

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

5° ciclo - año 2011

**Bibliografía 5° semifinal:**

**Temas:**

- 1) Contaminación del agua, Enfermedades hídricas**
- 2) Energía de Hidrógeno, Energía Nuclear**

# Contaminación del agua - Enfermedades hídricas

El agua es vida. Es un elemento esencial para el desarrollo de cualquier ser vivo de nuestro planeta. Lo es también para la agricultura, la industria y la ganadería. El agua es una necesidad absoluta, simplemente no podemos vivir sin agua.

El 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. Está en constante movimiento, tanto en la superficie como en la profundidad de la Tierra, dando lugar al ciclo hidrológico o ciclo del agua.

“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.

El agua hace posible un ambiente saludable pero, paradójicamente, también puede ser el principal vehículo de transmisión de enfermedades. Las enfermedades transmitidas por el agua son enfermedades producidas por el "agua sucia"; agua que se ha contaminado con desechos humanos, animales o químicos. Mundialmente, la falta de servicios de evacuación sanitaria de desechos y de agua limpia para beber, cocinar y lavar es la causa de más de 12 millones de defunciones por año.

Se estima que 3.000 millones de personas carecen, por ejemplo, de servicios higiénicos. Más de 1.100 millones de personas están en riesgo porque carecen de acceso a agua dulce salubre. En lugares que carecen de instalaciones de saneamiento apropiadas, las enfermedades transmitidas por el agua pueden propagarse con gran rapidez. Esto sucede cuando excrementos portadores de organismos infecciosos son arrastrados por el agua o se lixivian hasta los manantiales de agua dulce, contaminando el agua y los alimentos.

Dado que se puede producir la contaminación fecal de los abastecimientos de agua, si el agua no se trata adecuadamente, el patógeno puede penetrar en un nuevo hospedador, al consumirla. Las enfermedades diarreicas son las principales enfermedades transmitidas por el agua, y prevalecen en numerosos países en los que el tratamiento de las aguas residuales es inadecuado.

El uso de aguas residuales sin previa depuración como fertilizante puede provocar epidemias o enfermedades como el cólera. Estas enfermedades pueden incluso volverse crónicas en lugares donde los suministros de agua limpia son insuficientes. A principios de los años noventa, por ejemplo, las aguas residuales sin tratar que se utilizaban para fertilizar campos de hortalizas ocasionaron brotes de cólera en Chile y Perú.

Con el fin de conocer cuánto desecho puede tolerar (o asimilar) un cuerpo de agua, los administradores deben conocer las clases de contaminantes que se descargan en él y cómo afectan la calidad del agua. También deben conocer cómo afectan los factores naturales; por ejemplo, el contenido mineral de la cuenca, la configuración del terreno y el clima de la región. Un pequeño arroyo que baja abruptamente por la montaña tendrá una capacidad de asimilación muy distinta a la de un río lento, con meandros y en tierras bajas; los lagos se comportan distinto a las aguas en movimiento.



## Cómo se define la contaminación del agua

**Se entiende por contaminación del agua** a la acción y el efecto de introducir materias, o formas de energía, o inducir condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica.

Según la OMS (Organización Mundial de la Salud), el agua está contaminada cuando su composición se haya alterado de modo que no reúne las condiciones necesarias para el uso al que se la hubiera destinado, en su estado natural.

Una clara definición se brinda también en la *Convención del Internacional sobre Vertimiento, Londres 1972*: Por "contaminación" se entiende la introducción de desechos u otras materias en el mar, resultante directa o indirectamente de actividades humanas, que tenga o pueda tener efectos perjudiciales tales como causar daño a los recursos vivos y a los ecosistemas marinos, entrañar peligros a la salud del hombre, entorpecer la actividades marítimas, incluidas la pesca y otros uso legítimos del mar, deteriorar la calidad del agua de mar en lo que se refiere a su utilización y menoscabar las posibilidades de esparcimiento.

Otra definición se encuentra en el texto de la *Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (UNCLOS)*: Por "contaminación del medio marino" se entiende la introducción por el hombre, directa o indirectamente, de sustancias o energía en el medio marino incluidos los estuarios, que produzca o pueda producir efectos nocivos tales como daños a los recursos vivos y a la vida marina, peligros para la salud humana, obstaculización de las actividades marítimas, incluidos la pesca y otros usos legítimos del mar, deterioro de la calidad del agua de mar para su utilización y menoscabo de los lugares de esparcimiento.

La contaminación del agua es causada generalmente por actividades humanas. Los ríos y lagos se contaminan por que en ellos son vertidos los productos de desecho de las áreas urbanas y de las industrias.

Hay dos clases de fuentes, fuentes puntuales y fuentes no puntuales o difusas. Las fuentes puntuales descargan agentes contaminantes en localizaciones específicas a través de tuberías o de alcantarillas y se conducen hasta un solo punto de descarga en el agua receptora. Las fuentes de contaminación difusa son las fuentes que no se pueden localizar en un solo sitio de descarga. Los ejemplos de fuentes puntuales son: fábricas, plantas de tratamiento de aguas residuales, minas subterráneas, pozos de petróleo, buques de petróleo, etc. Los ejemplos de las fuentes de contaminación difusa son: deposición ácida del aire, tráfico, agentes contaminantes que se transportan a través de los ríos y de los agentes contaminantes que entran en el agua a través del agua subterránea.

La contaminación por fuente difusa es difícil de controlar porque los causantes de ella no pueden ser controlados.

## TIPOS DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA

Si tuviéramos que hacer un listado de todas las fuentes de contaminación y de sus contaminantes, incluso con una breve descripción de cada uno, podríamos fácilmente llenar todo un libro.

Los contaminantes más frecuentes de las aguas son: materias orgánicas y bacterias, hidrocarburos, desperdicios industriales, pesticidas y otros productos utilizados en la agricultura, productos químicos domésticos y desechos radioactivos. Lo más grave es que una parte de los derivados del petróleo son arrojados al mar por los barcos o por las industrias ribereñas y son absorbidos por la fauna y flora marinas que los retransmiten a los consumidores de peces, crustáceos, moluscos, algas, etc.

Los contaminantes en forma líquida provienen de las descargas de desechos domésticos, agrícolas e industriales en las vías acuáticas, de terrenos de alimentación de animales, de terrenos de relleno sanitario, de drenajes de minas y de fugas de fosas sépticas. Estos líquidos contienen minerales disueltos, desechos humanos y de animales, compuestos químicos sintéticos, materia coloidal y en suspensión. Entre los contaminantes sólidos se encuentran arena, arcillas, tierra, cenizas, materia vegetal agrícola, grasas, brea, papel, hule, plásticos, madera y metales.

### CONTAMINANTES FÍSICOS. *(color, turbidez, temperatura, conductividad, sólidos suspendidos)*

Afectan el aspecto del agua y cuando flotan o se sedimentan interfieren con la flora y fauna acuáticas. Son líquidos insolubles o sólidos de origen natural y diversos productos sintéticos que son arrojados al agua como resultado de las actividades del hombre, así como, espumas, residuos oleaginosos y el calor (contaminación térmica).

**Contaminación por calor o térmica:** El calor se origina en la mayoría de los procesos de fabricación y se añade al ambiente, porque es calor inútil. La manera más barata de hacer esto es introducirla al agua superficial próxima, pasarla a través de la planta, y volver el agua caliente a la masa de agua superficial. El calor que contiene esa agua tiene efectos negativos en toda la vida acuática de la masa de agua que recibe esa agua caliente. Esta es la clase de contaminación que se conoce comúnmente como contaminación por calor o contaminación termal. El agua más caliente disminuye la solubilidad del oxígeno en el agua y también hace que los organismos que viven en el agua respiren más rápidamente. Muchos organismos entonces morirán por la escasez de oxígeno, o llegan a ser más susceptibles a las enfermedades.

### CONTAMINANTES QUÍMICOS.

Incluyen compuestos orgánicos e inorgánicos disueltos o dispersos en el agua. Los contaminantes inorgánicos son diversos productos disueltos o dispersos en el agua que provienen de descargas domésticas, agrícolas e industriales o de la erosión del suelo. Los principales son cloruros, sulfatos, nitratos y carbonatos. También desechos ácidos, alcalinos y gases tóxicos disueltos en el agua como los óxidos de azufre, de nitrógeno, amoníaco, cloro y sulfuro de hidrógeno (ácido sulfhídrico). Gran parte de estos contaminantes son liberados directamente a la atmósfera y bajan arrastrados por la lluvia. Esta **lluvia ácida**, tiene efectos nocivos que pueden observarse tanto en la vegetación como en edificios y monumentos de las ciudades industrializadas.



## Contaminantes Orgánicos

El agua se puede también contaminar por un número de compuestos orgánicos tales como aceite, plásticos y pesticidas, que son dañinos para los seres humanos, para las plantas y animales acuáticos. Una categoría muy peligrosa es el sedimento suspendido, porque causa una disminución en la absorción de la luz por el agua y las partículas separan compuestos peligrosos tales como pesticidas a través del agua.

Los contaminantes orgánicos consumen el oxígeno disuelto en el agua y afectan a la vida acuática. Las concentraciones anormales de compuestos de nitrógeno en el agua, tales como el amoníaco o los cloruros se utilizan como índice de la presencia de dichas impurezas contaminantes en el agua.

La contaminación orgánica es la más importante en magnitud. Hay tres índices para medir la contaminación orgánica en forma global:

- La demanda biológica de oxígeno (DBO)
- La demanda química de Oxígeno (DQO)
- Carbono orgánico total (COT)

**La demanda bioquímica de oxígeno (DBO)** mide la cantidad de oxígeno consumido en la degradación bioquímica de la materia orgánica mediante procesos biológicos aerobios. Cuanto más alta es la DBO, mayor es la contaminación. Cuanto más alta la DBO mayor es la cantidad de materia orgánica que contiene el agua.

**La demanda química de oxígeno ó 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.

**El carbono orgánico total (COT)** mide el contenido total de carbón de los compuestos orgánicos (orgánicos fijos, volátiles ya sea naturales o sintéticos). Es la expresión más correcta del contenido orgánico total.

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, cloruro, dioxina, xileno, fenoles, aldicarbón y miles de otros.

Los residuos de plástico que son arrojados al mar matan a un millón de animales al año. Los animales marinos creen que todo lo que flota es comida. Los tragan y mueren. Los pájaros también lo confunden con comida. Intentan comerlos y se ahogan con ellos.

Cuatro litros de pintura o un litro de aceite para autos penetran en la Tierra y contaminan un millón de litros de agua potable. Cuatro litros de nafta derramados en la Tierra contaminan tres millones de litros de agua.

## Efectos indeseados de los pesticidas y plaguicidas

Simultáneamente con el aumento del uso de plaguicidas, crecieron muy significativamente los accidentes y enfermedades asociadas. Según datos de la OMS, anualmente se intoxican dos millones de personas por exposición directa o indirecta a plaguicidas. De ese total, las 3/4 partes de afectados pertenecen a los países subdesarrollados, donde únicamente se utiliza el 25% de la producción mundial de plaguicidas.

El contacto con pesticidas y su entrada al organismo -a través de la piel, la respiración y/o por ingestión- se produce por exposición laboral y en el hogar debido a usos y aplicaciones incorrectos, falta de medidas preventivas y de protección, almacenamiento inadecuado, reutilización de envases (comederos de animales, almacenamiento y traslado de agua) y fumigaciones aéreas. Se han detectado residuos de organoclorados y organofosforados en personas donde la única probabilidad de encuentro con pesticidas es por ingestión. Las preparaciones de acaricidas o insecticidas, como las lociones piojicidas con lindano utilizadas en humanos, son una vía adicional de contaminación y pueden además potenciar otros agentes nocivos.

Los efectos indeseados producidos dependen del pesticida, la dosis, la vía y el tiempo de exposición. Los **efectos agudos** (vómitos, diarrea, aborto, cefalea, somnolencia, alteraciones del comportamiento, convulsiones, coma, muerte) están asociados a accidentes donde **una única dosis alta** es suficiente para provocar los efectos que se manifiestan tempranamente. Los **efectos crónicos** (cánceres, leucemia, necrosis de hígado, malformaciones congénitas, neuropatías periféricas, a veces solo malestar general, cefaleas persistentes, dolores vagos) se deben a **exposiciones repetidas** y los síntomas o signos aparecen luego de un largo tiempo (hasta años) de contacto con el pesticida, dificultando su detección. Dado que su biotransformación es muy lenta, los pesticidas provocan efectos acumulativos en las personas expuestas.

La contaminación de los cursos de agua se produce en forma directa por la aplicación de pesticidas en las aguas (por ej. arrozales), por el lavado de envases o equipos, y por descarga de remanentes y residuos. Es igualmente importante la contribución indirecta producida por lixiviación (infiltración) de productos, caída por desniveles y por contaminación de suelos.

Las aguas contaminadas expanden el tóxico a la flora y fauna produciendo la muerte de especies, el aumento de la intoxicación humana, la pérdida del curso de agua como recurso utilizable y la probable contaminación de las reservas hídricas (acuíferos). Asimismo, la aplicación sistemática de plaguicidas altera los equilibrios existentes en las cadenas tróficas normales al causar la desaparición o disminución de los enemigos naturales de distintas plagas, de descomponedores de materia orgánica, de incorporadores de nitrógeno y de otras especies vitales para el ambiente como por ejemplo los polinizadores.

Además de destruir recursos genéticos y farmacológicos conocidos y otros aún no develados, el empobrecimiento de la biodiversidad puede conducir a la proliferación de las especies antagónicas de aquellas extinguidas, provocando nuevos desequilibrios ecológicos y nuevas plagas.

Un efecto adverso adicional proviene de los envases y contenedores vacíos. En nuestro país no existen normativas para su eliminación y frecuentemente se realiza la incineración a cielo abierto sin tener en cuenta que algunos productos al ser expuestos al calor desprenden dioxinas cuya toxicidad es ampliamente mayor que el agrotóxico original. Los factores mencionados forman un ciclo cerrado que se retroalimenta y refuerza profundizando los efectos adversos.

La resistencia a la degradación transforma a los plaguicidas en una amenaza persistente para todos los seres vivos.



