el mismo sentido, al haber menos carbono almacenado en forma de materia vegetal.



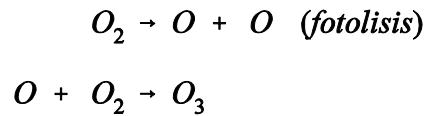
Ciclo del carbono

No se posee todavía medidas suficientes ni modelos lo bastante precisos para poder afirmar exactamente cuál es la contribución al calentamiento actual debida a causas naturales (actividad volcánica, cambios en las condiciones de temperatura y salinidad de los océanos) y cuál es la debida al aumento de la concentración de dióxido de carbono y de otros “gases invernadero” (metano, clorofluorcarbonos, ozono, óxidos de nitrógeno, vapor de agua). No obstante, ya existen acuerdos de ámbito mundial para ir reduciendo paulatinamente las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera.

Agujero de ozono

El ozono (O_3) es una forma molecular del oxígeno que se produce continuamente

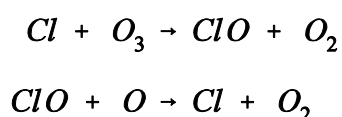
te en la atmósfera, porque el oxígeno natural (O_2) de la estratosfera (10 - 50 km) absorbe los rayos ultravioletas del sol, que le aportan la energía suficiente para escindirse en sus dos átomos de oxígeno. Estos átomos, muy activos, reaccionan con una molécula de oxígeno para dar ozono:



El ozono se acumula entre 25 y 30 km de altura, dentro de la estratosfera, constituyendo la **capa de ozono** u *ozonósfera*. Ésta apenas representa un pequeño porcentaje de la atmósfera, pero envuelve a la Tierra actuando como filtro de la mayor parte de las radiaciones ultravioletas del sol, que podrían afectar desfavorablemente a todos los seres vivos, debido a su alta energía. En esta capa, el ozono coexiste con otros gases en una concentración algo mayor que en el resto de la atmósfera, por lo que no debe entenderse la denominación “capa de ozono” como una zona en la que el gas predominante o único sea el ozono.

A finales de la década de 1970, comienzan a realizarse mediciones sistemáticas en la ozonósfera y se detecta sobre la Antártida una disminución drástica de su espesor, que alcanza sus valores más importantes durante los meses de septiembre y octubre, de forma cíclica. A este fenómeno se le da el nombre de “*agujero de ozono*”.

No es posible saber desde cuándo se produce este fenómeno, ya que no se dispone de datos históricos anteriores a 1970, pero ha sido relacionado con la presencia en la atmósfera de ciertas sustancias, los clorofluorocarbonos (CFCs). Estos compuestos, utilizados en la fabricación de diversos productos (aerosoles, refrigerantes) son muy estable y ligeros. Ésto les permitiría llegar a la estratosfera, donde la radiación ultravioleta liberaría un átomo de cloro, que reaccionaría con el ozono, transformándolo de nuevo en oxígeno:



Obsérvese que según estas reacciones, no sólo desaparece el ozono, sino que se impide su formación a partir de átomos de oxígeno.

Si bien las razones que se esgrimen en cuanto a la relación causa-efecto entre

los CFCs y la destrucción de la capa de ozono todavía tienen carácter de hipótesis, se ha llegado a acuerdos internacionales para la sustitución de los CFCs por otros productos alternativos de los que, en muchos casos, se desconocen sus efectos ambientales a largo plazo.

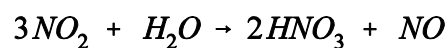
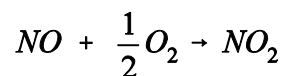
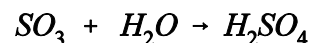
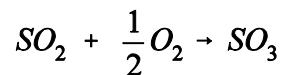
Lluvia ácida

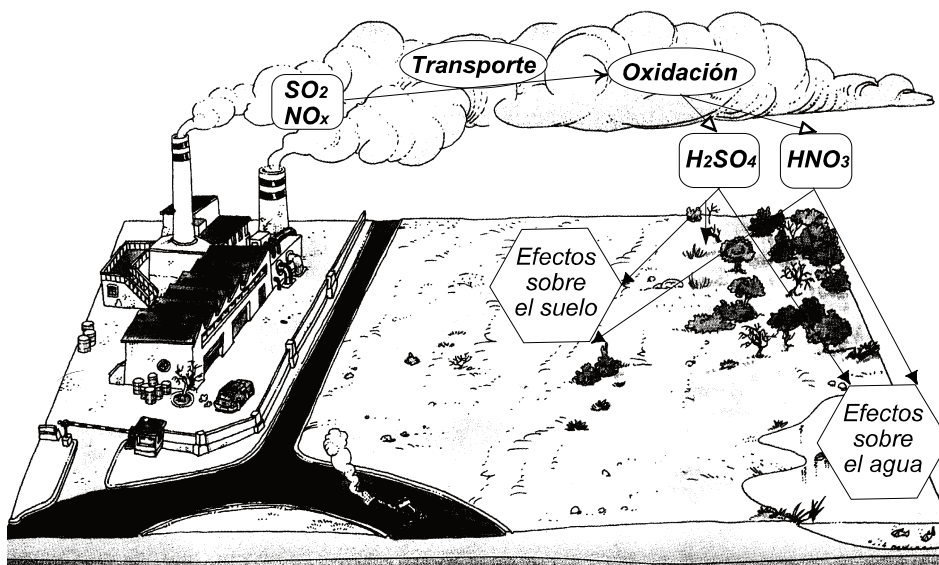
Las precipitaciones naturales tienen un pH entre 7 y 5,6. Esta ligera acidez se debe a la presencia de ácido carbónico que procede de la reacción del dióxido de carbono y el vapor de agua atmosférico:



Sin embargo, la emisión a la atmósfera de óxidos de azufre y nitrógeno procedentes de la combustión de combustibles fósiles, hace posible que las precipitaciones alcancen grados de acidez mayores (pH < 5,6). A este fenómeno se le conoce como "lluvia ácida".

La acidificación del agua de lluvia se inicia a partir de las citadas emisiones de óxidos de azufre y nitrógeno, que en la atmósfera sufren una oxidación y la reacción de estos óxidos con el agua produce, espontáneamente, ácidos sulfúrico y nítrico, respectivamente:





Esquema de la lluvia ácida

Estos ácidos producidos y contenidos en la atmósfera pueden viajar grandes distancias, según las condiciones meteorológicas, pero cuando caen en forma de lluvia producen importantes alteraciones en los ecosistemas, principalmente al modificar el pH del suelo y del agua. La adopción de las medidas adecuadas sobre los focos emisores de los gases responsables de este fenómeno, permitiría reducir de forma importante sus efectos, totalmente atribuibles a la actividad humana.

Degradación de corrientes de agua

En las masas de aguas fluyentes (ríos) tiene lugar de modo natural un conjunto de fenómenos físicos, químicos y biológicos que provocan la destrucción de materias extrañas incorporadas a ellas. Esta propiedad de las corrientes de agua se conoce como “**autodepuración**” y depende principalmente del contenido en oxígeno disuelto. Recuérdese que la cantidad máxima de oxígeno que se puede disolver en el agua depende principalmente de su temperatura, siendo tanto mayor cuanto más fría esté el agua. Un agua fría y bien agitada contendrá mucho oxígeno disuelto, pero esta cantidad podrá variar debido a diferentes factores contrapuestos.

Por un lado, se registra un consumo de oxígeno debido a la oxidación biológica de la materia orgánica que contiene carbono y nitrógeno, la descomposición de los depósitos del fondo y la respiración de las plantas acuáticas y otros organismos vivos; también existe un consumo directo necesario para la oxidación de las sustancias

químicas reductoras que forman parte de los procesos bioquímicos naturales. Por otro lado, el agua recibe aportes de oxígeno a través de la fotosíntesis de los vegetales clorofílicos y por la aireación natural provocada por las turbulencias del flujo.

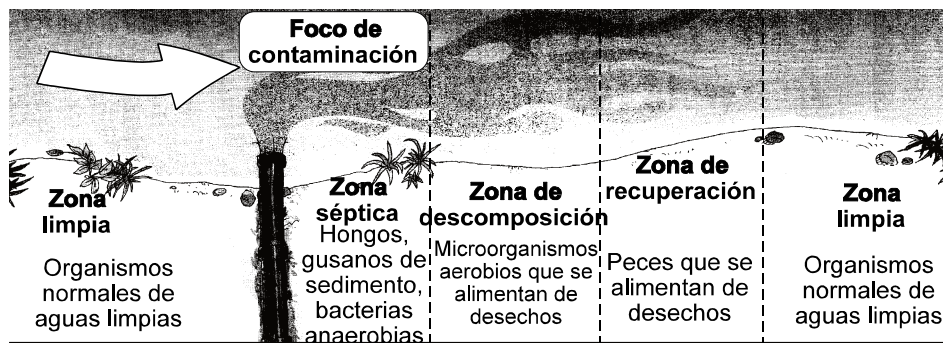
Si una corriente recibe una sobrecarga de materia orgánica, aguas abajo del punto de vertido pueden distinguirse cuatro zonas claramente diferenciadas:

- **Zona séptica:** Comienza en el punto de vertido y se prolonga aguas abajo. La concentración de oxígeno disminuye progresivamente e incluso puede desaparecer por completo. Las aguas tienen un aspecto sucio y se transforman en no aptas para el desarrollo de formas de vida superiores, que se sustituyen paulatinamente por otras inferiores. El contenido en sustancias orgánicas es muy diverso, resultado de la degradación parcial de la materia orgánica. El fango es negrozco y se desprenden gases poco oxidados de olor desagradable, debido a la descomposición anaerobia.
- **Zona de descomposición:** En esta zona se inicia la recuperación de la corriente. Se siguen produciendo fenómenos de oxidación de la materia orgánica, pero el contenido de oxígeno disuelto ya es suficiente para la vida de las especies más desarrolladas. El fango suele ser de color verde debido a que se desarrollan sobre él algunas algas.
- **Zona de recuperación:** En esta zona la recuperación de la corriente está ya muy adelantada y es en ella en la que se completa el proceso de autodepuración. Las aguas son ricas en oxígeno y se registra la presencia de microflora y microfauna, así como de anfibios y peces.
- **Zona limpia:** En esta zona las aguas ya han alcanzado el aspecto y características que presentan en estado natural; la vida vegetal y animal se desarrolla normalmente. Las concentraciones de oxígeno disuelto son muy elevadas y los fenómenos de descomposición se realizan por vía aerobia.

La longitud de cada una de las zonas mencionadas dependerá, fundamentalmente, del caudal y de la agitación de la corriente y de la sobrecarga de materia orgánica.

Si la sobrecarga de materia orgánica incorporada a la corriente es muy elevada o si el vertido contiene componentes tóxicos o no metabolizables (metales), lo que generalmente se produce por la intervención humana, la capacidad de autodepuración

de la corriente puede verse ampliamente superada, por lo que se produce su degradación, convirtiéndose toda ella en una zona séptica, cuya regeneración natural sería prácticamente imposible.

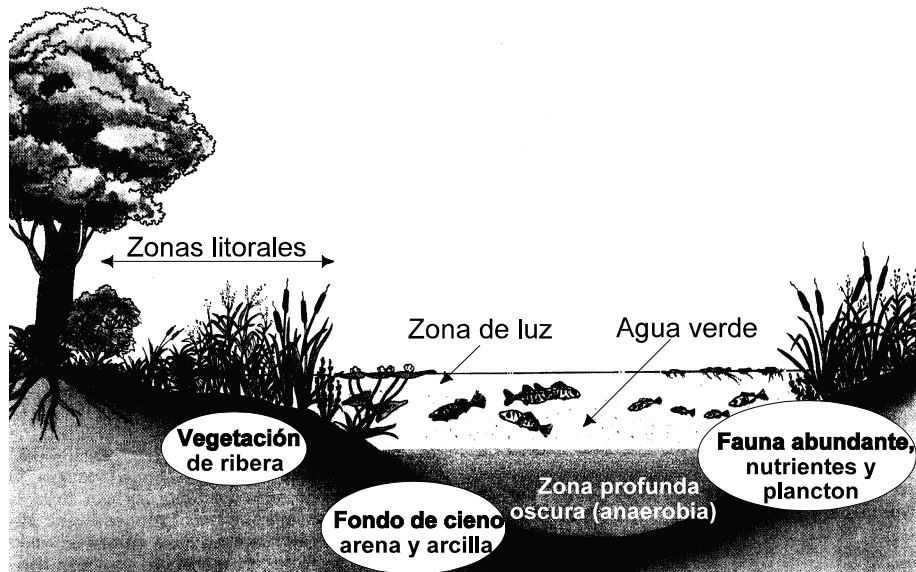


Esquema de la degradación de corrientes de agua

Eutrofización de masas de agua

La eutrofización consiste en un incremento de sustancias nutrientes en las aguas, que provocan un exceso de fitoplancton, siendo un fenómeno que se puede producir en aguas no fluyentes (lagos, embalses y algunas zonas costeras de los mares). En condiciones de equilibrio natural, las plantas de la superficie de estas aguas aprovechan los nutrientes (compuestos de nitrógeno y fósforo) que provienen de la descomposición de la materia orgánica acumulada en el fondo, o bien de aportes externos. Este ciclo natural da origen a una flora de desarrollo equilibrado, muy variada pero poco numerosa, que permite que el contenido de oxígeno disuelto se conserve a niveles relativamente altos.

Cuando por alguna circunstancia aumenta anormalmente el contenido en nutrientes de estas aguas, se produce un florecimiento masivo de plantas superficiales. Al morir éstas, liberan una gran cantidad de nutrientes, haciendo que el fenómeno sea de carácter acumulativo. Además aumenta el consumo de oxígeno necesario para la degradación aerobia de la materia muerta, por lo que este elemento empieza a desaparecer en las capas más profundas y se va eliminando poco a poco en toda la masa de agua. Entonces comienza a producirse una degradación anaerobia, con desprendimiento de metano y sulfuro de hidrógeno, de olor desagradable. En este momento se puede decir que la masa de agua ha alcanzado el estado de eutrofización.



Esquema de la eutrofización de masas de agua

Una forma de eutrofización la constituyen las denominadas “*mareas tóxicas*”, que afectan a especies animales utilizadas para el consumo humano, por ejemplo, la marea roja que afecta a los mejillones. Cuando ocurre, los microorganismos proliferan de forma excesiva en el fitoplancton marino, algunas de cuyas especies contienen toxinas que pueden ocasionar la muerte de especies animales o acumularse en sus organismos y afectar a quienes se alimentan de ellos, pudiendo llegar a los seres humanos.

La eutrofización puede producirse de forma natural; sin embargo generalmente es debida a vertidos de aguas procedentes de explotaciones agrícolas donde se han usado abonos químicos, ya que éstos contienen cantidades importantes de nitratos y fosfatos.

Desertización

Se conoce como desertización al fenómeno evolutivo de una región hacia unas condiciones parecidas a las del desierto (región en la que las precipitaciones son tan escasas o las condiciones del suelo son tan malas, que impiden el desarrollo de la mayor parte de las especies vegetales). Este proceso natural es debido tanto a fenómenos internos del planeta (orografía) como a fenómenos externos (clima). Cuando los agentes externos producen la destrucción de la cubierta vegetal del suelo, éste se erosiona y se empobrece, pudiendo la climatología impedir la regeneración de

la vegetación, que no sólo protege el suelo, sino que tiende a crearlo.

Es importante no perder de vista que la actividad humana ha favorecido en muchas ocasiones la expansión del proceso natural de desertización, principalmente la deforestación o reducción de la masa forestal.

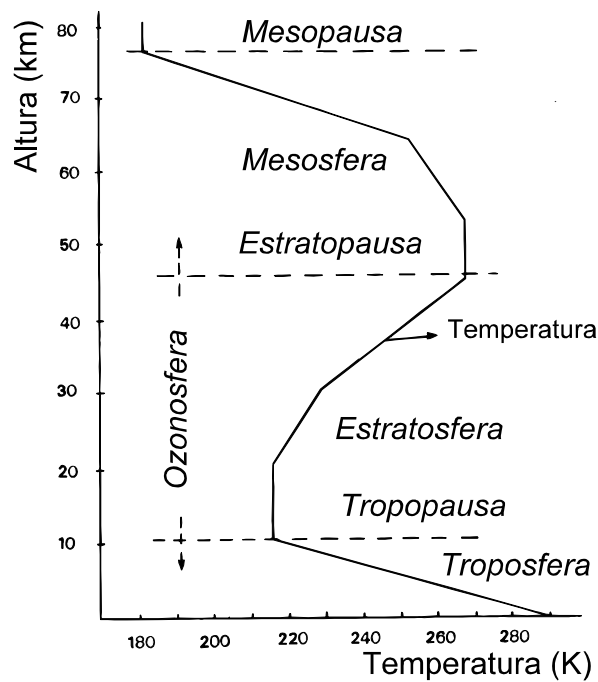
El ser humano ha venido deforestando el planeta desde su aparición: limpiezas para establecer cultivos agrícolas, talas para obtener madera como combustible y material de construcción, utilización de pastizales para la ganadería, clareos para llevar a cabo asentamientos urbanos, entre muchos otros ejemplos. Mientras la población fue pequeña, la naturaleza generalmente volvía a encontrar el estado de equilibrio. Actualmente las acciones mencionadas, realizadas a gran escala, contribuyen de forma importante a la deforestación y, por tanto, pueden llegar a ser factores decisivos en el proceso de desertización.

Capítulo 3: Contaminación atmosférica



La atmósfera y el aire

Se denomina *atmósfera* a la envoltura gaseosa que rodea la Tierra hasta una altura de unos 1.000 km y que constituye el principal mecanismo de defensa del planeta contra las fuertes radiaciones procedentes del Sol. La densidad de estos gases disminuye con la altura, de manera que la mitad de su masa total corresponde a los primeros 5 km, y las tres cuartas partes corresponde a los primeros 11 km. La temperatura de la atmósfera varía con la altitud, utilizándose este fenómeno para distinguir las siguientes regiones:



Capas de la atmósfera

- **Troposfera:** Se extiende hasta los 11 km de altitud y en ella la temperatura desciende con la altura a razón de aproximadamente $10^{\circ}\text{C}/\text{km}$; en esta región tienen lugar todos los fenómenos meteorológicos que determinan el clima.
- **Estratosfera:** Se extiende entre los 11 y los 50 km de altitud y en ella la temperatura aumenta ligeramente con la altura, alrededor de $0,2^{\circ}\text{C}/\text{km}$, debido a la absorción de la radiación solar por el ozono.
- **Mesosfera:** Entre los 50 y los 80 km de altitud, presenta de nuevo una disminución de la temperatura con la altura, debido al rápido decrecimiento de la concentración de ozono, alcanzándose hasta -100°C .

- **Termosfera:** También llamada *ionosfera*, llega hasta unos 300 km de altitud, aumentando la temperatura con la altura hasta alcanzar valores de hasta 1.000°C, consecuencia de la absorción de la radiación solar ultravioleta por el oxígeno y el nitrógeno, que se encuentran ionizados.

La interacción entre la superficie terrestre y la atmósfera define una parte común llamada **biosfera**, en la cual se desarrolla la vida. Los procesos químicos que ocurren en ella dependen también de los que se producen en las capas más altas de la atmósfera, ya que entre todas ellas se establecen intercambios de materia y energía que se mantienen en equilibrio.

La mezcla de gases que constituye la atmósfera se denomina *aire*. Su composición es prácticamente constante en todo el planeta, según los siguientes valores medios:

Componentes del aire	% en volumen (base seca)
Nitrógeno	78
Oxígeno	21
Argón	0,95
Otros (CO ₂ , Ne, He, Kr, H ₂)	0,05

El oxígeno es el componente del aire más importante bajo el punto de vista biológico, ya que es utilizado por los animales y los seres humanos en la respiración. El nitrógeno, gas poco reactivo en condiciones atmosféricas, diluye el oxígeno, moderando su acción. Hay otros dos componentes que siempre están presentes en el aire, pero cuya cantidad es variable según el lugar y el tiempo: el dióxido de carbono y el vapor de agua.

Finalmente, aparte de estos componentes, el aire lleva otros tipos de materias que no forman parte de su composición normal; unos son de origen natural (por ejemplo, el metano procedente de los pantanos) y otros de tipo antropogénico (generados por la actividad humana), en concentraciones muy variables. Estos otros constituyentes son los que se denominan “contaminantes”.

La contaminación del aire

Se entiende por contaminación del aire la presencia en él de materias que impliquen riesgo, daño o molestia grave para las personas o bienes de cualquier naturaleza, bien sea debido a sus características físico-químicas o a su concentración.

Las fuentes o focos de contaminación son muy numerosos, principalmente debidos a actividades humanas relacionadas con la utilización de combustibles fósiles, encontrándose concentradas la mayor parte de ellas en los entornos urbanos y en las áreas industriales. Cabe citar como focos principales:

- Medios de transporte
- Sistemas de producción de energía
- Actividades industriales

Los contaminantes procedentes directamente de un foco de contaminación suelen denominarse “contaminantes primarios”, como el SO_2 procedente de las combustiones. Otros contaminantes se forman debido a la interacción química de contaminantes primarios entre sí o con componentes habituales de la atmósfera, como el vapor de agua o la radiación solar, como, por ejemplo, el H_2SO_4 de la lluvia ácida. Éstos se denominan “contaminantes secundarios”. La concentración de cualquiera de ellos en la atmósfera suele ser muy baja, aunque sus efectos sean detectables a simple vista. Por ello se suele expresar su concentración en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1 μg , microgramo = 10^{-6} g) o en ppm (partes por millón), volumen de una sustancia en un millón de volúmenes del diluyente (aire).

El proceso de contaminación de aire comienza cuando se incorporan a él los contaminantes y continúa con su presencia en el medio, que varía considerablemente con el tiempo, según las propiedades de los compuestos y las condiciones ambientales. Por tanto, puede hablarse de tres situaciones diferentes en el proceso de contaminación atmosférica:

- Emisión
- Difusión
- Inmisión

Se entiende por **emisión** la totalidad de sustancias que pasan a la atmósfera desde las fuentes de las que proceden, es decir, son los contaminantes en el momento en que abandonan su fuente de procedencia y pasan a formar parte del aire adyacente. Los niveles de emisión no siempre se expresan en las unidades de

concentración habituales, es decir, masa por unidad de volumen, sino que, con cierta frecuencia, adoptan formas distintas. Así, por ejemplo, las emisiones de los vehículos suelen expresarse por unidad de longitud, es decir, g/km recorrido, y las emisiones industriales pueden expresarse por unidad de masa de producto fabricado (g/Tm) o por unidad de tiempo (g/h).

La **difusión** es el proceso por el cual los contaminantes se distribuyen por la atmósfera, una vez producida la emisión, debido a sus diferencias de concentración en ella. Su terminación es difícil de especificar, ya que representa una continua dilución de los contaminantes en el aire, que depende tanto de factores específicos de la sustancia (velocidad de emisión, temperatura, masa, forma, tamaño, etc.), como de factores meteorológicos (velocidad y dirección del viento, variaciones de temperatura, humedad, etc.).

Se entiende por **inmisión** la totalidad de sustancias contenidas en el aire a que está expuesto, de forma continua o temporal, un medio lo suficientemente alejado de las fuentes emisoras como para no poder distinguir cuál de ellas es la causante de la contaminación. Es decir, son los contaminantes que llegan a un medio receptor (por ejemplo, un bosque o una persona) una vez difundidos por la atmósfera, y que pueden afectar a dicho medio. Los niveles de inmisión se expresan siempre como concentraciones, aunque a veces se complementan con el tiempo de exposición a dichas concentraciones que se considera tolerable.

Sustancias contaminantes

El número de sustancias que pueden resultar contaminantes es muy elevado. Según su estado físico pueden clasificarse como partículas (sólidas o líquidas) o gases, pero para su descripción suele ser más conveniente agruparlas según el elemento químico común más característico.

Compuestos de azufre

El azufre es un elemento que se encuentra presente como impureza, en diversas proporciones, en gran parte de los combustibles fósiles utilizados tradicionalmente (carbón, petróleo, gas natural). Durante el proceso de combustión se combina con el oxígeno para dar dióxido de azufre (SO₂) y trióxido de azufre (SO₃).

El dióxido de azufre es un gas que se condensa con facilidad. Es incoloro, de olor picante e irritante, más denso que el aire, y tiene un alto poder de corrosión. El trióxido de azufre es un líquido incoloro de elevada afinidad por el agua, con la que forma ácido sulfúrico (H_2SO_4), que es uno de los principales causantes de la lluvia ácida.

Otro importante compuesto de azufre es el sulfuro de hidrógeno (H_2S), gas incoloro, de olor desagradable y muy venenoso. Se genera principalmente en las erupciones volcánicas, algunos procesos de putrefacción y en las refinerías de petróleo (procesos de desulfuración).

Los compuestos de azufre pueden causar enfermedades del aparato respiratorio, destrucción de la cubierta vegetal y corrosión de una amplia gama de materiales de construcción.

Compuestos de nitrógeno

Los contaminantes nitrogenados más importantes son los óxidos que se engloban dentro de la notación NO_x , como el óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO_2), y los nitratos de peroxiacetilo (PAN) y peroxibencilo (PBN), que tienen una gran importancia en la denominada “contaminación fotoquímica”, de la que se hablará más adelante.

El óxido nítrico (NO) es un gas incoloro, tóxico y de baja reactividad; el dióxido de nitrógeno (NO_2) es un gas de color pardo, tóxico, que por su afinidad por el agua puede producir ácido nítrico (HNO_3), otro de los compuestos que pueden causar la lluvia ácida. La aparición de estos contaminantes está marcada, fundamentalmente, por la presencia del nitrógeno del aire en los procesos de combustión. Cuanto mayor sea la temperatura de combustión, mayor cantidad de óxidos de nitrógeno se produce. Debido a su toxicidad, son potencialmente peligrosos para la salud y se ha comprobado que concentraciones elevadas pueden causar daños sobre las especies vegetales, si bien los contaminantes mortales para las plantas son los que forman los óxidos de nitrógeno por combinación fotoquímica con los hidrocarburos.

