

# CIENCIAS APLICADAS A LA ACTIVIDAD PROFESIONAL

## 4º ESO



## CONTAMINACIÓN HÍDRICA



IES ESTUARIA (HUELVA)



**CONTENIDOS:**

INTRODUCCIÓN.

LA HIDROSFERA Y EL CICLO DEL AGUA.

LOS RECURSOS HÍDRICOS Y LA GESTIÓN DEL AGUA.

EFFECTOS CONTAMINANTES DE LA ACTIVIDAD HUMANA.

CONTAMINANTES DEL AGUA.

CARACTERIZACIÓN DEL AGUA.

TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES.

IDEAS CLAVE.

LECTURA.

ACTIVIDADES.



## INTRODUCCIÓN

Como sabemos, el agua es un recurso esencial para la vida en nuestro planeta y para el desarrollo socioeconómico de los pueblos. A pesar de la abundancia de agua en la Tierra, solo una pequeña parte de ella es dulce y fácilmente accesible y, por lo tanto, solo una pequeña parte del agua de nuestro planeta puede utilizarse de forma directa. Dado que se trata de un recurso limitado y escaso, el agua debe gestionarse de la forma más eficaz posible.

El uso del agua por el ser humano provoca su contaminación. Los hogares, las actividades industriales, la agricultura y la ganadería son las principales fuentes de contaminación del agua. La contaminación del agua provoca la disminución de su calidad; además, provoca tanto problemas medioambientales como para la salud humana. En la actualidad, el problema de la contaminación del agua se ha extendido a ríos y mares de todo el mundo.

Para conservar este bien tan preciado, son necesarios tratamientos eficaces de depuración que permitan restablecer la calidad que tenía el agua antes de su uso, y debe aplicarse no solo a las aguas residuales generadas en grandes aglomeraciones urbanas e industriales, sino en todos los casos en los que se utilice y, por lo tanto, se contamine el agua.

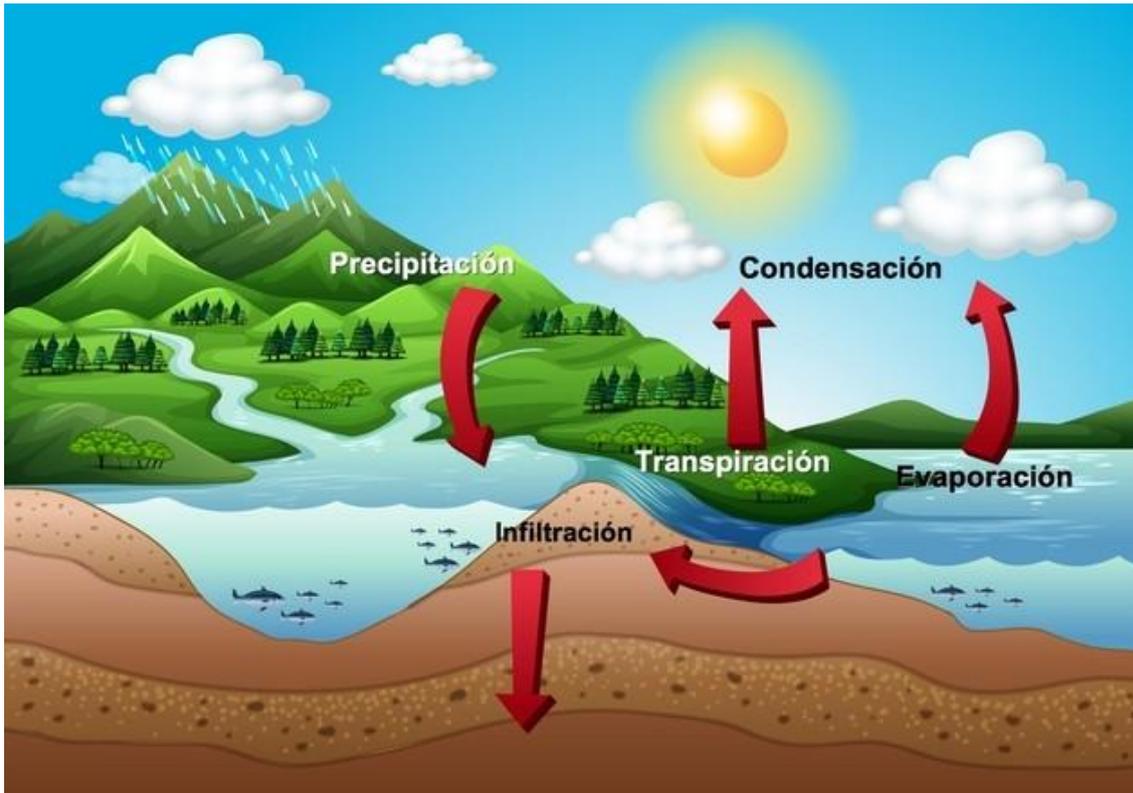
## LA HIDROSFERA Y EL CICLO DEL AGUA

La **hidrosfera** está formada por toda el agua presente en nuestro planeta. Incluye los océanos, mares, ríos, lagos, el agua subterránea, el hielo y la nieve, y cubre aproximadamente dos tercios de la superficie terrestre.

La mayor parte del agua de la hidrosfera, el 97%, se encuentra en los mares y océanos (agua salada). Esta agua tiene una elevada salinidad (elevado contenido de sales disueltas) y esto no permite su utilización como agua para el consumo humano.

Por otra parte, el **agua dulce** contiene un contenido muy pequeño de sales y sí puede utilizarse para el consumo humano con un tratamiento previo mínimo. Pero representa sólo un 3% del total del agua de la hidrosfera, y la mayoría de esta agua dulce se encuentra en forma de aguas subterráneas y en capas de hielo y glaciares, y resulta poco accesible. La principal fuente de agua dulce para uso humano son las aguas superficiales (ríos, lagos, lagunas, arroyos, humedales, zonas encharcadas, etc.). **El agua dulce superficial y, por lo tanto, la más accesible, representa sólo un 0,3% del total de agua de la hidrosfera.**

El **ciclo del agua o ciclo hidrológico** es el proceso permanente de transformación y circulación del agua en la naturaleza. Durante este proceso, el agua pasa por diferentes estados físicos (sólido, líquido y gaseoso) y circula de unos lugares a otros. **Los procesos involucrados en el ciclo del agua son la evaporación, la condensación, la precipitación, la infiltración y la transpiración.**



### **Evaporación**

El calor irradiado por el sol calienta el agua de los ríos, lagos, mares y océanos produciéndose el fenómeno de evaporación, es decir, la transformación del agua en estado líquido al estado gaseoso (vapor de agua) y se desplaza de la superficie de la tierra hasta la atmósfera.

### **Condensación**

Al ascender y enfriarse el vapor de agua en la atmósfera forma pequeñas gotas, que se agrupan y originan las nubes y neblinas. Este proceso de transformación del agua de estado gaseoso a líquido se conoce como condensación.

### **Precipitación**

Cuando hay mucha agua condensada en la atmósfera se inicia el proceso de precipitación, que no es más que la caída del agua en forma de lluvia, nieve o granizo dependiendo de la temperatura ambiental de las regiones. La nieve y el granizo es el agua de la atmósfera convertida a su estado sólido. Una vez estas precipitaciones caen en el suelo, el agua discurre por el terreno dependiendo de las pendientes, la vegetación, etc., hasta llegar a un río, un lago o un océano. Esto es lo que se conoce como **escorrentía superficial**.

### **Infiltración**

Cuando la precipitación llega a la superficie de la tierra, parte de esa agua se filtra a través del suelo y alimenta los depósitos subterráneos de agua (acuíferos) por



infiltración. De estas capas de aguas subterráneas, a veces, el agua brota hacia la superficie como un manantial, formando arroyos o ríos, que desembocarán finalmente al mar.

### **Transpiración**

Las plantas absorben el agua, bien sea de los depósitos acuíferos o de la precipitación, y luego de usarla, la liberan nuevamente a la atmósfera por medio del proceso de transpiración.

El ciclo del agua es un proceso purificador del agua, pero puede alterarse por la presencia de contaminantes en la atmósfera como, por ejemplo, los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) y el dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) que provocan la lluvia ácida.

## **LOS RECURSOS HÍDRICOS Y LA GESTIÓN DEL AGUA**

El agua es un recurso natural fundamental para la vida, pero limitado y escaso. Sin embargo, su demanda cada vez es mayor, y además, cuando se utiliza, el agua se contamina y es necesario depurarla. La preservación de la calidad del agua es importante no solo para el abastecimiento de agua potable a las personas sino también para la producción de alimentos, para los procesos industriales, para la agricultura, para la ganadería, etc.

Teóricamente, a pesar de ser un recurso limitado y escaso, hay suficiente agua en nuestro planeta para abastecer a la población mundial. Sin embargo, está distribuida de forma muy irregular. Además, en muchas ocasiones se desperdicia y no se gestiona de forma sostenible, o está contaminada. Y por si esto fuera poco, el cambio climático está afectando a todo el ciclo del agua, y está teniendo un efecto importante en la disminución del agua dulce disponible para uso humano en muchas regiones de nuestro planeta.

El suministro de agua potable es fundamental para la vida de las personas. Según los datos de la ONU **más de 1.000 millones de personas viven, en la actualidad, en regiones con escasez de agua y hasta 3.500 millones podrían sufrir escasez de agua en 2025.** Los países más afectados por la escasez de agua se encuentran en Oriente Medio y el Norte de África. Los cinco primeros países con mayor escasez de agua son: Kuwait, Bahrein, Emiratos Árabes Unidos, Egipto y Qatar. Además, se está haciendo cada vez mayor en China, India o el África Subsahariana. También se da escasez de agua en regiones de la Unión Europea, en particular en determinadas zonas de la Península Ibérica.

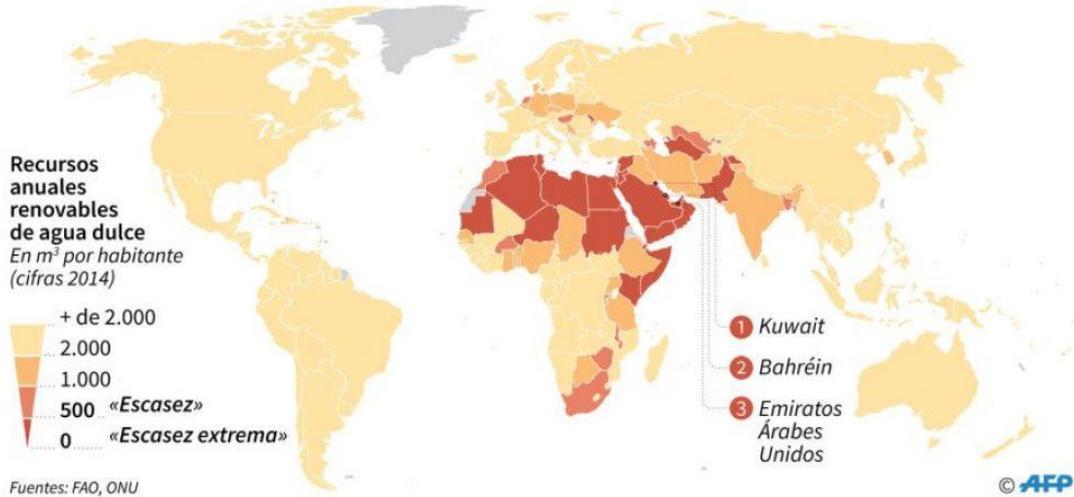
Algo tan cotidiano como abrir un grifo y que salga agua para que podamos beber cuando tenemos sed o queremos lavarnos, es muy complicado para millones de personas que sufren las consecuencias de la escasez de agua en el mundo.

La **escasez de agua** se puede definir como el punto en el que el consumo de los usuarios afecta al suministro o calidad del agua, de forma que la demanda no puede ser completamente satisfecha.

