

UF1667: Tratamiento de agua potable

Elaborado por: Mariano Ojeda Guzzini

Edición: 5.0

**EDITORIAL ELEARNING S.L.**

ISBN: 978-84-16360-11-6 • Depósito legal: MA 20-2015

No está permitida la reproducción total o parcial de esta obra bajo cualquiera de sus formas gráficas o audiovisuales sin la autorización previa y por escrito de los titulares del depósito legal.

Impreso en España - Printed in Spain

# Presentación

## Identificación de la unidad formativa:

Bienvenido/a a la Unidad Formativa **UF1667: Tratamiento de agua potable**. Esta Unidad Formativa pertenece al Módulo Formativo **MF0073\_2: Funcionamiento y operación de los procesos de depuración y tratamiento del agua**, que forma parte del Certificado de Profesionalidad **SEAG0210: Operación de estaciones de tratamiento de aguas**, de la familia profesional de Seguridad y Medio Ambiente.

## Presentación de los contenidos:

La finalidad de esta unidad formativa es actuar sobre los procesos de tratamiento del agua potable, efectuando las actuaciones oportunas, para asegurar su correcto funcionamiento y adecuado control.

Para ello, se estudiará en primer lugar el agua potable, las características del agua y las plantas de tratamiento de agua potable. A continuación, se analizarán los tratamientos con derivados del cloro, la coagulación y floculación del agua y los procesos de filtración, para terminar con la preparación, dosificación y aplicación de reactivos en el agua potable.

## **UF1667: Tratamiento de agua potable**

### **Objetivos de la unidad formativa:**

Al finalizar esta unidad formativa podrás:

- Interpretar la secuencia de tratamientos empleados para la producción de agua destinada al consumo humano.
- Preparar, dosificar y aplicar las cantidades adecuadas de los reactivos necesarios para el funcionamiento de los procesos químicos de tratamiento del agua.

# Índice

## UD1. El agua potable

1.1. El ciclo del agua.....	11
1.2. Composición de las aguas naturales.....	21
1.3. Criterios de calidad en función del uso.....	31
1.4. Microbiología del agua.....	40
1.4.1. Principales grupos de microorganismos.....	42
1.5. Unidades específicas en microbiología.....	53
1.6. Normativa aplicable.....	62
1.6.1. Parámetros y valores paramétricos de control.....	88
1.6.2. Incidencias y comunicación.....	97
1.6.3. Planes analíticos.....	103
1.6.4. Frecuencias de limpieza de depósitos.....	109
1.6.5. Materiales y productos autorizados.....	114
1.6.6. Restricciones de las Comunidades Autónomas.....	120
1.6.7. Base de datos analíticos. SINAC.....	123

## UD2. Características del agua del agua potable

2.1. El ciclo natural del agua .....	139
2.2. El ciclo integral del agua .....	153
2.3. Criterios de la calidad del agua en función del uso.....	163
2.4. Microbiología del agua.....	176
2.4.1. Principales grupos de microorganismos .....	178
2.5. Unidades específicas en microbiología.....	187
2.6. Características del afluente y efluente .....	189
2.6.1. Detección de anomalías .....	191
2.7. Indicadores de contaminación de las aguas .....	193
2.7.1. Parámetros .....	195
2.7.2. Unidades.....	203

## UD3. Plantas de tratamiento de agua potable (ETAP)

3.1. Objetivos de la potabilización .....	213
3.2. Sistemas de potabilización según origen de las aguas .....	217
3.2.1. Aguas superficiales .....	220
3.2.2. Aguas subterráneas .....	230
3.2.3. Aguas saladas .....	233

## UD4. Tratamientos con derivados del cloro

4.1. Objetivos .....	249
4.1.1. Precloración (oxidación, break point) .....	251
4.1.2. Postcloración (cloraminación, cloro libre, cloro combinado, cloro total).....	258
4.2. Productos residuales del tratamiento del cloro .....	265
4.2.1. Trihalometanos.....	267
4.2.2. Otros derivados del cloro .....	273
4.3. Productos de desinfección .....	281
4.3.1. Cloro gas.....	284

4.3.2. Hipoclorito sódico .....	291
4.3.3. Dióxido de cloro .....	301
4.4. Puntos de aplicación del cloro en ETAPS .....	310
4.5. Otras formas de desinfección .....	314
4.5.1. Rayos ultravioleta .....	323
4.5.2. Ozonización .....	327