Los nitratos de peroxiacetilo, PAN ($CH_3-CO-O-O-NO_2$), y de peroxibencilo, PBN ($C_6H_5-CO-O-O-NO_2$), son compuestos complejos de estructura orgánica en la que figura un grupo NO_2 y que se forman por complicados procesos fotoquímicos en los

que intervienen determinados hidrocarburos, que son activados por medio de óxidos de nitrógeno. Estos compuestos poseen un marcado carácter fitotóxico y originan una gran irritación en los órganos de la vista, aún a concentraciones muy bajas (partes por billón).

Compuestos inorgánicos del carbono

Los contaminantes inorgánicos de carbono más importantes, debido a que son generados en grandes cantidades, son el monóxido de carbono (CO) y el dióxido de carbono (CO₂), si bien este último sólo se considera como tal por encima de ciertas concentraciones, ya que se halla en la atmósfera de forma natural (como un residuo de la atmósfera terrestre primigenia).

El monóxido de carbono es un gas incoloro e inodoro, algo menos denso que el aire. Se origina en aquellos procesos de combustión de compuestos de carbono en los que existe defecto de oxígeno y se produce una combustión incompleta. Su toxicidad es muy alta, ya que presenta una gran afinidad química por la hemoglobina de la sangre, con la que forma un compuesto que bloquea su función de transportar oxígeno a las células.

El dióxido de carbono es un gas incoloro e inodoro, más denso que el aire. Se genera de manera natural en los procesos de respiración vegetal y animal y también en todos los procesos de combustión de compuestos de carbono. No es tóxico, pero puede producir asfixia por desplazamiento del oxígeno atmosférico.

Ozono

El ozono es una forma molecular del oxígeno (O₃), gaseoso, de color azulado y de olor picante característico. En condiciones ordinarias tiende a descomponerse, lo que le da un fuerte poder oxidante. Se genera de forma natural durante las tormentas, al producirse fuertes descargas eléctricas sobre el oxígeno del aire.

Cuando se origina en las capas inferiores de la atmósfera (troposfera) por la interacción de óxidos de nitrógeno e hidrocarburos en presencia de fuerte insolación, se convierte en un contaminante secundario, que puede afectar a las vías respiratorias y atacar a las especies vegetales, debido a su pronunciado poder oxidante. En cambio, en las capas superiores de la atmósfera (estratosfera), donde el ozono se genera por

acción de la luz ultravioleta sobre el oxígeno, forma una capa que protege a los seres vivos de algunas radiaciones nocivas procedentes del Sol, principalmente, de las ultravioleta.

Compuestos orgánicos

Los contaminantes orgánicos más importantes son los hidrocarburos gaseosos o líquidos, tanto los alifáticos o de cadena abierta (propano, hexano, etileno), como los aromáticos o cíclicos, (benceno, tolueno). Proviene principalmente de las combustiones incompletas de combustibles derivados del petróleo o el derrame o evaporación de estos combustibles. Los hidrocarburos alifáticos son asfixiantes por desplazamiento del oxígeno, mientras que la mayoría de los aromáticos presentan propiedades tóxicas y anestésicas.

Como ya se ha indicado, los hidrocarburos, junto con los óxidos de nitrógeno, son los precursores principales de una importante fuente de contaminación secundaria, la “contaminación fotoquímica”.

Actualmente algunos autores consideran como contaminante el metano (CH_4), que se genera de forma natural por descomposición de la materia orgánica en ausencia de aire. Esta clasificación del metano como contaminante se debe a que este hidrocarburo es capaz de absorber radiación infrarroja, por lo que puede contribuir a potenciar el efecto invernadero.

También se consideran contaminantes los halocarburos, hidrocarburos alifáticos en los que se han sustituido los átomos de hidrógeno por átomos de un halógeno (F, Cl, Br). Destacan dentro de este grupo los clorofluorocarbonos (CFCs) o “freones”, utilizados como propelentes para aerosoles domésticos (diclorodifluorometano, CCl_2F_2 , freón-12), o como refrigerantes (monoclorodifluorometano, CHClF_2 , freón-22) y los “halones”, utilizados como agentes extintores (bromotrifluorometano, CF_3Br , halón-1301). A pesar de que todos estos compuestos son muy inertes en condiciones normales, el hecho de que la radiación ultravioleta pueda liberar los átomos de halógeno, los hace presuntamente responsables de la reducción de la capa de ozono estratosférica.

Metales pesados

Se ha detectado la presencia en forma de partículas microscópicas de diversos metales pesados en el aire atmosférico, en concentraciones muy pequeñas, principalmente plomo, cadmio y mercurio, procedentes de los combustibles utilizados en los medios de transporte (plomo liberado del aditivo antidetonante) y algunas emisiones industriales (cenizas conteniendo cadmio). Pueden producir diferentes daños sobre el organismo humano, siendo su principal característica el hecho de ser tóxicos acumulativos, es decir, que el organismo no es capaz de eliminarlos con el tiempo.

Partículas sólidas

Las partículas en estado sólido que contaminan el aire presentan una gran variedad de tamaños y una constitución química muy variada, según sea su procedencia, que puede ser natural o producida por las actividades que realiza el ser humano. Si estas partículas tienen diámetros comprendidos entre 1 y 1.000 μm ($1\ \mu\text{m}$, micrómetro = 10^{-6} m), se depositan por acción de la gravedad, es decir son “partículas sedimentables”, que generalmente se conocen como *polvo*. Si las partículas tienen diámetros inferiores a 1 μm , prácticamente pierden su capacidad de sedimentar, permaneciendo en el aire como materia en suspensión, formando un aerosol que se conoce como *humo*.

La principal fuentes de las partículas sólidas contaminantes la constituyen las combustiones (humos) y las actividades e industrias relacionadas con la construcción (polvos).

Cuando las condiciones atmosféricas son tales que se produce niebla y ésta se contamina con humo, se forma una bruma conocida generalmente como “smog” (contracción de las palabras inglesas “smoke”, humo y “fog”, niebla). Si sobre esta bruma incide fuertemente la radiación solar, se pueden producir reacciones fotoquímicas entre hidrocarburos y óxidos de nitrógeno, formándose ozono como producto intermedio, que dan lugar al denominado “smog fotoquímico”. Su composición es muy compleja, ya que por la reacción de los compuestos mencionados se forman peróxidos, aldehídos, PAN, PBN y radicales libres, todos ellos con fuertes propiedades oxidantes.

Para que se produzca este fenómeno es necesario que exista una gran

estabilidad atmosférica y los contaminantes no se puedan dispersar, lo que suele suceder en las grandes ciudades de los países industrializados con fuertes emisiones procedentes de vehículos y chimeneas. La bruma contaminada formada reduce bastante la visibilidad y afecta a seres humanos y animales, causando una gran irritación de los ojos y de las mucosas. Los vegetales son mucho más sensibles a la acción de los oxidantes, por lo que este tipo de contaminación puede causar en ellos graves daños, o incluso la muerte.

Corrección de fuentes de emisión de contaminantes atmosféricos

Los métodos para limitar la contaminación atmosférica son diversos, muchos de ellos ya muy estudiados y basados generalmente en una tecnología simple y no necesariamente costosa. Los múltiples enfoques de la lucha contra la contaminación del aire pueden resumirse en la adopción de las siguientes medidas:

- Evitar la formación de contaminantes
- Captar, concentrar y separar los contaminantes cuya formación no se puede evitar
- Evacuar los contaminantes que no pueden ser separados a la atmósfera y dispersarlos

La generación de contaminantes es un fenómeno susceptible de ser evitado, en muchas circunstancias, mediante una adecuada actuación sobre el proceso generador. Las medidas principales a este respecto consisten en recurrir al cambio en las materias primas empleadas, a modificaciones en los equipos, a un mejor control de los procesos y a diversas variaciones en los procedimientos. Cuando estas medidas no sean tecnológicamente posibles o sean económicamente inviables y no se pueda evitar la formación de contaminantes, es preciso actuar sobre ellos.

La actuación sobre los contaminantes consiste en su captación, concentración y separación, utilizando equipos depuradores de características muy variadas en función de las sustancias a tratar.

Finalmente, es necesario a veces recurrir a la capacidad de la atmósfera de diluir y dispersar los contaminantes cuya generación no se pudo evitar y que no se separan completamente, por lo que éstos han de evacuarse en unas condiciones tales que permitan obtener valores mínimos de inmisión.

Problema:	Elevadas emisiones de SO ₂ de una refinería de petróleo
Prevención:	Utilización de crudos de bajo contenido en azufre
Separación:	Absorción de los gases residuales con etanolaminas y separación de azufre elemental; reutilización de ambos
Dispersión:	Aumento de la temperatura de salida de los gases; elevación de la chimenea; inyección de aire en la corriente de salida

Ejemplo de corrección de una emisión contaminante

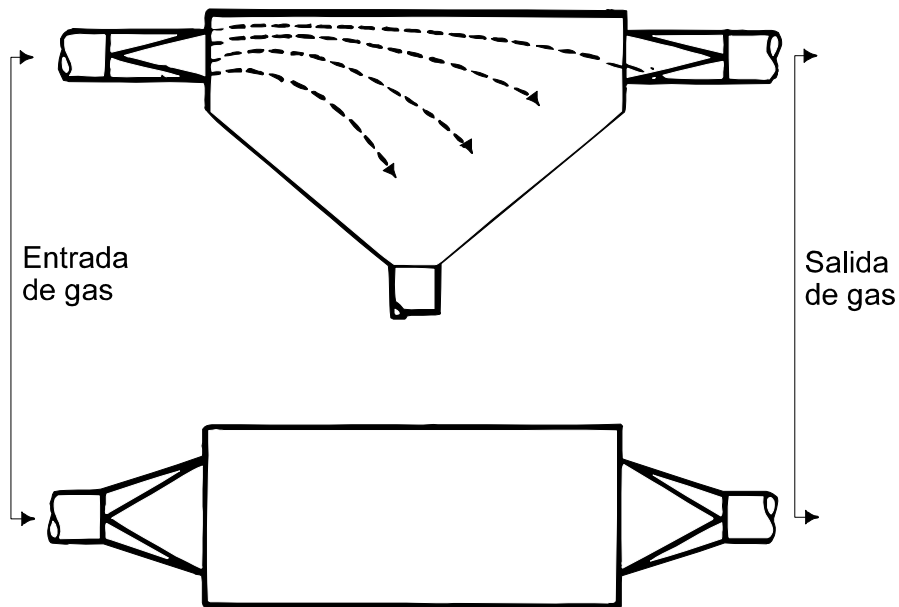
Separación de contaminantes: partículas

La separación de los contaminantes sólidos de una corriente gaseosa que abandona un proceso puede realizarse con diferentes mecanismos, que pueden emplearse separada o conjuntamente. En cualquier caso, se trata de procesos de tipo físico (mecánico), sin que en ningún caso se produzca variación alguna en la naturaleza química del contaminante. Se estudiarán, pues, los siguientes procesos:

- Separación gravitatoria
- Separación inercial
- Filtración
- Precipitación electrostática
- Separación por vía húmeda (lavado)

Separación gravitatoria

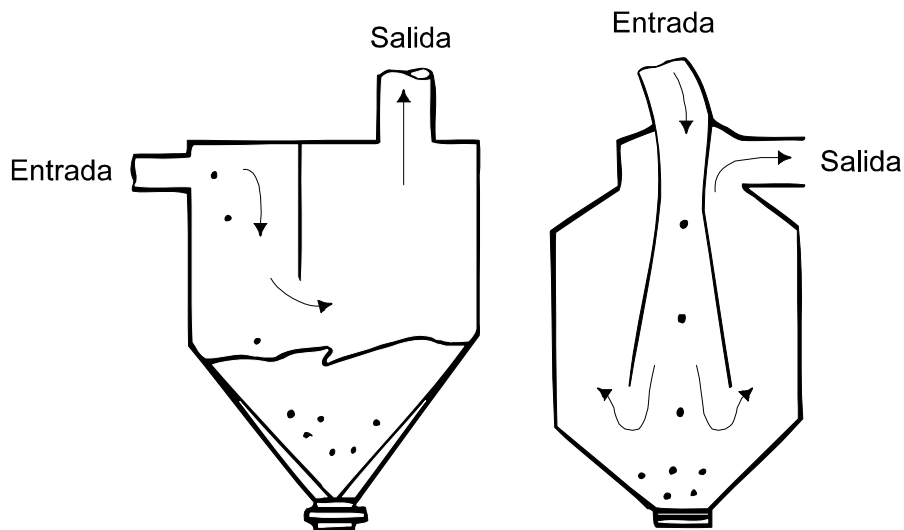
Las partículas de tamaño superior a 50 µm sedimentan de forma efectiva al disminuir la velocidad de la corriente gaseosa que las transporta. Ello se puede conseguir aumentando considerablemente la sección de la conducción por la que fluye el gas (cámara de sedimentación). Como resultado de la disminución de velocidad, las partículas tendrán el tiempo suficiente para caer y depositarse en el fondo de la cámara de sedimentación, lográndose así su separación de la corriente gaseosa.



Esquema de un separador gravitatorio

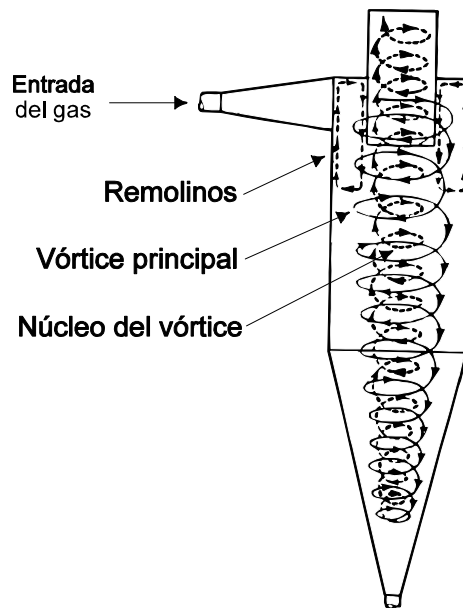
Separación inercial

El fenómeno de inercia se utiliza para lograr la separación de las partículas por desviación de éstas de la trayectoria de la corriente gaseosa. Se hace pasar ésta a través de cámaras con deflectores internos, que obligan al flujo a cambiar drásticamente de dirección. Como las partículas sólidas contenidas en el gas tienden a conservar su dirección, pierden velocidad y se depositan en una tolva, con lo que se eliminan del flujo



Esquemas de separadores inerciales

Si la modificación de las líneas de corriente del gas es de tal forma que obligue a la corriente gaseosa a girar continuamente, la inercia de las partículas las dirige contra la pared del aparato, a lo largo de la cual caen y se depositan en una tolva situada en la parte inferior. El artificio mecánico que logra este efecto se denomina “cyclón” o “separador centrífugo”, y es un dispositivo muy utilizado en instalaciones funcionando en régimen continuo, como los hornos de cemento o las unidades de combustión de carbón.



Esquema de un ciclón

Filtración

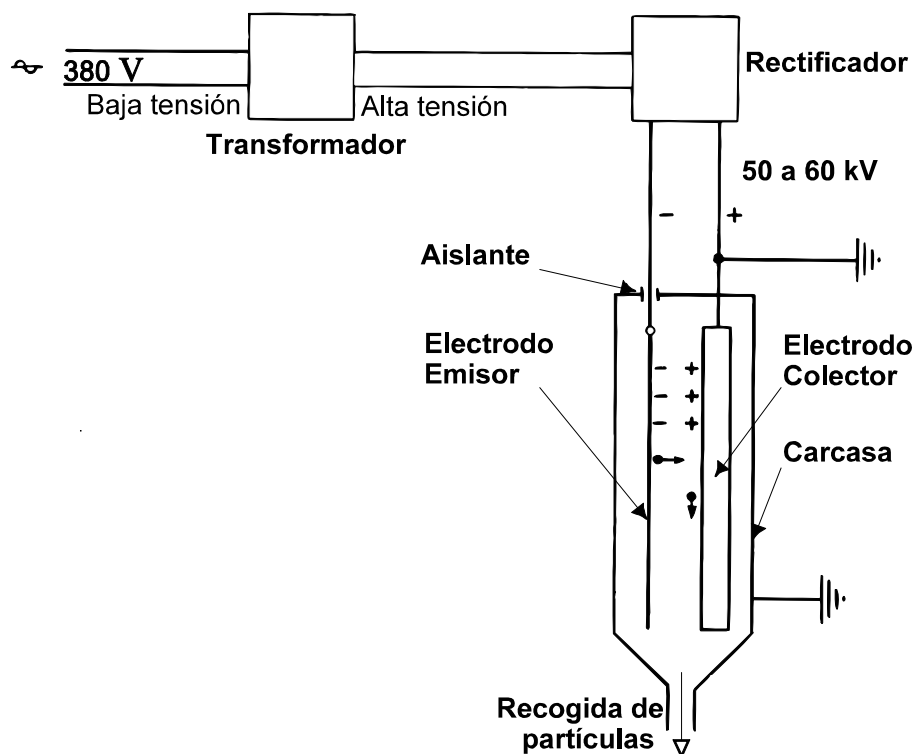
La filtración consiste en la retención por choque y aglomeración de las partículas en suspensión mediante un medio separador o “filtro”, que está constituido por tejidos de naturaleza diversa. Generalmente se suelen utilizar filtros de tela de forma tubular (“filtros de mangas”) en plantas de fabricación de carbón activo, cemento y en todas aquéllas en las que la recuperación del producto tiene importancia económica. Para casos muy específicos (por ejemplo, aire estéril en cámaras limpias) se utilizan filtros de papel, desechables.

La separación del polvo retenido en los filtros de mangas para eliminar o aprovechar el producto y limpiar el filtro para su utilización posterior, puede hacerse mediante sacudida mecánica, flujo inverso o vibraciones de baja frecuencia, generalmente de manera automática. Generalmente se instalan dos equipos de

filtración, montados en paralelo, donde se requiere sólo uno por condiciones de diseño, lo que permite que uno de ellos siempre esté funcionando normalmente mientras que el otro se encuentra en fase de limpieza.

Precipitación electrostática

La técnica de precipitación electrostática de polvos es uno de los procedimientos de separación de partículas por vía seca más importantes, ya que pueden conseguirse con ella rendimientos de separación muy cercanos al 100%. Los precipitadores electrostáticos están constituidos fundamentalmente por una carcasa metálica cerrada, por la circulan los gases cargados de partículas sólidas. En el interior de la carcasa se disponen dos series de electrodos: los emisores (cátodos), constituidos por hilos, y los receptores (ánodos), que son placas o tubos. Entre ambos tipos de electrodos se suele aplicar una diferencia de potencial de hasta 60 kV.



Esquema de un precipitador electrostático

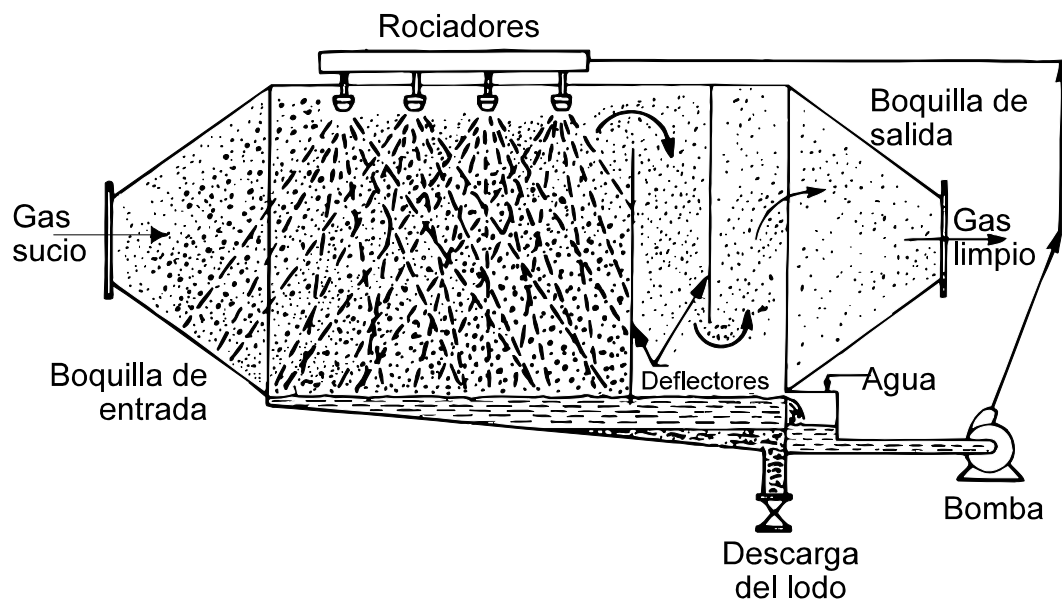
Los electrodos de emisión provocan la electrización de las partículas de polvo que transportan los gases. Una vez cargado, el polvo es atraído por los electrodos receptores, sobre los que se deposita y descarga (proceso análogo al que produce la deposición de polvo doméstico sobre la pantalla de un televisor). El polvo captado se

va acumulando sobre el electrodo colector y se separa posteriormente del mismo por vibración, cayendo en las correspondientes tolvas de recogida.

Separación por vía húmeda (lavado)

La separación por vía húmeda o “lavado” (“scrubbing”) agrupa las técnicas que utilizan un líquido, generalmente agua o disoluciones adecuadas, para separar las partículas en suspensión en forma de lodo. Estos procesos pueden también retener diversos tipos de gases solubles en el líquido, en función de su diseño específico (absorción de gases). Obsérvese que este tipo de separación se produce de forma natural cuando llueve sobre una zona contaminada con humo o polvo.

Los equipos de lavado hacen pasar el gas en flujo cruzado a través de una “lluvia” de líquido lavador. Se trata de un mecanismo de impacto directo, en el que el medio lavador está formado por gotas de líquido cuya función es solamente mecánica: la lluvia líquida arrastra las partículas sólidas contenidas en el gas, produciéndose un lodo que se separa de la corriente gaseosa.



Lavado de gases

Separación de contaminantes: gases

La separación de los contaminantes gaseosos de la corriente de gases se lleva a cabo por varios métodos físico-químicos, los más importantes de los cuáles son los

siguientes:

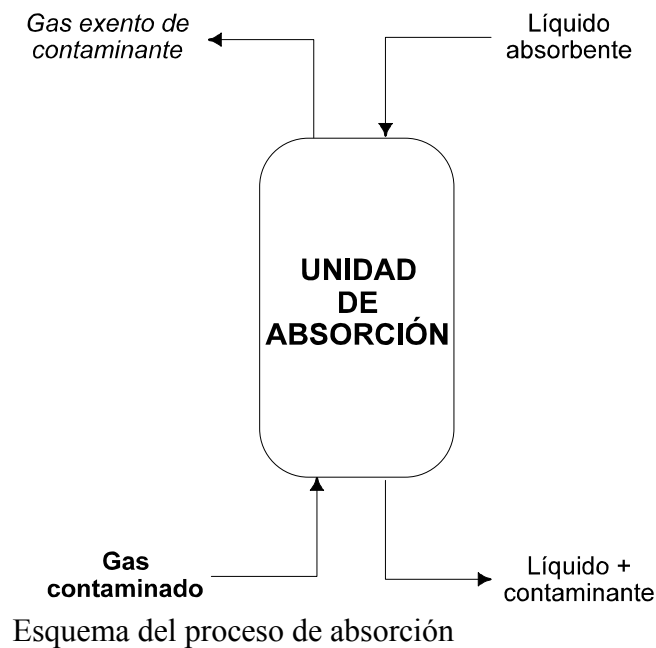
- Absorción
- Adsorción
- Combustión
- Reducción catalítica
- Conversión catalítica

Absorción

La absorción es el proceso de transporte de materia entre una fase gaseosa y una fase líquida, basado en la solubilidad de un determinado componente de la mezcla gaseosa en el líquido absorbente. Cuando el contaminante que se transfiere de la fase gaseosa a la fase líquida se limita a disolverse en ella, se habla de “absorción física”, como la absorción de ácido clorhídrico (HCl) en agua. Cuando el contaminante no sólo se disuelve, sino que también reacciona con el absorbente para formar uno o más productos químicos, se habla de “absorción química”, como la absorción de dióxido de carbono en una disolución de carbonato potásico, para formar bicarbonato potásico.

Los sistemas de absorción suelen tener forma de columna donde se someten a contracorriente las corrientes de gas y líquido pulverizado; cuando se desea que la superficie de contacto gas-líquido sea grande, se emplean columnas rellenas de diversos materiales (pequeños anillos, hélices, cilindros), en las que las fases se ponen en contacto de modo continuo. Estas “columnas de relleno” son los dispositivos más empleados en la práctica.