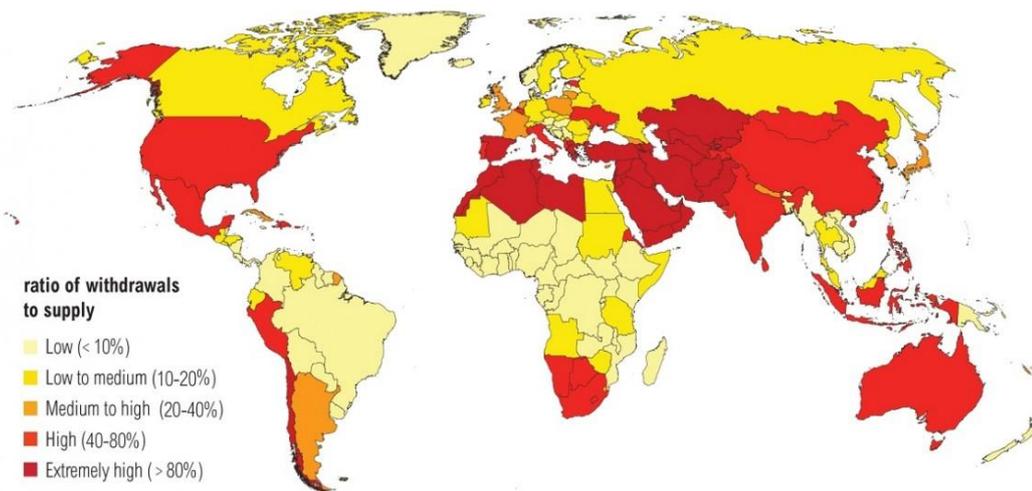


## Los 45 países que sufren escasez de agua en el mundo

Según los límites establecidos por las Naciones Unidas



## Water Stress by Country: 2040



Los 33 países con más probabilidades de tener escasez de agua en 2040

Existen diversas **causas que producen la escasez de agua en el mundo**, entre las que podemos destacar:

- **El crecimiento demográfico y el incremento de la demanda de agua.**
- **La contaminación.** Nos referimos tanto a la contaminación de aguas dulces como a la contaminación de la tierra o del aire, ya que la contaminación se puede filtrar al agua y también puede afectar al aire.
- **La sequía.** Debido al fenómeno del cambio climático se potencia la aparición o desarrollo de las sequías, que suponen que durante un tiempo prolongado no haya lluvia, por lo que causa escasez de agua tanto para el consumo humano como para los cultivos o la industria.



- **El uso descontrolado del agua.** Tanto a gran escala, en las fábricas, como a pequeña escala, en nuestras propias casas, en algunas ocasiones malgastamos el agua y no recordamos que es un recurso escaso.

La escasez de agua en el mundo es un problema que puede aumentar y que produce **consecuencias graves** como las siguientes:

- **Enfermedades.** La escasez de agua y la falta de sistemas de potabilización adecuados obliga a recurrir a fuentes de agua contaminadas que pueden provocar enfermedades. En base a los datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), se puede afirmar que el agua contaminada puede transmitir enfermedades como la diarrea, el cólera o la poliomielitis. La contaminación del agua produce más de 502.000 muertes por diarrea al año. Además, la falta de agua, puede producir deshidratación y generar posteriores complicaciones en la salud de las personas.
- **Hambre.** La escasez de agua puede afectar a la agricultura, la ganadería y la industria y, por lo tanto, producir escasez de alimentos y hambre.
- **Desaparición de especies vegetales.** Las plantas necesitan una gran cantidad de agua para desarrollarse y cuando el agua escasea se secan y desaparecen.
- **Conflictos.** La escasez de recursos está en el origen de numerosos conflictos en el mundo y supone el desplazamiento de las personas a otros países para encontrar lugares seguros en los que vivir.

La escasez de agua es un problema mundial que tiene consecuencias muy graves tanto para el medioambiente como para las personas. Tal es así que **la escasez de agua ha sido reconocida como uno de los principales desafíos de la humanidad para el presente siglo.** Si se cumplen las previsiones, el problema será aún más grave en los próximos años debido al cambio climático, que provocará un aumento de las temperaturas y una disminución de las precipitaciones medias anuales. Está en nuestra mano cuidar y no malgastar este recurso tan necesario para la vida.

El progresivo aumento de la demanda de agua implica una mayor extracción de agua superficial y subterránea. Esto hace que sea **muy necesario gestionar mejor los recursos hídricos disponibles y tratar, en la medida de lo posible, de incrementarlos.**

Para esto se pueden adoptar **dos tipos de estrategias:**

- **Reducción del consumo de agua.** El objetivo es el ahorro de agua, es decir, reducir los consumos doméstico, urbano, industrial y agrícola. Esto pasa por la concienciación y la educación ambiental de los ciudadanos, la utilización de electrodomésticos con bajo consumo de agua, el uso de circuitos cerrados en las industrias, la utilización de sistemas de riego más eficientes en la agricultura, etc.



- **Gestión sostenible de los recursos disponibles.** El objetivo es regular, mantener y distribuir los recursos hídricos disponibles por una parte, e incrementar la reutilización y el reciclaje del agua por otra; ello se consigue, por ejemplo, con la construcción de presas y embalses, realizando trasvases, el control de la explotación de los acuíferos, la utilización de las aguas depuradas, etc.



Presas del Chanza en El Granado (Huelva).



El trasvase Tajo-Segura conecta el embalse de Bolarque, en el río Tajo con el embalse de Talave, en el río Mundo, afluente del río Segura. Tiene una longitud de 292 km y capacidad para un caudal de 33 m<sup>3</sup>/s.



## EFECTOS CONTAMINANTES DE LA ACTIVIDAD HUMANA

Como ya se comentó anteriormente, prácticamente todas las actividades humanas generan contaminantes como subproductos no deseados y, en muchas ocasiones, éstos generan contaminación de las aguas. No solo el uso doméstico o de cualquier otro tipo en núcleos urbanos genera contaminación hídrica, sino que también la industria, la agricultura y la ganadería, por ejemplo, son fuentes importantes de contaminación hídrica.

- **Aguas residuales urbanas.** Las actividades domésticas y urbanas en los núcleos de población son una importante fuente de contaminación de las aguas, tanto superficiales como subterráneas. Estas aguas contaminadas constituyen un medio muy eficaz de transmisión de enfermedades infecciosas (gastroenteritis, diarreas, cólera, etc.) debido a la presencia de distintos microorganismos patógenos presentes en los excrementos; también se encuentran productos de limpieza, como jabones y detergentes en las aguas residuales domésticas.

Por todo esto, es imprescindible disponer de una buena red de saneamiento, que incluya una buena red de alcantarillado que conduzca estas aguas residuales a una estación de depuración de aguas residuales urbanas (E.D.A.R.) donde, tras una serie de tratamientos de depuración, el agua tenga unos parámetros de calidad tales que pueda reutilizarse o, en su defecto, pueda ser vertida a un río o al mar sin que esto suponga un ningún tipo de riesgo.

Aunque en este sentido se ha avanzado mucho en los últimos años o décadas, todavía haya lugares donde no se dispone de una buena red de alcantarillado, ni de estaciones de depuración de aguas residuales, y estas aguas se vierten a cauces de ríos o al mar, sin tratamiento previo.





- **Aguas residuales industriales.** La gran mayoría de las industrias necesitan agua para sus procesos productivos. Estas aguas pueden resultar contaminadas por la presencia de materias primas, subproductos, productos intermedios o cualquier otro tipo de sustancias que manejan esas industrias, que pueden ser muy variados, y muchos de ellos tóxicos. Entre las sustancias más contaminantes de origen industrial destacan los hidrocarburos y los metales pesados.

Las aguas residuales industriales son mucho más complejas y suelen ser más contaminantes que las aguas residuales urbanas, por lo que precisan de tratamientos más complejos para su depuración. Actualmente, la legislación obliga a que todas las aguas residuales industriales sean tratadas en plantas depuradoras. Algunas industrias tienen en sus propias instalaciones plantas de depuración, donde tratan sus aguas residuales antes de proceder a su vertido o reutilización. Otras, dependiendo de su grado de contaminación y si cumplen la legislación de vertidos al sistema de alcantarillado, tienen autorización para el vertido de sus aguas residuales a los sistemas de saneamiento que las conducen a las estaciones de depuración de aguas residuales urbanas (E.D.A.R.), donde son tratadas.

Además, muchas industrias han mejorado sus procesos productivos tanto para consumir menos agua como para contaminarla menos. No obstante, a veces la contaminación de las aguas se produce por causas accidentales, como rotura de tuberías o depósitos, que producen derrames que, en el caso de llegar a ríos, mares, acuíferos, etc. pueden provocar problemas ecológicos graves.



Tratamiento de aguas residuales en una refinería de petróleo



- **La actividad agrícola.** La agricultura intensiva provoca que una gran cantidad de nutrientes y productos químicos pasen a las aguas y las contaminen. En los países desarrollados las actividades agrícolas se orientan hacia una producción intensiva que necesita grandes cantidades de fertilizantes y de productos fitosanitarios para aumentar los rendimientos. Un exceso de fertilizantes (nitratos, fosfatos, etc.) en el suelo puede repercutir en la calidad de las aguas subterráneas de esa zona, y potencialmente en la calidad de las aguas superficiales conectadas con dichos acuíferos. Por otra parte, los productos fitosanitarios (herbicidas, insecticidas, plaguicidas, etc.) suelen ser productos muy tóxicos y bioacumulativos, generando problemas de salud y medioambientales muy serios.





- **La actividad ganadera.** El principal problema asociado a ella es la utilización de purines como abono. Los purines son una mezcla de orina de los animales, aguas de lavado y restos de piensos; además, pueden contener restos de antibióticos veterinarios que pueden provocar problemas graves a la salud de las personas. Estos purines son una importante fuente de contaminación de las aguas superficiales si se vierten directamente, sin ningún tipo de tratamiento, y de las aguas subterráneas si se infiltran a través del suelo hasta alcanzar acuíferos.

En la actualidad, se están poniendo en marcha instalaciones de tratamiento de los purines, para su depuración y estabilización previa a su utilización como fertilizantes, normalmente mediante tratamientos anaerobios, con la ventaja añadida de la obtención de biogás.



Aunque la degradación de las aguas debido a estas actividades humanas y a otras causas viene de antiguo, ha sido en el último siglo cuando este problema se ha extendido a ríos y mares de todo el mundo, en particular en los países en desarrollo, donde se estima que más de un 80% de las aguas residuales se vierten sin ningún tipo de tratamiento, contaminando ríos, lagos, mares, zonas costeras,...

Los principales problemas que genera esta contaminación son:

- **Contaminación de aguas subterráneas.** El agua contenida en los acuíferos subterráneos constituye un importante recurso. En España, se estima que una tercera parte del agua que se usa en las ciudades y en la industria, y la cuarta parte de la que se usa en la agricultura, se obtiene de las aguas subterráneas.

Aunque las aguas subterráneas son más difíciles de contaminar que las aguas superficiales, cuando esta contaminación se produce, también es más difícil de eliminar, lógicamente. Por eso es muy importante adoptar medidas encaminadas a evitar la contaminación de los acuíferos subterráneos y su sobreexplotación.

Las actividades que suelen provocar la contaminación de los acuíferos son los lixiviados que se producen en vertederos de residuos urbanos, en vertederos de residuos industriales y los lixiviados de purines procedentes de la ganadería. Además, el uso extensivo de fertilizantes químicos y de productos fitosanitarios en la agricultura moderna también es una importante fuente de contaminación de los acuíferos subterráneos.



- **Sobreexplotación de acuíferos y salinización de acuíferos costeros.** Cuando un acuífero se sobreexplota, aparte del lógico agotamiento del recurso, si se trata de acuíferos situados en zonas cercanas a la costa se produce su salinización. Esto ocurre porque al reducirse el nivel de agua en el acuífero, el agua del mar penetra en el mismo mezclándose con el agua dulce y provocando un aumento de su salinidad. En este sentido, una mezcla de agua dulce con solo un 2% de agua salada la hace no apta para el consumo humano.
- **Eutrofización.** Es un problema muy común que afecta a la calidad del agua. La eutrofización es el resultado de la presencia en el agua de grandes cantidades de nutrientes (principalmente nitrógeno y fósforo) que provienen de algunas aguas residuales y del uso excesivo de fertilizantes químicos en la agricultura, y que provocan el crecimiento descontrolado y excesivo de algas; esto hace que el agua no sea apta para el consumo humano y que, además, debido a los bajos niveles de oxígeno disuelto en las aguas donde se produce, puede provocar la muerte de muchos organismos acuáticos.



- **Efectos en la salud humana.** La contaminación del agua es un problema importante de salud pública. Las aguas contaminadas constituyen un medio muy eficaz de transmisión de enfermedades infecciosas (gastroenteritis, diarreas, cólera, etc.) debido a la presencia de distintos microorganismos patógenos y de otras enfermedades debido a la presencia de otros contaminantes químicos, como metales pesados o hidrocarburos. La transmisión de estas enfermedades puede producirse de forma directa (por ingestión del agua contaminada o por contacto con la piel o mucosas) o indirecta (por ejemplo a través de alimentos que previamente se han contaminado por el riego con aguas contaminadas).



