

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

**5° ciclo - año 2011**

**Bibliografía 12° programa:**

**Temas:**

- 1) Tratamiento de Efluentes**
- 2) Energía a partir del tratamiento de efluentes**



# 1 - TRAMIENTO DE EFLUENTES

## El concepto de efluente

Hay muchas maneras de definir lo que es un efluente, y en particular un efluente industrial, pero aceptaremos la definición que se corresponde más con los conceptos actuales de la ecología: Efluentes son todas las emisiones al ambiente que producen efectos no deseables en éste.

Desde este punto de vista amplio, cualquier emisión, sea de líquidos o sólidos como olores, ruidos y radiaciones puede considerarse como efluente.

Esta definición tiene dos dimensiones principales:

-  contempla las emisiones de distinta naturaleza
-  tiene en cuenta todos los efectos no deseables

No siempre las emisiones de una empresa son desagradables, basta pensar en deliciosos olores de una panadería elaborando especialidades, pero no podemos asegurar que resulten agradables para todos.

## Tipos de efluentes

Los efluentes pueden clasificarse de varias maneras pero la más útil a los efectos es clasificarlos por su naturaleza y estado. Según este criterio, son:

- sólidos
- líquidos
- gases y humos
- olores
- ruidos
- Otros (radiaciones electromagnéticas, radiaciones ionizantes, etc.)

## EFLUENTES LÍQUIDOS

La generación de aguas residuales es un producto inevitable de la actividad humana. El tratamiento y disposición apropiada de las aguas residuales supone el conocimiento de las características físicas, químicas y biológicas de dichas aguas; de su significado y de sus efectos principales sobre la fuente receptora.

En el curso de la historia las aguas residuales se han considerado como una molestia que debe eliminarse en la forma menos costosa y ofensiva posible. Esto equivalía a utilizar sistemas de disposición en el sitio –por ejemplo los retretes de pozo- y de descarga directa en lagos y corrientes de agua. Durante el siglo pasado se reconoció que este método tiene efectos indeseables sobre el ambiente. Esto ha desembocado en diversidad de técnicas de tratamiento. En el interés de lo sustentable y de la eficiencia económica, **se debe considerar al agua residual como una materia prima que se debe conservar.**

El agua servida o usada que abandona nuestros hogares y centros productivos debe ser depurada previo a su devolución al ambiente. Debemos minimizar el impacto hacia el medio ambiente que cada uno y todos producimos. La creación de una conciencia colectiva es una urgente responsabilidad de las autoridades de cada país, provincia o municipio, para que se pueda lograr una mejor conducta hacia el

medio ambiente y de esta manera disminuir la agresión hacia el mismo que no es otra cosa que agresión hacia nosotros mismos.

Hasta hoy el agua ha sido tomada como un recurso renovable, sin embargo esto será así en la medida en que no se continúe contaminando las fuentes de este recurso. Tengamos siempre presente que sin agua no hay vida: que es posible sobrevivir hasta dos meses sin comer pero sin tomar agua difícilmente superemos una semana de vida. De ahí la importancia de conservar el recurso y de dejar de considerarlo como una fuente renovable o al menos tener la convicción que sólo el accionar del ser humano puede convertir en renovable este recurso.

Malos ejemplos en este sentido tenemos de sobra: aquí en nuestro país el Riachuelo, la costa del Río de la Planta, el Río Matanza. En el exterior Cubatao en Brasil, varios ríos de USA, entre muchos otros. Hemos ido tan adelante en nuestro daño al recurso que hemos sido capaces de hacer desaparecer lagos y mares completos de la faz de la Tierra: el mar Aral en Rusia, el desastre de las lagunas encadenadas en nuestra Provincia de Buenos Aires (Epecuén).

Por otro lado hemos sido capaces de recuperar fuentes de agua que estaban prácticamente perdidas como el caso del río Támesis en Inglaterra.

El 75% de la superficie de nuestro planeta está cubierta de agua, pero al alcance y con las tecnologías disponibles es económicamente explotable menos del 1%.

El agua contaminada es y debe ser parte del agua que podamos usar, luego de que la tratemos adecuadamente. **Cuanta más agua contaminada depuremos, tanto menos recurso natural deterioramos.**

El consumo de agua se ha ido incrementando junto con el avance de la tecnología. Así en la edad media se tenía un consumo de 10 a 15 litros de agua por día y por habitante, mientras que hoy los valores que manejamos oscilan entre 200 y 400 litros por habitante y por día, esto es 25 veces más.



¿En que la usamos y la contaminamos?

La lista incluye inodoros (25 litros), duchas (120 litros), baños de inmersión (140 litros), lavavajillas (40 litros), lavarropas (200 litros), cepillado de dientes (8 litros), lavado de manos (8 litros), riego (35 litros) y así siguiendo una larga lista que de tan cotidiana no pensamos en ellas.

Claro que esta lista cubre solo las aplicaciones que podemos llamar hogareñas, pero el hombre consume cantidades enormes de agua en producir energía, producción de alimentos, transporte, recreación, fabricación de distintos elementos, etc..



## Fuentes de aguas residuales

En general se consideran como **aguas residuales domésticas ó efluentes domésticos**, a los líquidos provenientes de las viviendas, residencias, edificios comerciales e institucionales. Se denominan *aguas residuales municipales* a los residuos líquidos transportados por el alcantarillado de una ciudad o población.

Las **aguas residuales industriales** son las provenientes de las descargas de industrias de manufactura.

Las **aguas de lluvia** transportan la carga contaminadora de techos, calles y demás superficies por donde circula. En las ciudades modernas, estas aguas, se recogen en alcantarillas separadas, sin conexiones con las cloacas que transportan aguas residuales domésticas o industriales, y en general, se descargan directamente al curso de agua natural más próximo sin ningún tratamiento. En ciudades que poseen un sistema de alcantarillado combinado se acostumbra captar el caudal de tiempo seco mediante un alcantarillado interceptor y conducirlo a la planta de tratamiento para su procesamiento. Sin embargo, durante los aguaceros, el caudal en exceso de la capacidad de la planta y del alcantarillado interceptor se desvía directamente al curso natural de agua; lo que puede presentar riesgos serios de contaminación y de violación de las normas de descarga. Esto puede evitarse reemplazando el sistema de alcantarillado combinado por uno separado.

## DBO y DQO

La DBO o demanda biológica de oxígeno, es una medida de la cantidad de materia orgánica que hay en el agua residual. La **DBO<sub>5</sub>** es la cantidad de oxígeno demandada por las bacterias para romper la materia orgánica en condiciones aerobias durante un período de incubación de cinco días a 20°C. Este bioensayo mide el oxígeno que consumen los organismos que utilizan la materia orgánica de la muestra, y el oxígeno disuelto en el líquido. Las sustancias se rompen en otras más simples, y los microbios usan la energía liberada para crecer y reproducirse.

Cuanto más alta es la DBO, mayor es la contaminación. Cuanto más alta la DBO mayor es la cantidad de materia orgánica que contiene el agua.

¿Qué es esta materia orgánica? En el caso de los líquidos cloacales: orina, comida y materia fecal. En el caso de las industrias: azúcares, grasas, proteínas, almidones, etc. Es decir es un conjunto de variados compuestos que pueden servir de fuente de alimento a los microorganismos.

Estos microorganismos son bacterias: plantas unicelulares procariotas (no tienen membrana celular), pocas veces realizan la fotosíntesis y se reproducen por fisión binaria. Ellas actúan tanto en ambiente con oxígeno (*bacterias aerobias*), como en ambientes sin oxígeno (*bacterias anaerobias*), o en ambos (facultativas) destruyendo en todos los casos la materia orgánica. Ambos tipos de bacterias producen gases como consecuencia de la degradación de esta materia orgánica y debido a su propio metabolismo. La diferencia entre estos dos tipos de bacterias, *aeróbicas* y *anaeróbicas*, es que las primeras producen dióxido de carbono y agua y las segundas, metano, sulfuro de hidrógeno y otros gases.

Como dijimos la DBO es una medida de la materia orgánica que utilizan los microorganismos, o sea que estos son capaces de “comer” o lo que en el ambiente de tratamiento de efluentes decimos que son capaces de “degradar”.

Degradar significa reducir compuestos complejos en otros más simples. Concretamente las bacterias degradan la materia orgánica, incorporando una parte a

su propio organismo para producir más bacterias y transformando el resto en dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y agua (H<sub>2</sub>O).

Sin embargo las bacterias no son capaces de degradar toda la materia orgánica. Existe materia orgánica que consume oxígeno y que no es degradada por las bacterias. Este material integra otro importante concepto para medir la contaminación de un efluente que es la denominada **DQO**.

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

La DQO es siempre mayor que la DBO ya que comprende la materia oxidable por medios biológicos y aquella que solo lo es por medios químicos. Como toda la materia oxidable biológicamente también lo es químicamente entonces la DQO es siempre mayor que la DBO.

El análisis de DQO requiere aproximadamente una hora. Si se puede correlacionar con la DBO<sub>5</sub> podrá servir de apoyo en el control de operación de la planta de tratamiento de aguas residuales.

## TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

El primer concepto de planta de tratamiento de aguas residuales es el siguiente: La Planta debe tratar de imitar a la naturaleza, pero haciendo el proceso más rápido.