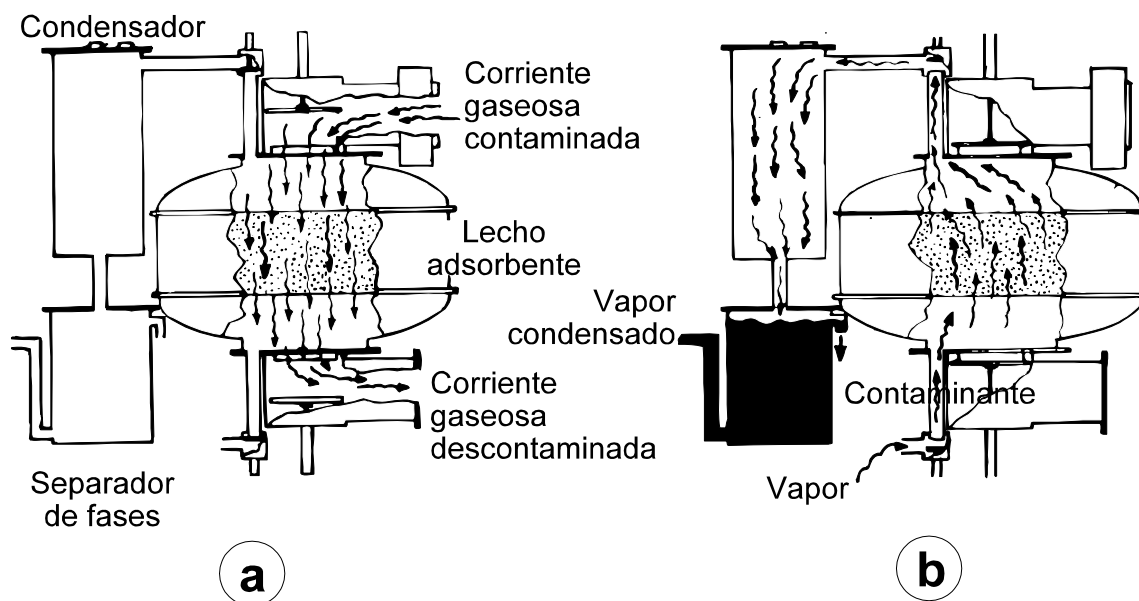
Obsérvese que después del proceso de absorción en muchas ocasiones habrá que regenerar el líquido absorbente, es decir, someterlo al proceso inverso a la absorción: la desorción. Generalmente se utilizan para ello mecanismos que reducen la solubilidad, como una corriente de gas inerte, una elevación de la temperatura del absorbente o una disminución de la presión. Una vez regenerado, el absorbente puede enviarse de nuevo a la columna de absorción. Por ejemplo, el bicarbonato potásico producido en la absorción química de dióxido de carbono con carbonato potásico se regenera de nuevo a carbonato por calentamiento directo con vapor.



Adsorción

La adsorción es el proceso de transporte de materia entre una fase gaseosa y una fase sólida. Cuando el proceso se basa en la fuerza de atracción existente entre la superficie del sólido (adsorbente) y las moléculas que se adsorben (adsorbato), se habla de “adsorción física”. Cuando además se produce una reacción química sobre la superficie del adsorbente se habla de “adsorción química” o “quimisorción”. En muchas aplicaciones industriales, la condición de irreversibilidad de las reacciones que ocurren durante el proceso de quimisorción no es económicamente viable, debido a que el adsorbente únicamente puede utilizarse una vez o a que la energía requerida para su regeneración es excesiva. Por este motivo prácticamente sólo se aplica la adsorción física en la separación de gases contaminantes, siendo los procesos más importantes la recuperación de disolventes con carbón activo (también usado en el ámbito doméstico para eliminar olores, por ejemplo, en las plantillas para el calzado) y la eliminación de compuestos orgánicos con zeolitas (silicatos de aluminio hidratados).

La mayoría de los sistemas de adsorción utiliza un lecho fijo de adsorbente y un procedimiento de operación cíclica. El lecho se retira de servicio una vez transcurrido un tiempo determinado de operación para regenerarlo antes de volver a ser utilizado.



Ciclo de operación de un lecho adsorbente:

a) Carga b) Regeneración

El procedimiento de regeneración de los lechos adsorbentes no debe degradar sus propiedades. Generalmente se utilizan corrientes de vapor de agua o aire caliente para provocar un proceso de adsorción inversa o desadsorción.

Combustión

Algunos procesos industriales producen gases cuya composición y naturaleza hacen inviable su recuperación mediante los procesos de sorción anteriormente mencionados. Cuando estos gases contienen sustancias combustibles (como hidrocarburos que provocan olores desagradables incluso a concentraciones muy bajas), su eliminación puede llevarse a cabo por combustión, es decir, por oxidación total de la materia orgánica presente para transformarla en dióxido de carbono y agua. Para que la combustión sea completa, es necesario emplear un exceso de aire, que puede llegar hasta el doble de la cantidad teórica. Sin embargo, se suele intentar restringir la cantidad de aire con objeto de reducir la formación de óxidos de nitrógeno. También podría lograrse esta reducción disminuyendo la temperatura de la llama o consiguiendo un enfriamiento lento de los gases de combustión.

Los equipos de combustión de gases contaminantes son muy variados, aunque una primera clasificación permite separarlos en tres tipos:

- Antorchas

- Quemadores de postcombustión
- Reactores de oxidación catalítica

Las **antorchas** son los dispositivos más complicados, ya que una pequeña variación en cualquiera de sus parámetros de operación altera notablemente su funcionamiento. Se utilizan principalmente cuando las concentraciones de los contaminantes están dentro de los límites de inflamabilidad y, sobre todo, cuando el caudal de gases emitido está sujeto a grandes variaciones. Este tipo de dispositivos es muy común en refinerías, plantas petroquímicas y en aquellas instalaciones que operan con hidrocarburos, hidrógeno, amoníaco o cualquier otro gas tóxico o peligroso, empleándose como sistema de seguridad para los casos en que estos efluentes deban ser liberados en gran cantidad. Asimismo, son especialmente útiles en la puesta en marcha o parada de las plantas de proceso.

Los **quemadores de postcombustión** son hornos generalmente calentados por fuego directo ($T > 600\text{ °C}$), que se utilizan cuando las concentraciones de contaminantes son bajas o cuando se trata de corrientes gaseosas con elevadas concentraciones de productos no combustibles, es decir, cuando los gases a tratar no tienen suficiente poder energético como para hacer posible su combustión directa. Sin embargo, sus costes de operación son considerables, principalmente porque consumen combustible adicional, necesario para alcanzar el límite de inflamabilidad de la mezcla gaseosa. Generalmente se utilizan para tratar hidrocarburos contenidos en efluentes gaseosos de plantas químicas en concentraciones inferiores al 1% en volumen.

Los **reactores de oxidación catalítica** permiten efectuar la combustión de la materia orgánica en condiciones más suaves (menor temperatura) que las que se necesitan en la combustión directa. Esta característica hace más atractivos estos sistemas, pues se reduce a la mitad la cantidad de combustible necesaria y se minimiza la formación de óxidos de nitrógeno. La eliminación de contaminantes por este método se suele llevar a cabo en reactores tubulares de lecho fijo de catalizador (tubos rellenos) y flujo continuo de gas, empleándose como catalizadores platino o paladio depositados sobre estructuras cerámicas. La presencia del catalizador hace que los compuestos orgánicos presentes se oxiden totalmente a temperaturas menores de 500 °C , pudiéndose enviar los gases de salida directamente a la atmósfera.

En muchas ocasiones la velocidad con que transcurre una reacción química se ve afectada por la presencia de alguna sustancia que disminuye la energía de activación de la reacción (energía mínima requerida para que se lleve a cabo). A esta sustancia se la llama *catalizador* y al proceso que transcurre de esta forma se le denomina *catálisis*. Si las reacciones transcurren entre gases o líquidos y el catalizador es sólido, se habla de *catálisis heterogénea*.

Los catalizadores son materiales complejos, formados por diversas sustancias. Generalmente se componen de un agente activo metálico (níquel, platino, paladio, rodio), finamente dividido para que tenga una gran superficie y depositado sobre un soporte de alta resistencia térmica que proporciona también una considerable superficie de reacción (alúmina, Al_2O_3 ; sílice, SiO_2 ; materiales cerámicos).

El mecanismo de actuación catalítica es también un fenómeno complejo, en el que los reactivos han de llegar a la superficie del catalizador, donde se adsorben sobre puntos activos que debilitan los enlaces, lo que facilita la reacción química superficial. Una vez formados los productos, éstos se liberan de la superficie del catalizador.

Otra característica muy importante de los catalizadores es su selectividad, es decir, la propiedad de modificar la velocidad de unas reacciones determinadas y no de otras. Por ejemplo, si se calienta etanol en presencia de níquel metálico, se deshidrogena convirtiéndose en acetaldehído, pero si se hace en presencia de alúmina, se deshidrata para formar etileno.

El empleo continuado de un catalizador en una determinada reacción hace que pierda actividad con el tiempo. Este fenómeno, denominado *desactivación*, puede ser debido a la deposición de impurezas (residuos carbonosos) sobre su superficie, al deterioro de su estructura física (sobrecalentamiento) o al bloqueo químico de los centros activos por sustancias extrañas (venenos catalíticos). En los dos últimos casos, el catalizador no puede ser regenerado, por lo que es necesario un buen control de la temperatura de la reacción y de la composición de los reactivos para prolongar al máximo la vida del catalizador, ya que su sustitución suele representar un elevado coste económico debido a los metales nobles que contiene.

Catálisis heterogénea

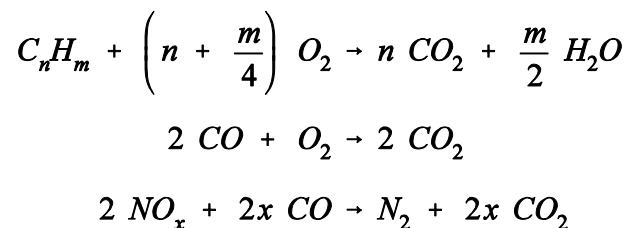
Reducción catalítica

Cuando los contaminantes se presentan en un estado de máxima oxidación (por ejemplo, los óxidos de nitrógeno), evidentemente no pueden eliminarse por oxidación, sino que es necesario proceder a su reducción, que en la mayoría de los casos es catalítica. Se utilizan catalizadores de metales nobles (platino y paladio) en soportes de tipo cerámico, y como reductores pueden actuar tanto el monóxido de carbono como prácticamente cualquier tipo de hidrocarburo. Este método se aplica principalmente para eliminar óxidos de nitrógeno, por ejemplo, de los gases residuales de las fábricas de ácido nítrico. A los gases procedentes de la planta se les añade un

reductor, como gas natural (metano e hidrógeno) o nafta (mezcla de hidrocarburos ligeros), y se hace pasar por un reactor tubular de lecho fijo de catalizador de forma continua, donde se pueden lograr rendimientos de conversión de los óxidos de nitrógeno a nitrógeno molecular superiores al 99%.

Conversión catalítica

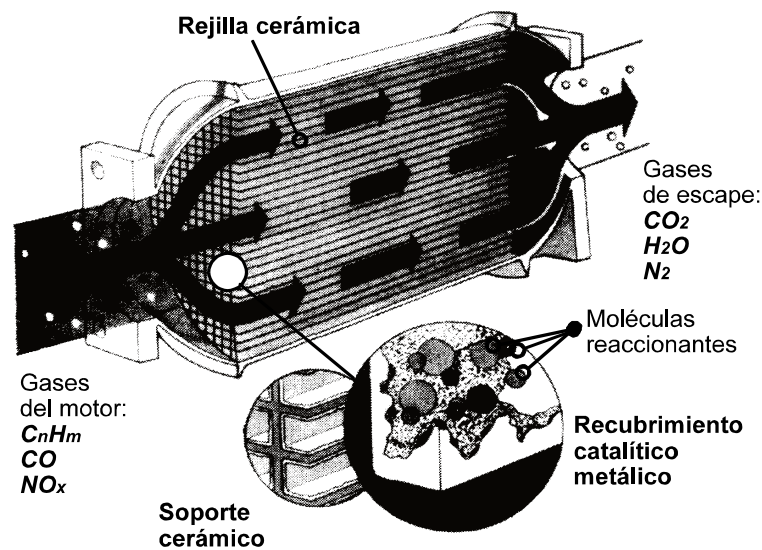
Cuando se desea tratar gases que contienen sustancias contaminantes con diversos grados de oxidación, pueden aplicarse simultáneamente la oxidación y la reducción catalíticas en un proceso denominado genéricamente *conversión catalítica*. Como los catalizadores son específicos para una reacción, puede lograrse un catalizador combinado que actúe sobre varias reacciones en un mismo lecho. Tal es el caso de los llamados *catalizadores de tres vías*, utilizados para tratar los gases de escape de los automóviles, transformando sus tres contaminantes principales, hidrocarburos, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno en dióxido de carbono, agua y nitrógeno:



Como catalizador se utiliza una mezcla de platino (para la oxidación) y de rodio (para la reducción) soportado sobre una estructura cerámica de gran resistencia térmica recubierta de alúmina, lográndose rendimientos de conversión superiores al 75% operando a temperaturas comprendidas entre los 400 y los 800 °C.

Uno de los aspectos más importantes en el uso de convertidores catalíticos en los automóviles es la necesidad de sustituir los compuestos de plomo empleados como aditivos antidetonantes de la gasolina, ya que el plomo actuaría como un veneno catalítico, inutilizando el catalizador. Asimismo es necesaria la instalación de un dispositivo de control de los gases de salida del motor, que regule convenientemente la mezcla aire-combustible, con objeto de evitar sobrecalentamientos en el catalizador,

que llevarían a la destrucción de su estructura interna.



Esquema de un convertidor catalítico de automóvil

Evacuación a la atmósfera

La capacidad de la atmósfera para dispersar contaminantes es limitada, pero a veces es necesario utilizarla, ya que algunas fuentes emisoras contienen concentraciones tan bajas, que la captación de las sustancias contaminantes es prácticamente inviable, sea por razones físico-químicas o porque no se justifica una inversión económica a tal efecto. Ahora bien, para una adecuada dispersión de dichas sustancias, no sólo es necesario conocer las características del foco emisor, sino, lo que es más importante, el comportamiento de la atmósfera circundante, lo que se traduce en un análisis meteorológico de las zonas más bajas de la troposfera.

Factores meteorológicos

Los factores meteorológicos que más afectan a la dispersión de sustancias en la atmósfera son los siguientes:

- Temperatura
- Viento

La variación de la **temperatura** de la atmósfera es quizás el efecto más importante que se produce en las capas de la atmósfera. Cuando una masa de aire se encuentra a una temperatura superior a la del aire que la rodea, tiende a ascender

debido a su menor densidad. A su vez, esta masa de aire va sufriendo una expansión debido a que en su ascenso va encontrando capas de aire de menor presión. Esta expansión reduce la temperatura de la masa de aire y, si no hay intercambio de calor con los alrededores, dicha masa de aire se enfría a una velocidad aproximada de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$ (“gradiente adiabático seco”). Debido a la influencia de la radiación solar, el valor de este gradiente varía, pero mientras sea negativo, la masa de aire ascenderá y, con ella, los contaminantes que pueda contener (una emisión muy caliente ascenderá mejor que una fría). Cuando por un cambio de temperatura del suelo o por cambios de la presión atmosférica el gradiente cambia de signo (la temperatura aumenta con la altura, en vez de disminuir), la masa de aire ascendente deja de elevarse para quedar estancada. A este importante fenómeno se le denomina “inversión térmica”, y es uno de los factores determinantes en la dispersión de los contaminantes, ya que supone la eliminación de las corrientes verticales de aire y por tanto, la generación de una especie de “cubierta atmosférica” que mantiene confinada la masa de aire entre la superficie terrestre y la altura de la inversión.

El **viento**, tanto su velocidad como su turbulencia, es otro factor de influencia decisiva en la dispersión de contaminantes, como resulta fácil suponer. El efecto principal de la velocidad del viento es el de transportar las sustancias contaminantes. El efecto de la turbulencia se hace patente en forma de remolinos, que mezclan los contaminantes con el aire limpio que los rodea. Ambos factores favorecen, pues, la dispersión, que sería mínima en zonas de calma.

Factores emisivos

Las características del punto en que los contaminantes se vierten a la atmósfera o foco emisor es también de gran importancia para lograr una buena dispersión de los mismos. Generalmente, la emisión se lleva a cabo a través de una conducción vertical que descarga los contaminantes en el aire circundante, denominada *chimenea*. En el proceso de descarga, la masa de gases residuales vertida por una chimenea y que todavía no se ha dispersado, se llama *penacho*. Los factores que afectan de forma directa al cálculo de una chimenea en relación a un óptimo reparto de los contaminantes emitidos, son los siguientes:

- Velocidad de la corriente emitida

- Temperatura de los gases
- Altura de la emisión

El control de la **velocidad de la corriente emitida** es muy importante para evitar que el viento arrastre hacia abajo el penacho si su velocidad de salida es muy baja. Una velocidad adecuada da a los gases suficiente energía cinética como para que el penacho alcance la altura adecuada que favorezca su dispersión y evite los efectos turbulentos en las proximidades de la chimenea, es decir, deberá ser la suficiente como para reducir el efecto de la velocidad de los vientos reinantes, así como las variaciones de flujo de éstos.

La **temperatura de los gases** de salida suele ser relativamente alta con respecto a la atmosférica, lo que les permite elevarse lo suficiente por encima del extremo de la chimenea. Este efecto se atenúa a medida que los gases se enfrían hasta el momento en que la ascensión se estabiliza al anularse la diferencia de temperaturas entre los gases emitidos y el aire circundante.

La **altura de la emisión** es fundamental en el proceso de evacuación de los contaminantes a la atmósfera. Por un lado, las posibles variaciones microclimáticas que puedan provocar las emisiones se evitan situando su salida a la altura adecuada. Por otro, si el foco emisor se encuentra en las proximidades de obstáculos naturales o artificiales, es posible evitar turbulencias que impidan la elevación de los gases. Pero lo que es más importante, la altura de emisión puede determinar que los gases contaminantes atraviesen las capas de inversión atmosférica. Si la altura no fuese suficiente, en el mejor de los casos se podría lograr que los contaminantes quedasen aprisionados en la capa de inversión; en el peor, lo más probable es que la ascensión se anulara, proyectándose el penacho hacia el suelo.

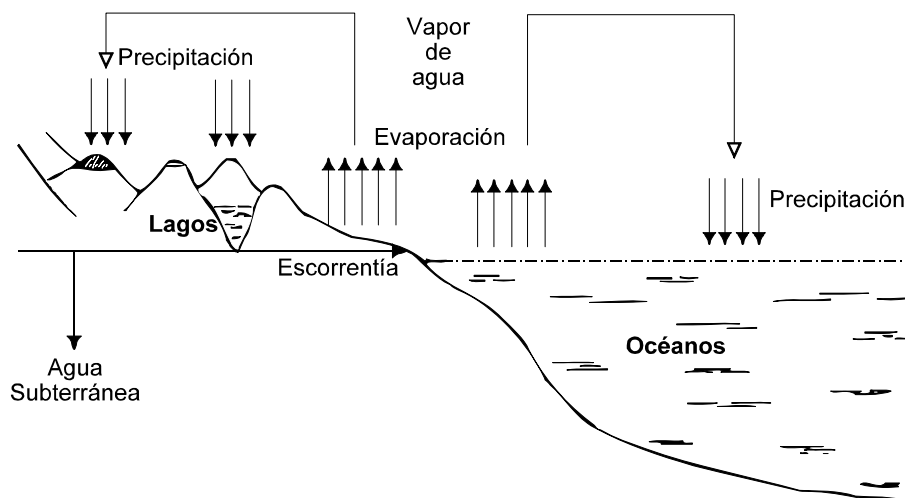
Capítulo 4: Contaminación de las aguas



Características del agua

El agua pura es un líquido incoloro, inodoro e insípido formado por una combinación de hidrógeno y oxígeno cuya fórmula es H_2O . Este compuesto, muy estable debido a que requiere una gran cantidad de energía para descomponerse, es el constituyente mayor de los seres vivos y, por tanto, de sus alimentos, por lo que sin él no es posible la vida tal como se conoce en la Tierra. Por otra parte, es el disolvente más importante que existe y reacciona con muchos metales (desprendiendo hidrógeno), óxidos (dando ácidos y bases) y sales (formando hidratos).

La superficie de la Tierra está cubierta por agua en sus tres cuartas partes, lo que destaca su importancia como objeto de estudio, Su cantidad se mantiene constante de forma dinámica, es decir, forma parte de un proceso conocido como "ciclo hidrológico", en el que el agua pasa por diferentes estados físicos, según las condiciones a las que se ve sometida. Durante este proceso se producen continuos intercambios de agua entre las distintas partes de la biosfera (atmósfera, litosfera, hidrosfera) en los que la energía solar juega un papel fundamental.



Ciclo hidrológico

Las grandes masas de agua del planeta (especialmente océanos, mares y lagos) emiten constantemente vapor de agua debido a la evaporación que produce la energía del sol. Como la densidad del vapor de agua es inferior a la del aire, el aire con vapor sube a las zonas altas de la atmósfera, saturándose de humedad al enfriarse. Entonces se condensa en minúsculas gotas que forman las nubes, que son arrastradas por los vientos sobre los continentes. Si las gotas de agua se unen, según su

temperatura terminan cayendo sobre la tierra en forma de precipitación de agua, nieve o granizo. Las precipitaciones que caen sobre la superficie terrestre dan origen a corrientes de agua (arroyos, torrentes, ríos) que, debido a la diferencia de altura, fluyen hacia los lagos, mares u océanos, cerrando el ciclo.

Contra lo que pudiera parecer, a igualdad de presión, el aire húmedo es menos denso que el aire seco. En efecto, si se calcula la "masa molecular media" del aire se obtiene:

$$32 \left[\frac{\text{g}}{\text{mol}} \text{O}_2 \right] \cdot \frac{21}{100} + 28 \left[\frac{\text{g}}{\text{mol}} \text{N}_2 \right] \cdot \frac{79}{100} = 28,84 \left[\frac{\text{g}}{\text{mol}} \text{aire} \right]$$

mientras que la masa molecular del agua es **18 g/mol**.

En consecuencia, a igualdad de presión y, por tanto, a igual número de moléculas por unidad de volumen, las moléculas de agua aportan menos masa que las de aire.

La densidad del aire húmedo

Durante esta última etapa del ciclo el agua ataca física y químicamente a los componentes del suelo, provocando erosión y cargándose de diversas sustancias, disueltas o en suspensión. Por tanto, el agua en estado natural no es pura, sino que contiene mayor o menor cantidad de sustancias, que hacen que sus propiedades sean distintas a las del agua pura.

Componentes	Concentración (mg/l)
Bicarbonatos	58,0
Cloruros	15,6
Fluoruros	< 0,4
Sulfatos	< 0,3
Sílice	33,5
Sodio	19,4
Potasio	7,8
Calcio	6,4
Residuo seco	144

Ejemplo de composición de un agua de manantial

Usos del agua

El agua es el recurso que ha condicionado principalmente el desarrollo de la civilización. Los núcleos de población se han asentado, a lo largo de la historia, junto a los cursos de los ríos, como muestran las civilizaciones mesopotámica, egipcia, china o hindú. La presencia de grandes fuentes de agua ha sido decisivo en el desarrollo de la sociedad humana, llegando a influir no sólo en el mero mantenimiento de la vida, sino también en lo que se refiere al crecimiento económico y a la mejora de la calidad de vida. Este hecho permite constatar que el agua tiene importantes aplicaciones, que podrían resumirse en los siguientes puntos:

- Abastecimiento de agua potable
- Sostenimiento de la fauna acuática
- Producción agraria e industrial
- Generación de energía
- Navegación y recreo
- Evacuación de residuos

Es evidente que todas estas actividades demandan agua, sin embargo, no todas ellas la consumen. La “demanda” es la cantidad de agua que se requiere para un uso determinado, mientras que el “consumo” es la cantidad de agua que deja de estar disponible después de su utilización, por no ser reaprovechable. Así, la producción de energía hidroeléctrica es una actividad de mucha demanda y casi nulo consumo, mientras que la producción agrícola es una actividad de gran demanda y consumo.

También puede observarse que la calidad que debe tener el agua puede ser muy diferente según el uso al que se destine. Así, el agua de un río conteniendo sustancias disueltas puede ser perfectamente utilizable para producir energía hidroeléctrica, pero absolutamente inutilizable en el suministro de agua potable a poblaciones, a menos que sea convenientemente tratada.

Finalmente, la calidad del agua puede verse totalmente alterada según la utilización que se haga de ella. Así, algunos usos del agua generan las llamadas “aguas residuales”, es decir, los efluentes de actividades domésticas, agrarias o industriales.

La contaminación del agua

La contaminación de agua puede definirse como la alteración de su calidad por la acción natural o humana que hace que no sea adecuada para la aplicación a la que se destina. Las alteraciones que puede sufrir el agua pueden ser físicas, químicas o biológicas.

Alteraciones físicas

- **Propiedades organolépticas** (color, olor, sabor): El color del agua es debido a los materiales disueltos o suspendidos (rojizo de sales de hierro o verdoso de sales cálcicas); su olor puede ser debido a la presencia de productos químicos como los fenoles o el cloro, a materia orgánica en descomposición o a organismos como las algas o los hongos; su sabor está relacionado con la presencia de cationes metálicos como cobre, zinc o magnesio, o aniones salinos como cloruros o sulfatos.
- **Temperatura:** Esta variable tiene gran importancia en el desarrollo de los diversos fenómenos que ocurren en el agua, como la solubilidad de gases y sales, así como en los procesos biológicos. La elevación de la temperatura del agua puede acelerar la putrefacción, aumentar la solubilidad de las sales y disminuir la de los gases, lo que es de gran importancia en el caso del oxígeno.
- **Materia en suspensión:** Generalmente el agua en movimiento transporta materiales sólidos insolubles. Según el tamaño de las partículas, se pueden formar suspensiones, que pueden ser inestables y sedimentar cuando el agua queda en reposo, o pueden ser estables incluso con el agua en reposo. En el primer caso se habla de “sedimento”, mientras que en el segundo caso se habla de “turbidez”.
- **Espuma:** Un agua formará espuma si contiene agentes tensoactivos, que son sustancias que disminuyen la tensión superficial de los líquidos y, por tanto, aumentan la estabilidad de las burbujas gaseosas que puedan formarse en la superficie. El ejemplo más representativo de agentes tensoactivos son los detergentes sintéticos, que son vertidos en las aguas naturales en grandes cantidades por su extendido uso industrial y doméstico.
- **Radiactividad:** Todas las aguas presentan una determinada radiactividad

natural, como consecuencia de la presencia de isótopos radiactivos solubles, en especial los de potasio, provenientes de diversos tipos de rocas, y que no suponen peligro para los seres vivos. El aumento de los valores normales generalmente se debe a la actividad humana relacionada con procesos nucleares (energéticos, médicos).