- **Daños a la fauna y a la flora.** Los animales y las plantas, especialmente los que desarrollan su vida en el medio acuático, pueden verse afectados de manera muy seria por la contaminación del agua. Por ejemplo, el nivel de oxígeno disuelto es clave para la supervivencia de las diferentes especies acuáticas. La contaminación del agua también afecta, por ejemplo, a los animales que beben de fuentes de agua contaminada, que pueden enfermar o incluso morir como consecuencia de ello.



Cientos de peces muertos por falta de oxígeno en La Pampa (Argentina)



Cientos de reses muertas por posible contaminación del agua



## CONTAMINANTES DEL AGUA

Los contaminantes más importantes que pueden encontrarse en las aguas residuales son:

- **Sólidos en suspensión.** Son partículas que permanecen en suspensión en el agua debido al movimiento del líquido o debido a que la densidad de la partícula es menor o igual que la del agua. **La concentración de sólidos en suspensión es un valor utilizado como uno de los indicadores de la calidad del agua.** Todos los sólidos en suspensión se pueden eliminar del agua mediante filtración; sin embargo, si los sólidos en suspensión tienen una densidad mayor que la del agua, estas partículas se pueden eliminar también por sedimentación.

Los sólidos en suspensión:

- Pueden ser de **origen orgánico o inorgánico.**
  - Favorecen el desarrollo de **depósitos de fango** y de condiciones anaerobias (ausencia de oxígeno) que provocan **malos olores y condiciones insalubres** (debido a los agentes patógenos presentes en el agua).
  - **Enturbian el agua.**
  - **Dificultan la vida de los organismos acuáticos.**
- **Materia orgánica.** La mayoría de la materia orgánica que contamina el agua procede de **desechos de alimentos** y de **aguas residuales** domésticas, industriales y procedentes de la actividad ganadera. Muchos compuestos orgánicos utilizados por el ser humano pueden acabar contaminando las aguas: **petróleo, productos derivados del petróleo (como gasolina, gasoil, fueloil, queroseno, disolventes, aceites lubricantes, etc.), pesticidas (incluye plaguicidas, herbicidas, insecticidas y fungicidas), etc.**

La mayor parte de la materia orgánica presente en las aguas residuales es biodegradable, es decir, puede ser descompuesta por bacterias; sin embargo, algunos disolventes y pesticidas son tóxicos y no biodegradables por lo que pueden permanecer en las aguas durante largos periodos de tiempo.

Un **elevado contenido de materia orgánica** susceptible de ser oxidada puede agotar el oxígeno disuelto en el agua, generando unas condiciones anaerobias que pueden provocar la **muerte por asfixia de numerosos organismos acuáticos** y la generación de **malos olores**.

- **Materia inorgánica.** Determinadas **sales de calcio, magnesio, bicarbonatos, sulfatos, etc.** se encuentran de forma natural en el agua. Sin embargo, el uso del agua puede provocar que su concentración aumente hasta valores que son perjudiciales para su calidad.

También pueden estar presentes en las aguas residuales determinados **ácidos inorgánicos** que pueden alterar su pH y causar graves daños a los seres vivos, disminuir el rendimiento agrícola y provocar problemas de corrosión a equipos y sistemas de distribución de agua, etc.



Además de sales y ácidos inorgánicos, las aguas residuales pueden contener metales pesados. Los **metales pesados** son un grupo de elementos químicos que **presentan una densidad alta** (superior a cinco veces la densidad del agua) y que **son tóxicos**. Las aguas residuales, dependiendo de su origen, pueden contener gran número de metales pesados diferentes: **mercurio, níquel, cobre, plomo, cromo, manganeso, cadmio, hierro, arsénico, talio, cobalto, estaño y zinc, entre otros**. Aunque algunos de ellos son imprescindibles (en cantidades muy pequeñas) para el normal desarrollo de la vida, su presencia en las aguas residuales por encima de ciertos límites es perjudicial para los seres vivos, pudiendo ocasionar **intoxicaciones o envenenamientos**, ya que son **bioacumulables** (una vez que son asimilados por los seres vivos, éstos no pueden eliminarlos y se van acumulando en ellos) y **pueden pasar de unos seres vivos a otros a través de las cadenas tróficas**.

- **Nutrientes.** El **nitrógeno**, el **fósforo** y el **potasio** son nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas. Cuando se encuentran en cantidades excesivas en el agua provocan el crecimiento desmesurado de algas y se produce el fenómeno conocido como **eutrofización**.
- **Agentes patógenos.** Los microorganismos patógenos en el agua se pueden dividir en tres categorías: **bacterias, virus y protozoos parásitos**. Las bacterias y virus se pueden encontrar tanto en las aguas subterráneas como en las aguas superficiales, mientras que los protozoos son comunes en las aguas superficiales. Estas bacterias, virus y protozoos parásitos pasan a las aguas provenientes de desechos humanos infectados o portadores de alguna enfermedad.

En un agua residual pueden detectarse numerosos tipos distintos de bacterias, entre las que pueden nombrarse las especies Vibrio, Mycobacterium, Clostridium, entre otros. **Los organismos bacterianos patógenos excretados por el ser humano causan enfermedades infecciosas como la fiebre tifoidea, la disentería, el cólera, diarreas, etc.** Estas enfermedades son frecuentes en países con escasos recursos sanitarios, especialmente en zonas tropicales, causando cada año un gran número de muertes.

La supervivencia de las bacterias en el agua depende mucho de la presencia de otros microorganismos que puedan competir con ellas. Muchas veces las bacterias sobreviven más en aguas limpias que en aguas sucias, mientras que los virus sobreviven mejor en las aguas contaminadas, ya que pueden interactuar con partículas sólidas suspendidas en el agua sucia que ejercen un efecto protector.

Los virus son parásitos intracelulares que sólo pueden multiplicarse dentro de una célula huésped, encontrándose inactivos fuera de ella. Al contrario que las bacterias, los virus no están presentes en el ser humano de manera natural. Cuando las personas quedan afectadas por un virus, éstos generalmente se eliminan del cuerpo humano mediante secreciones.



- **Sustancias radiactivas.** Aunque no es muy habitual, pueden aparecer pequeñas cantidades de isótopos radiactivos solubles en agua que pueden acumularse a lo largo de la cadena trófica, pudiendo causar **defectos congénitos y cáncer**. Esta contaminación puede proceder de **radioisótopos naturales o artificiales**; entre los primeros pueden estar el  $^{235}\text{U}$ , el  $^{210}\text{Po}$ , el Rn, el  $^{40}\text{K}$  o el  $^7\text{Be}$ , y entre los artificiales, el  $^{239}\text{Pu}$ , el  $^{244}\text{Cm}$ , el  $^{241}\text{Am}$  o el  $^{60}\text{Co}$ .
- **Contaminación térmica.** Como sabemos, también el calor puede considerarse como una forma de contaminación, ya que provoca la elevación de la temperatura de las aguas receptoras de los vertidos. Las consecuencias son la disminución de la cantidad de oxígeno disuelto en las aguas (condiciones anaerobias o de falta de oxígeno), la muerte de organismos acuáticos por asfixia y malos olores, entre otras.
- **Contaminantes emergentes.** Son sustancias contaminantes previamente desconocidas o no reconocidas como tales, cuya presencia en el medio ambiente no es necesariamente nueva, pero sí la preocupación por sus posibles consecuencias. Entre este grupo de contaminantes podemos destacar **medicamentos (antibióticos, analgésicos, antisépticos, etc.), drogas (cocaína, cannabis, anfetaminas, etc.), productos de cuidado e higiene personal (perfumes, desodorantes, champús, etc.), productos de limpieza (jabones y detergentes), subproductos de la desinfección del agua (como los trihalometanos), hormonas, productos perfluorados, aditivos de gasolin, etc.**

En los últimos años se ha tomado también conciencia de una nueva clase de contaminantes emergentes: los **nanomateriales** (todos aquellos materiales que al menos en una de sus dimensiones son inferiores a 100 nm. El prefijo 'nano' se refiere a las dimensiones: un nanómetro (nm) es la millonésima parte de un milímetro (mm)). La industria asociada a la producción de nanomateriales ha experimentado un gran crecimiento en los últimos años, y **este tipo de compuestos se han detectado en aguas residuales de origen doméstico**. Los nanomateriales se utilizan en casi todos los sectores industriales y categorías de productos, tanto en el ámbito de la cosmética como de los preparados químicos industriales o los medicamentos. En la Biomedicina, sirven para la liberación de fármacos y para tratamientos contra el cáncer. En la Ingeniería como sensores químicos, vidrios autolimpiables, tintas magnéticas y conductoras. También sirven para recubrimientos textiles repelentes de agua y suciedad. En Electrónica para crear memorias de alta densidad, pantallas con dispositivos de emisión basados en óxidos conductores, etc.

Otro tipo de contaminantes emergentes son los **microplásticos**. Los microplásticos provienen de una gran variedad de fuentes, como neumáticos, productos cosméticos o de limpieza, ropa, desechos plásticos de uso cotidiano, procesos industriales,... Se estima que entre el 2% y el 5% de todos los plásticos fabricados termina en los océanos; algunos de ellos lo hacen en forma de microplásticos. Debido a que no se biodegradan, sino que solo se desintegran en partes más pequeñas, los microplásticos terminan siendo absorbidos o ingeridos



por muchos organismos, alojándose en sus cuerpos y tejidos. Es el caso del ser humano. La ONU declaró en 2017 que hay hasta 51.000 millones de partículas microplásticas en el mar. Estas pueden ser ingeridas por animales marinos y terminar en los humanos a través de la cadena alimenticia. También están presentes en alimentos y bebidas, incluso en el agua del grifo. Además, se han descubierto partículas de plástico en heces humanas. El efecto en la salud humana es aún desconocido, pero a menudo contienen aditivos y otras sustancias químicas, posiblemente tóxicas, que pueden ser perjudiciales para los animales y las personas.

La principal fuente de entrada de los compuestos emergentes en el medio ambiente acuático son las aguas residuales, aunque también cabe destacar el papel de la agricultura y ganadería como fuentes de contaminación de pesticidas y antibióticos, respectivamente.

Estos contaminantes emergentes son de gran potencial tóxico para la salud humana, pero hasta que no se han desarrollado nuevas y más sensibles técnicas de análisis químico no ha sido posible evaluar su influencia sobre el medio ambiente.



#### APLICACIONES Y PRODUCTOS NANOTECNOLÓGICOS





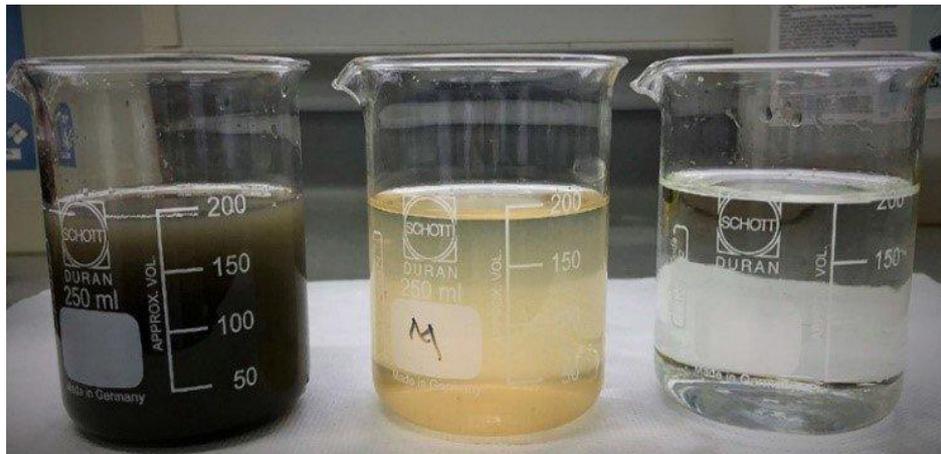
## CARACTERIZACIÓN DEL AGUA

La caracterización de un agua implica el análisis de una serie de parámetros o **características físicas, químicas, biológicas y radiológicas** para determinar:

- ✓ Sus posibles usos.
- ✓ La eficacia de los tratamientos de depuración.
- ✓ El cumplimiento de la legislación vigente.