## Detergentes

Los detergentes son semejantes a los jabones porque tienen en su molécula un extremo iónico soluble en agua y otro extremo no polar que desplaza a los aceites. Los detergentes tienen la ventaja, sobre los jabones, de formar sulfatos de calcio y de magnesio solubles en agua, por lo que **no forman coágulos al usarlos con aguas duras**. Además como el ácido correspondiente de los sulfatos ácidos de alquilo es fuerte, sus sales son neutras en agua. Los detergentes son productos que se usan para la limpieza y están formados básicamente por un agente tensioactivo que actúa modificando la tensión superficial disminuyendo la fuerza de adhesión de las partículas (suciedad) a una superficie. Los detergentes sintéticos contienen sustancias surfactantes que ayudan en la penetración, remojo, emulsificación, dispersión, solubilización y formación de espuma. Todo esto ocurre en las interfases sólido-líquido y líquido-líquido.

La mayoría de los detergentes sintéticos son contaminantes persistentes debido a que no son descompuestos fácilmente por la acción bacteriana. A los detergentes que no son biodegradables se les llama detergentes duros y a los degradables, detergentes blandos.

El uso de los compuestos tensioactivos en el agua, al ser arrojados a los lagos y ríos **provocan la disminución de la solubilidad del oxígeno disuelto en el agua** con lo cual se dificulta la vida acuática y además, como les quitan la grasa de las plumas a las aves acuáticas les provoca que se escape el aire aislante de entre las plumas y que se mojen, lo cual puede ocasionarles la muerte por frío o porque se ahogan, de manera semejante como les ocurre con los derrames de petróleo en el mar.

Los detergentes son productos químicos sintéticos que se utilizan en grandes cantidades para la limpieza doméstica e industrial y que actúan como contaminantes del agua al ser arrojados en las aguas residuales. El poder contaminante de los detergentes se manifiesta en los vegetales acuáticos inhibiendo el proceso de la fotosíntesis originando la muerte de la flora y la fauna acuáticas. A los peces les produce lesiones en las branquias, dificultándoles la respiración y provocándoles la muerte.

### Detergentes de polifosfatos

Un componente de los detergentes sólidos es el metafosfato llamado tripolifosfato de sodio,  $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ . El ion trifosfato forma complejos solubles con los iones calcio, fierro, magnesio y manganeso, quitando las manchas que estos ocasionan en la ropa y ayudan a mantener en suspensión a las partículas de mugre de manera que pueden ser eliminadas fácilmente por el lavado.

Los detergentes hechos a base de fosfatos provocan un efecto destructor en el medio ambiente porque aceleran el proceso de eutrofización o eutrofización de las aguas de lagos y ríos. Como el uso de detergentes fosfatados ha generado problemas muy graves en el agua, algunos países han prohibido su uso.

### Eutrofización: causas y peligros

Eutrofización significa enriquecimiento por nutrientes de corrientes y lagos naturales. Este enriquecimiento es a menudo aumentado por las actividades humanas, tales como agricultura (adición del abono) y el vertido de efluentes domésticos e industriales. En un cierto plazo, los lagos entonces se convierten en eutróficos debido a un aumento en la concentración de nutrientes. La eutrofización es causada principalmente por un aumento en los niveles de **nitrato y fosfato** y tiene una influencia negativa en la vida acuática. Debido al enriquecimiento, plantas del agua tales como algas crecerán extensivamente. Consecuentemente el agua absorberá

menos luz y ciertas bacterias aerobias llegarán a ser más activas. Estas bacterias agotan los niveles del oxígeno y en el futuro, solamente las bacterias anaerobias puedan ser activas. Esto hace imposible la vida en el agua para los peces y otros organismos.

El proceso de eutroficación resulta de la utilización de fosfatos y nitratos como fertilizantes en los cultivos agrícolas, de la materia orgánica de la basura, y también de los detergentes hechos a base de fosfatos, que son arrastrados o arrojados a los ríos y lagos. Durante las épocas cálidas la sobrecarga de estos productos químicos, que sirven de nutrientes, generan el crecimiento acelerado de vegetales como algas, cianobacterias, lirios acuáticos y lenteja de agua, las cuales al morir y ser descompuestas por las bacterias aeróbicas provocan el agotamiento del oxígeno disuelto en la capa superficial de agua y causan la muerte de los diferentes tipos de organismos acuáticos que consumen oxígeno, en las aguas de los lagos y ríos.

Lago eutrófico es aquel de poca profundidad y poco contenido de oxígeno disuelto pero rico en materias nutritivas y materia orgánica.

Algunos de los cambios que ocurren con la eutroficación:

Cambios biológicos	Aumenta considerablemente el fitoplancton. Las algas verdeazules se desarrollan espectacularmente mientras que las de otros tipos desaparecen. Aumenta la actividad bacteriana. Los animales acuáticos enferman y mueren.
Cambios físicos	Los restos de plantas y animales muertos se acumulan en los fondos, frenando la circulación del agua. El agua se torna parda y maloliente. Cambia de color: rojo, verde, amarillo o pardo.
Cambios químicos	El oxígeno disuelto baja de alrededor de 9 mg/l a 4 mg/l lo cual afecta negativamente y de inmediato a los organismos. Cuando el nivel baja a 2 mg/l todos los animales han muerto. Hay una significativa elevación de la DBO. La concentración de compuestos nitrogenados, fosfatados se incrementa, así como la de otros elementos químicos.

Si el exceso de nutrientes sigue fluyendo a los lagos las bacterias anaerobias, que no necesitan oxígeno realizan sus funciones, llegan a ser altamente activas. Estas bacterias producen gases durante sus actividades -ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ) y metano ( $CH_4$ )- durante la descomposición de la materia orgánica. El *sulfuro de hidrógeno* (o ácido sulfhídrico) produce olores como los huevos putrefactos. Cuando así huele el agua podemos concluir que hay presencia de hidrógeno, debido a una escasez específica de oxígeno en el agua.

## Metales Pesados

Los *metales pesados* son elementos con peso atómico entre 63,5 y 200,5, y peso específico mayor de 4. Los metales pesados están presentes en forma natural en ambientes acuáticos. Muchos metales pesados son elementos esenciales para la vida (Ej el hierro y el cobre forman parte de pigmentos sanguíneos; el zinc es co-factor de enzimas). En los sistemas acuáticos los metales se incorporan en forma



natural por los procesos de meteorización de rocas y se pierden a través de su incorporación en los sedimentos. Los procesos antropogénicos incorporan también metales a los ambientes acuáticos. 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. En las aguas naturales (excepto las subterráneas), la causa de que lleven metales es la disolución de los depósitos, y los vertidos de aguas residuales domésticas, agrícolas e industriales.

### Fuentes naturales y antropogénicas de metales

	Fuentes		
METAL	Naturales	Antropogénicas	Total en océanos
	10 <sup>3</sup> ton/año	10 <sup>3</sup> ton/año	10 <sup>6</sup> ton
Hierro	25 000	395 000	4 110
Cobre	375	6 000	4 110
Zinc	370	5 320	6 850
Niquel	300	481	2 740
Plomo	180	3 200	41
Estaño	1,5	277	14
Cadmio	-	17	68
Mercurio	3	10,5	68

### SUSTANCIAS RADIOACTIVAS

La radiactividad o radioactividad es un fenómeno físico natural mediante el cual algunas sustancias o elementos químicos llamados radiactivos, emiten radiaciones que tienen la propiedad de impresionar placas fotográficas, ionizar gases, producir fluorescencia, atravesar cuerpos opacos a la luz ordinaria, etc. La radiactividad se utiliza para la obtención de energía, para usos médicos (radioterapia y radiodiagnóstico) y en aplicaciones industriales (medidas de espesores y densidades entre otras).

Isótopos radiactivos solubles pueden estar presentes en el agua y, a veces, se pueden ir acumulando a lo largo de las cadenas tróficas, alcanzando concentraciones considerablemente más altas en algunos tejidos vivos que las que tenían en el agua.

Un estudio realizado con truchas ha descubierto que la radioactividad pasa de unos peces irradiados con rayos X a otros por el mero hecho de entrar físicamente en contacto a través de un mismo medio acuoso. El contagio también se produce sólo por compartir el medio acuoso sin contacto directo con los peces irradiados, lo que desvela que la radioactividad se transmite de unos organismos a otros a través del agua.

### CONTAMINACIÓN EN LOS MARES Y OCÉANOS

Al juntarse el agua de los ríos con los mares se trasladan a ellos las consecuencias de la contaminación de los ríos, provocando una intoxicación a los peces, y consecuentemente una disminución en la producción pesquera en las zonas costeras, por mortalidad de peces.

El mar también se contamina cuando los barcos que transportan crudos petrolíferos sufren algún tipo de accidente derramando materias contaminantes en el océano. Cuando estos compuestos son vertidos al mar, los hidrocarburos, por ser inmiscibles con el agua, flotan en ella y forman una capa que se mueve al ritmo de las corrientes

marinas. Una parte de este proceso se disuelve y el resto se arrastra hasta las playas.

Como los océanos son tan vastos, los seres humanos creyeron en otra época que era virtualmente imposible contaminar estas masas tan enormes de agua. Durante décadas, hemos utilizado los océanos como vertederos de nuestras aguas fecales, basuras, desechos químicos e incluso radiactivos. Como también utilizamos los océanos para el transporte, muchos accidentes de navegación han resultado contaminantes. Para proteger la vida marina y la salud de nuestro planeta, debemos encontrar soluciones a estos problemas.

### **Zonas muertas en el mar**

Hay 220 regiones marinas no tienen vida por culpa del hombre. Son zonas costeras, generalmente cerca de la desembocadura de grandes ríos, que sufren un proceso de agotamiento del oxígeno. Las más conocidas y estudiadas están en el golfo de México -frente a Luisiana, donde vierte sus aguas el Misisipi-, en el mar Báltico y en el mar Negro, que tiene la mayor de estas zonas permanentes (más de 20.000 kilómetros cuadrados). El tamaño de estas zonas varía con el tiempo. Greenpeace calcula que cuando llegan a su máxima expansión esta superficie se triplica, y alcanza los 70.000 kilómetros cuadrados (como si toda la vida desapareciera de toda la isla de Irlanda).

La causa de este desastre medioambiental es, una vez más, la acción humana. El proceso se inicia cuando los ríos recogen el exceso de fertilizantes utilizados en los campos del interior, o cerca de zonas de vertidos industriales.

El investigador Robert J. Díaz, del Instituto de Ciencia Marina de Virginia y una de las mayores autoridades del mundo en el fenómeno, calculó (en 2007) que existen en el mundo entre 200 y 220 de estas zonas. En su anterior recuento -de hace unos cinco años- eran cerca de 150. Sus cálculos coinciden con los de Naciones Unidas, que ha advertido del "rápido aumento de estas zonas".

La relación con el desarrollo está clara. Desde los años sesenta del siglo XX, el número de zonas muertas identificadas se duplica cada década: 10, en 1960; 19, en 1970; 37, en 1980; 68, en 1990. Y su reparto -casi todas en el hemisferio norte- confirma su vínculo con prácticas de agricultura intensiva.

### **CONTAMINACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS**

Las aguas subterráneas son una de las principales fuentes de suministro para uso doméstico y para el riego en muchas partes del mundo. En muchos lugares en los que las precipitaciones son escasas e irregulares pero el clima es muy apto para la agricultura son un recurso vital y una gran fuente de riqueza, ya que permiten cultivar, productos muy apreciados en los mercados internacionales.

Las aguas subterráneas suele ser más difíciles de contaminar que las superficiales, pero cuando esta contaminación se produce, es más difícil de eliminar. Sucede esto porque las aguas del subsuelo tienen un ritmo de renovación muy lento. Se calcula que mientras el tiempo de permanencia medio del agua en los ríos es de días, en un acuífero es de cientos de años, lo que hace muy difícil su purificación.

Un origen común de la contaminación del agua subterránea son las aguas fecales. Entre sus fuentes se cuenta un número creciente de fosas sépticas, así como sistemas de alcantarillados inadecuados o rotos y los desechos de las granjas, y también el lixiviado de los vertederos o rellenos sanitarios.

## Contaminación con arsénico (As) - Hidroarsenicismo

El arsénico es un elemento que existe en forma natural en el ambiente. Su presencia en el agua subterránea se debe sobre todo a que los minerales de rocas y suelos erosionados se disuelven en forma natural, más que nada en la forma de minerales de óxido de hierro o de sulfuros.

La contaminación de agua provocada por arsénico (As) es un serio problema de salud pública de importancia a nivel mundial debido al poder carcinógeno y neurotóxico del elemento. El arsénico no sólo está presente en las aguas subterráneas sino también en las aguas superficiales, y su origen varía de acuerdo con la zona que se considere.

El arsénico es un elemento no metálico presente en la naturaleza formando un 0,00005% de la corteza terrestre, el cual se presenta en sus formas orgánica o inorgánica. Su principal vía de dispersión en el ambiente es el agua. Aun si se considera la sedimentación, la solubilidad de los arsenatos y arsenitos es suficiente para que este elemento se transporte en los sistemas acuáticos.

Los acuíferos arseníferos están formados por una secuencia sedimentaria con predominio de loess de edad cuaternaria. Parte del arsénico en las aguas puede derivar de la disolución de vidrio volcánico.

Los procesos geoquímicos que intervienen en la movilización del arsénico son de adsorción-desorción. El arsénico inorgánico puede ser adsorbido por óxidos de hierro, manganeso y aluminio.

El aumento de la concentración de arsénico en agua dependerá del régimen hidrogeológico y paleohidrogeológico del acuífero. Es decir, que el problema tiene una dimensión temporal. Un factor crítico es el tiempo de residencia del agua en el acuífero. Una consecuencia de esto, es que en acuíferos profundos y antiguos la concentración de arsénico es baja. El aumento en el caudal de agua extraído, (es decir una mayor explotación), producirá en el tiempo agua con mayor contenido de arsénico.

En los sistemas acuáticos el arsénico se puede presentar en cuatro estados de oxidación bajo condiciones normales siendo las más comunes sus estados trivalentes As(III) (arsenitos) y pentavalentes As(V) (arsenatos). Las condiciones que favorecen la oxidación química y biológica inducen el cambio a especies pentavalentes y, a la inversa, aquellas que favorecen la reducción cambiarán el equilibrio al estado trivalente.



Resultados con animales de laboratorio indican que el arsénico inorgánico trivalente es más tóxico que el pentavalente debido a que los compuestos pentavalentes tienen menor efecto en actividades enzimáticas, pero in vivo éstos pueden ser reducidos a compuestos trivalentes. La toxicidad del arsénico depende del estado de oxidación, estructura química y solubilidad en el medio biológico. La escala de toxicidad del arsénico decrece en el siguiente orden: arsina >  $\text{As}^{+3}$  inorgánico >  $\text{As}^{+3}$  orgánico >  $\text{As}^{+5}$  inorgánico >  $\text{As}^{+5}$  orgánico > compuestos arsenicales y arsénico elemental. La toxicidad del  $\text{As}^{+3}$  es 10 veces mayor que la del  $\text{As}^{+5}$  y la dosis letal para adultos es de 1-4 mg As/Kg.