Alteraciones químicas

La presencia de compuestos químicos por encima de determinados niveles de concentración suele ser la que más afecta a la calidad del agua. Los compuestos orgánicos (hidrocarburos, pesticidas, detergentes) dan al agua un carácter reductor, ya que son capaces de combinarse con el oxígeno disuelto en ella. Los productos inorgánicos (nitrógeno, fósforo, sales, metales) varían de forma importante propiedades del agua como su acidez, alcalinidad, carácter corrosivo o toxicidad.

Alteraciones biológicas

Las alteraciones biológicas del agua se refieren, principalmente, al desequilibrio provocado por un aumento del número de microorganismos presentes, especialmente bacterias, protozoos y algas. Las bacterias son los microorganismos encargados de oxidar la materia orgánica del agua; los protozoos se alimentan de bacterias y, por tanto, equilibran las poblaciones de microorganismos; las algas poseen la capacidad fotosintética que les permite liberar oxígeno, manteniendo la concentración suficiente en el agua.

Otro tipo de alteración biológica es la disminución de la flora y fauna acuáticas de un agua, provocada a menudo por la reducción de la concentración de oxígeno libre disuelto por debajo del valor mínimo ($> 4 \text{ mg/l}$) que permite la vida de los organismos superiores.

Generalmente estas alteraciones biológicas se producen por el vertido en las masas de agua naturales de aguas residuales urbanas, ya que su elevado contenido en microorganismos produce un fuerte desequilibrio en las poblaciones microbianas naturales.

Indicadores de contaminación

Las sustancias que pueden alterar la calidad del agua son, como se ha indicado, de variada naturaleza. No obstante, para definir mejor el grado de contaminación del agua, generalmente no se procede al análisis individualizado de cada una de dichas sustancias, sino que sólo se tienen en cuenta algunas de ellas junto con unos parámetros que se han considerado como los valores más representativos de la calidad del agua, atendiendo a su punto de vista sanitario. Estos parámetros se conocen como “indicadores de contaminación”, entre los cuáles los más importantes son:

- **Contenido en sólidos:** El contenido en sólidos del agua es el parámetro más inmediato para medir la calidad del agua. Estos sólidos (totales) pueden estar disueltos, suspendidos (provocando turbidez) o ser sedimentables. A su vez, cada una de estas fracciones sólidas suele clasificarse según su volatilidad (a 600 °C), hablándose de sólidos fijos (sustancias inorgánicas) y sólidos volátiles (sustancias orgánicas).
- **Oxígeno disuelto:** El oxígeno disuelto en el agua es indispensable para la respiración de los organismos aerobios. Generalmente proviene del contacto del agua con la atmósfera y de la fotosíntesis de las plantas acuáticas. No obstante, el oxígeno es sólo ligeramente soluble en agua, dependiendo su solubilidad de su presión parcial en la atmósfera, de la temperatura y de las otras diversas sustancias contenidas en el agua.
- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO):** Este parámetro representa la capacidad de autodepuración del agua, siendo la concentración de oxígeno necesaria para descomponer, mediante acción bioquímica aerobia, la materia orgánica presente. Como esta descomposición es muy lenta y compleja, se toma como referencia un período de cinco días, determinando el contenido de oxígeno de una muestra dada y lo que queda después de cinco días en otra muestra semejante conservada a 20 °C fuera del contacto con el aire. La diferencia entre los dos contenidos representa la DBO, también expresada a veces como DBO_5 . Cuanto mayor sea el valor de este parámetro, más contaminada estará el agua.
- **Demanda química de oxígeno (DQO):** Este parámetro expresa el oxígeno

consumido por las sustancias reductoras presentes en el agua sin intervención de los organismos vivos. Se obtiene mediante la adición al agua de un agente oxidante fuerte (dicromato potásico, $K_2Cr_2O_7$), y midiendo la concentración consumida. Su valor siempre es superior al de la DBO, porque es mayor el número de compuestos que pueden oxidarse por vía química que biológicamente. Además muchas veces se utiliza como alternativa a la DBO, ya que se puede obtener en pocas horas.

- **Nitrógeno:** El nitrógeno es un elemento esencial (nutriente) para el crecimiento de los seres vivos. Por ello su concentración en el agua puede permitir valorar la tratabilidad por métodos biológicos. Como, por otro lado, todos los mecanismos de descomposición bioquímica del nitrógeno llevan a la producción de amoníaco (NH_3), la concentración en el agua de iones amonio (NH_4^+) puede dar una idea de la “edad” del agua: cuanto mayor sea su valor respecto al nitrógeno total, más tiempo habrán tenido las distintas poblaciones para reducir a amoníaco las proteínas, los nitratos y los nitritos que pudiesen estar presentes en el agua.
- **Alcalinidad:** Este parámetro expresa el contenido en las sales más abundantes que pueden encontrarse en el agua, principalmente hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de sodio, potasio, calcio y magnesio. Se determina mediante valoración con un ácido y se expresa como concentración de carbonato cálcico ($CaCO_3$).
- **Temperatura:** La temperatura del agua es un parámetro muy importante ya que ejerce una notable influencia en la solubilidad del oxígeno (un aumento de $10^\circ C$ disminuye la solubilidad del oxígeno en un 20%), lo que tiene un gran efecto sobre los seres vivos que puede contener, sobre la velocidad de las reacciones químicas y bioquímicas (un aumento de $10^\circ C$ hace que se duplique la velocidad de reacción) y en sus posibilidades de utilización. Por tanto, un agua cuya temperatura sea unos $10 - 15^\circ C$ superior a su valor medio normal podría considerarse como “térmicamente contaminada”.
- **Organismos patógenos:** Los organismos patógenos que se pueden encontrar en el agua proceden de residuos humanos y pueden causar enfermedades gastrointestinales como fiebres tifoideas, cólera o disentería. Como la

identificación de los organismos patógenos presentes en el agua es extremadamente difícil y lenta, se utiliza como indicador de su posible existencia la presencia de heces. Las heces humanas se caracterizan por contener una elevada cantidad de bacterias en forma de bastoncillo (generalmente se evacúan unos 250.000 millones al día), llamadas “coliformes”, que no son dañinas y que son fáciles de determinar, por lo que se utilizan como indicadores de la contaminación fecal. Su presencia se interpreta como una indicación de heces y, por tanto, de que puede haber organismos patógenos presentes; su ausencia indica que el agua no contiene heces y, por tanto, se halla exenta de organismos productores de enfermedades.

Componentes	Concentración (mg/l)
Sólidos totales	730
Sólidos disueltos	500
fijos	300
volátiles	200
Sólidos suspendidos	220
fijos	55
volátiles	165
Sólidos sedimentables	10
DBO ₅	220
DQO	500
Nitrógeno total	40
orgánico	15
amoniaco	25
Alcalinidad	100

Ejemplo de composición de un agua residual doméstica

Focos de contaminación

La contaminación del agua puede ser provocada por dos tipos de causas:

- Causas naturales: geoquímicas, catastróficas
- Actividad humana

Por su parte, las actividades humanas pueden generar focos de contaminación de diversos tipos, que suelen clasificarse en tres grandes grupos de aguas residuales:

- Aguas domésticas (aguas negras o fecales): procedentes del empleo del agua en la actividad doméstica
- Efluentes agrarios: procedentes principalmente de cultivos agrícolas (los generados en las explotaciones ganaderas se considerarán en el Capítulo dedicado a los residuos sólidos)
- Efluentes industriales: aguas que han sido utilizadas en procesos industriales

El primer problema que se plantea con estas aguas residuales es su captación.

Las aguas domésticas se captan en los núcleos urbanos mediante los sistemas de alcantarillado. Los efluentes agrarios son muy difíciles de captar, ya que se producen sobre el propio terreno agrícola y se infiltran en él, resultando muy complicada su canalización. La captación de los efluentes industriales debe ser contemplada en el propio diseño de la planta, si bien aún es frecuente que las industrias ubicadas en los núcleos urbanos o cerca de ellos, viertan sus efluentes a sus redes de alcantarillado.

Pero hay que distinguir claramente entre la captación de las aguas residuales y su destino. Históricamente el destino de las aguas residuales ha sido su eliminación por vertido al entorno. Actualmente se sigue manteniendo esta práctica, con más o menos prudencia, pero se está imponiendo rápidamente el uso de sistemas de tratamiento antes de su vertido, debido al continuo aumento del volumen de las aguas residuales, ya difícilmente asumible directamente por el medio natural sin producir graves problemas ambientales.

Resulta difícil hacer una caracterización general de las aguas residuales en lo que se refiere a su composición.

En el caso de los efluentes industriales, tanto su composición como los posibles efectos sobre el medio ambiente dependen de la actividad industrial y es preciso estudiar cada caso en particular. Por ejemplo, una refinería de petróleo puede generar efluentes conteniendo hidrocarburos, altamente contaminantes y difícilmente degradables por el entorno aunque sus concentraciones sean bajas. Una central térmica puede producir contaminación térmica por vertido de las aguas de refrigera-

ción. Una fábrica de conservas puede producir efluentes que, si bien son biodegradables, poseen una concentración de materia orgánica demasiado alta para que puedan ser autodepuradas por el medio.

Los efluentes agrarios contienen fundamentalmente restos de fertilizantes químicos, herbicidas y pesticidas; el potencial contaminante de estas sustancias sobre las masas de agua naturales y la dificultad de su captación obligan cada vez más a restringir y a controlar el uso de estos productos agrícolas, así como también a desarrollar nuevos métodos de enriquecimiento de los suelos y de control de plagas.

Por su parte, los efluentes domésticos suelen tener una características propias que incluso permiten hablar casi de una composición media. Así, aproximadamente el 40% de los sólidos que contiene es materia en suspensión y el resto es materia disuelta; entre el 60 y el 70% de la materia total es orgánica, de la cual, la mitad está compuesta por hidratos de carbono, un 40% de materias nitrogenadas y un 10% de grasas. Asimismo, su población biológica (organismos patógenos) es de elevado peligro para la salud, por ser un medio de transmisión de enfermedades infecciosas.

Por estos motivos, a continuación se hará referencia casi exclusivamente a las aguas domésticas cuando se hable de aguas residuales, ya que su eliminación o tratamiento son los que merecen especial atención, fundamentalmente bajo el punto de vista sanitario.

Eliminación de aguas residuales

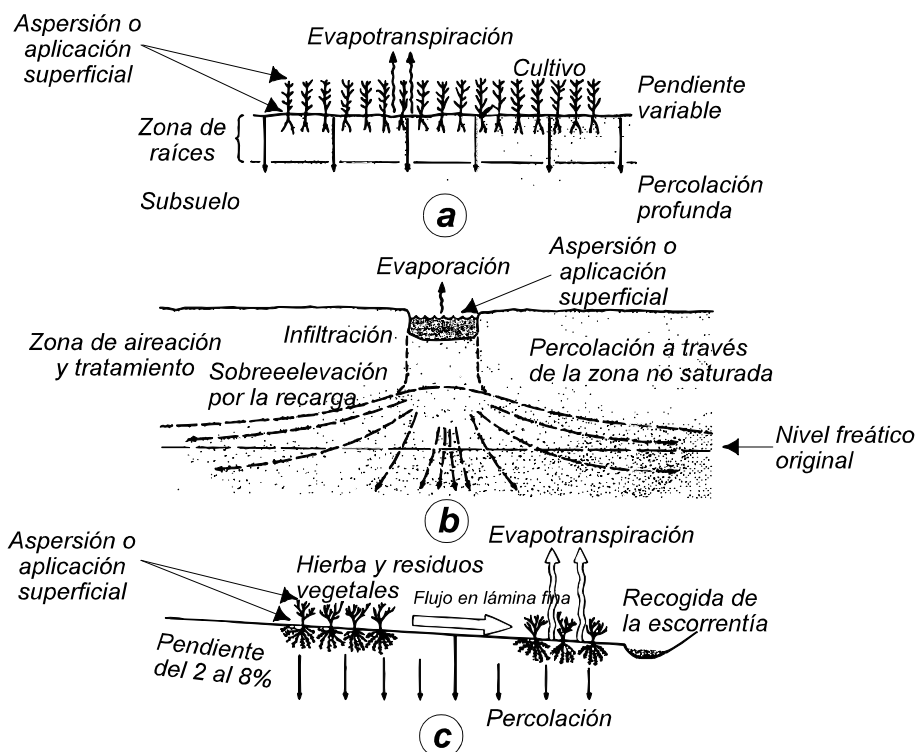
La eliminación de aguas residuales consiste fundamentalmente en el vertido al entorno, bien directa o indirectamente al terreno, o bien buscando la dilución de sus componentes en otras masas de agua. Estos métodos de eliminación están basados en las propiedades autodepuradoras naturales, por lo cual son más baratos, pero exigen exhaustivos estudios previos y perfeccionados métodos de control para evitar el deterioro del medio ambiente.

Eliminación directa

La eliminación directa de aguas residuales consiste en su aplicación al terreno, participando en el proceso de depuración natural los vegetales, la superficie y la matriz del suelo. Los tres métodos principales de aplicación al terreno de aguas residuales

son:

- Riego
- Infiltración rápida
- Circulación superficial en lámina



Procesos de eliminación de aguas residuales:

- a) Riego
- b) Infiltración rápida
- c) Circulación superficial en lámina

El **riego** es el proceso de eliminación directa más utilizado y consiste en el vertido controlado del efluente, por aspersion o por extensión superficial sobre el terreno, para servir al crecimiento de especies vegetales. El agua residual es absorbida por las plantas, evaporada parcialmente (directamente del suelo y a través de las plantas por transpiración) y filtrada a través del suelo. Las raíces de las plantas captan el nitrógeno y el fósforo del agua, mientras que la materia orgánica contenida en ella ayuda al acondicionamiento del suelo, donde es degradada por oxidación biológica. Los objetivos que se persiguen con esta técnica suelen ser el aprovechamiento económico del agua y los nutrientes para obtener cultivos comercializables, la conservación del agua por sustitución en el riego de zonas verdes o la preservación y desarrollo de éstas.

La **infiltración rápida** consiste en aplicar el efluente en mayores cantidades, por extensión o por aspersión sobre suelos altamente permeables y sin vegetación, como arenas, a través de los cuáles se filtra y llega al subsuelo rápidamente. Los objetivos de este sistema suelen ser la recarga de acuíferos o el tratamiento natural del agua seguido de la extracción por bombeo o por drenaje para su recuperación.

La **circulación superficial en lámina** es esencialmente un proceso de tratamiento biológico en el cual se aplica el agua residual sobre las zonas superiores de unas terrazas dispuestas con pendiente, fluyendo sobre la superficie, cubierta de vegetación, hasta unas zanjas de captación de la escorrentía. El agua residual se depura biológicamente al fluir en una delgada lámina por la pendiente de un suelo relativamente impermeable (suelo arcilloso) debido a que posee una gran superficie de intercambio de oxígeno con el aire. Los objetivos de este método de aplicación sobre el terreno son el tratamiento del agua residual y, en menor medida, la producción de cultivos forrajeros o la conservación de zonas verdes.

En los últimos años se ha hecho un gran esfuerzo por desarrollar las tecnologías de aplicación al terreno y para perfeccionar los métodos de control. En general, es importante no sólo conocer las características del agua residual, sino también los períodos de aplicación y de descanso, que dependen de la capacidad renovadora del suelo. Bajo el punto de vista sanitario, se ha comprobado que la eliminación bacteriana de los efluentes que pasan a través del suelo es prácticamente completa. Por todo ello estos métodos han llegado a ser aceptados en la gestión del agua residual al mismo nivel que todos los demás.

Eliminación indirecta

La eliminación indirecta de aguas residuales ha sido desde hace mucho tiempo, el método más utilizado en el ámbito doméstico, sobre todo en zonas rurales. La solución más primitiva y simple consiste en excavar un pozo en el terreno (llamado "pozo negro"), donde se almacena el agua residual, que se va filtrando lentamente a través de las paredes del pozo al terreno circundante. Este pozo negro ha sido sustituido por la denominada "fosa séptica", que consiste en un recipiente impermeable en el que se recogen las aguas residuales. Estas aguas, después de algún tiempo de permanencia en la fosa, se vierten mediante tubos de drenaje al subsuelo, desde

donde se infiltran al terreno.

La fosa séptica no sólo actúa como un depósito de almacenamiento temporal de las aguas residuales, En su interior se produce una descomposición anaerobia (en ausencia de oxígeno) de la materia orgánica y una sedimentación del fango resultante de dicha descomposición. Este fango a de descargarse cada cierto tiempo y ser sometido a tratamiento. Asimismo hay prever un sistema de evacuación a la atmósfera de los gases producidos durante el proceso (fundamentalmente metano y dióxido de carbono).

Eliminación por dilución

La eliminación de aguas residuales por dilución consiste en realizar su vertido en cantidades de agua muy superiores a las de la propia agua residual, con objeto de diluir las sustancias contenidas en ella y aprovechar la capacidad de tratamiento de las masas de agua naturales sobre concentraciones bajas de sustancias contaminantes. Desde que el ser humano ha requerido deshacerse de sus aguas residuales, éste ha sido el método de eliminación más utilizado por todas las civilizaciones.

Evidentemente, estos vertidos han de hacerse de tal forma que no rompan el equilibrio natural de las masas de agua ni deterioren su calidad, por lo que es de suma importancia no sólo conocer las características y los caudales de las aguas residuales, sino también entender cómo actúan los fenómenos físicos, químicos y biológicos que se producen en las grandes masas de agua.

Por motivos económicos, el vertido de los efluentes siempre se llevará a cabo sobre las masas de agua más cercanas, que podrán ser:

- Ríos
- Lagos, embalses y estuarios
- Mar

El vertido en **ríos** se basa en la elevada capacidad (si bien, limitada) que tienen los mismos de autodepurarse por la acción de los organismos vivientes que consumen materia orgánica y por el proceso de sedimentación que facilita la formación del lecho del río. Esta capacidad nunca debe ser sobrepasada (*Ver Capítulo 2: Degradación de corrientes de agua*). El vertido ha de hacerse por debajo del nivel mínimo posible del agua utilizando una tubería llamada “emisario”, preferiblemente dotado de algún tipo

de sistema difusor (en su forma más simple, una tubería con orificios).

El vertido en **lagos, embalses y estuarios** se lleva a cabo cuando no se dispone de corrientes de agua cercanas. La característica fundamental de este tipo de masas de agua es su estratificación vertical, debida a la diferencia de temperatura entre la superficie y el fondo, durante algunas épocas del año. Esta estratificación ha de ser tomada en cuenta, ya que dificulta de forma importante el mezclado, que se debe principalmente al viento, las corrientes o las mareas. También debe considerarse muy cuidadosamente el equilibrio biológico de estos sistemas (*Ver Capítulo 2: Eutrofización de masas de agua*).

El vertido al **mar** se lleva a cabo mediante conducciones ancladas al fondo marino, llamadas “emisarios submarinos”, que transportan el agua residual mar adentro, a una distancia mínima de la orilla y que generalmente tienen una sección final dotada de difusores para diluir los residuos en el agua de mar. El flujo de agua residual se mezcla en este punto con el agua de mar circundante, la mezcla (“mancha”) sube a la superficie como un penacho y se desplaza según las corrientes marinas (“advección”). Si el mar está lo suficientemente estratificado en el punto de descarga, puede ser posible mantener la mancha sumergida y que se produzca la dispersión y descomposición a una profundidad que no afecte de manera significativa a los ecosistemas de los alrededores.

Tratamiento de aguas residuales

El tratamiento o depuración de aguas residuales consiste en concentrar los contaminantes contenidos en ellas para facilitar su posterior separación. Ello presupone la aplicación de unas operaciones, cuyas características y secuencia vienen definidas por las propiedades del agua a tratar y por el grado de depuración que se desee conseguir. A lo largo de las diferentes operaciones individuales de depuración se van separando del agua una serie de sustancias que hay que eliminar. Se trata de los “fangos” o “lodos”, que, por supuesto, también habrá que tratar. Por tanto, será necesario realizar no sólo un estudio sobre el tratamiento de aguas, sino también otro sobre el tratamiento de fangos, para lograr en conjunto el tratamiento integrado del agua residual.

En definitiva, el propósito del tratamiento de aguas residuales es acelerar los

procesos de la Naturaleza bajo condiciones controladas en instalaciones de tamaño mucho menor que los espacios naturales, conocidas como “estaciones de depuración de aguas residuales” (EDAR). En estas plantas de proceso se utilizan diferentes operaciones básicas, que implican procesos físicos, químicos y biológicos y que suelen agruparse en distintas etapas de tratamiento, cuyos objetivos están claramente definidos:

- Tratamiento previo: eliminación de grandes sólidos
- Tratamiento primario: eliminación de sólidos en suspensión
- Tratamiento secundario: eliminación de la materia orgánica biodegradable
- Tratamiento terciario: eliminación de sólidos disueltos.
- Desinfección: eliminación de agentes patógenos

Tratamiento previo

El tratamiento previo consiste en la eliminación de todos aquellos cuerpos de gran tamaño y alta densidad contenidos en el agua residual (trapos, maderas, plásticos, piedras, arena, etc.), que se lleva a cabo para proteger las instalaciones y equipos (entre otros, las bombas) de la planta de tratamiento. A continuación se resumen las operaciones más importantes que se consideran dentro de esta etapa.

El **cribado** es la operación de separación de sólidos que se lleva a cabo con cribas y rejillas, que retienen entre sus mallas o barras los sólidos en suspensión y flotantes. Éstos son retenidos y recogidos por procedimientos manuales o automáticos, mediante rastrillos.

La **dilaceración** es la operación de fragmentación y trituración de materiales sólidos que se realiza en unos aparatos llamados “dilaceradores”. En ocasiones esta operación sustituye al cribado y permite incorporar de nuevo los sólidos separados por las cribas a la corriente de agua residual en forma de partículas más pequeñas, evitando la generación de un residuo sólido en esta etapa del proceso.

El **desarenado** tiene únicamente por objeto separar la arena y la grava de la corriente de agua residual, ya que aquéllas desgastan las bombas y dificultan el procesamiento de los lodos generados en el tratamiento secundario. Esta separación se hace por sedimentación, lo que se consigue disminuyendo la velocidad de circulación del fluido, haciéndolo pasar por canales de sección cuadrada y poca

profundidad.

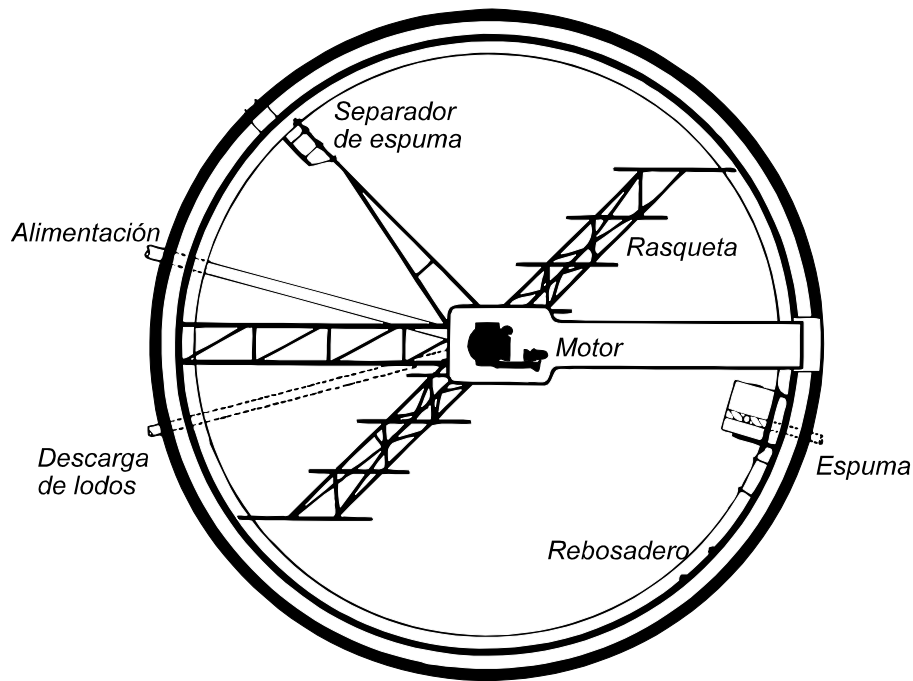
Tratamiento primario

El tratamiento primario tiene como misión la separación por métodos físicos de los sólidos en suspensión que no fueron eliminados en el tratamiento previo, así como de las posibles grasas presentes en el agua residual. Si bien la diferenciación entre las diversas operaciones incluidas en esta etapa no es totalmente clara o incluyen algún proceso químico, se resumen a continuación las más comúnmente empleadas.

La **sedimentación** es la operación consistente en separar una suspensión en dos fases: un fluido claro sobrenadante y un lodo con una concentración elevada de materias sólidas. Esta separación se consigue disminuyendo la velocidad de la corriente de agua residual hasta alcanzar un valor lo suficientemente bajo como para que los compuestos sólidos más densos se depositen en el fondo del sistema de sedimentación. Generalmente se efectúa esta operación de forma continua en tanques de gran sección circular y poca profundidad, con sistemas automáticos de limpieza y de separación de lodos.

La **separación de grasas** tiene como objetivo principal retirar las grasas libres (no emulsionadas) que flotan arrastradas por las corrientes de aguas residuales. Para ello se suelen utilizar tanques rectangulares de múltiples canales de gran longitud y de poca profundidad y anchura, dotados de unas rasquetas superiores que separan las grasas sobrenadantes.