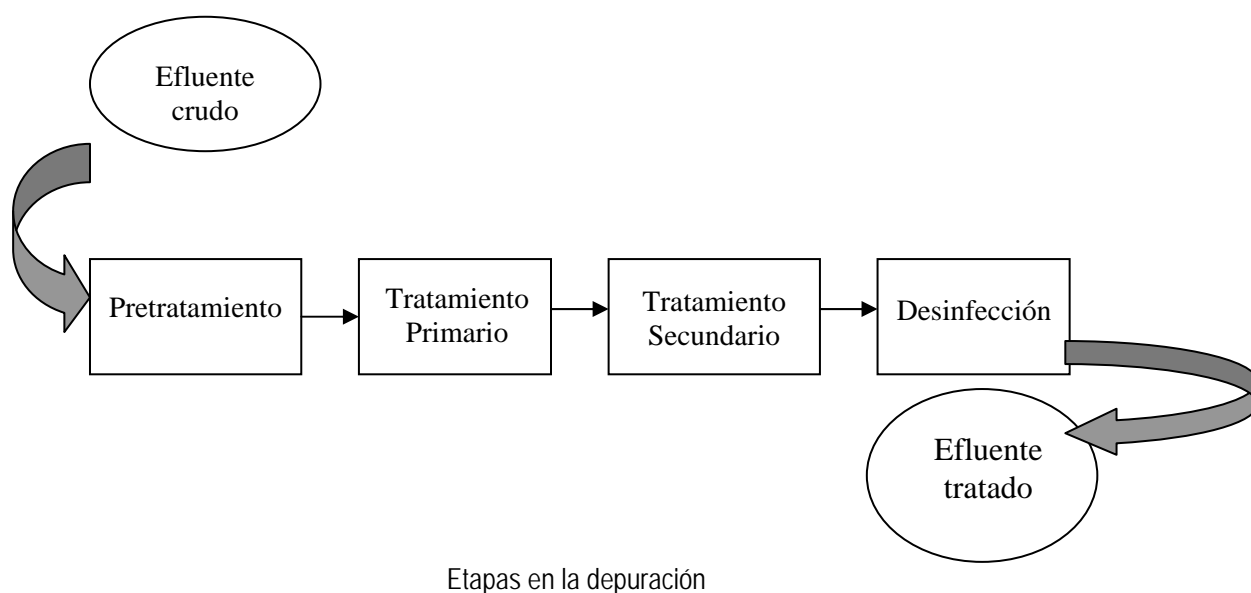
Consecuentemente una Planta de Tratamiento de Efluentes es un desarrollo destinado a conseguir alojamiento, aire y comida (materia orgánica) para que se desarrolle en forma controlada la cantidad y calidad de bacterias que nos interesan para depurar las aguas contaminadas.

Las aguas residuales recorren la planta de tratamiento (o planta **DEPURADORA**) y pasan por una serie de etapas o procesos.

La combinación de estas etapas dependerá de las características del líquido a depurar y de la exigencia requerida para su vuelco.

## ETAPAS DEL TRATAMIENTO DE EFLUENTES

Genéricamente todas las Plantas de Tratamiento de Líquidos cloacales obedecen al siguiente esquema:





Actualmente se incluye una etapa más que es el Tratamiento Terciario o de Avanzada.

Mediante estas etapas de tratamiento, el agua residual contaminada se separa en efluente tratado y en lodo o barro. El efluente tratado se descarga en un cuerpo receptor ó se reutiliza, mientras que el lodo se trata y se dispone (en rellenos sanitarios) o reusa (por ejemplo para la elaboración de biosólidos).

Para la obtención de biosólidos, los lodos provenientes de plantas depuradoras deben ser sometidos a tratamientos de estabilización e higienización, luego de ello, los biosólidos pueden utilizarse para uso agrícola/ganadero, uso forestal, recuperación de suelos degradados, restauración del paisaje y elaboración de abonos y enmiendas.

**Los objetivos de cada etapa son:**

**PRETRATAMIENTO:** El objetivo del pretratamiento es la remoción de los sólidos gruesos y sólidos inertes. Los sólidos gruesos son basura, en general, plásticos, ramas, trapos, etc, arrastrados por la corriente de líquidos residuales y que ingresan al sistema de drenaje (cloacal o industrial) por descuido o mal uso. Los sólidos inertes son principalmente arenas y partículas de tierra.

**TRATAMIENTO PRIMARIO:** Emplea métodos o dispositivos mecánicos para remover partículas de diversos tamaños. El objetivo del tratamiento primario es la remoción de los sólidos en suspensión.

**TRATAMIENTO SECUNDARIO:** Utiliza métodos biológicos para remover materia orgánica biodegradable (DBO).

**TRATAMIENTO TERCIARIO O DE AVANZADA:** Son tratamientos que tienen como objetivo remover los nutrientes (fósforo y nitrógeno) o los sólidos suspendidos que el tratamiento secundario no ha podido retener. Se utilizan cuando el cuerpo receptor no puede aceptar la descarga de nutrientes o cuando el reuso es el destino elegido para el líquido tratado. La tendencia actual, en los países desarrollados, es la introducir la mínima perturbación al medio ambiente, por ello fijan, cada vez más, límites de vertido más exigentes que obligan a la utilización de tratamientos terciarios.

**DESINFECCION:** El objetivo de la desinfección es la eliminación de las posibles bacterias patógenas presentes en el líquido depurado previo a su vuelco al ambiente, a fin de proteger la salud pública. Es importante resaltar que solo el 2% de las bacterias es patógena, es decir, puede provocar enfermedad en el hombre.

## **PRETRATAMIENTO**

El efluente crudo debe ser sometido a un pretratamiento donde se le eliminan los sólidos gruesos y/o los sólidos inertes. Un esquema de pretratamiento puede incluir alguna o todas las etapas que se describen a continuación:

### **Cámara de rejillas:**

Es un recinto donde se aloja la reja, elemento destinado a retener los sólidos que suelen acompañar el efluente cloacal. Hay muchas, variadas formas y modos de operación de estas rejillas:

- Fijas de limpieza manual: Son barras generalmente inclinadas que retienen los sólidos que arrastra el efluente. Son de paso variable (se llama paso al espacio entre barrotes). Generalmente están destinadas a retener sólidos de tamaños

medios a grandes. En muchas Plantas es el único elemento que hay antes del ingreso al tratamiento biológico propiamente dicho.

- Fijas de limpieza automática: Se trata de rejas de barrotes fijos dotadas de un mecanismo automático que puede ser accionado por un control de nivel u otro sistema y que procede a levantar los sólidos hacia la parte superior volcándolos en un contenedor dispuesto al efecto.
- Móviles autolimpiantes: En esta categoría se ubican rejas como las step screen (reja de escalones), las continuas a cangilones, etc.. En este caso no hay barras fijas sino que la propia reja móvil es el elemento o barrera que retiene los sólidos. Son de funcionamiento continuo o discontinuo accionadas por control de nivel.
- Fijas con tornillos de elevación de sólidos: Estas rejas tienen el elemento de retención en la línea de llegada del efluente, cuando el nivel de líquido sube como consecuencia de la acumulación de sólidos, un tornillo sin fin arranca y conduce los sólidos acumulados a través de un tubo volcándolos en un contenedor. Algunas tienen en la parte superior del tornillo de elevación una sección de compactación.

Todas estas rejas mencionadas, junto con otras como canastos izables, rejas de quita y pon, etc. son conocidas como **rejas de desbaste grueso**.

Muchas plantas cuentan además, a continuación de estas, o como elemento único de filtrado **una criba o reja fina** que pueden ser:

- Tamices estáticos autolimpiantes: De paso muy pequeño, tienen forma curva y se limpian por la propia corriente de líquido que arrastra sobre las mismas los sólidos que acompañan al efluente. Los sólidos se escurren por las barras del tamiz hacia la parte inferior y el agua “filtrada” pasa a través de la criba y es conducida a la próxima etapa de tratamiento.
- Tamices rotativos de alimentación interna o externa: Son tambores accionados por motor eléctrico, contruidos en acero inoxidable, de pasos pequeños. Se limpian con agua a presión y los sólidos son retenidos dentro o fuera del tambor (si es afuera suelen venir con una cuchilla de limpieza que los desprende del tambor), mientras que el líquido filtra a través de la malla, libre ya de sólidos.

### **Desarenadores:**

Muchas Plantas reciben en sus efluentes cloacales una importante presencia de sólidos del tipo arena o tierra. Esto es muy común sobre todo en localidades ubicadas en zonas arenosas (como la costa Atlántica) donde se infiltra arena y tierra a la red. Para eliminar las mismas se recurren a mecanismos estáticos o dinámicos denominados desarenadores. Estos según el diseño pueden estar ubicados antes o después de la reja de desbaste grueso, pero siempre antes de una reja fina. En particular si es necesario bombear el efluente a la Planta de Tratamiento es necesario que se ubiquen antes de las bombas para evitar daños por abrasión a las mismas.

El desarenador más simple es un canal longitudinal (en general dos, para permitir que mientras uno trabaje el otro pueda ser limpiado) diseñado a una velocidad de sedimentación tal que permita la decantación de la arena pero no de la materia orgánica suspendida. Son de limpieza manual. El operador periódicamente retira la arena acumulada con la ayuda de una pala u otro elemento.

Hay igualmente desarenadores donde la velocidad de sedimentación se asegura en función del caudal de llegada mediante la introducción de aire a través de difusores que mantienen en suspensión la materia orgánica y permiten la decantación de las arenas. Generalmente en estos, las arenas son eliminadas mediante una bomba de

aire (bomba mamut o air lift). Las arenas suelen ser conducidas por un tornillo denominado “clasificador” donde se liberan del agua y son depositadas en contenedores o recintos dispuestos al efecto.



