

**COMPETENCIA SOBRE AGUA, ENERGÍA Y  
AMBIENTE**

5° ciclo - año 2011

Bibliografía 3° programa:

Temas:

- 1) Aguas subterráneas      2) Fuentes de energía

# 1 – Aguas subterráneas

## Introducción

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 está en constante movimiento, tanto en la superficie como en la profundidad de la Tierra, dando lugar al ciclo hidrológico o ciclo del agua. Con la lluvia, el agua alcanza la superficie de la Tierra. Una parte muy pequeña de ella es absorbida por las plantas. Otra parte fluye hacia los ríos, lagos y océanos, mientras que el resto se infiltra bajo la superficie del terreno. Cuando una formación geológica es capaz de almacenar el agua entre poros y fracturas, recibe el nombre de *acuífero*.

Tarde o temprano, toda esta agua volverá nuevamente a la atmósfera, debido principalmente a la evaporación y la transpiración de las plantas. Al pasar del estado líquido al gaseoso, el agua deja atrás todos los elementos que pueden haberla contaminado en su estancia en la Tierra. Finalmente, al enfriarse este vapor, se forman nubes y la lluvia nos entrega un elemento limpio.

Las diferentes fases del ciclo hidrológico muestran el constante movimiento del agua en la superficie terrestre: la evaporación, la transpiración de la vegetación, la precipitación en forma de lluvia o nieve, la recarga de los acuíferos, la escorrentía a través de ríos y arroyos, la salida del agua dulce al mar... y vuelta a empezar.

Las **aguas subterráneas** forman parte del ciclo hidrológico. Parte del agua superficial, se infiltra naturalmente y llega a los acuíferos donde se acumula en forma dinámica ya que se mueve recorriendo grandes distancias. Es un recurso natural importante ya que comprende aproximadamente un 30% del total del agua dulce, y más del 90% del agua dulce no congelada en la hidrosfera. Aunque el agua subterránea es renovable, la tasa con la que se repone suele ser más lenta que la de su extracción. En áreas donde el agua subterránea es la fuente principal de abastecimiento, se la extrae mediante bombeo, con una tasa mayor que la de su reposición.

## HIDROLOGÍA DEL AGUA SUBTERRÁNEA

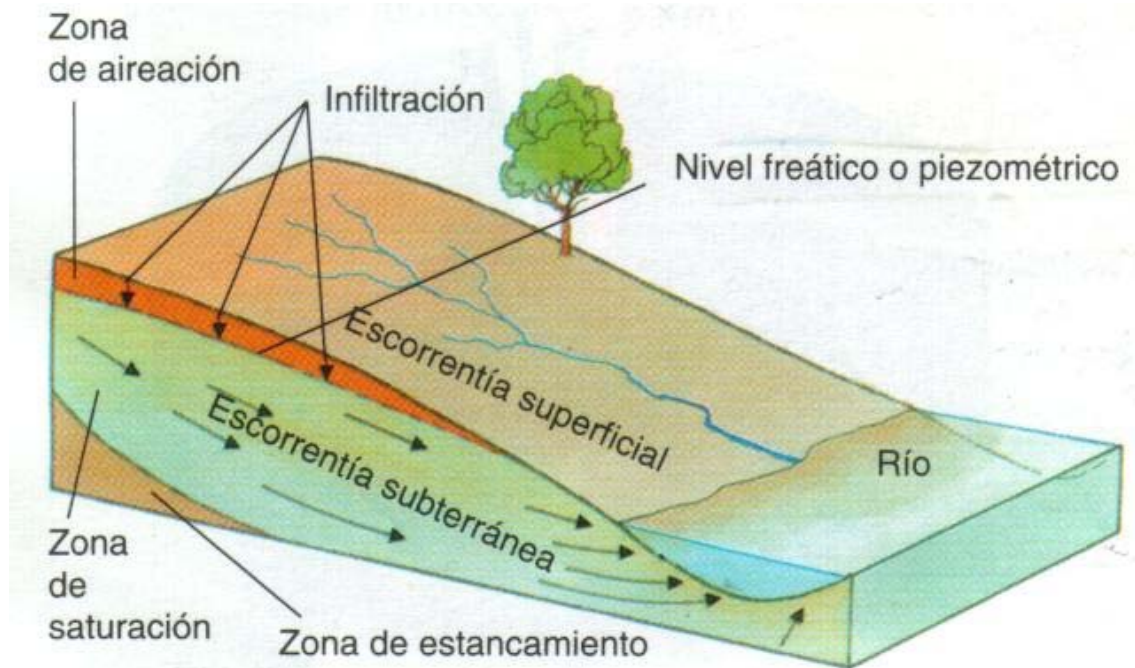
El agua subterránea representa el mayor depósito de agua dulce que resulta fácilmente asequible a los seres humanos. Desde un punto de vista geológico, el agua subterránea es importante como agente erosivo. La acción disolvente del agua subterránea va minando lentamente las rocas solubles como la caliza, permitiendo la formación de depresiones superficiales denominadas dolinas, así como la creación de cavernas subterráneas. El agua subterránea es también un compensador del flujo de escorrentía y una forma de almacenamiento que mantiene las corrientes fluviales durante los periodos de ausencia de precipitaciones.

Cuando llueve, parte del agua discurre por la superficie, parte se evapora y el resto se adentra en el terreno. Esta última vía es la fuente primaria de prácticamente toda el agua subterránea.

Densas lluvias que caen sobre pendientes donde las capas suprayacentes están compuestas de materiales impermeables, provocaran obviamente un

elevado porcentaje de agua de escorrentía. A la inversa, si la lluvia cae de manera suave y uniforme sobre pendientes más graduales, compuestas por materiales que son fácilmente penetrados por el agua, un porcentaje mucho mayor de agua se infiltrará en el suelo.

Algo del agua que se infiltra no viaja muy lejos, porque es retenida por atracción molecular como una capa superficial sobre las partículas sólidas. Una porción de esta humedad se evapora de nuevo a la atmósfera.



## Acuíferos

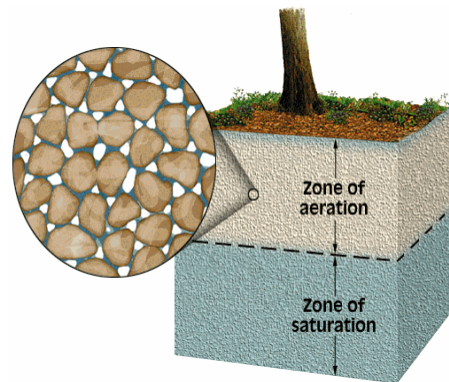
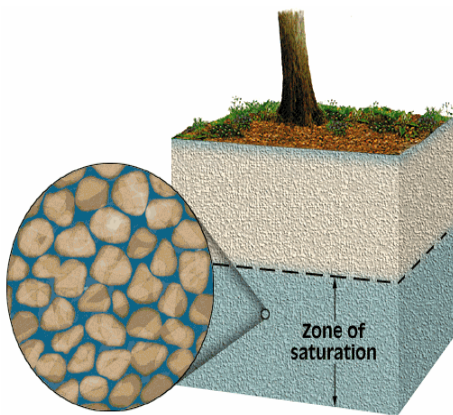
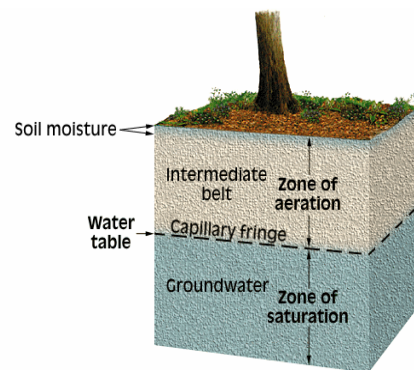
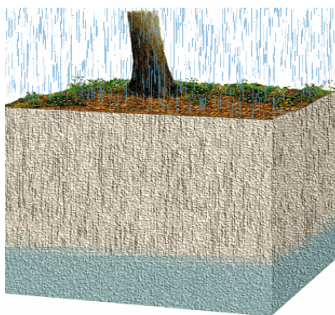
Al drenar el agua por el suelo, fluye por la zona radicular y luego por otra llamada **zona no saturada** (también llamada **zona vadosa o zona de aireación**). Los poros del material geológico en la zona no saturada se llenan parcialmente de agua. La porción restante se llena de aire. El agua continúa su migración vertical por el suelo hasta llegar a un nivel en el que todos los espacios o poros del suelo se llenan de agua, la denominada **zona de saturación, zona saturada o zona freática**. El agua de la zona de saturación es el **agua subterránea**. La formación geológica por la cual el agua fluye horizontalmente y de la cual se bombea es el **acuífero**. La arena, arenisca y otras rocas sedimentarias son buenos acuíferos. También están presentes en otros materiales geológicos porosos, como la caliza, el basalto fracturado o el granito erosionado.