En Argentina la región afectada es una de las más extensas del mundo y comprende parte de las provincias de Córdoba, La Pampa, Santiago del Estero, San Luis, Santa Fe, Buenos Aires, Chaco, Formosa, Salta, Jujuy, Tucumán, La Rioja, San Juan y Mendoza.

A excepción de algunos pocos casos (minas y fundiciones), el origen del arsénico es natural y está relacionado con el volcanismo y la actividad hidrotermal asociada de la cordillera de los Andes. La dispersión secundaria a través de aguas superficiales ha sido el mecanismo dominante que ha llevado al arsénico hasta la costa atlántica.

Si bien la problemática del agua con arsénico en la República Argentina, se debe fundamentalmente a la presencia natural del arsénico, no es conveniente ignorar el aporte al incremento de su concentración que la actividad del hombre pueda ocasionar. Las fuentes antropogénicas se deben al uso de compuestos de arsénico, como por ejemplo: óxido arsenioso, óxido arsénico, arseniatos de calcio y plomo, arsenicales orgánicos, arsénico elemental.

La exposición se ha limitado generalmente al agua de pozo, y como medidas mitigadoras se han construido acueductos desde ríos con bajo contenido de arsénico y se han instalado algunas plantas de tratamiento para reemplazar o tratar el agua no apta para consumo.

No todas las aguas de pozo provenientes de suelos con altos niveles de As, lo contienen. La presencia del mismo en el agua depende de: la forma química del As en el suelo, de la alcalinidad, y la dureza del agua. En general, a mayor alcalinidad y menor dureza, es mayor el contenido de arsénico en agua.

No es frecuente encontrar arsénico en aguas superficiales, sin embargo en San Antonio de los Cobres (Salta), hay ríos de deshielo, como el Río San Antonio, con contenido de arsénico de aproximadamente 1 mg/L. En aguas de la primera napa el contenido de arsénico es variable, por la influencia de las lluvias y las sequías y también por la explotación de los pozos.

En napas más profundas el contenido de arsénico suele ser bajo y constante, pero el agua puede ser salobre.

En 2001, la población argentina expuesta se estimaba en aproximadamente un millón de personas (3% de la población del país): 325.000 personas en Tucumán; 200.000 en Santa Fe, 117.300 en La Pampa, 100.000 en Santiago del Estero, 5.000 en Salta y 4.300 en Chaco (Ministerio de Salud de la Nación).

Se define como **Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico (HACRE)** a la enfermedad producida por el consumo de arsénico a través del agua y los alimentos. Esta enfermedad se caracteriza por presentar lesiones en la piel y alteraciones sistémicas cancerosas y no cancerosas, luego de un período variable de exposición a concentraciones mayores de 10 partes por billón (0,01 miligramos por litro) en agua de consumo diario (bebida y preparación de alimentos).

En Argentina, las normas de calidad de agua para suministro público y de uso domiciliario relacionadas con sus características físicas, químicas y microbiológicas están establecidas en el Capítulo XII del Código Alimentario Argentino. Los límites que se adoptan para los diferentes parámetros normalmente siguen los valores guías recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y otras fuentes internacionales. En el caso de las concentraciones permitidas de arsénico en agua de bebida el Código mantiene el límite de 50 ppb (partes por billón), es decir 0,05 mg/l (miligramos por litro) mientras que la OMS ya recomienda un máximo de 10 ppb.(0,01 mg/l).



Los efectos tóxicos del arsénico afectan a personas de todas las edades, principalmente a aquellas que viven en la pobreza y con desnutrición. De esta manera, se han identificado como grupos susceptibles a los niños, mujeres embarazadas y en lactancia, individuos con estado nutricional deficitario y a individuos con enfermedades preexistentes (sobre todo renales y hepáticas).

El consumo de arsénico en dosis bajas y de manera crónica produciría no solo efectos en la salud sino que también se convertiría en un problema social que puede afectar a comunidades enteras.

Las características organolépticas de las aguas arsenicales **no son generalmente desagradables**, y los efectos tóxicos pueden observarse tardíamente. El comienzo de los síntomas puede ocurrir entre los 5 y 10 años de exposición, y las lesiones malignizarse décadas después.

Se estima que en América Latina, por lo menos cuatro millones de personas beben en forma permanente agua con niveles de arsénico que ponen en riesgo su salud.

## Contaminación microbiológica del agua

Las afecciones que se propagan por el agua se conocen como "enfermedades transmitidas por el agua". Sus agentes patógenos son biológicos, más que químicos, y los males que provocan casi siempre son contagiosos. Por lo general, los agentes patógenos pertenecen al grupo de los microorganismos, que se transmiten a través de las heces excretadas por individuos infectados o por ciertos animales. La forma en que estas enfermedades se suelen contraer es al ingerirlos en forma de agua o de alimentos, contaminados por esas heces (vía fecal-oral).

Los patógenos transmitidos por el agua incluyen muchos tipos de microorganismos tales como: bacterias, virus, protozoos y, en ocasiones, helmintos (lombrices), todos ellos muy diferentes en tamaño, estructura y composición.

La mayor parte de las enfermedades transmitidas a través del agua son de origen intestinal. La materia fecal de huéspedes o portadores infectados puede introducirse de diversas maneras en un sistema de abastecimiento de agua o en un área de natación. La más común es por descarga directa de aguas negras, sin tratamiento, en la fuente de agua que luego es utilizada para el abastecimiento. Los retretes de fosa (pozos negros) ubicados demasiado cerca de un pozo de abastecimiento o arroyo también pueden ser fuente de contaminación. En ocasiones se ha rastreado el origen de brotes específicos de enfermedades en interconexiones entre tuberías de agua y alcantarillado, en rupturas de cañerías de acueductos y en contaminación de sistemas de abastecimiento de agua durante inundaciones o fallas temporales de plantas de tratamiento de aguas negras.

Los organismos patógenos son incapaces de crecer en el agua, pero pueden sobrevivir en ella por varios días. Los patógenos capaces de formar esporas o quistes tienen la capacidad de existir fuera de un huésped durante un tiempo mucho más largo. Por ejemplo, las esporas de *Clostridium tetani*, el patógeno que causa la infección de tétanos, sobrevive durante años en la naturaleza.

## Bacterias transmitidas por el agua

Entre las bacterias que se transmiten por las aguas se encuentran:

*Shigellae dysenteriae*, causa una enfermedad (shigelosis) que se manifiesta con fiebres altas, síntomas tóxicos, retortijones, pujos intensos e incluso convulsiones. La shigelosis también se llama **disentería bacilar o diarrea aguda**. Al igual que la fiebre tifoidea es una afección asociada a higiene deficiente, hacinamiento excesivo y abastecimiento de agua riesgoso. Esta enfermedad puede causar epidemias de

gran magnitud, con altísimos índices de mortalidad, como la que se registró en América Latina entre 1969 y 1973, que causó más de 500 mil enfermos y 9 mil muertos.

*Salmonella typhi*, es un bacilo que causa la fiebre tifoidea, una enfermedad sistémica grave que puede dar lugar a hemorragias o perforación intestinal. Aunque el agente de la fiebre tifoidea puede transmitirse también por alimentos contaminados y por contacto directo con personas infectadas, la forma más común de transmisión es a través del agua. La fiebre tifoidea ha sido prácticamente eliminada de muchas partes del mundo, principalmente como resultado del desarrollo de métodos efectivos para tratar el agua.

*Salmonella spp.*, agente de salmonelosis, enfermedad más frecuente que la fiebre tifoidea, pero generalmente menos severa.

*Vibrio cholerae*, agente etiológico del cólera, se transmite habitualmente a través del agua. Sin embargo, también puede transmitirse por consumo de mariscos u hortalizas crudas.

*Escherichia coli*, generalmente las cepas de *E. coli* que colonizan el intestino son comensales de la flora intestinal, sin embargo dentro de esta especie se encuentran bacterias patógenas causantes de una diversidad de enfermedades gastrointestinales.

**Tabla 1. Principales bacterias transmitidas por el agua.**

<b>Bacterias</b>	<b>Fuente</b>	<b>Periodo de incubación</b>	<b>Duración</b>	<b>Síntomas clínicos</b>
Salmonella typhi	Heces, orina	7 - 28 días (14)	5 - 7 días (semanas - meses)	Fiebre, tos, náusea, dolor de cabeza, vómito, diarrea
<i>Salmonella sp.</i>	Heces	8 – 48 horas	3 -5 días	Diarrea acuosa con sangre
<i>Shigellae sp.</i>	Heces	1 - 7 días	4 -7 días	Disentería (diarrea con sangre), fiebres altas, síntomas tóxicos, retorcijones, pujos intensos e incluso convulsiones.
<i>Vibrio cholerae</i>	Heces	9 - 72 horas	3 - 4 días	Diarrea acuosa, vómito, deshidratación
<i>V. cholerae</i> No.-01	Heces	1 - 5 días	3 - 4 días	Diarrea acuosa
<i>Escherichia coli</i> enterohemorrágica O157:H7	Heces	3 - 9 días	1 - 9 días	Diarrea acuosa con sangre y moco, dolor abdominal agudo, vómitos, no hay fiebre
<i>Escherichia coli</i> enteroinvasiva	Heces	8 - 24 horas	1 - 2 semanas	Diarrea, fiebre, cefalea, mialgias, dolor abdominal, a veces las heces son mucosas y con sangre
<i>Escherichia coli</i> enterotoxigénica	Heces	5 - 48 horas	3 - 19 días	Dolores abdominales, diarrea acuosa, fiebre con escalofríos, náusea, mialgia.
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Heces, orina	1- 11 días (24 – 48 horas)	1 - 21 días (9)	Dolor abdominal, diarrea con moco, sangre, fiebre, vómito
<i>Campylobacter jejuni</i>	Heces	2 - 5 días (42 – 72 horas)	7 - 10 días	Diarrea, dolores abdominales, fiebre y algunas veces heces fecales con sangre, dolor de cabeza.
<i>Plesiomonas shigelloides</i>	Heces	20 - 24 horas	1 - 2 días	Fiebre, escalofríos, dolor abdominal, náusea, diarrea o vómito
<i>Aeromonas sp.</i>	Heces	Desconocido	1 - 7 días	Diarrea, dolor abdominal, náuseas, dolor de cabeza y colitis, las heces son acuosas y no son sanguinolentas

## Cólera

El cólera es una infección diarreica aguda causada por la ingestión de alimentos o agua contaminados con el bacilo *Vibrio cholerae*. Si no se trata puede causar la muerte en cuestión de horas. Se calcula que cada año se producen entre 3 millones y 5 millones de casos de cólera y entre 100 000 y 120 000 defunciones. El breve periodo de incubación, que fluctúa entre dos horas y cinco días, acrecienta el carácter potencialmente explosivo de los brotes epidémicos.

Las medidas eficaces de control dependen de la prevención, la preparación y la respuesta. El suministro de agua potable y el saneamiento son medidas decisivas para reducir las repercusiones del cólera y otras enfermedades transmitidas por el agua. Las vacunas anticoléricas orales se consideran un medio adicional de control, pero no deben remplazar las medidas convencionales mencionadas.

El cólera es una enfermedad que se trata fácilmente. Hasta el 80% de los casos puede tratarse satisfactoriamente mediante la pronta administración de sales de rehidratación oral.

### Las cepas de *Vibrio cholerae*

Dos serogrupos de *V. cholerae* —el O1 y el O139— causan brotes epidémicos. El O1 causa la mayor parte de los brotes, mientras que el O139, que se identificó por vez primera en Bangladesh en 1992, está confinado al Asia Sudoriental. Las cepas de *V. cholerae* distintas de la O1 y la O139 pueden causar diarrea leve, pero no dan origen a epidemias. Recientemente se identificaron nuevas cepas variantes en varias partes de Asia y África. Las observaciones indican que estas cepas causan un cuadro de cólera más grave con tasas de letalidad más elevadas. Se recomienda ejercer una vigilancia epidemiológica cuidadosa de las cepas circulantes.

Los principales reservorios de *V. cholerae* son los seres humanos y las fuentes de agua salobre y los estuarios; a menudo hay una relación con la multiplicación de algas. Estudios recientes indican que el calentamiento del planeta crea un ambiente favorable para los bacilos.

Esta enfermedad, originaria del delta del Ganges, registró cinco golpes expansivos durante el siglo XIX. El primero comenzó hacia 1817 y quedó limitado al continente asiático. El segundo, iniciado en 1826, también abarcó toda Asia, pero por Rusia entró en Europa., recorrió las costas Bálticas, saltó el Atlántico y llegó a América del Norte en 1832, extinguiéndose en 1839. La tercera pandemia de cólera se inició en 1846 y abarcó el mundo entero. A partir de 1865 se genera la cuarta pandemia, que se extendería hasta 1875 también abarcando el mundo entero. La quinta pandemia se desarrolló aproximadamente de 1881 a 1896 y se extendió por Europa, Asia, América y parte de África.

Argentina sufrió una gran epidemia en el siglo XIX. Empezó el 27 de marzo de 1867 en Paso de la Patria (Corrientes) en pleno proceso de la guerra del Paraguay, solamente en Curuzú Cuatiá enfermaron 4000 hombres, de los que murieron 2400. luego se propagó hacia Rosario, y siguió corriéndose hacia el sur y hacia el interior, en busca de Buenos Aires y Córdoba. En Buenos Aires, la epidemia entre 1867-68 costó más de 8000 víctimas y produjo una fuerte impresión en la población. A finales de 1886 y principios de 1887 hubo nuevamente un fuerte brote especialmente en Tucumán donde pereció la tercera parte de la población de la ciudad (alrededor de 6000 personas).

El cólera sigue representando una amenaza mundial para la salud pública y es un indicador clave de la falta de desarrollo social. Recientemente se ha observado el resurgimiento de esta enfermedad en paralelo con el aumento incontenible de los grupos de población vulnerables que viven en condiciones de falta de higiene.

## **Escherichia coli**

***Escherichia coli* (*E. coli*)** es quizás el organismo procariote más estudiado por el ser humano, se trata de una bacteria que se encuentra generalmente en los intestinos animales y por ende en las aguas negras.