- **Características físicas.** Las más importantes son:

- El **contenido total de sólidos**, que incluye los sólidos en suspensión, los sólidos sedimentables y los sólidos disueltos. Los sólidos totales lo constituyen **toda la materia que permanece como residuo después de que una muestra de agua residual haya sido evaporada entre 103°C y 105°C.**
- **Turbidez.** La turbidez se refiere a lo clara o turbia que pueda estar el agua y **está relacionada con la presencia de partículas en suspensión.**



Si la turbidez del agua es alta, habrá muchas partículas suspendidas en ella. Estas partículas sólidas bloquearán la luz solar y evitarán que las plantas acuáticas obtengan la luz solar que necesitan para la fotosíntesis. Las plantas producirán menos oxígeno y con ello bajarán los niveles de oxígeno disuelto. Las plantas morirán más fácilmente y serán descompuestas por las bacterias en el agua, lo que reducirá aún más los niveles de oxígeno disuelto. Las partículas suspendidas en el agua también absorberán calor adicional de la luz solar lo cual ocasionará que la temperatura del agua aumente, con lo que disminuirá más todavía la cantidad de oxígeno disuelto, especialmente cerca de la superficie. Las partículas suspendidas también pueden obstruir las branquias de los peces y pueden enterrar las criaturas que viven en el fondo y los huevos, dificultando su reproducción. Por último, las partículas suspendidas también pueden transportar contaminantes en el agua.



- **Color y olor.** Son lo que se denomina, junto con el sabor, **propiedades organolépticas** o determinables por los sentidos. No suelen ser una medida precisa del nivel de contaminación, pero su presencia es un indicio de que la depuración de un efluente no está siendo eficaz.

No existe una relación directa entre color y grado de contaminación, ya que como es un parámetro fuertemente influido por interferencias con otras sustancias coloreadas, es difícil su evaluación absoluta.

Generalmente los olores son producidos por sustancias volátiles (COV's) o gaseosas ( $H_2S$ ,  $NH_3$ , etc.), y suelen ser producidos por la materia orgánica en descomposición, o debido a sustancias químicas producidas o empleadas en la industria y tratamiento de aguas residuales.

- **Temperatura.** La temperatura del agua tiene una gran importancia en el desarrollo de los diversos procesos que en ella se realizan, de forma que un aumento de la temperatura modifica la solubilidad de las sustancias, aumentando la de los sólidos disueltos y disminuyendo la de los gases. La actividad biológica aproximadamente se duplica cada diez grados, aunque superado un cierto valor característico de cada especie viva, tiene efectos letales para los organismos. Un aumento anormal (por causas no climáticas) de la temperatura del agua, suele tener su origen en el vertido de aguas utilizadas en procesos industriales de intercambio de calor (contaminación térmica).
- **Características químicas.** Pueden clasificarse en materia orgánica, materia inorgánica y gases.
  - **Materia orgánica.** En un agua residual pueden estar presentes una gran variedad de sustancias orgánicas: proteínas, hidratos de carbono, grasas, aceites, hidrocarburos, disolventes, pesticidas, agentes tensioactivos (de detergentes), etc.





La contaminación orgánica en aguas residuales es una de las más importantes por su cantidad y procede, en su mayoría, de vertidos urbanos, industriales, agrícolas y ganaderos. Para medir esta contaminación en el agua de forma global, existen tres índices: **carbono orgánico total (COT)**, **demanda química de oxígeno (DQO)** y **demanda biológica de oxígeno o demanda bioquímica de oxígeno (DBO)**. Es importante destacar que cualquiera de estos tres índices aporta información acerca del contenido de materia orgánica total, pero no de los compuestos orgánicos en particular (benceno, tensioactivos, fenoles, etc.), para lo cual habría que realizar análisis específicos.

**Carbono orgánico total (COT).** El COT es la cantidad total de carbono que contienen los compuestos orgánicos presentes en el agua. Este método está especialmente indicado para aguas con bajas concentraciones de materia orgánica. Se mide provocando la oxidación de la materia orgánica en un horno a alta temperatura o en un medio químicamente oxidante para convertir el carbono orgánico en  $\text{CO}_2$ , cuya cantidad se puede determinar directamente mediante un analizador infrarrojo no dispersivo (IRND), o bien se puede reducir a metano ( $\text{CH}_4$ ) y se mide con un detector de ionización de llama (FID).

**Demanda biológica de oxígeno o demanda bioquímica de oxígeno (DBO).** La DBO es la cantidad de oxígeno que los microorganismos, especialmente bacterias, consumen durante la degradación de las sustancias orgánicas disueltas o suspendidas en una muestra líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en  $\text{mgO}_2/\text{l}$ . La DBO es un proceso biológico y, por lo tanto, es delicado y requiere mucho tiempo. Como el proceso de descomposición depende de la temperatura, se realiza a  $20^\circ\text{C}$  durante 5 días de manera estándar, denominándose  $\text{DBO}_5$ . Se tomó 5 días como estándar porque es el tiempo medio que los ríos británicos tardan en llegar al mar.

Con carácter general, cuanto más contaminación, más DBO. Algunos valores de referencia en función del tipo del agua pueden ser:

- Pura: entre 2 y  $20 \text{ mgO}_2/\text{l}$ .
- Poco contaminada entre 20 y  $100 \text{ mgO}_2/\text{l}$ .
- Medianamente contaminada entre 100 y  $500 \text{ mgO}_2/\text{l}$ .
- Muy contaminada entre 500 y  $3.000 \text{ mgO}_2/\text{l}$ .
- Extremadamente contaminada entre 3.000 y  $15.000 \text{ mgO}_2/\text{l}$ .

**Demanda química de oxígeno (DQO).** La DQO es la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar la materia orgánica (que se encuentra disuelta o suspendida en una muestra líquida) por medios químicos y convertirla en  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ . Se expresa también en  $\text{mgO}_2/\text{l}$ . Cuanto mayor es la DQO, más contaminada está el agua. La DQO en aguas industriales puede estar entre 50 y  $2.000 \text{ mgO}_2/\text{l}$ , aunque puede llegar a  $5.000 \text{ mgO}_2/\text{l}$  según el tipo de industria.



La diferencia principal entre la DBO y la DQO es que la segunda engloba la primera, e incluye más cosas. En la DBO sólo se detecta el material orgánico degradado biológicamente (biodegradable), mientras que en la DQO se produce la oxidación completa de toda la materia orgánica (biodegradable y no biodegradable). Así, para una muestra dada de agua, el valor de DQO siempre ha de ser mayor que el de DBO.

DBO y DQO están relacionadas y mantienen su relación para cada tipo de agua. Esta relación suele utilizarse para establecer una clasificación de las aguas según su biodegradabilidad:

- Poco biodegradable:  $DBO_5 / DQO < 0,2$
  - Biodegradable:  $DBO_5 / DQO = 0,2 - 0,4$
  - Muy biodegradable:  $DBO_5 / DQO > 0,4$
- **Materia inorgánica.** Entre los parámetros que suelen determinarse en una muestra de agua residual relacionados con su contenido de materia inorgánica, cabe destacar:
- **pH.** Como sabemos, el pH es una medida de la acidez o basicidad de una sustancia o medio. Los valores del pH determinan la actividad biológica en el agua, su composición o incluso su idoneidad o no para ser depurada mediante métodos biológicos. La actividad biológica se desarrolla dentro de un intervalo de pH generalmente comprendido entre 5 y 9. Otro aspecto importante del pH es la “agresividad” de las aguas ácidas, que da lugar a la solubilización (disolución) de sustancias por ataque a los materiales. De este modo, un agua residual con un pH fuera del intervalo indicado puede alterar la composición y modificar la vida biológica de las aguas naturales; también sería más difícil de tratar por métodos biológicos, que sólo pueden realizarse entre valores de pH de 6,5 a 8,5.
  - **Conductividad.** La conductividad es una medida de la cantidad de sales ó sólidos inorgánicos disueltos contenidos en el agua. Cuanto mayor sea la conductividad del agua, mayor es la cantidad de sólidos o sales disueltas en ella. Como es rápido y relativamente fácil medir la conductividad de una muestra de agua, este parámetro de medición es muy empleado cuando se desea conocer la cantidad de sólidos totales disueltos (STD). La conductividad de una solución se expresa en Siemens/cm (S/cm) miliSiemens/cm (mS/cm) ó microSiemens/cm ( $\mu$ S/cm).





- **Alcalinidad.** La alcalinidad es un parámetro que determina la capacidad de un agua para neutralizar los efectos ácidos que sobre ella actúen. Los constituyentes principales de la alcalinidad son **bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ )**, **carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ )**, e **hidróxidos ( $\text{OH}^-$ )**. La presencia de estos iones amortigua o suaviza las disminuciones bruscas de pH (que se producirían en su ausencia) cuando se adicionan ácidos fuertes. Por otra parte, el sistema carbonato/bicarbonato también amortigua o suaviza los aumentos bruscos de pH cuando se adicionan bases fuertes y, por lo tanto, también anula parcialmente los efectos alcalinos. En definitiva, **la alcalinidad del agua ejerce un efecto tampón o amortiguador de cambios bruscos de pH.**
- **Dureza.** La dureza del agua se debe a la presencia de cationes como: calcio, magnesio, estroncio, bario, hierro, aluminio, y otros metales que se encuentran presentes en forma de sólidos disueltos. De éstos, **calcio y magnesio** son los más abundantes, por lo que casi siempre la dureza está directamente relacionada con la concentración de éstos dos elementos. Si la cantidad de calcio y magnesio es muy alta (agua dura), cuando el agua se evapora se forma un precipitado de carbonato de calcio y de hidróxido de magnesio que se acumulan en equipos y tuberías, atascándolos o dañándolos, a veces, irreversiblemente. Para disminuir la dureza a valores adecuados, se emplean resinas de intercambio iónico o se emplea el proceso de precipitación química de calcio y magnesio.



- **Metales pesados.** Como sabemos, algunos metales como **romo, níquel, cadmio, mercurio, plomo, arsénico, selenio, etc., son tóxicos y bioacumulables.** Su ingestión, aún en cantidades mínimas pero durante un largo periodo de tiempo, puede causar daños en el organismo. La ingestión de metales tóxicos incrementa el riesgo de aparición de tumores, enfermedades en órganos vitales de los aparatos digestivo, respiratorio y reproductivo con consecuencias no solo al



consumidor sino a su descendencia. El daño y el grado de toxicidad depende del elemento (ya que algunos son más tóxicos que otros), de la dosis ingerida, del tiempo de exposición al contaminante y de la salud o condición física del receptor.

▪ **Determinaciones específicas de cloruros, sulfatos, nitrógeno en sus distintas formas (nitratos, nitritos y amonio), hierro, manganeso, fosfatos, etc.**

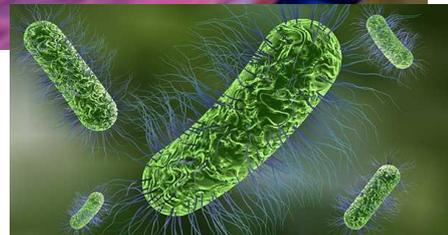
- Los **cloruros** muchas veces van asociados al sodio, que juntos forman el cloruro de sodio o sal común. Como sabemos, el consumo elevado de sal produce hipertensión arterial, ya que los riñones no son capaces de eliminar la que sobra. Este problema se incrementa con la edad. El consumo elevado de sal, además, empeora los problemas de corazón y de las arterias, sobre todo en las personas con obesidad. En las mujeres, el consumo elevado de sal después de la menopausia podría facilitar la aparición de osteoporosis, al aumentar la pérdida de calcio. En las personas con úlcera de estómago, el consumo elevado de sal favorece la aparición de otros problemas. Además de los efectos perjudiciales sobre la salud, la salinización del agua puede incrementar la corrosión de metales en el sistema de distribución y perjudica los cultivos.
- Altos niveles de **sulfatos** no presentan toxicidad pero si problemas en la calidad y usos del agua.
- El **nitrógeno en sus distintas formas** y los **fosfatos** son nutrientes por lo que su presencia en las aguas puede provocar problemas de eutrofización.
- **Hierro y manganeso** casi siempre se encuentran presentes en forma conjunta, por lo que si en el agua se tienen niveles relativamente altos de hierro, seguramente el manganeso estará presente en concentraciones problemáticas para el uso del agua. Ninguno de los dos representa un problema de toxicidad, pero la calidad del agua no es la deseada cuando se tienen altos valores de estos elementos.

