

**COMPETENCIA SOBRE AGUA, ENERGÍA Y AMBIENTE**

5° ciclo - año 2011

**Bibliografía 3ª semifinal**

**Temas:**

**EL CICLO DEL AGUA - DISPONIBILIDAD Y POTABILIZACIÓN**

**ENERGÍA HIDRÁULICA - ENERGÍAS DEL MAR**

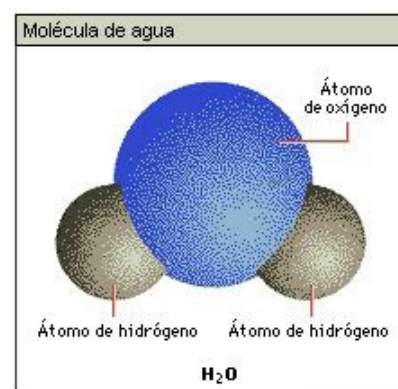
## La naturaleza e importancia del agua

*El agua en todas sus formas, no tiene gran respeto a las leyes de la química. La mayoría de los materiales actúan, bien como ácidos, bien como bases, perteneciendo a una o a otra categoría. El agua no. Es una de las pocas sustancias que se pueden comportar como ácido o como base, por lo que en ciertas condiciones es capaz de reaccionar con ella misma. O con cualquier otra cosa.*

*Las moléculas de agua están fuera de equilibrio y son difíciles de satisfacer. Se alargan para interferir con cualquier molécula que encuentran, empujando sus átomos, rodeándolos y disolviéndolos. El agua es el disolvente definitivo, humedece todo, arranca elementos de las rocas, y los dispone para la vida. Ante ella nada está seguro. No hay un contenedor lo suficientemente fuerte para albergarla. (L. Watson, The Water Planet, 1988).*

El agua es una necesidad absoluta, simplemente no podemos vivir sin agua. Es un componente de nuestra naturaleza que ha estado presente en la Tierra desde hace más de 3.000 millones de años, ocupando tres cuartas partes de la superficie del planeta. Su naturaleza se compone de tres átomos, dos de hidrógeno y uno de oxígeno, que unidos entre sí forman la molécula de agua ( $H_2O$ ), unidad mínima en que ésta se puede encontrar. La forma en que estas moléculas se unen entre sí determinará la forma en que encontramos el agua en nuestro entorno: como líquidos, en lluvias, ríos, océanos, etc.; como sólidos, en témpanos y nieves; o como gas, en las nubes.

Se halla en forma líquida entre cero y  $100^{\circ}C$ , sólida a cero grados y por debajo de esta temperatura, y gaseosa a  $100^{\circ}C$  y por encima de esa temperatura.



Es el componente más abundante de la Tierra y podemos encontrarla dulce y salada: esta última en un 97 %, y la primera en un 3%. La diferencia entre el agua de mar (salada) y el agua dulce está en su composición. La primera contiene disuelta entre 20 y 35 partes por mil de sal, o sea entre 20 y 35 mil miligramos por litro. El agua dulce prácticamente no contiene sal: entre 0 y 0,5 partes por mil, esta es la razón por la cual casi no tiene sabor.

Debe recordarse que, a diferencia de lo que se cree, el agua apta para el consumo humano es un recurso escaso. La disponibilidad de agua es fundamental para el mantenimiento de los ecosistemas y para las comunidades, la industria, la agricultura y las actividades comerciales; su presencia o ausencia con calidad y volumen suficiente tiene efectos significativos en la sustentabilidad de la vida.

La **hidrología** es una actividad multidisciplinaria que se centra en la cuestión de cuánta agua puede esperarse que haya en un sitio y momento dados. Su aplicación es importante para garantizar el abastecimiento adecuado de agua con respecto al suministro de agua potable, irrigación y usos industriales, así como con el fin de distribución del agua en la superficie terrestre o por encima de ella. Abarca el agua de lagos, ríos y otras corrientes, tanto en tierra como en el aire. La hidrología del agua subterránea trata sobre la distribución de este líquido en materiales geológicos subterráneos (acuíferos), como la arena, roca o grava.

## El ciclo del agua ó ciclo hidrológico

El agua está siempre en movimiento. La característica más esencial del agua es que es dinámica. Constantemente se evapora del mar, lagos, suelo y hojas; se

transporta hacia la atmósfera, cae sobre el suelo, recorre la superficie del suelo, se infiltra y fluye posteriormente a través de los estratos de roca hasta los acuíferos. Finalmente el agua encuentra el camino hacia el mar, de hecho el agua nunca descansa y constantemente se recicla.

El **ciclo natural del agua o ciclo hidrológico**, es el medio por el cual el agua en sus tres formas – sólida, líquida y gaseosa- circula a través de la biosfera. El agua que se pierde en la superficie, se dirige hacia la atmósfera, bien por evaporación de la superficie de los lagos, ríos y océanos, o bien a través de la evapotranspiración de las plantas. Forma nubes que, al condensarse luego precipitan en forma de lluvia, nieve o granizo. El agua que recoge la tierra fluye hacia el océano por los cursos de agua y se infiltra en el interior de la tierra para constituir el agua subterránea, también el agua subterránea finalmente fluye hacia los océanos.

En síntesis el ciclo hidrológico describe el movimiento y conservación del agua en la Tierra. Abarca toda el agua presente sobre la superficie del planeta o debajo de ella, es decir, el agua de mar y dulce, agua subterránea y superficial, agua presente en las nubes y la atrapada en rocas por debajo de la superficie terrestre.

Cuando el hombre interviene en el ciclo natural del agua se generan **ciclos hidrológicos artificiales o ciclos hidrológicos urbanos**: estos son los que hemos creado, controlado y del que somos dependientes, y consisten en el suministro de agua, la purificación, el uso y la conducción, para reutilizarla en las principales áreas metropolitanas. Un ciclo hecho por el hombre que imita al ciclo hidrológico de la naturaleza.

## Etapas del ciclo hidrológico

El agua se transfiere a la atmósfera mediante dos procesos distintos: 1) evaporación, y 2) transpiración. Un tercer proceso se deriva de ambos y se llama evapotranspiración.

La **evaporación** es la conversión del agua líquida de los lagos corrientes y otros cuerpos de agua en vapor. La **transpiración** es el proceso por el que las plantas emiten agua por medio de sus estomas, pequeños orificios en el anverso de las hojas que están conectados con el tejido vascular. Ocurre principalmente durante la fotosíntesis, cuando los estomas de las hojas están abiertos para la transferencia de dióxido de carbono y oxígeno. Es frecuente que sea problemático distinguir entre la evaporación verdadera y la transpiración, de modo que los hidrólogos usan el término **evapotranspiración** para referirse a las pérdidas de agua combinadas por transpiración y evaporación.

La **precipitación** es el principal mecanismo por el que se libera agua de la atmósfera. Asume varias formas: la más frecuente en regiones de clima templado es la lluvia. Además puede presentarse en forma de granizo, nieve, aguanieve y granizo.

Al precipitarse el agua a la superficie terrestre, las gotas pueden caer en ríos y otras corrientes: el llamado **escurrimiento superficial, flujo terrestre o escurrimiento directo**; moverse de manera lateral justo en el plano inferior a la superficie terrestre: **inferflujo**; o desplazarse verticalmente a través del suelo y convertirse en agua subterránea: **infiltración o percolación**.

La **condensación** es el proceso por el cual el vapor de agua del aire se transforma en agua líquida. La condensación es importante para el ciclo del agua ya que forma las nubes. Estas nubes pueden producir precipitación, la cual es la principal forma que el agua regresa a la Tierra. La condensación es lo opuesto a la evaporación. La condensación es responsable también de la niebla, de que se empañen tus lentes cuando pasas de un cuarto que está frío a uno más cálido, de la humedad del día,



de las gotas que escurren por el lado de afuera de tu vaso y de las gotas que se forman del lado de adentro de las ventanas cuando el día está frío. Incluso en aquellos días en que el cielo está completamente despejado de nubes, el agua sigue presente en forma de vapor de agua y de pequeñas gotas demasiado pequeñas como para ser vistas. Las moléculas de agua se combinan con diminutas partículas de polvo, sales y humo para formar gotas de nube, que crecen y forman las nubes. Cuando las gotas de nube se juntan entre sí crecen en tamaño formándose las nubes, y la precipitación puede suceder.



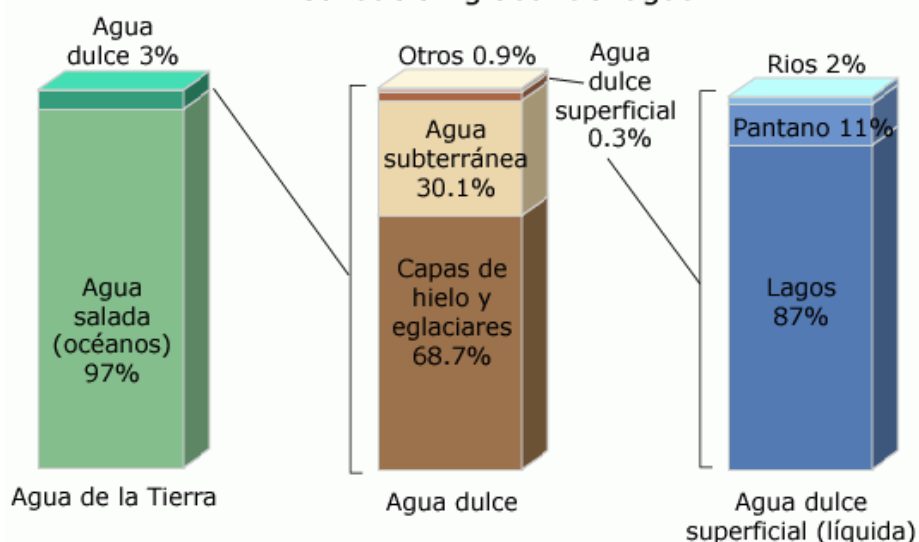
## DISTRIBUCIÓN GLOBAL DEL AGUA

Un 70% de la superficie de la tierra es agua, pero la mayor parte de ésta es oceánica. En volumen, sólo 3% de toda el agua del mundo es agua dulce, y en su mayor parte no se halla generalmente disponible. Unas tres cuartas partes de toda el agua dulce se halla inaccesible, en forma de casquetes de hielo y glaciares situados en zonas polares muy alejadas de la mayor parte de los centros de población; sólo un 1% es agua dulce superficial fácilmente accesible. Ésta es primordialmente el agua que se encuentra en los lagos y ríos y a poca profundidad en el suelo, de donde puede extraerse sin mayor costo.

Para una descripción detallada de dónde se encuentra el agua de la Tierra, mira el gráfico de barras de abajo y la tabla de datos. Observa que, del total de agua de la Tierra, 1.386 millones de kilómetros cúbicos (332.5 millones de millas cúbicas), alrededor de un 97 por ciento, es agua salada, el resto (alrededor de un 3%) es agua dulce.

Del agua dulce total, un 68,7 por ciento está confinada en los glaciares y la nieve y un 30,1 por ciento está en el subsuelo (agua subterránea). Las fuentes superficiales de agua dulce, como lagos y ríos, representan aproximadamente el 1%. A pesar de esto, los ríos y lagos son la principal fuente de agua que la población usa a diario.

## Distribución global del agua



Fuente de agua	Volumen de agua, en metros cúbicos	Volumen de agua, en millas cúbicas	Porcentaje de agua dulce	Porcentaje total de agua
Océanos, Mares y Bahías	1,338,000,000	321,000,000	--	96.5
Capas de hielo, Glaciares y Nieves Perpetuas	24,064,000	5,773,000	68.7	1.74
Agua subterránea	23,400,000	5,614,000	--	1.7
Dulce	10,530,000	2,526,000	30.1	0.76
Salada	12,870,000	3,088,000	--	0.94
Humedad del suelo	16,500	3,959	0.05	0.001
Hielo en el suelo y gelisuelo (permafrost)	300,000	71,970	0.86	0.022
Lagos	176,400	42,320	--	0.013
Dulce	91,000	21,830	0.26	0.007
Salada	85,400	20,490	--	0.006
Atmósfera	12,900	3,095	0.04	0.001
Agua de pantano	11,470	2,752	0.03	0.0008
Ríos	2,120	509	0.006	0.0002
Agua biológica	1,120	269	0.003	0.0001
<b>Total</b>	<b>1,386,000,000</b>	<b>332,500,000</b>	<b>-</b>	<b>100</b>

Fuente: Gleick, P. H., 1996: Water resources. In Encyclopedia of Climate and Weather, ed. by S. H. Schneider, Oxford University Press, New York, vol. 2, pp.817-823.

Aún entonces esta cantidad sería suficiente para satisfacer las necesidades humanas si el agua estuviera distribuida por igual entre todos los habitantes del mundo. Pero las cifras per cápita sobre la disponibilidad de agua presentan un cuadro engañoso. El agua dulce mundialmente disponible no está equitativamente distribuida en el mundo, ni en todas las estaciones del año, ni de año a año. En algunos casos el agua no está donde la queremos, ni en cantidad suficiente. En otros casos tenemos demasiada agua en el lugar equivocado y cuando no hace falta. "Vivimos bajo la tiranía del ciclo del agua", observa el hidrólogo Malin Falkenmark, refiriéndose al ciclo hidrológico de la tierra.