**Acuíferos no confinados.** El área superior de la zona de saturación en los acuíferos no confinados por materiales geológicos impermeables se llama nivel freático. A estos acuíferos también se los denomina acuíferos de **nivel freático, freáticos o no confinados**.

Los pequeños espacios en el material geológico justo arriba del nivel freático suelen contener agua, como resultado de fuerzas de interacción del agua con el suelo. El proceso de drenaje de agua por arriba de su nivel estático es la **acción capilar**. La zona en la que ocurre este fenómeno se denomina **franja capilar**. Aunque los poros de esta región están saturados de agua, no se la puede considerar como fuente de abastecimiento pues el agua no drena

libremente por gravedad. En un acuífero no confinado el nivel freático puede variar significativamente con la precipitación pluvial y las estaciones. Por ejemplo en regiones de clima templado, donde en la primavera suele llover mucho y la fusión de la nieve y el hielo es significativa, el nivel freático está más cerca de la superficie del suelo. En contraste, cuando la tasa de infiltración es baja, como en la temporada seca o cuando la superficie está congelada, el nivel freático está más distante de la superficie. Este proceso de infiltración y migración que renueva el abasto de agua subterránea, es la **recarga**.

El **nivel freático**, el límite superior de la zona de saturación, es una característica muy significativa del sistema de aguas subterráneas. El nivel freático es importante para predecir la productividad de los pozos y explicar los caminos de flujo de las corrientes y los manantiales así como las fluctuaciones del nivel de los lagos.



**Acuíferos elevados.** Se trata de depósitos de agua por arriba del nivel freático circundante debido a una capa geológica impermeable, como un lecho rocoso o arcilla. Puede abarcar un área que va desde unos cuantos cientos de metros cuadrados hasta varios kilómetros cuadrados. La perforación de pozos en este tipo de acuíferos puede resultar incosteable, ya que el volumen de agua que contienen es relativamente pequeño, lo que origina que el pozo se “seque” después de un breve período de bombeo.

**Acuíferos confinados.** Los acuíferos delimitados arriba y debajo de la zona saturada por capas impermeables se denominan **acuíferos confinados**, y las capas limitantes, **estrato confinante**. Estos se clasifican como **acuicludos o acuitardos**. Si bien los primeros son en lo fundamental impermeables al flujo de agua, y los segundos son menos permeables que el acuífero, sin que sean

realmente impermeables, es frecuente que estos dos términos se usen indistintamente.

**Acuíferos artesianos.** El agua de un acuífero confinado puede estar sometida a una presión considerable por la naturaleza impermeable de las capas de confinamiento, que restringen el flujo, o por diferencias de altura en el acuífero. Si el agua del acuífero está bajo presión, se le denomina **acuífero artesiano**. Este adjetivo se originó en la provincia francesa de Artois (Artesium, en latín), donde en tiempos del Imperio Romano el agua de los pozos fluía hasta la superficie del suelo. Cuando la presión en el acuífero es suficientemente alta para empujar el agua hacia arriba y rebasar los materiales geológicos del propio acuífero y la zona no saturada suprayacente hasta la superficie del suelo, el acuífero se conoce como **acuífero artesiano surgente o fluente**. El agua entra en un acuífero artesiano en un punto donde se intersectan los estratos confinantes con la superficie terrestre. Se trata usualmente de un área de levantamiento geológico. La superficie expuesta del acuífero se llama **superficie de recarga**. El sistema es análogo a un manómetro: el acuífero artesiano está sometido a presión por la misma razón de que un manómetro pinzado, es decir, porque el área de recarga está a mayor altitud que el extremo inferior del estrato confinante superior, y de tal suerte, la altura del agua por arriba del estrato confinante ejerce presión sobre el acuífero. Cuanto mayor sea la distancia vertical entre la superficie de recarga y el extremo inferior del estrato confinante superior, tanto mayores serán la altura del agua y la presión.

**Manantiales.** Las irregularidades de los materiales geológicos subterráneos y de la topografía de la superficie terrestre hacen que la masa de agua en ocasiones intersecte la superficie del suelo o el lecho de corrientes, lagos u océanos. En estos puntos de intersección el agua subterránea fluye desde el acuífero y se forman lagos, corrientes o manantiales. El sitio donde el nivel freático rompe la superficie terrestre se llama **manantial gravitacional o de filtración**. Los manantiales pueden originarse en acuíferos confinados o no confinados.

**Superficies y alturas piezométricas.** Si se colocan pequeños tubos (piezómetros) en posición vertical dentro de un acuífero confinado, la presión del agua hace que ésta ascienda en los tubos, de igual modo que en los miembros de un manómetro, hasta el punto de equilibrio. La altura del agua en el tubo, llamada **altura piezométrica**, es una medición de la presión en el acuífero. La altura piezométrica se mide empleando el nivel de agua en el pozo. Un plano imaginario trazado por los puntos de equilibrio de varios piezómetros se llama **superficie piezométrica**. En los acuíferos no confinados el nivel freático es la superficie piezométrica. Si la superficie piezométrica de un acuífero confinado se sitúa por arriba de la superficie del suelo, un pozo perforado en dicho acuífero fluye naturalmente, sin bombeo. En este caso, el pozo penetra en el acuífero artesiano. El pozo no fluye sin bombeo cuando la superficie piezométrica está en un plano inferior a la superficie terrestre.

Los acuíferos son formaciones geológicas muy complejas y variables. Las variaciones en el flujo del agua subterránea ocurren de manera espacial en las direcciones horizontal y vertical. Los sistemas acuíferos también tienen cuencas o divisorias de aguas similares a las de las corrientes de superficie.

## Flujo del agua subterránea

El movimiento de la mayor parte del agua subterránea es extraordinariamente lento, de poro a poro. La energía que hace mover el agua subterránea la proporciona la fuerza de la gravedad.

El agua fluye a lo largo de la superficie piezométrica de las áreas de mayor altura a las de menor altura.

Como se mencionó, la superficie piezométrica es el nivel freático en los acuíferos no confinados. Dicha superficie se calcula al restar la profundidad del agua por debajo de la superficie terrestre de una referencia predefinida. En muchos casos, el dato de referencia es la altitud del extremo superior del estrato confinante con respecto al nivel del mar o la profundidad bajo la superficie terrestre.

En muchas situaciones es necesario determinar la velocidad del flujo del agua, por ejemplo para predecir la tasa de migración de contaminantes en el agua subterránea. El hidrólogo *Henri Darcy* estudió el flujo de agua por columnas llenas de arena e inclinadas sobre uno de sus lados. Descubrió que la velocidad de flujo del agua subterránea depende del *gradiente hidráulico* y de una propiedad de los materiales geológicos llamada *conductividad hidráulica*.

El **gradiente hidráulico** es la diferencia en la altura piezométrica en dos sitios, dividida por la distancia entre esos sitios.

Puede conceptuarse la **conductividad hidráulica** como una medición de la facilidad con la que ocurre el flujo de agua a través de medios porosos (como la arena, grava, etc.). Por ejemplo, cabría esperar que el agua fluya más fácilmente por la grava que por arcilla muy fina. Dado este supuesto, la conductividad hidráulica de la grava sería alta; pero el agua no fluye fácilmente por la arcilla, que tendría conductividad hidráulica baja. Esta propiedad depende de otras características de los materiales geológicos, como el diámetro del grano y la porosidad.

Darcy descubrió que si el flujo de agua subterránea es laminar y el acuífero está saturado totalmente, la velocidad de flujo es proporcional al gradiente hidráulico y la conductividad hidráulica.

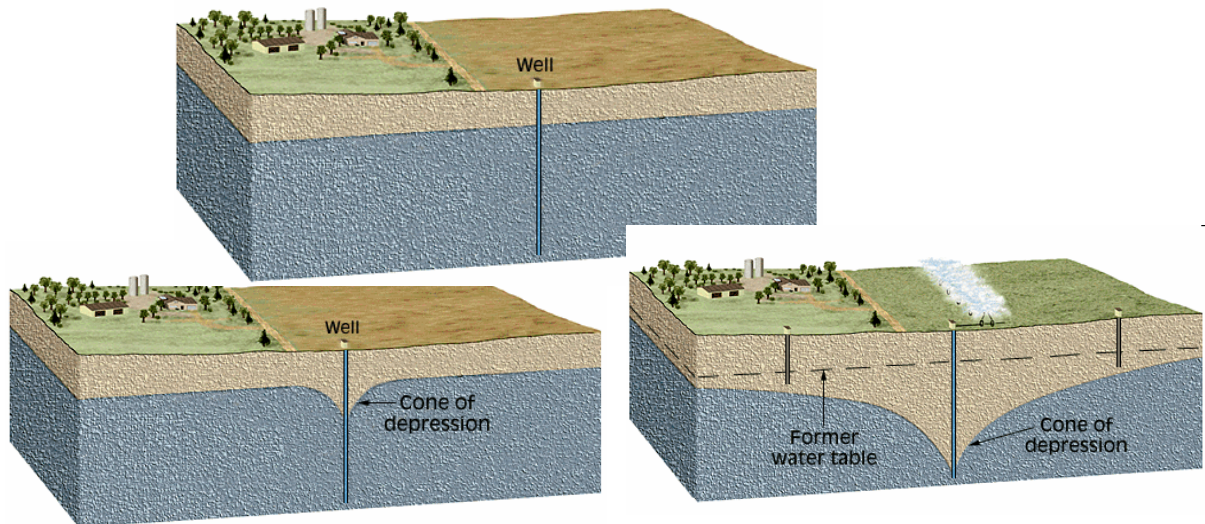
## El agua subterránea como fuente de abasto