*E. coli*, en su hábitat natural, vive en los intestinos de la mayor parte de mamíferos sanos. Es el principal organismo anaerobio facultativo del sistema digestivo. En individuos sanos, es decir, si la bacteria no adquiere elementos genéticos que codifican factores virulentos, la bacteria actúa como un comensal formando parte de la flora intestinal y ayudando así a la absorción de nutrientes. En humanos, *E. Coli* coloniza el tracto gastrointestinal de un neonato adhiriéndose a las mucosidades del intestino grueso en el plazo de 48 h después de la primera comida.

Existen sin embargo 5 grupos de *E. coli* cuyas toxinas afectan a los seres humanos y causan diarrea con diversos grados de severidad. La *Escherichia coli* O157:H7 es una de cientos de cepas de la *E. coli*. Esta cepa produce una potente toxina y puede ocasionar enfermedades graves como el *Síndrome urémico hemolítico*. Este síndrome provoca anemia y una falla severa a los riñones que puede traer como consecuencia la muerte. La *E. coli* O157:H7 fue reconocida inicialmente como causa de enfermedad en 1982 durante un brote que se debía a hamburguesas contaminadas.

El periodo de incubación de esta bacteria oscila entre 1 y 8 días, pero comúnmente se desarrolla de 3 a 4 días. Y solamente se necesita acumular una cantidad pequeña de esta bacteria en el organismo para desarrollar una fuerte infección. La *E.coli* sobrevive en el cuerpo de una persona adulta por un periodo de una semana, pero se instala por 3 semanas en el cuerpo de los niños, por esta razón los niños son portadores de la bacteria durante un periodo de tiempo mayor.

La comida que ha sido contaminada con E-coli u otros tipos de bacterias lamentablemente no es reconocible, ya que se ve y huele bien. Las heces fecales humanas o de animales pueden infectar el agua y las personas se pueden contaminar si la fuente de agua no ha sido convenientemente tratada, al ingerir agua en piscinas, lagos o canales de irrigación.

## **Virus relacionados con brotes de afecciones transmitidas por el agua**

Entre ellos, se encuentran los virus de la hepatitis A y E, los enterovirus, los adenovirus y los rotavirus, una de las principales causas de la gastroenteritis infantil. Los virus adquieren una importancia especial para la salud pública, ya que se evacuan en gran cantidad a través de deposiciones de individuos infectados.

Los virus excretados por las heces o la orina de cualquier especie animal, son susceptibles de contaminar el agua. Estos virus se transmiten sobre todo entre personas por vía fecal-oral. Sin embargo, también pueden encontrarse en las aguas residuales domésticas que, tras varios tipos de tratamiento son vertidas a aguas superficiales que luego pueden ser utilizadas como fuentes de agua potable. Entre los virus que se saben son excretados con las heces se encuentran: los poliovirus, coxsackievirus, echovirus y otros enterovirus, adenovirus, reovirus, rotavirus, el virus A de la hepatitis infecciosa y los agentes tipo Norwalk, que pueden provocar gastroenteritis agudas infecciosas no bacterianas.

Se ha demostrado que una enfermedad viral se ha transmitido por agua en varias epidemias. Los virus son lo suficientemente pequeños para atravesar casi todos los filtros de arena y se ha demostrado que resisten la cloración. Muchos virus sobreviven fuera de un huésped durante periodos prolongados. Otras afecciones



virales que pueden ser transmitidas por agua son la gastroenteritis y la poliomielitis epidémicas.

**Tabla 2. Principales virus transmitidos por el agua.**

Virus	Fuente	Periodo de incubación	Duración	Síntomas clínicos
Enterovirus (Poliovirus 1, 2, 3, Coxsackie A y B, Echovirus).	Heces	3 - 14 días (5 - 10)	Variable	Gastrointestinales (vómitos, diarrea, dolor abdominal y hepatitis). encefalitis, enfermedades respiratorias, meningitis, hiperangina, conjuntivitis
Astrovirus	Heces	1 - 4 días	2 - 3 días	Nausea, vómito, diarrea, dolor abdominal, fiebre
Virus de la Hepatitis A (VHA)	Heces	15 - 50 días (25 - 30)	1 - 2 semanas hasta meses	Cansancio, debilidad muscular, síntomas gastrointestinales como pérdida de apetito, diarrea y vomito, o síntomas parecidos a la gripe como dolor de cabeza, escalofríos y fiebre, sin embargo, los síntomas mas llamativos de esta enfermedad son la ictericia, es decir, el cambio que se produce en el color de los ojos y la piel hacia un tono amarillo (a veces intenso), las heces pálidas y la coloración intensa de la orina. A diferencia de los adultos, en niños se presentan signos mas atípicos y síntomas gastrointestinales como náusea, vómito, dolores abdominales y diarrea.
Virus de la Hepatitis E (VHE)	Heces	15 - 65 días (35 - 40)	Similar a lo descrito para VHA	Similar a lo descrito para VHA
Rotavirus (Grupo A)	Heces	1 - 3 días	5 - 7 días	Gastroenteritis con náusea y vómito
Rotavirus (Grupo B)	Heces	2 - 3 días	3 - 7 días	Gastroenteritis
Calicivirus	Heces	1 - 3 días	1 - 3 días	Gastroenteritis
Virus Norwalk-like	Heces	1 - 2 días	1 - 4 días	Diarrea, nausea, vómito, dolor de cabeza, dolor abdominal

## Enterovirus

Los enterovirus comparten gran número de características clínicas, epidemiológicas y ecológicas, así como ciertas propiedades físicas y químicas. Difieren entre sí por el distinto comportamiento en cultivo, antigenicidad y ciclo replicativo aunque, en todos los casos, el hábitat común y el lugar de replicación es el tracto intestinal humano.

Se conocen más de 70 serotipos que causan infecciones, muchas veces clínicamente inaparentes, pero que, en un pequeño porcentaje de casos, dan lugar a enfermedades graves del sistema nervioso central, como la meningitis aséptica, encefalomielitis, ataxia cerebelar, síndrome de Guillain-Barré, mielitis transversa y poliomielitis, entre otras. Aunque determinados enterovirus se asocian con frecuencia a brotes epidémicos, dando lugar a un síndrome específico, los mismos serotipos pueden, en otras ocasiones, ser responsables de infecciones esporádicas, con distintas manifestaciones clínicas, incluso asintomáticas.

La poliomielitis es una infección aguda que afecta de forma grave al SNC (sistema nervioso central), con destrucción de las neuronas motoras de la médula espinal,

dando lugar a una parálisis flácida. Los virus Coxsackie tipo A producen una variedad de enfermedades que incluyen la meningitis aséptica, herpangina, mialgia epidémica (pleurodinia o enfermedad de Bornholm), síndrome mano-pie-boca, miocarditis, pericarditis, neumonía, exantema cutáneo y resfriado común. Se han relacionado también con malformaciones congénitas y algunas formas de diabetes.

Existe una vasta miscelánea de cuadros clínicos en los que se ha implicado a los enterovirus. El síndrome de fatiga crónica, caracterizado por una debilidad del músculo esquelético, acompañada de mialgias, cefaleas, dificultad de concentración, parestesias, etc., se ha asociado con múltiples agentes etiológicos víricos, siendo los enterovirus uno de ellos. La meningitis aséptica, ciertas enfermedades febriles con o sin exantema cutáneo y el resfriado común también se relacionan con los Echovirus. El enterovirus tipo 68 causa infección de vías respiratorias bajas; el enterovirus tipo 70 es el agente de epidemias de conjuntivitis hemorrágica aguda y el enterovirus tipo 71 causa meningitis aséptica, encefalitis y síndrome mano-pie-boca.

El hombre es el único reservorio conocido y la transmisión es, fundamentalmente, por vía fecal-oral y respiratoria. Se dan casos de transmisión por fómites o moscas, aunque la más frecuente es la vía directa, de persona a persona, existiendo gran número de portadores sanos. Los virus se eliminan por las heces y se pueden detectar en aguas residuales

### **Hepatitis (A y E)**

Los síntomas típicos de la enfermedad son dolor abdominal, náuseas, vómitos, fiebre, decaimiento, dolores musculares. Después de 2 a 4 días aparece ictericia (piel y ojos con coloración amarilla), coluria (orina color té cargado), deposiciones decoloradas. La enfermedad dura entre 3 y 4 semanas y es en general de curso benigno, aunque existen casos de evolución grave. La letalidad de ambas es menor de 1 por 1000, pero más alta en menores de 5 años y mayores de 50 años. La *Hepatitis E* en embarazadas, puede alcanzar una letalidad de 20% si la infección se produce en el tercer trimestre del embarazo. Los grupos más susceptibles para Hepatitis A son los escolares, adultos jóvenes y personas de nivel socioeconómico alto debido a su escasa exposición al virus en la niñez; y, para Hepatitis E, los adultos jóvenes.

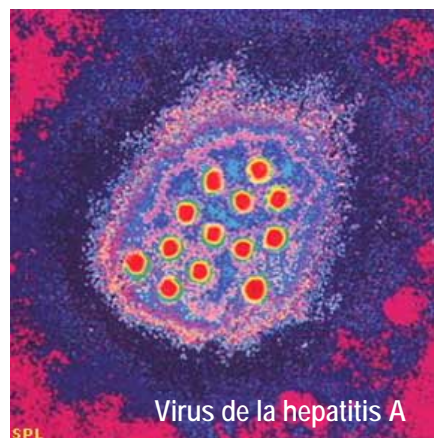
*Letalidad:* Aproximadamente 0.6%.

*Modo de transmisión:* De una persona a otra vía fecal-oral, por ingestión de agua o alimentos contaminados con heces de un enfermo. En homosexuales se ha observado transmisión directa.

*Período de transmisibilidad:* La infectividad máxima ocurre durante la segunda mitad del período de incubación y continúa algunos días después del inicio de la ictericia.

*Reservorio:* El ser humano y algunos chimpancés.

*Grupos de riesgo:* Toda la población, especialmente en aquellas zonas donde existen escasas medidas de higiene y pobre saneamiento básico.



### **Rotavirus**

Es un género de virus perteneciente a la familia Reoviridae. Se han identificado siete grupos, tres de los cuales (Grupo A, B y C) infectan a los humanos. El grupo A es el

más común y el más esparcido, causando el 90% de las infecciones. Causan vómito y diarrea y son los más comúnmente causantes de diarrea severa en los infantes.

Nuevas vacunas han mostrado ser efectivas y seguras a partir del 2006. Se transmiten por la ruta fecal oral, infectando células del intestino delgado y produciendo una enterotoxina, que provoca una gastroenteritis que puede llevar a una diarrea e incluso deshidratación. Aunque fueron descubiertos en 1973 y son responsables de más del 50% de los ingresos hospitalarios de niños con diarrea severa, siguen siendo subestimados por la comunidad médica, sobre todo en los países en vías de desarrollo.

Aparte de infectar humanos, también afectan a algunos animales y es un patógeno para el ganado. La inmunidad se produce después de la infección. Infecciones posteriores tienden a ser menos severas que la infección original.

*El gran peligro es la deshidratación que conlleva a una importante morbi-mortalidad en el lactante.* Los niños que no reciben tratamiento de hidratación oral, porque no la toleran (por vómitos) deberán ser internados y, en algunos casos más graves, recibir hidratación por vía endovenosa.

## Protozoos de importancia en el agua

*Principales parásitos transmitidos por el agua.*

Parásito	Fuente	Período de incubación	Duración	Síntomas clínicos
Giardia lamblia	Heces	5 - 25 días	Meses - años	Puede ser asintomática (hasta un 50%) o provocar una diarrea leve. También puede ser responsable de diarreas crónicas con mala absorción y distensión abdominal.
Cryptosporidium parvum	Heces	1 - 2 semanas	4 - 21 días	Provoca diarrea acuosa, con dolor abdominal y pérdida de peso. Es un cuadro grave en un huésped comprometido y una infección oportunista en otros pacientes.
Entamoeba histolytica/Amebiasis	Heces	2 - 4 semanas	Semanas - meses	Dolor abdominal, estreñimiento, diarrea con moco y sangre.
Cyclospora var.cayetanensis	Heces (oocistes)	3 - 7 días	Semanas - meses	Diarrea acuosa con frecuentes deposiciones, náuseas, anorexia, dolor abdominal, fatiga, pérdida de peso, dolores musculares, meteorismo, y escasa fiebre.
Balantidium coli	Heces	Desconocido	Desconocido	Dolor abdominal, diarrea con moco y sangre, pujo y tenesmo
Dracunculus medinensis	Larva	8 - 14 meses	Meses	El parásito eventualmente emerge (del pie en el 90% de los casos), causando edema intenso y doloroso al igual que úlcera. La perforación de la piel se ve acompañada de fiebre, náuseas y vómitos.

### Giardia lamblia

Es uno de los patógenos más prevalentes transmitidos por el agua. En los países en vías de desarrollo llega hasta el 20%.

*La Giardia Lambia*, agente de giardiasis, es una forma de gastroenteritis aguda. Es un protozoo flagelado que se transmite a las personas principalmente por el agua contaminada. Las células del protozoo, trofozoítos, producen una forma de reposo llamada “quiste” y ésta es la forma primaria transmitida por el agua.

La infección generalmente comienza con la ingestión de los quistes de Giardia a la que se sigue la eclosión y liberación de los esquistocitos en los tramos altos del

intestino delgado. Su forma inicialmente es oval, tiene 7 flagelos y su metabolismo es intermedio entre el quiste y el trofozoito.

## Principales enfermedades relacionadas con el agua

Los riesgos vinculados al deterioro y escasez de agua pueden clasificarse en las siguientes categorías:

- Los transmitidos por el agua (*Tabla 4*).
- Con base en el agua, los transmisibles por parásitos o patógenos que pasan parte de su ciclo biológico en el agua (*Tabla 5*).
- Vectoriales relacionadas con el agua, transmitidas por vectores que se desarrollan en el agua, atribuibles a la falta de agua para la higiene personal y doméstica (*Tabla 6*).
- Por escasez de agua: La falta de agua y de higiene personal producen enfermedades como la sarna, pediculosis, parasitosis.