**■ Escasez de agua**  
Menos de 1.000 metros cúbicos por persona por año

**■ Tensión hídrica**  
1.000 a 1.700 metros cúbicos por persona por año

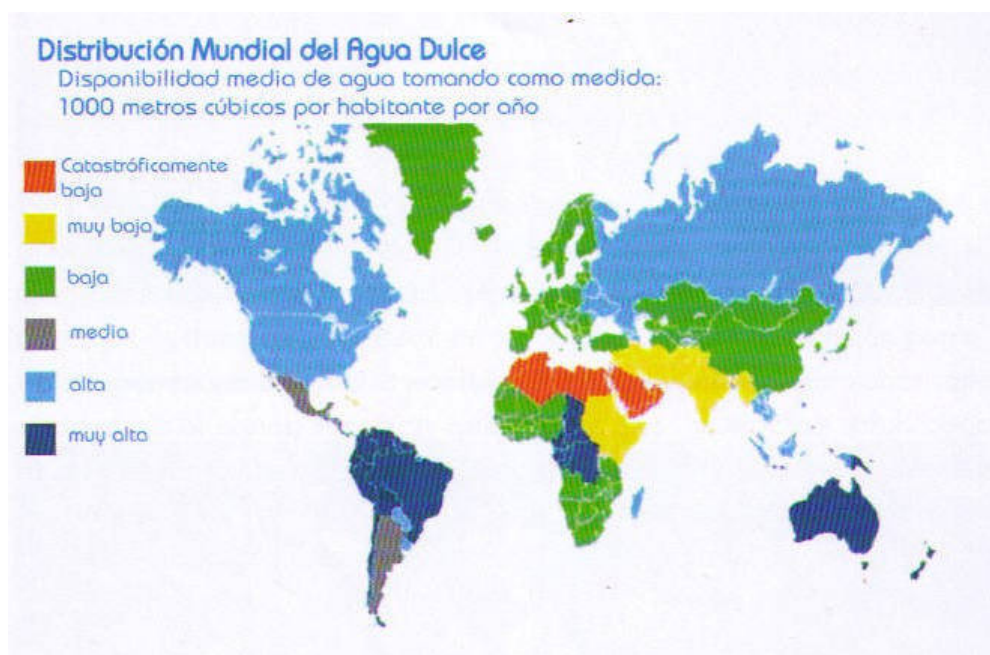
## Pobres y ricos en agua

En el siguiente esquema pretendemos visualizar cuál es la relación actual entre las reservas de agua dulce y la población que habita esos territorios. Nos interesa tanto establecer cuáles son las cantidades netas de agua existentes en cada país, como así también cuánta agua le correspondería a cada habitante, en caso de realizarse una distribución equitativa entre la gente de cada nación. Establecer esta relación sería muy importante si se planificara el crecimiento poblacional de los países, porque dejaría en evidencia cuántas personas podrían vivir en un territorio determinado, tomando en cuenta la cantidad de agua disponible.

Dividimos el planisferio en cinco grandes categorías, tomando en cuenta la cantidad de agua disponible en proporción a la población que habita cada país. No estamos hablando de cuánta agua necesita cada habitante para satisfacer sus necesidades básicas, por debajo de lo cual corre riesgo su salud y comprometer seriamente su supervivencia, sino de cuánta agua podría estar disponible para cada persona que vive en esa nación, en caso de que se repartiera en partes iguales. Estos números son el resultado de cálculos y consideraciones muy generales, realizadas con el único fin de orientar acerca de cuáles son los pueblos que viven mayores apremios con respecto al agua.

Estas son las categorías identificadas:

1. **Muy baja disponibilidad.** A cada habitante le correspondería entre 1.000 y 2.000 metros cúbicos (uno y dos millones de litros) de agua, a lo largo de todo un año.
2. **Baja disponibilidad.** Entre 2.000 y 5.000 metros cúbicos (2 y 5 millones de litros)
3. **Disponibilidad media.** Entre 5.000 y 10.000 metros cúbicos (cinco y diez millones de litros).
4. **Alta disponibilidad.** Entre los 10.000 y 20.000 metros cúbicos (diez y veinte millones de litros).
5. **Muy alta disponibilidad.** Cada persona que allí vive dispondría de una cantidad de agua dulce por encima de los 20.000 metros cúbicos (20 millones de litros), por año.



La disponibilidad de agua que se refleja en este esquema no significa que en países o regiones donde la disponibilidad de agua figura como alta, todos sus habitantes logren satisfacer sus necesidades diarias de agua dulce potable. Ni que en aquellas naciones donde la disponibilidad de agua es baja o muy baja, toda su gente muera de sed. Otra aclaración que debemos hacer es que, cuando calculamos la disponibilidad mundial de agua dulce, no tomamos en cuenta la **calidad del agua** que llega a los hogares de la gente.

Otro esquema elaborado por la Organización de las Naciones Unidas ilustra la disponibilidad de agua que tiene la humanidad, pero en lugar de considerar la situación en cada país, toma en cuenta a los continentes.



Allí se ve claramente que Sudamérica es la región del planeta cuyos habitantes disponen de la mayor cantidad de agua dulce. Somos apenas el 6% de la población mundial, pero poseemos nada menos que el 26% del agua dulce del mundo. La otra cara de la moneda corresponde a Asia, pues debe satisfacer las necesidades del 60% de los seres humanos que existen, con casi el 36% de los recursos de agua dulce existentes en el planeta.



Una vez más aclaramos que estos datos, por ser tan generales, no reflejan algunas dolorosas realidades, como por ejemplo, la desigual distribución del agua que existe dentro de los pueblos, donde en muchas ocasiones, a pesar de su riqueza en agua, muchas personas no tienen acceso al agua potable.

## Agua segura – Agua potable

Ante la dificultad de poder disponer de agua potable disponible para consumo humano en muchos lugares del planeta, principalmente por motivos de costo, asociados a prioridades de los gobiernos locales, se ha consolidado el concepto de 'agua segura' considerando así el agua que no contiene bacterias peligrosas, metales tóxicos disueltos, o productos químicos dañinos a la salud, y es por lo tanto considerada segura para beber.

Existen numerosos programas de cooperación internacional cuyo objetivo se centra en divulgar procedimientos fáciles y económicos para obtener agua segura, dirigidos a países en vías de desarrollo.

“El derecho humano al agua”, declara el Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales de las Naciones Unidas, “otorga el derecho a todos al agua suficiente, segura, aceptable, físicamente accesible y asequible para uso personal y doméstico. Estos cinco atributos constituyen las bases para la seguridad del agua. Además, representan los parámetros de un derecho humano que se viola amplia y sistemáticamente en una gran parte de la humanidad. Para unos 1.100 millones de personas, el agua suficiente, segura, aceptable, accesible y asequible para la vida es una esperanza de futuro, no una realidad del presente.

A fines del siglo XX se establecieron los primeros límites que restringían la cantidad de organismos presentes en el agua apta para el consumo humano: en ciertos casos, el agua está tan contaminada por las actividades humanas que es nociva para la salud, y llega a transformarse en la fuente de algunas de las enfermedades a las que nos exponemos día a día.



Esta contaminación puede estar causada por agentes patógenos, desechos humanos, sustancias químicas orgánicas e inorgánicas, agentes químicos que ocasionan crecimiento excesivo de plantas acuáticas, sedimentos o material suspendido y sustancias radioactivas y microorganismos.

En cada país existen distintos organismos que evalúan y controlan el grado de contaminación que poseen sus aguas. El agua apta para el consumo humano puede ser considerada agua segura o agua potable, de acuerdo al cumplimiento de los requisitos químicos, físicos, microbiológicos y organolépticos.

El **agua potable** es aquella que cumple, sin excepción, con todas las normas y requisitos físicos, químicos y microbiológicos definidos en las normas vigentes en cada país y es apta para el consumo humano.

Para comprobar si un agua cumple con las normas, es necesario hacer varios análisis. Algunos de ellos se pueden hacer en casa con equipos sencillos, pero los más importantes para la salud deben realizarse con una muestra, en un laboratorio.

## Parámetros ó características del agua

En la descripción de la calidad del agua, se utilizan cuatro características ó parámetros:

1. **Físicos:** se relacionan con la apariencia del agua, su color, turbiedad, temperatura y en particular su sabor y olor.
2. **Químicos:** incluye la identificación de sus componentes y las concentraciones de éstos.
3. **Microbiológicos:** se refieren a la identificación de agentes microbiológicos en el agua. Este parámetro es de mucha importancia para la salud pública y también suele serlo en la modificación de las características químicas del agua.
4. **Radiológicos:** estos parámetros se deben considerar en zonas donde el agua pudiese tener contacto con sustancias radioactivas. La radiactividad del agua reviste interés para la salud pública.

## Características físicas del agua

Las características que nos interesan para definir la calidad física del agua son las detectables con los sentidos: el olor, gusto o sabor, vista y tacto. El sabor y olor, color, temperatura, turbidez y contenido de sólidos están dentro de esta categoría.

Los inconvenientes de **olor y sabor** son la primera señal de alarma de un posible riesgo para la salud. Olor y sabor son por tanto importantes por razones estéticas (como medida de la aceptación del agua), con un impacto pequeño en la fiabilidad del agua, pero no deben ser ignorados. El sabor y el olor en el agua se deben a una gran variedad de sustancias, como son los minerales, metales y sales del suelo, los constituyentes de las aguas residuales y los productos finales de las reacciones biológicas.

Los inconvenientes de olor y sabor son más frecuentes en aguas superficiales que en aguas subterráneas. En el tratamiento del agua, uno de los métodos más comunes para eliminar el sabor y el olor es oxidar los materiales causantes del problema con sustancias oxidantes, como el permanganato de potasio y el cloro. Otro método muy usual es añadir carbón activado en polvo antes de pasar por el filtro. Un sistema de tratamiento con una filtración que funcione adecuadamente, puede ayudar también a minimizar los problemas de sabor y olor.

También se puede juzgar la calidad del agua por su **color** y el consumidor lo hace, la mayor parte de la gente rechaza el agua que ofende su sentido de la vista. El

agua pura es incolora, pero el agua en la naturaleza está coloreada a menudo por sustancias externas, como son la materia orgánica del suelo, vegetación, minerales y organismos acuáticos normalmente presentes en las aguas naturales. Al color también pueden contribuir los residuos y efluentes municipales e industriales.

El color del agua se clasifica como **color verdadero** o como **color aparente**. El color que aporta la materia suspendida en el agua, es el color aparente. El color verdadero es el que permanece después de haber eliminado la materia orgánica en suspensión, es el que aportan los sólidos disueltos. En la potabilización del agua, el color verdadero es el más difícil de quitar.

Los efectos del color del agua, van más allá de cuestiones estéticas. El agua coloreada afecta al lavado de ropa, a la industria del papel, a las fábricas textiles y de alimentos. El color del agua tiene un efecto profundo sobre su comercialización tanto para uso doméstico como industrial.

La **temperatura** del agua cambia gradualmente como consecuencia de cambios estacionales. La temperatura del aire circulante influirá más en las masas pequeñas de agua, que en las grandes. Muchos de los problemas de contaminación térmica son consecuencia de actividades antropogénicas. Sin embargo, algunos problemas son el resultado de fluctuaciones naturales de temperatura.

Cualquiera que sea la causa de las fluctuaciones de temperatura, la vida y reproducción de los peces y de otros organismos acuáticos requiere ciertas condiciones de temperatura. El inconveniente del calor o la temperatura en aguas superficiales (además de la salud de la población de peces) es que afecta la solubilidad del oxígeno en el agua, la velocidad de actividad bacteriana y la velocidad de transferencia de los gases al agua y del agua. También afecta a la eficiencia de los procesos que tienen lugar en las plantas de tratamiento. Por ejemplo, la temperatura afecta a la velocidad de disolución y reacción de la mayoría de productos químicos. El agua fría requiere mayor cantidad de productos químicos para que se produzca la coagulación y floculación de forma eficaz. Cuando la temperatura del agua es alta, la demanda de cloro también puede aumentar por incremento de la reacción, debido a que las temperaturas más cálidas favorecen el desarrollo de algas y de muchos componentes orgánicos del agua de origen.

La **turbidez o turbiedad** es una propiedad que ayuda a cuantificar la cantidad de luz que atraviesa una columna de agua con partículas orgánicas dispersas (incluyendo algas) y partículas inorgánicas. La turbiedad o falta de transparencia del agua es causada por materiales suspendidos en ella, tales como arcilla, sedimentos, algas y otras materias orgánicas. La turbidez juega un papel importante en la calidad del agua de consumo humano porque una de las primeras impresiones que se perciben es la transparencia. Las partículas orgánicas que contribuyan a la turbidez pueden contener microorganismos. Por tanto, las condiciones de turbidez incrementan la posibilidad de una enfermedad de transmisión hídrica.

Todos los contaminantes del agua que no sean gases, contribuyen al contenido de **sólidos**. Los sólidos pueden estar en el agua, bien en suspensión bien en disolución. El parámetro "sólidos" se utiliza para evaluar y medir todos los sólidos disueltos y en suspensión del agua. Los sólidos se clasifican (al margen de su composición química) entre los parámetros físicos de calidad de agua. Los sólidos en el agua pueden ser partículas inorgánicas (sales, arcilla, limo, etc.) y materia orgánica muy diversa. En la potabilización del agua, el medio más efectivo para eliminar los sólidos del agua es la filtración. Sin embargo, algunos sólidos (incluidos los coloides y otros sólidos disueltos) no se pueden eliminar por filtración.

El pH, la alcalinidad y la dureza, aunque algunos autores los incluyen dentro de las características físicas del agua, pueden ser considerados parámetros químicos

**pH (potencial hidrógeno):** El pH es un número del 0 al 14 en una escala que indica la relativa acidez o alcalinidad del agua. El agua destilada, completamente pura, tiene un pH neutro de 7. Cuanto más bajo es el número, mayor acidez, y cuanto más alto, mayor la alcalinidad. El agua potable de red debe tener un pH entre 6,5 y 8,5 para evitar corrosiones.

**La alcalinidad** es la medida de la capacidad del agua para absorber iones hidrógeno sin cambio significativo del pH. Dicho simplemente, la alcalinidad es una medida de la capacidad tamponadora del agua y por tanto, una medida de la capacidad del agua para neutralizar ácidos. Los constituyentes químicos principales de la alcalinidad en las aguas naturales son bicarbonatos, carbonatos e iones hidróxido. El agua altamente alcalina es desagradable al paladar; sin embargo, esta condición no es significativa desde el punto de vista de la salud humana. El principal problema son las reacciones que ocurren en el agua entre la alcalinidad y ciertas sustancias.

