

## **COMPETENCIA SOBRE AGUA, ENERGÍA Y AMBIENTE**

5° ciclo - año 2011

**Bibliografía 13° programa:**

**Temas:**

- 1) Efluentes industriales**
- 2) Energía nuclear**

# 1 - EFLUENTES INDUSTRIALES

## INTRODUCCIÓN

El 59% del consumo total de agua en los países desarrollados se destina a uso industrial, el 30% a consumo agrícola y un 11% a gasto doméstico, según se constata en el primer informe de Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos del mundo, Agua para todos, agua para la vida (marzo 2003). En 2025, el consumo de agua destinada a uso industrial alcanzó alrededor de los 1.170 km<sup>3</sup> / año, cifra que en 1995 se situaba en 752 km<sup>3</sup> / año. El sector productor no sólo es el que más gasta, también es el que más contamina.

Más de un 80% de los desechos peligrosos del mundo se producen en los países industrializados, mientras que en las naciones en vías de desarrollo un 70% de los residuos que se generan en las fábricas se vierten al agua sin ningún tipo de tratamiento previo, contaminando así los recursos hídricos disponibles.

Estos datos aportan una idea de la importancia que tiene el tratamiento y la reutilización de aguas residuales en el sector industrial en el mundo, y más aún en países que saldan su balance de recursos hídricos con números rojos.

El agua es tanto un derecho como una responsabilidad, y tiene valor económico, social y ambiental. Cada ciudadano, cada empresa, ha de tomar conciencia de que el agua dulce de calidad es un recurso natural, cada vez más escaso tanto a nivel superficial como subterráneo, necesario no sólo para el desarrollo económico, sino imprescindible como soporte de cualquier forma de vida en la naturaleza. No cabe duda de que la industria es motor de crecimiento económico y, por lo tanto, clave del progreso social. Sin embargo, demasiado a menudo la necesidad de maximizar el proceso productivo excluye de la planificación la tercera pata del progreso, la protección del Medio Ambiente.

El adecuado tratamiento de aguas residuales industriales y su posterior reutilización para múltiples usos contribuye a un consumo sostenible del agua y a la regeneración ambiental del dominio público hidráulico y marítimo y de sus ecosistemas. Sin olvidar que el agua de calidad es una materia prima crítica para la industria.

*La contaminación y los residuos industriales están poniendo en peligro los recursos hídricos, dañando y destruyendo los ecosistemas del mundo entero.*

Esto amenaza la seguridad hídrica de las personas y de las industrias consumidoras de agua. Las municipalidades están comprobando que la calidad del agua que suministran se ve comprometida por los residuos industriales. Al mismo tiempo, la contaminación también tiene un impacto económico directo sobre la pesca.

Las industrias en los países desarrollados y en vías de desarrollo que requieren agua no contaminada, comprueban que su seguridad hídrica se ve cada vez más afectada a causa del déficit y del deterioro de la calidad del agua.

La comunidad internacional ha reconocido en múltiples foros el importante papel que juega el agua en un sistema sostenible de desarrollo industrial a largo plazo. La Agenda 21, surgida de las conversaciones de Río 92, concluye en el capítulo 30 que las políticas y operaciones comerciales e industriales pueden desempeñar un papel decisivo en la conservación medioambiental y el mantenimiento de los recursos si se incrementa la eficacia de los procesos de producción y se adoptan tecnologías y procedimientos limpios, reduciendo al mínimo, e incluso evitando, los desechos.

Por su parte, el Plan de Aplicación de las Decisiones de la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible de 2002 alienta a la industria a desarrollar su función social estableciendo sistemas de ordenación ambiental, códigos de conducta, medidas de

certificación y publicación de informes sobre cuestiones ambientales y sociales. Un año más tarde, la Declaración Ministerial del Tercer Foro Mundial del Agua reunido en Kyoto propone recaudar fondos siguiendo criterios de recuperación de costes que se adapten a las condiciones climáticas, medioambientales y sociales del lugar, así como el principio de “contaminador paga”.

### **Frenar la contaminación industrial significa mejorar la gobernabilidad medioambiental.**

Es posible disociar el desarrollo industrial de la degradación del medio ambiente, reducir drásticamente el consumo de recursos naturales y de energía y, al mismo tiempo, contar con industrias limpias y rentables.

Para que dicho desarrollo sea sostenible, es importante contar con las disposiciones legales e institucionales necesarias. Ya existe un gran número de iniciativas de gobernabilidad de este tipo, tanto a nivel nacional e internacional, como en el sector industrial y en las empresas. Algunos de los convenios internacionales y acuerdos medioambientales multilaterales más recientes y fundamentales relativos al uso industrial del agua y a los impactos de la contaminación son:

- *El Convenio de Basilea* sobre el control de los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y su eliminación. Este convenio provee un mecanismo internacional regulador de la generación, traslado, gestión y eliminación de residuos.
- *El Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP)*, que regula la producción, manipulación, transporte y uso de ciertas sustancias químicas orgánicas de alta toxicidad que permanecen intactas en el medio ambiente durante largos periodos de tiempo y que se dispersan por extensas áreas geográficas.
- *La Directiva Marco del Agua de la Unión Europea*, relativa a la gestión integrada de cuencas hidrográficas en Europa. La Directiva coordina los objetivos de la política europea del agua y protege el agua en todas sus formas, ya se trate de aguas superficiales o subterráneas, también incorpora la Directiva relativa a la Prevención y al Control Integrados de la Contaminación (IPPC, por sus siglas en inglés), destinada a aquellas plantas industriales que registran un elevado potencial de contaminación.

**Dentro del propio sector industrial, se están haciendo esfuerzos para controlar la contaminación.** Son muchas las industrias que están, además, mejorando sus estrategias de uso del agua, al verse influenciadas por el cambio de actitud de los consumidores, la presión ejercida para lograr una mejor gobernabilidad de las empresas y las medidas para reducir costes.

En la última década, hubo un aumento exponencial en todo el mundo del número de empresas del sector industrial que trataron de obtener la **certificación ISO 14001**, norma medioambiental de carácter internacional. Las empresas que se adhieren a ella, ponen en marcha **sistemas de gestión ambiental (SGA)**, practican auditorías ambientales y evalúan sus resultados al respecto. Sus productos se adhieren a normas de ecoetiquetado y sus vertidos son gestionados mediante una evaluación del ciclo de vida. Son cada vez más las empresas que reconocen que de este modo, demuestran su compromiso con el medio ambiente y con la aplicación de medidas ecológicas, lo que mejora tanto su imagen corporativa como su competitividad.

**Cuando está en juego la calidad del agua, el vertido cero de efluentes debería ser el objetivo principal de las empresas y las municipalidades.**

El vertido cero de efluentes implica el reciclado del agua y la recuperación de todos

los residuos, evitando el vertido de sustancias contaminantes al medio ambiente acuático. En el caso de que el vertido cero no resulte ni técnica ni económicamente factible, existe toda una serie de buenas prácticas intermedias que se pueden aplicar en las fábricas para reducir el impacto industrial sobre la calidad del agua.

**Las medidas de carácter voluntario y las iniciativas de autorregulación permiten a las industrias supervisar el rendimiento y demostrar su compromiso con la mejora del medio ambiente.**

Las Evaluaciones de Impacto Ambiental (EIA) y los Sistemas de Gestión Ambiental (SGA) son dos de las formas básicas para ello. Las EIA estudian el impacto ambiental de nuevos proyectos o de la expansión significativa de proyectos en marcha, mediante evaluaciones científicas y consultas a las autoridades públicas y medioambientales. Un SGA (la norma ISO 14001, por ejemplo) contribuye a la puesta en marcha de la política medioambiental de una empresa mediante la atribución de responsabilidades, la definición de objetivos medioambientales y de procedimientos operativos, así como de sus necesidades de capacitación y la identificación de los sistemas de supervisión y comunicación que convendría aplicar. La norma medioambiental ISO 14001 proporciona a las compañías un marco reconocido a nivel internacional con el que pueden demostrar su compromiso medioambiental, a la vez que mejoran sus beneficios y su competitividad.

## **Características de los efluentes industriales**

A diferencia de las aguas residuales domésticas, los efluentes industriales contienen con frecuencia sustancias que no se eliminan por un tratamiento convencional, bien por estar en concentraciones elevadas, o bien por su naturaleza química. Muchos de los compuestos orgánicos e inorgánicos que se han identificado en aguas residuales industriales son objeto de regulación especial debido a su toxicidad o a sus efectos biológicos a largo plazo.

Se consideraran efluentes industriales a todas las descargas residuales derivadas de los procesos industriales, como así también los vertidos originados por distintos usos del agua industrial, como ser los provenientes de las purgas de circuitos cerrados o semicerrados de la refrigeración, de producción de vapor, de recirculación de aguas de proceso, aguas de condensados, limpieza de equipos y utensilios, evacuados a cualquier destino fuera de la industria.

Las características de los efluentes difieren de los cloacales, tanto en cantidad como en calidad. Para una liquido cloacal domiciliario, las características determinantes que definen su calidad son en promedio, las siguientes:

- Residuo total por evaporación 1000 mg/l (miligramos por litro)
- pH 7
- Sólidos suspendidos 350 mg/l
- DBO<sub>5</sub> 250 mg/l
- Sulfuros 0.5 mg/l
- Grasas 40 mg/l

En cambio, para un efluente industrial, las mismas características, pueden llegar a tener los siguientes valores.