**Tabla 4. Principales enfermedades transmitidas por el agua.**

Enfermedades	Causa y vía de transmisión	Extensión geográfica	Número de casos <sup>a</sup>	Defunciones por año
<i>Disentería amebiana</i>	Los protozoos pasan por la vía fecal-oral por medio del agua y alimentos contaminados, por contacto de una persona con otra.	Todo el mundo	500 millones por año	*
<i>Disentería bacilar</i>	Las bacterias pasan por la vía fecal-oral por medio del agua y alimentos contaminados, por contacto de una persona con otra.	Todo el mundo	*	*
<i>Enfermedades diarreicas (inclusive disentería amebiana y bacilar)</i>	Diversas bacterias, virus y protozoos pasan por la vía fecal-oral por medio del agua y alimentos contaminados, por contacto de una persona con otra.	Todo el mundo	4.000 mil millones actualmente	3-4 millones
<i>Cólera</i>	Las bacterias pasan por la vía fecal-oral por medio del agua y alimentos contaminados, por contacto de una persona con otra.	Sudamérica, África, Asia	384.000 por año	20.000
<i>Hepatitis A</i>	El virus pasa por la vía fecal-oral por medio del agua y alimentos contaminados, por contacto de una persona con otra.	Todo el mundo	600.000 a 3 millones por año	2.400 a 12.000
<i>Fiebre paratifoidea y tifoidea</i>	Las bacterias pasan por la vía fecal-oral por medio del agua y alimentos contaminados, por contacto de una persona con otra.	80% en Asia, 20% en América Latina, África	16 millones actualmente	600.000
<i>Poliomielitis</i>	El virus pasa por la vía fecal-oral por medio del agua y alimentos contaminados, por contacto de una persona con otra.	66% en la India, 34% en el Cercano Oriente, Asia, África	82.000 actualmente	9.000
<sup>a</sup> El número de casos se presenta como incidencia ("por año") —el número de nuevos casos ocurridos en un año— o como prevalencia ("actualmente") —el número de casos existentes en un momento dado. *Incluidas las enfermedades diarreicas **No hay defunciones, pero causa 270.000 casos notificados de ceguera anualmente. ND = no disponible Fuente: WHO 1996 , excepto disentería amebiana, disentería bacilar, dracunculosis, dengue y FVR, de WHO 1998				

## Enfermedades con base en el agua

Los causantes de las enfermedades con base en el agua, son organismos que pasan parte de su ciclo vital en el agua y otra parte como parásitos de animales. Estos organismos pueden prosperar tanto en aguas contaminadas como no contaminadas. Como parásitos, generalmente toman forma de gusanos y se valen de vectores animales intermediarios (como los caracoles) para prosperar, y luego



infectan directamente al hombre, penetrando a través de la piel o al ser ingeridos. Son enfermedades con base en el agua la ascariasis, dracunculosis, paraginimiasis, clonorquiasis y esquistosomiasis. Los causantes de estas enfermedades son una variedad de gusanos trematodos, tenias, vermes cilíndricos y nemátodos vermiformes, denominados colectivamente helmintos, que infectan al hombre. Aunque estas enfermedades generalmente no son mortales, pueden ser extremadamente dolorosas e impiden trabajar a quienes las padecen, e incluso a veces impiden el movimiento. En América Latina, tienen importancia la ascariasis y la paraginimiasis.

**Tabla 5. Principales enfermedades con base en el agua.**

Enfermedades	Causa y vía de transmisión	Extensión geográfica	Número de casos <sup>a</sup>	Defunciones por año
Ascariasis	Los huevos fecundados se expulsan con las heces humanas. Las larvas se desarrollan en la tierra caliente. El hombre ingiere la tierra que está sobre los alimentos. Las larvas penetran la pared intestinal, donde maduran.	África, Asia, América Latina	250 millones actualmente	60.000
Clonorquiasis	Los gusanos se reproducen en caracoles gastrópodos, luego los tragan peces de agua dulce u otros caracoles. Cuando el hombre come pescado crudo o poco cocinado, los gusanos migran a los conductos biliares y ponen huevos.	Asia Sudoriental	28 millones actualmente	Ninguna notificada
Dracunculosis (guinea worm)	El gusano de Guinea ( <i>Dracunculus medinensis</i> ) es ingerido por el cíclope (un crustáceo). Cuando el hombre ingiere el cíclope, las larvas del gusano se liberan dentro del estómago. Las larvas penetran la pared intestinal, luego se desarrollan, transformándose en gusanos, y migran a través de los tejidos. Después de un año, el gusano adulto llega a la superficie de la piel de las extremidades inferiores. La hembra entra en contacto con el agua y despidе las larvas dentro del agua.	78% en Sudán, 22% en otros países africanos al sur del Sahara y algunos casos en la India y Yemen	153.000 por año	Ninguna notificada
Paraginimiasis	Los gusanos que viven en quistes pulmonares ponen huevos en los pulmones humanos que se expectoran y luego se tragan. Los huevos de los gusanos se expulsan con las heces y se abren en agua dulce. Las larvas encuentran caracoles huéspedes en los cuales se reduplican, luego se mudan a cangrejos o cangrejos de río. El hombre come mariscos y pescados de mar sin cocinar. Los gusanos migran en parejas del estómago a través de la pared y del diafragma intestinal a los pulmones, donde se aparean.	Lejano Oriente, América Latina	5 millones actualmente	Ninguna notificada
Esquistosomiasis	Los huevos del gusano esquistosoma se expulsan con las heces humanas. Los huevos hacen eclosión en contacto con el agua, liberando el parásito miracidium. El parásito ingresa en un caracol de agua dulce, donde se reduplica. Se libera otra vez dentro del agua, luego penetra en la piel del hombre en unos segundos y pasa a los vasos sanguíneos. En 30 a 45 días, miracidium crece y se convierte en gusano, que puede poner de 200 a 2.000 huevos por día, durante un promedio de 5 años.	África, Cercano Oriente, faja de bosque húmedo en África Central, Pacífico Occidental, Kampuchea, Laos	200 millones actualmente	20.000

<sup>a</sup> El número de casos se presenta como incidencia ("por año") —el número de nuevos casos ocurridos en un año— o como prevalencia ("actualmente") —el número de casos existentes en un momento dado.

\*Incluidas las enfermedades diarreicas

\*\*No hay defunciones, pero causa 270.000 casos notificados de ceguera anualmente.

ND = no disponible

Fuente: WHO 1996, excepto disentería amebiana, disentería bacilar, dracunculosis, dengue y FVR, de WHO 1998

## Vectoriales relacionadas con el agua

Millones de personas sufren de infecciones transmitidas por vectores —insectos u otros animales capaces de transmitir una infección, como los mosquitos y las moscas tsetsé— que se crían y viven cerca de aguas contaminadas y no contaminadas. Estos vectores infectan al hombre con paludismo, fiebre amarilla, dengue, enfermedad del sueño y filariasis. El paludismo, la enfermedad más extendida, es endémico en unos 100 países en desarrollo, y unos 2.000 millones de personas están en riesgo de contraerla. La incidencia de enfermedades de origen vectorial relacionadas con el agua parece estar aumentando. Hay numerosas razones para ello: la gente está desarrollando resistencia a los medicamentos antipalúdicos; los mosquitos están desarrollando resistencia al DDT, el insecticida que más se usa; los cambios ambientales están creando nuevos lugares de cría; a

raíz de la migración, los cambios climáticos y la creación de nuevos hábitats, hay menos personas que desarrollan inmunidad a la enfermedad; y muchos programas de control del paludismo se llevan a cabo a un ritmo más lento o se han abandonado.

**Tabla 6. Principales enfermedades vectoriales relacionadas con el agua**

Enfermedades	Causa y vía de transmisión	Extensión geográfica	Número de casos <sup>a</sup>	Defunciones por año
<i>Dengue</i>	Un mosquito recoge el virus de un ser humano o animal infectado. El virus tiene un período de incubación de 8 a 12 días y se reduplica. En la próxima ingesta de sangre del mosquito, el virus se inyecta en la corriente sanguínea.	Todo medio ambiente; tropical en Asia, Centroamérica y Sudamérica	50-100 millones por año	24.000
<i>Filariasis (incluida la elefantiasis)</i>	Las larvas son ingeridas por un mosquito y se desarrollan. Cuando el mosquito infectado pica a un ser humano, las larvas penetran por punción y llegan a los vasos linfáticos, donde se reproducen.	África, Mediterráneo Oriental, Asia, Sudamérica	120 millones actualmente	Ninguna notificada
<i>Paludismo</i>	Los protozoos se desarrollan en el intestino del mosquito y se expulsan con la saliva en cada ingesta de sangre. Los parásitos son transportados por la sangre al hígado del hombre, donde invaden las células y se multiplican.	África, Asia Sudoriental, India, Sudamérica	300-500 millones por año (clínical)	2 millones
<i>Oncocercosis (ceguera de los ríos)</i>	Los embriones del gusano son ingeridos por jejenes. Los embriones se desarrollan y se convierten en larvas dentro de los jejenes, que inyectan las larvas en el hombre al picarlo.	África Subsahariana, América Latina	18 millones actualmente	Ninguna notificada**
<i>Fiebre del Valle del Rift (FVR)</i>	El virus generalmente existe en huéspedes animales. Los mosquitos y otros insectos chupadores de sangre recogen el virus y lo inyectan en la sangre del hombre. Éste también se infecta cuando trabaja con humores corporales de animales muertos.	África Subsahariana	ND	1% de los casos

<sup>a</sup> El número de casos se presenta como incidencia ("por año") —el número de nuevos casos ocurridos en un año— o como prevalencia ("actualmente") —el número de casos existentes en un momento dado.

\*Incluidas las enfermedades diarreicas

\*\*No hay defunciones, pero causa 270.000 casos notificados de ceguera anualmente.

ND = no disponible

Fuente: WHO 1996, excepto disentería amebiana, disentería bacilar, dracunculosis, dengue y FVR, de WHO 1998

## Dengue

El dengue es una enfermedad viral aguda transmitida entre los seres humanos a través de la picadura del mosquito *Aedes aegypti*. Perros, gatos y otros animales domésticos no se infectan.

Es una enfermedad re-emergente en todas las regiones tropicales y subtropicales del planeta. Puede manifestarse como la fiebre de dengue clásica o como el dengue hemorrágico, la cual suele requerir internación y puede ser fatal. El dengue es la enfermedad transmitida por vectores de mayor expansión geográfica en el mundo, y afecta a unas 50-100 millones de personas por año.

Es prevenible y para ello se debe combatir al *Aedes aegypti*, dado que no existen vacunas ni drogas que lo curen. La principal herramienta para combatir al vector es eliminar sus criaderos.

*Aedes aegypti* reingresó a la Argentina en 1986, y desde 1998 han ocurrido varios brotes de dengue.

En el 2009, por primera vez en la historia de Argentina, se han producido múltiples brotes de dengue sobre casi la mitad del territorio nacional, y peligrosamente nos hemos acercado a una epidemia de dengue generalizada.

El **dengue clásico** es una enfermedad grave similar a la gripe pero sin síntomas respiratorios y que raramente causa la muerte. Las características clínicas del



dengue clásico varían según la edad del paciente. También denominado “*fiebre quebrantahuesos*”, por los síntomas percibidos por el enfermo, se presenta con fiebre alta mayor a los 38°, dolor de cabeza y detrás de los ojos, dolores articulares y musculares intensos, con erupción de la piel, pérdida del apetito, náuseas y vómitos. Luego de varios días el cuadro evoluciona favorablemente. Existen también casos donde la enfermedad sólo produce fiebre leve. Los lactantes y niños pequeños pueden tener fiebre y erupciones en la piel.



El **dengue hemorrágico** es una complicación potencialmente mortal que se caracteriza por fiebre elevada, a menudo con agrandamiento del hígado y en casos graves con insuficiencia circulatoria. A menudo empieza con un aumento brusco de la temperatura acompañado de rubor facial y otros síntomas gripales. La fiebre suele durar 2 a 7 días y puede llegar a 41 °C, acompañándose a veces de convulsiones y otras complicaciones. En los casos de dengue hemorrágico moderado, todos los síntomas y signos mejoran una vez que ha cedido la fiebre. En los casos graves, el estado del paciente puede deteriorarse súbitamente tras algunos días de fiebre. La temperatura desciende, aparecen signos de insuficiencia circulatoria, y el paciente puede entrar rápidamente en estado de choque, falleciendo en 12 a 24 horas, o bien puede recuperarse rápidamente tras un tratamiento médico apropiado.

Infectarse 2 o más veces aumenta las probabilidades de tener dengue hemorrágico pero esto no ocurre en todos los casos en los que alguien se infecta 2 veces.

Existen 4 tipos de virus del dengue (serotipos). Luego de infectarse con uno de estos serotipos del virus, la persona se vuelve inmune a futuras infecciones con ese mismo serotipo de virus. Si lo pica un mosquito con ese tipo de virus no se infectará ni se enfermará. Si en cambio contrae alguno de los otros 3 tipos de virus, sí volverá a infectarse y enfermarse. Al igual que la primera vez que tuvo dengue, luego de pasada la enfermedad quedará inmune a ese segundo tipo de virus del dengue. Por lo tanto, como máximo se puede tener dengue 4 veces en la vida (una vez con cada serotipo de virus diferente) y las infecciones sucesivas aumentan el riesgo de contraer dengue hemorrágico.

Aunque el dengue clásico no suele ser mortal, el dengue hemorrágico en el mundo presenta una tasa de mortalidad del 2,5%. Esta puede alcanzar el 20% sin tratamiento médico. La mortalidad del dengue hemorrágico puede reducirse hasta el 1% si se brinda tratamiento adecuado.

### El mosquito transmisor del dengue: *Aedes aegypti*

El *Aedes aegypti* es el mosquito que transmite el virus del dengue y produce esta enfermedad. Su ciclo de vida incluye los huevos (que son colocados en recipientes conteniendo agua), las larvas y pupas (que son los estadios acuáticos que viven dentro de dichos recipientes), y los adultos voladores (solo las hembras chupan sangre y transmiten la enfermedad).



Esta especie de mosquito es casi totalmente doméstica; esto significa que se cría dentro o alrededor de las viviendas en una gran variedad de recipientes útiles o descartables que contienen agua. También se cría en lugares públicos y privados, tales como cementerios (en los floreros), depósitos de neumáticos, chatarrerías y dondequiera que haya recipientes de algún tipo.

El *Aedes aegypti* no se cría en charcos de parques ni en zanjas; en estos lugares se desarrollan otras especies de mosquitos que no transmiten dengue. Las piletas de natación (piscinas) con agua clorada no son sitios adecuados para el *Aedes aegypti*. En cambio, las piletas de lona que se llenan con algo de agua de lluvia y tienen poca profundidad pueden convertirse en sitios de cría del *Aedes aegypti*. Los tanques de almacenamiento de agua para consumo (de más de 100 litros), los aljibes o cisternas, muy comunes en muchas viviendas, también son sitios que producen una gran cantidad de estos mosquitos si no tiene colocada la tapa apropiadamente o no se recambia el agua frecuentemente.