**La dureza** del agua se define como la suma de los cationes polivalentes disueltos en el agua. Los cationes más frecuentes son calcio y magnesio, aunque hierro, estroncio y manganeso pueden contribuir también. La dureza se registra normalmente como una cantidad equivalente de carbonato cálcico. Las aguas se suelen clasificar de acuerdo con el grado de dureza como aguas blandas, moderadamente duras, duras y muy duras. La dureza es función en primer lugar de la geología del área a la que está asociada el agua superficial.

## Parámetros químicos del agua

Los parámetros químicos del agua están divididos en dos grupos básicos: **orgánicos e inorgánicos**. Ambos entran en el agua por causas naturales o por contaminación. La capacidad para disolver del agua está directamente relacionada con sus parámetros químicos.

Los *compuestos orgánicos naturales* contienen carbono y son materia orgánica biodegradable como los residuos humanos y heces animales. Las partículas orgánicas del agua pueden albergar bacterias dañinas y patógenos. En una planta de tratamiento de agua deben eliminarse todos los componentes orgánicos antes de la desinfección. Generalmente la principal fuente de materia orgánica en las aguas naturales es la descomposición de hojas, hierbas y árboles. La cantidad de estos materiales presente en el agua es normalmente baja. Las fuentes antropogénicas de materia orgánica provienen de efluentes (domésticos e industriales), pesticidas, y otros compuestos orgánicos sintéticos.

Las sustancias orgánicas disueltas en el agua se dividen en dos categorías: **biodegradables y no biodegradables**.

El material *biodegradable* (capaz de descomponerse por efectos biológicos) consiste en las sustancias orgánicas que los microorganismos presentes en la naturaleza pueden utilizar como nutrientes, dentro de un período de tiempo razonable. Los alcoholes, ácidos, almidones, grasas, proteínas, ésteres y aldehídos son los principales. Los contienen los residuos líquidos domésticos, o pueden ser el resultado de la descomposición de tejidos animales o vegetales.

Las sustancias orgánicas biodegradables causan problemas en las aguas superficiales por los efectos derivados de la acción de los microorganismos, ya que al metabolizar la materia orgánica consumen oxígeno. Cuando este proceso tiene lugar en el agua, el oxígeno consumido es oxígeno disuelto (OD). Si no se reemplaza continuamente el oxígeno por medios artificiales el nivel de oxígeno

disuelto decrece a medida que progresa la descomposición de la materia orgánica. La necesidad de oxígeno se denomina **demanda bioquímica o biológica de oxígeno (DBO)**. Es decir, *la DBO es una medida de la cantidad de materia orgánica que hay en el agua. Este bioensayo mide el oxígeno que consumen los organismos que utilizan la materia orgánica de una muestra, y el oxígeno disuelto en el líquido*. Cuanto mayor es la materia orgánica del agua, mayor es la demanda bioquímica de oxígeno. Es de señalar que algunos organismos biodegradables causan problemas de sabor y olor.

Los compuestos orgánicos *no biodegradables* resisten a la degradación biológica. Los constituyentes de las plantas leñosas son un buen ejemplo. Estos constituyentes se denominan refractarios (resistentes a la biodegradación) e incluyen taninos, ácidos lignicos, fenoles y celulosa que se incluyen en los sistemas hídricos naturales. No son biodegradables algunos polisacáridos con uniones excepcionalmente fuertes, y el benceno con su estructura en anillo (por ej., asociado con la destilación de petróleo).

Ciertas sustancias químicas no biodegradables pueden reaccionar con el oxígeno disuelto en el agua. Esta materia orgánica que consume oxígeno y que no es degradada por las bacterias puede medirse con otro ensayo: la DQO. La **demanda química de oxígeno (DQO)** es una medida más completa y exacta del consumo total de oxígeno disuelto en el agua. *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.

Los *productos químicos orgánicos sintéticos* son productos manufacturados por el hombre. No se encuentran de forma natural en el ambiente y a menudo son tóxicos para el hombre. Se comercializan más de 50.000 diferentes, e incluyen pesticidas, tetracloruro de carbono, cloruros, dioxinas, xilenos, fenoles y miles de otros.

El fluoruro se encuentra rara vez en cantidades apreciables en las aguas superficiales, y aparece en las subterráneas de unas pocas regiones geográficas, aunque alguna vez se encuentra en señaladas rocas ígneas o sedimentarias. El flúor es tóxico para los humanos en grandes cantidades, también lo es para algunos animales. Sin embargo en pequeñas concentraciones (alrededor de 1 miligramo por litro en el agua de bebida) puede ser beneficioso. La experiencia ha demostrado que un agua de bebida con una cantidad apropiada de flúor puede reducir hasta un 65% caries dentales en niños entre 12 y 15 años. Pero cuando la concentración de flúor en el agua natural no tratada es excesiva, se deben utilizar abastecimientos alternativos o aplicar tratamientos para disminuir esa concentración.

Los *metales pesados* son elementos con peso atómico entre 63,5 y 200,5, y peso específico mayor de 4. Los metales pesados de interés particular en los sistemas de agua superficial son cadmio, cromo, mercurio, plomo, arsénico y antimonio. Los metales pesados en el agua se dividen en tóxicos y no tóxicos. Únicamente los metales que son dañinos en pequeñas cantidades se denominan tóxicos, los otros caen en el grupo de los no tóxicos. Aunque los metales pesados como el hierro y el manganeso no son causa de intoxicaciones, le dan al agua un sabor notablemente amargo aun en concentraciones muy bajas. Estos metales son frecuentes en las aguas subterráneas, y ellos y otros pueden provocar manchas marrones o negras en la colada y en tuberías y sus partes integrantes.



## NUTRIENTES

Los elementos que puede contener el agua, como carbono, nitrógeno, fósforo, azufre, calcio, hierro, potasio, manganeso, cobalto y boro, todos ellos esenciales para el desarrollo y reproducción de plantas y animales, se llaman *nutrientes* (o bioestimulantes). Los dos nutrientes de interés para el análisis de la calidad del agua son el nitrógeno y el fósforo.

El *nitrógeno* ( $N_2$ ), es un gas extremadamente estable y es el componente principal de la atmósfera terrestre (78%). En el agua el nitrógeno se encuentra comúnmente en forma de *nitrito* ( $NO_2$ ). Su presencia indica que el agua puede estar contaminada con aguas residuales. Los nitratos pueden llegar a las aguas subterráneas, además, por los fertilizantes utilizados en la agricultura. Las concentraciones excesivas de nitrito en las aguas de bebida son una amenaza inmediata hacia niños, humanos y animales muy jóvenes, y pueden causar la muerte. Las bacterias que se encuentran normalmente en el tracto intestinal de los niños pequeños pueden convertir el nitrito en nitrato ( $NO_3$ ), que es tóxico. El nitrato puede reemplazar al oxígeno del torrente sanguíneo y provocar su descenso, que causa una decoloración azulada en el niño (síndrome del niño azul).

El *fósforo* (P) es un nutriente esencial que contribuye a la proliferación de algas y a la eutrofización<sup>1</sup> de lagos, aunque su presencia en el agua de bebida tiene un efecto pequeño sobre la salud. En los ambientes acuáticos el fósforo se encuentra en forma de fosfatos y es un nutriente limitante. Si se usa todo el fósforo, se detiene el desarrollo de las plantas, sin importar la cantidad de nitrógeno disponible. Las fuentes principales de fósforo incluyen a los fosfatos de los detergentes, los fertilizantes, el lavado de suelos con ganado estabulado y los vertidos de las aguas residuales municipales.

## Parámetros microbiológicos

La microbiología es el estudio de los organismos de dimensiones microscópicas, que sólo pueden ser vistos con ayuda de un microscopio. Los microorganismos objeto de su estudio son bacterias, hongos, protozoos, algas y virus. Estos diminutos organismos constituyen un grupo muy diverso de formas de vida que existen como células unitarias, uniones y agrupaciones de células. Cualquiera de estos organismos y todos ellos pueden estar presentes en el agua.

**Las bacterias** son los microorganismos de distribución más amplia, las más pequeñas de tamaño, las de morfología (estructura) más sencilla, las más difíciles de clasificar y las de identificación más dura. Debido a su considerable diversidad, es incluso difícil proporcionar una definición descriptiva de las bacterias. Se puede hacer sólo una generalización. Son unicelulares, procariotas (no tienen membrana nuclear), pocas veces realizan la fotosíntesis y se reproducen por fisión binaria.

Se encuentran en todas partes en el medio ambiente, en el suelo, en el aire y en el agua. Están también presentes dentro y fuera de los cuerpos de todas las criaturas vivientes, incluyendo los hombres. La mayor parte de las bacterias no causan enfermedades; no son patógenas. Muchas de ellas llevan a cabo funciones muy útiles y necesarias para la vida de organismos más grandes. La clasificación de las bacterias y otros microorganismos es complicada, por cuanto existe incontable variedad de microorganismos diferentes en cuanto a sus propiedades metabólicas y estructurales. Algunos microorganismos se parecen a las plantas, mientras que otros son parecidos a los animales y hay todavía otros totalmente diferentes al resto de todas las demás formas de vida.

---

<sup>1</sup> Eutrofización: enriquecimiento por nutrientes de un cuerpo de agua

Teniendo en cuenta sus actividades podemos clasificar a las bacterias en *aerobias*, *anaerobias* y *facultativas*. La aerobia necesita oxígeno para vivir. El oxígeno es tóxico para una anaerobia, y las facultativas pueden vivir con y sin oxígeno.

Los *coliformes fecales* son bacterias que viven en el tracto intestinal de animales de sangre caliente. Son excretadas en los residuos sólidos de los seres humanos y otros mamíferos. Las bacterias coliformes fecales no suponen peligro para el hombre ni para los animales, generalmente. Donde están presentes, sin embargo, están también presentes las bacterias causantes de enfermedades, es por ello que los profesionales del agua potable y salud pública consideran a los coliformes fecales como **indicadores de la presencia en el agua, de bacterias causantes de enfermedades**.

Las bacterias asociadas a las coliformes fecales pueden causar enfermedades importantes en el hombre como diarrea, disentería, cólera y fiebre tifoidea.

Agente bacteriano	Enfermedad
<i>Salmonella Typha</i>	Fiebre tifoidea
<i>Salmonella paratyphi</i>	Fiebre paratifoidea
<i>Salmonella</i>	Salmonelosis, fiebre entérica
<i>Shigella sp.</i>	Disentería Bacilar
<i>Vibrio cholerae</i>	Cólera
<i>Leptospira</i>	Leptospirosis
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Gastroenteritis
<i>Francisella tularensis</i>	Tularemia
<i>Escherichia coli</i>	Gastroenteritis
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Infecciones varias
<i>Edwardsiella, Proteus, Serratia</i>	Gastroenteritis

**Los virus** son partículas parásitas, los agentes vivos infecciosos más pequeños que se conocen. Puesto que son entidades parásitas no celulares (no tienen núcleo, membrana celular ni pared celular) no pueden multiplicarse ni adaptarse a ambientes acuáticos hostiles y necesitan un hospedador vivo. Se multiplican solamente dentro de células vivas (hospedadores) y son totalmente inertes fuera de ellas, aunque pueden sobrevivir en el ambiente. En la actualidad se conocen más de 100 tipos de virus en las heces fecales humanas. Una persona infectada puede excretar hasta un millón de partículas infecciosas en 1 gramo de heces. Por eso la contaminación potencial es muy grande.

La posibilidad de aislar virus ha aumentado considerablemente durante los últimos 40 años. Pueden controlarse mediante la cloración, aunque a dosis mucho más altas que las necesarias para matar bacterias. Los virus interesantes para el especialista de aguas potables, son básicamente los virus entéricos (infecciones del tracto intestinal). Algunos virus transmitidos por el agua producen hepatitis, adenovirus, poliomiелitis y otras afecciones.

**Los protozoos** («etimológicamente los primeros animales») forman un grupo verdaderamente asombroso (más de 50.000 especies conocidas) de organismos eucariotas (con membrana nuclear bien definida) que han adaptado su célula para que les sirva como un cuerpo entero. La mayor parte de ellos son inofensivos habiendo algunos parásitos. Algunas formas tienen dos estados vitales: trofozoítos

activos (capaces de alimentarse) y quistes que no presentan actividad. Como eucariotas unicelulares, los protozoos no se pueden clasificar con facilidad debido a su gran diversidad y en muchos casos, sólo están relacionados distantemente unos con otros. Ciertos tipos de protozoos son causa de enfermedad. Son de particular interés *Entamoeba histolytica* (disenterías y hepatitis amébicas), *Giardia lamblia* (giardiasis), *Cryptosporidium* (criptosporidiosis), y la emergente *Cyclospora* (ciclosporiasis). La contaminación por aguas residuales transporta huevos, quistes y oocitos de protozoos parásitos y helmintos (tenia, lombrices) a los suministros directos de agua potable, y deja al tratamiento y la desinfección como únicos medios para disminuir el peligro del agua contaminada para el consumidor.

**Los helmintos** o gusanos también habitan los limos biológicos y provienen de los desechos y el suelo húmedo. Los nematodos (gusanos intestinales), algunos estrictamente anaerobios, se multiplican en las plantas depuradoras de líquidos residuales. También aparecen en grandes cantidades en el residuo doméstico tratado. Su tamaño es microscópico de 0,5 a 3 mm de longitud y 0,01 a 0,05 mm de diámetro. La mayor parte de las especies tienen una apariencia similar. Tienen el cuerpo cubierto por cutícula, son cilíndricos, no segmentados y sus extremos son afilados. Los nematodos comen bacterias y al entrar en el sistema de distribución de agua pueden proteger a los organismos patógenos de la desinfección a que se somete el equipo de suministro, y alcanzar así al consumidor. Las larvas de nematodos, activas y móviles, pueden penetrar en los filtros de arena y sobrevivir a la cloración, pero no es normal que causen infecciones parasitarias.