- Residuo total por evaporación (lavadero de lanas) 50.000 mg/l
- pH industria metalúrgica 2
- pH industria textil 11



- DBO<sub>5</sub> (destilerías de alcohol) 20.000 mg/l
- Sólidos suspendidos (mataderos) 2.000 mg/l
- Sulfuros (curtiembres) 30 mg/l
- Grasas (Lavado de lanas) 15.000 mg/l

En la industria, la composición de los líquidos residuales varía con el tipo de industria y con el tipo de proceso que se lleva a cabo.

El agua se utiliza como materia prima, como medio de producción, para enfriamiento o para el lavado. A medida que el agua utilizada recorre el proceso de producción se va cargando de contaminantes, que pueden ser incompatibles con el destino final a dar al líquido residual.

Mientras que todos los vertidos urbanos presentan impurezas minerales y orgánicas cuya naturaleza y concentración son bastantes similares de una ciudad a otra, y por ello sus líneas de tratamiento son análogas, los vertidos industriales, debido a su gran diversidad, necesitan una investigación propia de cada tipo de industria y la aplicación de procesos de tratamiento específicos.

Pueden citarse algunos factores principales que la contaminación industrial tiene en común con la contaminación de origen urbano, pero las vías de depuración, normalmente, deben definirse industria por industria.

Al enumerar las principales industrias, se ve que según las contaminaciones que producen, justifican tratamientos biológicos (parecidos a los de las aguas urbanas) o tratamientos estrictamente químicos (como en las industrias de ácidos)

Las plantas de tratamiento de aguas industriales deben cumplir con las normas de vertido, que no se refieren únicamente a la D.B.O. (demanda biológica de oxígeno), D.Q.O. (demanda química de oxígeno) y a los contenidos de materiales en suspensión, sino también, a un cierto número de compuestos minerales y orgánicos. Por otra parte, estas normas se definen, en varios países, según las diversas ramas profesionales.

*\* DBO: bioensayo que mide el oxígeno que consumen los organismos que utilizan la materia orgánica de una muestra, y el oxígeno disuelto en el líquido. Es una medida de la cantidad de materia orgánica que hay en el agua residual.*

*\* DQO: es el equivalente de oxígeno de toda la materia orgánica que puede oxidarse por medios químicos, mediante un agente fuertemente oxidante.*



Planta de tratamiento de efluentes (Argentina) 200m<sup>3</sup>/h

## Clasificación de las industrias según sus vertidos

Cada actividad industrial aporta una contaminación determinada, por lo que es conveniente conocer el origen del vertido industrial para valorar su carga contaminante y su incidencia en el medio receptor.

Se clasifican en cinco grupos de acuerdo con los contaminantes específicos que arrastran las aguas residuales:

**INDUSTRIAS CON EFLUENTES PRINCIPALMENTE ORGÁNICOS:** Por ejemplo: Papeleras, Azucareras, Mataderos, Curtidos, Conservas (vegetales, carnes, pescado, etc.), Lecherías y subproductos (leche en polvo, mantequilla, queso, yogur, etc.), Fermentación (fabricación de alcoholes, levaduras.), Preparación de productos, alimenticios (aceites y otros ), Bebidas, Lavanderías.

**INDUSTRIAS CON EFLUENTES ORGÁNICOS E INORGÁNICOS:** Por ejemplo: Refinerías y Petroquímicas, Coquerías, Textiles, Fabricación de productos químicos.

**INDUSTRIAS CON EFLUENTES PRINCIPALMENTE INORGÁNICOS:** Limpieza y recubrimiento de metales, Explotaciones mineras y salinas, Fabricación de productos químicos inorgánicos.

**INDUSTRIAS CON EFLUENTES CON MATERIAS EN SUSPENSIÓN:** Lavaderos de mineral y carbón, Corte y pulido de mármol y otros minerales, Laminación en caliente y colada continua

**INDUSTRIAS CON EFLUENTES DE REFRIGERACIÓN:** Centrales térmicas, Centrales nucleares

A su vez los vertidos industriales pueden ser:

1. **Continuos:** Proviene de procesos en los que existe una entrada y una salida continua de agua (Procesos de Transporte, lavado, refrigeración, entre otros).
2. **Discontinuos:** Proceden de operaciones intermedias. (Baños de decapado, baños de curtidos, lejías negras, emulsiones)

Al aumentar el tamaño de la industria, algunos vertidos discontinuos pueden convertirse en continuos.

## TRATAMIENTO DE LOS EFLUENTES INDUSTRIALES

El tratamiento de las aguas residuales es una práctica que, si bien se lleva realizando desde la antigüedad, hoy por hoy resulta algo fundamental para mantener nuestra calidad de vida. Son muchas las técnicas de tratamiento con larga tradición y, evidentemente, se ha mejorado mucho en el conocimiento y diseño de las mismas a lo largo de los años. Pero no por eso han dejado de ser técnicas imprescindibles a la hora de tratar aguas industriales.

A la hora de revisar los tratamientos unitarios más convencionales no resulta fácil establecer una clasificación universal. Una de las formas más utilizadas es en función de los contaminantes presentes en el agua residual, o también en función del fundamento del tratamiento (químico, físico o biológico). Una forma de intentar aunar ambas formas de clasificación puede ser considerar que los contaminantes en el agua pueden estar como materia en suspensión, materia coloidal o materia disuelta.

En determinados casos, también será necesario determinar el grado de toxicidad de los efluentes e identificar las sustancias responsables de dicha toxicidad.

Atento a la gran diversidad de composiciones de las aguas residuales, que

dependen del tipo de proceso industrial en el cual se generan y de las materias primas e insumos utilizados, se hace imprescindible la caracterización de dichas aguas y la cuantificación volumétrica (medición de caudales).

En primer término para determinar la calidad del líquido, es preciso realizar análisis físico – químicos y biológicos. Los principales parámetros que hay que considerar y determinar en estos análisis, son los siguientes:

**Características Físicas:** Aspecto, Color, turbiedad, olor, sólidos totales, temperatura

**Características Químicas:** Materia orgánica; DBO, DQO, carbono orgánico total, nitrógeno orgánico, compuestos tóxicos orgánicos, pH, acidez, alcalinidad, dureza, salinidad, sulfuros, compuestos orgánicos, metales pesados, gases.

**Características Biológicas:** Tipos de microorganismos presentes.

Los contaminantes presentes en el agua residual, pueden eliminarse a través de procesos **Químicos, Físicos o Biológicos**. Por otro lado los métodos individuales se clasifican en *Operaciones Unitarias Físicas* (prevalece la acción de fuerzas físicas), *Procesos Químicos Unitarios* (la eliminación o conversión de los contaminantes se consigue con la adición de productos químicos o por desarrollo de reacciones) y *Proceso Biológicos Unitarios* (la eliminación de los contaminantes se lleva a cabo gracias a la actividad biológica).

Para la buena definición de una estación de tratamiento de aguas residuales, es necesario disponer de los siguientes datos, cuidadosamente establecidos:

- Volúmenes diarios;
- Caudales horarios mínimo y máximo;
- Composición del agua de aportación al establecimiento (fábrica, industria, etc)
- Fabricaciones continuas, discontinuas;
- Importancia y periodicidad de las puntas de contaminación;
- Posibilidad de separación de circuitos;
- Posibilidades de tratamientos o de recirculaciones locales o parciales;
- Contaminaciones secundarias, incluso débiles u ocasionales, que puedan afectar seriamente al funcionamiento de ciertos órganos de los equipos de tratamiento (colas, alquitranes, fibras, aceites, arenas, etc.).

Al realizar el proyecto de una fábrica o industria, estos datos, recogidos después del análisis de las fabricaciones, deben compararse con informaciones procedentes de establecimientos similares existentes.

## Tratamientos para eliminar la materia en suspensión

La materia en suspensión puede ser de muy diversa índole, desde partículas de varios centímetros y muy densas, hasta suspensiones coloidales muy estables y con tamaños de partícula de hasta unos pocos nanómetros. También la concentración de los mismos, tanto en el agua a tratar como en el agua una vez tratada, juega un papel fundamental a la hora de la elección del tratamiento más conveniente.

Las operaciones para eliminar este tipo de contaminación de aguas suelen ser las primeras en efectuarse, dado que la presencia de partículas en suspensión suele no ser indeseable en muchos otros procesos de tratamiento.

La eliminación de esta materia en suspensión se suele hacer mediante operaciones mecánicas. Sin embargo, en muchos casos, y para favorecer esa separación, se utilizan aditivos químicos, denominándose en este caso tratamientos químico-físicos.

Las condiciones de tratamiento previo de los efluentes industriales son más variadas que en el caso de aguas residuales urbanas.

A continuación se describen las operaciones unitarias más habituales. La utilización de una u otra es función de las características de las partículas (tamaño, densidad, forma, etc.) así como de la concentración de las mismas.

**Desbaste:** El desbaste es la primera operación en las plantas de tratamiento de aguas residuales. Es una operación en la que se trata de eliminar sólidos de mayor tamaño que el que habitualmente tienen las partículas que arrastran las aguas. El objetivo es eliminarlos y evitar que dañen equipos posteriores del resto de tratamientos. Los elementos separadores pueden ser alambres, varillas, rejillas, telas mecánicas y placas perforadas. El equipo que se suele utilizar son rejillas por las que se hace circular el agua, construidas por barras metálicas de 6 o más mm, dispuestas paralelamente y espaciadas entre 10 y 100 mm. Las rejillas pueden ser: de limpieza manual, ó de limpieza automática

El **desarenado** sólo se realiza cuando los efluentes contienen una importante presencia de sólidos del tipo arena o tierra. Para eliminarlos se recurre a mecanismos estáticos o dinámicos denominados desarenadores. Estos según el diseño pueden estar ubicados antes o después de la reja de desbaste grueso.