Todos los recipientes con agua pueden criar *Aedes aegypti* si el agua queda estancada durante varios días y no se renueva. Si bien suele decirse que el *Aedes aegypti* tiene preferencia por agua limpia, se cría en recipientes que contienen desde agua muy limpia hasta agua muy sucia y estancada durante varias semanas.

La única forma de prevenir el dengue es a través del control del mosquito *Aedes aegypti*, debido a que no existen vacunas ni drogas que lo prevengan o lo curen. Desde hace décadas existen herramientas y métodos probadamente efectivos para la eliminación o reducción de la abundancia del mosquito *Aedes aegypti*.

Para poder combatir al mosquito es necesario poder identificarlo y saber dónde se encuentra. El *Aedes aegypti* pone sus huevos sobre recipientes con paredes rígidas justo por encima de la línea del agua, por esa razón sus larvas suelen encontrarse en recipientes artificiales. Suele criarse en patios, jardines, balcones, terrazas e interior de las viviendas en diversos recipientes como floreros, tachos, baldes, botellas, neumáticos, frascos con plantas brotando, palanganas, lonas o bolsas arrugadas, tanques de aguas y bebederos de animales.

Para confirmar si una persona está enferma de dengue debe realizarse un análisis de sangre. Es importante destacar que **no existe el contagio persona a persona**. El virus persiste en la naturaleza mediante el ciclo de transmisión **hombre – mosquito – hombre**. Este ciclo se cumple cuando el mosquito hembra se alimenta con sangre de una persona infectada, y tras un período de 8 a 12 días pica a una persona sana.

Las medidas de prevención pueden dividirse en dos grandes grupos:

- (1) las que evitan que el mosquito se desarrolle hasta llegar al adulto, y
- (2) las que evitan que el mosquito pique.

### **1 - Eliminar los posibles criaderos.**

Recipientes en desuso: muchos de los recipientes donde el mosquito se cría no son de utilidad (como pueden ser latas, botellas, neumáticos, trozos de plástico y lona, bidones cortados, etc.) y deben ser eliminados. Esto suele llamarse “descacharrizado” (aunque son mucho más que cacharros). Además, es conveniente mantener los predios desmalezados y destapar los desagües de lluvia de techos y patios para que no se vuelvan criaderos de mosquitos.

**2- Para evitar que el mosquito pique** se recomienda que las ventanas y puertas de las viviendas tengan mosquiteros y se usen repelentes sobre la piel expuesta y la ropa con aplicaciones cada tres horas. Si la actividad se desarrolla en exteriores y

existen abundantes mosquitos, es conveniente usar mangas largas y pantalones largos.

Es fundamental acudir al médico ante los síntomas de la enfermedad para recibir tratamiento adecuado y para que se realice el tratamiento del foco de mosquitos y el aislamiento del enfermo. De esta manera se evita que se infecten nuevos mosquitos y se propague el virus y la enfermedad.

La aplicación de insecticidas en forma de nieblas o humos por medio de vehículos motorizados es una medida destinada a eliminar a los mosquitos adultos que podrían transmitir el virus. Es una medida recomendada para casos de emergencia cuando se dispara un brote, pero su efectividad es relativa y de corto plazo. Para que la aplicación de insecticidas sea efectiva debe ser acompañada por la eliminación de criaderos y recipientes inservibles hecha casa por casa en todas las viviendas por personal entrenado que pueda reconocer a los estadios acuáticos del *Aedes aegypti*. El control integrado del vector es la estrategia que ha mostrado mayor efectividad hasta el momento. Es factible y debe ser llevado a cabo para disminuir la carga presente y futura de enfermedad.

### Los repelentes y la citronella

Los repelentes de insectos son sustancias que, por su olor o naturaleza, ofrecen protección contra las picaduras de insectos. Se aplican sobre las diversas zonas expuestas del cuerpo mediante diferentes sistemas: lociones, cremas, vaporizadores, roll-on, stick-gel, toallitas impregnadas, etc., a través de los cuales los principios activos son depositados sobre la piel. No matan al insecto pero lo mantienen alejado de la zona donde se ha aplicado el repelente.

De las especies *nardus* (*Citronella* de Ceilán) y *winteriana* (*Citronella* de Java) se obtiene el aceite esencial de citronella que se conoce mundialmente por su efecto repelente de mosquitos. Su acción consiste en producir un efecto desagradable sobre las terminaciones sensitivas y un bloqueo de la percepción química de los insectos; de esta manera los ahuyenta con concentraciones que no afectan negativamente al ambiente. Sus principales ventajas son su efectividad, baja toxicidad, alta tolerancia y su agradable olor. Es adecuado para niños pequeños y mujeres embarazadas, aunque presenta el inconveniente de tener una eficiencia limitada y de no mantener su acción durante mucho tiempo.

### Fiebre amarilla

La **fiebre amarilla**, llamada también vómito negro, es una enfermedad viral aguda e infecciosa causada por "el virus de la fiebre amarilla", que pertenece a la familia de los *Flaviviridae*, y del género *Flavivirus amaril*. Lo *amarillo* de la enfermedad se refiere a los signos de ictericia que afectan a algunos pacientes.

Es transmitida también por la picadura del mosquito *Aedes aegypti* y otros mosquitos de los géneros *Aedes*, *Haemagogus* y *Sabethes*, que se encuentran generalmente a menos de 1.300 metros sobre el nivel del mar, pero *Aedes* han sido hallados ocasionalmente hasta los 2.200 msnm, en las zonas tropicales de América y África. En la fiebre amarilla de transmisión urbana hay que recordar que *Aedes aegypti* abunda en zonas húmedas alrededor del agua estancada. La enfermedad puede permanecer localmente desconocida en humanos por extensos períodos y súbitamente brotar en un modo epidémico.

La fiebre amarilla ha sido una fuente de epidemias devastadoras en el pasado. En nuestro país de Enero a Junio de 1871 se cobró la vida de más de 14.000 habitantes.



El médico cubano Carlos Finlay fue el descubridor de la transmisión de la fiebre amarilla a través del mosquito *Aedes aegypti* hacia 1881. Si bien su teoría fue desestimada durante mucho tiempo, finalmente fue reconocido y probada su teoría.

En 1937, Max Theiler, trabajando para la Fundación Rockefeller, desarrolló una vacuna para la fiebre amarilla, la cual efectivamente protege a aquellas personas que viajan a áreas afectadas, manteniendo a su vez un medio de control de la enfermedad.

La profilaxis se realiza mediante el uso de una vacuna que es eficaz desde los 10 días hasta diez años después de colocada y por medio de medidas de control que se basan en el aislamiento de los enfermos para evitar en lo posible que sean picados de nuevo por los mosquitos vectores, así como en la desinsectación, el control de mosquitos y el empleo de medios que eviten las picaduras.

---

## ENERGÍA DE HIDRÓGENO

En los últimos años el hidrógeno ha cobrado notoria relevancia como “combustible del futuro”, ya sea a través de su combustión directa o mediante su utilización en celdas o pilas de combustible.

En los tradicionales motores de combustión interna, las celdas de combustible presentan la ventaja de convertir eficientemente la energía química de combustibles ricos en  $H_2$  en energía eléctrica sin etapas intermedias de combustión y prácticamente con emisión cero de óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ) y óxidos de azufre ( $SO_x$ ).

### Propiedades del hidrógeno

Incoloro, inodoro y no tóxico, el gas hidrógeno es el más sencillo de todos los elementos. Es un gas biatómico, inquieto y escurridizo, que condensa a  $-253^\circ C$  (doscientos cincuenta y tres grados bajo cero). Es difícil de transportar, licuar y manipular con seguridad.

Responsable del brillo de las estrellas y fuente de la energía que recibimos del Sol, el hidrógeno es, además, el elemento más abundante del Universo: las tres cuartas partes de la materia cósmica son hidrógeno, que podríamos utilizar como combustible si estuviera a nuestro alcance. En Júpiter, se encuentra la acumulación de hidrógeno que tenemos más cerca, a millones de kilómetros de la Tierra.

En la Tierra prácticamente no existe hidrógeno en estado libre. Y es que es tan ligero que casi podríamos decir que no pesa: la fuerza de gravedad de nuestro planeta no puede retener un elemento con una masa tan insignificante y el poco hidrógeno que se produce de manera natural –por ejemplo, el que contienen los gases volcánicos– se escapa rápidamente hacia la atmósfera. Se encuentra unido a otros átomos, en particular al carbono en los hidrocarburos y al oxígeno en el agua, por consiguiente se debe consumir energía para separarlo.

Además de en el agua –de la que forma parte en una proporción del 11,19 % en peso– y de otros muchos compuestos químicos, como los ácidos o los alcoholes, el hidrógeno, esencial para la vida, forma parte de toda la materia orgánica, incluidas las personas, que somos un 10% hidrógeno. Hay hidrógeno, por tanto, en la biomasa y el biogás; pero, sobre todo, en la biomasa. Rompiendo los enlaces de las moléculas que lo contienen mediante diferentes tecnologías, se consigue producir

hidrógeno y, una vez almacenado y transportado, utilizarlo como combustible o en otras aplicaciones.

El hidrógeno tiene una elevada densidad energética en base másica en comparación con el gas natural y la nafta, con lo cual el peso del combustible será menor en los tanques de almacenamiento, pero por otra parte el  $H_2$  tiene una baja densidad energética en base volumétrica en relación por ejemplo con el gas natural, con lo cual se requerirán tanques de almacenamiento grandes y pesados o bien almacenarlo en otro estado (líquido o en forma de hidruros metálicos) lo que implica una tecnología muy sofisticada y costosa.

Debido a su alto contenido energético (en base másica) ha sido considerado como un vector energético alternativo con importantes ventajas medioambientales y de disponibilidad por sobre los combustibles fósiles tradicionales.

Sin embargo el carácter limpio y no contaminante del hidrógeno como combustible dependerá del proceso y la materia prima que se emplee para su obtención, como así también del origen de la energía requerida para dicho proceso.

Si se lo obtiene a partir de hidrocarburos, e independientemente de la tecnología empleada, se generan óxidos de carbono; por lo tanto la calificación de combustible "limpio" se pone en duda, a menos que se utilicen materias primas provenientes de la biomasa, la cual en su desarrollo consumen dióxido de carbono.

Si se lo obtiene del agua, se debe recurrir a la electrólisis, tecnología que si bien no genera óxidos de carbono, consume importantes cantidades de energía en forma de electricidad. Y si esa electricidad se la obtuvo empleando combustibles fósiles, nuevamente las bondades del hidrógeno como combustible no contaminante se ven relativizadas.

Sin embargo si la electricidad que requiere la electrólisis proviene de represas hidroeléctricas, centrales nucleares, energía eólica, solar o biomasa, se puede decir que el  $H_2$  es un combustible que no genera óxidos de carbono.

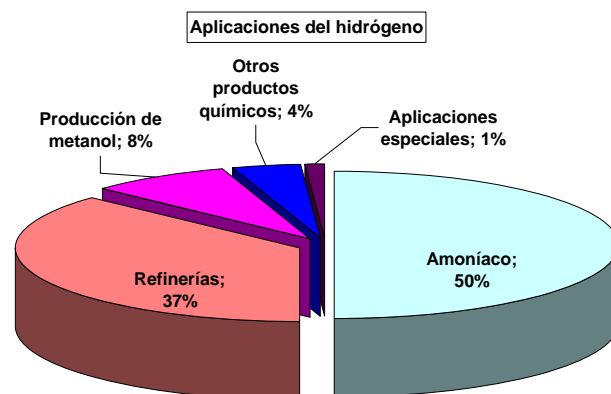
No obstante debe mencionarse que la combustión con aire en determinadas proporciones genera altas temperaturas de llama que pueden producir óxidos de nitrógeno.

## Usos tradicionales y nuevos del hidrógeno

En el mundo se producen cada año alrededor de 50 millones de toneladas de hidrógeno. Sin embargo, sólo una mínima parte de ese hidrógeno se utiliza para producir energía, principalmente en aplicaciones espaciales.

Casi la mitad se emplea para elaborar fertilizantes basados en amoníaco. También se utiliza hidrógeno en la fabricación de metanol y el agua oxigenada, así como para "hidrogenar" los aceites orgánicos comestibles derivados de la soja, los cacahuetes, los cereales y el pescado; y también se emplea para refrigerar motores y generadores.

Pero quien conoce bien al hidrógeno es la industria petroquímica, que lleva años utilizándolo como materia prima de una amplia gama de productos derivados del petróleo, principalmente en la síntesis de amoníaco y en la fabricación de peróxido de hidrógeno.



La utilización del hidrógeno como combustible abre a la industria del petróleo las puertas de un nuevo mercado, en el que, junto a las empresas especializadas en la producción y el suministro de gases, ocuparán un lugar privilegiado, por lo menos al principio.

### ¿Cómo se produce?

Desde el siglo XIX el hombre sabe cómo separar el hidrógeno y el oxígeno que forman el agua aplicando una corriente eléctrica. El proceso se llama electrólisis y se trata de una tecnología conocida y tan sencilla que forma parte de los experimentos que se realizan en los colegios. La electrólisis, además, es limpia y produce un hidrógeno de gran pureza.

El 95% de la producción de  $H_2$  es “cautiva” es decir, se consume en el mismo sitio de su producción. Casi el 50% del  $H_2$  producido mundialmente se obtiene a partir de gas natural y sólo un 4% por electrólisis. El proceso más usado en el mundo para producir hidrógeno a gran escala es el reformado de hidrocarburos (principalmente gas natural) con vapor, esta es la opción más barata hoy en día.

La electrólisis del agua permite obtener hidrógeno de alta pureza libre de óxidos de carbono, pero a un costo actualmente mucho más elevado que el del reformado con vapor de hidrocarburos.

Convertir el carbón en gas calentándolo hasta  $900^{\circ}C$  es la forma más antigua de producir hidrógeno: así es como se obtenía el gas ciudad, que contenía hasta un 60% de hidrógeno.

La gasificación de carbón representa hoy el 18% de la producción mundial; y, como el carbón es un recurso abundante en muchas partes del mundo, podría seguir siendo una alternativa si se desarrollan tecnologías limpias. Y, en general, el reformado de todos los hidrocarburos y alcoholes: el 30% del hidrógeno que se consume en el mundo procede de la gasolina. Pero el hidrógeno producido a partir de fuentes fósiles será siempre poco limpio –en su elaboración se emitirá  $CO_2$ – y nada renovable, por lo que todos los sistemas basados en ellas serán, como mucho, tecnologías de transición.