## Procesos de potabilización del agua

Al proceso de conversión de agua cruda en agua potable se le denomina potabilización. Los procesos de potabilización son muy variados, y van desde una simple desinfección para eliminar los patógenos, hasta una variada serie de etapas tanto físicas como químicas para luego distribuir el agua en forma segura hasta el consumidor. Así hoy en día el agua potable es un producto que se “fabrica” a partir del agua natural o cruda captada en ríos, esteros, lagunas, acuíferos, etc.

La finalidad fundamental de este procesamiento del agua es proteger al consumidor contra los agentes patógenos y las impurezas que pueden resultarle desagradables o ser perjudiciales para su salud.

La intensidad del tratamiento del agua dependerá del grado de contaminación en la fuente. Si ésta está contaminada, es especialmente importante que el tratamiento oponga múltiples barreras a la difusión de los organismos patógenos, garantizando así un alto grado de protección y evitando la dependencia de un solo proceso.

El agua dulce bruta se extrae de los ríos, lagos u origen subterráneo y se trata hasta los estándares aceptables para el consumo humano o las necesidades industriales. Algunas fuentes de agua subterránea son tan puras que no necesitan tratamiento alguno, aunque cuando se utilizan para abastecimiento público, las autoridades hidráulicas locales (públicas y privadas) tienden a aplicar un proceso de desinfección, aunque esto es prioritariamente para la desinfección de la red de distribución.

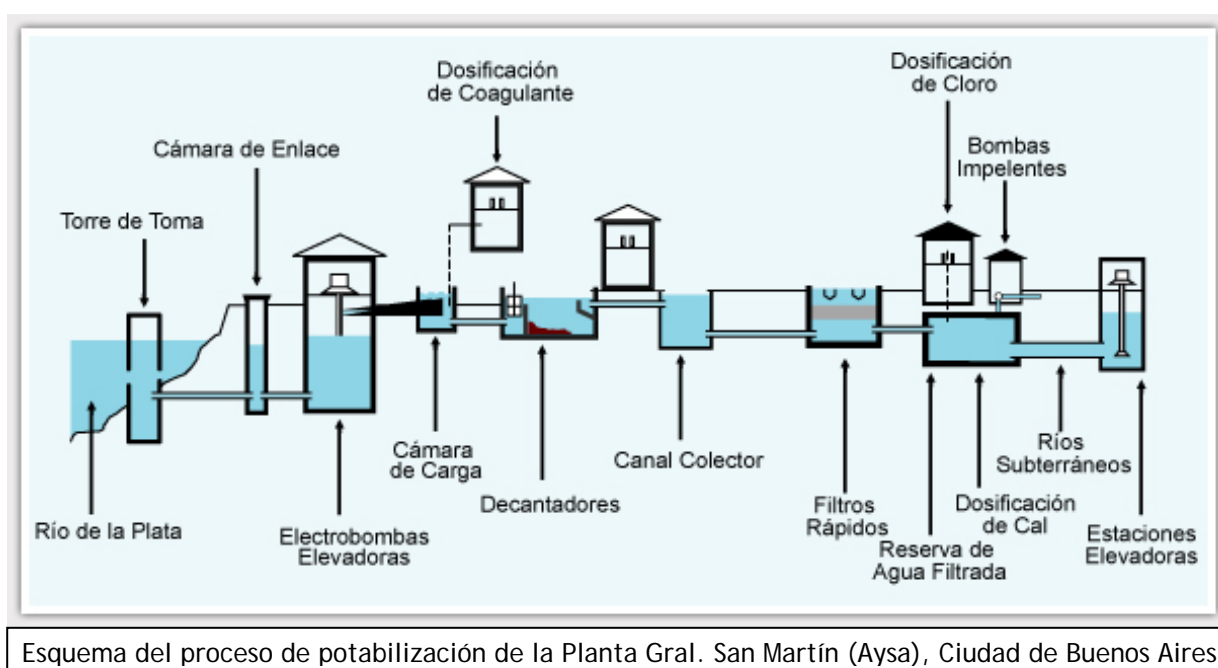
Los objetivos del tratamiento de agua son producir:

- Agua que sea segura para el consumo humano
- Agua que sea estéticamente atractiva al consumidor
- Que tenga un costo razonable

## Etapas del Proceso de Potabilización

Las etapas del proceso de potabilización pueden variar de acuerdo a la fuente del agua cruda, a las características de la misma, topografía y regulaciones de cada país, pero básicamente son las siguientes:

1. Captación
2. Elevación – Conducción
3. Presedimentación – dosificación del coagulante
4. Floculación
5. Decantación
6. Filtración
7. Desinfección
8. Corrección del pH (dosificación de cal)



Esquema del proceso de potabilización de la Planta Gral. San Martín (Aysa), Ciudad de Buenos Aires

### Captación:

Si la fuente de agua es subterránea la captación se realiza mediante perforaciones y pozos de bombeo.

La captación de aguas superficiales se realiza por medio de **tomas de agua**, que también cuentan con bombas en su interior para poder elevar el agua. en el caso de los ríos, la captación debe hacerse aguas arriba de la población, tomando el agua de la parte central del cauce y próxima a la superficie.

En embalses y lagos, la captación se hará lo más alejada posible de la orilla y a 20 cm de la superficie, con objeto de que se tome de una zona de aireación que favorezca la autodepuración.

### Elevación – conducción:

La elevación del agua captada por medio de bombas permite que el recorrido en la planta se realice por gravedad. La conducción tiene por finalidad transportar el agua captada desde las tomas o bombas hasta la planta de tratamiento.

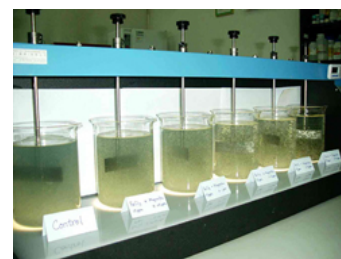


## Pre-sedimentación – Dosificación del coagulante

La pre-sedimentación se realiza en piletas preparadas para decantar sólidos pesados o para aquellos sedimentables como arena. Estas piletas contienen algunas placas que permiten un mayor contacto con estos sólidos y en su interior pueden tener distintos tipos de materiales que aceleren o ayuden a este proceso.

Para la eliminación de gran parte de la turbiedad y de la materia orgánica, se agregan sustancias químicas denominadas coagulantes. Las impurezas se encuentran en el agua superficial como materia en suspensión y materia coloidal. La coagulación comienza al agregar el coagulante al agua y dura fracciones de segundos, se desestabilizan los coloides y se produce una sedimentación rápida de los mismos, eliminando bacterias y virus que interfieren directamente en el aroma, sabor y color del agua a consumir posteriormente. Entre los coagulantes (también llamados floculantes) más usados se encuentran: Sulfato de Aluminio, polielectrolitos, Cloruro férrico, Sulfato ferroso y férrico.

Para poder determinar la cantidad de producto a agregar al agua se tiene que hacer un ensayo conocido como “Jar Test” o Test de Jarras. Este test mide básicamente el efecto de las diferentes combinaciones de dosis de coagulante y pH.



## Floculación

En la floculación las partículas suspendidas se agrupan en grupos químicos llamados “flocs”. El peso específico de los flocs supera al del agua y por esto mismo precipitan. La coagulación y floculación causan un incremento de tamaño del flóculo y su rápida aglomeración, disminuyendo así el tiempo de sedimentación de las partículas. El proceso de coagulación mal realizado también puede conducir a una degradación rápida de la calidad del agua. Para realizar este tipo de proceso se adicionan sales químicas (coagulantes o floculantes) en su mayoría cargadas positivamente (sales de aluminio, sales de hierro o polielectrolitos) que desplazan los iones negativos y reducen efectivamente el tamaño de carga.

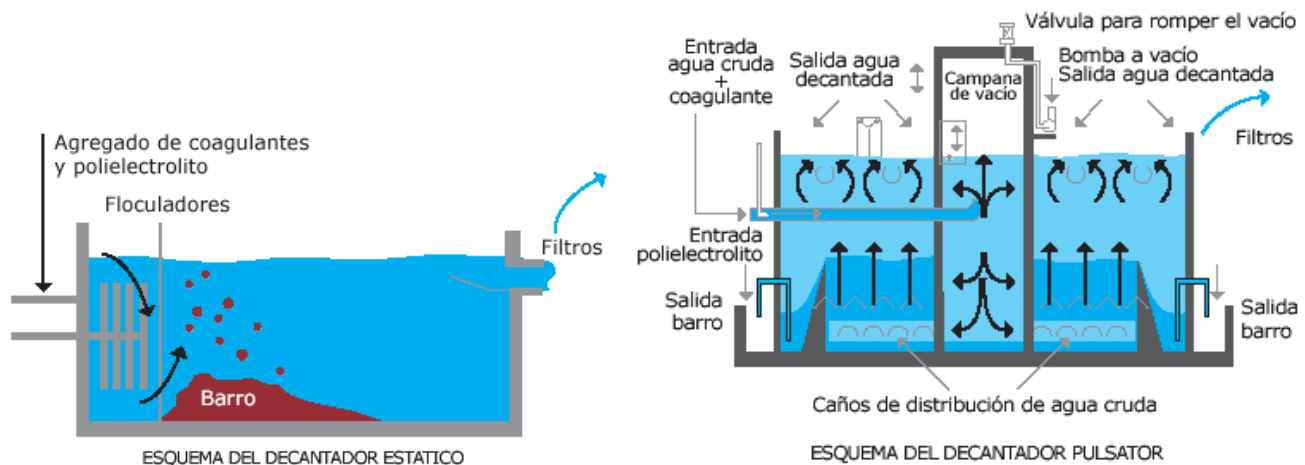
## Decantación

La decantación es el proceso de separación de un líquido de los sólidos que pueda contener, o bien de un líquido de mayor densidad mediante el trasiego de la capa superior después de que la materia más pesada ha sedimentado por gravedad. La decantación empieza cuando termina la coagulación-floculación; supone la quietud del líquido para el asentamiento de las partículas. Se realiza en decantadores o piletas de capacidad variable, según la planta potabilizadora. En ellos se produce la decantación del floc, que precipita al fondo formando barro.

Estas unidades pueden clasificarse de acuerdo con la dirección predominante del flujo de líquido desde la entrada a la salida, en decantadores de *flujo horizontal* y decantadores de *flujo vertical*. En ambos tipos de decantadores se elimina aproximadamente un 90% de arcilla y un 95% de bacterias.

Decantadores estáticos: Son de flujo horizontal. El agua recorre la extensión del decantador saliendo por los vertederos que la conducirán al canal colector, rumbo a los filtros.

Decantadores Pulsátor: Son de flujo vertical. El agua con coagulante y polielectrolito ingresa por el fondo del equipo y entra en contacto con un lecho de barro mantenido en expansión por un sistema de vacío, que ayuda a la captación de las partículas (arcilla, microorganismos) y al crecimiento del floc. Son más rápidos y más compactos que los estáticos.



## Filtración

En esta etapa se hace pasar el agua por un manto poroso, para permitir la remoción de partículas que no fueron retenidas en decantadores. Durante la filtración se retienen partículas de turbiedad remanente, por lo tanto es necesario remover esas partículas, lo que se logra con el lavado del filtro.

El medio filtrante más utilizado es la arena, sobre un lecho de grava como soporte, aunque también existen otros tipos lechos como membranas filtrantes que pueden ser de plástico o de metal.

Hay dos clases de filtros de arena: los de acción lenta y los de acción rápida, y estos se dividen en filtros de superficie libre y filtros de presión.

La filtración lenta con arena es más fácil de realizar que la rápida, ya que no se necesitan lavados frecuentes por corrientes de agua limpia. Cuando las cargas son correctas, la filtración lenta con arena mejora más la calidad del agua que cualquier proceso tradicional de tratamiento considerado aisladamente. Las bacterias se eliminan en un 98 - 99,5% o más.

## Desinfección

La finalidad de la desinfección es la destrucción selectiva de los organismos que causan enfermedades. Los agentes químicos desinfectantes más utilizados son el cloro, el dióxido de cloro y el ozono. En nuestro país el cloro en su forma gaseosa o como Hipoclorito de Sodio o Calcio es el más usado.

Otros métodos de desinfección son el carbón activo, ósmosis inversa, luz ultravioleta y el yodo, entre otros.

## Dosificación de cal

El efecto secundario del coagulante es aumentar la acidez del agua. Se agrega entonces cal para equilibrarla. Esta acidez es agresiva a las cañerías de hierro y eventualmente cementicias. La cantidad de cal varía según los resultados de los análisis que se realizan en forma permanente en el Laboratorio. Este agregado químico es primordial para bajar la acidez. Se corrige así el pH hasta llegar a valores entre 6,5 y 8,5 para evitar corrosiones.

# ENERGÍA HIDROELÉCTRICA

La hidroeléctrica es la mayor fuente de energía renovable explotada por el hombre, y consiste en la conversión en electricidad de la energía potencial gravitatoria contenida en los saltos de agua. Comprende tanto los aprovechamientos llamados de acumulación (agua embalsada por un dique) como los denominados “de paso” (o de agua fluyente). Comparada con otras fuentes renovables, la hidroeléctrica se caracteriza por poseer mayor tradición tecnológica, factor de utilización y previsibilidad en la disponibilidad del recurso.

Las primeras centrales hidroeléctricas comerciales del mundo se instalaron hacia finales del siglo XIX y eran ciertamente muy pequeñas de acuerdo a los estándares actuales. Hoy en día sin embargo, el agua abastece cerca del 20% de la demanda eléctrica mundial.

La energía hidroeléctrica, que indirectamente proviene de la energía solar, comparte las ventajas de ser autóctona, limpia e inagotable como el resto de las energías renovables.

A gran escala esta fuente de energía tiene un campo de expansión limitado, ya que en los países más desarrollados la mayoría de los ríos importantes ya cuentan con una o varias centrales, y en los países en vías de desarrollo los grandes proyectos pueden chocar con obstáculos de carácter financiero, ambiental y social.