### **Desengrasadores:**

En general las grasas provenientes de domicilios, restaurantes u otros establecimientos conectados a la red cloacal son eliminadas en origen y no llegan, o no deberían llegar, a la Planta de Tratamiento. Cuando no es posible evitarlo se debe construir cámaras desengrasadoras para que no se vea perjudicado el proceso de depuración.

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.

En todos los casos la grasa se acumula en la superficie de las cámaras y es retirada por *skimmers* del tipo caño ranurado o embudo de altura regulable y excepcionalmente es espumada en forma manual por los operadores.

## **TRATAMIENTO PRIMARIO**

Puede estar presente o no en el diseño de la Planta de Tratamiento de líquidos cloacales, dependiendo de la tecnología elegida para su desarrollo.

El tratamiento primario tiene como objetivo producir una primera eliminación de carga orgánica a través de procesos que son primariamente físicos y excepcionalmente tienen alguna componente biológica.

En términos generales podemos decir que eliminan la carga orgánica asociada a sólidos pequeños que han pasado por el pretratamiento de forma de aliviar la etapa siguiente de la Planta que es el tratamiento secundario. Sin embargo reiteramos que muchos diseños (por ejemplo el de barros activados) suelen prescindir de esta etapa.

Los sólidos retirados en esta etapa, a diferencia de los retirados en la etapa el pretratamiento, son sólidos orgánicos biodegradables. En general no se pueden disponer directamente y se los neutraliza con cal u otro inertizante antes de su disposición final. También pueden reutilizarse previo compostaje.

Las unidades de proceso que son consideradas dentro del tratamiento primario son: *Sedimentadores primarios*, *Tanques Imhoff* y *Cribado Fino o tamizado*. Obsérvese que este último es en algunos casos ubicado dentro del pretratamiento y no del tratamiento primario.

Veamos los equipos en el sentido de la reducción de la carga y sólidos que producen:

### **Cribado fino o tamizado:**

Esta etapa es eminentemente física y muchas veces se suele incluir en la sección de pretratamiento. Tiene como objetivo la eliminación de sólidos discretos de tamaño variable que interferirían o sobrecargarían el tratamiento biológico secundario. Produce una reducción importante de los sólidos contenidos en el efluente y disminuye la carga al tratamiento biológico.



## **Sedimentador primario:**

Este equipo que puede adoptar distintas formas y sistemas: rectangular con arrastrador de fondo y superficie, circular con arrastrador de fondo y superficie de accionamiento central o perimetral, estático, de placas inclinadas, de lecho de barros pulsantes, con recirculación de lodos, etc., se ubica antes del tratamiento biológico y se incluye en general en las Plantas Municipales de grandes caudales y en algunos efluentes industriales especiales.

El sedimentador elimina la mayor cantidad de los sólidos sedimentables contenidos en el efluente y por ende reduce la carga biológica asociada a los mismos. Todos ellos disponen de mecanismos que ayudan a eliminar los barros sedimentados: barredores de fondo, air lift, válvulas de purga, etc.

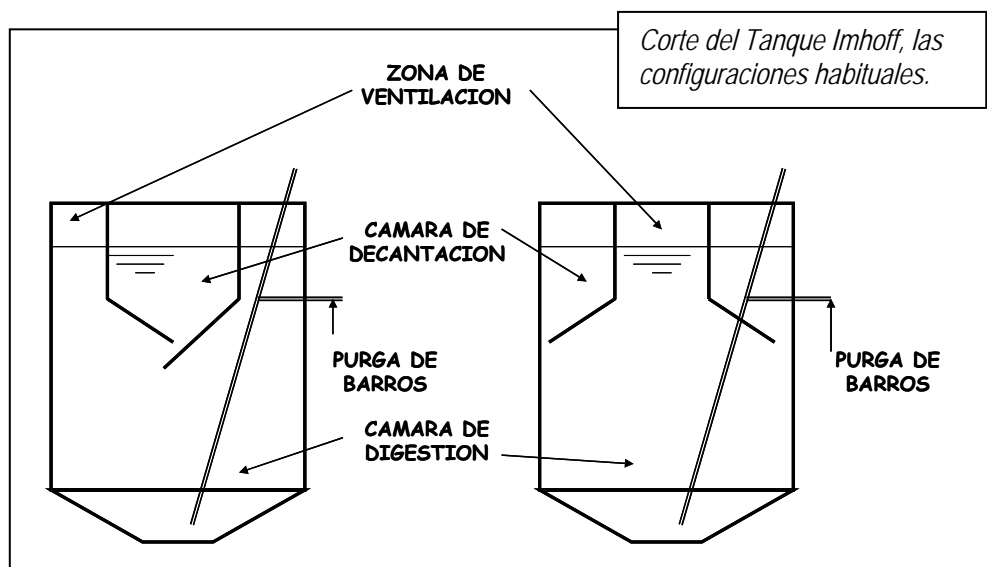
Cuando se requiere aumentar la eficiencia de remoción de esta etapa, se acondiciona el líquido que ingresa al sedimentador primario con el agregado de un coagulante (en general cloruro férrico o sulfato de aluminio) y un floculante (un polímero), en cámaras de mezclado rápido y de mezcla lenta o floculador.

Estos barros a diferencia de los que pueden eliminarse de un sedimentador secundario, son barros de alta actividad biológica (materia orgánica no estabilizada), por lo que para su disposición deben ser secados y llevados a pH12 por el agregado de cal. Para pequeñas instalaciones suelen usarse los sedimentadores estáticos (sin barredores), con eliminación de barros por air lift o válvula de fondo.

El sedimentador primario más usado es el circular con arrastrador de fondo y superficie de accionamiento preferentemente central, aunque las grandes unidades son de accionamiento perimetral y su objetivo es la eliminación de sólidos finos y una reducción inicial de la carga orgánica.

**Tanque Imhoff:** Es una Unidad de doble acción: sedimentador-digestor. Originalmente, fue un perfeccionamiento de la cámara séptica. Es una asociación de sedimentador primario y digestor. Posee una cámara superior y una inferior.

La cámara superior se destina a la sedimentación primaria, mientras que la cámara inferior se destina a la digestión. El material sedimentado pasa a través de una pequeña ranura entre ambas zonas. La zona de ventilación permite la salida de los gases generados en la cámara inferior durante la digestión de la materia orgánica sedimentada.



No requieren del agregado de productos químicos y no demandan consumo de energía, con excepción de algunos equipos que poseen puente barredor en la sección de sedimentación. Las maniobras

de operación y de mantenimiento son mínimas.

El equipo tiene una eficiencia de remoción de sólidos suspendidos del orden del 40 al 60% y una reducción de la DBO que oscila entre un 25 a un 35%.

## TRATAMIENTO SECUNDARIO

Las fases de pretratamiento y tratamiento primario de los efluentes eliminan los contaminantes discretos: ramas, arena, grasas, plásticos, objetos menores (pretratamiento), sólidos finos y parte de la contaminación orgánica (DBO/DQO) contenida en el efluente líquido (tratamiento primario). Estos dos pasos, si bien reducen la contaminación, no alcanzan para que los líquidos cloacales o industriales, con contaminación orgánica, alcancen los parámetros exigidos para su vuelco a un cuerpo receptor superficial: arroyo, río, lago o mar.

Para ello es necesario someter a estos líquidos a un tratamiento de depuración **biológico aeróbico** que denominamos: tratamiento secundario.

Este tratamiento puede adoptar distintas formas, pero lo que lo caracteriza es la degradación de la carga orgánica a través de la actividad de microorganismos, esencialmente bacterias, que la utilizan como sustrato o alimento.

El corazón de todo tratamiento secundario es el **reactor biológico**, que es el recinto donde tiene lugar la formación de la masa de microorganismos que degradan la materia orgánica. Luego esta biomasa es normalmente separada como sólidos decantados en un *sedimentador secundario*. Los sólidos sedimentados se recirculan al reactor biológico pero una porción de ellos se descarta, a fin de mantener bajo control la población de microorganismos en la cámara de reacción biológica.

En el reactor biológico los microorganismos encuentran para desarrollarse cuatro condiciones: alimento, oxígeno, espacio vital y contacto con los alimentos.

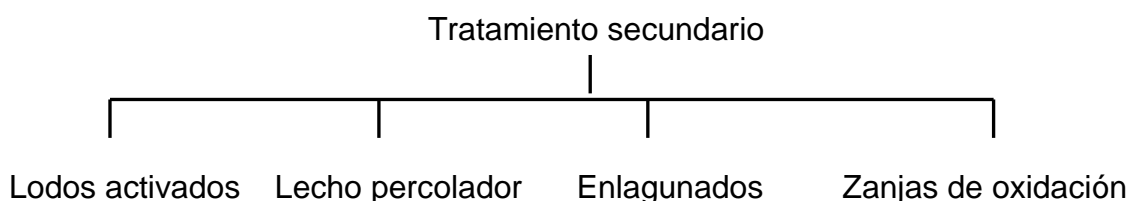
El alimento de los microorganismos lo constituye la contaminación o materia orgánica remanente del tratamiento primario (DBO-DQO). El oxígeno es suministrado mediante la introducción de aire.

La forma de introducir el aire puede ser mediante: aireadores mecánicos o difusores de burbuja gruesa o fina. En algunos casos muy excepcionales donde el costo asociado se encuentra justificado, puede introducirse directamente oxígeno puro. El oxígeno es vital en el tratamiento secundario, ya que de él dependen las reacciones de oxidación biológica.