- **Gases.** Los gases que con mayor frecuencia se encuentran en las aguas residuales son **nitrógeno (N<sub>2</sub>)**, **oxígeno (O<sub>2</sub>)**, **dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)**, **metano (CH<sub>4</sub>)**, **amoníaco (NH<sub>3</sub>)** y **sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S)**. Los tres primeros son gases comunes en la atmósfera y, por lo tanto, están presentes en todas las aguas en contacto con ella. Los tres últimos, sin embargo, proceden de la descomposición de la materia orgánica en las aguas residuales.

La determinación más usual es la de **oxígeno disuelto**. Un nivel alto de oxígeno en las aguas evita la formación de olores desagradables. Además es imprescindible para la vida de todos los organismos aerobios que, sin su presencia, morirían.



- **Características biológicas.** El estudio de las características biológicas de las aguas residuales permite identificar en ellas la presencia de microorganismos patógenos (bacterias, virus y protozoos parásitos) que transmiten enfermedades (diarreas, enfermedades intestinales, cólera, fiebre tifoidea, etc.). Un buen índice para determinar la salubridad de un agua desde el punto de vista biológico es el número de colonias de **coliformes** por cada 100 mL de agua. La denominación genérica coliformes designa a un grupo de bacterias que tienen ciertas características bioquímicas en común e importancia relevante como indicadores de contaminación del agua y los alimentos.



- **Características radiológicas.** En todas las aguas destinadas al consumo humano o usadas por la industria agroalimentaria tiene que medirse la actividad en tritio (isótopo radiactivo del hidrógeno) y evaluar la dosis indicativo total (DTI), que se calcula a partir de las actividades  $\alpha$  y  $\beta$ . Si su valor supera los 0,1 mSv/año es necesario realizar una investigación acerca de la naturaleza de la radiación (uranio, radio, torio, etc.).

## **TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES.**

El tratamiento de aguas residuales **consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes físicos, químicos y biológicos presentes en las mismas.** El objetivo del tratamiento es producir agua “limpia” (agua residual tratada, que puede eliminarse con seguridad vertiéndola al medio o ser reutilizada para determinados fines) y un residuo sólido o fango (también llamado lodo) que puede tener el mismo destino. No hay que confundir el tratamiento de aguas residuales con el tratamiento de potabilización del agua; en el primer caso, el



agua tratada puede reutilizarse, pero nunca para consumo humano, mientras que en el segundo, precisamente lo que se pretende es obtener un agua apta (agua potable) para el consumo humano.

Las aguas residuales pueden ser tratadas dentro del sitio o instalación donde son generadas (por ejemplo en las propias instalaciones de una fábrica) o bien pueden ser recogidas y llevadas mediante una red de tuberías y eventualmente bombas a una planta de tratamiento de aguas residuales (E.D.A.R.), frecuentemente de titularidad municipal.

Así, podemos distinguir dos tipos de E.D.A.R.: las urbanas (que reciben las aguas residuales procedentes de los núcleos de población) y las industriales (que reciben las aguas residuales de una o varias industrias). Debido a la mayor variedad de contaminantes presentes en ellas y a su potencial más tóxico, los tratamientos de las aguas residuales industriales suelen ser más complejos que los de las aguas residuales urbanas.

En cualquier E.D.A.R. pueden distinguirse siempre **dos líneas de tratamiento**:

- la **línea de aguas**.
- la **línea de tratamiento de lodos**. Si la estabilización de los lodos es anaerobia (en ausencia de oxígeno) habrá una tercera línea: la **línea de biogás**.

- ✓ **Línea de aguas**. El tratamiento de las aguas residuales se desarrolla, por lo general, en una serie de **etapas**:

#### **Etapa 1. Pretratamiento.**

Esta etapa evita que algunos materiales que llegan a la E.D.A.R. puedan provocar daños y averías en los equipos posteriores u obstruir tuberías o conductos. Se realiza, a su vez, **en tres etapas**:

- **Desbaste: elimina los sólidos de mayor tamaño** (piedras, ramas, trapos, etc.) mediante una combinación de un pozo de gruesos y una serie de rejillas o tamices de tamaño de paso decreciente.
- **Desarenado-desengrasado**: introduciendo aire que permite la flotación de grasas y aceites, que se recogen por la parte superior, y al mismo tiempo, la sedimentación de arenas en la parte inferior.

El proceso de **desarenado** se utiliza para **separar la arena, grava, etc., arrastrada en suspensión en las aguas residuales**. Esta arena origina depósitos en canales y tuberías, abrasión y desgaste sobre los elementos mecánicos en movimiento y dificulta la eliminación y digestión de los lodos separados en los tanques de sedimentación, al aumentar su densidad.

El **desengrasado** consiste en la **separación de las grasas y aceites arrastrados por el agua residual**. Las grasas en las aguas residuales crean numerosos problemas en el proceso de depuración, como por ejemplo que se adhieren a conductos o depósitos, dificultando el proceso



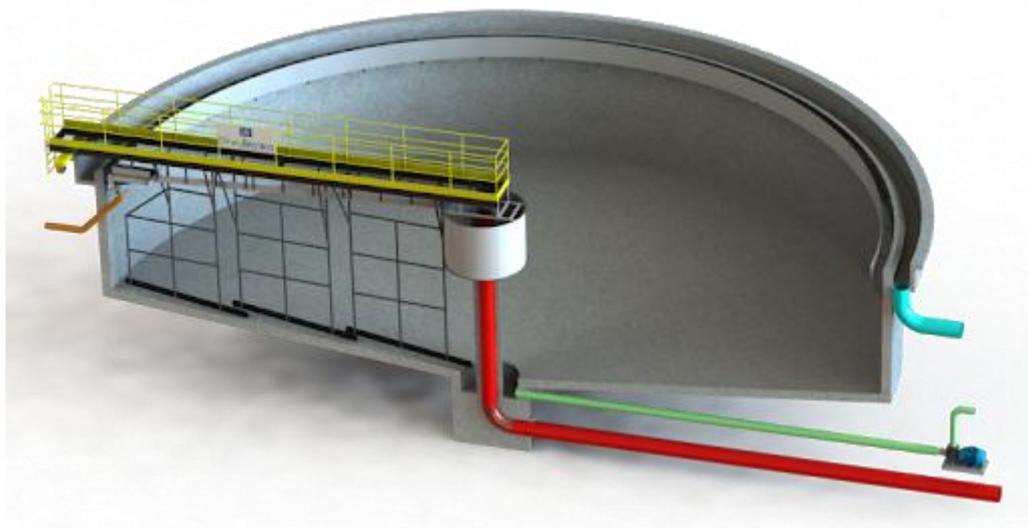
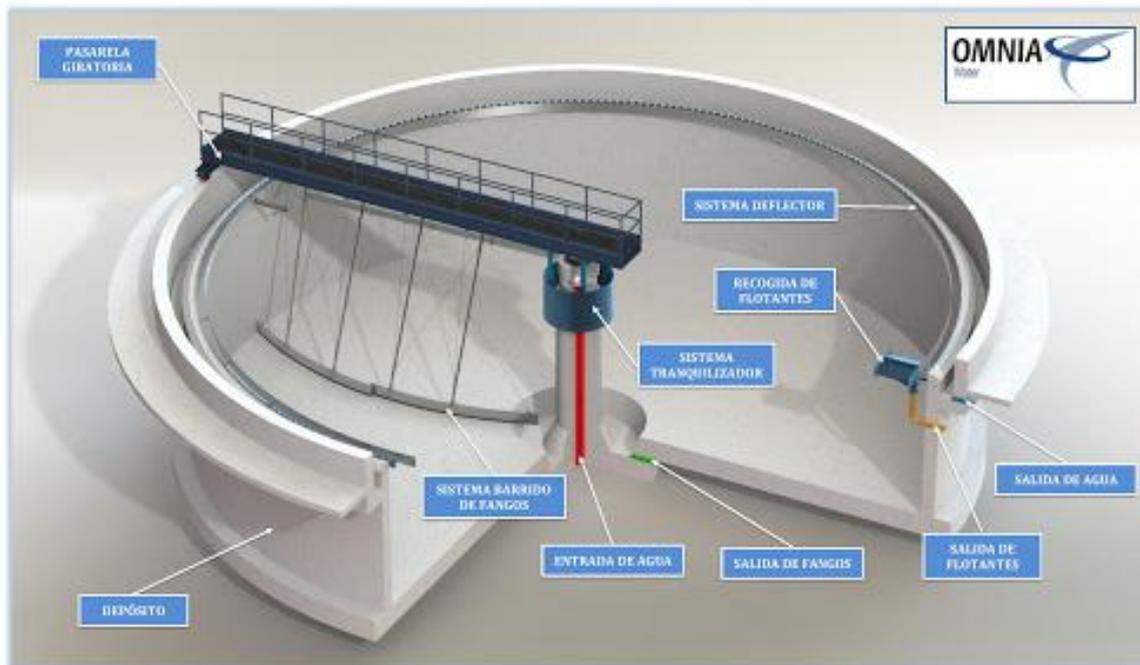
de depuración, o la formación de una capa, en la superficie de los decantadores, que dificulta la sedimentación al atraer hacia arriba pequeñas partículas de materia orgánica.

- **Homogeneización.** La situación más habitual es que la entrada de agua residual a la planta depuradora sea variable en el tiempo, tanto en lo que respecta a caudal como a carga contaminante. Estas variaciones dificultan el correcto desarrollo de los tratamientos, ya sean de tipo físico-químico o biológico. Para solventar estos problemas se puede recurrir a la igualación de caudales y/o a la homogeneización de la concentración de contaminantes. Es decir, optimizar las condiciones operativas de las fases siguientes.

## Etapa 2. Tratamiento primario (físico-químico).

Consiste en un conjunto de procesos físico-químicos que se aplican **para reducir el contenido de partículas en suspensión del agua**. Estos sólidos en suspensión pueden ser **sedimentables o flotantes**. Los primeros son capaces de llegar al fondo tras un periodo corto de tiempo mientras que los segundos están formados por partículas muy pequeñas (menor de 10 micras) integradas en el agua por lo que no son capaces ni de flotar ni de sedimentar, y para eliminarlas se requiere de otras técnicas. Una de las más comunes es la **coagulación-floculación**, que consiste en la adición de unos aditivos químicos, denominados coagulantes, para crear una atracción entre las partículas en suspensión formándose agregados de partículas más grandes y, por lo tanto, más pesados. La mezcla se agita lentamente para inducir la formación de estos agregados de partículas o floculos y luego se traslada a un depósito tranquilo de sedimentación para sedimentar los sólidos generando unos lodos o fangos (primarios) que se retiran por el fondo y se trasladan a la línea de tratamiento de lodos. Los depósitos donde se lleva a cabo este tratamiento primario se llaman **decantadores (primarios)**.







### Etapa 3. Tratamiento secundario (biológico).

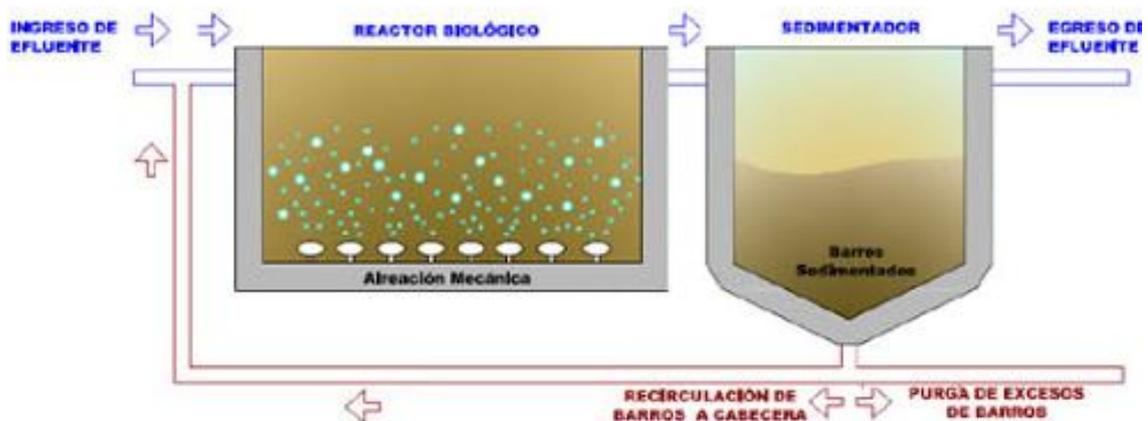
Tiene como objetivo la **degradación de la materia orgánica disuelta en las aguas residuales**. El tratamiento más habitual es el de los **fangos activos o lodos activados**, que consiste en el desarrollo de un cultivo bacteriano en condiciones aerobias (en presencia de oxígeno) en un depósito agitado, aireado y alimentado con el agua residual, que es capaz de metabolizar como nutrientes los contaminantes biológicos presentes en esa agua.