A menor escala, sin embargo, la generación de electricidad con minicentrales hidroeléctricas sí ofrece posibilidades de crecimiento, debido a la diversidad de caudales que aún son susceptibles de ser aprovechados con las nuevas tecnologías.

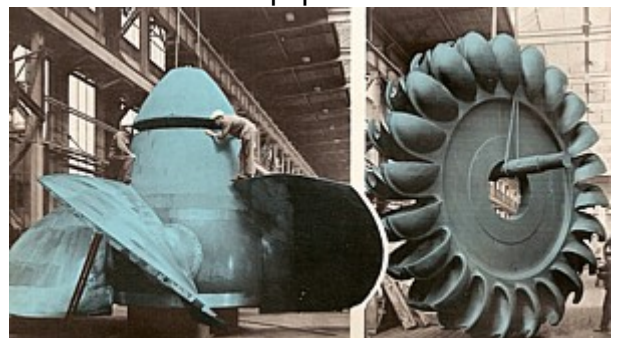
## Las centrales hidroeléctricas

Las centrales y minicentrales hidroeléctricas transforman como se dijo la energía potencial gravitatoria de los saltos de agua en electricidad, aprovechando la diferencia de desnivel existente entre dos puntos. La energía se transforma primero en energía mecánica en la turbina hidráulica, ésta activa el generador, que transforma, en un segundo paso, la energía mecánica en energía eléctrica.

El principal componente de una central hidroeléctrica es una turbina hidráulica. La energía que una turbina hidráulica extrae del agua depende tanto del caudal que conduce como de la diferencia de altura existente entre los reservorios superior e inferior, denominada caída o “salto aprovechable”. Por el contrario, una rueda hidráulica (mucho menos eficiente) aprovecha directamente la energía cinética de la corriente.

Los modelos comerciales de turbinas hidráulicas responden a muy variado diseño, dependiendo de las características de cada central y esencialmente, del salto que aprovechan. En este sentido, las centrales hidroeléctricas se equipan con turbinas tipo Pelton (altas caídas), Francis (caídas medias a altas), o hélice o Kaplan (bajas caídas), que en conjunto son las mas comunes.

Sin embargo las centrales de muy bajas caídas (como las emplazadas en canales de riego) requieren máquinas más refinadas como las turbinas tubulares o los grupos bulbo, en los que el generador eléctrico se encuentra alojado en el interior de una “góndola” sellada situada en el interior de la



Izquierda: rotor de una turbina hidráulica de hélice tipo Kaplan con palas móviles. Derecha: rotor de una turbina tipo Pelton

tubería de presión. Los pequeños aprovechamientos utilizan con ventaja las características de las turbinas de flujo cruzado tipo Michell-Banki, que si bien no poseen los rendimientos de las anteriores, son más versátiles y fáciles de construir y mantener.

## Tipos de aprovechamientos

Constructivamente los aprovechamientos hidroeléctricos corresponden esencialmente a tres grandes esquemas:

- De embalse, con central a pie de presa
- De pasada, y alta caída, que aprovechan la pendiente del terreno
- De pasada, y baja caída, contruidos sobre ríos de llanura y canales de riego

Los aprovechamientos de pasada no requieren reservorio, pero al carecer de capacidad de almacenamiento son altamente dependientes de las variaciones naturales del caudal del río. Contrariamente, los aprovechamientos a embalse pueden ser “despachados” y ajustarse rápidamente a las variaciones de demanda, que es una característica muy valiosa para el sistema eléctrico.

Los aprovechamientos hidroeléctricos pueden clasificarse en función de diversos criterios y no resulta muy útil ajustarse a una definición única. Las clasificaciones posibles se refieren a potencia, salto, captación, capacidad de regulación, tipo de sistema eléctrico etc. De manera orientativa se citan a continuación las dos más usuales, que son potencia y salto de diseño:

### *De acuerdo a la potencia instalada:*

CATEGORÍA	RANGO DE POTENCIA (KW)
Pico-Central	0 a 5
Micro-Central	5 a 50
Mini-Central	50 a 500
Pequeña Central	500 a 30.000
Mediana Central	30.000 a 50.000
Gran Central	Mayor a 50.000

### *De acuerdo al salto de diseño:*

CATEGORÍA	SALTO (metros)
Baja Caída	2 a 30
Media Caída	30 a 100
Alta Caída	Mayor a 100

## Principales ventajas de la generación hidroeléctrica

Dada su naturaleza renovable, la hidroeléctrica es una forma de generación eléctrica que no implica la generación de desechos ni la emisión de gases de efecto invernadero. La sustentabilidad de los grandes embalses en cambio, es un tema debatido entre los especialistas y depende sobremanera de la definición que se tenga de ella.



En cualquier caso entre las ventajas que reporta la generación hidroeléctrica es posible señalar:

- Generación limpia, económica (no hay costo de combustible) e inagotable
- Sustitución de combustibles fósiles y ahorro de sus emisiones contaminantes
- Posibilidad de beneficios adicionales como riego, agua potable, turismo y recreación, además de la generación de electricidad
- Larga vida útil
- Empleo de recursos y mano de obra locales. T

### **Desafíos que enfrentan los grandes aprovechamientos**

Toda forma de generación eléctrica tiene un impacto ambiental de mayor o menor severidad, y las grandes hidroeléctricas (y las renovables en general) no son la excepción.

Ciertamente la magnitud del impacto que los grandes aprovechamientos de uso múltiple plantean al medio natural, económico y social afectado, ameritan que (y así lo establece la legislación) su estudio, proyecto y construcción queden siempre supeditados a la racional explotación y preservación de todos los recursos naturales vinculados a la cuenca hídrica en la que se hallan emplazados, como también al juicioso tratamiento de toda la problemática vinculado con ellos (manejo del agua, destino de la energía, control de inundaciones, seguridad de presas etc.)

Entre las principales desventajas y/o objeciones de orden económico y ambiental que los aprovechamientos hidroeléctricos deben enfrentar es oportuno citar:

- Mayor costo unitario (costo por kilovatio) que otro tipo de centrales
- Mayores períodos de estudio y construcción
- Posible inundación de áreas ribereñas
- Eventual relocalización de poblados

### **La energía hidroeléctrica en Argentina**

En Argentina la energía hidroeléctrica posee una alta cuota de participación en la generación eléctrica total (38% en promedio).

Históricamente, la construcción de los grandes aprovechamientos que hoy prestan servicio ha favorecido la creación de empleo, la promoción económica y social de sus zonas de influencia, y la concreción de importantes obras de infraestructura para riego, provisión de agua potable, turismo y control de inundaciones. Como aspectos salientes de ese desarrollo actual y potencial se pueden mencionar:

- El 38% de la capacidad instalada total es hidroeléctrica (9761 MW)<sup>2</sup>
- De casi un centenar de Centrales en servicio, sólo 3 grandes plantas (Yacyretá, Piedra del Águila y Salto Grande) contribuyen con casi el 50% de la generación hidráulica total.
- Yacyretá será la central eléctrica mas grande del país cuando esté terminada (3100 MW).
- Es aún modesto el aprovechamiento del potencial hidráulico total (22%).

---

<sup>2</sup> Un megavatio (MW) equivale a 1000 kilovatios (KW)

CENTRAL	PROVINCIA	Nº de máquinas	Potencia nominal (MW)	Generación anual (GWh) <sup>3</sup>
Piedra del Aguila	Neuquén	4	1400	6018
El Chocón	Neuquén	6	1200	3049
Yacyretá (mitad argentina)	Corrientes	10	1550	8369
Alicurá	Neuquén	4	1020	2559
Salto Grande (mitad argentina)	Entre Ríos	7	945	3565
Río Grande	Córdoba	4	750	628
Planicie Banderita	Neuquén	2	472	1265
Futaleufú	Chubut	4	472	3080

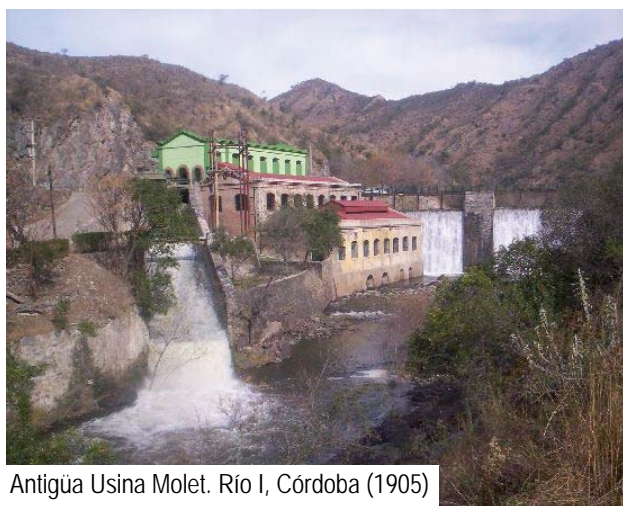


<sup>3</sup> Informe Eléctrico 2009 – Secretaría de Energía

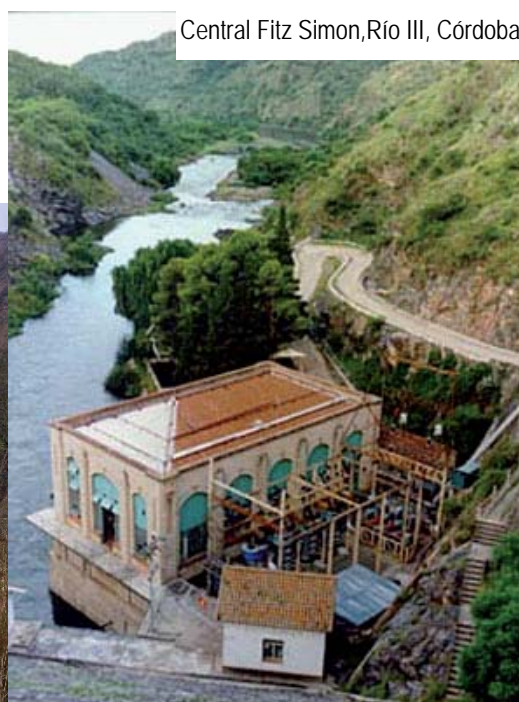
## Los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos

Un pequeño aprovechamiento comprende una central hidroeléctrica de pequeña escala que (dependiendo de su potencia) puede abastecer de energía tanto a la red pública como a una pequeña vivienda o establecimiento rural alejado de la red de distribución. En este sentido, los pequeños aprovechamientos se caracterizan por no requerir los prolongados estudios técnicos, económicos y ambientales asociados a los grandes proyectos, y se pueden iniciar y completar más rápidamente, lo que los torna una opción de abastecimiento viable en aquellas zonas y regiones del país no servidas aún por sistemas convencionales.

De ahí que no existe oposición entre aprovechamientos grandes y pequeños. Mientras los “grandes” abastecen el extenso sistema interconectado, los pequeños proveen electricidad a zonas remotas de una manera comparativamente económica y ambientalmente benigna. Igualmente, y dado el hecho que los pequeños aprovechamientos carecen (en general) de un gran reservorio, su impacto ambiental es también comparativamente reducido. Muchos emplean incluso embalses formados originalmente con otros propósitos.



Antigua Usina Molet. Río I, Córdoba (1905)



Central Fitz Simon, Río III, Córdoba

No existe una convención única e internacionalmente aceptada que determine que aprovechamiento es o no pequeño, y cada país adopta su propia definición. De acuerdo al nuevo “Régimen de Fomento Nacional para el Uso de Fuentes Renovables de Energía para Producción Eléctrica”, la categoría de pequeño aprovechamiento corresponde en la Argentina a centrales hidroeléctricas de hasta 30 MW de potencia, y esa categoría incluye también las plantas mini y micro que usualmente abastecen sistemas aislados y pequeños consumos dispersos. En base a esta definición, Argentina posee 75 pequeñas, mini y micro centrales hidroeléctricas, con una potencia sumada de 377 MW y una generación anual que equivale al 1,6% de la demanda nacional de electricidad.

Algunas centrales representativas son las siguientes

CENTRAL	PROVINCIA	Nº de máquinas	Potencia nominal (KW)	Generación anual (MWh)
Pueblo Viejo	Tucumán	2	15000	57602
Piedras Moras	Córdoba	1	6300	42285
Fitz Simon	Córdoba	3	10800	57800
Los Quiroga	Santiago del Estero	2	2000	11309
Saltito II	Misiones	2	640	2525

# Energías del mar

Los mares y los océanos son inmensos colectores solares, de los cuales se puede extraer energía de orígenes diversos.

- La radiación solar incidente sobre los océanos, en determinadas condiciones atmosféricas, da lugar a los gradientes térmicos oceánicos (diferencia de temperaturas) a bajas latitudes y profundidades menores de 1000 metros.
- La alteración de los vientos y las aguas son responsables del oleaje y de las corrientes marinas.
- La influencia gravitacional de los cuerpos celestes sobre las masas oceánicas provoca mareas.

Mediante diferentes tecnologías, este enorme potencial energético puede ser transformado en electricidad y contribuir a satisfacer las necesidades energéticas actuales.

Dentro de las Energías del Mar, existen tecnologías claramente diferenciadas, en función del aprovechamiento energético: energía de las mareas o mareomotriz, energía de las corrientes, energía maremotérmica, energías de las olas o undimotriz y energía del gradiente salino (osmótica).

**Mareomotriz:** consiste en el aprovechamiento energético de las mareas. Se basa en aprovechar el ascenso y descenso del agua del mar producido por la acción gravitatoria del Sol y la Luna, aunque sólo en aquellos puntos de la costa en los que la mar alta y la baja difieren más de cinco metros de altura es rentable instalar una central mareomotriz o mareomotriz. Un proyecto de una central mareomotriz está basado en el almacenamiento de agua en un embalse que se forma al construir un dique con unas compuertas que permiten la entrada de agua o caudal a turbinar, en una bahía, cala, río o estuario para la generación eléctrica.