Finalmente el recinto mismo (reactor o cámara) constituye el espacio vital donde se desarrolla la biomasa. En estos recintos no alcanza con que los microorganismos cuenten con alimento suficiente, es muy importante, además, que esté a su alcance. Ello se logra a través de la mezcla perfecta del contenido del reactor o por la presencia de un medio físico que soporte la biomasa (piedras, piezas plásticas, etc.)

Existen procesos biológicos que se desarrollan en ausencia de oxígeno, son los llamados proceso anaeróbicos, que se aplican cuando las cargas orgánicas son grandes y previo a un proceso aeróbico.

La gama de procesos de tratamientos secundarios aireados disponibles al presente es amplísima. Los más tradicionales son: *Lodos activados*, *Lecho percolador*, *Enlagunados* y *Zanjas de oxidación*.



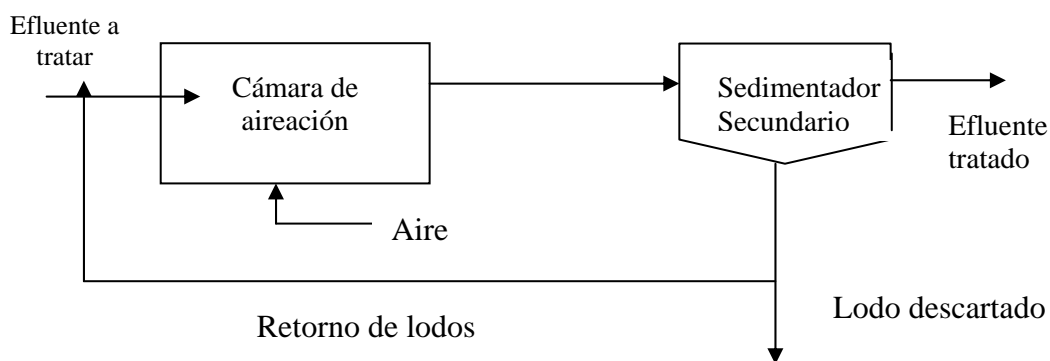
## Lodos activados

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 la cámara de aireación.

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**).

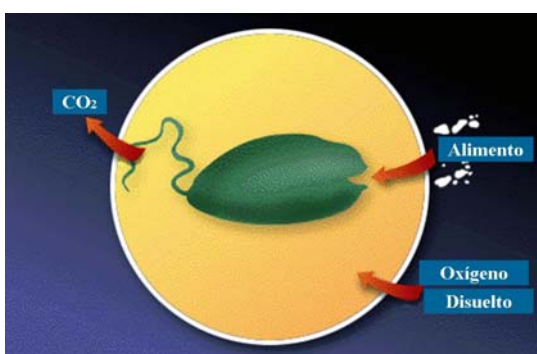
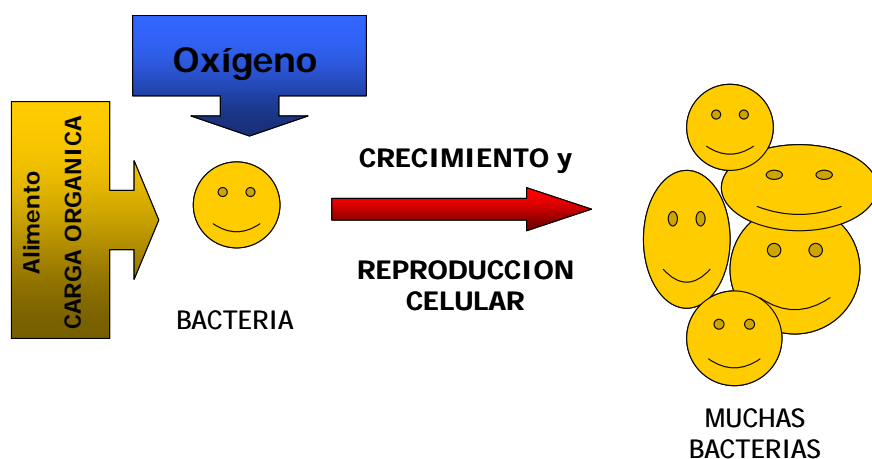
Hay numerosas variaciones de estos procesos, pero este es el esquema básico y distintivo de todos ellos.

*Esquema básico de un barro o lodo activado.*



Este proceso es el más popular y difundido de los procesos biológicos en los últimos veinte años.

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.



*Las Bacterias aeróbicas ingieren oxígeno y alimento y eliminan dióxido de carbono y agua.*

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 (por ejemplo los enlagueados que se verán más adelante).

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.

Esencialmente cuando hablamos de microorganismos en un lodo activado nos referimos genéricamente a bacterias. Si bien otros organismos están igualmente presentes y son indicadores del estado de “salud” del proceso.

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.

La primera de las condiciones es quizás la más esencial: nada sirve si los microorganismos no son capaces de metabolizar los residuos orgánicos. Esto que parece obvio para un residuo cloacal donde el desarrollo de microorganismos es muy sencillo, no lo es tanto en residuos industriales donde es necesario favorecer el crecimiento de bacterias específicas para productos específicos y luego “cuidarlos” para que se mantengan saludables y sigan cumpliendo con su función.

En estos casos es necesario desarrollar cuidadosamente un inóculo, esto es una población mínima de bacterias especializadas, las que luego serán sembradas para iniciar la población de bacterias de la planta de barros activados. El inóculo debe conservarse en todo momento para reponer la población en caso de un “accidente” y asegurar el correcto funcionamiento de la planta. Son ejemplos de casos en que es necesario desarrollar *bacterias selectivas (inóculo)*, o como igualmente se las conoce *especializadas*: plantas químicas, embotelladoras de gaseosas, petroleras, lixiviados de rellenos sanitarios, efluentes de alta temperatura, etc.

La segunda de las capacidades que deben tener los microorganismos en un barro activado es la de ser capaces de formar flóculos. Esta capacidad es indispensable para separar claramente los barros de los líquidos en el sedimentador secundario. La formación de flocs o floculos se debe a la aglutinación de las bacterias y demás microorganismos presentes en un barro activado para que formen conjuntos de sólidos (flocs) con tamaño y peso tal que sedimenten y de esta forma se puedan separar del líquido libre de materia orgánica.

La tercera capacidad es que los microorganismos sean capaces de sedimentar. Esta capacidad es casi consecuencia de la anterior: Si se forman buenos flocs es muy probable que exista una fácil sedimentación y por consiguiente una buena clarificación, o sea una adecuada separación de fases.

## ***Lechos percoladores***

Son esencialmente cámaras o reactores aeróbicos donde la biomasa se desarrolla sobre un **medio sostén fijo** de plástico o de piedras.

Los medios plásticos son de mucho mayor rendimiento porque ofrecen un área específica mayor (área por unidad de volumen), mientras que los lechos de piedra son de un desarrollo más antiguo.



*Foto de la superficie de un lecho percolador de piedra como material fijo y distribuidor hidráulico*

En los percoladores el efluente, proveniente de un tratamiento primario, 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.*

La biomasa que se desprende se separa en un sedimentador secundario de donde **se recircula habitualmente a este equipo parte del líquido tratado para mantener húmedo el medio soporte**. El barro se descarta.

Nótese la diferencia fundamental con el barro activado: aquí hay un lecho soporte y se recircula líquido en vez de barro al percolador.

El aire es suministrado en forma natural inducido a través de “ventanas” en su parte inferior (ver figura), o forzada por ventiladores o sopladores de aire.



## Enlagueados ó lagunas de estabilización

Aquí se aprovecha un proceso que se da en forma natural en el medio ambiente: la degradación de la materia orgánica en lagunas por medio de la biomasa que se desarrolla en las mismas. Aquí no existe recirculación de lodos ni otro control que permita ajustar las condiciones operativas de la laguna.

Las lagunas pueden ser anaeróbicas, facultativas o aireadas naturalmente, todas ellas carentes de mecanismos o instalaciones que faciliten o aceleren los procesos que se desarrollan en su seno, o bien pueden ser facultativas y aireadas artificialmente mediante mecanismos de transferencia forzada de oxígeno: aireadores, difusores, etc.