El **desaceitado o desengrasado** se utiliza con bastante frecuencia: los hidrocarburos y aceites proceden a veces de fabricaciones, y sistemáticamente de los circuitos de engrase o de almacenamiento de carburante. Los desengrasadores son cámaras, en general en hormigón armado, dotadas de baffles de contención, vertederos y skimmers (barredores de superficie) destinados a eliminar las grasas que acompañan el efluente. Su ubicación en la secuencia de pretratamiento depende del diseño particular de cada Planta. En algunos casos existen diseños que eliminan grasas y aceites al mismo tiempo.

**Sedimentación:** La sedimentación es una operación física en la que se aprovecha la fuerza de la gravedad de las partículas más densas que el agua y así se depositan en el fondo del sedimentador. Esta operación será más eficaz cuanto mayor sea el tamaño y la densidad de las partículas a separar del agua, es decir, cuanto mayor sea su velocidad de sedimentación, siendo el principal parámetro de diseño para estos equipos. A esta operación de sedimentación se le suele denominar también **decantación**.

Realmente, este tipo de partículas (grandes y densas, como las arenas) se tienen en pocas ocasiones en aguas industriales. Lo más habitual es encontrar sólidos poco densos, por lo que es necesario, para hacer más eficaz la operación, llevar a cabo una coagulación-floculación previa, que consiste en la adición de ciertos reactivos químicos para favorecer el aumento del tamaño y densidad de las partículas. La forma de los equipos donde llevar a cabo la sedimentación es variable, en función de las características de las partículas a sedimentar (tamaño, forma, concentración, densidad, etc.).

Las partículas depositadas en el fondo de los equipos (denominados fangos) se arrastran mediante rasquetas desde el fondo donde se “empujan” hacia la salida. Estos fangos, en muchas ocasiones y en la misma planta de tratamiento, se someten a distintas operaciones para reducir su volumen y darles un destino final.

**Filtración:** La filtración es una operación en la que se hace pasar el efluente a través de un medio poroso, con el objetivo de retener la mayor cantidad posible de materia en suspensión.



El medio poroso tradicionalmente utilizado es un lecho de arena, de altura variable, dispuesta en distintas capas de distinto tamaño de partícula. Es una operación muy utilizada en el tratamiento de aguas potables, así como en el tratamiento de aguas para reutilización, para eliminar la materia en suspensión que no se ha eliminado en anteriores operaciones (sedimentación). En aguas industriales hay mas variedad en cuanto al material filtrante utilizado, siendo habitual el uso de Tierra de Diatomeas. También es habitual, para mejorar la eficacia, realizar una coagulación-floculación previa. Hay muchas maneras de clasificar los sistemas de filtración: Por gravedad ó a presión, lenta ó rápida, de torta ó en profundidad.

**Flotación:** Operación física que consiste en generar pequeñas burbujas de gas (aire), que se asociarán a las partículas presentes en el agua y serán elevadas hasta la superficie, de donde son arrastradas y sacadas del sistema. Obviamente, esta forma de eliminar materia en suspensión será adecuada en los casos en los que las partículas tengan una densidad inferior o muy parecida a la del agua, así como en el caso de emulsiones, es decir, una dispersión de gotas de un liquido inmiscible, como en el caso de aceites y grasas. En este caso las burbujas de aire ayudan a “flotar” más rápidamente estas gotas, dado que generalmente la densidad de estos líquidos es menor que la del agua. En esta operación hay un parámetro importante a la hora del diseño: La relación aire/sólidos, ml/l de aire liberados en el sistema por cada mg/l de concentración de sólidos en suspensión contenidos en el agua a tratar. Es un dato a determinar experimentalmente y suele tener un valor óptimo comprendido entre 0.005 y 0.06.

Históricamente la flotación se ha utilizado para separar la materia sólida o líquida flotante, es decir, con una menor densidad que el agua. Sin embargo la mejora en la generación de burbujas adecuadas y la utilización de reactivos para favorecer la operación (por ejemplo sustancias que disminuyen la tensión superficial) ha hecho posible la utilización de esta operación para la eliminación de materia más densa que el agua.

**Coagulación-Floculación:** Como ya se ha mencionado en muchos casos parte de la materia en suspensión puede estar formada por partículas de muy pequeño tamaño ( $10^{-6}$ – $10^{-9}$  m), lo que conforma una suspensión coloidal. Estas suspensiones coloidales suelen ser muy estables, en muchas ocasiones debido a interacciones eléctricas entre las partículas.

Por tanto tienen una velocidad de sedimentación extremadamente lenta, por lo que haría inviable un tratamiento mecánico clásico. Una forma de mejorar la eficacia de todos los sistemas de eliminación de materia en suspensión es la adición de ciertos reactivos químicos que, en primer lugar, desestabilicen la suspensión coloidal (coagulación) y a continuación favorezcan la floculación de las mismas para obtener partículas fácilmente sedimentables. Es una operación que se utiliza a menudo, tanto en el tratamiento de aguas residuales urbanas y potables como en industriales. Los coagulantes suelen ser productos químicos que en solución aportan carga eléctrica contraria a la del coloide. Habitualmente se utilizan sales con cationes de alta relación carga/masa ( $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ) junto con polielectrolitos orgánicos, cuyo objetivo también debe ser favorecer la floculación.

No hay reglas generales en cuanto a qué coagulante es más eficaz en cada caso. Normalmente, para un agua residual concreta, se hace un denominado “ensayo de jarras” (jar test) donde se analiza la eficacia de los distintos productos (o mezclas de los mismos) así como el pH y dosificación óptima.

## Tratamientos para la eliminación de materia disuelta

Al igual que en el caso de la materia en suspensión, la materia disuelta puede tener características y concentraciones muy diversas: desde grandes cantidades de sales inorgánicas disueltas (salmueras), orgánicas (materia orgánica biodegradable en industria de alimentación) hasta extremadamente pequeñas cantidades de inorgánicos (metales pesados) y orgánicos (pesticidas), que hacen necesaria su eliminación dado su carácter peligroso.

Algunos de estos tratamientos están siendo desplazados por otros más avanzados y emergentes, como son los procesos de oxidación avanzada y las operaciones con membrana, y especialmente en el caso de las aguas industriales

**Precipitación:** Consiste en la eliminación de una sustancia disuelta indeseable, por adición de un reactivo que forme un compuesto insoluble con el mismo, facilitando así su eliminación por cualquiera de los métodos descritos en la eliminación de la materia en suspensión. Algunos autores incluyen en este apartado la coagulación-floculación. Sin embargo, el término precipitación se utiliza mas para describir procesos como la formación de sales insolubles, o la transformación química de un ión en otro con mayor o menor estado de oxidación que provoque la formación de un compuesto insoluble.

Un reactivo de muy frecuente uso en este tipo de operaciones es el  $\text{Ca}^{2+}$ , dada la gran cantidad de sales insolubles que forma, por ejemplo es el método utilizado para la eliminación de fosfatos (nutriente). Además posee cierta capacidad coagulante, lo que hace su uso masivo en aguas residuales urbanas y muchas industriales de características parecidas.

**Procesos Electroquímicos:** Está basado en la utilización de técnicas electroquímicas, haciendo pasar una corriente eléctrica a través del agua (que necesariamente ha de contener un electrolito) y provocando reacciones de oxidación-reducción tanto en el cátodo como en el ánodo. Por lo tanto se utiliza energía eléctrica como vector de descontaminación ambiental, siendo su costo uno de las principales desventajas de este proceso. Sin embargo como ventajas cabe destacar la versatilidad de los equipos, la ausencia tanto de la utilización de reactivos como de la presencia de fangos y la selectividad, pues controlar el potencial de electrodo permite seleccionar la reacción electroquímica dominante deseada.

Las consecuencias de las reacciones que se producen pueden ser indirectas, como en el caso de la electrocoagulación, electroflotación o electrofloculación, donde los productos formados por electrolisis sustituyen a los reactivos químicos, y supone una alternativa con futuro a la clásica adición de reactivos.

Sin embargo, la aplicación que está tomando un auge importante es en el tratamiento de aguas residuales industriales, a través de una oxidación ó reducción directa.

- **Oxidación en ánodo:** En el ánodo se puede producir la oxidación de los compuestos a eliminar, tanto orgánicos como inorgánicos. Esta oxidación se puede producir directamente por una transferencia de electrones en la superficie del ánodo o bien por la generación de un agente oxidante *in-situ*. En este último caso se evita manipular agentes oxidantes. Entre las aplicaciones de la oxidación directa cabe destacar el tratamiento de cianuros, colorantes, compuestos orgánicos tóxicos (en algunas ocasiones haciéndolos más biodegradables), incluso la oxidación de Cr(III) a Cr(VI), más tóxico pero que de esta forma puede

ser reutilizado. En rango de concentraciones con posibilidades de utilizar este tipo de tratamiento también es muy amplio.

- **Reducción en cátodo:** La principal aplicación de esta posibilidad es la reducción de metales tóxicos. Hay una primera etapa de deposición del metal sobre la superficie del cátodo que ha de continuarse con la remoción del mismo. Esto se puede hacer por raspado, disolución en otra fase, etc.

El reactor electroquímico utilizado suele ser de tipo filtro-prensa, semejante a las pilas de combustible. Este sistema permite un crecimiento modular del área. Básicamente cada módulo se compone de un elemento catódico de bajo sobrevoltaje a hidrógeno (Pt, Au, Acero Inoxidable, Ni,...) y un elemento anódico que utiliza como base óxidos de metales nobles.