**Energía de las corrientes:** consiste en el aprovechamiento de la energía cinética contenida en las corrientes marinas. El proceso de captación se basa en convertidores de energía cinética similares a los aerogeneradores empleando en este caso instalaciones submarinas.

**Maremotérmica:** se fundamenta en el aprovechamiento de la energía térmica del mar basado en la diferencia de temperaturas entre la superficie del mar y las aguas profundas. El aprovechamiento de este tipo de energía requiere que el gradiente térmico sea de al menos 20°. Las plantas maremotérmicas transforman la energía térmica en energía eléctrica utilizando el ciclo termodinámico denominado “ciclo de Rankine” para producir energía eléctrica cuyo foco caliente es el agua de la superficie del mar y el foco frío el agua de las profundidades.

**Energía de las olas, undomotriz o undimotriz:** Es el aprovechamiento energético producido por el movimiento de las olas. El oleaje es una consecuencia del rozamiento del aire sobre la superficie del mar, por lo que resulta muy irregular. Ello ha llevado a la construcción de múltiples tipos de máquinas para hacer posible su aprovechamiento.

**Potencia Osmótica:** La Potencia Osmótica o energía azul es la energía obtenida por la diferencia en la concentración de la sal entre el agua de mar y el agua de los ríos mediante los procesos de ósmosis.



# Energía de las mareas o mareomotriz

## Origen

Las mareas son movimientos oscilatorios del nivel del mar, debido a las fuerzas de atracción gravitacional que la Luna y el Sol ejercen sobre las partículas líquidas de los océanos.

El comportamiento de las mareas y el desnivel de las mismas dependen de la posición relativa de la Tierra, el Sol y la Luna, que cambia cada día, y de la proporción mares-tierra (3:1), de su distribución geográfica, de la topografía local, de la profundidad de las cuencas oceánicas, de los fenómenos meteorológicos y otros factores.

El primer proceso, el efecto centrífugo, se debe al hecho que la Tierra y la Luna giran una respecto de la otra en el espacio. Debido a que la masa de la Tierra es casi 100 veces mayor que la masa de la Luna, el movimiento de la Luna es más aparente. Sin embargo, el eje de rotación relativa entre la Tierra y la Luna no se encuentra en el punto medio de la

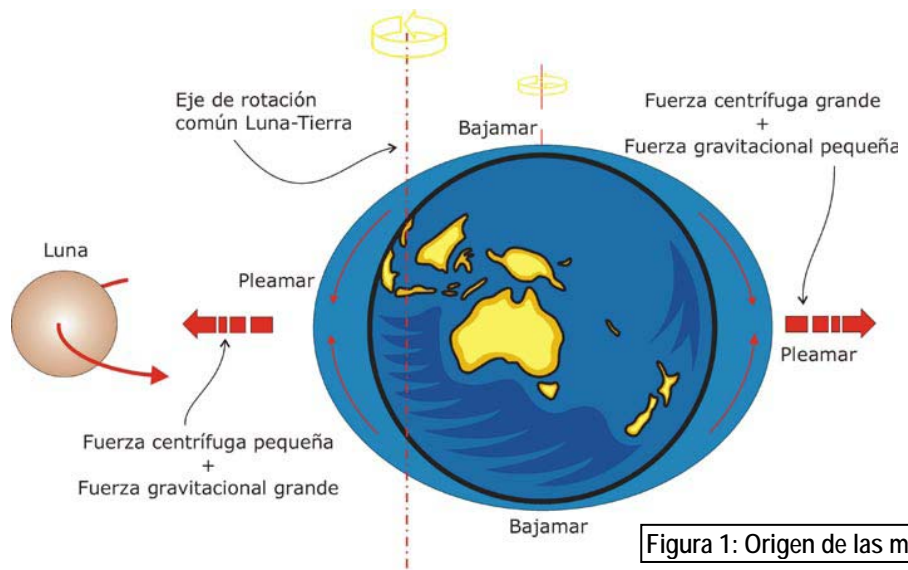


Figura 1: Origen de las mareas

distancia que existe entre ambos cuerpos. Debido a que la Tierra es mucho mayor que la Luna, su centro común de rotación se encuentra más próximo a la Tierra que a la Luna; de hecho el eje pasa debajo de la superficie de la Tierra (ver figura). La rotación mutua alrededor de este eje produce una fuerza centrífuga relativamente mayor en los mares situados en el lado de la Tierra más alejado de la Luna, agrupándolos para producir una protuberancia (Pleamar). También existe una fuerza centrífuga más pequeña, dirigida hacia la Luna, que actúa en los mares que se encuentran enfrente de la Luna.

Evidentemente, esta fuerza es más pequeña ya que la distancia desde la superficie de la Tierra al eje común de rotación, situado justo dentro de la superficie de la Tierra, es más pequeña.

El segundo proceso, el efecto gravitacional de atracción de la Luna, produce en los mares de la cara de la Tierra más cercana a la Luna una protuberancia (pleamar), mientras que los mares más alejados de la Luna experimentan una atracción lunar menor que la media.

En resumen, existen una pequeña fuerza centrífuga y una atracción lunar grande que actúan en los mares situados enfrente de la Luna, y una mayor fuerza centrífuga y una menor atracción lunar actuando en los mares situados en la otra cara de la Tierra. El resultado final, en base a este análisis, es que existe una simetría de fuerzas, pequeña y grande, en cada cara de la Tierra, que produce protuberancias (en teoría) del mismo tamaño en cada cara de la Tierra. En la práctica, las protuberancias pueden diferir, debido, por ejemplo, a la inclinación del eje de la Tierra en relación a la órbita de la Luna y a los efectos topográficos locales.

Asimismo, en los mares situados en las zonas perpendiculares al eje de las mareas directa y opuesta se producen fases de marea baja o bajamar.

En la siguiente figura (2) se muestra como las fuerzas de atracción del Sol modifican el esquema básico representado en la figura anterior (1).

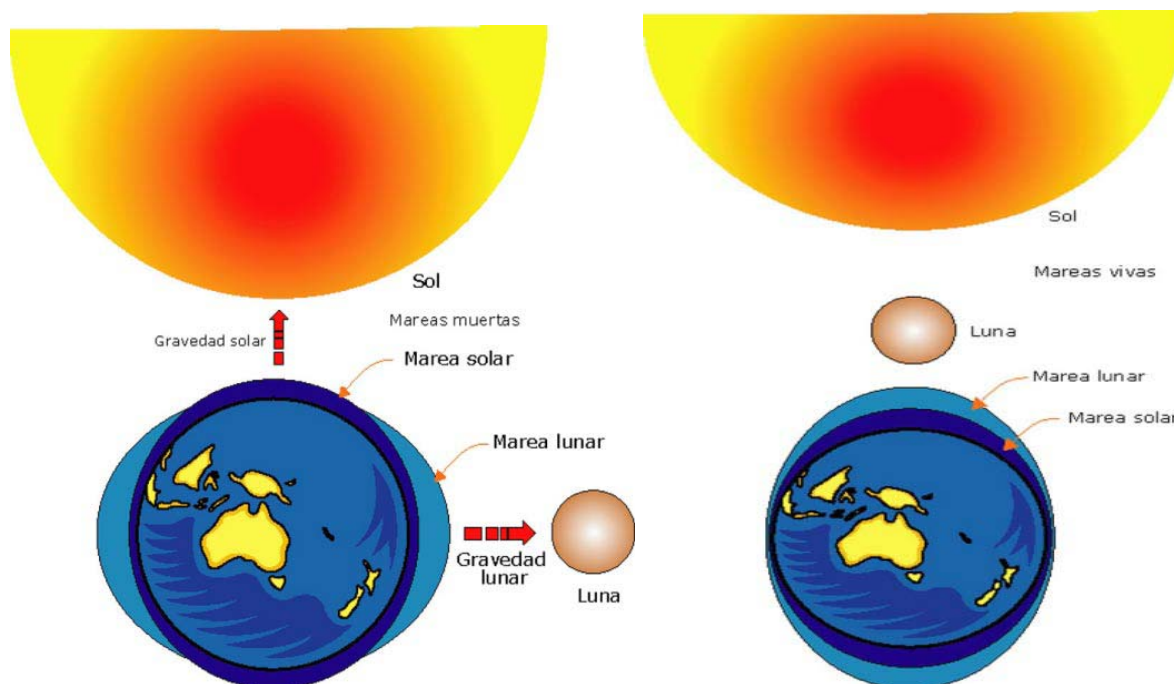


Figura 2. Mareas vivas y mareas muertas

Igualmente, el Sol provoca el ascenso de dos crestas de onda opuestas. Sin embargo, de acuerdo con la ley de la gravitación de Newton, la fuerza de atracción es proporcional a la masa, e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre los objetos, por tanto, aunque la masa del Sol sea mayor (alrededor de 27 millones de veces la de la Luna), debido a que está unas 400 000 veces más lejos, su fuerza para crear mareas es un 46% menor que la Luna.

El resultado de la suma de las fuerzas ejercidas por la Luna y el Sol es una onda compuesta por dos crestas, cuya posición depende de las posiciones relativas del Sol y de la Luna en un instante dado.

De este modo, durante las fases de Luna nueva y llena, donde el Sol, la Luna y la Tierra están alineados, las ondas solar y lunar coinciden creando un estado conocido como mareas de primavera, mareas vivas o mareas de Sicigias (figura 2-b). En este caso los efectos se suman, provocando pleamares más altas y bajamares más bajas que las mareas promedio.

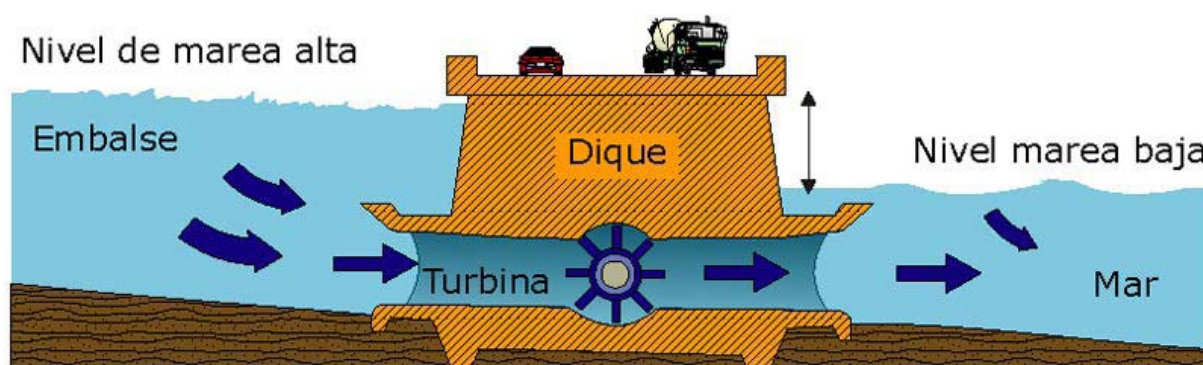
Sin embargo, cuando la Luna está en el primer o tercer cuadrante, el Sol forma un ángulo recto con respecto a la Tierra que hace que las ondas queden sometidas a fuerzas opuestas del Sol y de la Luna, con lo cual la amplitud de las mareas es menor que el promedio. Este estado se conoce como el de marea muerta o marea de cuadratura, donde las mareas altas son más bajas y las mareas bajas son más altas que lo normal.

### Cómo puede aprovecharse la energía de las mareas

La amplitud de las mareas, es decir, la diferencia entre los niveles más alto (pleamar) y más bajo (bajamar), suele ser pequeña en medio del océano, pero puede alcanzar en determinados puntos del globo terráqueo, hasta 20 metros, como por ejemplo en la Bahía de Fundy, en Canadá.

La amplitud de las mareas da lugar a que el agua de los mares contenga energía cinética. Esta energía, denominada mareomotriz, se puede utilizar mediante la construcción de diques que cierran una bahía para conseguir recoger y almacenar el agua cuando sube la marea. El agua marina se retiene mediante compuertas hasta la bajamar y se libera en las horas intermareales para que, aprovechando la energía potencial originada por el desnivel mar-dique, puedan accionar las turbinas que, acopladas a un generador eléctrico, producen electricidad.

La energía mareomotriz y la hidráulica tienen un origen diferente, ya que la primera se produce como consecuencia de atracción gravitacional del Sol, y principalmente de la Luna, y la segunda se origina con el ciclo hidrológico, sin embargo, respecto a la tecnología del aprovechamiento, podría decirse que ambas presentan una gran similitud.



En la mayoría de las costas del mundo se producen dos mareas altas y dos mareas bajas cada día. Por lo tanto, en el caso de disponer de una bahía acondicionada, ésta se llenará y vaciará diariamente en dos ocasiones.

## Potencial

La amplitud de mareas no es la misma en todos los lugares. Es nula en algunos mares interiores, como en el Mar Negro, entre Rusia y Turquía; de escaso valor en el Mediterráneo, en el que solo alcanza entre 20 y 40 centímetros. Asimismo, es débil en el océano Pacífico. Por el contrario, alcanza valor notable en determinadas zonas del océano Atlántico, en el cual se registran las mareas mayores. Así, en la costa meridional Atlántica de la República Argentina, en la provincia de Santa Cruz, alcanza la amplitud de 11 metros, de tal modo que en Puerto Gallegos los buques quedan en seco durante la marea baja.

Pero aún son más altas las mareas de determinados lugares, tales como en las bahías de Fundy y Frobisher, en Canadá (19 metros), en el estuario del río Severn (13,6 metros), en Gran Bretaña, y en las bahías de Mont-Saint-Michel (12,7 metros) y el estuario de Rance (13 metros), en Francia.

La potencia asociada a las mareas se estima del orden de 3TW. Sin embargo, para el aprovechamiento eficaz de la energía mareomotriz es necesario que la amplitud de las mareas sea al menos de cinco metros y que exista una bahía apropiada para la recogida y almacenamiento del agua en las pleamares.