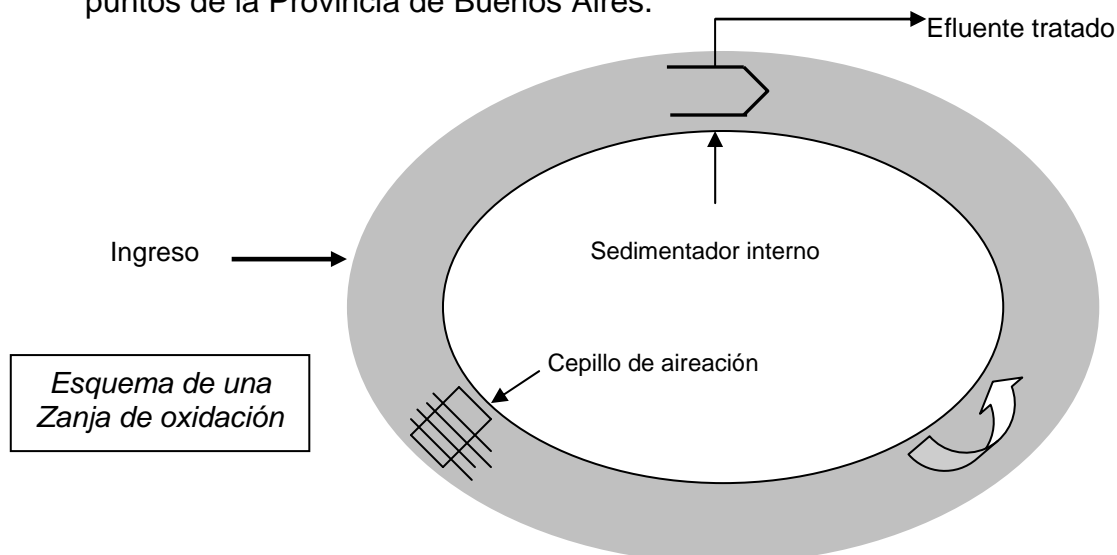
Una laguna de estabilización contiene principalmente algas y bacterias en suspensión. El oxígeno liberado por las algas, a través del mecanismo fotosintético, es usado por las bacterias en la descomposición aerobia de la materia orgánica. A la vez los nutrientes y el dióxido de carbono producidos por la actividad bacteriana son usados por las algas. Otros organismos, como los rotíferos y los protozoarios, tienen como función depurar el efluente. La combinación de la actividad bacteriana, aerobia y anaerobia, da origen al tipo de lagunas más comunes en el tratamiento de aguas residuales conocidas como *lagunas de estabilización facultativas*. En lagunas *aerobias* deben predominar condiciones aerobias en toda la profundidad de la laguna. En las lagunas *facultativas* la capa superior debe ser predominantemente aerobia y actuar como barrera contra el agua anaerobia con contenido de sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ). En lagunas *anaerobias* dominan condiciones anaerobias en toda la laguna.

## Zanja de oxidación

Este método se clasifica por separado, aunque en rigor es una vieja versión simplificada de un barro activado. Se trata de recintos desarrollados sobre zanjas ovaladas de baja profundidad, donde el líquido crudo es obligado a seguir un recorrido a través de la misma y recibe aire a través de aireadores mecánicos conocidos como cepillos de aireación. En el recorrido del efluente se encuentra una zona de quietamiento conseguida mediante un baffle de desarrollo pentagonal abierto en uno de sus lados, que actúa como sedimentador interno y fuente de provisión de barros.

Son los predecesores de un desarrollo posterior conocido como *Carrusel* que adoptó el sedimentador externo pero conservó el *flujo pistón* de la zanja de oxidación. Este desarrollo es una de las tantas formas de lodos o barros activados existentes.

El siguiente esquema ayuda a comprender la forma y funcionamiento de las zanjas de oxidación que, aunque de antiguo desarrollo, aún están activas en muchos puntos de la Provincia de Buenos Aires.



## TRATAMIENTO TERCIARIO

Aunque los procesos de tratamiento secundario, cuando se acoplan a la desinfección, 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, mejoran la calidad de la descarga hasta el punto en que resulta adecuado para muchos propósitos de reutilización.

**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**.

**Eliminación de Sólidos Suspendidos:** En esta etapa, de ser necesario, se remueven las partículas que el tratamiento secundario no pudo eliminar. Se realiza mediante filtración, también conocida como **filtración terciaria**. Se aplica principalmente en el caso de reuso de efluentes, por ejemplo para riego, en este caso se eliminan estos sólidos para evitar la obturación del sistema de riego por aspersión.

*1: 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.*

## DESINFECCION

La etapa final del tratamiento de efluentes es la desinfección. La finalidad de la desinfección es la destrucción selectiva de los organismos que causan enfermedades. No todos los microorganismos se destruyen durante el proceso, esta es la principal diferencia entre la desinfección y la esterilización, proceso que implica la destrucción de la totalidad de los organismos.

En el campo de las aguas residuales, las tres categorías de organismos entéricos de origen humano de mayores consecuencias en la producción de enfermedades son las bacterias, los virus y los quistes amebianos.

Para determinar la eficiencia en la desinfección se utiliza un organismo índice. Un organismo índice es un tipo de organismo (coliformes) cuya eliminación se considera como indicativa de que todos los patógenos han muerto. El organismo índice debe cumplir que su detección y recuento sea sencillo.

La desinfección puede realizarse por métodos físicos o químicos:

PROCESOS FISICOS DE DESINFECCION	Rayos ultravioletas. Calor.
PRODUCTOS QUIMICOS DESINFECTANTES	Hipoclorito de Sodio Acido hipocloroso Dióxido de Cloro Cloro gaseoso Ozono

El método más ampliamente utilizado en plantas pequeñas y medianas es el hipoclorito de sodio (cloro líquido o lavandina).

El hipoclorito es un compuesto de relativamente seguro, de fácil manipuleo y de costo razonable. Actualmente la principal objeción al uso de este compuesto radica en la formación de subproductos de la desinfección, en este caso Tri-halo metanos (THM), que podrían causar daños a la salud.

Sin lugar a dudas el uso de rayos ultravioletas es el método de menor impacto al medio ambiente, pero requiere de un muy buen funcionamiento de la planta de efluentes y el costo de inversión es elevado.

En caso de reuso de efluentes para riego, la mejor opción es la desinfección mediante rayos ultravioletas, ya que evita la etapa posterior de remoción de cloro.

## TRATAMIENTO DE LODOS

En el proceso de purificar las aguas residuales se genera otro problema: los lodos. El tratamiento y disposición satisfactoria del lodo puede ser la operación individual más compleja y costosa en un sistema de tratamiento de aguas residuales municipales. El lodo lo forman materiales asentados que entran con el agua residual sin tratar y sólidos generados en el proceso de su tratamiento. Las cantidades de lodo involucradas son importantes. En el tratamiento primario pueden ser de 0,25 a 0,35% del volumen del agua residual tratada. Cuando se mejora el tratamiento con lodos activados las cantidades aumentan hasta 1,5 a 2,0%. El uso de reactivos para eliminar el fósforo puede agregar otro 1,0%. Los lodos que generan los procesos de tratamiento siguen siendo principalmente agua hasta en 97%. Por lo tanto, los procesos de tratamiento de lodos se ocupan de separar grandes cantidades de agua y residuos sólidos.

Los procesos básicos para tratar el lodo son:

1. *Espesado*: separación de toda el agua posible por gravedad o flotación.
2. *Estabilización*: conversión de los sólidos orgánicos a formas más refractarias o inertes para que se puedan manejar o usar como acondicionadores de suelo sin causar molestias ni riesgos para la salud, mediante los procesos llamados "digestión" (procesos de oxidación bioquímica).
3. *Acondicionamiento*: tratamiento del lodo con reactivos o calor para que el agua se pueda separar con facilidad.
4. *Desaguado*: separar el agua sometiendo el lodo a vacío, presión o secado.
5. *Reducción*: convertir los sólidos a una forma estable por oxidación en húmedo o incineración. Son procesos químicos de oxidación: disminuyen el volumen del lodo, de aquí el término "reducción".

**Disposición final:** Los residuos del proceso en las plantas de tratamiento de aguas residuales (lodos residuales tratados y no tratados) son la pesadilla del personal de diseño y operación. De los cinco métodos de eliminación en el sitio, dos son posibles y sólo uno es práctico. El aire, el océano, el "espacio exterior", el terreno o el mercado. La disposición en el aire, mediante la incineración, en realidad no es la última, sino un almacenamiento temporal hasta que el residuo cae al suelo. Aunque la incineración se practica mucho en el tratamiento de lodos, la ceniza y los residuos se deben desechar en algún sitio (generalmente rellenos sanitarios). La disposición del lodo de aguas negras en el mar o en el océano está prohibida en muchos países. El espacio exterior no es un sitio adecuado para eliminar desechos. Así que sólo quedan la disposición en el terreno (rellenos sanitarios) ó el uso del lodo en la obtención de algún producto (mercado).

---

## 2 - Energía a partir del tratamiento de efluentes

### Introducción

La humanidad se enfrenta con un cambio de paradigma que se ha impuesto en forma extraordinariamente rápida en todo el mundo. El mismo radica en la diversificación de las fuentes de energía juntamente con una contemplación creciente de los efectos ambientales. En este marco se ubica el aprovechamiento integral de la biomasa con fines energéticos.

El hombre también ha aprendido a recuperar la energía de las basuras y efluentes domésticos, los cuales constituyen un caso singular de la biomasa.

Los desechos tienen un alto contenido en materia orgánica, y otros componentes, como el papel, con un poder calorífico similar al de los carbones de baja calidad. Actualmente, con tecnologías muy diversas, se extrae la energía que nosotros hemos depositado en el contenedor de la calle en forma de bolsa de basura.

Pero no hay que olvidar que la mejor estrategia de eliminación de residuos urbanos consiste en combinar procesos de recogida selectiva con reciclaje y compostaje y, a la vez, limitar, cuanto más mejor, las opciones de verter e incinerar, por los problemas medioambientales que generan.

### Los comienzos del biogás y los procesos anaeróbicos

La fermentación anaeróbica es un proceso natural que ocurre en forma espontánea en la naturaleza y forma parte del ciclo biológico. De esta forma podemos encontrar el denominado "gas de los pantanos" que brota en aguas estancadas, el gas natural metano de los yacimientos petrolíferos, así como el gas producido en el tracto digestivo de los rumiantes como los bovinos. En todos estos procesos intervienen las denominadas bacterias metanogénicas.

Las primeras menciones sobre biogas se remontan al 1.600 identificados por varios científicos como un gas proveniente de la descomposición de la materia orgánica.