El agua subterránea tiene varias características que la hacen aconsejable como fuente de abastecimiento de agua, en comparación con el agua superficial. En primer término, los sistemas subterráneos constituyen un almacenamiento natural, lo cual elimina el costo de tanques de almacenamiento, depósitos y otras estructuras. En segundo lugar, el abasto frecuentemente está disponible en el sitio de demanda, de modo que se reducen en forma significativa los costos de transporte del líquido. En tercer término, es importante destacar que los materiales geológicos naturales filtran el agua subterránea, más clara y menos turbia que el agua superficial, por consiguiente, el agua subterránea está menos sujeta a fluctuaciones estacionales y más protegida de la contaminación. Sin embargo, a menos que se impongan mayores restricciones a fuentes de contaminantes del tipo de las instalaciones agrícolas grandes, rellenos sanitarios, fosas sépticas, gasolineras y operaciones de desechos riesgosos, las fuentes de agua subterránea estarán

sometidas a una contaminación similar a la que afecta a las fuentes de agua superficial.

## POZOS

El método más común para extraer agua subterránea es el pozo, un agujero taladrado en la zona de saturación. Los pozos sirven a modo de pequeños depósitos a los cuales migra el agua subterránea y de los cuales puede bombearse a la superficie. Cuando se extrae agua de un pozo, el nivel freático alrededor del pozo se reduce. Este efecto, denominado descenso de nivel, disminuye al aumentar la distancia desde el pozo.



Existen diferentes formas de acceso, o usos del recurso de agua subterránea.

- Captaciones domiciliarias de extracción manual o por bombeo.
- Captaciones por los servicios públicos de agua potable.
- Captaciones para embotellamiento (de aguas minerales o para fabricar gaseosas)
- Industrias que tienen alta demanda de agua y hacen sus propias perforaciones.

## Problemas asociados con la extracción del agua subterránea

Como ocurre con muchos de nuestros valiosos recursos naturales, el agua subterránea está siendo explotada a un ritmo creciente. En algunas zonas, la sobreexplotación amenaza la existencia del abastecimiento del agua subterránea. En otros lugares, su extracción a hecho que se hunda el terreno y todo lo que descansaba sobre él. En otros lugares hay preocupación por la posible contaminación del abastecimiento de las aguas subterráneas.

Muchos sistemas naturales tienden a establecer un estado de equilibrio. El sistema de aguas subterráneas no es una excepción. La altura del nivel freático refleja un equilibrio entre la velocidad de infiltración y la velocidad de descarga y extracción. Cualquier desequilibrio elevará o reducirá el nivel freático. Desequilibrios a largo plazo pueden inducir una caída significativa del nivel freático si hay una reducción de la recarga debido a una sequía prolongada a un aumento de la descarga o la extracción de las aguas subterráneas.

## Contaminación del agua subterránea

Las aguas subterráneas suelen 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.

La explotación incorrecta de las aguas subterráneas origina varios problemas. En muchas ocasiones la situación se agrava por el reconocimiento tardío de que se está deteriorando el acuífero, porque como el agua subterránea no se ve, el problema puede tardar en hacerse evidente. Los principales problemas son:

### **a) Por agotamiento del acuífero.**

Un buen uso de las aguas subterráneas exige tener en cuenta que en los lugares en que las precipitaciones son escasas, los acuíferos se van cargando de agua muy lentamente y si se consumen a un ritmo excesivamente rápido, se agotan. Cuando se produce explotación intensiva, sequía u otras causas que van disminuyendo el nivel del agua contenida en el acuífero se derivan problemas ecológicos. Cuando estos acuíferos se encuentran en la costa, al ir vaciándose de agua dulce, van siendo invadidos por agua salada (*intrusión*) y queda inutilizados para el uso humano. En la costa mediterránea española prácticamente todos los acuíferos están afectados por este problema y necesitan una mejora urgente de su explotación o de sus sistemas de control. En muchos casos es imprescindible permitir que se recarguen de agua antes de seguir explotándolos.

### **b) Por contaminación de las aguas subterráneas.**

Se suelen distinguir dos tipos de procesos contaminantes de las aguas subterráneas: los "puntuales" que afectan a zonas muy localizadas, y los "difusos" que provocan contaminación dispersa en zonas amplias, en las que no es fácil identificar un foco principal.

Actividades que suelen provocar contaminación puntual son:

- Lixiviados de vertederos de residuos urbanos y fugas de aguas residuales que se infiltran en el terreno.
- Lixiviados de vertederos industriales, derrubios de minas, depósitos de residuos radiactivos o tóxicos mal aislados, gasolineras con fugas en sus depósitos de combustible, etc.
- Pozos sépticos y acumulaciones de purines procedentes de las granjas.

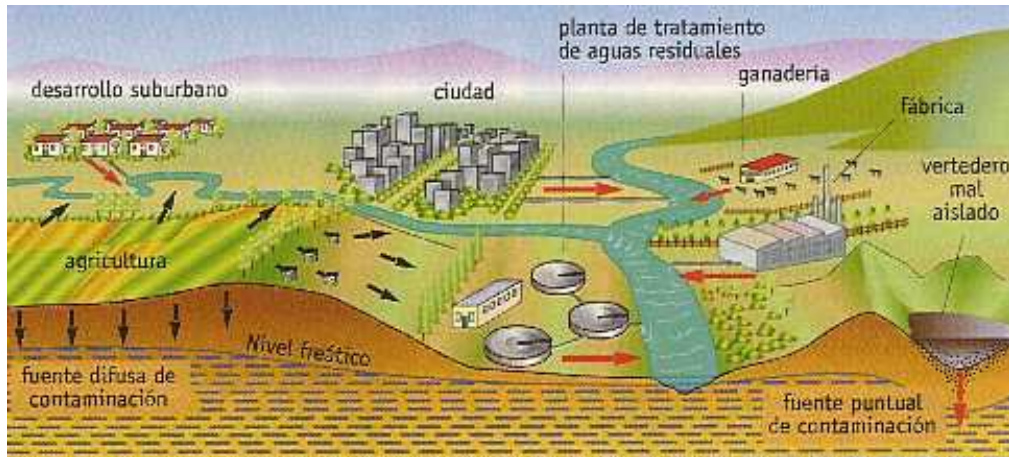
Este tipo de contaminación suele ser más intensa junto al lugar de origen y se va diluyendo al alejarnos. La dirección que sigue el flujo del agua del subsuelo influye de forma muy importante en determinar en que lugares los pozos tendrán agua contaminada y en cuales no. Puede suceder que un lugar relativamente cercano al foco contaminante tenga agua limpia, porque la corriente subterránea aleja el contaminante de ese lugar, y al revés.

La contaminación difusa suele estar provocada por:

- Uso excesivo de fertilizantes y pesticidas en la agricultura o en las prácticas forestales.

- Explotación excesiva de los acuíferos que facilita el que las aguas salinas invadan la zona de aguas dulces, por desplazamiento de la interfase entre los dos tipos de aguas.

Este tipo de contaminación puede provocar situaciones especialmente preocupantes con el paso del tiempo, al ir cargándose de contaminación, lenta pero continuamente, zonas muy extensas



*Fuentes puntuales y difusas de contaminación de las aguas subterráneas*

## Depuración

Los acuíferos tienen una cierta capacidad de autodepuración, mayor o menor según el tipo de roca y otras características. Las sustancias contaminantes, al ir el agua avanzando entre las partículas del subsuelo se filtran y dispersan y también son neutralizadas, oxidadas, reducidas o sufren otros procesos químicos o biológicos que las degradan. De esta manera el agua va limpiándose.

Cuando la estructura geológica del terreno facilita una zona amplia de aireación, los procesos de depuración son más eficaces. También es muy favorable la abundancia de arcillas y de materia orgánica. En cambio en los depósitos aluviales o las zonas kársticas la purificación del agua es mucho más difícil y este tipo de acuíferos son mucho más sensibles a la contaminación.

Es muy importante, de todas formas, tener en cuenta que las posibilidades de depuración en el acuífero son limitadas y que el mejor método de protección es, por tanto, la prevención. No contaminar, controlar los focos de contaminación para conocer bien sus efectos y evitar que las sustancias contaminantes lleguen al acuífero son los mejores métodos para poder seguir disfrutando de ellos sin problemas.