La agitación evita sedimentos y homogeneiza la mezcla de la masa bacteriana con el agua residual. La aireación tiene por objeto suministrar el oxígeno necesario tanto para las bacterias como para el resto de los microorganismos aerobios. El oxígeno puede provenir del aire, de un gas enriquecido en oxígeno o de oxígeno puro.

El proceso de depuración se lleva a cabo por los microorganismos, que se desarrollan sobre la materia orgánica, y con la presencia requerida de nutrientes (nitrógeno y fósforo, así como otros oligoelementos). Este proceso biológico requiere de una cantidad determinada de materia orgánica, ya que cantidades excesivas de estos compuestos orgánicos, metales pesados y/o sales pueden inhibirlo o destruirlo; y cantidades reducidas de nutrientes pueden no ser suficientes para mantener el proceso.

Un proceso biológico de fangos activos **se desarrolla habitualmente en dos cámaras separadas:**

- Un **reactor biológico**: tanque agitado, aireado y alimentado con el agua residual, en el que se produce la parte biológica del proceso.
- Un **decantador secundario**: tanque en el que sedimenta el fango (secundario) producido. Parte de los lodos se recirculan al tratamiento biológico, y la otra parte (lodos en exceso) se retira para mantener constante la concentración de microorganismos en el tratamiento biológico, derivándola a la línea de tratamiento de lodos.





#### **Etapa 4. Tratamiento terciario o de regeneración (opcional).**

En esta etapa se aplican métodos avanzados y complementarios, que resultan caros, cuyo objetivo principal es la **eliminación de los agentes patógenos**, sobre todo bacterias fecales, pero también para **eliminar la materia orgánica adicional que no haya sido eliminada en las etapas anteriores**, para **reducir la cantidad de nutrientes (nitrógeno y fósforo)**, para **reducir la concentración de sales solubles y de microcontaminantes inorgánicos (como metales pesados) y orgánicos, etc.** El agua sometida a este tipo de tratamiento se llama **agua regenerada**.



Este tratamiento es opcional y caro, y normalmente solo se hace cuando el agua se va a reutilizar para riego de zonas verdes o campos de golf, para el llenado de estanques o fuentes públicas, para la limpieza de calles, o en el caso de que los cauces receptores se encuentren en espacios protegidos o con una alta calidad en sus aguas, o si se va a utilizar para agricultura. En cualquier caso, **el agua regenerada nunca se utiliza para consumo humano.**

La mayoría de las E.D.A.R. se limitan a realizar una **desinfección del agua mediante radiación ultravioleta, adicionando compuestos clorados o más habitualmente mediante una combinación de compuestos clorados y radiación ultravioleta.** De este modo se reduce la dosis de cloro empleada y se evita o reduce la formación de trihalometanos.

En las E.D.A.R. industriales si es frecuente tener que realizar tratamientos terciarios para eliminar metales, materia orgánica resistente a los tratamientos biológicos, etc. Esto requiere técnicas específicas, más complejas y más caras.

Para reducir la concentración de microcontaminantes específicos se realizan otros tratamientos como el intercambio iónico (para reducir la dureza del agua), la adsorción sobre carbón activo y la oxidación química (para eliminar materia orgánica resistente a los tratamientos anteriores), etc.





### ✓ Línea de tratamiento de lodos.

Como hemos visto antes, como resultado de las distintas etapas de depuración de las aguas residuales, se generan unos lodos que también es necesario someter a unos tratamientos antes de darles un destino definitivo.

Los lodos producidos principalmente en los tratamientos primario y secundario de la línea de aguas de una E.D.A.R. presentan las siguientes características:

- Tienen una gran cantidad de agua (95-99%), por lo que ocupan un volumen importante y son de difícil manipulación.
- Tienen gran cantidad de materia orgánica, por lo que entran fácilmente en descomposición (putrefacción), produciendo malos olores.
- Poseen una gran cantidad de organismos patógenos, causantes de enfermedades.

Todo ello hace que deban tratarse con sumo cuidado y su tratamiento suele hacerse en tres fases, encaminadas a reducir al máximo los problemas anteriormente citados:

- Reducción del agua presente en los fangos para evitar el manejo de grandes volúmenes.
- Estabilización de la materia orgánica para evitar problemas de fermentación y putrefacción.
- Conseguir una textura adecuada para que resulten manejables y transportables.

#### 1. Espesamiento.

Los lodos producidos en el tratamiento de aguas residuales poseen más del 95% de agua, por lo que ocupan volúmenes importantes, siendo por su naturaleza putrescibles. Ello hace necesario un tratamiento para modificar sus características y permitir unas condiciones tales que su evacuación y disposición final sean óptimas desde el punto de vista sanitario, medioambiental y de su manejo.

La etapa de espesamiento tiene por objeto **reducir el volumen de estos lodos mediante la eliminación parcial de agua que contienen.** Los tipos más frecuentes de espesamiento son por gravedad y por flotación.

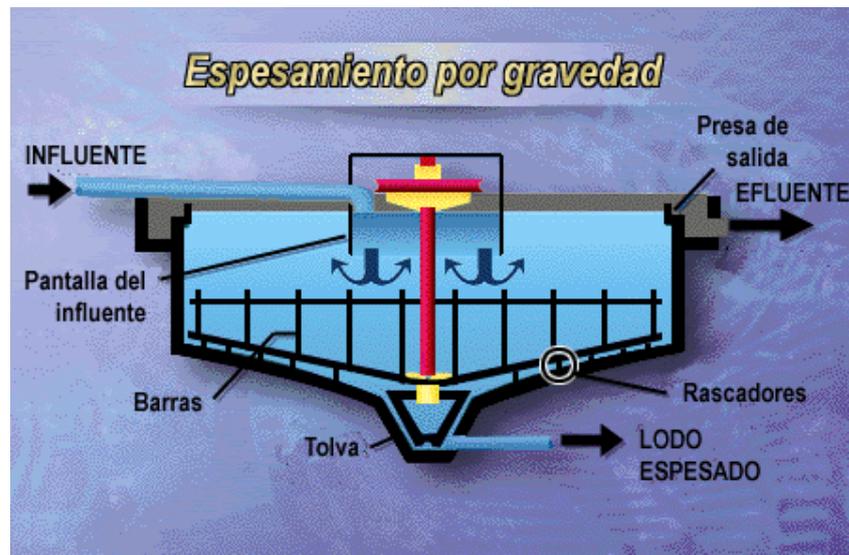
El tipo de espesamiento a aplicar dentro de la línea de lodos, depende de la procedencia del fango a espesar y del tipo de tratamiento a efectuar:

- a) El **espesamiento por gravedad** se utiliza **para los lodos primarios y los mixtos, así como para los procedentes de una precipitación química, localizándose antes del proceso de la digestión anaerobia.** En el caso de que la línea de tratamiento de lodos incluya una **estabilización aerobia** de los mismos, **el espesador se sitúa, generalmente, posterior a la misma** ya que este proceso requiere para su buen funcionamiento concentraciones no muy elevadas, no superiores al 2-2,5%.

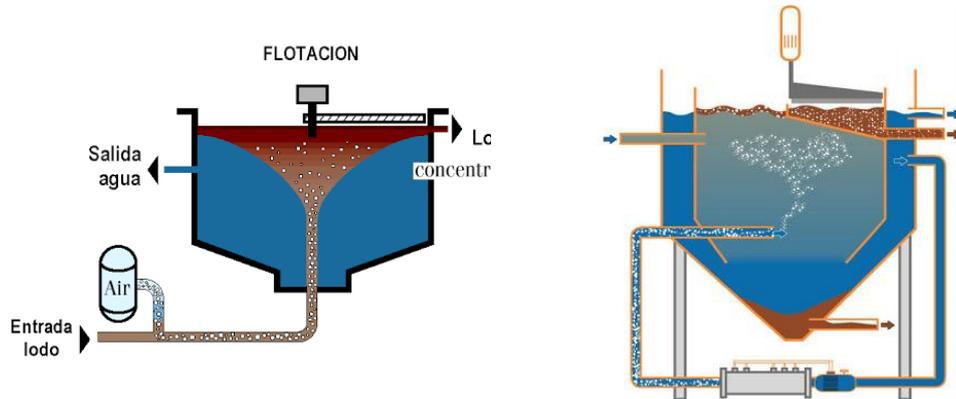


b) El **espesamiento por flotación** está indicado para concentrar los lodos biológicos en exceso procedentes del decantador secundario.

- ✓ **Espesamiento por gravedad.** El diseño de un espesador por gravedad es similar a un decantador y generalmente también son circulares. Va equipado con un mecanismo giratorio provisto de unas rasquetas de fondo para el barrido de los lodos y su conducción a una poceta central desde donde se extraen. La extracción de los fangos desde la poceta central puede realizarse por gravedad mediante válvulas o bien por aspiración directa mediante bombas. Para evitar posibles olores a menudo se procede a recubrir el espesador mediante una cubierta estanca que puede ser fija o desmontable, esta última más aconsejable ya que facilita el mantenimiento.



- ✓ **Espesamiento por flotación.** Los fangos en exceso del decantador secundario se espesan mediante el sistema de flotación debido al bajo peso específico de los flóculos, lo que dificulta enormemente su sedimentación. Mediante este procedimiento se ayuda la tendencia natural de flotar de este tipo de lodos mediante la inyección de aire, recogiendo estos en la parte superficial del espesador, que suele tener también un diseño circular, por medio de unas rasquetas. Luego se envían a un pozo de mezcla, donde se mezclan con los lodos procedentes del espesamiento por gravedad y por último, ya mezclados, se bombean para continuar el tratamiento.



Además, existe el **espesamiento por centrifugación**, alternativa válida para cualquier tipo de fango, aunque está más indicada para concentrar fangos muy hidrófilos (que difícilmente liberan el agua que contienen).

## 2. Estabilización.

En este proceso **se elimina la materia orgánica presente en los lodos** para evitar que se pudran. Esta estabilización de los lodos **se puede hacer por vía biológica (aerobia o anaerobia), térmica o química.**

**En la mayoría de las E.D.A.R. se realiza una estabilización biológica anaerobia** en una serie de digestores en los que tienen lugar las reacciones de fermentación que estabilizan la materia orgánica, obteniéndose como subproducto un gas cuyo principal componente es el metano (biogás). Este biogás se aprovecha después como fuente de energía en la planta, llegando a satisfacer gran parte de sus necesidades energéticas.

Los fangos provenientes de la etapa de espesamiento de una E.D.A.R. tienen una concentración de sólidos que puede ir desde el 8-10% en los fangos primarios, hasta el 4-7% en fangos mixtos, o el 2-3% en fangos activos. De este contenido total de materia sólida de un fango se puede considerar que aproximadamente un 70% en peso está formado de materia orgánica y un 30% de materia inorgánica o mineral. Sólo la primera puede descomponerse en un proceso de digestión o estabilización.

En un proceso de digestión anaerobia se consigue:

- La reducción del volumen ocupado por los fangos.
- La eliminación o destrucción de gran parte de la materia orgánica que contienen los fangos, disminuyendo así el riesgo de putrefacción y la producción de malos olores.
- La destrucción casi total de gérmenes patógenos.
- La obtención de metano, de gran poder calorífico, que puede ser utilizado como fuente de energía dentro de la planta.