En el año 1890 se construye el primer biodigestor a escala real en la India y ya en 1896 en Exeter, Inglaterra, las lámparas de alumbrado público eran alimentadas por el gas recolectado de los digestores que fermentaban los lodos cloacales de la ciudad.

Tras las guerras mundiales comienza a difundirse en Europa las llamadas fábricas productoras de biogás cuyo producto se empleaba en tractores y automóviles de la época. En todo el mundo se difunden los denominados tanques Imhoff para el tratamiento de aguas cloacales colectivas. El gas producido se lo utilizó para el funcionamiento de las propias plantas, en vehículos municipales y en algunas ciudades se lo llegó a inyectar en la red de gas comunal.

Durante los años de la segunda guerra mundial comienza la difusión de los biodigestores a nivel rural tanto en Europa como en China e India que se transforman en líderes en la materia.

Esta difusión se ve interrumpida por el fácil acceso a los combustibles fósiles y recién en la crisis energética de la década del 70 se reinicia con gran ímpetu la investigación y extensión en todo el mundo incluyendo la mayoría de los países latinoamericanos.

Los últimos 20 años han sido fructíferos en cuanto a descubrimientos sobre el funcionamiento del proceso microbiológico y bioquímico gracias al nuevo material de laboratorio que permitió el estudio de los microorganismos intervinientes en condiciones anaeróbicas (ausencia de oxígeno).

Estos progresos en la comprensión del proceso microbiológico han estado acompañados por importantes logros de investigación aplicada obteniéndose grandes avances en el campo tecnológico.

Reactores anaeróbicos de plantas de tratamiento de desechos industriales, han tenido una importante evolución en los últimos años y habiendo superado una primera etapa a nivel piloto, en Europa y China se encuentran actualmente siendo difundidos para determinados fines en combinación con tratamientos aeróbicos convencionales.

Estos reactores anaeróbicos son de enormes dimensiones (más de 1.000 m<sup>3</sup> de capacidad), trabajan a temperaturas mesofílicas (20°C a 40°C), o termofílicas (más de 40°C) poseen sofisticados sistemas de control y están generalmente conectados a equipos de cogeneración que brindan como productos finales; calor, electricidad y un efluente sólido de alto contenido proteico, para usarse como fertilizante o alimento de animales.

A nivel latinoamericano, se ha desarrollado tecnología propia en la Argentina para el tratamiento de vinazas, residuo de la industrialización de la caña de azúcar.

El tratamiento de líquidos cloacales mediante sistemas anaeróbicos solos o combinados con tratamientos aeróbicos es una técnica muy difundida en todo el mundo desde hace más de 40 años. Para tener una idea de su importancia el gas generado por esta técnica en Europa alcanzaba en el año 1975 un total de casi 240 millones de m<sup>3</sup> anuales de biogas.

Recientes progresos en equipos de cogeneración han permitido una más eficiente utilización del gas generado y los continuos avances en las técnicas de fermentación aseguran un sostenido desarrollo en este campo.

Debe tenerse en cuenta que la incorporación de esta tecnología obliga a una estricta regulación en cuanto a tipo de productos que se vierten en los sistemas cloacales urbanos; por este motivo en algunos países donde los desechos industriales son vertidos sin tratar en las cloacas los reactores anaeróbicos han tenido graves problemas de funcionamiento y en muchos casos han sido abandonados.

El **relleno sanitario**, práctica muy difundida en el mundo para disponer de los residuos sólidos en las grandes ciudades han evolucionado incluyendo hoy en día modernas técnicas de extracción y purificación del gas metano generado en los mismos. Este fenómeno en décadas pasadas generaba graves problemas, entre los



cuales figuraba el ambiental, por muerte de la vegetación que se encontraba en las zonas cercanas, malos olores que molestaban a los vecinos y explosivas mezclas de gases que se acumulaban en los sótanos de la vecindad.

El avance de esta técnica ha permitido que importantes ciudades del mundo, como es el caso de Santiago de Chile en América Latina, incluya un importante porcentaje de gas procedente de esta fuente en la red de distribución urbana de gas natural.

Las causas que motivarán y regularán su futura expansión se encuentran centradas en dos aspectos críticos del futuro como son la energía y la contaminación.

## **Principios de la fermentación anaerobica**

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. Cada etapa del proceso la llevan a cabo grupos distintos de bacterias, que han de estar en perfecto equilibrio.

La fermentación anaeróbica involucra a un complejo número de microorganismos de distinto tipo los cuales pueden ser divididos en tres grandes grupos principales. La real producción de metano es la última parte del proceso y no ocurre si no han actuado los primeros dos grupos de microorganismos.

Las bacterias productoras del biogas son estrictamente anaeróbicas y por lo tanto sólo podrán sobrevivir en ausencia total de oxígeno atmosférico.

La generación de biogas, mezcla constituida fundamentalmente por metano ( $\text{CH}_4$ ) dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), y pequeñas cantidades de hidrógeno ( $\text{H}_2$ ), sulfuro de hidrógeno ( $\text{SH}_2$ ) y nitrógeno ( $\text{N}_2$ ) constituye un proceso vital dentro del ciclo de la materia orgánica en la naturaleza.

Hoy en día gracias a estudios muy recientes podemos conocer mejor el mecanismo y funcionamiento de este complejo sistema microbiológico involucrado en la descomposición de la materia orgánica que la reduce a sus componentes básicos: metano - $\text{CH}_4$ - y dióxido de carbono - $\text{CO}_2$ -.

## **Etapas del proceso:**

Veamos ahora las diferentes etapas intervinientes y sus principales características.

Hidrólisis: La hidrólisis es la ruptura de moléculas grandes, solubles e insolubles, en moléculas de menor tamaño que pueden ser transportadas dentro de las células y metabolizadas. En este proceso no se produce metano, y en la mayor parte de los

casos supone una etapa que se desarrolla lentamente. Las bacterias de esta primera etapa toman la materia orgánica virgen con sus largas cadenas de estructuras carbonadas y las van rompiendo y transformando en cadenas más cortas y simples (ácidos orgánicos) liberando hidrógeno y dióxido de carbono. Este trabajo es llevado a cabo por un complejo de microorganismos de distinto tipo que son en su gran mayoría anaerobios facultativos.

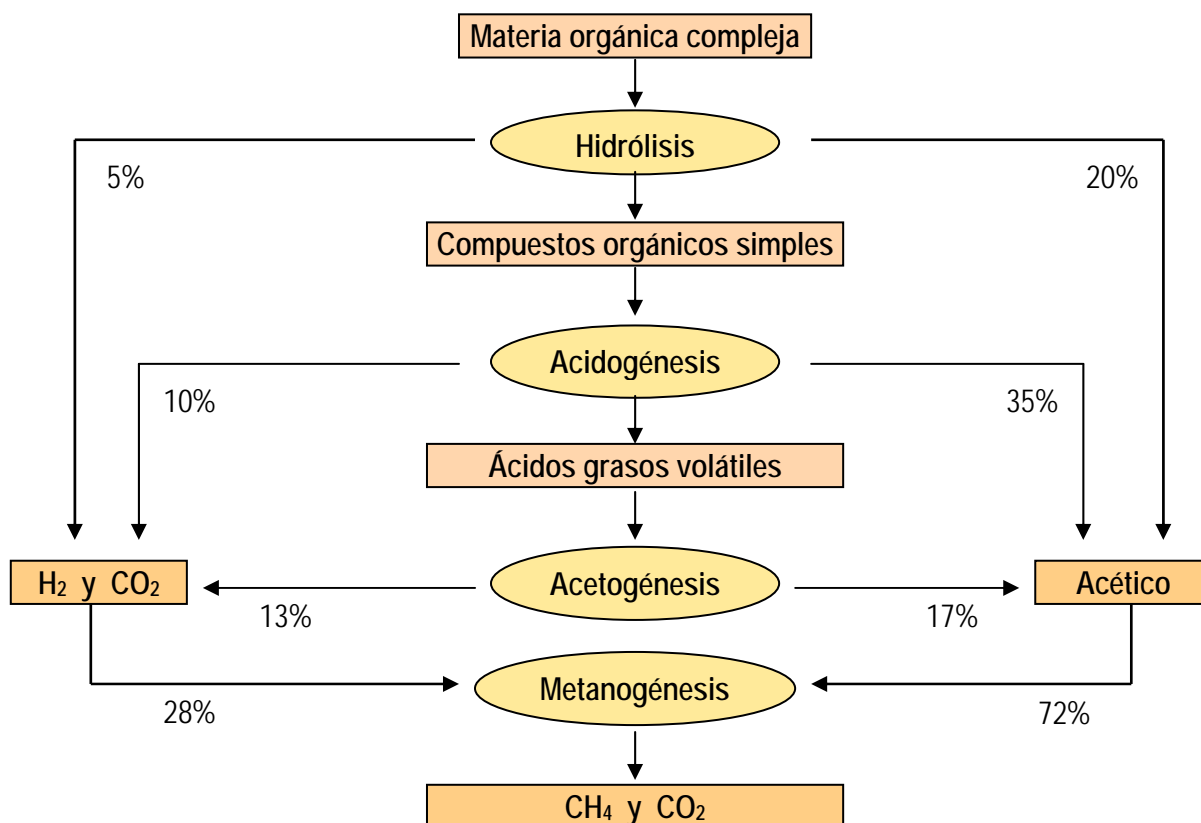
Formación de ácidos (acidogénesis) y acetato (acetogénesis): Los productos finales de la hidrólisis son transformados en ácidos orgánicos de cadena corta, otros compuestos de bajo peso molecular, hidrógeno y dióxido de carbono. Estas bacterias son altamente resistentes a variaciones en las condiciones ambientales. Por ejemplo, aunque el pH óptimo para el desarrollo de su actividad metabólica es 5-6, los procesos anaerobios generalmente son conducidos a pH 7, y aún en estas condiciones su actividad metabólica no decae.