Cuando un acuífero está contaminado y hay que limpiarlo el proceso es muy difícil y muy caro. Se han usado procedimientos que extraen el agua, la depuran y la vuelven a inyectar en el terreno, pero no siempre son eficaces y consumen una gran cantidad de energía y dinero

## El gran acuífero de la región

El denominado **Sistema Acuífero Guaraní** es uno de los reservorios de agua subterránea más grandes del mundo, encontrándose en el subsuelo de un área de alrededor de 1.190.000 kilómetros cuadrados (superficie mayor que las de España, Francia y Portugal juntas) por lo que también en un momento se lo

denominó "el Acuífero Gigante del Mercosur". En Brasil abarca una superficie - en kilómetros cuadrados- de aproximadamente 850.000 (9,9% del territorio) en Argentina 225.000 (7,8%) en Paraguay 70.000 (17,2%) y en Uruguay 45.000 (25,5%).



La denominación **Guaraní** responde a que su extensión coincide aproximadamente con la Gran Nación Guaraní, población indígena que habitó en el lugar y que coincide aproximadamente con la situación geográfica de este sistema subterráneo.

El Acuífero Guaraní no coincide exactamente con la cuenca hidrográfica del Río de la Plata en los territorios de Argentina, Brasil y Uruguay. La cuenca geológica a la que pertenece el acuífero Guaraní extrapola los límites de la cuenca hidrográfica del río de la Plata, en por lo menos dos extensas regiones en Brasil: una franja al norte de Porto Alegre-RS (la cuenca Atlántica del río Jacuí) y otra en la región del alto río Araguaia. El acuífero Guaraní constituye una unidad hidrogeológica específica, cuyo inicio del proceso de formación está distante en el pasado geológico, hace ya centenares de millones de años.

De acuerdo a lo actualmente se conoce, salvo en la Argentina -que se encuentra a profundidades por debajo de los novecientos metros-, en los demás países se lo alumbr a profundidades muy variables (entre los 50 y 1.500 metros). En general posee presión de surgencia, de manera que realizada una perforación, cuando se alcanza la profundidad del acuífero el agua se eleva naturalmente y en muchos casos emerge sobre el nivel del suelo; las temperaturas, producto de las profundidades alcanzadas (por gradiente geotérmico), van desde los 33° C a los 65° C.

Si bien el volumen total de agua almacenado es inmenso (37.000 kilómetros cúbicos, donde 1 kilómetro cúbico es igual a 1 billón de litros), en realidad el volumen explotable, estimado actualmente como reservas reguladoras o renovables, es de 40 a 80 kilómetros cúbicos por año. Estas cifras corresponden, por ejemplo, a una magnitud comparable en volúmenes a un tercio de la totalidad del escurrimiento del río Uruguay, y también representa 4 veces la demanda anual de agua de la Argentina para todos los usos. El país que más lo explota es Brasil.

En la Argentina hay en explotación 5 perforaciones termales de agua dulce y una de agua salada, ubicadas en el sector oriental de la provincia de Entre Ríos, en tanto que hacia el Oeste de la misma, se ha alumbrado sólo agua salada termal, con la consiguiente problemática del efluente salado. Se desconoce la existencia del acuífero en el resto de las provincias donde se hallan en el subsuelo las unidades geológicas que lo podrían contener.

**¿Donde se aloja el agua subterránea del Sistema Guaraní?** En formaciones geológicas antiguas, correspondientes a los períodos Triásico, Jurásico y Cretácico Inferior, teniendo esas rocas edades entre los 200 a 132 millones de años. En esa época, en que aún estaban unidas África y Sudamérica, los depósitos comenzaron a desarrollarse en ambientes fluviales y lacustres conociéndose en la literatura geológica como formación Tacuarembó o también Piramboiá. Luego, como resultado de un clima más seco, se desarrolló un gran desierto de arenas bien seleccionadas (semejante al actual Sahara) que también abarcó la región, constituyendo posteriormente el acuífero principal del Sistema dentro de la formación geológica denominada Botucatu o Rivera. Todos estos sedimentos abarcaron dentro de la Argentina: el litoral y región chacopampeana norte y central resultando espesores variables entre los 200 metros y los 600 metros. Luego de esta etapa, y a través de grandes fracturas profundas, todos los sedimentos anteriores fueron cubiertos por coladas de lavas basálticas, que acompañaron la separación entre los continentes mencionados, constituyendo la efusión basáltica de mayor extensión mundial comprendiendo un millón de kilómetros cuadrados en los 4 países del Mercosur. Dejó volúmenes de rocas muy diversos: en Misiones más de 800 metros de espesor de coladas de lavas superpuestas, en la margen oriental entrerriana más de 600 metros, en tanto que la región Chacopampeana presenta escasos metros y con presencia irregular discontinua. El máximo espesor conocido de basaltos se registra en Brasil - Estado de San Pablo - con más de 1.900 metros. Luego de todos estos eventos geológicos, que permitieron en ese entonces la depositación de más de 1.000 metros de espesor de rocas en toda el área, se comienzan a producir y reactivar fallas y estructuras geológicas que en muchos sectores alteraron el orden estratigráfico establecido, las orientaciones originales y las alturas, sumado todo ello a los procesos erosivos actuando durante varios millones de años y la conformación de depósitos más modernos producidos en el Terciario y Cuaternario. En ese escenario, considerado geológicamente casi final, y muy parecido al actual, las rocas más permeables que afloraban comenzaron a llenarse de agua por infiltración desde la superficie (producto de las lluvias y ríos), circulando muy lentamente - en el orden de los pocos metros por día - desde las áreas de afloramiento (áreas de recarga) hacia las de hundimiento y confinamiento (áreas de tránsito y descarga). Este proceso comenzó en gran escala hace más de 20.000 años (cuando en las pampas vivía el gliptodonte y en Europa el homo sapiens habitaba en cavernas) y continua...

Las reservas permanentes de agua del Acuífero son del orden de los 45.000 km<sup>3</sup> (45 trillones de metros cúbicos), considerando una espesura media del acuífero de 250 m y porosidad efectiva de 15%. Las reservas explotables corresponden a la recarga natural (media plurianual) y fueron calculadas en 166 km<sup>3</sup>/año o 5.000 m<sup>3</sup>/s, representando el potencial renovable de agua que circula en el acuífero. La recarga natural ocurre por medio de la infiltración directa de las aguas de lluvia en las áreas de afloramientos de las rocas del Guaraní; y de forma indirecta por infiltración vertical (drenaje), a lo largo de las discontinuidades de las rocas del paquete confinante sobre yacente, en las áreas donde la carga piezométrica favorece los flujos descendentes.

Uno de los principales problemas existentes es el riesgo de deterioro del acuífero en ocurrencia al aumento de los volúmenes explotados y del crecimiento de las fuentes de polución puntuales y difusas. Esa situación exige un gerenciamiento adecuado por parte de las esferas de los Gobiernos federal, estadual y municipal, sobre las condiciones de aprovechamiento de los recursos del Acuífero.

## Acuíferos de Buenos Aires

La gran mayoría de los habitantes del área metropolitana de Buenos Aires desconoce la existencia de este importante recurso, a pesar de estar parado sobre él. El acuífero Puelche es una de las mayores reservas mundiales del principal insumo químico de la biosfera: El Agua. Lo cual no es poco en un mundo cada vez más sediento. Sin embargo esta importante fuente de agua subterránea está poco investigada, se encuentra ignorada, descuidada y nadie controla cómo y quién la contamina y sobre-explota.

- **1º acuífero o Napa freática:** se ubica desde 0 hasta los 10 m de profundidad con respecto a la superficie. Posee un techo (nivel freático) que fluctúa con el régimen de lluvias.
- **2º acuífero o Pampeano:** se encuentra aproximadamente entre los 10 y 40 metros por debajo del nivel del mar, de acuerdo a la cota del terreno. Suele estar semiconfinado a presión.
- **3º acuífero o Puelche:** se encuentra aproximadamente entre los 40 y 70 metros por debajo del nivel del mar, suele estar semiconfinado a presión. Está compuesto principalmente por Arenas finas y medianas.
- **4º acuífero o Paraná:** se encuentra aproximadamente entre los 70 y 160 metros por debajo del nivel del mar, suele estar semiconfinado a presión. Está compuesto principalmente por Arenas finas y fósiles marinos.
- **5º y 6º acuíferos ú Olivos:** se encuentran aproximadamente entre los 160 y los 410 metros por debajo del nivel del mar, suelen estar semiconfinados a presión.

Los acuíferos están conectados entre sí y con el ciclo hidrológico formando parte de un sistema hidráulico.