### ¿Cómo se producirá?

Con agua y electricidad de origen renovable, coinciden los expertos. Pero también se investigan otras alternativas. Una posibilidad es la fotoelectrólisis, que básicamente consiste en sumergir en el agua una célula fotovoltaica fabricada con un material semiconductor que hace las veces de electrolizador. Combinando en uno los dos pasos de la electrólisis tradicional, se eliminan costos y se consiguen eficiencias un poco mayores.

Existen, sin embargo, dos tecnologías de producción de hidrógeno a partir de fuentes renovables que no incluyen electricidad, cuyo coste y, por tanto, viabilidad podrían ser interesantes a medio plazo. La primera incluye la gasificación de biomasa, un poco más cara que el reformado de gas, pero rentable donde la biomasa sea abundante y barata; y diferentes tratamientos de los análogos “bio” de los hidrocarburos y alcoholes: biodiesel, biogás y bioetanol.

La segunda opción es utilizar energía térmica de alta temperatura. Por eso también tiene muchas esperanzas puestas en el hidrógeno la industria nuclear, que trabaja en el desarrollo de nuevos reactores de alta temperatura (hidrólisis térmica), ya que para separar el agua en hidrógeno y oxígeno sólo con calor hacen falta temperaturas de al menos  $2.000^{\circ}C$ , difíciles de alcanzar con energía solar y casi imposibles de manejar.

Sin embargo, insertando una cadena de reacciones intermedias, la temperatura se rebajaría a unos 850 °C. Puede que en futuro no tan lejano ésta sea la forma de obtener hidrógeno "bueno, verde y barato" a partir de la energía solar.

## Un poco de historia

En 1766 el científico británico Henry Cavendish identifica el hidrógeno como algo diferente del oxígeno y describe el agua como un compuesto de estos dos gases. En 1785, Antoine Lavoisier repite el experimento y da al "aire inflamable" de Cavendish el nombre por el que le conocemos hoy: hidrógeno, que significa en griego "generador de agua".

Menos de 10 años después los militares franceses construirían el primer generador de hidrógeno con el fin de utilizar el gas en globos de reconocimiento.

El hidrógeno comenzó a ser utilizado por la aviación en los años 20, cuando los alemanes decidieron utilizarlo como combustible secundario de los zepelín que cruzaban el Atlántico. Hasta entonces el hidrógeno servía sólo para mantener la fuerza de ascensión de dirigibles y globos. La historia acabó en 1937, cuando el tristemente célebre Hindenburg se incendió justo antes de aterrizar en Nueva Jersey (EEUU), en medio de una tormenta eléctrica, con un centenar de personas a bordo. Aunque 34 de los 36 fallecidos murieron al arrojararse por la borda aterrorizados y no quemados, aunque en los primeros momentos las llamas eran anaranjadas y no de un tenue azul como son las del hidrógeno, aunque ni uno solo de los supervivientes había percibido el olor a ajo que se utilizaba para poder detectar un escape de hidrógeno, el mundo culpó de la tragedia al inflamable hidrógeno.



*En 1997 Addison Bain, un científico de la NASA jubilado, hizo publicas las conclusiones de varios años de investigación sobre el accidente del Hindenburg: para aumentar la resistencia de la lona de algodón del zepelín se había aplicado a ésta un compuesto que contenía, entre otras sustancias, polvo de aluminio, un material altamente inflamable e inextinguible. Las conclusiones de Bain exculpan definitivamente al hidrógeno, pero el daño a su imagen, causado por 60 años de asociación a la tragedia, todavía no se ha reparado. Conseguir que la población conozca mejor a un gas inflamable, como todos los combustibles, pero no más peligroso que el resto y trasladar los protocolos de seguridad que han funcionado en la industria durante años a las nuevas aplicaciones del hidrógeno son dos de los principales retos a los que se enfrentan los expertos.*

Hasta los años 50 ingleses y alemanes experimentaron con su uso en los motores de explosión de coches, camiones, locomotoras y hasta submarinos. Pero el hidrógeno ya tenía su leyenda negra. La segunda oportunidad llegó en 1973, con la crisis del petróleo, época en que los gobiernos dedicaron millones a la investigación en el potencial "sustituto del petróleo". Pero la crisis pasó.

Afortunadamente, en países como Canadá, EEUU, Alemania o Japón la industria –y en especial dos sectores, el aeronáutico y el de la automoción– nunca se detuvo. Y, cuando en 1992 el mundo empezó a preocuparse por un nuevo problema ligado al petróleo y el cambio climático, ya teníamos mucho camino andado. Gracias a ellos hoy no partimos de cero.

## Hidrógeno como combustible vehicular ¿por qué?

Para empezar, porque es un buen combustible, capaz de proporcionar más energía por unidad de masa que cualquier otro combustible conocido: 33,3 kWh por kg, frente a los 13,9 kWh del gas natural o los 12,4 kWh del petróleo, por ejemplo. Se trata también un combustible limpio a nivel local, que, cuando se quema, lo único que produce, además de energía, es básicamente vapor de agua, librándonos, entre otras, de las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el principal gas de efecto invernadero.

Y gracias a la pila de combustible el hidrógeno es, además, un intermediario energético eficiente y tan versátil como la electricidad. Como todo buen vector energético, el hidrógeno, al igual que la electricidad, puede obtenerse a partir de un amplio abanico de recursos naturales utilizando prácticamente cualquier fuente de energía, con lo que no haría falta importarlo (siempre y cuando en su fabricación se utilizaran recursos y fuentes primarias de energía autóctonas y renovables).

Pero, por encima de todo, el hidrógeno puede almacenarse. Y esta capacidad de servir de almacén de energía, -que no tiene la electricidad- es la que da sentido al "despilfarro" energético y económico que, según algunos, supone la transformación de energía eléctrica en un hidrógeno cuyo fin es convertirse otra vez en (menos) energía eléctrica; y la que convierte al hidrógeno en el complemento ideal de las energías renovables, especialmente la eólica y la solar, que sólo funcionan cuando sopla el viento y hace sol: en las horas de baja demanda el viento y el sol se utilizarían no para cargar de energía unas aparatosas, contaminantes y siempre insuficientes baterías, sino para producir hidrógeno, que podríamos utilizar después en una pila de combustible para producir electricidad en casa o viajar en un coche "movido por el viento" sin necesidad de instalar un aerogenerador en el techo del vehículo. Con el apoyo del hidrógeno, las renovables se abrirán paso en el sector de la automoción y se convertirán en las (verdaderas) sustitutas del petróleo. Ésa es la idea.

Existen numerosos ejemplos del marcado interés de los países industrializados en la utilización del hidrógeno como vector energético:

- El gobierno de EEUU ha invertido en 2003 1,7 billones de dólares en un programa a cinco años para comercializar autos a H<sub>2</sub> en 2020.
- La Unión Europea, en marzo de 2004 invierte 2,8 billones de dólares en un programa a 10 años para desarrollar pilas de combustible a H<sub>2</sub>.
- El gobierno de Japón en 2003 duplicó su presupuesto del programa I&D (investigación y desarrollo) sobre pilas de combustible a 268 millones de u\$s.
- Las fábricas de automóviles invierten billones de dólares en el desarrollo de vehículos a H<sub>2</sub>.
- Las fábricas de automóviles y empresas de energía han montado estaciones de servicio experimentales de H<sub>2</sub> en diversas partes del mundo.

## Un almacén de energía difícil de almacenar

Por las propiedades físicas del hidrógeno almacenarlo supone todo un reto, sobre todo cuando se trata de hacerlo en un contenedor pequeño, ligero, seguro y barato, como tiene que ser el depósito de un automóvil. Puede parecer extraño, cuando se sabe que un kilo de hidrógeno genera la misma energía que casi tres de gasolina.

Sin embargo, ese kilo ocupa mucho volumen, por lo que la cantidad de energía que aporta el hidrógeno por unidad de volumen –su densidad energética– es bajísima. Tan baja que, de utilizar hidrógeno sin "tratar", los coches serían "depósitos con



ruedas" o se quedarían sin combustible casi antes de arrancar. Para almacenar 4 kg. de hidrógeno, (cantidad que consume un coche a pila en una distancia de 400 km) se necesitaría un depósito equivalente a un globo ¡de más de 5 m de diámetro!

Naturalmente, la solución al problema pasa por reducir el volumen del hidrógeno como se reduce el volumen de todos los gases: comprimiéndolo, o enfriándolo hasta licuarlo.

El desarrollo de nuevos materiales –composites de fibras de carbono con polímeros o aluminio, por ejemplo– está permitiendo almacenarlo a presiones de hasta 700 bares, que permiten almacenar mayor cantidad con menos volumen.

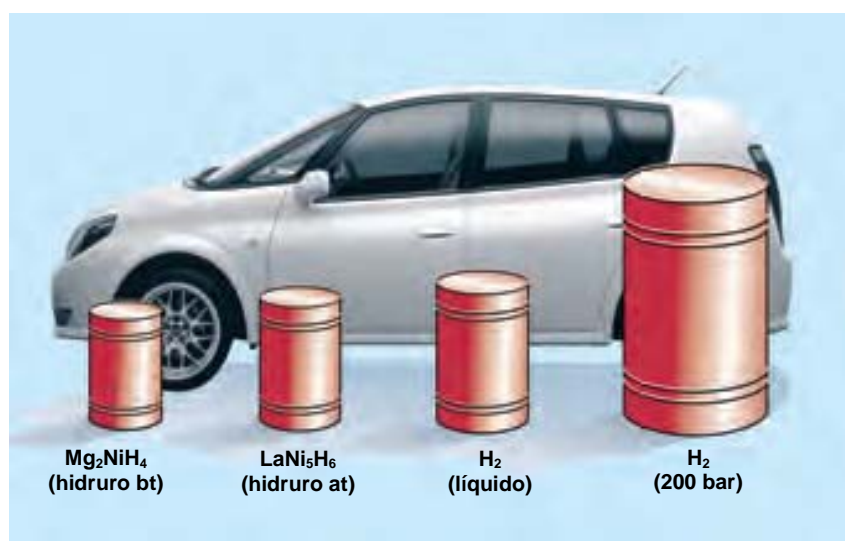
En estado líquido, el hidrógeno ocupa 700 veces menos que a temperatura ambiente y a presión atmosférica, pero se necesita frío, mucho frío, para alcanzar los 253 °C bajo cero que necesita el hidrógeno para cambiar a este estado. Y para generar tanto frío hace falta, cómo no, energía: el 30-40% de la que obtendríamos de ese hidrógeno. Aún así, un coche típico necesitaría un depósito de más de 100 litros de capacidad para mantener iguales prestaciones que uno de gasolina y añadiríamos el problema que supone mantener líquido el hidrógeno a pesar de la temperatura ambiente exterior.

En los últimos años se está investigando mucho en sistemas más eficientes. Hasta la fecha, las dos alternativas que más convencen son el almacenamiento del hidrógeno en hidruros metálicos y en nanotubos de carbono. Los hidruros metálicos son combinaciones del hidrógeno con ciertos metales o mezclas de metales, que se obtienen enfriando la mezcla metálica e introduciendo hidrógeno a presión.

Los nanotubos de carbono, que almacenan hidrógeno con mejor eficiencia y pueden operar a temperatura ambiente, pueden llegar a ser la solución. Pero aún queda mucho por hacer en este aspecto.

De momento, algunas empresas han optado, como solución transitoria, por incorporar en el vehículo un reformador que convierte en hidrógeno otro combustible primario que ocupe menos –metanol o gasolina, por ejemplo– mientras el coche anda.

**El volumen de 4 kg de H<sub>2</sub>**  
Según el método de compactación y en relación con el tamaño de un coche





*Los dos autobuses de MAN que, desde mayo de 1999, prestan servicio en el aeropuerto de Munich, queman en un motor de combustión interna el hidrógeno gaseoso que almacenan a 250 bares en los 15 depósitos situados en el techo de cada autobús. A la izquierda, vista del techo de autobús Citaro con sus 9 tanques de H<sub>2</sub> y del maletero de un coche "ocupado" por los depósitos.*



## LA PILA DE COMBUSTIBLE

Una pila de combustible es una especie de batería de alta tecnología que convierte la energía química del combustible que la alimenta en energía eléctrica. Pero hay una gran diferencia: una batería almacena en su interior la energía química que convierte en electricidad; cuando se termina esa energía química, la batería se tira; o, en el mejor de los casos, se recarga en un largo y tedioso proceso. La pila de combustible, en cambio, convierte en electricidad la energía química de un combustible que recibe del exterior y es capaz de suministrar energía eléctrica de forma continua mientras se mantenga el aporte de este combustible. Uno de los reactivos de la pila es siempre el oxígeno, que actúa como oxidante en el cátodo y que, dada su disponibilidad en el aire, generalmente no es necesario almacenar.

El combustible propiamente dicho es habitualmente el hidrógeno, que –suministrado de forma directa o a partir del reformado de un primer combustible (metanol o etanol, por ejemplo)– alimenta la pila.

La mayoría de las pilas de combustible son, en realidad, una suma de pilas individuales, que reciben el nombre de células o celdas de combustible.

## Un mismo principio, cinco tipos de pilas

Aunque el funcionamiento de todas las pilas de combustible responde al mismo principio fundamental, entre ellas existen notables diferencias de diseño, características de operación y potencia. Así, se pueden encontrar desde pilas de 1w que funcionan a temperatura ambiente hasta módulos de 250 kW que operan a 1.000 °C de temperatura. La clasificación habitual de las pilas de combustible está basada en el tipo de electrolito que utilizan, ya que éste determina características fundamentales de la pila, y, en consecuencia, sus posibles campos de aplicación.

Las pilas tipo PEM son las que ofrecen mayor flexibilidad y versatilidad. Sus aplicaciones van desde la alimentación de pequeños aparatos portátiles, como radios y ordenadores, con potencias de 1 a 100 w, hasta sistemas de generación doméstica (1 a 5 kW) o residencial (200 kW), pasando por la alimentación del vehículo eléctrico. Las MCFC y SOFC tienen un enorme futuro como generadores

de electricidad o de electricidad y calor, aunque su nivel de desarrollo, especialmente el de estas últimas, es mucho menor.