Metanogénesis: La formación de metano, siendo este el último producto de la digestión anaerobia, ocurre por dos grandes rutas: La primera de ellas, es la formación de metano y dióxido de carbono a partir del principal producto de la fermentación, el ácido acético. Las bacterias que consumen el ácido acético se denominan bacterias acetoclastas.

Algunas bacterias metanogénicas son también capaces de usar el hidrógeno para reducir el dióxido de carbono a metano (metanogénicas hidrogenoclastas).

La metanogénesis es la etapa crítica en el proceso de degradación, por las características de las bacterias que la llevan a cabo, y por ser la más lenta de todo el proceso. En buena medida, la digestión anaerobia se ha de llevar a cabo en las condiciones óptimas para el buen funcionamiento de estas bacterias metanogénicas.

Actualmente está ampliamente aceptado que la degradación de la materia orgánica sigue una distribución como la detallada, y que se muestra resumida en la figura



Las bacterias metanogénicas en efecto constituyen el último eslabón de la cadena de microorganismos encargados de digerir la materia orgánica y devolver al medio los elementos básicos para reiniciar el ciclo. Se estima que anualmente la actividad microbiológica libera a la atmósfera entre 590 y 880 millones de toneladas de metano.

### **Condiciones de operación**

Tanto las variables físicas como las químicas influyen en el hábitat de los microorganismos. 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.

### **Tipos de materia prima**

Las materias primas fermentables incluyen dentro de un amplio espectro a los excrementos animales y humanos, aguas residuales orgánicas de las industrias (producción de alcohol, procesamiento de frutas, verduras, lácteos, carnes, alimenticias en general), restos de cosechas y basuras de diferentes tipos, como los efluentes de determinadas industrias químicas.

El proceso microbiológico no solo requiere de fuentes de carbono y nitrógeno sino que también deben estar presentes en un cierto equilibrio sales minerales (azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, molibdeno, zinc, cobalto, selenio, tungsteno, níquel y otros menores).

Normalmente las sustancias orgánicas como los estiércoles y lodos cloacales presentan estos elementos en proporciones adecuadas. Sin embargo en la digestión de ciertos desechos industriales puede presentarse el caso de ser necesaria la adición de los compuestos enumerados o bien un post tratamiento aeróbico

Las sustancias con alto contenido de lignina no son directamente aprovechables y por lo tanto deben someterse a tratamientos previos (cortado, macerado, compostado) a fin de liberar las sustancias factibles de ser transformadas de las incrustaciones de lignina.

En lo atinente a estiércoles animales la degradación de cada uno de ellos dependerá fundamentalmente del tipo de animal y la alimentación que hallan recibido los mismos.

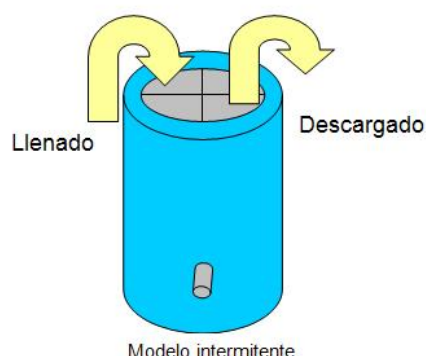
### **Los digestores o biodigestores**

De acuerdo a la aplicación de gas, las características del material a ser digerido, a las exigencias en cuanto a niveles de descontaminación a lograr y a la relación costo-inversión-beneficio se han diseñado y probado diversos tipos de digestores.

En siguiente cuadro se agrupan los distintos tipos de digestores en utilización, desde los más sencillos hasta la última generación de reactores de alta eficiencia, complejidad y costo; clasificando los mismos de acuerdo a diferentes criterios.

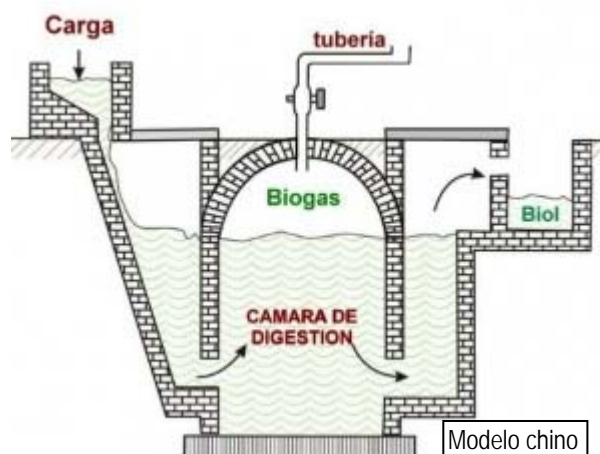
1- CARGA	a) Sistema Batch b) Sistema continuo o semicontinuo
2 – INTENSIDAD DE MEZCLA	a) Mezcla completa b) mezcla parcial o nula
3 - MANEJO DEL SUBSTRATO	a) Contacto anaeróbico b) U.A.S.B.(Up-flow Anaerobic Sludge Blanket) c) Lecho fluidizado d) Filtro anaeróbico
4 – MANEJO BIOQUÍMICO	a) Una etapa b) Dos etapas

**1-a) Sistema Batch:** Se caracterizan por una carga y vaciado total de la cámara de digestión. De uso en laboratorios y en el tratamiento de materias vegetales. Con o sin agitación. Requieren para acelerar su arranque de una proporción de inoculo 20%. Su curva de producción de gas sigue la característica (arranque-estabilización-agotamiento). Esto obliga a poseer por lo menos tres o cuatro digestores operando en las distintas etapas, a fin de mantener la producción de biogas en un cierto nivel uniforme.



Este tipo de digestores son eficaces para la digestión de materiales celulósicos que no pueden ser tratados en los digestores de tipo continuo debido al posible taponamiento de los conductos de alimentación y salida. Su utilización no está muy difundida.

**1-b) Sistema continuo o semicontinuo:** En este tipo de digestores el volumen que ingresa desplaza una cantidad equivalente de efluente que se evacua por la salida. De este modo el volumen del substrato en la cámara de digestión se mantiene constante. Los continuos se cargan generalmente en forma diaria, a diferencia de los semicontinuos se descargan totalmente una o dos veces por año que generalmente coincide con el período de siembra para aprovechar el poder fertilizante de los residuos de la digestión y de los lodos fermentados, parte de estos últimos es utilizada en el nuevo arranque. (Sistema muy difundido en China).

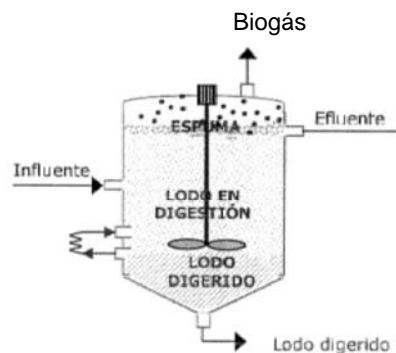


El tiempo de permanencia de la biomasa dentro del digestor estará dado por el cociente entre el volumen de la cámara de digestión y el de la carga diaria. Dicho valor no es exacto debido a que la parte del material introducido puede salir en un período más corto, lo que se trata de minimizar mediante un adecuado diseño de la cámara. La mayor parte de los digestores difundidos a lo largo de todo el mundo pertenecen a esta categoría y existen dentro de ella enormes variaciones sobre el mismo principio.

**2-a) Mezclado completo:** En estos digestores se busca que el substrato en fermentación dentro de la cámara se mezcle en forma total, en general diariamente. En el caso de los reactores calefaccionados, esta acción asegura una distribución uniforme de la temperatura en todo el volumen. Existen diversos medios para lograr

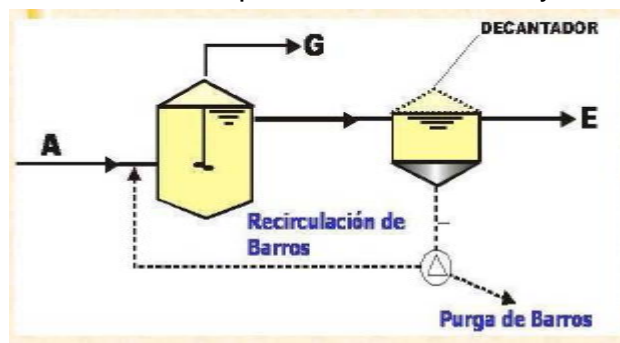
este fin, entre los que podemos mencionar: la agitación de líquidos mediante bombas internas o externas al digestor y la reinyección de biogas dentro de la cámara produciendo un intenso burbujeo.

Se debe tener mucho cuidado en la intensidad y periodicidad de la agitación, para no afectar el delicado equilibrio bacteriano.

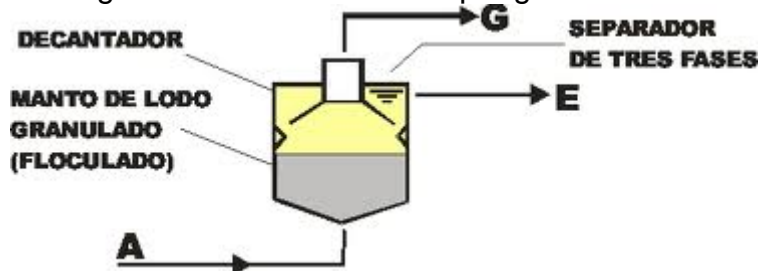


**2-b) Mezclado parcial:** En este grupo se encuentran los pequeños digestores rurales en los cuales los métodos de agitación son muy rudimentarios (agitadores del tipo manual o rotación de la campana gasométrica). Los que se realizan con el fin de evitar la formación de la perjudicial costra.