Las condiciones que deben reunir los lugares elegidos para la instalación de centrales mareomotrices, son:

- Mareas de gran amplitud.
- Dársenas con aberturas relativamente estrechas.
- Marejada u oleaje no muy fuerte.

- Poco riesgo de enarenamiento.
- No alteración de la ecología del lugar debido al cambio de nivel de la marea.

Por lo tanto, las posibilidades de instalar estas centrales son reducidas a nivel mundial. El costo de una central mareomotriz es inicialmente grande, pero su infinita vida útil y otros factores, la convierten en una respuesta atractiva para aquellos países que la puedan aprovechar.

## Tecnología

Como ya se ha señalado, los principios físicos y de ingeniería de la generación de potencia utilizando las mareas son relativamente sencillos.

Diques, contruidos en estuarios adecuados, se diseñan para extraer energía de la subida y bajada de las mareas, utilizando turbinas localizadas en conductos que atraviesan los diques. La energía potencial, originada por la diferencia del nivel del agua en los diques, se convierte en energía cinética debido al rápido movimiento del agua al pasar a través de las turbinas. Las palas o álabes de las turbinas, al girar, convierten la energía cinética del agua en mecánica de rotación, la cual permite accionar un generador para producir electricidad.

Además de los temas básicos de localización y orientación de los diques, existe un segundo conjunto de factores que influyen en la potencial energía generada por estos sistemas. Estos están relacionados con la forma de funcionamiento.

Una central mareomotriz puede diseñarse para operar de distintas formas, las cuales dependen del número de ciclos y del sentido de aprovechamiento de las mareas.

Cualquiera que sea la configuración elegida para una central mareomotriz, los componentes básicos son los mismos: turbinas, diques, compuertas, generadores eléctricos, subsistema de control e infraestructura de transporte de la energía eléctrica generada.

Al igual que en las instalaciones hidroeléctricas, también en las instalaciones mareomotrices pueden utilizarse turbinas reversibles, las cuales pueden funcionar como bombas en un sentido y como turbinas en el otro. De esta forma cuando exista un exceso de energía puede emplearse para bombear agua desde el mar hacia los embalses, aumentando así el nivel para disponer de agua extra para la subsiguiente fase de generación.

Debido a las peculiares características de las centrales mareomotrices, donde los saltos son relativamente pequeños, las turbinas más adecuadas son las de hélice de flujo axial y de alta velocidad.

También existe la posibilidad de aprovechar las corrientes de marea, es decir, los movimientos horizontales del agua que se aprecian a lo largo de las costas, rías, bahías, estuarios, fiordos, etc., producidos por las subidas y bajadas de las mareas. Estas corrientes de superficie pueden intensificarse como consecuencia de los efectos de concentración en canales estrechos.

Para aprovechar la energía cinética de este tipo de corrientes se han diseñado dispositivos simples, parecidos a los rotores de las turbinas eólicas, que se sumergen en el mar a profundidades comprendidas entre 20 y 30 metros.

Se han realizado instalaciones experimentales, tales como el denominado "Proyecto Seaflow" con el propósito de demostrar que la energía de las mareas es una fuente válida para obtener electricidad.

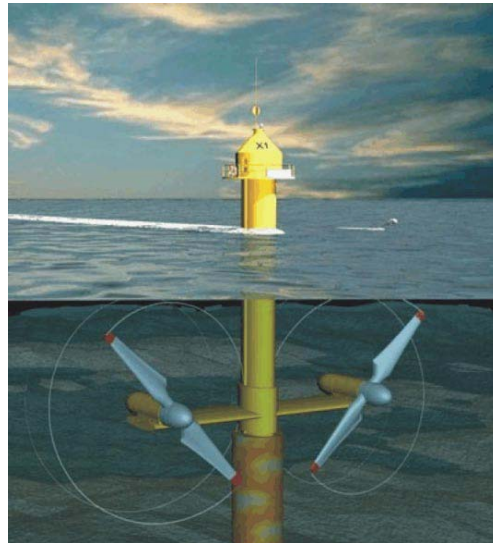
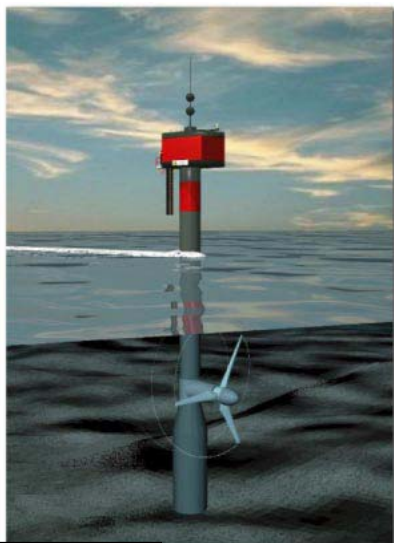
El prototipo construido en el "Proyecto Seaflow" de una potencia nominal de 300kW, dispone de una hélice debajo del agua que funciona en un solo sentido. La hélice



está sujeta a una estructura que se apoya en el fondo, aunque el dispositivo sobresale del nivel del agua. El movimiento de la hélice se transmite mediante unos engranajes al generador que está en la parte de arriba (eso simplifica el mantenimiento). El transporte de la energía eléctrica hasta la costa se efectúa a través de un cable sumergido que sale del fondo de la estructura.



Turbina del "Proyecto Seaflow"



Turbina de dos hélices que opera en ambos sentidos

A la vista de los esperanzadores resultados obtenidos con este prototipo se está diseñando otro mayor (1MW), de dos hélices, que opera en ambos sentidos. Sin embargo, el objetivo final es instalar un parque sumergido de este tipo de máquinas.



Parque de turbinas

El obstáculo para la explotación de esta fuente energética no solo es el operacional, sino que el económico también juega un papel primordial. El periodo durante el cual se puede generar energía es menor que el de un sistema convencional.

Es decir, las instalaciones mareomotrices tienen un relativamente alto costo en relación a la energía producida, si se comparan con la mayoría de los otros tipos de plantas eléctricas. Por tanto, se requiere mucho tiempo para recuperar el valor de la inversión.



## Impacto ambiental

La energía mareomotriz tiene la cualidad de renovable, en tanto que la fuente de energía primaria no se agota por su explotación. Además es limpia, ya que en la transformación energética no se producen subproductos contaminantes gaseosos, líquidos o sólidos. Sin embargo, la limitación para la construcción de estas centrales (localización puntual y potencia limitada), no solamente se centra en el mayor coste de la energía producida, sino, en el impacto negativo que generan en algunos de los más ricos e importantes ecosistemas, como son los estuarios y las marismas.

La energía de las mareas presenta un potencial muy grande para mejorar el transporte, debido al desarrollo de puentes para automóviles y ferroviarios sobre estuarios, y la reducción de las emisiones de gases que producen el efecto invernadero, gracias a la utilización de la energía de las mareas en reemplazo de los combustibles fósiles.

## Desarrollo de la energía mareomotriz en el mundo

En el verano de 1966 se puso en marcha la primera planta de energía mareomotriz situada en el río Rance, en el noroeste de Francia. Una presa de 725m de longitud

Planta de energía mareomotriz en el río Rance (Francia)



separa el estuario del mar abierto y crea una cuenca de 22 km<sup>2</sup>, la cual permite almacenar 184 millones de m<sup>3</sup> de agua. Es capaz de generar 240MW, está equipada con 24 generadores de turbina del tipo de bulbo. Las turbinas miden 5.35 metros de diámetro con generadores de 10 MW. Estos equipos están diseñados para generar energía ya sea con la marea de

entrada, como con la de salida, así como también para bombear agua dentro o fuera de la cuenca durante períodos de mareas bajas, y para servir como orificios, permitiendo que el agua pase dentro o fuera de la cuenca. La planta, por lo tanto, puede, y muchas veces lo hace, operar como una planta de cuenca alta individual, generando energía con la marea de reflujo. Contando con la gran versatilidad de este equipo de generación de turbina, la planta también puede operar perfectamente como una planta de cuenca baja individual, generando energía durante la marea de entrada. Además puede operar como una planta de doble efecto de cuenca individual, generando energía tanto con las mareas de entrada como con las de salida (flujo y reflujo).

La planta de energía de mareas piloto de Annapolis en la Bahía de Fundy en la costa de Nueva Escocia sobre el Atlántico en Canadá, utiliza generadores de turbina del tipo de borde (Straflo) con un diámetro de 7.6 mt y un generador de 20 MW de capacidad. Esta planta de cuenca alta individual fue inaugurada en 1984 y ha estado funcionando exitosamente desde ese momento.

Hacia el fin de 1984, existían ocho plantas de energía de mareas en China. Desde 1984, cuatro de estas plantas fueron cerradas. La planta de energía de mareas experimental de Jiangxia está ubicada en la provincia de Zhejiang, a aproximadamente 200 km al sur de Hangzhou. Esta planta fue construida durante la estación seca sobre el terraplén derecho, detrás de los cofferdams, y opera con doble efecto, generando energía tanto con las mareas de entrada como con las de salida. Hacia el fin de 1985, cinco unidades estaban operando. La tercera, cuarta y quinta unidades tienen una capacidad calculada de 700 kW. La capacidad instalada con las cinco unidades asciende a 3200 kW. La estructura de represa, originalmente construida como parte de un proyecto de avance de tierras, tiene cinco aberturas de 4.2 mt de altura y 3.3 mt de ancho, que se controlan con compuertas de hormigón reforzado. El nivel más alto de la cuenca está limitado a 1.2 mt. Aproximadamente 3.8 km<sup>2</sup> de terreno fueron recuperados en la cuenca sobre 1.2 mt, y fueron utilizado para plantar árboles naranjeros, caña de azúcar, algodón y arroz. La zona inter-marea de la cuenca con un área de 1.2 km<sup>2</sup> se utiliza para el cultivo de ostras y la pesca de almejas. El área de la cuenca con el menor nivel de agua es de 0.8 km<sup>2</sup>. Esta planta está todavía en servicio, produciendo 6 GWh de energía por año (Wilmington Media Ltd, 2004).

El 6 de enero de 2006, comenzó a operar la planta de energía de mareas más reciente de China, en la región de Daishan en la provincia de Zhejiang.

La Federación Rusa también ha construido plantas de generación de energía por mareas experimentales desde los años '30. Una pequeña planta piloto con una capacidad de 400 kW fue construida en Kislogubsk cerca de Murmansk hacia 1968. El éxito de esta instalación llevó a una serie de estudios de diseño para plantas de mareas más extensas en otras regiones del país: Lumbov y la bahía de Mezen en el Mar Blanco, Bahía Penzhinsk y Bahía de Tugur en el Mar de Okhotsk. Finalmente la estación de Tugur fue el único proyecto a gran escala viable (World Energy Council, 2001).

Existen además numerosos proyectos para aprovechamiento de este tipo de energía. Por ejemplo, los tiene Francia (Central Chausey), URSS (Golfos Tugusk y Penyinsk), Canadá (Bahía Fundy), Inglaterra (Estuario del Río Severn), India (Golfos Kutch y Cambay), entre otros

## **Las posibilidades de explotación de energía mareomotriz en la Argentina.**

Las amplitudes de mareas en ciertas partes de la costa patagónica, se encuentran entre las cuatro más pronunciadas del mundo. Desde la Provincia de Santa Cruz, a medida que se avanza hacia el norte, las amplitudes van progresivamente disminuyendo excepto en los Golfos de San Matías, San José y Nuevo, en los cuales, por fenómenos de reflexión y corrientes diversas, las mareas son más altas que en las zonas vecinas, y es en la Península de Valdez donde la amplitud de mareas es considerable (seis metros).

Entre las mareas del Golfo San José y del Golfo Nuevo, existe una diferencia horaria de seis horas; vale decir, que cuando el Golfo Nuevo está en pleamar, el Golfo de San José está en bajamar y viceversa. Esta característica puede ser muy provechosa, debidamente explotada mediante una central de energía mareomotriz, pues es la naturaleza misma la que nos ofrece una central de bombeo absolutamente gratuita. Desde hace más de medio siglo, esta peculiaridad geográfica ha despertado el interés de los estudiosos con el objeto de aprovecharla en sus capacidades energéticas que actualmente se 'pierden' diariamente.

## La energía de las olas (undomotriz o undimotriz)

Parte de la energía que recibimos del sol se transforma por medio del viento en un eterno vaivén en la superficie de los océanos: las olas.

La energía de las olas, o energía undimotriz, es considerada como la más prometedora fuente de energía renovable para los países marítimos. No causa daño ambiental y es inagotable.

### ¿Qué produce las olas?

Las olas del océano son producidas por una variedad de fuerzas incluyendo las fenómenos meteorológicos (como el viento y la presión atmosférica), fuerzas astronómicas (efectos gravitacionales de la luna y el sol), y fuerzas geológicas (terremotos subacuáticos que pueden producir tsunamis).

El oleaje se entiende, desde un punto de vista de la ingeniería, como un derivado terciario de la energía solar. El calentamiento desigual de la atmósfera terrestre genera viento, y el viento genera olas.

El viento puede claramente, transferir algo de su energía al agua. El agua puede ganar energía del viento, por la fricción entre el viento y el agua. Sobre los océanos y lagos, las olas que se generan como resultado del viento se denominan “olas oceánicas superficiales”.

Una de las propiedades características de las olas es su capacidad de desplazarse a grandes distancias sin apenas pérdida de energía, por ello, la energía generada en cualquier parte del océano acaba en el borde continental. De este modo la energía de las olas se concentra en las costas.

### El recurso

La energía undimotriz consiste en el aprovechamiento de la energía cinética y potencial del oleaje para la producción de electricidad. El World Energy Council (Consejo Mundial de Energía) ha estimado el potencial de la energía de las olas en 2.000 GW (New Scientist, 2003). El recurso de energía de las olas global es de 2 TW, con el potencial de una generación de más de 2000 TWh anuales (World Energy Council, 1993. Thorpe, 1998. Mei, 2005).