## Estado de estos acuíferos

*1º acuífero o Napa freática:* En algunas zonas se encuentra agotada y en otras aflorando a veces como respuesta a períodos muy lluviosos, o por cese de la explotación de acuíferos inferiores a la misma. Son aguas en general de mala calidad por su contaminación química y bacteriológica con pozos sépticos

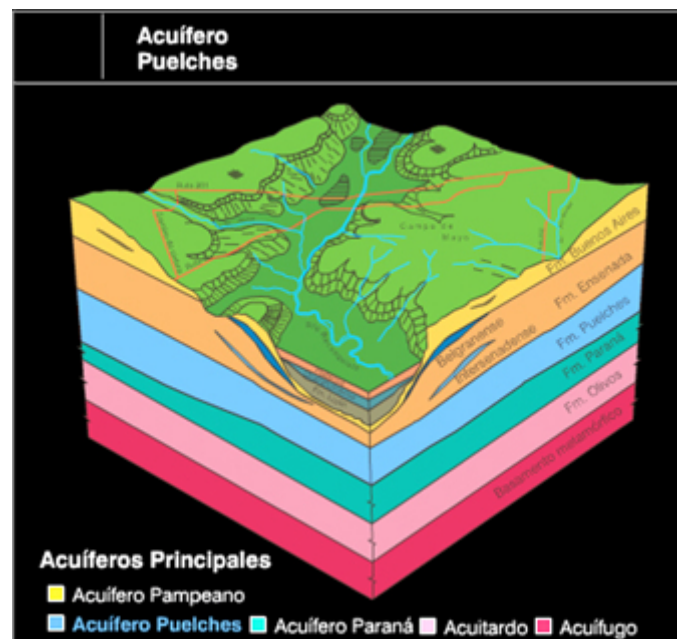
domiciliarios. Su techo acompaña la morfología de la superficie. A veces emerge en forma de lagunas y en otras aparece a los 4 o 10 metros de profundidad.

*2º acuífero o Pampeano:* Es el primero con cierto grado de confinamiento ya que se encuentra limitado superior e inferiormente por sedimentos medianamente permeables. Los caudales de extracción que proporciona este acuífero son muy dispares y dependen de su emplazamiento. En cuanto a su calidad, las aguas de este acuífero son duras, (muchas veces con excesos de nitratos) y frecuentemente presentan contaminación bacteriológica y de elementos químicos provenientes de residuos industriales que son derivados a pozos filtrantes.

*3º acuífero o Puelche:* Es la segunda napa semiconfinada y su piso está formado por las denominadas arcillas verdes del Paraná (prácticamente impermeables), las cuales limitan la filtración vertical descendente. Pero su techo posee otro tipo de sedimentos (semipermeables) que le permiten la conexión hidráulica con los acuíferos superiores. Por su extensión, su fácil acceso mediante perforaciones, caudales y calidad química de sus aguas se ha convertido en el recurso hídrico subterráneo más explotado en el país, principalmente para consumo humano.

*4º acuífero o Paraná:* Proporciona caudales altos pero es de agua salada, a pesar de lo cual es explotado en algunas ocasiones para consumo industrial en lugares donde es más pronunciado el agotamiento o salinización del Puelche.

*5º y 6º acuíferos ú Olivos:* son salados y no se lo utilizan.



## Acuífero Puelche

El acuífero Puelche alberga 300 billones de litros de agua, cantidad difícil de imaginar. Es una inmensa masa de agua pluvial (de lluvia) infiltrada en el suelo y contenida en un manto subterráneo de arenas y sedimentos porosos, que se ubica entre dos gruesas capas de sedimentos tirando a arcillosos y poco permeables. Se lo encuentra entre los 15 y 120 metros según el sitio de la llanura en que se ubique. Pero no bajo toda ella, sólo bajo la llamada “Pampa

Ondulada”; es decir que ocupan una superficie de 230.000 kilómetros cuadrados del noroccidente bonaerense y el sudoccidente santafesino.

El Puelche llega hasta la mitad de la provincia de Santa Fe, este de Córdoba y NE de Buenos Aires hasta la Bahía de Samborombón. Hacia Córdoba se vuelve salado y hacia el Paraná es dulce. El agua que satura las Arenas Puelches proviene de las lluvias que percola desde arriba atravesando los sedimentos.

Esta especie de río subterráneo de agua y arena está en movimiento horizontal, a una velocidad de entre 2 y 10 metros por día: el acuífero se recarga de lluvia en su centro (más o menos la zona de Pilar) y se descarga hacia sus bordes, que son el Paraná y el Plata, por el Nor-Nordeste, y el río Salado, por el Sur.

### **Comienzos de su explotación**

La Gran Aldea empezó a echar manos de él en épocas de Sarmiento, tras haber contaminado durante siglos las aguas de las napas superficiales con sus pozos ciegos, una costumbre que se pagaba con epidemias a repetición de cólera y tifus.

Cuando surgió la primera red hídrica urbana del país, miles de aljibes de 10 metros de profundidad que abrevaban en el ya contaminado acuífero Pampeano cedieron paso a unas pocas estaciones bombeadoras gigantes que bajaban 20 o más metros hasta el Puelche. Se entendía que, apretado por arriba y abajo entre grandes capas de arcilla, el Puelche venía garantizado de fábrica contra contaminaciones desde la superficie.

Esto es parcialmente cierto, ya que el sistema multiacuífero Pampeano-Puelche está hidráulicamente interconectado en forma vertical. Esto quiere decir que el agua del Pampeano desagua verticalmente al Puelche a través de su capa de arcillas, aunque muy lentamente, a razón de dos milímetros por día. Es decir que el agua del Pampeano va recargando al Puelche sin prisa ni pausa.

En la década del 30, el Puelche empezó a ser sobreexplotado. A partir de 1940 la gente comienza a realizar pozos domiciliarios en el 2º acuífero (el Pampeano) y Obras Sanitarias de la Nación toma agua del 3º acuífero (el Puelche). Por lo tanto el sistema se empezó a deprimir y desapareció la primera napa y el agua se encontraba recién a los 30 metros. Por otra parte los pozos ciegos y cloacas que filtraban comenzaron a contaminar las napas.

### **Situación del Acuífero Puelche hacia 1980**

Debido a la extracción intensiva del agua subterránea, se observan importantes fenómenos de depresión regional en las áreas más densamente pobladas. Esta sobre-explotación produjo efectos tan notorios como:

- Inversión de la circulación del agua subterránea: Naturalmente el agua escurría hacia el estuario del Río de la Plata, a fuerza de bombear desde el centro se había invertido dicha circulación; produciéndose el efecto contrario: el flujo subterráneo se dirige desde la costa hacia los centros poblados del Gran Buenos Aires.
- La inversión de la circulación subterránea del Puelche, también produjo el ingreso de agua salada (por la década del 30) provenientes de acuíferos

costeros. La sal provenía del propio Puelche, pero de sus zonas de descarga (Bahía Samborombón y Río Salado).

- Depresión del nivel del recurso. El descenso de los niveles del acuífero desde los años 20, dio origen hacia 1980 a los grandes conos de depresión regionales, es decir zonas donde las napas están muy bajas o desaparecieron. Con lo cual los pozos tuvieron que bajar hasta 70 metros o más para encontrar agua.

### **Situación del Acuífero Puelche en la Actualidad**

Algunos conos de depresión siguen existiendo en las zonas donde el agua subterránea sigue siendo una fuente importante de abastecimiento. Otros conos, en cambio sufrieron fuertes variaciones producto del traspaso en la fuente de abastecimiento domiciliaria. El abastecimiento por agua subterránea fue reemplazado por agua superficial del Río de la Plata, lo que trajo aparejado el rápido ascenso de los niveles de agua del acuífero Puelche y la desfiguración del cono afectado.

Igual fenómeno de ascenso se registra en la napa freática, que en muchos lugares había desaparecido, al decrecer la filtración por el aumento de carga en el acuífero Puelche. Ayuda también a este proceso de ascenso el crecimiento, en los últimos años, de la recarga natural, por el marcado aumento de las precipitaciones pluviales en la zona y posiblemente la tendencia de las grandes industrias consumidoras del recurso a utilizar agua subterránea proveniente del 4to acuífero en reemplazo de la proveniente del Puelche.

En algunas zonas sobreexplotadas se detecta un aumento de los contenidos salinos; debido al continuo avance del frente salino y a la infiltración descendente del Pampeano.

### **La contaminación por arsénico y el HACRE**

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.

Se han reportado áreas endémicas con altos contenidos de As inorgánico en aguas de bebida en Taiwán, México, Argentina, Chile, y más recientemente India, donde fueron observados muchos signos y síntomas de hidroarsenicismo.

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 ppb (partes por billón) en agua de consumo diario (bebida y preparación de alimentos). Estudios recientes han demostrado que la población infantil expuesta durante el período prenatal y posnatal puede tener menor desempeño neurológico que los niños no expuestos.

En nuestro país, 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.

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.

El origen de la contaminación natural con arsénico en las aguas subterráneas se debe a la actividad volcánica de la cordillera de Los Andes. 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.