**Intercambio iónico:** Es una operación en la que se utiliza un material, habitualmente denominado “resinas de intercambio iónico”, que es capaz de retener selectivamente sobre su superficie los iones disueltos en el agua, los mantiene temporalmente unidos a la superficie, y los cede frente a una disolución con un fuerte regenerante.

La aplicación habitual de estos sistemas, es por ejemplo, la eliminación de sales cuando se encuentran en bajas concentraciones, siendo típica la desmineralización y el ablandamiento de aguas, así como la retención de ciertos productos químicos y la desmineralización de jarabes de azúcar.

Hay sustancias naturales (zeolitas) que tienen capacidad de intercambio, pero en las industrias se utilizan resinas poliméricas de fabricación sintética con muy claras ventajas de uso.

Entre las ventajas del proceso iónico en el tratamiento de aguas cabe destacar:

- Son equipos muy versátiles siempre que se trabaje con relativas bajas concentraciones de sales.
- Actualmente las resinas tienen altas capacidades de tratamiento, resultando compactas y económicas
- Las resinas son muy estables químicamente, de larga duración y fácil regeneración
- Existe cierta facilidad de automatización y adaptación a situaciones específicas

**Adsorción:** El proceso de adsorción consiste en la captación de sustancias solubles en la superficie de un sólido. Un parámetro fundamental en este caso será la superficie específica del sólido, dado que el compuesto soluble a eliminar se ha de concentrar en la superficie del mismo. La necesidad de una mayor calidad de las aguas está haciendo que este tratamiento esté en auge. Es considerado como un tratamiento de refino, y por lo tanto se realiza al final de los sistemas de tratamientos más usuales, especialmente con posterioridad a un tratamiento biológico.

---

#### ***Factores que afectan a la adsorción***

Solubilidad: Menor solubilidad, mejor adsorción.

Estructura molecular: Más ramificada, mejor adsorción.

Peso molecular: Grandes moléculas, mejor adsorción.

Problemas de difusión interna, pueden alterar la norma.

Polaridad: Menor polaridad, mejor adsorción.

Grado de saturación: Insaturados, mejor adsorción.

---

El sólido universalmente utilizado en el tratamiento de aguas es el carbón activo, aunque recientemente se están desarrollando diversos materiales sólidos que mejoran, en ciertas aplicaciones, las propiedades del carbón activo.

El costo es un parámetro importante a la hora de la elección del adsorbente. Alternativas al carbón activo son las zeolitas, arcillas (montmorillonita, sepiolita, bentonita, etc.), los denominados adsorbentes de bajo costo, procedentes en su mayor parte de residuos sólidos orgánicos. Recientemente se están desarrollando derivados de polisacáridos (biopolímeros derivados del almidón).

La aplicaciones de la operación de adsorción es amplia, desde sustancias orgánicas (colorantes, fenol, mercaptanos, etc) hasta metales pesados en todos sus estados de oxidación.

**Desinfección:** La desinfección pretende la destrucción o inactivación de los microorganismos que causan enfermedades. Los organismos causantes de enfermedades pueden ser bacterias, virus, protozoos y algunos otros. La desinfección se hace imprescindible para la protección de la salud pública, si el agua a tratar tiene como finalidad el consumo humano. En el caso de aguas residuales industriales, el objetivo puede ser no solo desactivar patógenos, sino cualquier otro organismo vivo, si lo que se pretende es reutilizar el agua.

Para llevar a cabo la desinfección se pueden utilizar distintos tratamientos: Tratamiento físico (calor, radiación..), ácidos o bases, etc... pero fundamentalmente se utilizan agentes oxidantes, entre los que cabe destacar el clásico Cloro ( $\text{Cl}_2$ ) y algunos de sus derivados, o bien procesos de oxidación avanzada (Ozono  $-\text{O}_3$ -, fotocátalisis heterogénea).

La utilización de desinfectantes persigue tres finalidades: producir agua libre de patógenos u organismos vivos, evitar la producción de subproductos indeseables de la desinfección y mantener la calidad bacteriológica en la red conducción posterior. El Cloro y derivados clorados son los desinfectantes más utilizados.

## Tratamientos biológicos

Constituyen una serie de procesos que tienen en común la utilización de microorganismos (bacterias) para llevar a cabo la eliminación de componentes indeseables del agua, aprovechando su actividad metabólica. La aplicación tradicional consiste en la eliminación de materia orgánica biodegradable, tanto soluble como coloidal, así como la eliminación de compuestos que contienen nutrientes (N –nitrógeno- y P –fósforo-). Es uno de los tratamientos más habituales, no solo en el caso de aguas residuales urbanas, sino en buena parte de las aguas industriales.

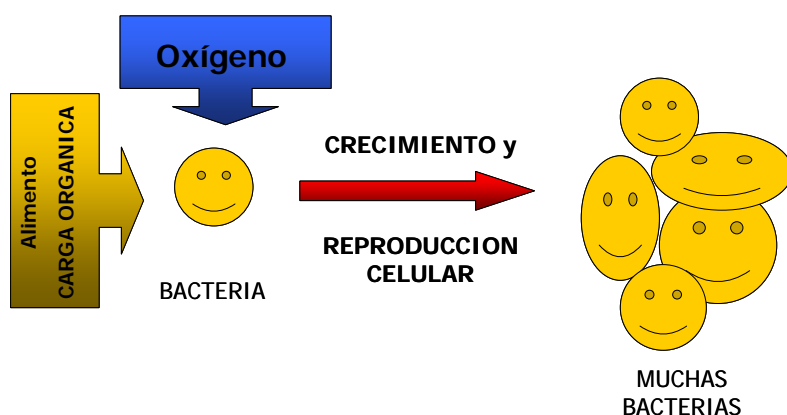
La posibilidad de recurrir a tratamientos biológicos, es decir, a una depuración de tipo biológica depende de la biodegradabilidad de los efluentes

En la mayor parte de los casos, la materia orgánica constituye la fuente de energía y de carbono que necesitan los microorganismos para su crecimiento. Además, también es necesaria la presencia de nutrientes, que contengan los elementos esenciales para el crecimiento, especialmente los compuestos que contengan N y P, y por último, en el caso de sistema aerobio, la presencia de oxígeno disuelto en el agua. Este último aspecto será clave a la hora de elegir el proceso biológico más conveniente.

## Procesos biológicos aerobios

**Lodos activados:** Se denominan así a los procesos que disponen de: una cámara de aireación o reactor biológico aeróbico, normalmente libre de medios de fijación de la biomasa, donde esta crece libremente en todo su volumen; un sedimentador secundario para separar los sólidos del líquido tratado, y de una recirculación de lodos o barros que toma los sólidos sedimentados en el sedimentador secundario y los recircula hacia el reactor biológico. Una fracción de los barros o lodos sedimentados debe ser descartada para mantener el control de la población de microorganismos en la cámara de aireación (descarte de lodos).

Dentro de los parámetros básicos de funcionamiento, un parámetro muy importante es el de la aireación. La solubilidad del oxígeno en el agua es pequeña (en torno a 8-9 mgO<sub>2</sub>/l dependiendo de presión y temperatura) por lo que será necesario asegurar el suministro a los microorganismos, utilizando aireadores superficiales, capaces de suministrar 1 kgO<sub>2</sub>/kW·h, o bien difusores. El valor mínimo de operación aconsejable de concentración de oxígeno disuelto es de 2 mg/l.



Como todo proceso biológico su esencia es el desarrollo de una microbiótica encargada de degradar la carga orgánica contenida en los efluentes a tratar, esto es el proceso debe entregar alimento y oxígeno para que las bacterias y otros microorganismos se desarrollen.

En el barro activado, la eficiencia en la depuración biológica está mejorada debido a la **recirculación** de parte de los microorganismos separados en el sedimentador secundario hacia la entrada de la cámara de aireación, obteniéndose de esta forma valores de salida mucho más bajos que en proceso sin recirculación

Cuanto más microorganismos haya presentes mayor será la remoción de los contaminantes debido a que ellos competirán por el alimento. Pero es necesario mantener un nivel de microorganismos controlado, para ello se descarta una cantidad de bacterias, como lodo, desde el fondo del sedimentador secundario. Por lo tanto, el proceso se controla mediante el **descarte de barros**.

La popularidad de este proceso se debe fundamentalmente a que es un proceso "controlable" por el operador, a diferencia de otros en que la intervención en el proceso es más dificultosa o está menos acotada.

En el proceso de **lodos activados** se requiere de los microorganismos que cumplan tres funciones esenciales para que el proceso progrese y sea eficaz:

- ♦ Deben ser capaces de metabolizar los residuos orgánicos
- ♦ Deben ser capaces de formar floculos (o flocs) orgánicos.
- ♦ Deben ser capaces de sedimentar.

**Lechos percoladores:** También denominados filtros biológicos o lechos bacterianos. Son los sistemas aerobios de biomasa inmovilizada más extendidos en la industria. Suelen ser lechos fijos de gran diámetro, rellenos con rocas o piezas de



plástico o cerámica con formas especiales para desarrollar una gran superficie. Sobre la superficie crece una fina capa de biomasa, sobre la que se dispersa el agua residual a tratar, que moja en su descenso la superficie. Al mismo tiempo, ha de quedar espacio suficiente para que circule aire, que asciende de forma natural. El crecimiento de la biomasa provoca que parte de los microorganismos se desprendan de la superficie, y por lo tanto, seguirá siendo necesaria una sedimentación posterior para su separación del efluente. En general se realiza una recirculación de parte del efluente limpio, una vez producida la separación.