La **floculación** consiste en la unión o aglutinación de las partículas suspendidas en un líquido para formar unos agregados conocidos como “flóculos”. Cuando se favorece este fenómeno por adición de agentes químicos (coagulantes) se habla de **coagulación**. Se utiliza esta operación para aglutinar partículas finas, causantes de la turbidez, formando otras más grandes, mucho más fácilmente separables por sedimentación o por filtración. Se utilizan generalmente como coagulantes el alumbre (sulfato de aluminio), el aluminato sódico, el sulfato ferroso o el cloruro férrico.



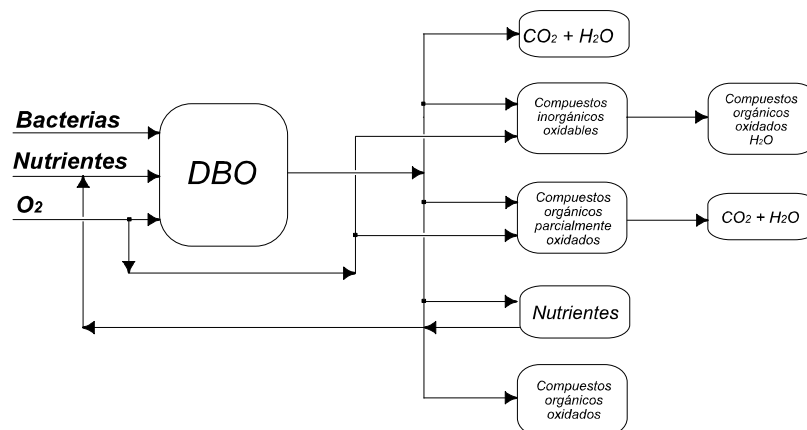
Esquema de sedimentador primario

La **flotación** se utiliza para separar sólidos o líquidos inmiscibles y de baja densidad, que se encuentran en suspensión en las aguas residuales. Como agente de flotación se usa el aire, que se inyecta en el seno del líquido y forma en la superficie una capa de espuma fácilmente eliminable. Sólo se utiliza esta operación cuando la materia en suspensión no puede separarse por ningún otro procedimiento, como sucede en el caso de la separación de aceites minerales (lubricantes de automóviles), que no es completa en las unidades de separación de grasas.

La **filtración** es una de las técnicas más conocidas y utilizadas para la purificación del agua y consiste en hacer pasar una corriente que contiene materiales en suspensión a través de un medio filtrante que permite el paso del fluido, pero no de las partículas sólidas, que quedan retenidas en el medio filtrante. Se utiliza en el tratamiento primario para eliminar los sólidos en suspensión de pequeño tamaño y generalmente es una opción complementaria de la coagulación y sedimentación. Los materiales más utilizados como medio filtrante en el tratamiento de aguas residuales son la arena, la antracita y la tierra de diatomeas. La efectividad de esta operación depende del tamaño de las partículas del medio filtrante. Su limpieza es necesaria cada cierto tiempo y se efectúa por lavado ascendente con agua.

Tratamiento secundario

El tratamiento secundario es el encargado de eliminar la materia orgánica biodegradable (cuantificada como DBO) aún presente en el agua residual tras el tratamiento primario. Esta técnica consiste en estimular artificialmente la multiplicación de microorganismos capaces de asimilar la materia orgánica transformándola en masa celular insoluble, fácilmente separable. También se conoce como “tratamiento biológico” u “oxidación biológica” y no es otra cosa que la aplicación de los mecanismos naturales de autodepuración, en condiciones controladas. Es decir, la materia orgánica es asimilada por los microorganismos, en presencia de oxígeno y nutrientes, para producir más microorganismos (síntesis) y productos finales (oxidación a dióxido de carbono y agua). Debido a las características de los productos finales, si se separa la masa celular insoluble que va floculando los microorganismos, el agua resultante del tratamiento secundario será biológicamente estable.



Esquema general de la oxidación biológica

Las características químicas de las sustancias presentes en el agua residual determinan los organismos que pueden desarrollarse durante el tratamiento biológico. Dichos organismos se encuentran en las propias aguas residuales, ya que forman parte de la población natural. Se desarrollan a temperaturas comprendidas entre los 15 y los 40 °C, a valores de pH comprendidos entre 6,5 y 8,5, pero pueden verse afectados por una concentración elevada de sales o de iones de metales pesados (Fe,

Al, Cr, Cu, Zn), que les resultan tóxicos.

Los microorganismos más sencillos, las bacterias, pueden metabolizar la mayoría de los compuestos orgánicos. Los hongos (pluricelulares) también pueden metabolizar casi todos los compuestos orgánicos, pero generalmente no pueden competir con las bacterias. Las algas, al contener clorofila, pueden utilizar la luz solar como fuente de energía y debido a su producción de oxígeno, mantienen un medio aerobio que favorece a las bacterias y a los hongos. Finalmente, los organismos superiores como protozoos, rotíferos, crustáceos y nemátodos, no pueden hallar suficiente materia orgánica en el agua para su desarrollo, por lo que se alimentan de los organismos inferiores, completando el proceso de depuración. Su presencia es un indicador de que el agua está suficientemente depurada.

El tratamiento secundario del agua residual puede llevarse a cabo en la práctica por diferentes procesos, los principales de ellos basados en la oxidación biológica de la materia orgánica, con la consiguiente reducción de la DBO. La elección del proceso más adecuado en cada caso dependerá, tanto de razones tecnológicas como de imperativos económicos.

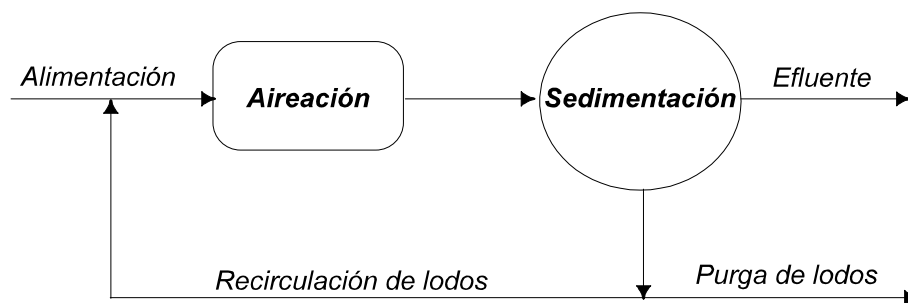
Las **balsas de estabilización**, construidas en el terreno con profundidades de 1 a 2 m, son la manera más sencilla de llevar a cabo el proceso de oxidación biológica aerobia. Para lograr buenas reducciones de DBO se requieren grandes extensiones de terreno, variando el rendimiento en función de la temperatura y de la insolación. Ello es debido a que la fuente principal del oxígeno necesario para la oxidación son las algas, aunque la aireación natural de la superficie puede aportar una cantidad adicional de este elemento.

Las **lagunas aireadas** son similares a las balsas de estabilización, y se diferencian de ellas en que el oxígeno se suministra mediante aireadores mecánicos superficiales. Ésto permite aumentar el rendimiento y reducir la superficie necesaria hasta 15 veces.

Los **filtros percoladores** están formados por lechos de piedras o de materiales plásticos dispuestos en tanques circulares de gran diámetro y unos 10 m de profundidad. El agua residual se distribuye por pulverización sobre la parte superior y se deja drenar a través del lecho, recogándose en su parte inferior. La materia orgánica del agua residual se degrada gracias a una población microbiana que se va

formando sobre el medio filtrante como un limo. Al aumentar la población de microorganismos, éstos van desprendiéndose del lecho, por lo que a la salida del mismo es necesario montar un clarificador (sedimentador) para separar el limo arrastrado.

El **proceso de lodos activos**, uno de los más comúnmente utilizados, consiste en airear vigorosamente el agua residual en un tanque, lo que hace aumentar la población microbiana, que se deposita en forma de lodo en un sedimentador anexo que permite su separación. Este lodo (“activo”, por su elevada concentración en microorganismos) se recicla en buena parte (hasta el 50% del caudal de alimentación) al tanque de aireación y el resto se purga con destino al tratamiento de lodos.



Esquema del proceso de lodos activos

Tratamiento terciario

Una vez que el agua residual sale del tratamiento secundario suele quedar, salvo raras excepciones, como un agua clara y limpia, pero con un elevado contenido de productos de tipo iónico (sales minerales) o molecular (coloides de productos orgánicos de alto peso molecular) en disolución. Las operaciones aplicables a la reducción de concentración de los compuestos solubles se engloban en el tratamiento terciario y sólo se utilizan cuando es estrictamente necesario (por ejemplo, eliminación de materia orgánica no biodegradable, sólidos en suspensión o sales inorgánicas disueltas), debido a su coste relativamente elevado. A continuación se comentan algunas de las operaciones de este tipo más frecuentes.

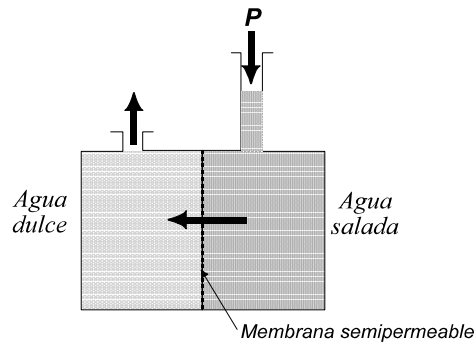
La **adsorción** es un fenómeno superficial mediante el cual ciertos productos de gran superficie retienen, por un fenómeno físico y/o químico, a otras sustancias, generalmente orgánicas, en disolución o dispersión coloidal. Estos productos se llaman “adsorbentes” y el compuesto retenido, “adsorbato”. Los adsorbentes pueden ser

naturales (tierras arcillosas, como la bentonita) o artificiales (carbón activo, geles inorgánicos o compuestos orgánicos sintéticos), utilizándose preferentemente aquéllos que puedan ser regenerados de nuevo. Generalmente se opera mediante dos métodos alternativos: se puede hacer pasar el agua por un lecho de adsorbente o se pueden mezclar íntimamente ambos componentes en un tanque. En el primer caso, cuando se satura el lecho, se retira y se regenera; en el segundo caso, los componentes han de separarse de nuevo por sedimentación, llevándose a regenerar el lodo separado. La adsorción es, en general, el proceso más indicado para eliminar los productos macromoleculares causantes principalmente de coloración y mal olor, utilizándose como adsorbente en la mayoría de las ocasiones, carbón activo.

El **intercambio iónico** es un proceso en el que se produce un cambio de iones entre los presentes en el agua a tratar y los existentes en una fase sólida finamente dividida (grupos activos), sin alterar la estructura física de esta segunda fase, denominada “cambiador”. En la actualidad se emplean como cambiadores casi exclusivamente resinas orgánicas sintéticas, que forman retículas tridimensionales en las que se fijan los grupos activos. Según los iones a cambiar estas resinas pueden ser aniónicas (contienen OH^-) o catiónicas (contienen H^+). Como es evidente, las resinas se agotarán con el tiempo y hay que regenerarlas, las catiónicas con un ácido fuerte y las aniónicas con una base fuerte. En la práctica las resinas se disponen en lechos a través de los cuáles se hace pasar el agua residual. Cuando la resina se agota, se procede a la regeneración del lecho (elución) con el reactivo adecuado, volviendo a quedar listas para su uso. Su principal aplicación como tratamiento terciario es la reducción de la salinidad del agua residual, lo que se consigue por intercambio de los aniones contenidos en el agua por iones OH^- y los cationes por H^+ .

La **ósmosis inversa** es el fenómeno por el cual se produce el paso de disolvente desde una disolución concentrada a otra más diluida, separadas por un cierto tipo de membrana semipermeable. Este proceso sólo puede producirse artificialmente, aplicando a la disolución concentrada una presión superior a la presión hidrostática que se alcanza cuando se igualan las concentraciones, o “presión osmótica”. La membrana permite el paso del agua y no del soluto (generalmente sales diversas), a la vez que ha de resistir la presión y no provocar excesivas pérdidas de carga; asimismo ha de ser fácilmente reemplazable. Generalmente se fabrican a base

de polímeros con formas diversas (laminar, tubular, fibrosa) y para instalar en diferentes sistemas (placas y marcos, módulos en espiral o paquete de fibras). Si bien la ósmosis inversa es una aplicación típica para la desalación de aguas salobres o agua de mar, en algunas ocasiones se aplica para separar las sales contenidas en las aguas residuales, ya que el problema es similar, aunque los solutos no son los mismos.



Esquema del proceso de ósmosis inversa

Desinfección

Se conoce por desinfección al proceso por el que se destruyen de forma selectiva los gérmenes patógenos (causantes de enfermedades) que puedan estar presentes en un agua residual, como *salmonella*, *shigella*, *entamoeba*, *enterovirus*, *adenovirus* y *virus A* de la hepatitis. La desinfección de las aguas puede efectuarse por métodos físicos (calor, radiaciones) o químicos (productos oxidantes, principalmente). La elección del método y del producto dependerá de muchas circunstancias, pero la aplicación del desinfectante viene dada por las siguientes propiedades:

- Capacidad de destruir a los microorganismos patógenos
- Alta velocidad de actuación en las condiciones de operación
- Ausencia de efectos perjudiciales y de características organolépticas apreciables, a la concentración empleada
- Facilidad de almacenamiento y manipulación.
- Posibilidad de ser determinada rápida (y automáticamente) su concentración en el agua
- Capacidad de mantener los efectos a lo largo del tiempo, evitando una nueva contaminación.
- Bajo coste

El **calor** es el método físico de desinfección empleado en los casos críticos sobre pequeñas cantidades de agua. Para desinfectar el agua es suficiente elevar su temperatura hasta el punto de ebullición y mantenerla a esa temperatura durante un período de diez minutos. Este método no ha dejado de ser un clásico en la desinfección del agua en el ámbito doméstico, debido a su rapidez y fiabilidad.

La **radiación** de alta energía, como la ultravioleta, es también un buen desinfectante. Su fuente natural más inmediata es la luz solar, pero ésta no es utilizable en la práctica, ya que sólo el 2% de la radiación que llega a la superficie terrestre es ultravioleta. Por ello, generalmente se producen las radiaciones ultravioleta mediante lámparas de vapor de mercurio. Estas radiaciones, aplicadas en pequeñas dosis, destruyen bacterias y hongos; la destrucción de virus necesita mayores intensidades y tiempos de irradiación. Este método tampoco es aplicable a grandes caudales de agua, debido principalmente a su escaso poder de penetración. Para que la acción desinfectante sea eficaz, el agua que se va a tratar debe ser transparente (sin turbidez) y su circulación en forma de lámina de poco espesor, ya que a profundidades superiores a 5 cm se pierde casi el 30% de la radiación, que es absorbida por las propias moléculas del agua.

El **cloro** es quizás el desinfectante químico más universalmente utilizado, ya que cumple prácticamente todas las condiciones mencionadas para ser un desinfectante eficaz. Se utiliza en forma gaseosa, de hipoclorito sódico o de dióxido de cloro. Añadido al agua como gas, clora y oxida las sustancias orgánicas y oxida las sustancias inorgánicas reductoras, lo que complica el mantenimiento de una cantidad residual para la desinfección del agua. Por ello es necesario siempre añadir cloro suficiente para obtener cloro residual libre (unas 0,3 ppm), para tener la seguridad de lograr la desinfección. Esta operación se conoce normalmente como “cloración al punto de ruptura” (*breakpoint*), y depende fuertemente del tiempo de contacto y del pH del medio. El cloro residual libre ha de ser controlado cuidadosamente, ya que su cantidad es muy elevada, puede ejercer su acción tóxica sobre los organismos superiores. Obsérvese que los bañistas de una piscina pueden experimentar irritación de la mucosa nasal y de la conjuntiva ocular cuando el nivel de cloro es de sólo 2 ppm.

El **ozono** es un elemento oxidante de propiedades desinfectantes iguales o superiores a las del cloro. Esta forma molecular del oxígeno se puede producir por

descargas eléctricas de unos 20.000 voltios sobre este gas. Como es muy inestable, suele generarse inmediatamente antes de su aplicación al agua residual. Cuando se hace burbujear en el agua, en la que es diez veces más soluble que el oxígeno, oxida con mucha rapidez las sustancias orgánicas, reduciéndose a oxígeno, lo que representa una ventaja adicional, ya que no añade sabor al agua y además aumenta su oxigenación. Por el contrario, su rápida desaparición impide conservar en el agua una pequeña cantidad residual de seguridad para evitar posibles contaminaciones posteriores. Sin embargo, como no queda ozono en el agua, el agua tratada no presenta toxicidad para los organismos superiores, como podía suceder con el cloro. Es por ello por lo que existen pequeñas unidades de ozonización domésticas para tratar aguas potables de dudosa calidad sanitaria.

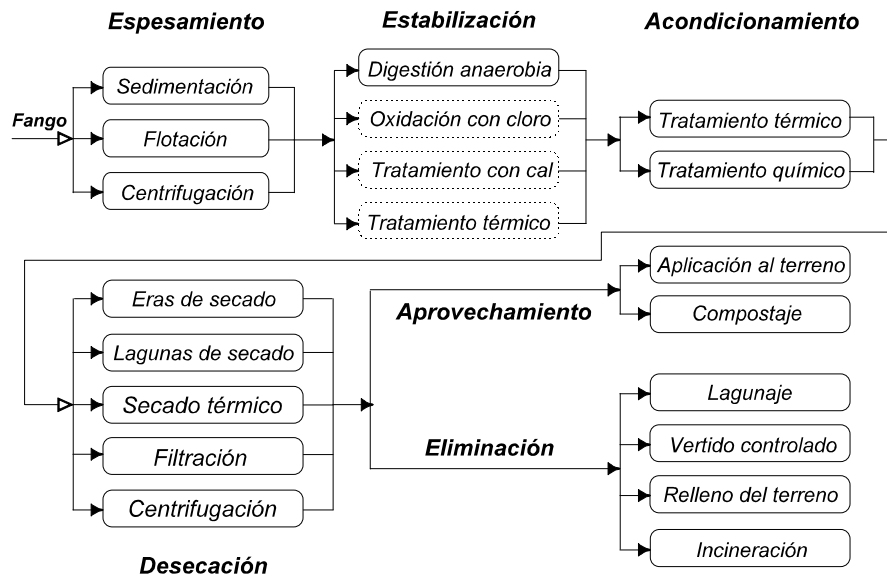
Tratamiento de fangos de depuradora

Como se ha descrito anteriormente, en las operaciones de separación realizadas en las diferentes fases del tratamiento de las aguas residuales (primario, secundario, terciario) se producen unos fangos o lodos (un volumen aproximado del 1% del agua residual tratada), con gran contenido en agua (más del 90%) y altísimos valores de DBO, que es preciso tratar si se contempla el tratamiento de aguas residuales como un proceso integral. Por tanto, todas las operaciones de tratamiento de fangos tienen como objetivo reducir el contenido de agua y de materia orgánica del fango para hacerlo más manejable a la hora de eliminarlo o aprovecharlo, pudiéndose esquematizar dichas operaciones según la siguiente secuencia:

- **Espesamiento:** Operaciones para incrementar el contenido en sólidos del fango por eliminación de parte de la fracción líquida, que se vuelve a incorporar al tratamiento primario.
- **Estabilización:** Procesos para impedir que los microorganismos se desarrollen sobre la fracción orgánica del fango.
- **Acondicionamiento:** Procedimientos que se realizan con el objetivo expreso de hacer más eficaz los procesos posteriores de desecación del fango.
- **Desecación:** Operaciones lograr un mínimo contenido en agua del fango; el agua separada se vuelve a incorporar al tratamiento primario.
- **Aprovechamiento:** Utilización del fango como producto adecuado para otros

fines.

- Eliminación: Tratamiento del fango considerándolo como residuo.

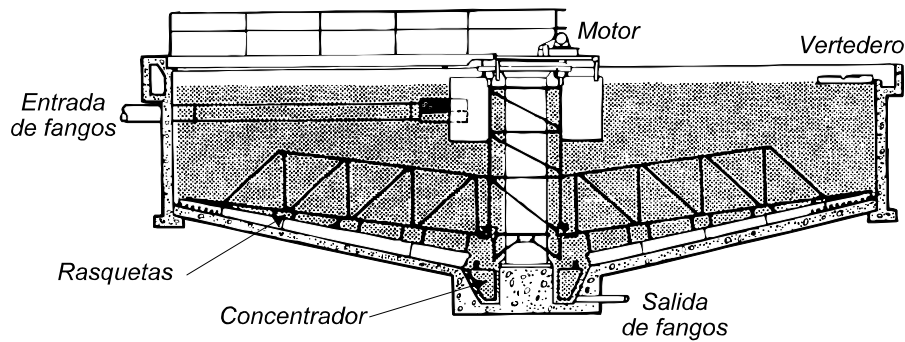


Esquema del tratamiento de fangos

Espesamiento de fangos

La primera etapa de reducción de volumen de los fangos se lleva a cabo eliminando parte del agua contenida en los mismos, generalmente por medios físicos, entre los que destaca la sedimentación por gravedad. Esta operación se realiza en sedimentadores circulares, similares a los ya descritos, en los que el fango procedente de los distintos tratamientos anteriores (conteniendo un 1% en sólidos) entra por un distribuidor central, sedimenta y se compacta, extrayéndose el fango espesado (conteniendo un 5% en sólidos) mediante dispositivos instalados en la parte inferior del tanque. La fracción líquida se vuelve a incorporar al tratamiento primario de la planta depuradora.

Otros métodos de espesamiento, menos utilizados debido a su mayor coste, incluyen operaciones de flotación o de centrifugación.



Esquema de espesador

Estabilización de fangos

El objetivo de los procesos de estabilización de fangos es reducir los agentes patógenos, eliminar los olores y reducir al mínimo su potencial de putrefacción, lo que se logra impidiendo el desarrollo de microorganismos sobre la fracción orgánica del fango. Para ello puede oxidarse el fango con cloro, añadirle cal o tratarlo térmicamente, pero el método de estabilización más utilizado en la actualidad es la digestión anaerobia, ya que los otros métodos son más eficaces para el acondicionamiento posterior a la digestión.

La **digestión anaerobia** es un proceso de fermentación microbiana en ausencia de oxígeno que da lugar a la formación de una mezcla de gases (“biogás”), compuesta principalmente por metano y dióxido de carbono y a una reducción de los sólidos orgánicos contenidos en el fango que, de esta forma, aumenta su estabilidad. Sobre este proceso influyen la temperatura (con un óptimo alrededor de los 35 °C), la acidez (hay que mantener el pH entre 6,6 y 7,6) y el contenido en sólidos, obteniéndose cantidades de metano que oscilan alrededor de los 260 litros por kg de DBO destruida.

El gas se suele utilizar en la propia planta depuradora como combustible. Para ello se alimenta a unos motores, acoplados a generadores eléctricos, que pueden producir hasta el 40% de la electricidad necesaria en la planta depuradora. La refrigeración de dichos motores se hace mediante circuitos de agua; al calentarse ésta puede ser aprovechada para la calefacción de los propios digestores.

Las unidades de digestión son recipientes estancos, denominados “digestores”, que en las plantas depuradoras suelen estar contruidos de hormigón, para evitar la corrosión producida por los fangos, y que disponen además de un depósito de recogida del biogás llamado “gasómetro”.

Acondicionamiento de fangos

Para favorecer el proceso posterior de desecación de los fangos, generalmente se someten éstos a operaciones de acondicionamiento, con objeto de mejorar las características físicas de los sólidos susceptibles de ser separados. Los dos métodos más frecuentemente usados con este fin implican la adición de productos químicos o el tratamiento térmico.

El **acondicionamiento químico** da como resultado la coagulación de los sólidos y la liberación del agua absorbida, aplicándose antes de las operaciones de filtración. Los productos más frecuentemente empleados son cloruro férrico, cal, sulfato de alúmina y polímeros orgánicos.

El **acondicionamiento térmico** consiste en calentar el fango, sometido a una presión entre 10 y 15 atm, a unos 200°C durante cortos períodos de tiempo. Ello da como resultado la coagulación de los sólidos, rotura de la estructura de gel y una reducción de la afinidad por el agua por parte de los sólidos del fango. Como consecuencia de todo ello se produce también una esterilización y una desodorización.

Desecación de fangos

Los fangos estabilizados aún contienen grandes cantidades de agua (alrededor del 95%), por lo que se hace necesaria su desecación para su mejor manipulación. Las razones por las cuáles es conveniente reducir de nuevo su contenido en agua son, principalmente, las siguientes:

- La gran disminución de volumen abarata considerablemente los costes de transporte del fango para su evacuación.
- El fango desecado es mucho más fácil de manipular que el fango líquido.
- Generalmente la desecación consigue una mayor estabilización del producto, evita la producción de lixiviados (desprendimiento de líquidos) y aumenta considerablemente su poder energético (lo que permite su uso como fuente de energía)

Los métodos de desecación están basados procesos de evaporación y filtración naturales (más baratos, si se dispone del terreno adecuado) o artificiales. La selección del método suele ser función del tipo de fango y del espacio disponible, siendo los procesos más utilizados los siguientes:

Las **eras de secado** son superficies de terreno sobre las que se deposita el fango estabilizado, dejándolo secar de forma natural sobre varias capas de arena. En fango se deseca principalmente por drenaje a través de la arena de soporte, así como por evaporación de la superficie expuesta al aire. Cuando se ha secado suficientemente y es manejable, se extrae de las eras manual o mecánicamente y se transporta. El agua de drenaje se canaliza y se devuelve a la planta de tratamiento de aguas.

Las **lagunas de secado** son balsas o estanques de gran superficie y poca profundidad en las que se vierte el fango para su desecación exclusivamente por evaporación natural. Una vez seco, el fango se extrae y se transporta.

El **secado térmico** es un proceso artificial de deshidratación basado en la vaporización del agua por acción del calor. El método para llevar a cabo este secado depende del tipo de horno empleado y se aplica cuando los fangos van a ser utilizados como fertilizantes, para lo cual es necesario reducir su humedad hasta el 10%.