El arsénico en el agua puede encontrarse en la forma química de oxoanión en sus dos estados de oxidación As(III) y As(V), arsenito y arseniato respectivamente.

La toxicidad de los compuestos de arsénico es altamente dependiente de su forma química:



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.

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.

En el año 2001, la población argentina expuesta se estimaba en aproximadamente un millón de personas (3% de la población del país). Según un estudio realizado en 2006 la población que habita en áreas con aguas arsenicales es alrededor de 2.500.000 habitantes, casi el 7% de la población del país. Las áreas arsenicales identificadas suman alrededor de 435.000 Km<sup>2</sup> de superficie.

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. En el Cono Sur alrededor de uno o dos millones de personas están potencialmente expuestas a la ingestión de agua con más de 10 ppb de

arsénico. El área afectada se extiende en un continuo noroeste-sureste desde la costa pacífica hasta la costa atlántica. En nuestro país el límite meridional corresponde a los cursos de los ríos Desaguadero y Colorado. El límite septentrional provisoriamente se ha fijado en el borde norte del Altiplano y en los cursos de los ríos Bermejo y Paraná.

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 (0,05 miligramos por litro) mientras que la OMS ya recomienda un máximo de 10 ppb (0,01 mg/l).

---

## 2 – Fuentes de energía

### Introducción

Cualquier actividad necesita energía para ser realizada. La primera fuente de energía utilizada por las personas fueron los propios músculos y, más tarde, los animales. Luego, el descubrimiento del fuego proporcionó un método para realizar determinadas actividades (cocinar la comida, calentarse, protegerse de los animales, etcétera).

*Energía es casi un sinónimo de movimiento, de vida y, más aún, de calidad de vida.*

Casi toda la energía utilizada por el ser humano se ha originado **a partir de la radiación solar llegada a la Tierra.**

Las fuentes de energía son los recursos existentes en la naturaleza de los que la humanidad puede obtener energía utilizable en sus actividades. Como dijimos el origen de casi todas las fuentes de energía es el Sol, que "recarga los depósitos de energía". Las fuentes de energía se clasifican en dos grandes grupos: renovables y no renovables; según sean recursos "ilimitados" o "limitados".

No todas las actividades requieren el mismo tipo de energía ni la misma cantidad por eso podemos identificar distintas fuentes de energía que satisfacen distintas necesidades.

La energía solar es importante para hacer germinar las semillas y cubrir los campos de verde, pero no se ha logrado concentrarla lo suficiente como para lograr mover una fábrica –se necesita de un panel fotovoltaico de aprox. 1 metro cuadrado para producir un Kw. de potencia-. Por lo tanto puede satisfacer los requerimientos básicos de una vivienda, o el funcionamiento de un equipo de bajo consumo, pero es inapropiada, por ahora, para el uso industrial masivo.

La energías eólica, mareomotriz, geotérmica, o por fusión se disputan el dominio del siglo próximo con resultados masivos aun inciertos, ya que en la

actualidad, o están en etapas de desarrollo o todavía no se ha logrado explotarlo comercialmente...

Actualmente la llamada 'energía de base' de la mayoría de los países es producida principalmente por tres fuentes:

- **La energía hidráulica:** producida por el aprovechamiento de las caídas de agua.
- **La energía térmica:** producida al quemar combustibles fósiles, es insustituible actualmente para mover vehículos.
- **La energía nuclear:** producida por la energía liberada durante la fisión del átomo.

### **Energía hidroeléctrica o hidráulica**

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

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

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

Los modelos comerciales de turbinas hidráulicas responden a muy variado diseño, dependiendo de las características de cada central y esencialmente, del salto que aprovechan.

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

- Generación limpia, económica (no hay costo de combustible) e inagotable.
- Sustitución de combustibles fósiles y ahorro de sus emisiones contaminantes.
- Posibilidad de beneficios adicionales como riego, agua potable, turismo y recreación, además de la generación de electricidad.
- Larga vida útil.
- Empleo de recursos y mano de obra nacionales. Tanto la construcción de las obras civiles como del equipamiento hidro-electro-mecánico puede ser encomendado a empresas argentinas.

## Energía Nuclear

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.

Al igual que los otros dos tipos de energía de base, el principio de producción de electricidad de una central nuclear es el movimiento de turbinas a partir de una fuerza externa. Tanto en el caso de los reactores nucleares como en el de las plantas de energía térmica convencionales, la fuerza del vapor es la que mueve esas turbinas.

Una **central nuclear** es un tipo de central eléctrica en la que, en lugar de combustibles fósiles, se emplea uranio-235, un isótopo del elemento uranio que se fisiona en núcleos de átomos más pequeños y libera una gran cantidad de energía (según la ecuación  $E = mc^2$  de Einstein), la cual se emplea para calentar agua que, convertida en vapor, acciona unas turbinas unidas a un generador que produce la electricidad.

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.

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).

## El Petróleo

El Petróleo es el producto de la descomposición de los restos de organismos vivos microscópicos que vivieron hace millones de años en mares, lagos y desembocaduras de ríos. Se trata de una sustancia líquida, menos densa que el agua, de color oscuro, aspecto aceitoso y olor fuerte, formada por una

mezcla de hidrocarburos (compuestos químicos que sólo contienen en sus moléculas carbono e hidrógeno). El petróleo y el gas natural se forman cuando grandes cantidades de microorganismos acuáticos mueren y son enterrados entre los sedimentos del fondo de estuarios y pantanos, en un ambiente muy pobre en oxígeno. Cuando estos sedimentos son cubiertos por otros que van formando estratos rocosos que los recubren, aumenta la presión y la temperatura y, en un proceso poco conocido, se forman el petróleo y el gas natural. Este último se forma en mayor cantidad cuando las temperaturas de formación son más altas. El petróleo y el gas, al ser menos densos que la roca, tienden a ascender hasta quedar atrapados debajo de rocas impermeables, formando grandes depósitos. La mayor parte de estos combustibles se encuentran en rocas de unos 200 millones de años de antigüedad como máximo. La palabra crudo es típica para designar al petróleo antes de su refinado. En las refinerías se separan del petróleo distintos componentes como gasolina, gasoil, fueloil y asfaltos, que son usados como combustibles. También se separan otros productos de los que se obtienen plásticos, fertilizantes, pinturas, pesticidas, medicinas y fibras sintéticas.

La composición de los crudos es muy variable dependiendo del lugar en el que se han formado. No solo se distinguen unos crudos de otros por sus diferentes proporciones en las distintas fracciones de hidrocarburos, sino también porque tienen distintas proporciones de azufre, nitrógeno y de las pequeñas cantidades de diversos metales, que tienen mucha importancia desde el punto de vista de la contaminación.

En 1990 se obtenía del petróleo el 38,6% de la energía comercial del mundo, aunque unos años antes, en 1974 llegó a representar el 47,4%, antes de la crisis planteada por la OPEP (Organización de Países Explotadores de Petróleo). Ese mismo año la proporción de energía comercial suministrada por el gas natural fue de un 21,6% y desde la crisis del petróleo de 1973 ha ido aumentando ligeramente la proporción en la que se consume.

Es muy difícil estimar para cuantos años tenemos petróleo y gas natural, porque este cálculo depende de muchas variables desconocidas. No sabemos cuantos depósitos nuevos se van a descubrir. Tampoco cual va a ser el ritmo de consumo, porque es probable que cuando vayan escaseando y sus precios suban se busque con más empeño otras fuentes alternativas de energía y su ritmo de consumo disminuya. En 1970 había reservas conocidas de petróleo para unos 30 años (hasta el año 2000) y de gas natural para unos 40 años. En cambio en 1990 había suficientes depósitos localizados de petróleo para otros 40 años (hasta el 2030) y de gas natural para unos 60 años; es decir, en estos años se ha descubierto más de lo que se ha consumido.

La principal desventaja del petróleo (y de los demás combustibles de origen fósil: carbón y gas natural) es que su uso genera la emisión de gases que contaminan la atmósfera (gases efecto invernadero) y su carácter de recurso no renovable.

### **Gas natural**

El gas natural es una de las varias e importantes fuentes de energía no renovables formada por una mezcla de gases ligeros que se encuentra en yacimientos de petróleo, disuelto o asociado con el petróleo o en depósitos de carbón. Aunque su composición varía en función del yacimiento del que se saca, está compuesto principalmente por metano (CH<sub>4</sub>) en cantidades que

comúnmente pueden superar el 90 ó 95%, y suele contener otros gases como nitrógeno, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, helio y mercaptanos.

Puede obtenerse también con procesos de descomposición de restos orgánicos en las plantas de tratamiento de estos restos (depuradoras de aguas residuales urbanas, plantas de procesado de basuras, de desechos orgánicos animales, etc.). El gas obtenido así se llama biogás.