En los percoladores el efluente, es distribuido sobre el lecho mediante un distribuidor giratorio que puede estar accionado hidráulicamente o mediante un motor con reductor.



*Vista completa de un lecho percolador. Obsérvese el brazo distribuidor hidráulico y las ventanas en el inferior del equipo que permiten la ventilación del lecho.*

**Contadores Biológicos Rotatorios (RBC): Biodiscos:** Consisten en una serie de placas o discos, soportados en un eje y parcialmente sumergidos (40%) en una balsa que contiene el agua residual. El eje junto con los discos, gira lentamente. Sobre la superficie de los disco crece la biopelícula, que sucesivamente, se “moja” y entra en contacto con el aire, produciéndose la degradación de la materia orgánica. Son fáciles de manejar y convenientes cuando se trata de pequeños caudales. Normalmente el tamaño es de entre 1 y 3 m de diámetro, está separados unos 10-20 cm y con velocidades de giro de 0.5-3 rpm.

## Procesos biológicos anaerobios

El tratamiento anaerobio es un proceso biológico ampliamente utilizado en el tratamiento de aguas residuales. Cuando éstas tienen una alta carga orgánica, se presenta como única alternativa frente al que sería un costoso tratamiento aerobio, debido al suministro de oxígeno. El tratamiento anaerobio se caracteriza por la producción del denominado “biogas”, formado fundamentalmente por metano (60-80%) y dióxido de carbono (40-20%) y susceptible de ser utilizado como combustible para la generación de energía térmica y/o eléctrica. Además, solo una pequeña parte de la DQO tratada (5-10%) se utiliza para formar nuevas bacterias, frente al 50-70% de un proceso aerobio. Sin embargo, la lentitud del proceso anaerobio obliga a trabajar con altos tiempos de residencia, por lo que es necesario diseñar reactores o digestores con una alta concentración de microorganismos. Realmente,

es un complejo proceso en el que intervienen varios grupos de bacterias, tanto anaerobias estrictas como facultativas, en el que, a través de una serie de etapas y en ausencia de oxígeno, se desemboca fundamentalmente en la formación de metano y dióxido de carbono.

Estas etapas son:

1. Hidrólisis
2. Formación de ácidos (acidogénesis) y acetato (acetogénesis)
3. Metanogénesis

Entre las ventajas mas significativas del tratamiento anaerobio frente al aerobio cabe destacar la alta eficacia de los sistemas, incluso en aguas residuales de alta carga, el bajo consumo de energía, pequeña producción de fangos y por tanto, pequeño requerimiento de nutrientes, así como su eficacia ante alteraciones importantes de carga y posibilidad de grandes periodos de parada sin alteración importante en la población bacteriana. Sin embargo, como desventajas caben destacar la baja efectividad en la eliminación de nutrientes y patógenos, generación de malos olores y la necesidad de un post-tratamiento, generalmente aerobio, para alcanzar los niveles de depuración demandados, así como los generalmente largos periodos de puesta en marcha.

En los procesos anaerobios es importante tener en cuenta la influencia de factores medioambientales. Las bacterias formadoras de metano son las más sensibles a estos factores, por lo que un funcionamiento inadecuado de las mismas pueden causar una acumulación de productos intermedios (ácidos) y desestabilizar por completo el sistema. Entre las variables más importantes se encuentran la temperatura, el pH y la disponibilidad de nutrientes. Por otro lado, la mezcla es un factor importante en el control del pH y en la uniformidad de las condiciones medioambientales. Una buena mezcla distribuye las propiedades tampón a todo el reactor y evita la concentración de metabolitos intermedios que pueden ser causa de inhibición para las bacterias metanogénicas.

El tratamiento anaerobio, por tanto, constituye una forma eficaz de tratar aguas y residuos de alta carga orgánica, siendo una tecnología madura y contribuyendo no solo a la eliminación de la materia orgánica, sino a su aprovechamiento energético derivado de la utilización del metano producido. Dependiendo del tipo de agua residual y de otros factores relacionados con cada aplicación particular, una tecnología anaerobia puede ser más apropiada y eficaz que otra.

## Reactores más utilizados

**Reactor de contacto** (*mezcla completa con recirculación de biomasa*): Se trata del equivalente al proceso de fangos activados aerobio. Consiste un tanque cerrado con un agitador donde tiene una entrada para el agua residual a tratar y dos salidas, una para el biogás generado y otra para la salida del efluente. Este efluente se lleva a un decantador donde es recirculada la biomasa de la parte inferior del decantador al reactor, para evitar la pérdida de la misma. Los principales problemas que presentan radican en la necesidad de recircular los lodos del decantador y de una buena sedimentación de los mismos

**Reactor de manto de lodos y flujo ascendente (UASB, Upflow Anaerobic Sludge Blanket)**: Estos reactores solucionan el problema de recirculación de lodos al aumentar la concentración de biomasa en el reactor manteniéndola en su interior. Fueron desarrollados en Holanda, por el Prof. Lettinga en la década de los 80. Se trata de un reactor cuyo lecho esta formado por gránulos de biomasa. Estos gránulos son porosos y con una densidad poco mayor que la del líquido, con lo que se consigue un buen contacto de éste con la biomasa.

**Filtro anaerobio (FA):** En este caso, los microorganismos anaerobios se desarrollan sobre la superficie de un sólido formando una biopelícula de espesor variable. El sólido permanece inmóvil en el interior del equipo, habitualmente una columna, constituyendo un lecho fijo. El agua residual se hace circular a través del lecho, bien con flujo ascendente o bien descendente, donde entra en contacto con la biopelícula. Son sistemas tradicionalmente utilizados en muchas depuradoras de aguas residuales industriales con alta carga orgánica. Resisten muy bien alteraciones de carga en el influente pero no aceptan gran cantidad de sólidos en suspensión

**Reactor anaerobio de lecho fluidizado (RALF):** Son columnas en cuyo interior se introducen partículas de un sólido poroso (arena, piedra pómez, biolita, etc..) de tamaño variable con el objetivo de que sobre su superficie se desarrolle una biopelícula bacteriana que lleve a cabo la degradación anaerobia. Para que las partículas permanezcan fluidizadas (en suspensión), es necesario realizar una recirculación del líquido, para que la velocidad del mismo en el interior de la columna sea suficiente como para mantener dichas partículas expandidas o fluidizadas. Este tipo de equipos se han comprobado como muy eficaces, al menos en escala laboratorio o planta piloto.

## Procesos biológicos de eliminación de nutrientes

Otra de las aplicaciones de los tratamientos biológicos es la eliminación de nutrientes, es decir, de compuestos que contienen tanto nitrógeno como fósforo.

Aunque los procesos de tratamiento mencionados pueden eliminar más del 85% de la DBO y los sólidos suspendidos, y casi todos los patógenos, sólo logra eliminaciones marginales de algunos contaminantes como nitrógeno, fósforo, DQO soluble y metales pesados, que en algunos casos revisten gran importancia. Entonces se emplean procesos capaces de eliminarlos en forma adecuada. Estos procesos, denominados con el nombre genérico de tratamiento terciario o de avanzada.

**Eliminación de Fósforo:** El fósforo es un nutriente presente en los desechos humanos y en los detergentes. La eliminación del fósforo para evitar o reducir la eutrofización<sup>1</sup> se logra normalmente mediante precipitación química con uno de tres reactivos: cloruro férrico, sulfato de aluminio, o cal. En la precipitación del fósforo se requieren un estanque de reacción y un tanque de sedimentación para eliminar el precipitado. También puede ser eliminado aplicando una configuración del proceso de lodos activados modificada para la “bioremoción de nutrientes”.

**Eliminación del Nitrógeno:** El nitrógeno ingresa en la red de drenajes debido al aporte de los residuos humanos y por los fertilizantes. En cualquiera de sus formas solubles es un nutriente, y podrá ser necesario eliminarlo del agua residual para ayudar a controlar el crecimiento de algas en el cuerpo receptor. Además el nitrógeno en forma de amoníaco ejerce una demanda de oxígeno y puede ser tóxico para los peces. La eliminación del nitrógeno se puede lograr en forma biológica o química. Al proceso biológico se le llama *nitrificación-desnitrificación*. Al proceso químico se le llama *arrastre de amoníaco*. La desnitrificación puede llevarse a cabo mediante la modificación del proceso de lodos activados, es decir mediante **remoción biológica**.

<sup>1</sup>: Eutrofización o eutrofización, significa enriquecimiento por nutrientes. Es causada principalmente por un aumento en los niveles de nitrato y fosfato y tiene una influencia negativa en la vida acuática.

## Perjuicios en redes colectoras urbanas

Los efluentes industriales no deben descargarse en los sistemas de colectoras urbanas. Sin embargo, muchas veces esto ocurre. En el sistema de colectoras, los problemas que se pueden ocasionar los efluentes industriales, se deben a:

1. Sólidos incompatibles con la velocidad de autolimpieza, que forman embanques y por lo tanto reducción de la sección.
2. La acumulación de grasas, que flotan y se reúnen en la parte superior del conducto y a la que se adhieren nuevos sólidos, disminuyendo la capacidad portante del conducto.
3. La presencia de ácidos, que poseen intensa acción corrosiva y también pH altos que producen precipitación de sales insolubles.
4. La presencia de sulfuros (por ejemplo sulfuro de sodio de la curtiembre) que en medio ácido produce ácido sulfúrico, con el consiguiente problema de corrosión.
5. La concentración de sulfatos, cuando superan 300 mg/l se puede producir un ataque al hormigón por medio de los aluminosilicatos de calcio, formando sulfoaluminatos, que aumentan de volumen y fisuran el caño.
6. Otra causa de problemas en las redes colectoras es el desprendimiento de gases, que pueden dar lugar a toxicidad, explosiones o asfixia, para la gente que trabaja en mantenimiento de las redes.