La **filtración** es el proceso de desecación más frecuentemente utilizado y consiste en hacer pasar el fango a través de un medio filtrante que retiene las partículas sólidas. Esta operación puede favorecerse aumentando la diferencia de presión entre ambos lados del medio filtrante, lo que se consigue, bien haciendo el vacío al otro lado del medio filtrante (filtración al vacío) o bien ejerciendo presión sobre el fango (filtración a presión). Con estos métodos se pueden lograr contenidos en sólidos de los fangos de hasta el 30%, por lo que quedan con la consistencia de una torta húmeda fácilmente manejable. El agua separada se devuelve a la planta de tratamiento de aguas residuales.

La **centrifugación** es una operación basada en la separación sólido-líquido por diferencia de densidad sometiendo la suspensión a fuerzas aceleradoras de hasta 5.000 veces la de la gravedad, lo que permite separar los sólidos mucho más rápidamente y en un menor espacio que si se utiliza la sedimentación natural, pero con el consiguiente aumento del coste de operación.

Aprovechamiento de fangos

Los fangos estabilizados y desecados pueden ser aprovechados como enmienda de suelos agrícolas, debido a su contenido en materia orgánica. El método de utilización depende de la humedad que aún conserve el fango.

La **aplicación directa al terreno** se lleva a cabo extendiendo fangos de alto contenido en humedad sobre tierras agrícolas. Si se inyectan bajo la superficie, su materia orgánica acondiciona el suelo y mejora su capacidad de retención de humedad.

El **compostaje** es el proceso de fermentación aerobia al que puede someterse un fango de bajo contenido en humedad para aumentar su grado de estabilidad. Durante el proceso, que dura varias semanas, se degrada hasta el 30% de la materia orgánica presente, obteniéndose un producto final o “compost” que es un excelente acondicionante de suelos agrícolas, e incluso ya se comercializa para su uso en el ámbito doméstico (por ejemplo, en jardines).

Eliminación de fangos

Si los fangos deshidratados no se aprovechan, es necesaria su eliminación en las condiciones adecuadas por métodos cuya aplicación también dependerá, en gran medida, del contenido en humedad.

El **lagunaje** se utiliza para fangos de alto contenido en humedad, que se vierten en estanques de tierra contruidos a tal fin, donde se produce un drenado a través del terreno y una evaporación al aire. Generalmente el fango queda almacenado indefinidamente en la laguna, aunque a veces se extrae el producto, una vez seco, para transportarlo a un vertedero controlado.

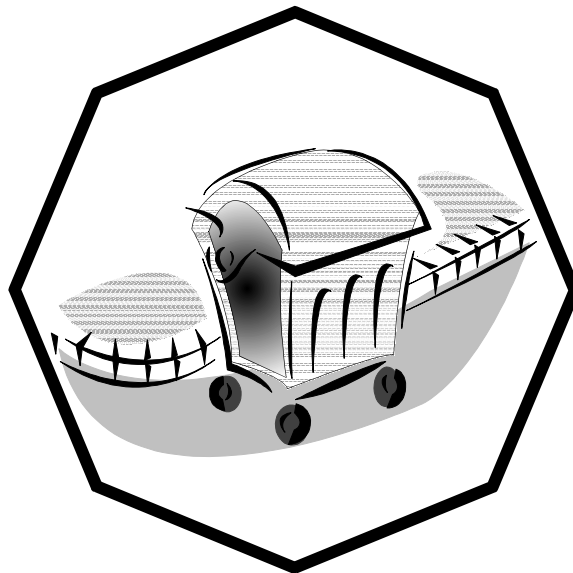
El **vertido controlado** de fangos de bajo contenido en humedad se lleva a cabo si se dispone de un lugar adecuado, generalmente un vertedero controlado de residuos sólidos (basuras urbanas). Mezclado con éstos, su eliminación no presenta ningún problema adicional, ya que el bajo contenido en humedad no favorece la producción de lixiviados líquidos.

El **relleno de terreno** se puede llevar a cabo con fangos secos con total seguridad aprovechando minas abandonadas u otras estructuras similares.

La **incineración** u oxidación térmica completa permite transformar toda la materia orgánica contenida en el fango en productos gaseosos y cenizas inorgánicas. Se lleva a cabo en hornos de diversos tipos y es tanto más económica cuanto menor sea el contenido inicial en humedad del fango. Las cenizas se eliminan en un vertedero controlado y los gases de combustión, tras el tratamiento adecuado, pueden evacuarse

a la atmósfera, incluso aprovechando antes el calor contenido en ellos. El coste de esta operación es elevado, pero aprovechando el calor de los gases, pueden reducirse considerablemente los costes de mantenimiento. También tiene la ventaja de supresión de olores y, sobre todo, la posibilidad de eliminar grandes volúmenes de fangos al convertirse éstos en cenizas, por lo que puede justificarse su utilización en plantas destinadas a depurar las aguas residuales de un gran número de habitantes.

Capítulo 5: Residuos sólidos



Tipos de residuos sólidos

En general, se denominan residuos sólidos a aquellas materias sólidas resultantes de procesos de producción o consumo, cuyo poseedor destina al abandono. La diferencia fundamental entre los residuos sólidos y otros agentes contaminantes, gaseosos o líquidos, es su permanencia en el lugar donde son depositados. Los agentes geológicos apenas son capaces de dispersarlos por lo que, allí donde se concentren, constituirán una sobrecarga para el medio ambiente de carácter continuo e irreversible.

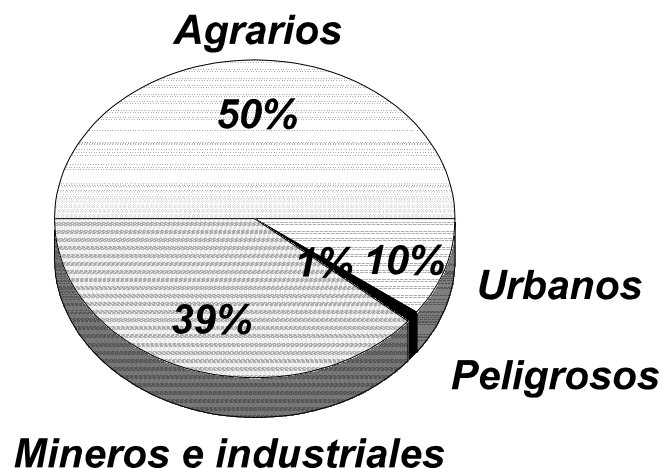
Precisamente éste ha sido históricamente el primer problema planteado por los residuos sólidos. Se han eliminado los residuos de sus centros de producción depositándolos en lugares alejados o enterrándolos. Pero su potencial valor como fuente de recursos y como fuente de una peligrosa contaminación han obligado a la sociedad a un replanteamiento de las soluciones, basado en la recuperación directa de sustancias contenidas en ellos o en la transformación de esas sustancias en otras, más valiosas o menos contaminantes.

Se siguen varios criterios para clasificar los distintos tipos de residuos sólidos, entre los que cabe destacar la naturaleza de su origen o los tipos de materiales que los constituyen. Aquí se utilizará una clasificación mixta, enfocada principalmente hacia los procesos de tratamiento:

- **Residuos agrarios:** Se producen como consecuencia de actividades agrícolas (pajas, tallos, restos de cosechas, etc.), actividades ganaderas (estiércoles) y actividades forestales (ramas, cortezas, troncos, etc.); prácticamente sólo contienen componentes biológicos y representan más del 50% del total de los residuos sólidos.
- **Residuos mineros e industriales:** Se producen en las actividades de minería (escombreras), en la industria básica (metalurgia) y en las industrias transformadoras; su composición es de lo más diverso, según su origen, destacando su gran variedad química y oscilando su cantidad relativa en torno al 40% del total de los residuos sólidos.
- **Residuos peligrosos:** Son aquéllos, generalmente de origen industrial, que pueden representar un riesgo para los seres vivos; su variedad es muy grande y, aunque representan menos del 1% del total de los residuos sólidos, han de

ser sometidos a especial consideración, ya que pueden ser patógenos, tóxicos, oxidantes, corrosivos, inflamables, explosivos o radiactivos.

- **Residuos urbanos:** Se producen como consecuencia de las actividades de consumo en las ciudades; representan menos de 10% del total de los residuos sólidos y su composición es muy variable según diversos factores, si bien puede decirse, de forma muy general, que la mitad está compuesta por envases y embalajes y la otra mitad es material biológico.



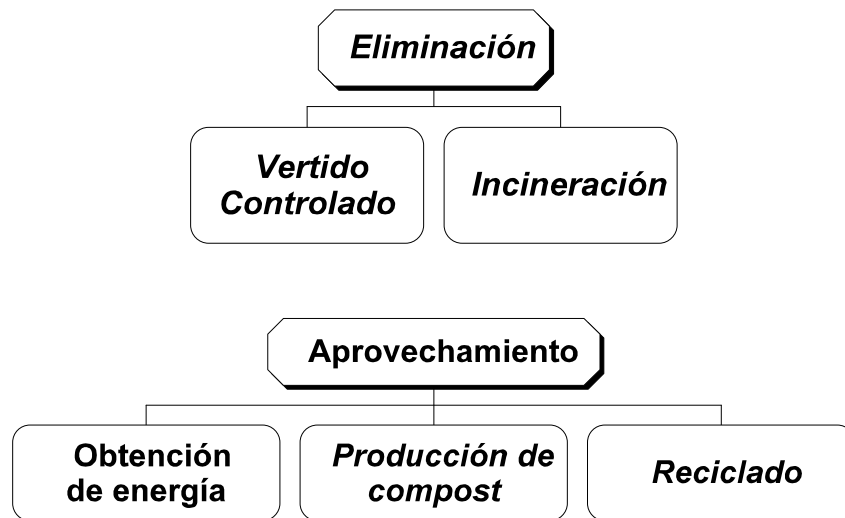
Distribución de los tipos de residuos

La gestión de los residuos sólidos

Se denomina gestión de residuos sólidos al conjunto de operaciones que se llevan a cabo para reducir al mínimo su impacto sobre el medio ambiente. Estas operaciones pueden englobarse en tres fases:

- **Recogida**
 - Bruta (no incluye ningún tipo de separación)
 - Selectiva (implica una separación previa de los componentes más abundantes)
- **Transporte** (incluye una compactación simultánea para reducir el volumen)
- **Tratamiento**

- Eliminación
- Aprovechamiento



Tipos de tratamientos de los residuos sólidos

Según el tipo de residuos, pueden o no existir las dos primeras fases y variar completamente el contenido de las operaciones incluidas en la tercera. Por tanto, a continuación se realizará el análisis de la gestión de los residuos según su origen teniendo en cuenta el esquema indicado. Las diferentes formas de tratamiento que se irán mencionando se estudiarán detalladamente en los apartados posteriores correspondientes.

Gestión de residuos agrarios

Los **residuos agrícolas** son aquellas partes de una planta cultivada que es preciso separar para obtener el fruto o para facilitar el cultivo propio o posterior. Una cierta cantidad queda en el suelo en forma de raíces, hojas o frutos no aprovechables y se incorpora al terreno, contribuyendo a mejorar las propiedades físicas y biológicas del suelo. Otra parte de estos residuos la integran las partes aéreas de las plantas que es preciso separar para facilitar las labores agrícolas. Cierta cantidad es consumida por la ganadería, pero el resto ha de ser gestionado.

Dentro de este grupo se encuentran las pajas de los cereales, los restos de poda de frutales y viñedo y los tallos de plantas textiles y oleaginosas. Todos ellos

tienen la característica común de ser biológicos, poseer un alto contenido en celulosa y un bajo contenido en humedad.

Su recogida forma parte de las labores agrícolas y su transporte hacia el lugar de tratamiento se realiza por métodos convencionales, como camiones o ferrocarril.

Tradicionalmente su tratamiento ha consistido en la **eliminación por incineración**, si bien en la actualidad se prefiere su **aprovechamiento para la obtención de energía**.

Los **residuos ganaderos** son, en su mayor parte, los estiércoles producidos por el ganado que históricamente siempre se había incorporado al suelo agrícola. Actualmente se cría el ganado en explotaciones intensivas, que no suelen disponer de terreno agrícola y, por tanto, es necesario recoger y, en su caso, transportar, estos residuos a lugares de tratamiento.

Estos residuos son biológicos, poseen un alto contenido en humedad y desprenden olores desagradables, por lo que su recogida y transporte ha de hacerse en recipientes cerrados. Su tratamiento puede hacerse en la misma explotación ganadera o en lugares centralizados, lo que obligaría a su traslado.

Debido a sus características, estos residuos suelen tratarse por **aprovechamiento para la obtención de energía** o bien por **aprovechamiento para la producción de *compost***.

Los **residuos forestales** son los restos del árbol que no se aprovechan directamente y el matorral que se obtiene en las tareas de clareo y otras labores forestales. La acumulación de estos residuos puede producir una agresión al medio muy importante, como son los incendios forestales, por lo que se hace imprescindible su recogida, transporte y tratamiento.

Las características de estos residuos son análogas a las de los residuos agrícolas: son biológicos, tienen un alto contenido en celulosa y un bajo contenido en humedad. Por ello, su tratamiento también ha sido tradicionalmente la **eliminación por incineración**, si bien actualmente se lleva a cabo un **aprovechamiento para la obtención de energía**.

Gestión de residuos mineros, industriales y peligrosos

La variedad de los sectores mineros e industriales y, en consecuencia, de los

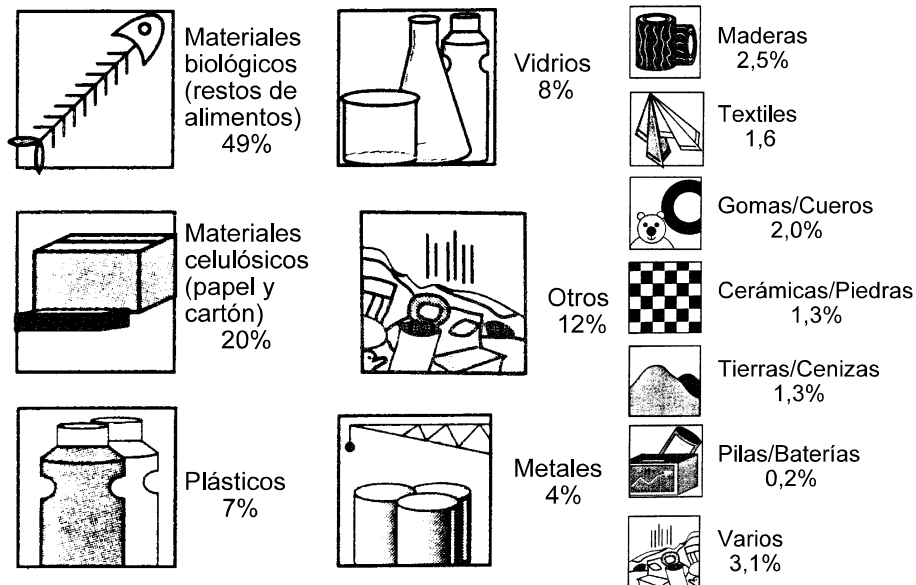
residuos por ellos generados, hace impracticable un estudio detallado de sus tipos de tratamiento. En general, estos procedimientos se llevan a cabo en el mismo lugar de generación de los residuos y consisten, fundamentalmente, en su estabilización y reducción de su poder contaminante mediante operaciones físicas y procesos químicos específicos para cada caso. Tras estas operaciones suele procederse a su **eliminación por vertido controlado**, muchas veces en lugares especiales que se controlan rigurosamente de forma periódica. Un ejemplo del rigor con que se controla este vertido lo proporciona la eliminación de residuos de la industria nuclear. El tratamiento más empleado consiste en la incorporación de los residuos sólidos en una matriz compacta de cemento, que se introduce en bidones herméticos que son depositados generalmente en profundas minas abandonadas, donde se controla frecuentemente su actividad.

Las modernas tendencias en la producción industrial apuntan hacia procesos de fabricación que incorporan las máximas posibilidades de recuperación dentro de los mismos, con objeto de aprovechar mejor las materias primas, el agua y la energía y generar así menos residuos.

Gestión de residuos sólidos urbanos

Si bien los residuos sólidos urbanos (RSU) son los menos importantes en cantidad de todos los tipos de residuos, la creciente y masiva concentración de habitantes en los núcleos urbanos ha hecho que se haya dedicado una mayor atención a su gestión porque, debido a su proximidad, son los que ocasionan más molestias a la comunidad.

La cantidad y composición de los residuos sólidos urbanos depende de numerosos factores, como el tamaño del núcleo urbano, su situación geográfica, la época del año y, en general, el nivel de vida de la comunidad. Para ofrecer una idea de la cantidad de residuos sólidos que se generan en el entorno urbano, puede admitirse el dato de 1 kg/hab·día como valor promedio de los países industrializados, según se desprende de las estadísticas disponibles. La composición media aproximada de estos residuos domésticos se muestra en el esquema adjunto. Por otro lado, la densidad media de los residuos urbanos oscila alrededor de los 150 kg/m³, lo que indica que una gran parte de su volumen ocupado (un 85%) es aire.



Composición media de los residuos domésticos

Cabe hacer mención aquí de otros tipos de residuos sólidos urbanos, como los sanitarios, los comerciales y los de servicios, así como otros residuos domésticos, como muebles, electrodomésticos, escombros o chatarra de automóviles, cuya composición tiene poco en común con la indicada. Por ello y por las especiales características de estos residuos, se considerarán englobados en los residuos industriales, con sus especificidades propias de recogida, transporte y tratamiento.

El primer problema que se plantea con los residuos urbanos es su recogida. Es práctica común la recogida diaria de los residuos brutos depositados en contenedores normalizados por medio de camiones recolectores-compactadores herméticos. La compactación es imprescindible con objeto de aumentar la densidad de los residuos y, por tanto, abaratar sus costes de recogida y transporte.

Las nuevas tendencias en la gestión de residuos, encaminadas a la recuperación de materias primas contenidas en ellos, o "reciclado", ha llevado a introducir sistemas de recogida selectiva de los residuos, basados en la utilización de contenedores específicos para recoger el material a reciclar. En muchos países ya están bastante generalizados los contenedores de vidrio y, en algunos núcleos urbanos, también se dispone de contenedores de papel y cartón y de plásticos, cuya extensión dependerá, en gran medida, de la información y mentalización de los ciudadanos respecto a su colaboración en las tareas de selección de los residuos en origen.

El transporte de los residuos urbanos se lleva a cabo, generalmente, en dos fases. La primera fase se realiza con camiones recolectores-compactadores aptos para circular por el interior de las ciudades siguiendo itinerarios pequeños. Una vez terminada la recogida, se dirigen hacia unas instalaciones relativamente cercanas al lugar de recogida, donde los residuos son trasvasados a otros camiones de mucha mayor capacidad, que son los encargados de transportarlos a su lugar definitivo de tratamiento. Estas instalaciones intermedias se denominan “estaciones de transferencia” y en el trasvase de los residuos, éstos se vuelven a someter a una nueva compactación, aunque a veces también se realizan en ellas tareas de selección encaminadas a facilitar el reciclado.

En cuanto al tratamiento de los residuos sólidos urbanos, cabe indicar que son sometidos tanto a **eliminación por vertido controlado o por incineración**, como a **aprovechamiento para la obtención de energía, para la producción de *compost* o por reciclado**. Evidentemente, la elección de uno u otro método dependerá fundamentalmente de su coste, que viene dado por la cantidad de residuos, su composición y los gastos de inversión y explotación.

Eliminación de residuos sólidos por vertido controlado

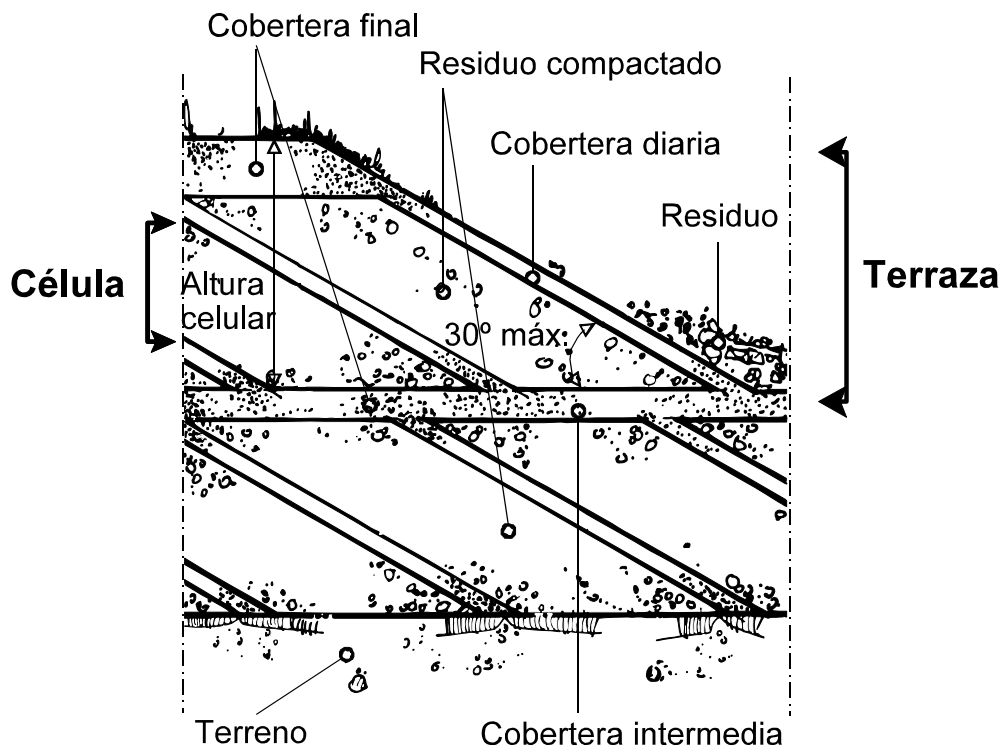
El vertido controlado es el procedimiento más simple, barato y también el más utilizado de eliminación de residuos sólidos urbanos. Fue implantado por primera vez en Gran Bretaña durante los años treinta, como consecuencia de los estudios realizados sobre la fermentación aerobia de la materia orgánica, que permitieron concluir que este proceso de descomposición, relativamente rápido, no generaba malos olores ni gases peligrosos. Posteriormente, en los años cincuenta, se desarrollaron en EE.UU. las técnicas de compactación y recubrimiento, sustituyéndose la fermentación aerobia por la anaerobia y aplicándose además los controles necesarios para evitar cualquier deterioro del medio.

Para seleccionar el emplazamiento de un vertedero controlado hay que tener en cuenta los siguientes factores principales:

- **Ubicación:** Es necesario conocer la propiedad del terreno, su superficie, la cercanía de población, los servicios existentes y su posible inclusión en un plan de ordenación territorial.

- **Capacidad del lugar:** Determina la vida del vertedero, ya que está afectada por la cantidad, composición y compactación de los residuos, el sistema de vertido y su asentamiento con el tiempo.
- **Datos geológicos:** Permiten conocer la permeabilidad del terreno y los materiales que pueden ser utilizados para cubrir los residuos (cobertera).
- **Climatología:** Las precipitaciones pueden causar problemas de escorrentía o infiltración; los vientos pueden propagar olores, polvo y restos ligeros; las temperaturas muy bajas pueden provocar heladas que impidan manejar el material.
- **Datos hidrológicos:** El conocimiento de la ubicación de acuíferos permite tomar medidas para evitar su contaminación.
- **Inventario biológico:** Proporciona información sobre las especies vegetales y la fauna de la zona, con objeto de evitar la influencia sobre ellas.
- **Utilización final:** El conocer las posibilidades de empleo de la zona, una vez finalizado el vertido, permitirá la mejora del paisaje.

Una vez elegido el terreno, el procedimiento de vertido consiste en depositar de forma sucesiva capas de residuos y capas de material de cobertera de los espesores adecuados a lo largo de toda la vida del vertedero, que suele estar entre 5 y 10 años. Generalmente se coloca el residuo sobre el terreno y se extiende mediante una máquina, que a su vez puede ser compactadora y/o trituradora. Según el grado de compactación pueden obtenerse capas de residuos de baja densidad (500 kg/m^3), de densidad media (800 kg/m^3) o de alta densidad (1.100 kg/m^3) y de espesores que oscilan entre 100, 50 y 25 cm.



Disposición de un vertido controlado

Los residuos extendidos a baja densidad se cubren diariamente con una capa de material de cobertura de unos 20 cm de espesor, quedando el residuo enterrado y, debido a la ausencia de aire, se produce en él una fermentación anaerobia del material biológico.

Los residuos extendidos a alta densidad se dejan unos meses sin cubrir, lo que produce una fermentación aerobia, debido a su contacto con el aire, que eleva su temperatura hasta unos 60 °C. Finalizada la fermentación, se cubren los residuos con una capa de material de cobertura.

Realizadas estas operaciones, el conjunto de residuos y material de cobertura forma una unidad compacta denominada "célula". Una serie de células juntas en un mismo nivel forma una "terrazza".

Para el correcto funcionamiento del vertedero controlado y para evitar los posibles impactos ambientales, es necesario controlar los siguientes factores:

- **Producción de lixiviados:** Cuando el vertedero se moja debido a la lluvia, ésta penetra las capas de residuos, produciendo su lavado y generando un líquido muy contaminante denominado "lixiviado"; para evitar que afecte al medio ambiente es necesario recoger este líquido mediante drenajes subterráneos y

depurarlo antes de su vertido.