**3-a) Contacto anaeróbico:** Tanto en este como en los siguientes sistemas se ha buscado algún medio para retener la mayor cantidad de bacterias activas dentro de la cámara de digestión a fin de lograr menores tiempos de retención y consecuentemente menores volúmenes de digestor para tratar la misma cantidad de biomasa. En estos digestores la pileta de sedimentación a la salida de los mismos le da la posibilidad a las bacterias que han salido con el efluente a asentarse y decantar para luego ser reintroducidas en forma de lodo, mezclado con material de carga como inóculo. Existen otros dos métodos para retener la masa bacteriana a la salida del reactor, como puede ser un sedimentador externo en el cual las partículas más pesadas son recirculadas. Otro puede ser un separador de membranas, que no hace otra cosa que filtrar las bacterias, proceso que se realiza mediante un bombeo externo del lodo de la parte inferior hacia la superior.



**3-b) U.A.S.B.(Up-flow Anaerobic Sludge Blanket): Digestor de manto de barro con flujo ascendente:** En su interior posee separadores y mamparas estratégicamente ubicadas las que generan zonas de tranquilidad en las cuales las bacterias han conformado flóculos que sedimentan y así se evita que salgan con el efluente que es sacado por la parte superior de la cámara de carga. Este tipo de digestor es especialmente apto para el tratamiento de



deshechos agroindustriales como la vinaza, no admite partículas insolubles. Este modelo de biodigestor fue desarrollado en Holanda, con gran suceso en 1980, en la Universidad de Wagenigen. En nuestro país (Sauce Viejo-Santa Fe) se construyó en 1992 el primer biodigestor agroindustrial de este tipo con un volumen de 1200 metros cúbicos (Leiner Santafecina de Gelatinas).

**3- c) Lecho fluidizado:** En este tipo de reactor unas pequeñas partículas se mantienen en suspensión dentro de la cámara de digestión. Las bacterias se adhieren a estas partículas, que no son atacadas y salen con ellas. Mediante el filtrado del efluente se pueden recuperar estas partículas juntamente a las bacterias y se reintroducen en el digestor. Este tipo de reactor está poco difundido y las



mayores referencias son de plantas a nivel laboratorio o piloto. Los hay de flujo ascendente y descendente.

**3-d) Filtro anaeróbico:** Estos reactores tienen la particularidad de ser alargados (relación alto/diámetro mayor a 1). Últimamente se está experimentando con filtros horizontales, pero los verticales siguen siendo más eficientes. En su interior poseen un medio fijo que puede estar constituido por cañerías reticuladas, piedra caliza, formas plásticas de gran relación superficie/volumen, etc. Sobre estos materiales no atacables se adhieren las bacterias y así se evita su pérdida, que disminuye notablemente los tiempos de retención. Existen dos variantes: de flujo ascendente y de flujo descendente.

Debido a estos elementos filtrantes ubicados dentro de la cámara de digestión, no admiten líquidos con material insoluble en suspensión ya que dichos sólidos bloquearían el pasaje del substrato. Este tipo de digestores está difundándose últimamente para determinados usos.

Tanto este digestor, como los dos anteriores admiten tiempos de retención muy bajos (0,5 a 3 días) con muy altos niveles de eficiencia (se han llegado a valores de producción de biogas de 7 veces el volumen del reactor por día).

**4-a) Una etapa:** Todos los tipos de digestores vistos hasta este momento se agrupan en esta categoría debido a que todas las etapas de la digestión anaeróbica se cumplen en una única cámara, en la cual todas las bacterias están sometidas a las mismas condiciones.

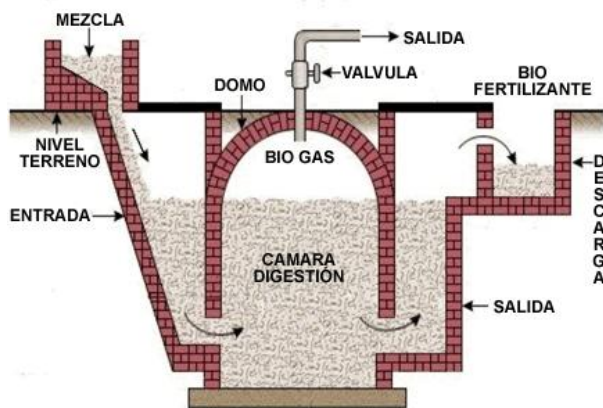
**4-b) Dos etapas:** En estos reactores se ha dividido en dos cámaras de digestión separadas, donde en la primera se desarrolla la etapa acidogénica y en la segunda la acética y la metanogénica. Esto permite optimizar las condiciones de desarrollo de cada tipo de bacterias y extraer los sólidos indigeribles antes que pasen a la etapa metanogénica. Estos digestores no han sobrepasado la etapa experimental y de plantas piloto y aún resta solucionar una serie de problemas de funcionamiento a gran escala para llegar a una amplia difusión.

Se ha dejado intencionalmente para comentar en esta última parte los Rellenos Sanitarios (Landfills), puesto que son un tratamiento anaeróbico diferente. El biogas puede o no recolectarse, para hacerlo será menester instalar cañerías agujereadas en lechos de piedras, generalmente en tramos horizontales dispuestos en diferentes niveles que convergen a uno vertical, que llega a la superficie exterior.

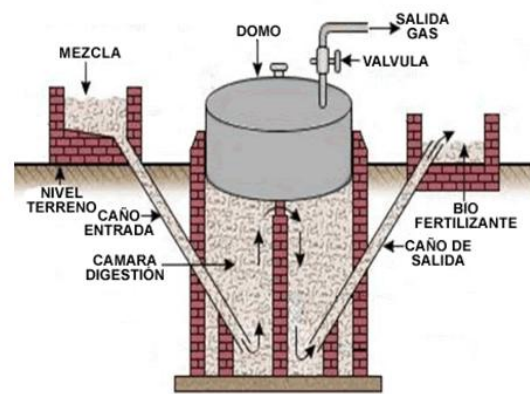
Este tratamiento es muy utilizado en Europa por los sectores municipales en el saneamiento de ciudades, con recuperación de grandes volúmenes de gas. En América Latina, Chile, Brasil y Argentina son los países pioneros en aplicar con éxito este método.

### **Modelos de digestores más difundidos:**

Más del 80 % de las plantas de biogas difundidas en el mundo pertenecen a dos tipos de diseño, cuyos nombres derivan de los países en los cuales se realizaron los primeros modelos y posteriormente se les dio una difusión masiva. Estos modelos son el tipo Chino e Hindú.



Digestor tipo Chino



Digestor tipo Hindú

## Autos alimentados con biogás

En Bristol –Reino Unido- el tradicional “escarabajo” de Volkswagen ha sido adaptado para funcionar con biogás. Efectivamente, el “Bio-Bug” funciona con gas metano generado durante el proceso de tratamiento de aguas residuales.

Residuos vaciados en los aseos de sólo 70 viviendas de Bristol son suficientes para alimentar el Bio-Bug durante un año, basado en un kilometraje anual de 10.000 millas (15.000 Km)

La empresa inglesa GenEco especializada en el tratamiento de efluentes, produce biogás para alimentar sus propias instalaciones y además aporta a la red nacional. Con los excedentes disponibles decidieron encarar este proyecto: "Hemos decidido alimentar un vehículo sobre el gas, ofreciendo una alternativa sostenible al uso de combustibles fósiles que tan fuertemente contamos con en el Reino Unido" expresó su Gerente General.



Muchos países (entre ellos Argentina, China, India y Reino Unido) utilizan gas natural comprimido (GNC) para vehículos particulares y autobuses.

En Suecia, ya hay más de 11,500 vehículos alimentados con biometano producido en plantas de tratamiento de aguas residuales.

Para utilizar el biogás como combustible de vehículos sin afectar el rendimiento del vehículo o fiabilidad, el gas debe ser tratado mediante un proceso llamado “biogás mejorado”. Se debe separar el dióxido de carbono del biogás utilizando equipos especiales.

Alrededor de 18 millones de metros cúbicos de biogás se producen en Bristol mediante el tratamiento de aguas residuales durante un año.

Si todo el biogás producido en la planta de GENeco (Avonmouth) fuera empleado para combustible de coches evitaría alrededor de 19.000 toneladas de CO<sub>2</sub>.

GENeco cree que producirá más gas en su planta de Avonmouth cuando la empresa se embarca en su última apuesta verde para reciclar los desperdicios de alimentos.

## BIBLIOGRAFÍA

- *Ingeniería y ciencias ambientales (Mackenzie L. Davis – Susan J. Masten)*
- *Tratamiento de efluentes - parámetros de vuelco (Ing. Mario D'Angélica - Ing. Isabel Alvarez )*
- *Tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilización (Ing. Jairo Alberto Romero Rojas)*
- *Manual para la producción de Biogás, Instituto de Ingeniería Rural, INTA Castelar, por Ing. A. M. Sc. Jorge A. Hilbert*
- *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*
- *"Car is flushed with power", [www.geneco.uk.com](http://www.geneco.uk.com)*