---

## 2 - ENERGÍA NUCLEAR

### Introducción

La **energía nuclear** es la energía que se libera en las **reacciones nucleares**. Sin embargo, también nos referimos a la **energía nuclear** como el aprovechamiento de dicha energía para otros fines como la obtención de energía eléctrica, térmica y/o mecánica partir de **reacciones nucleares**.

Entre las principales ventajas de la opción nuclear podemos mencionar la abundancia y bajo costo del combustible (Uranio).

Existe una gran controversia sobre los beneficios y amenazas de la energía nuclear. Tres son las principales objeciones que generalmente se le encuentran: la asociación de tecnología nuclear con el armamento nuclear, el temor a los posibles accidentes y la eliminación de los residuos.

### ¿Qué es la energía nuclear? – Los combustibles nucleares

La Energía nuclear es la energía almacenada en el núcleo de los átomos, que se libera como resultado de una reacción nuclear. Se puede obtener por el proceso de Fisión Nuclear (división de núcleos atómicos pesados) o bien por Fusión Nuclear (unión de núcleos atómicos muy livianos). En las reacciones nucleares se libera una gran cantidad de energía debido a que parte de la masa de las partículas involucradas en el proceso, se transforma directamente en energía.

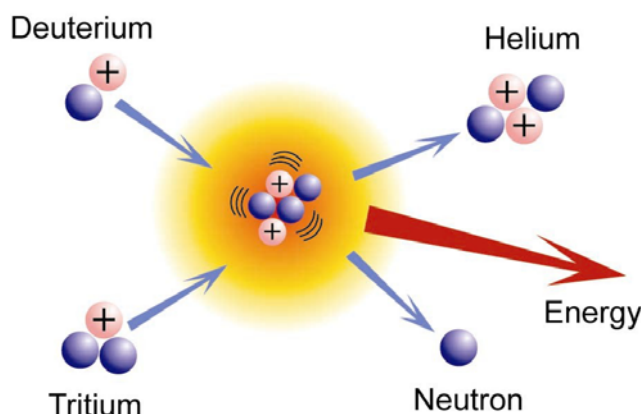
La **Energía nuclear de fisión** se obtiene al bombardear, con neutrones a gran velocidad, los átomos de ciertas sustancias; algunos de estos neutrones alcanzan el núcleo atómico y lo rompen en dos partes. Se libera una gran cantidad de energía y algunos neutrones. Estos neutrones pueden chocar contra otros núcleos, que se romperán produciendo más energía y más neutrones que chocarán contra otros núcleos: esto es una **reacción en cadena**. Para que esta reacción en cadena se produzca, es necesario usar sustancias que se desintegren fácilmente, es decir, sustancias radiactivas. Estas sustancias son muy peligrosas para el hombre si no se manejan con las precauciones adecuadas. La sustancia más usada es el uranio-235, aunque también se usan el uranio-233 y el plutonio-239. En todas estas reacciones, una pequeña parte de masa se transforma en energía según la ecuación  $E = mc^2$ . Por eso se obtienen cantidades tan grandes de energía. Si 1 kg de carbón produce 30000000 julios, 1 kg de uranio-235 produce 80000000000000 julios; es decir, unos dos millones de veces más energía.

De todo el uranio que se puede encontrar en la naturaleza, sólo un 0,7% está formado por el isótopo Uranio-235. Pero como la presencia en el uranio natural es tan pequeña, es necesario someterlo, primero, a una serie de procesos que se denominan de enriquecimiento, y que consiguen que la presencia de este isótopo de Uranio-235 en el combustible nuclear sea alrededor del 3 al 5%.

La **Energía nuclear de fusión** será, probablemente, la fuente de energía del futuro. Es la misma reacción que produce la energía en las estrellas. El calor y la luz que nos llegan del Sol se producen en reacciones de fusión nuclear.

En la fusión nuclear se unen átomos pequeños para formar otros de mayor tamaño. En el proceso se liberan grandes cantidades de energía, mucho mayores que en la fisión.

La sustancia más adecuada para fusionarse es el hidrógeno o alguno de sus isótopos para dar lugar a helio. La más adecuada es la fusión entre deuterio (hidrógeno-2) y tritio (hidrógeno-3).



### ¿Qué es una Central Nuclear?

Al igual que los otros dos tipos de energía de base, el principio de producción de electricidad de una central nuclear es el movimiento de turbinas a partir de una fuerza externa.

Tanto en el caso de los reactores nucleares como en el de las plantas de energía térmica convencionales, la fuerza del vapor es la que mueve esas turbinas, en las del tipo hidroeléctrica es la fuerza de las aguas la que lo hace.



La forma de generar el vapor es la principal diferencia entre los reactores nucleares y las centrales térmicas convencionales. Mientras que éstas últimas utilizan carbón, fuel-oil, gas o petróleo para calentar las enormes calderas de agua que producen el vapor, los primeros se valen de la fisión nuclear generada en el ‘núcleo’ del reactor para calentar el agua que pasa por un circuito secundario independiente, lo cual permite su posterior recuperación.

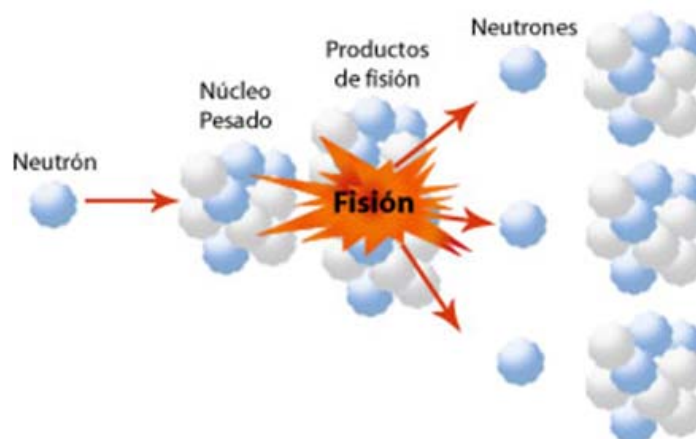


## ¿Cómo funciona una central nuclear?

Una central de este tipo utiliza combustible “nuclear”, esto es, material que contiene núcleos fisionables (es decir que se pueden ‘partir’); en lugar del combustible “convencional”.

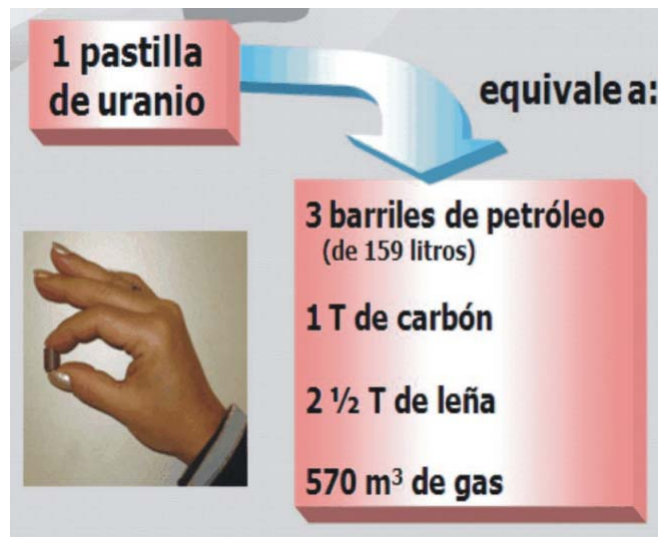
El Uranio 235 es un material fisionable, como así también el plutonio, pero del uranio natural que se extrae de las canteras sólo una parte en 140 es uranio 235, el resto es inutilizable. Un reactor puede funcionar tanto con uranio natural (escaso material fisionable) como con uranio enriquecido, -al cual se lo ha tratado especialmente para aumentar su rendimiento (mayor proporción de U.235)-.

El calor para generar vapor proviene del proceso de fisión. La fisión comienza cuando un neutrón a gran velocidad choca contra un núcleo, el núcleo no puede albergar el neutrón extra y se parte formando dos núcleos más pequeños. Al mismo tiempo se liberan varios neutrones que van a chocar contra otros núcleos, que a su vez se rompen y liberan más neutrones, y así sucesivamente. Dado que el primer neutrón desencadena una serie de fisiones, este procedimiento se denomina reacción en cadena. Así, se puede generar una enorme cantidad de energía y de calor en una fracción de segundo.



Este proceso se lleva a cabo en el **núcleo** del reactor, formado por los ‘**elementos combustibles**’.

El combustible nuclear contiene pastillas de uranio que permiten obtener grandes cantidades de energía. Su volumen es muy reducido en relación a otros combustibles convencionales.



El núcleo del reactor se encuentra rodeado de una sustancia llamada **moderador** que se utiliza para frenar la velocidad de los neutrones hasta llevarlos a la energía térmica (una velocidad aprox. 3.700 m/s, a una temperatura de 290 grados C) y aumentar la probabilidad de choque con otros núcleos. En los reactores que utilizan uranio enriquecido como elemento combustible se utiliza agua común o grafito como moderador, en cambio en los reactores que utilizan uranio natural, (menos cantidad de núcleos fisionables) se utiliza agua pesada, tal es el caso de las centrales nucleares argentinas de Atucha y Embalse.