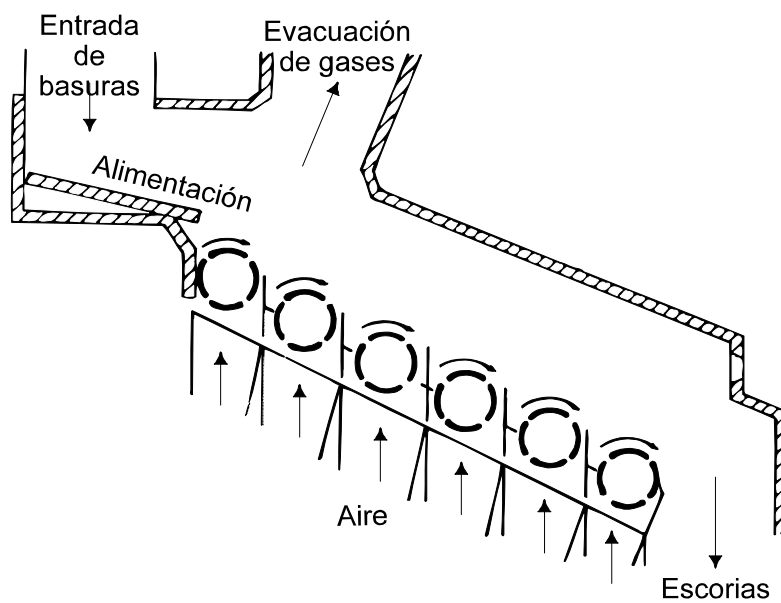
- **Formación de gases:** Si en el vertedero se produce una fermentación anaerobia, se genera metano, que generalmente queda embolsado en las capas de residuos; si entra en contacto con el aire alcanzando concentraciones del orden del 10% en él, pueden producirse explosiones, si bien esta circunstancia es muy poco probable.
- **Olores y animales:** El olor en un vertedero se suele producir en el frente de vertido, a donde pueden acudir también animales como insectos, roedores o aves; estos problemas se eliminan cubriendo adecuadamente los residuos.
- **Ruidos:** La actividad de la maquinaria origina ruidos, que pueden evitarse rodeando el vertedero con barreras acústicas (árboles) y eligiendo zonas de acceso al mismo alejados de lugares de población.
- **Deterioro paisajístico:** El posible impacto visual de un vertedero puede atenuarse formando barreras de vegetación y adecuando sus accesos convenientemente.

Eliminación de residuos sólidos por incineración

La incineración es uno de los procedimientos más utilizados para la eliminación de residuos sólidos, principalmente porque consigue reducir su volumen inicial en cerca de un 85%, aunque sus costes son relativamente elevados. La incineración es la combustión directa u oxidación completa para dar, como productos finales, sustancias gaseosas y cenizas sólidas; la combustión de material biológico prácticamente produce sólo dióxido de carbono y agua. Las reacciones químicas que se producen desprenden calor que se aprovecha, en parte, para precalentar los residuos.

Los factores más importantes a considerar en este proceso son los siguientes:

- Exceso de oxígeno: 20 - 40% superior al teórico
- Temperatura de combustión: 600 - 1.300 °C
- Características de los residuos:
 - Físicas: densidad, tamaño, humedad
 - Químicas: contenido en azufre, cloro y nitrógeno
 - Térmicas: dependen principalmente del contenido en carbono



Unidad de incineración

La incineración se realiza en hornos de capacidad adecuada, de los que se evacuan los gases residuales y las cenizas.

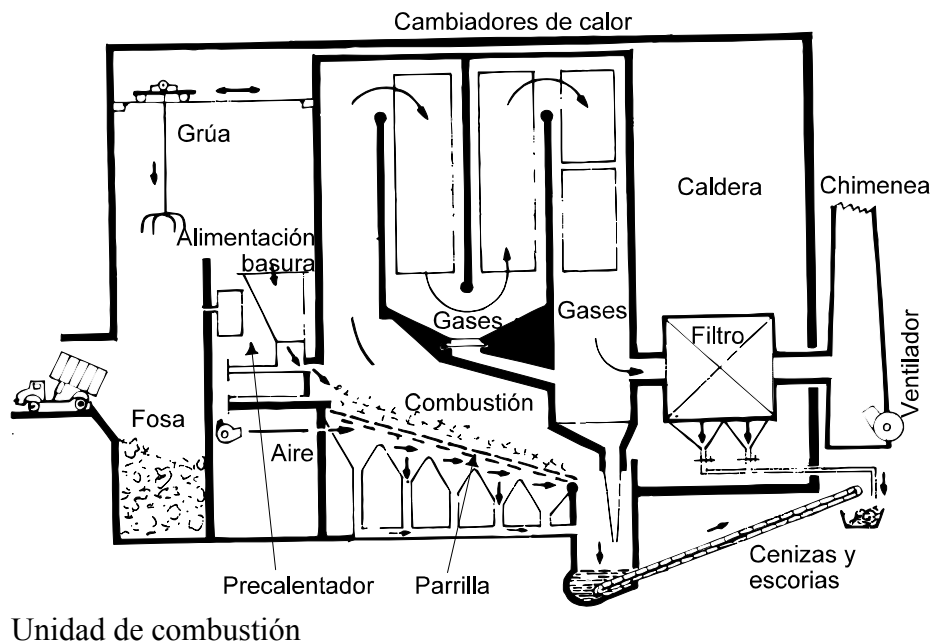
Los **gases** contienen partículas en suspensión, que hay que separar, y diferentes cantidades de derivados clorados y de óxidos de azufre y nitrógeno, según el tipo de residuo procesado. Estos gases han de ser tratados adecuadamente para evitar la contaminación atmosférica. Finalmente, los gases debidamente tratados se evacuan mediante una chimenea.

Las **cenizas** pueden ser eliminadas en un vertedero controlado o ser utilizadas como material de construcción, si se separan los metales que pudiesen contener.

Aprovechamiento de los residuos sólidos para la obtención de energía: procesos térmicos

El método de aprovechamiento de residuos sólidos de bajo contenido en humedad más sencillo es la **combustión**. La reacción de oxidación completa no sólo produce gases y cenizas (**incineración**), sino que libera considerables cantidades de energía utilizable. Es por lo que generalmente se complementan los sistemas de incineración con un equipo de recuperación de calor (caldera) y un sistema de

utilización del mismo (conducciones de vapor, turbina y generador).

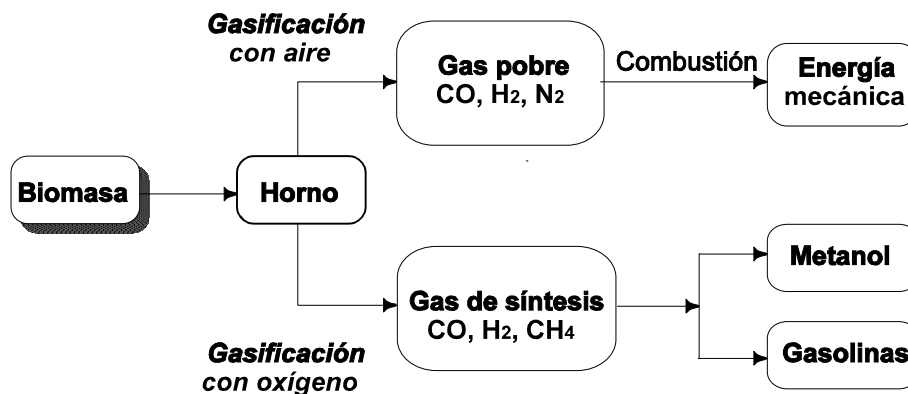


La energía obtenida puede destinarse a la producción de calor (en forma de agua caliente) para el uso doméstico o industrial, y a la producción de electricidad. La eficacia térmica de la combustión es elevada: si los residuos contienen menos del 20% de humedad, pueden obtenerse rendimientos globales del orden del 30%, del mismo orden de magnitud que el de los procesos energéticos a partir de combustibles fósiles.

El tratamiento de los gases y las cenizas residuales sigue las mismas consideraciones del proceso de eliminación por incineración.

Actualmente se están considerando procesos térmicos más sofisticados, principalmente en lo que respecta a la obtención de diferentes componentes energéticos. Se trata de la gasificación y la pirólisis.

Bajo la denominación de **gasificación** se engloban los procesos de combustión en condiciones de defecto de oxígeno, con producción de monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrógeno y metano, en proporciones diversas, según la composición de los residuos y las condiciones de operación. La temperatura de gasificación oscila entre 700 y 1.100 °C y el oxígeno se limita entre un 10 y un 50% del teóricamente necesario para la combustión completa.

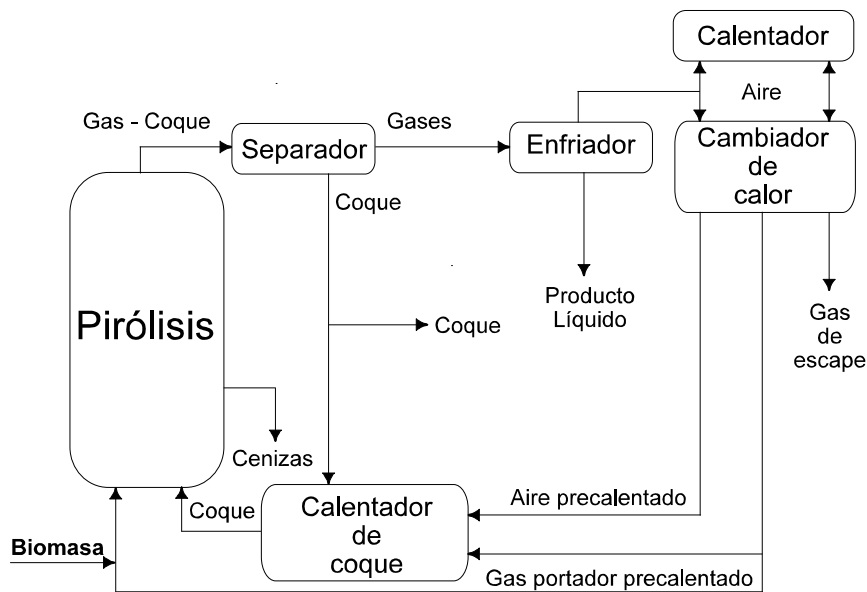


Procesos de gasificación

Según se utilice aire u oxígeno puro, se contemplan dos procesos de gasificación sustancialmente diferentes en cuanto a los productos obtenidos. Así, por gasificación de material biológico con aire, se obtiene “gas de gasógeno” o “gas pobre”, que se utiliza en unidades de combustión para obtener vapor y electricidad. Por otro lado, cuando se opera con oxígeno y vapor de agua, se obtiene “gas de síntesis”, cuya importancia radica en que se puede transformar en combustibles líquidos (metanol y gasolinas).

La **pirólisis** consiste en la descomposición del material biológico por la acción del calor (entre 275 y 450 °C) en ausencia de oxígeno. La naturaleza y composición de los productos finales (gases conteniendo hidrógeno, óxidos de carbono e hidrocarburos, líquidos hidrocarbonados y sólidos carbonosos) dependen de las propiedades del residuo tratado, de la presión y temperatura de operación y de los tiempos de permanencia de los residuos en el horno.

Una variante de la pirólisis consiste en añadir al proceso un gas reductor (monóxido de carbono, hidrógeno o gas de síntesis) a temperaturas entre 300 y 500 °C y a alta presión. A este proceso se le llama “licuefacción” y permite mejorar los rendimientos en combustibles líquidos.



Esquema del proceso de pirólisis

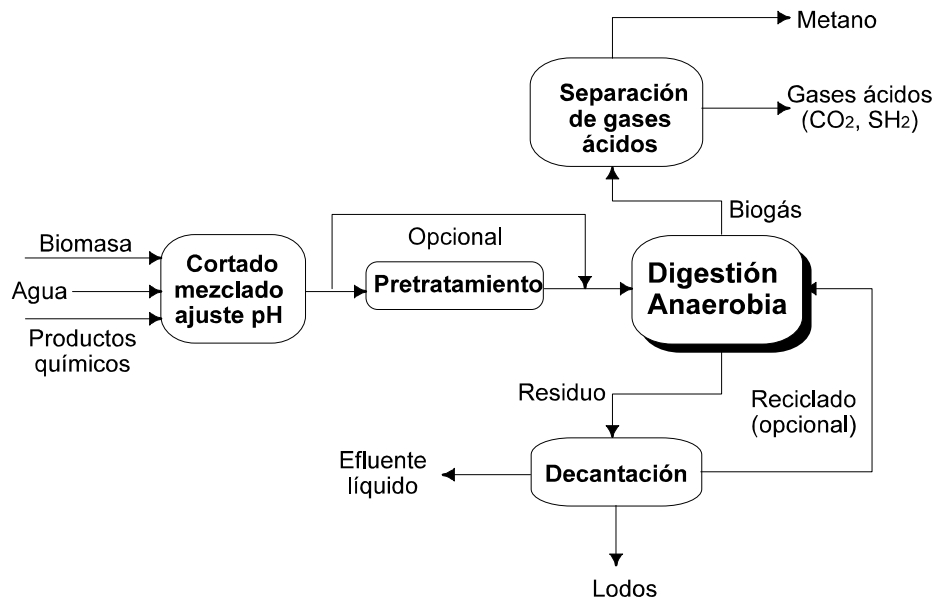
Aprovechamiento de los residuos sólidos para la obtención de energía: procesos biológicos

Cuando los residuos sólidos contienen cantidades elevadas de humedad (residuos ganaderos o lodos de depuradora), el método de aprovechamiento más sencillo es la **digestión anaerobia**, una fermentación microbiana en ausencia de oxígeno que da lugar a una mezcla de gases (principalmente metano y dióxido de carbono), conocida como “biogás” y a una suspensión acuosa o “lodo”, que contiene los componentes difíciles de degradar y los minerales inicialmente presentes en el residuo.

La digestión anaerobia es un proceso ampliamente conocido en la práctica, pudiéndose afirmar que se desarrolla en tres etapas durante las cuáles el material biológico se descompone en moléculas más pequeñas por la acción de diferentes tipos de bacterias. Sobre el proceso influyen la temperatura (35 °C), la acidez (6,6 < pH < 7,6), el contenido en sólidos (< 10%), los nutrientes (carbono, nitrógeno, fósforo, azufre y sales minerales) y los tóxicos (amoníaco, sales minerales, detergentes y pesticidas).

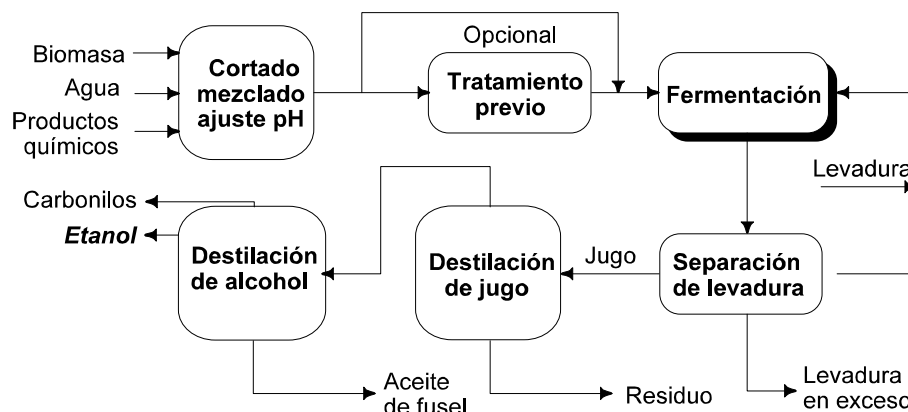
El proceso se lleva a cabo en recipientes estancos llamados “digestores”, que deben poseer un dispositivo adicional para recoger el gas producido. La cantidad de gas que se puede producir es muy variable, aunque generalmente oscila alrededor de

los 350 l/kg de sólidos degradables, con un contenido en metano del 70%. Se puede utilizar como fuente directa de calor (cocina, alumbrado), en calderas de vapor para calefacción o como combustible de motores acoplados a generadores eléctricos.



Esquema del proceso de digestión anaerobia

Un proceso de aprovechamiento biológico menos utilizado por ser específico para los residuos de alto contenido en hidratos de carbono simples (azúcares) o complejos (almidón) es la **fermentación alcohólica**. La fuente de residuos principal de este proceso son los excedentes de cosechas de plantas azucaradas (remolacha, mandioca) o amiláceas (cereales o tubérculos).



Esquema global de la fermentación alcohólica

Inicialmente el residuo es sometido a un proceso de hidrólisis química o enzimática de los hidratos de carbono para producir azúcares simples (glucosa). Éstos

se convierten en etanol por la acción de levaduras bajo ciertas condiciones de temperatura (27 a 32 °C), acidez ($4 < \text{pH} < 5$), concentración de azúcares ($< 22\%$) y concentración final de alcohol ($< 14\%$). El etanol producido se separa por destilación y puede utilizarse como combustible en motores de explosión.

Aprovechamiento de los residuos sólidos para la producción de compost

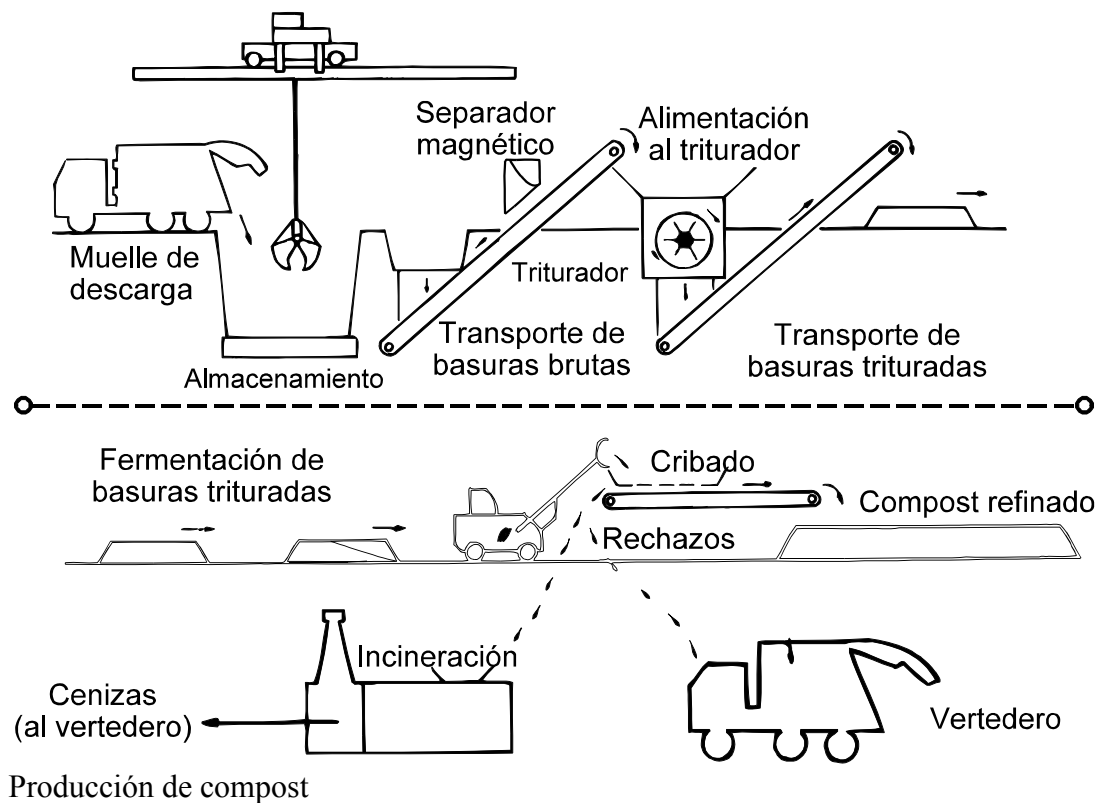
Una importante alternativa de aprovechamiento del material biológico de los residuos sólidos agrarios y urbanos es su transformación en una enmienda orgánica del suelo, que se denomina "*compost*". El *compost* no es exactamente un abono sino un regenerador, acondicionador o corrector del suelo: mejora sus propiedades físicas (porosidad, capacidad de retención de agua), químicas (compuestos minerales) y biológicas (flora microbiana), estimulando el crecimiento de las plantas.

La producción de *compost* o "compostaje" de residuos viene efectuándose desde hace muchos años (1920) y es una tecnología bien conocida y desarrollada. Se basa en la fermentación aerobia del material biológico de los residuos por medio de bacterias. Durante el proceso se destruyen por la acción del calor (a temperaturas de unos 60 °C) toda clase de gérmenes patógenos y parásitos.

La forma más sencilla de obtener *compost* es por **fermentación natural**. Los residuos triturados y humedecidos se colocan en montones de unos 2 m de altura y se remueven cada 10 días durante el primer mes y una sola vez al mes los dos meses siguientes, para favorecer la aireación. Transcurridos tres meses de fermentación el producto está terminado.

Para reducir el tiempo de producción puede recurrirse a la **fermentación acelerada**, en recipientes cerrados, en los que se introduce el residuo, se añade agua, se insufla aire y se remueve continuamente. De esta forma se reduce el tiempo de fermentación a 15 días, se controla mejor el proceso y se evita el acceso al producto de insectos, roedores y aves.

La calidad del producto depende del mantenimiento durante el proceso de la relación C/N (25 - 30), su contenido en humedad (50 - 60%), la temperatura (60 °C), la acidez ($5,6 < \text{pH} < 7,5$) y la aireación.



Aprovechamiento de residuos sólidos por reciclado

El reciclado (recuperación selectiva de productos contenidos en los residuos para su reutilización) se está imponiendo en el nuevo concepto de gestión de los residuos sólidos, que tiende a lograr el ahorro de energía y recursos naturales, la disminución del volumen de residuos y la protección del medio ambiente. Por tanto, las operaciones de reciclado se enfocan hacia la obtención directa de ciertos componentes de los residuos que, una vez separados, pueden ser reutilizados con pocas y simples operaciones de preparación. Los componentes de los residuos sólidos que cumplen con estas características son: celulósicos (papel y cartón), plásticos, vidrios y metales.

Las operaciones de reciclado se efectúan en dos etapas diferentes:

- Separación
- Recuperación

La **separación** es el proceso más importante del reciclado, principalmente por ser el más costoso. Para realizarla a partir de los residuos sólidos brutos es necesario utilizar principalmente métodos físicos que aprovechan las diferentes propiedades de aquellos materiales que se desea separar: color, brillo, tamaño, forma, dureza, densidad, etc., aunque en muchas ocasiones se hace manualmente. Por este motivo

se está tendiendo a la separación selectiva en origen, realizada por los propios ciudadanos, que seleccionan los materiales y los depositan en contenedores específicos, que son recogidos de forma independiente y transportados a las diferentes plantas de aprovechamiento.

Las operaciones de **recuperación** son específicas de cada uno de los materiales que se van a reciclar.

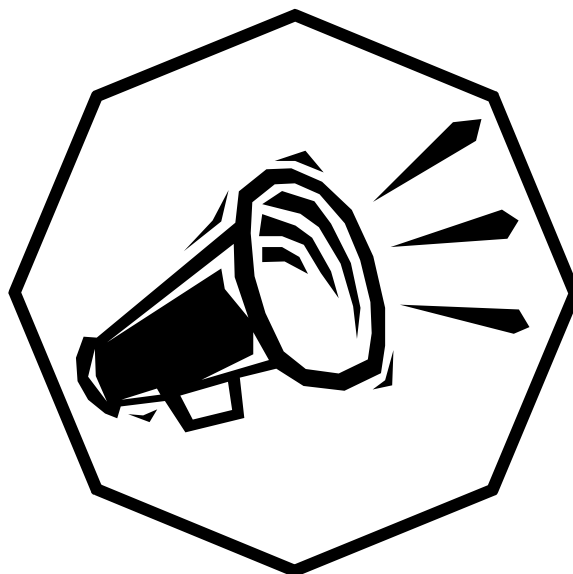
Los **componentes celulósicos** residuales, o “papelote” son tratados en medio acuoso para formar una pulpa, que se destina fundamentalmente a producir nuevo cartón, aunque actualmente también papel de buena calidad, lo que representa un importante ahorro de madera y, en definitiva, de árboles.

Los **plásticos** han de sufrir una segunda separación según la familia a la que pertenezcan, ya que muchos de ellos son incompatibles entre sí. Tras un profundo lavado, se trituran para formar un granulado o “granza”, que se utiliza en la fabricación de nuevos artículos de plástico.

Los **vidrios** se separan por colores, se muelen y se limpian de materiales no vítreos para formar un granulado llamado “calcín”. Éste se incorpora directamente al proceso de fabricación de vidrio nuevo junto con las materias primas (arena, caliza y carbonato sódico), con la gran ventaja de que se rebaja el punto de fusión de la mezcla, lo que proporciona un considerable ahorro energético junto al ahorro de materias primas.

Los **metales** también han de separarse por tipos, siendo los más importantes los metales férricos y el aluminio. El hierro presente en la hojalata (lámina de hierro estañada) de los envases, pasa a formar parte de la “chatarra”, una vez sometido a un proceso de desestañado. Esta chatarra es directamente la materia prima para la fabricación de acero en horno eléctrico por arco. El aluminio, procedente principalmente de latas de refrescos, se incorpora asimismo a su metalurgia, donde permite ahorrar hasta el 95% de la energía necesaria para producirlo a partir de su materia prima (bauxita).

Capítulo 6: Ruido



Características físicas del sonido

Cualquier superficie sólida que produzca vibraciones mecánicas provoca un desplazamiento a las partículas en reposo del medio que la rodea. Este desplazamiento se manifiesta en forma de pequeñas fluctuaciones de presión que se propagan a través del medio en forma de ondas. Si estas ondas de presión son audibles, se las llama **sonido**.

El sonido se propaga en el aire en línea recta y con una velocidad, v_s , que sólo depende de la temperatura:

$$v_s \left[\frac{m}{s} \right] = 331,6 + 0,6 t$$

donde t es la temperatura expresada en grados centígrados.

Para que el oído pueda detectar las ondas sonoras, su frecuencia deberá estar comprendida entre 20 y 20.000 ciclos/s ó Hz (herzios). Entre la frecuencia, f , y la velocidad de propagación de la onda existe la relación:

$$v_s = \lambda \cdot f$$

donde λ es la longitud de onda (m) o espacio recorrido por la onda en un ciclo completo.