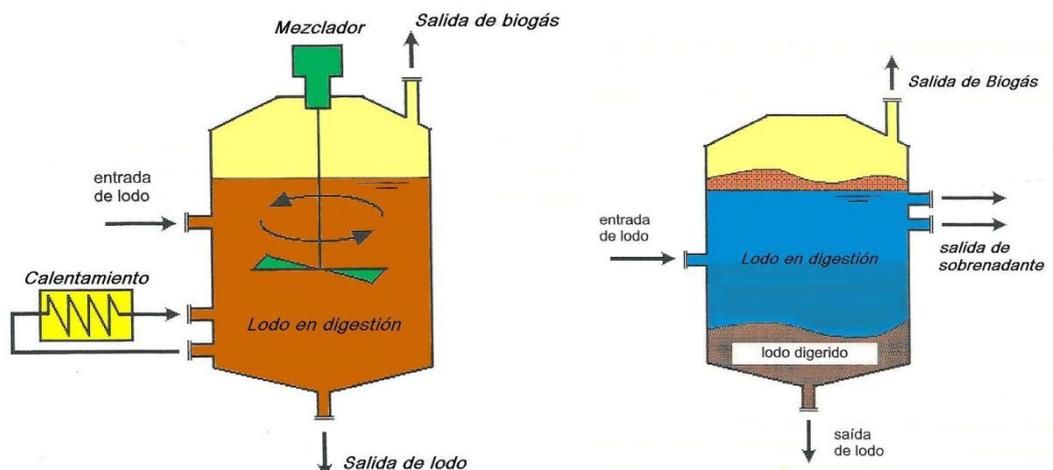
En un tanque de digestión anaerobia los sólidos orgánicos procedentes de las aguas residuales se descomponen (el volumen de sólidos totales se reduce, por tanto) en ausencia de oxígeno. Esto es llevado a cabo por la acción de al menos dos grupos diferentes de bacterias que viven juntas en el mismo medio:

- Las bacterias formadoras de ácidos, que convierten los sólidos complejos en sólidos más simples (ácidos orgánicos), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ), fundamentalmente. El pH óptimo de crecimiento es bajo.
- Las bacterias formadoras de metano, que convierten los ácidos orgánicos en metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ). El pH óptimo de crecimiento es próximo a la neutralidad.

En general, se considera que un digestor funciona adecuadamente cuando la reducción de sólidos orgánicos (volátiles) en el fango de salida está entre un 40% y un 60 % del existente en el fango de entrada. Para conseguir esto se debe de controlar de tal manera el digestor que las reacciones de formación de ácidos y las reacciones de formación de metano estén en equilibrio. Esto se puede conseguir mediante el control de parámetros tales como:

- El suministro de alimento (sólidos orgánicos) al digestor.
- El mezclado dentro del digestor.
- La temperatura dentro del digestor.
- La relación de ácidos volátiles/alcalinidad dentro del digestor.

La causa más frecuente de desequilibrio es que las bacterias formadoras de metano son organismos anaerobios muy sensibles y de crecimiento más lento, por lo que a veces no siguen el ritmo de las formadoras de ácidos y el digestor se acidifica porque la velocidad de transformación de los ácidos es demasiado baja.





### 3. Acondicionamiento, deshidratación (y secado).

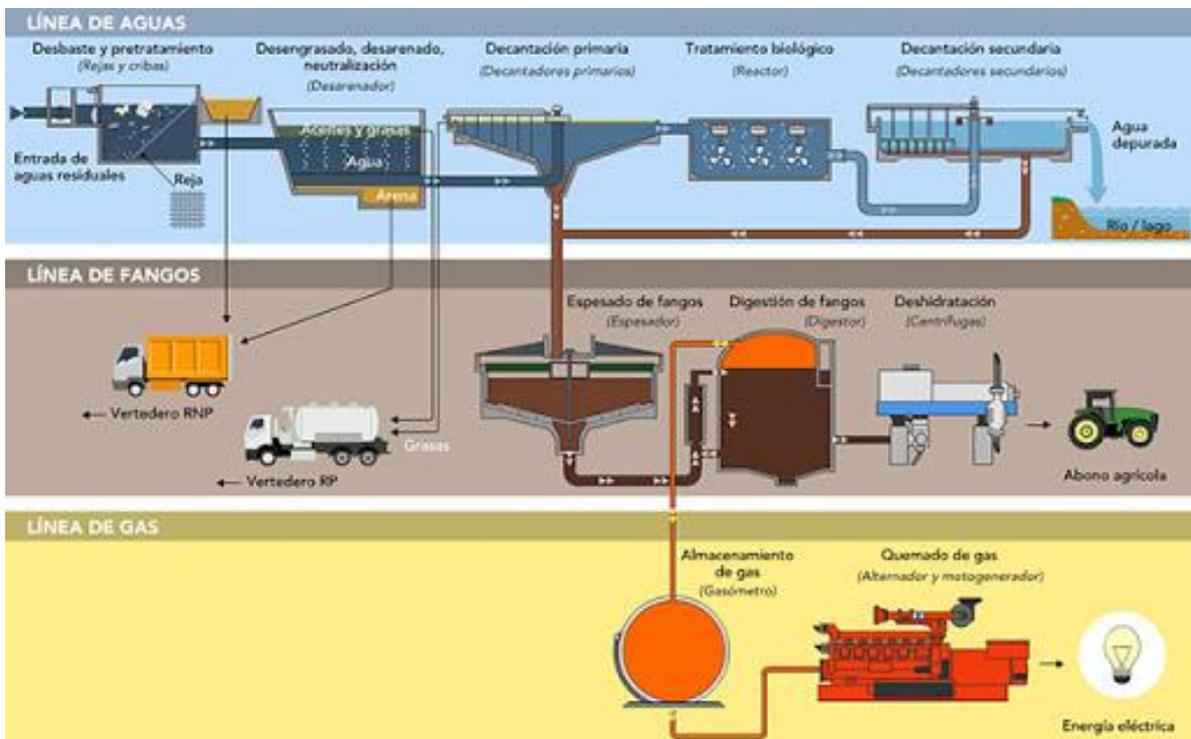
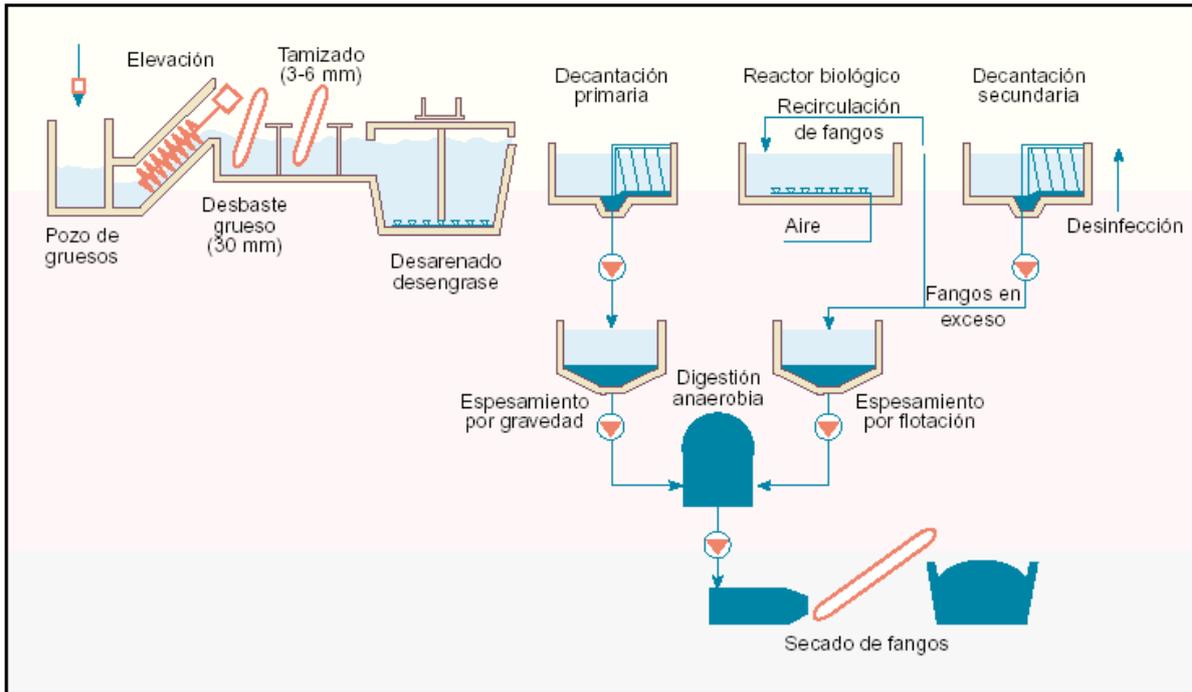
Una vez estabilizados, los lodos se someten a un tratamiento de acondicionamiento químico o térmico previo a la deshidratación posterior para que ésta sea más efectiva. El **acondicionamiento químico** (floculación) consiste, básicamente, en romper la estabilidad de las partículas que están en el fango, aumentando su tamaño artificialmente mediante la adición de unos reactivos (floculantes), entre los cuales cabe destacar la cal ( $\text{CaO}$ ) y el cloruro férrico ( $\text{FeCl}_3$ ) que conducen a la formación de un flóculo (aglomerado) relativamente fino y estable. El **acondicionamiento térmico**, por su parte, consiste en una cocción de los fangos a una temperatura comprendida entre  $160^\circ\text{C}$  y  $210^\circ\text{C}$ . La sequedad que se consigue en fangos acondicionados térmicamente es, generalmente, superior a las que se consiguen cuando se emplean reactivos químicos.

La **deshidratación** puede hacerse mediante distintos tratamientos como pueden ser filtros de bandas, filtros de vacío, filtros prensa o centrifugas. Así se suele conseguir una concentración de sólidos en torno a un 20%-40%.



Si finalmente se aplica un **secado térmico**, pueden conseguirse lodos con un 70%-90% de sólido seco. El lodo se desinfecta y posteriormente se valoriza energéticamente (se usa como combustible) o se utiliza como fertilizante en la agricultura.









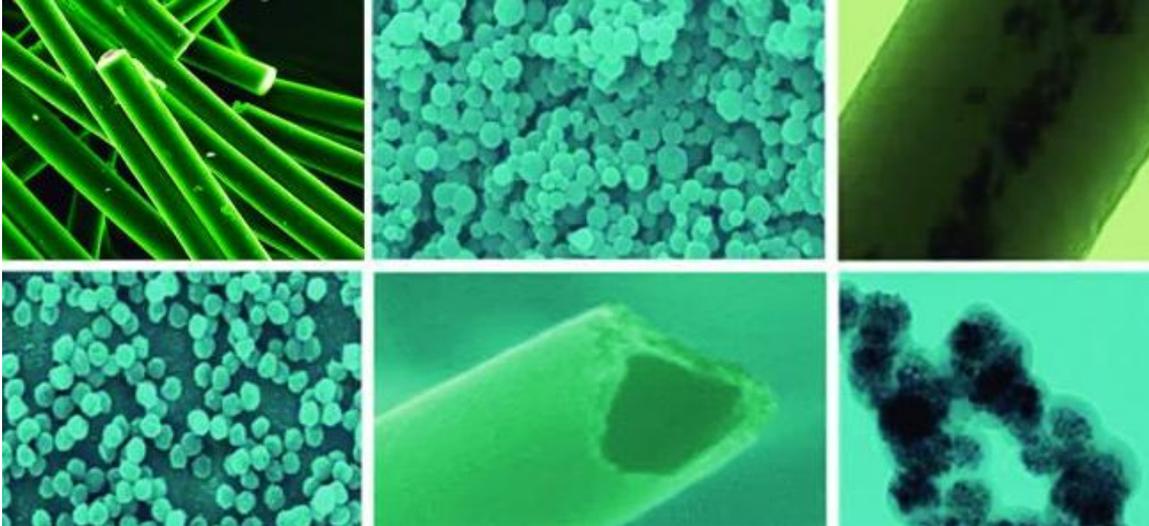
### IDEAS CLAVE

- La hidrosfera está formada por toda el agua que hay en nuestro planeta, en todas sus formas. Sólo un 3% de ella es dulce.
- El ciclo del agua es el proceso de circulación del agua por la naturaleza; durante él se producen los siguientes procesos: evaporación, condensación, precipitación, infiltración y transpiración.
- El agua es un recurso imprescindible para la vida, pero cada vez más escaso, debido al crecimiento demográfico, el incremento en la demanda de agua y su contaminación. La escasez de agua es uno de los principales desafíos de la humanidad para el futuro.
- Cada vez un mayor número de países están sometidos a un severo estrés hídrico. Es vital gestionar el agua de forma eficiente, reduciendo su consumo y aprovechando de la mejor manera posible los recursos disponibles (embalses, trasvases, etc.).
- Las principales actividades humanas responsables de la contaminación del agua son las que se desarrollan en los núcleos de población, la industria, la agricultura y la ganadería.
- Los principales efectos que genera esta contaminación son la contaminación, la sobreexplotación y la salinización de los acuíferos subterráneos, la eutrofización y los daños que se producen sobre la flora, la fauna y la salud humana.
- Hay una gran variedad de contaminantes que pueden estar presentes en las aguas residuales: sólidos en suspensión, materia orgánica, metales pesados, pesticidas, nutrientes, agentes patógenos, sustancias radiactivas,...
- La caracterización de las aguas implica el análisis de una serie de parámetros o características físicas, químicas, biológicas y radiológicas para determinar sus posibles usos, la eficacia de los tratamientos de depuración y el cumplimiento de la legislación vigente.
- Antes de reutilizarla o proceder a su vertido al medio, las aguas residuales tienen que ser descontaminadas en una E.D.A.R. El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes físicos, químicos y biológicos presentes en las mismas.
- En una E.D.A.R. se realiza la descontaminación de las aguas residuales y el tratamiento de los lodos que se producen en dicho proceso para poder ser valorizados energéticamente o utilizarlos como fertilizante en la agricultura.