El agua pesada esta formada por dos átomos de deuterio y uno de oxígeno (el deuterio es un isótopo del hidrógeno que posee un neutrón más en su núcleo, por lo tanto es más denso). Los neutrones provenientes de la fisión tienen una gran velocidad, con la cual es más difícil hacerlos chocar contra otros núcleos, por lo tanto es necesario frenarlos mediante choques con otras sustancias capaces de extraerles energía sin absorberlos. Esta función es, en parte, cumplida por el agua pesada que es aproximadamente 100 veces mas absorbente que el agua normal, por eso se la emplea con uranio natural, deficiente en uranio-235. En cambio, con uranio enriquecido, con el cual se generan más neutrones, se puede usar agua común. El uso del agua como moderador, en lugar del grafito utilizado en algunos modelos de reactores soviéticos como el de Chernobyl, reduce el riesgo de incendio.

Dentro del núcleo se insertan, con el fin de controlar la potencia de la fisión, las denominadas 'barras de control'. Estas barras son generalmente de cadmio, un material que absorbe los neutrones que chocan contra ellas durante el proceso de fisión evitando que progrese la reacción en cadena.

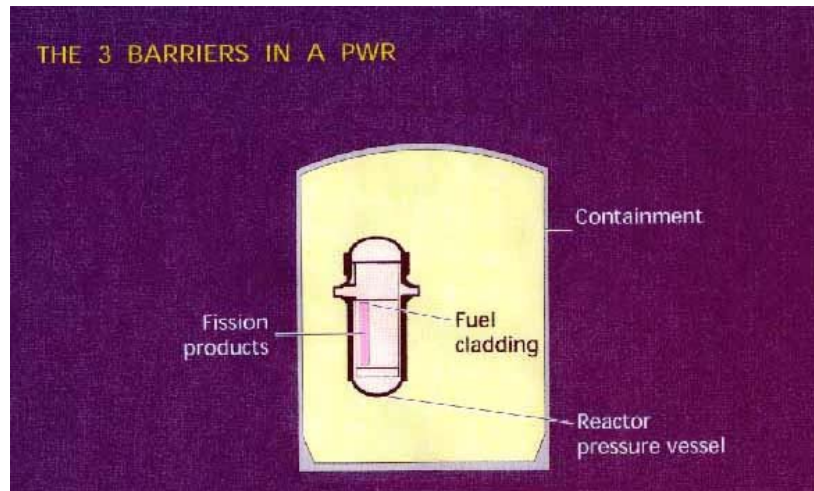
El núcleo del reactor de Atucha I, por ejemplo, cuenta con 29 barras de control y son necesarias solo 3 para detener el proceso en el acto. En caso de producirse un recalentamiento, y de ser necesario detener el reactor en forma inmediata, también se puede introducir dentro del núcleo ácido bórico que actúa de una forma similar a las barras de control.

## Seguridad

Un principio básico en el diseño de centrales nucleares es su seguridad redundante. Para disminuir la probabilidad de que la radioactividad de los productos de fisión se libere al medio ambiente y llegue al publico, se aplica el concepto de barreras múltiples.

El material radioactivo (pastillas de dióxido de uranio) se encuentra aislado del medio ambiente por 3 barreras:

1. Las vainas de zircaloy que componen los elementos combustibles. (Fuel cladding)
2. El recipiente del reactor. (Reactor pressure vessel)
3. El edificio de contención. (Containment)



## Desechos radioactivos

Como todo proceso industrial, la generación eléctrica produce residuos. En el caso de las centrales nucleares estos se dividen en dos grandes categorías según la actividad que posean y el tiempo que tarde esta en decaer:

1. **Residuos de actividad media y baja:** Estos se producen mayoritariamente como consecuencia de procesos de limpieza internos de la central, filtros de aire descartables, líquidos utilizados en distintas partes de la planta, y resinas empleadas en procesos de purificación química. La evacuación de estos desechos se produce mediante un proceso de compactado y cementación en barriles de 200 litros. Estos son almacenados en repositorios o depósitos especialmente diseñados hasta que la actividad de los mismos disminuya a un nivel que permita su liberación como residuos convencionales.
2. **Residuos de alta actividad:** Son, principalmente, los resultantes del procesamiento de los elementos combustibles quemados en el núcleo del reactor. Después de permanecer de 2 a 5 años (dependiendo del tipo de central nuclear) en el reactor, los elementos combustibles se extraen del mismo mediante un sistema de telemanipulación remota y son colocados en piletas de almacenamiento donde se enfrían y pierden parte de su radioactividad.

Estas piletas llenas de agua contienen en el fondo soportes especiales donde se colocan los elementos combustibles, que quedan almacenados bajo agua por un periodo no menor de 10 años.

El agua cumple 2 propósitos: sirve como blindaje para reducir los niveles de radiación a la cual podrían estar expuestos los operarios de la central y para refrigerar los elementos combustibles que continúan produciendo calor por algún tiempo luego de su extracción del núcleo.

Luego de 10 o mas años de permanecer en las piletas, y en caso de que las mismas agoten su capacidad de almacenamiento, los elementos combustibles pueden ser almacenados en seco dentro de silos de hormigón reforzado o contenedores de acero especialmente contruidos. Estos contenedores almacenan de 20 a 80

elementos combustibles (dependiendo del tipo de central), y están herméticamente sellados para asegurar que no se libere material radioactivo al medio ambiente.

## Distintos tipos de Reactores Nucleares

Si bien el principio de funcionamiento de una Central nuclear que se explico anteriormente es valido en general, existen algunas diferencias de una a otra planta según el tipo de Reactor que posean.

Los reactores se clasifican de acuerdo a la sustancia que utilicen como moderador y refrigerante, los mas comunes son:

- **PWR (Pressurized Water Reactor)** reactores con agua liviana a presión como refrigerante y moderador.
- **PHWR (Pressurized Heavy Water Reactor)** reactores con agua pesada a presión como refrigerante y moderador
- **BWR (Boiling Water Reactor)** reactores de agua liviana en ebullición como refrigerante y moderador
- **GCR (Gas Cooled Reactor)** reactores refrigerados por gas y moderados con grafito.
- **LWGR (Light Water Graphite Reactor)** reactor refrigerado con agua liviana y moderado con grafito.

De las 441 centrales nucleares en operación (datos de 2002), en los 32 países del mundo que utilizan la tecnología nuclear para generar electricidad, 213 son del tipo PWR, 90 BWR, 35 PHWR y el resto funcionan con otros tipos de reactores.

## Centrales Nucleares en el mundo

Según datos de febrero de 2003, un total de 441 centrales nucleares estaban en operación alrededor del mundo y otras 33 se encontraban en construcción. Esto representaba una capacidad aproximada de 400.000 MW de generación eléctrica.

A fines de 2002 en diez países la generación de electricidad por medio de centrales nucleares representaba más del 40% del total producido en el país: Lituania 80%, Francia 77%, Bélgica 58%, Suecia 44%, Eslovaquia 53%, Suiza 36%, Ucrania 46%, Bulgaria 42%, Hungría 40%, Corea 40%.

En Argentina, en el 2002, la proporción era la siguiente: Hidráulica 48%, Térmica 43%, Nuclear 8%, otros 1%.

## Centrales nucleares en Argentina

Actualmente la Argentina cuenta con dos centrales nucleares en funcionamiento:

**Atucha 1 (CNA 1)** ubicada sobre la margen derecha del río Paraná de las Palmas, en el partido de Zárate (*conectada al sistema interconectado nacional de distribución eléctrica, en la red de 220 Kv., en el año 1974 .*) Su reactor es del tipo **PHWR**, cuyo combustible es uranio natural y es refrigerado y moderado por agua pesada, la potencia térmica es de 1179 Mwt, obteniéndose una potencia eléctrica de 370 Mw.

**Embalse (CNE)** que se levanta en la costa sur del Embalse de Río Tercero, Provincia de Córdoba (*entró en servicio el 20 de enero de 1984 y genera una potencia de 600 Mw eléctricos*). Posee un reactor tipo PHWR, de desarrollo canadiense, denominado CANDU (**Canadian Deuterium Uranium**), siglas que se refieren al uso de uranio natural como combustible y agua pesada como refrigerante.



Ambas centrales proporcionan el 8% de la energía distribuida por el sistema interconectado nacional. Una tercera central nuclear, situada junto a CNA 1, Atucha 2 (CNA 2), se encuentra casi finalizada, y se prevee que entre en funcionamiento en 2012.