El gas natural produce mucho menos CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) que otros combustibles como los derivados del petróleo, y sobre todo el carbón. Además es un combustible que se quema más limpia y eficazmente. La razón por la cual produce poco CO<sub>2</sub> es que el principal componente, metano, contiene cuatro átomos de hidrógeno y uno de carbono, produciendo 2 moléculas de agua por cada una de CO<sub>2</sub>, mientras que los hidrocarburos de cadena larga (líquidos) producen sólo 1 molécula de agua por cada 1 de CO<sub>2</sub> (recordemos que el calor de formación del agua es muy alto).

Como ventaja añadida es un combustible más versátil, que puede utilizar en sistemas de generación más eficientes como el ciclo combinado o la pila de combustible y su obtención es más sencilla en comparación con otros combustibles. Sin embargo, su contenido energético por unidad de volumen es bajo en comparación con otros combustibles.

## **Carbón**

El Carbón es una sustancia ligera, de color negro, que procede de la fosilización de restos orgánicos vegetales. Existen 4 tipos: antracita, hulla, lignito y turba. El carbón se utiliza como combustible en la industria, en las centrales térmicas y en las calefacciones domésticas.

El carbón se compone principalmente de carbono aunque también contiene hidrógeno, oxígeno y una cantidad variable de nitrógeno, azufre y otros elementos.

Como dijimos el carbón es un mineral de origen orgánico, y su formación es el resultado de la condensación de la materia de plantas parcialmente descompuestas a lo largo de millones de años.

La turba está formada por una masa esponjosa y ligera originada por la descomposición de las plantas. Presenta un contenido de humedad muy alto (del 90%) y por ello no se considera carbón.

El lignito se forma cuando se comprime la turba. Contiene también gran porcentaje de agua. Es una sustancia parda y desmenuzable, tiene poco poder calórico aunque mayor que la turba.

La hulla se forma cuando se comprime el lignito. Es dura y quebradiza, de color negro y brillo mate o graso, estratificado y muy frágil. Tiene entre 75 y 80% de carbono y por ello se emplea en las centrales térmicas para obtener energía.

La antracita procede de la transformación de la hulla y es el mejor de los carbones. Muy poco contaminante y de alto poder calorífico. Arde con dificultad pero desprende mucho calor y poco humo. Es negro, brillante y muy duro. Contiene hasta un 95% de carbono.

El hombre extrae carbón desde la edad media. En los yacimientos poco profundos la explotación es a cielo abierto. Sin embargo, por lo general las

explotaciones de carbón se hacen con minería subterránea ya que la mayoría de las capas se encuentran a cientos de metros de profundidad.

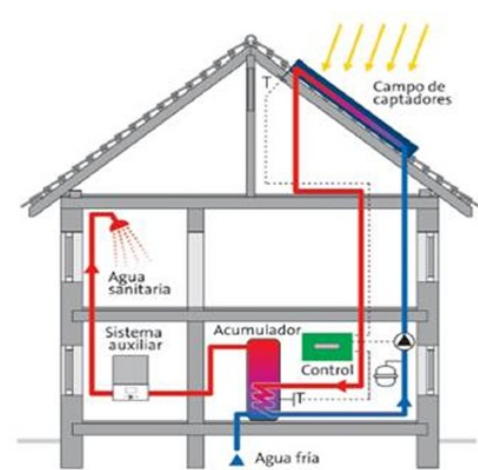
El carbón es un material comparativamente estable y no presenta los problemas de fugas y derrames de los otros combustibles fósiles. Pero por otra parte, el carbón es, de las energías de origen fósil, la de mayor contribución de emisiones de CO<sub>2</sub> respecto de la energía producida.

## Energía Solar

Nuestro planeta recibe del sol una cantidad de energía anual de aproximadamente 1,6 millones de kWh, de los cuales sólo un 40% es aprovechable, una cifra que representa varios cientos de veces la energía que se consume actualmente en forma mundial; es una fuente de energía descentralizada, limpia e inagotable. El aprovechamiento energético está entonces condicionado por la intensidad de radiación solar recibida por la tierra, los ciclos diarios y anuales a los que está sometida y las condiciones climatológicas del lugar. Se define energía solar a aquella que mediante conversión a calor o electricidad se aprovecha de la radiación proveniente del sol. Otra forma de aprovechamiento asociado considera la posibilidad de hacer uso de la iluminación natural y las condiciones climatológicas de cada emplazamiento en la construcción de edificios mediante lo que se denomina "arquitectura bioclimática".

El aprovechamiento de la energía solar requiere de la utilización de dispositivos que capten la energía proveniente del sol y la transformen en otra forma de energía compatible con la demanda que se pretende satisfacer. Existen dos alternativas posibles para realizar estas transformaciones: la conversión fototérmica y la conversión fotovoltaica.

Con respecto a la tecnología solar térmica que convierte la energía radiativa en calor, su principal componente es el captador, por el cual circula un fluido que absorbe la energía radiada del sol. De acuerdo a la temperatura de aprovechamiento se puede clasificar el aprovechamiento en de alta, media y baja.



La tecnología fotovoltaica busca convertir directamente la radiación solar en electricidad. Basada en el efecto fotoeléctrico, en el proceso emplea unos dispositivos denominados celdas fotovoltaicas, los cuales son semiconductores sensibles a la luz solar; de manera que cuando se expone a esta, se produce en la celda una circulación de corriente eléctrica entre sus dos caras.

## Energía Eólica

La energía eólica hace referencia a aquellas tecnologías y aplicaciones en que se aprovecha la energía cinética del viento, convirtiéndola a energía eléctrica, mecánica, o térmica. Se pueden distinguir dos tipos de aplicaciones: las instalaciones para la producción de electricidad y las instalaciones de bombeo de agua.

Entre las instalaciones de producción de electricidad se pueden distinguir instalaciones aisladas, no conectadas a la red eléctrica e instalaciones conectadas, normalmente, denominadas parques eólicos. Las instalaciones no conectadas a la red, normalmente cubren aplicaciones de pequeña potencia, principalmente de electrificación rural. Las aplicaciones conectadas a la red eléctrica, por otra parte, son las que permiten obtener un aprovechamiento energético mayor, son además las que presentan las mejores expectativas de crecimiento de mercado.

A través de grabados pertenecientes a civilizaciones muy antiguas, se ha podido comprobar que el aprovechamiento del viento con fines energéticos se remonta a por lo menos 3.000 años antes de la era cristiana, habiendo sido utilizado en aquellos tiempos principalmente para la navegación. Diferentes pueblos, desde los egipcios pasando por los Fenicios, Romanos y muchos otros utilizaron esta forma de impulsión. Los datos más antiguos de artefactos que aprovechaban el viento para otro tipo de actividades (por ejemplo molienda de granos) aparecen en Persia, alrededor de los años 200 antes de Cristo. Se cree que en siglo XIII esas máquinas fueron introducidas en Europa por quienes retornaban de las cruzadas.

Durante el transcurso de la Edad Media se amplió la gama de usos empleándose para mover la maquinarias de nascentes industrias como la textil, maderera, metalúrgica. Estos primeros molinos eran muy rudimentarios, basando su diseño en la rotación un eje colocado en forma vertical. Los holandeses modificaron esa tecnología y a partir del año 1.350 comenzaron a utilizarse máquinas de eje horizontal y de cuatro palas. Producían únicamente energía mecánica. Eran máquinas lentas, pesadas y de baja eficiencia. A mediados del siglo pasado se desarrolló un molino que se impuso rápidamente en mucho países, llamado comúnmente molino americano, y es el que podemos ver en casi todo el interior de nuestro país. Este molino es también un convertidor en energía mecánica, pero con una eficiencia muy superior a la de los anteriores y se destina casi exclusivamente al bombeo del agua.

Las primeras máquinas equipadas con generadores eléctricos, hacen su aparición hacia 1900.

Durante la primera mitad del siglo, a pesar de que no hubo una activa utilización de la energía eólica, se produjeron gran variedad de diseños cuyos principios fundamentales son válidos hasta el presente.

En términos generales no se requieren grandes velocidades de viento para producir energía, más bien al contrario, cuando el viento es demasiado intenso se hace necesario detener los equipos para evitar deterioro.

En la mayoría de los casos, un equipo comienza a generar energía con una velocidad del viento de 4 metros por segundo (m/s), equivalente a unos 15 Km./h. Entrega su potencia máxima cuando la velocidad es del orden de los 12 a 15m/s (40 a 55 Km./h) y es necesario sacarla de servicio cuando alcanza 25m/s (90km/h).

En la actualidad existen dos tipos principales de máquinas que aprovechan la energía contenida en el viento: los molinos, que se utilizan fundamentalmente para bombeo mecánico de agua, y los aerogeneradores de electricidad.



### **Energía Geotérmica**

Se entiende por energía geotérmica a aquella que, aprovechando el calor que se puede extraer de la corteza terrestre, se transforma en energía eléctrica o en calor para uso humano o procesos industriales o agrícolas.