## LECTURA

<http://blog.nanomyp.com/10-aplicaciones-de-la-nanotecnologia>



### 10 aplicaciones de la nanotecnología

La nanotecnología (...) manipula la materia a escala nanométrica para fabricar materiales y dispositivos con aplicaciones en sectores como la electrónica, la energía o la medicina. Esta tecnología tiene diversas aplicaciones y actualmente se están desarrollando dispositivos capaces de desarrollar fármacos con nanomateriales, como una piel artificial.

A continuación vamos a comentar 10 sorprendentes aplicaciones de la nanotecnología:

#### 1. Lentes de contacto de realidad aumentada.

Permiten visualizar simultáneamente contenido virtual con la visión real. Funciona proyectando sobre la retina la imagen virtual. Esta pasa a través de la óptica central de la lente y al unirse con la visión real se percibe como una sola. Está fabricada con microcomponentes tan pequeños que no interfieren con la visión. Estas lentes también pueden corregir y aumentar la nitidez de la visión del mundo real.

#### 2. Pantallas holográficas.

Capaz de reproducir imágenes en tres dimensiones sin necesidad de gafas. Permitirá además manipular el holograma con gestos. E incluso podría proporcionar la sensación física del tacto. Cada pantalla LCD tiene un componente, llamado «luz de fondo», que se compone de una fuente de luz y una guía de luz. Funciona controlando la ruta de la luz a través de interconexiones ópticas que dependen de estructuras a nanoescala. Este sistema hace que los rayos de luz viajen en direcciones precisas. De tal forma que al mezclarse se percibe un holograma transparente.



### 3. Potabilización del agua.

Se trata de un libro, llamado «The Drinkable Book», que tiene hojas que actúan potabilizando el agua. Su papel está recubierto de nanopartículas de plata que actúan como filtro y eliminan el 99.9% de las bacterias que se encuentran en el agua. Cada hoja puede potabilizar 100 litros de agua y un libro puede filtrar el suministro de agua de una persona durante unos cuatro años. Este proyecto trata de simplificar el proceso de potabilización de agua en países del tercer mundo. Y podría suministrar agua potable a millones de personas.

### 4. Conservación de alimentos.

Se ha desarrollado una película de plástico transparente capaz de bloquear el oxígeno, el dióxido de carbono y la humedad antes de que puedan llegar a los alimentos. El plástico contiene nanopartículas de sílice en un compuesto polimérico, que además lo hace más ligero, fuerte y resistente al calor. Algunos tipos de plástico pueden conseguir triplicar la vida útil de algunos alimentos. También se han desarrollado envases inteligentes con sensores integrados, que detectan patógenos alimentarios haciendo que el envase cambie de color. Esto alerta al consumidor en caso de que el alimento se haya contaminado.

### 5. Nanobaterías.

Investigadores estadounidenses han desarrollado una nanobatería del tamaño de un grano de arena. Ha sido construida con una impresora 3D. Con un microinyector que deposita capas de una pasta de óxido de litio, formando dos estructuras en forma de peine, con diminutos electrodos que tienen un tamaño inferior a 100  $\mu\text{m}$ . Su capacidad de carga y descarga y su ciclo de vida son comparables a cualquier batería actual. Estas baterías podrán utilizarse para alimentar múltiples dispositivos existentes. Además permitirá la fabricación de otros nuevos aún más pequeños.

### 6. Baterías de carga ultrarrápida.

Científicos de Tel-Aviv han sido capaces de diseñar una batería que se carga en 60 segundos. Funciona con nanocristales formados por aminoácidos. Aguantan miles de ciclos de carga y descarga. Este sistema combina la carga rápida con una acumulación de energía superior a la de las baterías de litio. También han desarrollado un cargador especial. Esta batería tiene el potencial de convertirse en un estándar del mercado para la carga rápida. También el de usarse en vehículos eléctricos.

### 7. Nanomaterial bactericida.

Se trata de un nanomaterial que acaba con las bacterias usando los picos de su superficie para destruirlas. Está fabricado con una estructura de nanosilicio negro, que se ha diseñado imitando la estructura de las alas de la libélula. Este material supera la eficacia del diseño de la naturaleza y puede matar bacterias y esporas bacterianas. El proceso de fabricación de este material es simple, rápido y compatible con la producción a gran escala. Tendría importantes aplicaciones industriales y biomédicas.



#### 8. Piel artificial.

Protege a la piel real de la deshidratación, además de rejuvenecerla quitando las arrugas. También protege contra los efectos dañinos de los rayos ultravioleta y puede usarse para administrar medicamentos para la piel de forma gradual. Este nanomaterial es un gel transparente, que al secarse resulta prácticamente invisible. Está elaborado a base de xilosano. Tras las pruebas realizadas en un hospital de Boston no se han registrado inflamaciones ni irritaciones en la piel.

#### 9. Nanosensores.

Se están desarrollando nanosensores que serán utilizados en conjunto para medir la presión sanguínea, la respiración, la glucosa en sangre o el colesterol, entre otros indicadores fisiológicos. También se pondrán emplear para detectar ataques cardíacos a través de chips que detectan los síntomas y advierten al paciente a través del teléfono. Existen otros sensores compuestos de silicio y oro que detectan las proteínas secretadas por los tumores en sus primeros estadios. Esto ayudará a mejorar la detección temprana del cáncer. Además se trata de un sistema sencillo, asequible y muy superior a los sistemas de detección actuales.

#### 10. Nanobots administradores de fármacos.

Son capaces de destruir células cancerígenas de manera selectiva. Se desplazan por el torrente sanguíneo introducidos en bacterias, que se dirigen directamente hacia foco canceroso. Allí liberan el medicamento directamente sobre el tumor. Ya se han realizado exitosamente pruebas en ratones y se está trabajando para su uso en personas. Es un sistema más eficiente y menos perjudicial que la quimioterapia, ya que no afecta a otras partes del cuerpo y podría evitar potencialmente los efectos secundarios.



## ACTIVIDADES

- 1.- ¿Qué es el ciclo del agua? Nombra sus etapas y explica en qué consiste cada una de ellas.
- 2.- Busca información sobre el concepto de “estrés hídrico” y defínelo. Averigua también qué zonas de España están sometidas a un mayor estrés hídrico.
- 3.- Explica cuáles son las principales causas y las principales consecuencias de la escasez de agua en el mundo.
- 4.- Busca información y haz una relación de los embalses y pantanos que hay en nuestra provincia y localízalos en un mapa de situación. ¿Cuál es el nivel actual de agua en dichos embalses y pantanos?
- 5.- ¿Para qué se utilizan los pesticidas, herbicidas e insecticidas? ¿Cómo pueden llegar estos productos a contaminar las aguas? ¿Cómo pueden llegar a afectar al ser humano y qué consecuencias puede tener este hecho?
- 6.- Explica a qué llamamos contaminantes emergentes y cita ejemplos.
- 7.- ¿Qué aguas residuales son más contaminantes, las urbanas o las industriales? Justifica tu respuesta.
- 8.- ¿Qué son los purines? ¿Qué problemas medioambientales generan? ¿Cómo crees que podrían solucionarse dichos problemas?
- 9.- Explica cuáles son los principales problemas que generan las aguas contaminadas.
- 10.- Explica el significado de los siguientes conceptos: lixiviación y eutrofización.
- 11.- Define qué es la turbidez del agua. ¿A qué se debe?
- 12.- Explica qué es la DBQ y la DQO. ¿Qué diferencia existe entre ambas? ¿Por qué es importante la relación  $DBO_5/DQO$ ?
- 13.- Explica qué son los siguientes parámetros químicos del agua: pH, conductividad, alcalinidad y dureza.
- 14.- En el proceso de depuración de las aguas residuales:
  - a) ¿Por qué es importante estabilizar los lodos estabilizando la materia orgánica presente en ellos?
  - b) ¿Para qué se utilizan los lodos una vez tratados?
  - c) En la estabilización anaerobia de los lodos, ¿qué gas se produce? ¿Para qué se utiliza?
- 15.- ¿En qué consiste el tratamiento de regeneración de las aguas residuales? ¿Siempre se hace? ¿Para qué se usan las aguas regeneradas? ¿Crees que sería adecuado usar el agua regenerada para el riego de cultivos de alimentos que luego vamos a consumir? ¿Por qué?



Materia	Criterio de evaluación	Instrumento
CAAP4°ESO	B2C4: Precisar los agentes contaminantes del agua e informar sobre el tratamiento de depuración de las mismas. Recopilar datos de observación y experimentación para detectar contaminantes en el agua.	Actividad B2C4/1

Como sabemos, la actividad humana (doméstica o urbana, industrial, agrícola, ganadera, etc.) provoca la contaminación de las aguas usadas en dichas actividades, existiendo como consecuencia de ello una importante cantidad de contaminantes en las aguas residuales.

1.- Haz un esquema-resumen completo donde aparezcan los contaminantes más importantes que pueden encontrarse en las aguas residuales.

2.- Busca información sobre las siguientes sustancias, indica brevemente para qué se usan y en qué grupo de contaminantes de las aguas residuales las incluirías:

- Queroseno.
- Ciclohexano.
- Fosfato monopotásico.
- Cobalto-60.
- Amoxicilina.
- Compuestos de cadmio.



Materia	Criterio de evaluación	Instrumento
CAAP4ºESO	B2C4: Precisar los agentes contaminantes del agua e informar sobre el tratamiento de depuración de las mismas. Recopilar datos de observación y experimentación para detectar contaminantes en el agua.	Actividad B2C4/2

Sabemos que la caracterización de un agua implica el análisis de una serie de parámetros o características físicas, químicas, biológicas y radiológicas para determinar:

- ✓ Sus posibles usos.
- ✓ La eficacia de los tratamientos de depuración.
- ✓ El cumplimiento de la legislación vigente.

1.- Haz un esquema-resumen completo donde aparezcan las características físicas y las características químicas más importantes de las aguas residuales.

2.- Explica qué es la turbidez y cómo afecta a la calidad del agua.

3.- Indica la diferencia entre DBO y DQO. Si la relación DBO5/DQO es alta, ¿el agua es fácilmente biodegradable o difícilmente biodegradable? Justifica tu respuesta.

4.- Elige un par de metales pesados, busca información sobre ellos e indica algunos usos y sus posibles efectos sobre las personas si se acumulan en el organismo humano.

5.- ¿Qué son agentes patógenos? ¿Qué tipos pueden estar presentes en las aguas residuales? ¿Qué enfermedades pueden ocasionar a las personas?



Materia	Criterio de evaluación	Instrumento
CAAP4ºESO	B2C4: Precisar los agentes contaminantes del agua e informar sobre el tratamiento de depuración de las mismas. Recopilar datos de observación y experimentación para detectar contaminantes en el agua.	Actividad B2C4/3

Como sabemos, el tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes físicos, químicos y biológicos presentes en las mismas. El objetivo del tratamiento es producir agua “limpia” (agua residual tratada, que puede eliminarse con seguridad vertiéndola al medio o ser reutilizada para determinados fines) y un residuo sólido o fango (también llamado lodo) que puede tener el mismo destino.

- 1.- Haz un esquema-resumen completo donde aparezcan las distintas etapas que se llevan a cabo para la depuración de las aguas residuales y para el tratamiento de los lodos que se generan (es muy importante que indiques cuáles son los contaminantes principales que se eliminan en cada etapa).
- 2.- ¿Se puede volver a utilizar el agua tratada en una E.D.A.R.? Indica posibles usos del agua tratada y otros usos para los cuales no debe utilizarse.
- 3.- ¿Qué destino pueden tener los lodos procedentes de la línea de tratamiento de lodos de una E.D.A.R.?
- 4.- ¿En qué momento del tratamiento de las aguas residuales que se lleva a cabo en una E.D.A.R. se produce el biogás? ¿Qué es el biogás? ¿Para qué se utiliza?