**Centrales nucleares  
Atucha 1 y 2**



**Central nuclear de Embalse**

## **El proyecto CAREM**

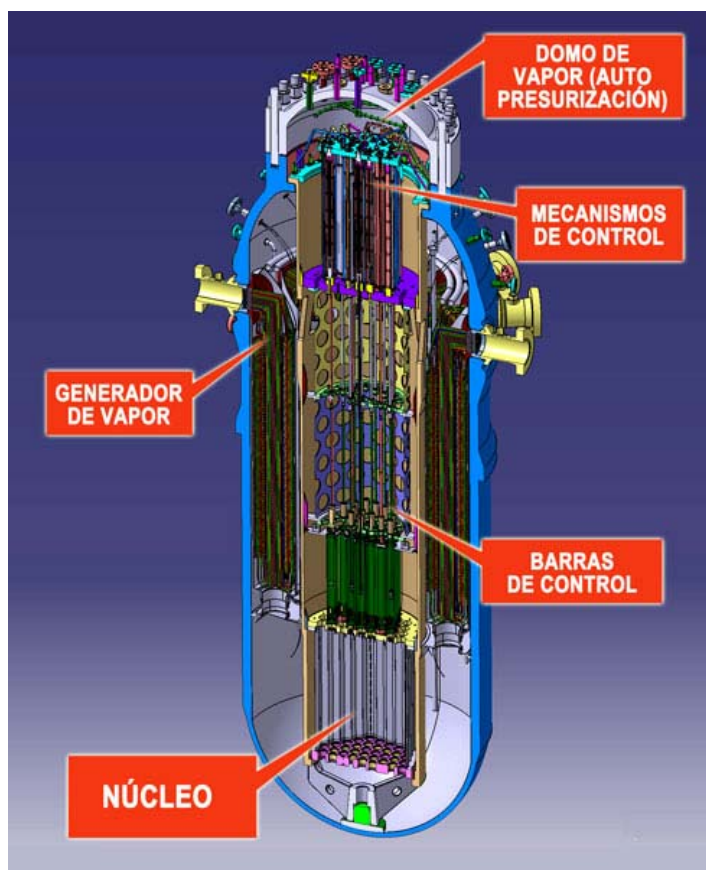
Con la futura puesta en servicio del prototipo CAREM25, Argentina tendrá en operación la primera central nuclear de potencia íntegramente diseñada y construida en el país. El Proyecto CAREM -originalmente, sigla de Central ARgentina de Elementos Modulares- le permite reafirmar a nuestro país su capacidad para el desarrollo y puesta en marcha de centrales nucleares y perfilarse como uno de los líderes mundiales en el segmento de reactores de baja y media potencia.

Será emplazado en la localidad de Lima, Provincia de Buenos Aires, junto a las



Centrales Atucha I y II. Ya se encuentran en avance las obras de infraestructura del predio, incluido el edificio que contendrá el reactor. Generará una potencia de 25 megavatios eléctricos, capaces de abastecer de energía eléctrica una población de 100 mil habitantes.

Uno de los conceptos más innovadores que propone el reactor CAREM es el de integración: el circuito primario, los mecanismos de control y parte del circuito secundario (los generadores de vapor) se encuentran contenidos en un único recipiente de presión (RPR).



Dentro del RPR, un fenómeno denominado “convección natural” provoca la circulación del agua del circuito primario sin necesidad de utilizar bombas u otros dispositivos. Las diferentes temperaturas que ocurren dentro del recipiente de presión y la ubicación de sus fuentes a distintas alturas generan una circulación natural del agua.

Otra de las ventajas que genera la integración es la reducción significativa de caños y otras conexiones hacia el exterior del RPR, lo cual práctica elimina la posibilidad de la pérdida de líquido refrigerante, asociado habitualmente a las roturas de cañerías.

En la central CAREM, los mecanismos de control se accionan en forma hidráulica y administran el funcionamiento de

dos conjuntos de barras: - Uno que actúa durante la operación (sistema de ajuste y control), insertando o retirando el material absorbente según se requiera. - Otro que actúa sólo en caso de ser necesario “apagar” el reactor: barras que caen por gravedad, insertándose en los elementos combustibles y deteniendo por completo la reacción nuclear en sólo un par de segundos (sistema de extinción rápida).

## La controversia acerca de la energía nuclear

Entre todas las **fuentes de energía** con las que contamos, la energía nuclear es una de las más discutidas. Como se mencionara anteriormente tres son las principales objeciones que generalmente se le encuentran: la asociación de tecnología nuclear con el armamento nuclear, el temor a los posibles accidentes y la eliminación de los residuos.

Los especialistas que defienden esta tecnología opinan:

Con relación a los armamentos nucleares debe quedar en claro que todos los países que poseen este tipo de armas las desarrollaron antes de construir reactores nucleares para generación eléctrica, por lo tanto el riesgo de proliferación de armamento nuclear persistirá independientemente de la cantidad de plantas nucleares que se construyan para generación eléctrica.

Por otro lado se están llevando a cabo grandes esfuerzos, a nivel mundial, para fortalecer las salvaguardias, incluyendo nuevos tipos de control y métodos de verificación para detectar cualquier posibilidad de actividades nucleares bélicas no declaradas. Afortunadamente existe, en casi todos los países, una tendencia generalizada a disminuir el arsenal nuclear. 185 países ratificaron la extensión indefinida del Tratado de No Proliferación Nuclear y las Naciones Unidas ha declarado un cese total de ensayos de armamento nuclear.

El temor a la emisión de radioactividad al ambiente como consecuencia de un accidente nuclear es quizás uno de los principales temores del público. La seguridad en la generación nucleoelectrica se vio fuertemente cuestionada, con razón, a raíz del accidente de Chernobyl en 1986, donde murieron 32 personas y alrededor de 500 sufren cáncer de tiroides. Además la reciente catástrofe en Japón como consecuencia del terremoto y tsunami que afectó seriamente la Centrales nucleares -en especial la de Fukushima 1-, es muy preocupante y pone de manifiesto que deben revisarse los sistemas de seguridad.

La industria nuclear es una de las actividades donde mayores inversiones se realizan en seguridad. Las nuevas plantas nucleares, a diferencia de las obsoletas tipo Chernobyl, se construyen con mecanismos de seguridad redundantes y barreras de contención múltiples para minimizar el riesgo de accidentes catastróficos. Por otra parte, y al solo efecto comparativo, podemos mencionar que los mayores accidentes, en términos de víctimas fatales, en el campo de la generación eléctrica están vinculados con la rotura de diques de centrales hidroeléctricas. A esto deberíamos agregarles los accidentes fatales producidos en las explosiones de gasoductos, derrumbes en minas de carbón, derrames e incendios en la industria del petróleo, etc.

La tercera objeción que se suele escuchar en contra de la generación nucleoelectrica es la relativa al manejo de los residuos radiactivos. Sin embargo no existe otra industria en donde el problema de los residuos sea considerado con más responsabilidad que en el caso de los desechos nucleares de origen civil. Si los residuos resultantes de la quema de combustibles fósiles, producción de herbicidas, insecticidas y productos químicos se manejaran con tanto cuidado como en el caso de los residuos nucleares, el problema ambiental generado por ellos dejaría de ser una preocupación mundial.

El volumen de residuos nucleares es extremadamente limitado, por lo tanto puede ser completamente aislado de la atmósfera. Una planta nuclear de 1.000 MW no emite virtualmente  $\text{CO}_2$  y produce aproximadamente 35 toneladas por año de residuos de alta actividad en forma de elementos combustibles quemados. Si este combustible usado se reprocesara, el volumen sería de aproximadamente 2.5 m<sup>3</sup> por año. Esta cantidad puede ser gestionada y almacenada de manera segura en depósitos geológicos profundos, protegidos por múltiples barreras que los aíslan completamente del medio ambiente. En comparación, una planta de 1.000 MW alimentada a carbón, con equipos optimizados de limpieza, emite por año aproximadamente 6.500.000 toneladas de  $\text{CO}_2$ , 5.000 toneladas de  $\text{SO}_2$ , 4.000 toneladas de  $\text{NO}_x$  y 400 toneladas de metales pesados (incluyendo elementos tan venenosos como el Cadmio, Plomo, Arsénico y Mercurio). Además se producirán aproximadamente 500.000 toneladas de residuos sólidos de la remoción de  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_x$  que deberán ser reciclados o almacenados en piletas de desperdicios.

Las fuentes de energía renovables (solar, eólica, geotérmica, biomasa) sugeridas para reemplazar a las fuentes no renovables (entre ellas la energía nuclear), si bien se están en evidente crecimiento todavía no han logrado un desarrollo y competitividad que pueda abastecer la creciente demanda de energía. El consumo mundial de energía aumenta un 2% anual de media y, en algunos países emergentes, este crecimiento supera el 6%.

En conclusión podríamos decir que ni hoy ni a mediano plazo existen fuentes de energía en gran escala económicamente competitivas, que no sean la nuclear o hidroeléctrica, que puedan reemplazar la utilización masiva de combustibles fósiles. Pensamos que la mejor solución al tema energético, y su contribución al cambio climático, pasa por una **provisión diversificada** donde **todas las fuentes no contaminantes** contribuyan a la generación eléctrica en la proporción que, económica y geopolíticamente, resulten más convenientes para cada país.

Por otro lado la organización ecologista **Greenpeace** propone un rápido abandono de la opción nuclear ya que considera que la energía nucleoelectrica representa una enorme amenaza para la salud humana y los ecosistemas. Afirma que sus riesgos e impactos se extienden desde la minería de uranio, la fabricación de los combustibles nucleares, la propia operación de las plantas atómicas y la incesante generación de residuos altamente radiactivos. Manifiestan que “La energía nuclear iba a ser barata, segura y confiable; en cambio, ha demostrado ser cada vez más costosa, peligrosa e impredecible. Nadie sabe todavía que hacer con la generación de residuos radiactivos que producen las centrales nucleares, ni con las centrales mismas cuando son cerradas.”

---

#### **Bibliografía:**

- *El agua, una responsabilidad compartida. Capítulo 8: Agua e industria. ONUDI (Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial)*
- *Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales (Antonio Rodríguez Fernández-Alba, Pedro Letón García, Roberto Rosal García, Miriam Dorado Valiño, Susana Villar Fernández, Juana M. Sanz García) Fundación para el conocimiento Madrid*
- *Tratamiento de efluentes - parámetros de vuelco (Ing. Mario D'Angélica - Ing. Isabel Alvarez )*
- *Fuentes de Energía. Proyecto Newton, materiales didácticos. Ministerio de Educación- Gobierno de España.*
- *SECRETARÍA DE ENERGÍA DE LA NACIÓN: Contenidos didácticos.*
- *COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA: Temas nucleares, Energía Nucleoelectrica.*
- *www.greenpeace.org - campañas*