La energía contenida en las olas varía de un sitio a otro, pero, en general, **cuanto más alejadas del ecuador estén, más energía contendrán**. Aunque condiciones locales, tales como, tipo de costa, lugar donde se generen y profundidad del océano, tienen una gran importancia en la definición de la cantidad de energía. Según estimaciones, se puede asumir que **el flujo de energía de las olas en Europa podría equivaler a 1.000 TWh anuales**, cantidades a tener muy en cuenta con vistas a una futura expansión en el aprovechamiento de este tipo de energía.

El primer convertidor de energía undimotriz se patentó en Francia en 1799. Sin embargo, el verdadero desarrollo de esta tecnología no comienza hasta el último cuarto del siglo XX. Noruega y Escocia son pioneras y líderes en la tecnología undimotriz en la actualidad.

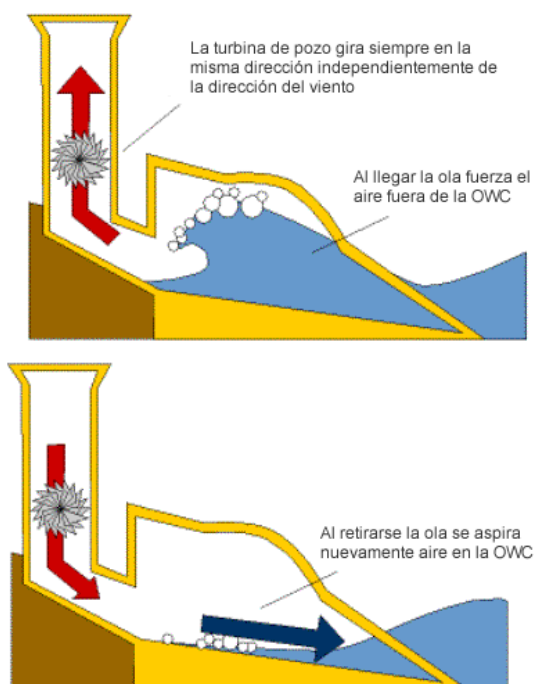
### Dispositivos de generación de energía a través de las olas

Los dispositivos de generación de energía a través de las olas se pueden clasificar en **fijos o flotantes**.

## Dispositivos de generación fijos

Estos dispositivos son los que están contruidos en la línea costera (en la rompiente de las olas) o fijados al lecho marino en aguas poco profundas. Los sistemas fijos tienen algunas ventajas importantes sobre los sistemas flotantes, sobre todo con respecto al mantenimiento. Sin embargo, la cantidad de lugares apropiados para este tipo de dispositivos es limitada. A continuación se describen algunos de ellos.

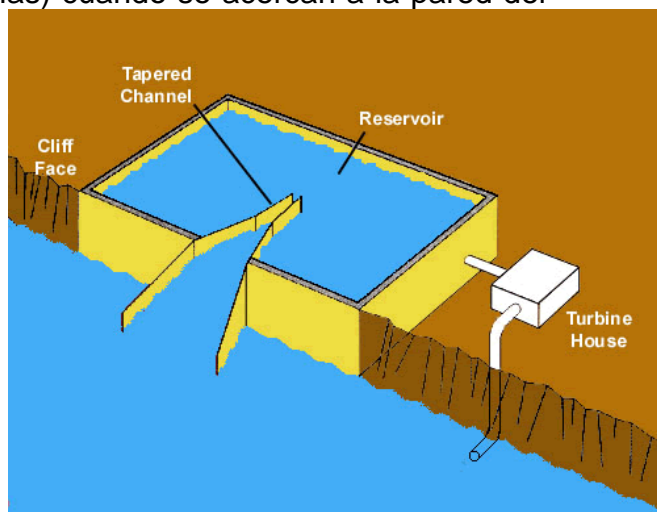
- **Columna Oscilante de Agua (Oscillating Water Column):** La Columna de Agua Oscilante (Oscillating Water Column ó OWC) genera electricidad en un proceso de dos pasos. Cuando la ola entra en la columna, fuerza al aire de la columna a pasar por la turbina e incrementa la presión dentro de la columna. Cuando la ola sale, el aire vuelve a pasar por la turbina, debido a la disminución de la presión de aire en el lado del océano de la turbina. Sin importar la dirección de la corriente de aire, la turbina (conocida como turbina Wells, como su inventor) gira hacia la misma dirección y hace que el generador produzca electricidad.



La tecnología OWC se está utilizando en la isla de Islay en Escocia, donde hay un sistema instalado desde el año 2000 llamado LIMPET (ver Figuras).

Este sistema tiene una producción máxima de 500 kW. Es ideal para lugares donde existe una fuerte energía de olas, como en la rompiente de olas, defensas costeras, proyectos de recuperación de territorio y escolleras de puertos. Esta forma de generación de energía es apropiada para la producción de energía para la red nacional. En la isla de Islay, la electricidad generada se está utilizando para hacer funcionar un bus eléctrico, el primer bus en el mundo que utiliza energía de las olas como combustible. (Green Energy Works, 2006).

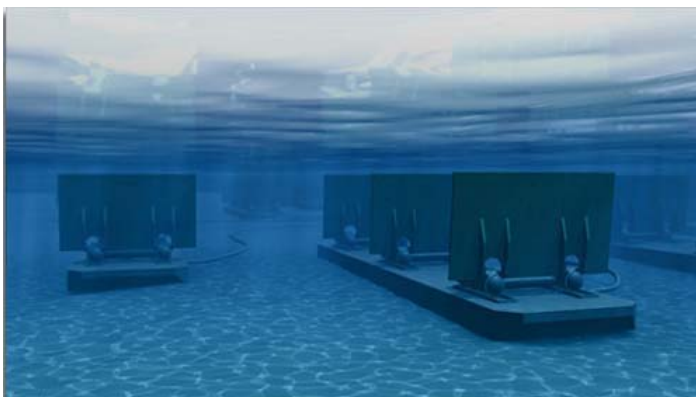
- **Sistema TAPCHAN, o sistema de canal estrechado:** Consiste en un canal estrechado que alimenta a un embalse que está construido en un acantilado, como lo muestra la Figura siguiente. El estrechamiento del canal hace que las olas aumenten su amplitud (altura de las olas) cuando se acercan a la pared del acantilado. Eventualmente las olas se desbordan sobre las paredes del canal dentro del embalse, que está ubicado varios metros por debajo del nivel del mar. La energía cinética de la ola en movimiento se convierte en energía potencial cuando el agua se conserva en el embalse. La generación de electricidad es similar a la de una planta hidroeléctrica. El agua en depósito pasa por una turbina tipo Kaplan. El concepto de TAPCHAN es una adaptación de la producción de energía hidroeléctrica tradicional. Con muy pocas partes





móviles, y todo contenido dentro del sistema de generación, los sistemas TAPCHAN tienen pocos costos de mantenimiento y son confiables. Este sistema supera además, los problemas de demanda de energía, ya que el embalse puede reservar la energía hasta que ésta sea requerida. Desafortunadamente, los sistemas TAPCHAN no son apropiados para todas las regiones costeras. Las regiones deben tener olas continuas, con un buen promedio de energía, y con un rango de mareas de menos de 1 m, además de algunas propiedades de la costa como aguas profundas cerca de la misma y una ubicación apropiada para el embalse.

- **WaveRoller:** El dispositivo WaveRoller es una placa amarrada al fondo del océano por su parte inferior que pivotea hacia atrás y adelante. Este movimiento de las olas bajas mueve la placa, y la energía cinética producida se recoge en una bomba de pistón. Esta energía puede ser convertida en electricidad ya sea por un generador unido a la unidad WaveRoller, o por una sistema hidráulico cerrado en combinación con un sistema de generador / turbina. El WaveRoller es un concepto modular, significa que la capacidad de la planta está formada por la conexión de una cantidad determinada de módulos de producción a una planta WaveRoller.



## Dispositivos de generación flotantes.

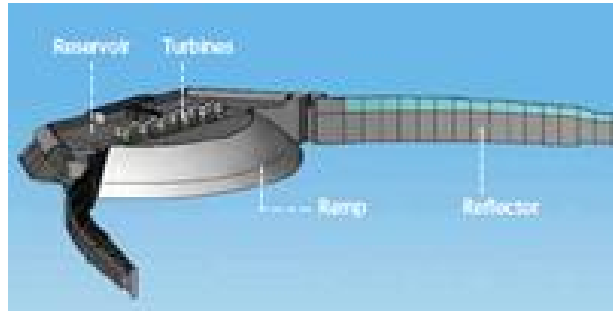
Son sistemas que se encuentran flotando en el océano ya sea cerca de la costa u offshore. A continuación se describen algunas de las muchas tecnologías que se han desarrollado en el mundo.

- **Pelamis:** El Pelamis es una estructura semi sumergida y articulada con forma de serpiente, compuesta por secciones unidas por juntas de bisagra. Recibe su nombre de cierta serpiente marina (Pelamis platurus). El movimiento de estas juntas es resistido por arietes hidráulicos, que bombean aceite a alta presión a través de los motores hidráulicos. Estos motores hacen que los generadores produzcan electricidad. Se puede conectar varios dispositivos juntos y unidos a la costa a través de un solo cable que va por el fondo marino. La estructura se mantiene en posición por un sistema de anclaje compuesto por una combinación de flotantes y pesas, que previene que los cables de anclaje estén tirantes al mantener el Pelamis en su posición, y que además permiten un movimiento de vaivén con las olas entrantes. Cada módulo contiene un sistema completo de generación de energía hidroeléctrica (Ocean Power Delivery, 2005). Ya hay un sistema de Pelamis instalado en Portugal. Se estima que la cantidad de energía obtenida por 30 de estos sistemas, podría abastecer aproximadamente a 20.000 hogares con un consumo medio europeo.





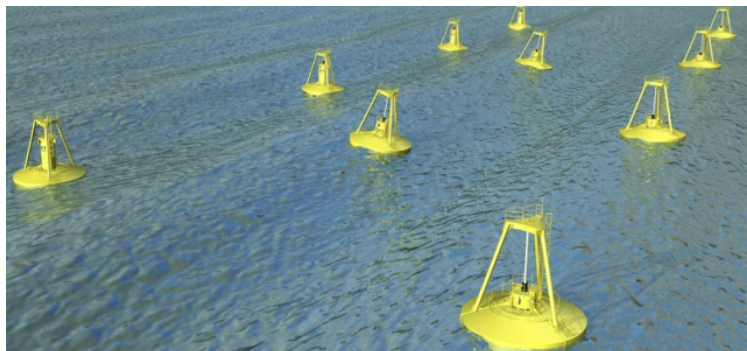
- **Wave Dragon (Dragón de las olas):** El Wave Dragon es esencialmente un dispositivo que eleva las olas marinas a un embalse por encima del nivel del mar, donde se permite que el agua pase por una serie de turbinas y por lo tanto se genere electricidad. La construcción del Wave Dragon es muy simple y sólo tiene como parte móvil a las turbinas, lo que es útil para operar offshore bajo condiciones extremas. El Wave Dragon está anclado en aguas relativamente profundas para tomar ventaja de las olas marinas antes que pierdan energía cuando llegan al área costera. El dispositivo está diseñado para mantenerse lo más firme posible, utilizando simplemente la energía potencial del agua. El agua sale del embalse del Wave Dragon a través de varias turbinas generando electricidad en un modo similar al de las plantas de energía hidroeléctrica.



- **Archimedes Wave Swing (Columpio de olas Arquímedes):** Es un sistema simple de cámaras de aire conectadas, que utilizan el efecto flywheel, utilizando el empuje del mar para producir energía eléctrica (UN Atlas of the Oceans, 2006). Se trata de una cámara grande de aire instalada sobre el fondo del mar. La sección superior de la cámara de aire se mueve continuamente hacia arriba y hacia abajo, mientras que la parte inferior permanece en una posición fija. La variación periódica de la presión en una ola inicia el movimiento de la porción superior. El AWS está totalmente bajo la superficie del agua y no utiliza la ola superficial para la generación de la energía.



- **PowerBuoy™ (Boya de energía):** Ocean Power Technologies (OPT) ha desarrollado un sistema de generación a través de las olas conocido como PowerBuoy. El sistema utiliza una boya marítima para convertir la energía de las olas en una fuerza mecánica controlada que activa un generador eléctrico. La energía AC generada se convierte en DC de alto voltaje y se transmite a la costa a través de un cable de energía sumergido. El PowerBuoy incorpora sensores que monitorean el rendimiento y el medio ambiente oceánico circundante. Frente a Santoña, Cantabria, España, donde las olas se elevan hasta 6 metros, se instaló una planta piloto de 10 boyas cilíndricas Powerbuoy.



## **Bibliografía**

- Geografía Ambiental Planeta Agua (Panda Educación Ambiental – 2006)
- Ingeniería y Ciencias Ambientales (Mackenzie L. Davis - Susan J. Masten) Mc Graw Hill Interamericana 2005.
- UNESCO: Programa Hidrológico Internacional para América Latina y el Caribe, en el marco del Programa "Agua y Educación: para las Américas"
- Manual del agua potable (Frank R. Spellman- Joanne Drinan)
- Aysa. Servicio de información [www.aysa.com.ar](http://www.aysa.com.ar)
- SECRETARÍA DE ENERGÍA DE LA NACIÓN: Contenidos didácticos.
- IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, Publicaciones para la comunidad: Energías del Mar.
- Comunidad eduambiental, curso, contenidos, capitulo23, Energía de las mareas
- BOLETIN DE DIFUSION ACADEMICA Comité de Investigación Estratégica, ISSN N° 85/2003 ENERGIA MAREOMOTRIZ, Posibilidades en la Península de Valdez, Abogado Fernando R. Chingotto Araujo
- Textos científicos.com
- Ciencia digital
- Energía undimotriz: el aprovechamiento de la fuerza de las olas (artículo Julio González, Ing Naval)