La magnitud que caracteriza a una fuente de sonido es la energía transmitida por las ondas en la unidad de tiempo, es decir, la **potencia sonora**, y a partir de ella se establecen las relaciones fundamentales de la acústica. Si se tiene una fuente sonora omnidireccional situada a una distancia r , se puede demostrar que entre la potencia sonora, W , y el cambio de presión, P , existe la relación:

$$W = \frac{4 \pi r^2 P^2}{\rho v_s}$$

siendo ρ la densidad del medio (para el aire, aproximadamente $1,29 \text{ kg/m}^3$, en condiciones normales).

Niveles sonoros

Debido al extenso campo de variación de las magnitudes utilizadas en acústica, los valores de las mismas se expresan en unidades logarítmicas. Por otra parte, para

establecer comparaciones entre fuentes sonoras distintas, es preciso definir un nivel de referencia. En estas condiciones se define una unidad fundamental, el **belio** (en honor a Alexander Graham Bell) en una escala logarítmica que mide la relación entre dos magnitudes:

$$L(\text{belios}) = \log \frac{M}{M_0}$$

siendo **L** el nivel de la magnitud **M** respecto a un valor de referencia de esa magnitud, **M₀**. Como el belio es una unidad demasiado grande, generalmente se emplea el **decibelio** (dB), que es su décima parte. Por tanto, el nivel de la magnitud **L** expresado en decibelios queda de la forma:

$$L(\text{dB}) = 10 \log \frac{M}{M_0}$$

Aplicando esta definición a la ecuación de la potencia en función de la presión, se obtienen las dos magnitudes principales utilizadas en el estudio del ruido: el nivel de potencia sonora y el nivel de presión sonora.

El **nivel de potencia sonora**, **L_w**, ó **SWL (Sound poWer Level)** se define utilizando la relación de potencias sonoras:

$$L_w(\text{dB}) = 10 \log \frac{W}{W_0}$$

tomando como nivel de referencia **W₀ = 10⁻¹² watios**, que corresponde, aproximadamente, al sonido más débil que puede percibir un ser humano normal a la frecuencia de 1.000 Hz.

El **nivel de presión sonora**, **L_p**, ó **SPL (Sound Pressure Level)** se define utilizando la relación de los cuadrados de los cambios de presión:

$$L_p(\text{dB}) = 10 \log \frac{P^2}{P_0^2} = 20 \log \frac{P}{P_0}$$

tomando como nivel de referencia **P₀ = 2 10⁻⁵ N/m²**, correspondiente, a la potencia sonora **W₀**.

Obsérvese que las dos magnitudes definidas, expresadas en dB, proporcionan valores idénticos, ya que sus respectivos valores de referencia son equivalentes (a

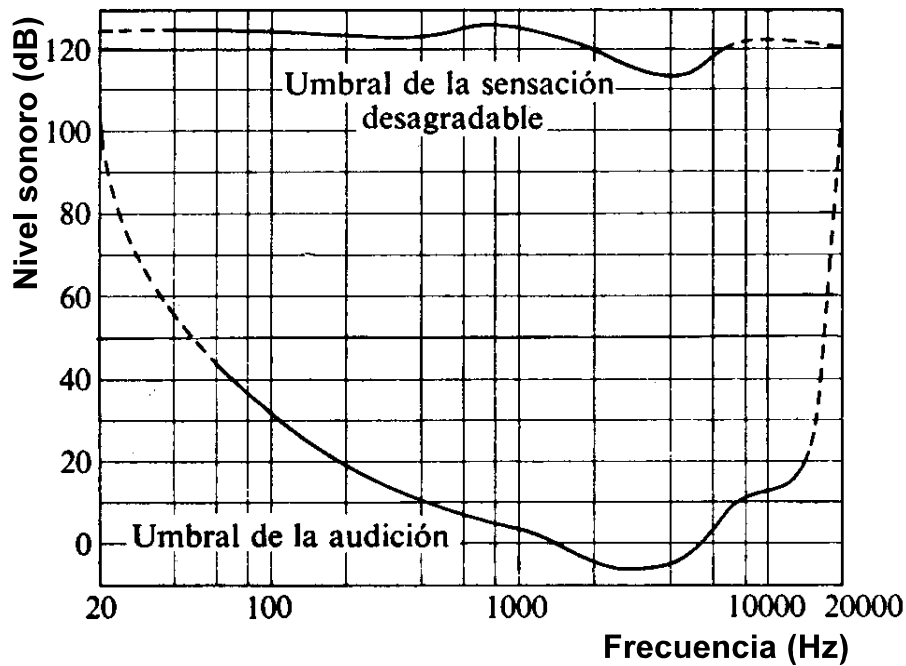
ambos les corresponde un nivel sonoro de 0 dB) y en las definiciones se utilizan sendos miembros de la ecuación de la potencia. El motivo de utilizar dos magnitudes diferentes radica en los aspectos prácticos: el nivel sonoro de una fuente emisora se calcula a partir de la potencia que dicha fuente disipa como sonido (W); el nivel sonoro que soporta un receptor se mide con un dispositivo sensible a la presión (P).

Situación	Nivel de presión sonora (dB)
Umbral de audición	0
Laboratorio especial (cámara anecoica)	10
Estudio de grabación vacío	20
Ambiente en zonas rurales	30
Ambiente nocturno en zonas residenciales	40
Conversación normal	50
Interior de un restaurante	60
Zona comercial	70
Aspirador doméstico	80
Camión pesado a 10 m	90
Martillo neumático	100
Interior de una discoteca	110
Avión despegando a 50 m	120
Avión despegando a 10 m	130
Cohete despegando a 3.000 m	200

Ejemplos orientativos de niveles sonoros

Audición humana

La audición humana depende tanto de la intensidad del sonido como de su frecuencia, viniendo representada por una gráfica del **área de audición** de una persona normal, como muestra la gráfica.



Área de audición

Puede observarse que el oído tiene la sensibilidad máxima para frecuencias entre 2 y 4 kHz, para los cuales el llamado “**umbral de audición**” es de unos -5dB. En el extremo opuesto, prácticamente constante para todas las frecuencias, se encuentra el “**umbral de dolor**”, por encima de los 120 dB de intensidad sonora.

Téngase en cuenta, además, que existe una sensación de fuerza de un sonido, percibida por el ser humano, que depende de la frecuencia. A esta “intensidad subjetiva” del sonido se la conoce como **sonoridad**, y es la característica que llevó al desarrollo de las escalas de compensación de los aparatos medidores del sonido que se describen más adelante.

Sonidos y ruido

Un sonido puro es aquel que está compuesto por una sola frecuencia. Sin embargo, en la mayor parte de las situaciones, los sonidos que se presentan son combinaciones de sonidos puros. Si el sonido se produce como una combinación ordenada de sonidos puros, se habla de **sonidos periódicos**, que presentan una onda que repite su forma (instrumentos musicales). Si el sonido está compuesto por una combinación desordenada de sonidos puros, se habla de **ruido**, cuya onda sonora no es periódica.

Para definir un sonido puro basta conocer el nivel de presión sonora y su frecuencia, que presenta una línea única en el espectro de frecuencias. Los sonidos periódicos presentan una serie de líneas espectrales: las de frecuencias más altas son múltiplos enteros de la frecuencia inferior. El ruido contiene numerosas fluctuaciones aleatorias en una amplia gama de frecuencias.

Por otra parte, el ruido puede considerarse de los siguientes tipos:

- **Continuo:** es aquel en el que no varían con el tiempo ni los niveles de presión sonora ni su espectro de frecuencias.
- **Intermitente:** es aquel en que tanto el nivel de presión sonora como el espectro de frecuencias varían constantemente entre límites estrechos; es el ruido que se presenta más normalmente en la industria.
- **De impacto:** es un proceso sonoro de muy corta duración (< 200 ms) y de un nivel de presión sonora relativamente elevado, originado por el choque de dos superficies sólidas (golpe).
- **De impulso:** es un proceso sonoro de muy corta duración y de un nivel de presión sonora relativamente elevado, originado por variaciones bruscas de presión (explosión).
- **De fondo:** también llamado “ruido blanco”, es aquél que contiene todas las frecuencias del espectro con la misma intensidad media; se genera principalmente en los núcleos habitados (electrodomésticos, tráfico, concentraciones humanas, etc.) Y su nombre hace referencia a la luz blanca, que contiene todos los colores (frecuencias) del espectro visible.

Sistemas de medida

Para la medida del ruido se usan habitualmente equipos especializados, todos los cuáles usan micrófonos como sensores de presión.

El **sonómetro** es el equipo más común; la señal captada por el micrófono se amplifica y se corrige mediante un filtro que compensa el nivel de presión sonora para cada frecuencia de acuerdo con la respuesta del oído humano medio. Aunque existen cuatro escalas de compensación (A, B, C y D), la más utilizada es la primera, por lo que generalmente se dan los resultados de las mediciones de un sonómetro en dB(A).

El **dosímetro** es un sonómetro adaptado para relacionar los niveles de presión

sonora con los tiempos de exposición a dichos niveles, para dar valores de “dosis de ruido”.

El **analizador espectral** es un instrumento diseñado para medir los niveles de sonido de forma independiente en bandas concretas de frecuencias.

Frecuencia (Hz)	20	100	200	1.000	2.000	5.000	20.000
Compensación (escala A) (db)	-50,5	-19,1	-10,9	0	+1,2	+0,5	-9,3
Valor medido (dB)	120,5	89,1	80,9	70	68,8	69,5	79,3
Valor compensado (db(A))	70	70	70	70	70	70	70

Ejemplo de la compensación en un sonómetro

Causas del ruido

El ruido aparece en toda actividad física, por lo que sus fuentes son múltiples y se encuentran en casi todos los lugares. No obstante, las principales causas de emisión de ruidos se deben a las actividades industriales, a las actividades urbanas y a los medios de transporte.

Dentro de las **actividades industriales** las fuentes de ruido más importantes pueden englobarse en las siguientes categorías:

- **Circulación de fluidos.** Producen ruidos los fluidos al circular por conductos cerrados (tuberías, válvula), al producirse cambios de presión (quemadores, inyectores, purgas) o al actuar sobre ellos superficies en movimiento (bombas, soplantes, compresores).
- **Rozamientos en máquinas.** Producen ruidos los contactos entre sí de superficies en movimiento (engranajes, sierras, rodillos, cintas transportadoras).
- **Impactos sobre sólidos.** Producen ruidos los contactos de superficies sobre sólidos (perforadoras, martillos, molinos, trituradoras).

Dentro de las **actividades urbanas** existen innumerables fuentes de ruido que contribuyen al ambiente sonoro de las ciudades. Algunas de ellas son las siguientes:

- **Obras públicas o construcción.** Producen niveles de ruido poco permanentes

pero muy elevados, como los compresores, martillos neumáticos, excavadoras y vehículos pesados.

- **Servicios comunitarios.** Producen niveles de ruido medios de carácter casi permanente, como los transformadores eléctricos, aparatos de aire acondicionado o sistemas de calefacción.
- **Señalizaciones sonoras.** Estas fuentes sonoras suelen ser de carácter singular y esporádico, aunque a veces se dejan sentir con excesiva frecuencia, como las sirenas, bocinas, alarmas o campanas.
- **Actividades lúdicas y recreativas.** Su origen social es muy acusado y sus espectros y niveles sonoros son enormemente variados, como las competiciones deportivas, actuaciones musicales, fiestas, terrazas, verbenas o fuegos artificiales.

Dentro de los **medios de transporte**, las fuentes de ruido más importantes son las debidas al **tráfico rodado**, al tráfico ferroviario y al tráfico aéreo, si bien la influencia de los dos últimos sólo es importante en entornos localizados (nudos ferroviarios, aeropuertos). En cuanto al ruido producido por los vehículos automóviles, depende de múltiples factores, siendo los más importantes:

- Categoría del vehículo: motocicletas, turismos, camiones, autobuses.
- Antigüedad y estado de conservación del motor y del sistema de escape.
- Régimen de marcha: arranques, frenadas, velocidad.
- Rozamiento con el aire a velocidades elevadas (> 70 km/h).
- Tipo y disposición de la calzada: rampas, anchura, calidad del firme.

Efectos del ruido

Los efectos que produce el ruido sobre el ser humano pueden ser clasificados en dos grandes grupos:

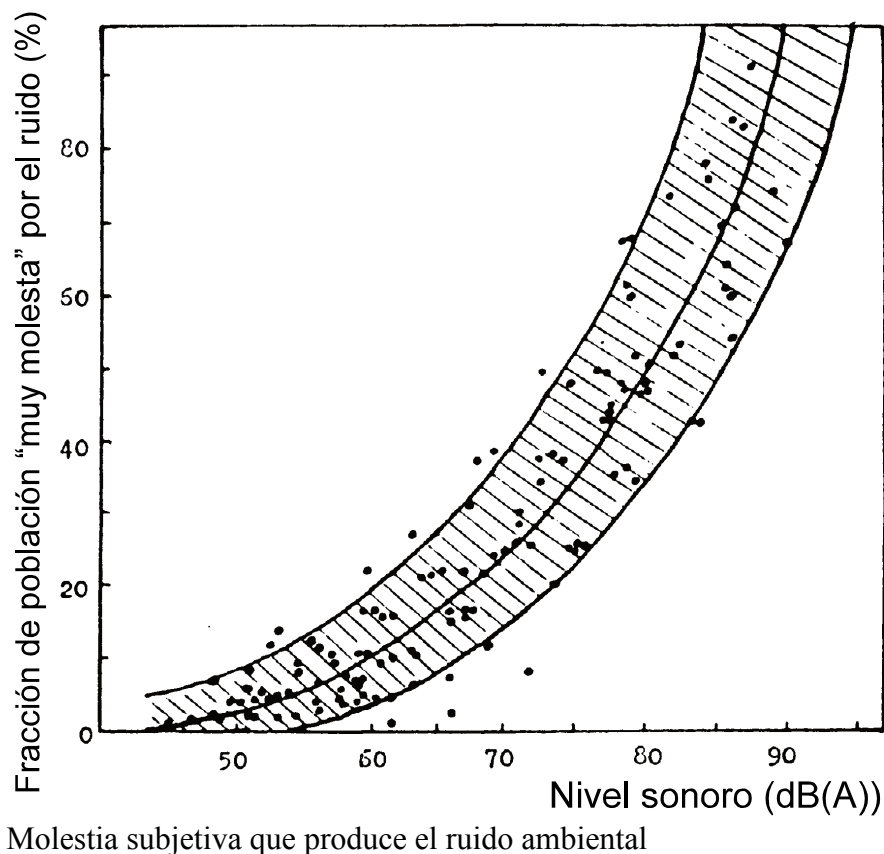
- Efectos fisiológicos.
- Efectos psicológicos.

Los primeros pueden ser determinados con razonable exactitud, mientras que los segundos sólo se podrán determinar mediante la respuesta subjetiva de los individuos, debiendo abordarse su estudio mediante métodos estadísticos.

Los **efectos fisiológicos** se refieren a la acción directa del ruido sobre el órgano

auditivo. Se ha comprobado que niveles por debajo de los 60 dB(A) no producen efectos fisiológicos, independientemente del tiempo de exposición; a partir de los 80 dB(A), y en función del tiempo de exposición, se pueden producir pérdidas de audición. Estas suelen ser irreversibles, debido a la incapacidad de regeneración de las células ciliares del oído, pero no son progresivas si se deja de estar sometido a los niveles de ruido que las provocan.

Los **efectos psicológicos** se refieren a la acción indirecta del ruido sobre el ser humano, de forma difícilmente cuantificable, y que se manifiesta en forma de “molestias”, sensaciones de desagrado que la persona cree que pueden afectar a su bienestar. Las interferencias más claras en este aspecto se producen sobre la comunicación hablada (cuyo nivel sonoro suele ser de unos 60 dB(A)), sobre el descanso y el sueño (aceptándose generalmente niveles máximos de ruido de unos 30 dB(A)) y sobre el rendimiento y la eficacia en el trabajo (máximos de 50 dB(A)).



Cabe mencionar que el ruido también puede afectar a los **materiales**; cuando una onda acústica incide sobre un material, parte de la energía que transporta es absorbida por dicho material, pudiendo causar diversas alteraciones internas a nivel

molecular. Los efectos fundamentales de este fenómeno son la resonancia y la fatiga.

La **resonancia** es el fenómeno que se produce en un material cuando actúa sobre él una vibración cuyo período es múltiplo del de la vibración natural de dicho material. Bajo estas circunstancias, la amplitud de vibración del material va aumentando hasta que llega un momento en que puede producirse su fractura por sobrepasarse el límite de elasticidad (rotura de una tubería debido a una bomba desequilibrada que provoca vibraciones anormales).

La **fatiga** es el fenómeno que se produce en un material, principalmente un metal, cuando actúan sobre él vibraciones cíclicas y repetitivas. En tal caso, el metal va perdiendo paulatinamente sus propiedades elásticas lo que hace que finalmente se produzca su rotura (grietas en el bloque de un motor después de un prolongado tiempo de funcionamiento).

Control del ruido

Con el control del ruido se pretende reducir los niveles sonoros a valores tales que los efectos perjudiciales que se ocasionen sean mínimos. Dichos niveles se establecen normalmente de acuerdo con las normativas vigentes. El control del ruido requiere distintos tratamientos según se refiera a proyectos nuevos o a instalaciones ya en funcionamiento. En el primer caso, es importante realizar una adecuada planificación, ya que las medidas de atenuación siempre son más sencillas y económicas si se introducen durante la etapa de diseño. En el segundo caso, sólo cabe realizar mediciones de los niveles de ruido y tratar de aplicar alguna medida de corrección.

El ruido puede ser controlado actuando de formas diversas, entre las que cabe destacar:

- Modificación de la fuente sonora
- Aislamiento del medio transmisor
- Protección del receptor

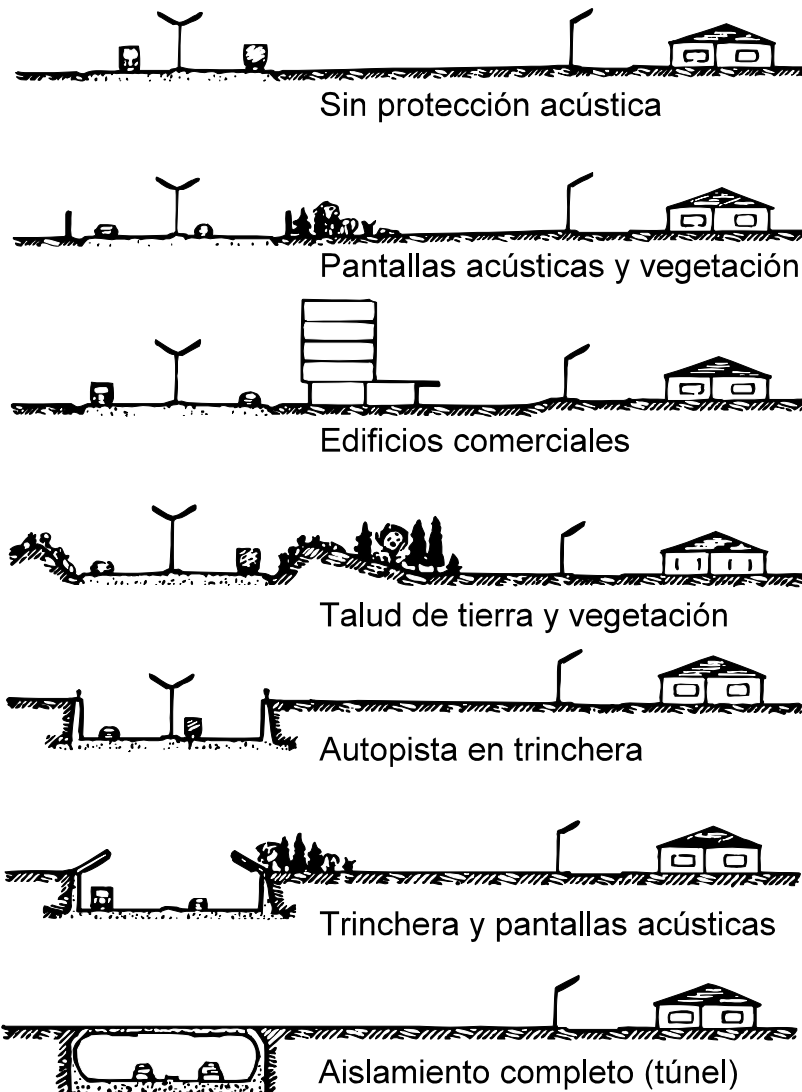
La **modificación de la fuente sonora** puede implicar la reducción del movimiento de superficies emisoras (amortiguamiento), el aislamiento de partes vibrantes mediante diversos materiales (resortes, apoyos de caucho, espumas, corcho), la modificación del funcionamiento de la fuente sonora o incluso su sustitución

por otro equipo similar que emita menos ruido. En cualquier caso, estas medidas deben ser complementadas con un buen mantenimiento (por ejemplo, una correcta lubricación), que permita mantener mínima la emisión de ruido a lo largo del tiempo.

El **aislamiento del medio transmisor** es la acción de control del ruido normalmente más utilizada, pudiendo efectuarse mediante diferentes métodos:

- **Cambio de implantación:** Cuando la fuente sonora está en exteriores, debe ubicarse lo más lejos posible del receptor; cuando está en interiores, habrá que tener en cuenta para su ubicación los usos de los espacios colindantes así como la circulación de aire entre ellos.
- **Absorbedores:** Se utiliza la técnica de absorción cuando la fuente y el receptor se encuentran en el mismo espacio, empleando materiales que absorban el ruido (corcho, ladrillos), aplicados a suelos, paredes y techos.
- **Silenciadores:** Son dispositivos que se utilizan para reducir el ruido asociado al flujo de gases por conducciones, por ejemplo, entradas de aire a turbinas o salidas de gases de escape de motores. Existen dos tipos básicos de silenciadores: reactivos y disipativos. Los primeros, basados en el aumento de la sección del conducto, reflejan el sonido de nuevo hacia la fuente, siendo el ejemplo típico de estos dispositivos los silenciadores de los escapes de los automóviles. Los segundos están basados en la disipación de la energía sonora en calor por absorción sobre recubrimientos internos de los conductos de materiales como lana mineral, lana de vidrio o espuma de poliuretano; un ejemplo de su utilización es en las conducciones de salida de aire de los equipos de aire acondicionado.
- **Barreras:** Las barreras o pantallas acústicas son obstáculos (muros, paneles, setos) que se colocan entre la fuente sonora y el receptor con el objetivo de que absorban la mayor cantidad posible de ruido. La eficacia de la absorción depende de su grosor y del tipo de material, aunque también pueden contribuir a la reducción del ruido sus características reflectantes. Su aplicación más reciente se está llevando a cabo en los márgenes de las autopistas, que cada vez pasan a menor distancia de los núcleos habitados.
- **Cerramientos:** Son barreras acústicas que confinan totalmente una fuente sonora, con objeto de impedir la salida del ruido al exterior. Generalmente se

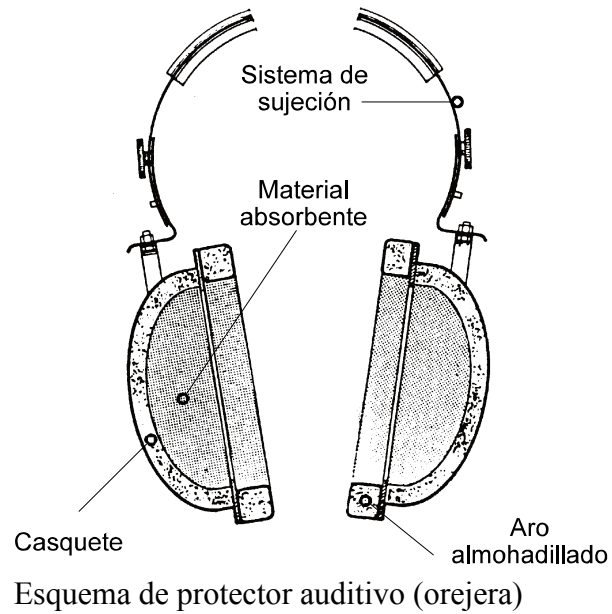
usan para aislar dispositivos pequeños como bombas, compresores, turbinas o motores. En su diseño no sólo hay que tener en cuenta el uso de los materiales aislantes adecuados y la ausencia de aberturas que permitan la transmisión del sonido, sino también los posibles problemas de accesibilidad o aumento de temperatura de operación, entre otros, que puede implicar el tener encerrado el dispositivo que se desea aislar acústicamente.



Posibles alternativas de aislamiento acústico de una autopista

La **protección del receptor** consiste en limitar la exposición al ruido de las personas a las que pueda afectar. Como la dosis de ruido que puede recibir una persona depende, tanto del nivel de ruido como del tiempo de exposición al mismo, las medidas de protección están encaminadas a actuar sobre ambas variables. El nivel de

ruido puede reducirse mediante el uso de cerramientos (cabinas insonorizadas) o de protectores auditivos (insertos en el canal auditivo, tapones; cubriendo completamente el oído, orejeras). El tiempo de exposición se reduce por rotación del personal, de manera que esté expuesto al ruido durante un tiempo mínimo.



Contraportada

En el documento de la Conferencia Internacional sobre Educación Ambiental (Tbilisi, Georgia, 1977), se establecieron como objetivos *“Formar una población consciente de la existencia e importancia del medio ambiente global y de su problemática, y que posea los conocimientos, actitudes, motivaciones y competencias necesarias para contribuir de forma individual y colectiva a la resolución de los problemas actuales y a la prevención de otros que podrían sobrevenir”*.

Este concepto de interacción global ha hecho que la actitud de la sociedad hacia el medio ambiente haya sido el adoptar un papel activo. La interacción humana con el ambiente no tiene que ser únicamente negativa, sino que se pueden utilizar conocimientos y tecnología para estudiarlo, controlarlo y mejorarlo. Es en este concepto ambiental donde halla su justificación el desarrollo de la Tecnología Ambiental, que esta obra pretende introducir de forma asequible.