El uso más antiguo de los recursos geotérmicos, más precisamente de las aguas termales, tiene que ver con sus propiedades curativas (griegos, romanos, babilonios, etc.). Son famosas las termas de Vichy en Francia, Carlsbad en Checoslovaquia, Carcalla en Italia. En nuestro país existen muchas localidades con aguas termales y algunas de ellas son utilizadas desde el punto de vista turístico y curativo. Son famosas las de Copahue en Neuquén, Río Hondo en Santiago del Estero, Reyes en Jujuy, Villavicencio en Mendoza, Rosario de la Frontera en Salta, Federación y otras localidades a lo largo del río Uruguay en Entre Ríos, etc.

También son aprovechables desde el punto de vista minero, recuperándose mediante diversos procesos las sales que contienen disueltas y que en algunos casos son de alto valor comercial, como por ejemplo sales de Boro, Litio, Cadmio. No obstante, el aprovechamiento más importante de los recursos hidrotermales consiste en su utilización con fines energéticos.

Es muy importante tener en cuenta que la explotación de un yacimiento geotérmico debe efectuarse de manera tal que el volumen de agua caliente o vapor que de él se extrae, no sea mayor que la recarga natural de agua que alimenta al acuífero. Sólo bajo estas condiciones, el recurso energético puede ser considerado como una fuente de carácter “renovable”.

Existen dos formas básicas de uso de la energía de origen geotérmico:

- **USO DIRECTO DEL CALOR**, que se aplica para calefaccionar viviendas u otros tipos de edificios; para procesos industriales que utilizan calor, como por ejemplo las fábricas de celulosa, papel, conservas, harinas de pescado; para el secado de frutas y vegetales en general; para calefacción de invernaderos, establos y criaderos, para piscicultura, para calentamiento de suelos de cultivos en zonas frías, para derretir la nieve de los caminos.
- **USO ELÉCTRICO DEL FLUIDO**. Consiste en la generación de electricidad mediante instalaciones similares a las usinas térmicas convencionales. La diferencia radica en el origen del vapor que mueve las turbinas que alimentan el generador eléctrico. En una usina térmica convencional el

vapor “se fabrica” quemando derivados de petróleo, gas o carbón, mientras que en la usina o planta geotérmica no es necesario gastar combustible pues es provisto directamente por la naturaleza. Naturalmente este proceso no es tan simple como se menciona. En general el vapor viene mezclado con agua y ésta, a su vez, tiene disueltas sales. Será entonces necesario separar el vapor del agua para que pueda ser derivado a las turbinas

La única manera que hasta el presente permite, en forma técnica y económicamente aceptable, disponer del calor contenido en el interior de la tierra para su utilización como recurso energético, consiste en extraerlo del agua caliente o el vapor contenido en los acuíferos hidrotermales. Pero hallar una zona apta para ser explotada energéticamente requiere de un proceso exploratorio consistente en una sucesión de etapas en las que se conjugan estudios geológicos y geofísicos progresivamente crecientes en especificidad y complejidad, y consecuentemente en inversión.

Si bien en la Argentina existen más de trescientos puntos de interés geotérmico, en solo cuatro de ellos podría generarse energía eléctrica con este recurso, a saber: Copahue (Neuquén), Domuyo (Neuquén), Tuzgle (Jujuy) y Valle del Cura (San Juan).

Las dificultades más grandes para un desarrollo sostenido de energía geotérmica con fines eléctricos se encuentran en los elevados costos de la exploración y lo alejado de las zonas pobladas de las principales áreas de interés geotérmico. En cuanto a la posibilidad de efectuar aprovechamientos calóricos, cada caso debe ser estudiado muy cuidadosamente sopesando el costo del aprovechamiento y la importancia de la actividad económica en juego.

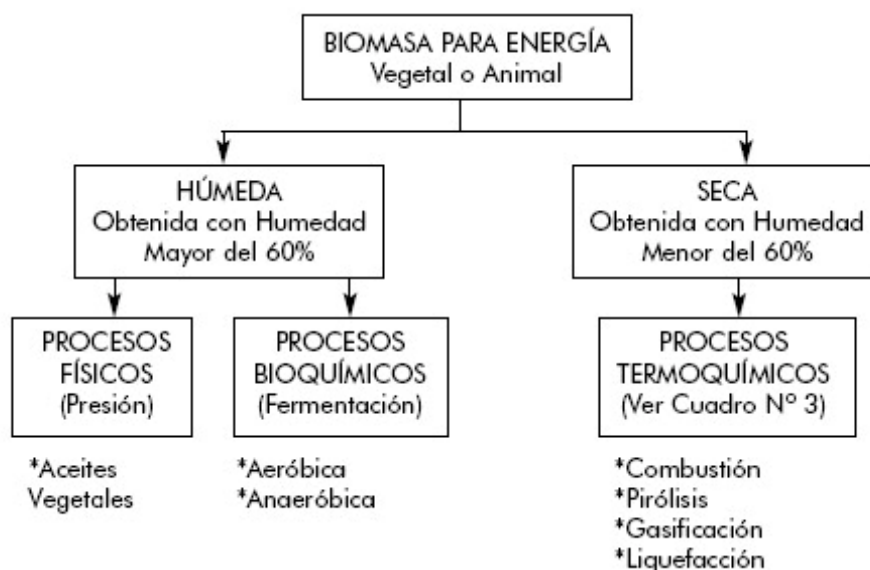
## **Energía biomasa**

Se denomina biomasa a toda la materia orgánica que se encuentra en la tierra. Como fuente de energía presenta una enorme versatilidad, permitiendo obtener mediante diferentes procedimientos tanto combustibles sólidos como líquidos o gaseosos.

De origen vegetal o animal, incluye los materiales que proceden de la transformación natural o artificial. Cualquier tipo de biomasa proviene de la reacción de la fotosíntesis vegetal, que sintetiza sustancias orgánicas a partir del CO<sub>2</sub> del aire y de otras sustancias simples, aprovechando la energía del sol. En estos procesos de conversión la energía solar se transforma en energía química que se acumula en diferentes compuestos orgánicos (polisacáridos, grasas) y que es incorporada y transformada por el reino animal, incluyendo al ser humano, el cual invierte la transformación para obtener bienes de consumo.

Cabe destacar que, desde el punto de vista ambiental, el aprovechamiento energético de la biomasa no contribuye al aumento de los gases de efecto invernadero, dado que el balance de emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera es neutro. En efecto, el CO<sub>2</sub> generado en la combustión de la biomasa es reabsorbido mediante la fotosíntesis en el crecimiento de las plantas necesarias para su producción y, por lo tanto, no aumenta la cantidad de CO<sub>2</sub> presente en la atmósfera. Al contrario, en el caso de los combustibles fósiles, el carbono que se libera a la atmósfera es el que está fijo a la tierra desde hace millones de años.

Desde el punto de vista energético resulta conveniente dividir la biomasa en dos grandes grupos:



## BIBLIOGRAFÍA

- *Ingeniería y Ciencias Ambientales* (Mackenzie L. Davis - Susan J. Masten) Mc Graw Hill Interamericana 2005.
- Dr. Jorge N. Santa Cruz, Coordinador Nacional Proyecto Acuífero Guaraní, INA (Instituto Nacional del Agua)
- *Proyecto de Protección Ambiental y Desarrollo Sostenible del Sistema Acuífero Guaraní*-  
[www.sg-guarani.org](http://www.sg-guarani.org)
- *Apuntes sobre Aguas Subterráneas*, Facultad de Ingeniería – México
- ARIAS, A. "Acuífero Puelche: El problema invisible". *Revista de la FVSA* N° 69, pág. 24 a 29, Septiembre/Octubre 1999.
- ARIAS, D. "Un mar subterráneo está en peligro". *Diario La Nación*, sección Ciencia y Salud, 10/08/00
- SANTA CRUZ, J. del INA. Exposición en la comisión de Recursos Naturales de la Cámara de Diputados de la Nación el 17/10/00
- SANTA CRUZ, J.; S. AMATO; et all. "Explotación y Deterioro del Acuífero Puelches en al Área Metropolitana de la República Argentina" *Revista Ingeniería Sanitaria y Ambiental* N° 31, pág. 34-44, Abril de 1997
- VIRASORO, B.; M. A. AGULLÓ; et all. "Investigación y análisis de los antecedentes de la problemática del agua subterránea en el área metropolitana". Auditoría General de la Nación, Gerencia General de Planificación, Grupo de Auditoría de Gestión Ambiental. Documento Técnico N° 12.
- *Epidemiología Del Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico De La República Argentina. Estudio colaborativo multicéntrico. Conarpis* (Ministerio de Salud de la Nación).
- SECRETARÍA DE ENERGÍA DE LA NACIÓN: *Contenidos didácticos*.
- COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA: *Temas nucleares, Energía Nucleoeléctrica*
- *Fuentes de Energía. Proyecto Newton, materiales didácticos. Ministerio de Educación- Gobierno de España*.