Tipo	Electrolito *	Ion de transporte **	Temperatura de operación (°C)
Membrana polimérica (PEM)	Polímero sólido	$H^+$	60-100
Alcalina (AFC)	Solución acuosa de (KOH)	$OH^-$	90-100
Acido fosfórico (PAFC)	$H_3PO_4$ líquido	$H^+$	175-200
Carbonatos fundidos (MFCF)	Solución líquida de $LiKCO_3$	$CO_3^{2-}$	600-1000
Óxidos sólidos (SOFC)	$Y-ZrO_2$	$O^{2-}$	600-1000

\* La membrana más utilizada en el tipo PEM es el naftón; KOH: hidróxido de potasio (potasa);  $H_3PO_4$ : ácido (orto)fosfórico;  $LiKCO_3$ : carbonatos de litio y potasio, aunque son posibles otras combinaciones de carbonatos alcalinos;  $Y-ZrO_2$ : óxido de zirconio (zirconia) estabilizado con una pequeña cantidad de itrio; un material cerámico.

\*\* ion que se desplaza de un electrodo a otro. En las de los tipos PEM y PAFC las cargas positivas que se han formado en el ánodo se desplazan hasta el cátodo, donde reaccionan con el oxígeno; en el resto de los tipos ocurre lo contrario: son los iones negativos los que atraviesan el electrolito para combinarse con el hidrógeno.

Fuente: Los Alamos National Laboratory



Pila de combustible de los autobuses de Madrid y Barcelona

## COCHES Y AUTOBUSES A PILA

Los autobuses que ya circulan por Madrid y Barcelona son un ejemplo de las ventajas de una tecnología que se presenta como una alternativa real, limpia y silenciosa a los actuales motores de combustión interna. Así se moverán también algún día las motos, los camiones, los submarinos y hasta los aviones; pero, sobre todo, los coches.

En los últimos diez años DaimlerChrysler, Ford, General Motors/Opel, Honda, Hyundai, Mazda, Mitsubishi, Nissan, Peugeot-Citroen, Renault, Honda, Toyota y Volkswagen han desarrollado al menos un prototipo de coche a pila cada uno. Alimentados por diferentes combustibles (hidrógeno frente a metanol o gasolina con bajo contenido en azufre) y con sistemas de almacenamiento diversos (hidrógeno gaseoso, líquido e incluso combinado en hidruros metálicos), todos ellos se mueven parcial o totalmente gracias a la electricidad que





genera una pila tipo PEM, que es la más utilizada en automoción. Además de por su tamaño y una buena relación potencia/volumen, porque la baja temperatura a la que funciona permite que el coche arranque rápidamente y que responda de forma inmediata a las variaciones de demanda energética del motor, habituales durante la conducción. El objetivo de la Unión Europea es que en 2020 se muevan con pilas de combustible alimentadas por hidrógeno el 2% de los coches europeos.



## Un abanico de aplicaciones

Los dispositivos electrónicos portátiles son otro de los posibles campos de aplicación de las pilas de combustible. Como sus requerimientos de potencia y energía son mínimos, las micro-pilas PEM y las alimentadas por metanol directamente se perfilan como la mejor alternativa. Ordenadores portátiles, cámaras, teléfonos móviles o PDAs mejoran ostensiblemente si son alimentados con una pila de este tipo, ya que éstas duran más que las baterías convencionales. Por eso grandes empresas como Motorola, NEC o Toshiba están apostando fuertemente por esta tecnología.



Pero hay más. La alta eficiencia de las pilas de combustible, su funcionamiento silencioso y sus nulas o bajas emisiones permiten que se puedan instalar minicentrales cerca e incluso dentro de los núcleos de población, de manera que cada barrio podría generar su propia energía y desconectarse de la red eléctrica. Una buena noticia también para poblaciones aisladas y grandes superficies como fábricas, hospitales, edificios públicos, hoteles o

urbanizaciones, que contarían con un suministro continuo y seguro de energía y calefacción.

# ENERGÍA NUCLEAR

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

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

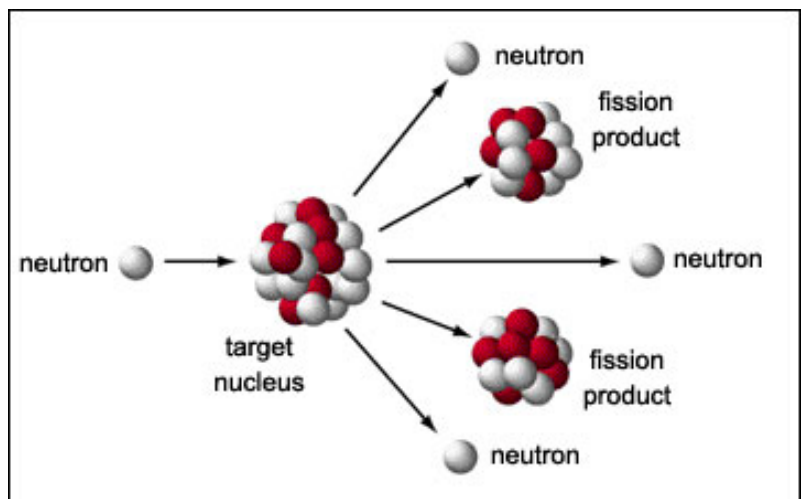
Existe una gran controversia sobre los beneficios y amenazas de la energía nuclear. Tres son las principales objeciones que generalmente se le encuentran: la asociación de tecnología nuclear con el armamento nuclear, el temor a los posibles accidentes y la eliminación de los residuos.

## ¿Cómo se obtiene la energía nuclear? – Los combustibles nucleares

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

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

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

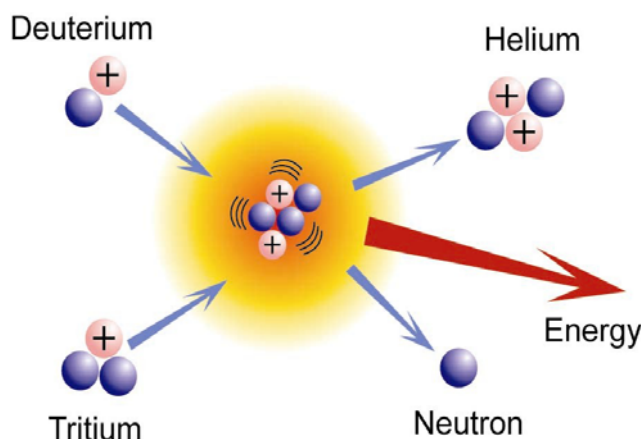




La **Energía nuclear de fusión** será, probablemente, la fuente de energía del futuro. Es la misma reacción que produce la energía en las estrellas. El calor y la luz que nos llegan del Sol se producen en reacciones de fusión nuclear.

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

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



### ¿Qué es una Central Nuclear?

El principio de producción de electricidad de una central nuclear es similar al que utilizan otras energías de base, se impulsa el movimiento de turbinas a partir de una fuerza externa.

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

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

### ¿Cómo funciona una central nuclear?

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

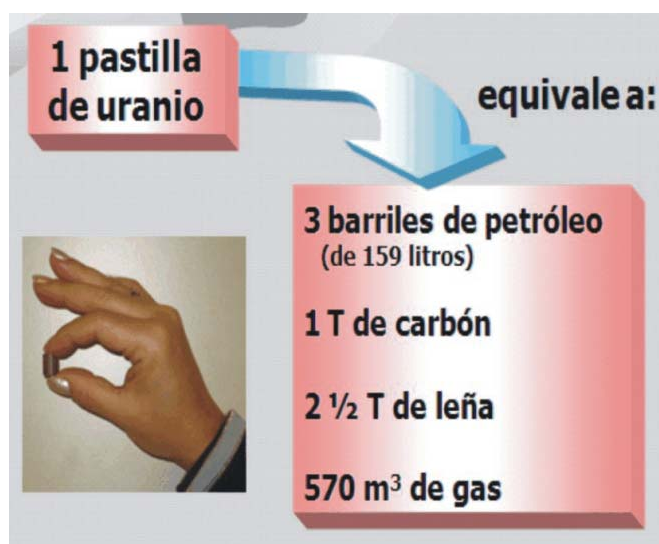
El Uranio 235 es un material fisionable, como así también el plutonio, pero del uranio natural que se extrae de las canteras sólo una parte en 140 es uranio 235, el resto es inutilizable. Un reactor puede funcionar tanto con uranio natural (escaso material fisionable) como con uranio enriquecido, -al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

El calor para generar vapor proviene del proceso de fisión. La fisión comienza cuando un neutrón a gran velocidad choca contra un núcleo, el núcleo no puede albergar el neutrón extra y se parte formando dos núcleos más pequeños. Al mismo

tiempo se liberan varios neutrones que van a chocar contra otros núcleos, que a su vez se rompen y liberan más neutrones, y así sucesivamente. Dado que el primer neutrón desencadena una serie de fisiones, este procedimiento se denomina reacción en cadena. Así, se puede generar una enorme cantidad de energía y de calor en una fracción de segundo.

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

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



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

El agua pesada esta formada por dos átomos de deuterio y uno de oxígeno (el deuterio es un isótopo del hidrógeno que posee un neutrón más en su núcleo, por lo tanto es más denso).

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

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

## Seguridad

Un principio básico en el diseño de centrales nucleares es su seguridad redundante. Para disminuir la probabilidad de que la radioactividad de los productos de fisión se

libere al medio ambiente y llegue al público, se aplica el concepto de barreras múltiples.

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

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

## **Desechos radioactivos**

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

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

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

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

Luego de 10 o más años de permanecer en las piletas, y en caso de que las mismas agoten su capacidad de almacenamiento, los elementos combustibles pueden ser almacenados en seco dentro de silos de hormigón reforzado o contenedores de acero especialmente contruidos. Estos contenedores almacenan de 20 a 80 elementos combustibles (dependiendo del tipo de central), y están herméticamente sellados para asegurar que no se libere material radioactivo al medio ambiente.

## **Distintos tipos de Reactores Nucleares**

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

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

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

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

## Centrales nucleares en Argentina

Actualmente la Argentina cuenta con dos centrales nucleares en funcionamiento:

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

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

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



Centrales nucleares Atucha 1 y 2

Central nuclear de Embalse



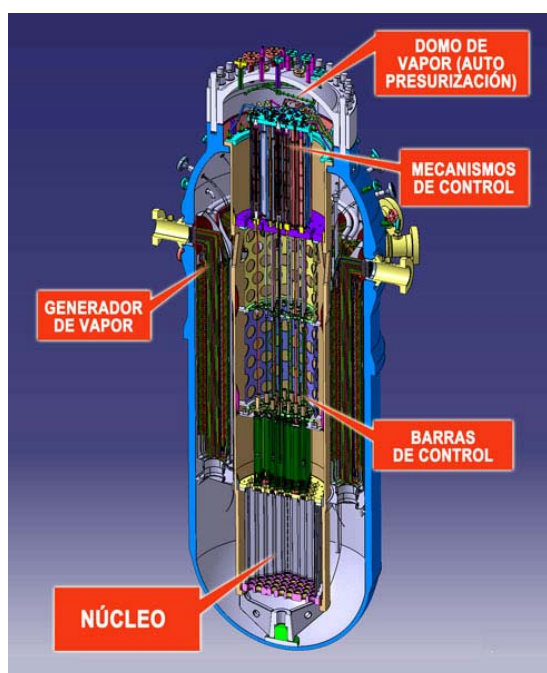


## El proyecto CAREM

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

Será emplazado en la localidad de Lima, Provincia de Buenos Aires, junto a las Centrales Atucha I y II. Ya se encuentran en avance las obras de infraestructura del predio, incluido el edificio que contendrá el reactor. Generará una potencia de 25 megavatios eléctricos, capaces de abastecer de energía eléctrica una población de 100 mil habitantes.

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



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

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

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

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

## Centrales Nucleares en el mundo

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

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

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



## BIBLIOGRAFÍA

- “Agua”. *La Enciclopedia. España: Salvat Editores*, Vol. 1, 2004. pp. 203 213.
- *EcoPortal.*, 12 de febrero de 2005, *Crisis Mundial del Agua*.
- *InfoAgua.*, *El Agua*. 12 de febrero de 2005 <http://www.infoagua.org>.
- Gómez, Adela. (19 de noviembre de 2004). *Contaminación del Agua*.
- Morea, Lucas. (12 de febrero de 2005). *Contaminación del Agua*.
- Ramírez, Alberto. (4 de marzo de 2004). *Recursos Naturales en Grave Deterioro*.
- *Discovery Communications Inc.* (13 de febrero de 2005). *La Contaminación del Agua*.
- *Manual del agua potable* (Frank R. Spellman- Joanne Drinan) – Editorial Acribia 2004
- *Ingeniería y Ciencias Ambientales* (Mackenzie L. Davis - Susan J. Masten) Mc Graw Hill Interamericana 2005.
- *Epidemiología del hidroarsenicismo crónico regional endémico de la república argentina. Estudio colaborativo multicéntrico.* Conarpi (Ministerio de Salud de la Nación), Unidad de investigación y desarrollo ambiental (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación), y Asociación Toxicológica Argentina.
- Raquel Susana Acosta: “Saneamiento ambiental e higiene de los alimentos”
- Miguel Angel Scenna “Cuando murió Buenos Aires 1871” – Ediciones La Bastilla
- *Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua*
- *Servicio de Microbiología. Hospital Clínico Universitario de Valencia*
- *Departamento de Soil and Water Science, Servicio de Extensión Cooperativa de la Florida, Instituto de Alimentos y Ciencias Agrícolas, Universidad de la Florida. (UF/IUFAS).*
- *El Dengue, el mosquito Aedes aegypti y la prevención.* Laboratorio de Eco-Epidemiología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales – UBA – CONICET.
- *Organización Panamericana de la Salud – Programa Regional Dengue*
- *Ministerio de Salud de la Provincia de Buenos Aires: Dirección de Epidemiología: Guía para la comunidad – Prevención de Dengue*
- *Combustibles Alternativos.* Silvia Daniela Romano-Erenio González Suárez-Miguel Ángel Laborde
- “Hidrógeno y pila de combustible”, publicación de la colección “Energías Renovables para todos” elaborada por Haya Comunicación. Dirección de la colección: Luis Merino / Pepa Mosquera, Redacción de este cuaderno: Paloma Asensio (Fundación de la energía de la Comunidad de Madrid)
- *Fuentes de Energía. Proyecto Newton, materiales didácticos.* Ministerio de Educación- Gobierno de España.
- *SECRETARÍA DE ENERGÍA DE LA NACIÓN: Contenidos didácticos.*
- *COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA: Temas nucleares, Energía Nucleoeléctrica.*
- [www.greenpeace.org](http://www.greenpeace.org) - campañas