## UD5. Coagulación y floculación del agua potable

5.1. La materia coloidal en las aguas .....	341
5.2. Tratamientos de coagulación y floculación .....	350
5.2.1. Objetivos .....	358
5.2.2. Variables a controlar .....	360
5.3. Reactivos empleados como coagulantes y ayudantes de coagulación .....	364
5.3.1. Compuestos de alúmina .....	368
5.3.2. Compuestos de hierro.....	379
5.3.3. Electrolitos .....	394
5.4. Ajuste de las condiciones de la reacción de coagulación (Jar test).....	402
5.5. Diseño de los reactores de coagulación floculación .....	407
5.5.1. Decantadores estáticos.....	416
5.5.2. Decantadores dinámicos.....	420
5.6. Residuos del tratamiento .....	426
5.6.1. Usos posteriores.....	428

## UD6. Procesos de filtración del agua potable

6.1. Instalaciones de filtración .....	439
6.1.1. Filtros cerrados .....	448
6.1.2. Filtros abiertos.....	456
6.2. El control y limpieza de proceso de los sistemas de filtración.....	463

## UF1667: Tratamiento de agua potable

6.2.1. Soplates .....	469
6.2.2. Bombas de contralavado .....	471
6.3. Tratamientos con carbón activo.....	472
6.3.1. Objetivos de la adsorción .....	480

## UD7. Preparación, dosificación y aplicación de reactivos

7.1. Tipos de dosificadores de reactivos .....	493
7.1.1. Bombas peristálticas .....	497
7.1.2. Bombas volumétricas .....	502
7.1.3. Consignas de funcionamiento .....	507
7.1.4. Señal eléctrica 4/ 20 mAmp .....	510
7.1.5. Señal por pulsos .....	513
7.2. Interpretación del etiquetado de productos químicos y pictogramas de seguridad .....	515
7.3. Dosificación de reactivos .....	525
7.4. Operaciones de descarga, y almacenamiento de reactivos .....	529

Glosario .....	539
----------------	-----

Soluciones .....	543
------------------	-----



# UD1

El agua potable

## **UF1667: Tratamiento de agua potable**

- 1.1. El ciclo del agua
- 1.2. Composición de las aguas naturales
- 1.3. Criterios de calidad en función del uso
- 1.4. Microbiología del agua
  - 1.4.1. Principales grupos de microorganismos
- 1.5. Unidades específicas en microbiología
- 1.6. Normativa aplicable
  - 1.6.1. Parámetros y valores paramétricos de control
  - 1.6.2. Incidencias y comunicación
  - 1.6.3. Planes analíticos
  - 1.6.4. Frecuencias de limpieza de depósitos
  - 1.6.5. Materiales y productos autorizados
  - 1.6.6. Restricciones de las Comunidades Autónomas
  - 1.6.7. Base de datos analíticos. SINAC

## 1.1. El ciclo del agua

Los elementos en la naturaleza (desde átomos y compuestos como el carbono o los compuestos azufrados, hasta individuos y poblaciones) siguen ciclos más o menos complicados.

Existe el ciclo del nitrógeno, del carbono, del fósforo, etc. Y los animales siguen también ciclos biológicos que van desde los más conocidos como los de nacimiento, desarrollo, reproducción y muerte a ciclos más complicados involucrando diferentes fases de desarrollo, como ocurre con algunos parásitos.

Las poblaciones de seres vivos siguen ciclos, tales como las migraciones estacionales efectuadas en masa en busca de mejores condiciones de alimento y de clima por parte de cardúmenes de peces, bandadas de pájaros, etc., las migraciones estacionales reproductivas (salmones, tortugas, ballenas y demás) o ciclos de especies de vida corta (denominadas en biología estrategias de la r), normalmente anuales, donde los individuos en cortos espacios de tiempo (alrededor del año) cumplen los ciclos biológicos.



**Estrategias de la r:** seres vivos de corto periodo de vida cuya estrategia biológica es un desarrollo rápido, una reproducción única y una gran descendencia. Se contrapone a esta estrategia los estrategias de la K.

---

Estos estrategias de la r serán detallados más adelante, ya que tienen importancia en los procesos de potabilización.

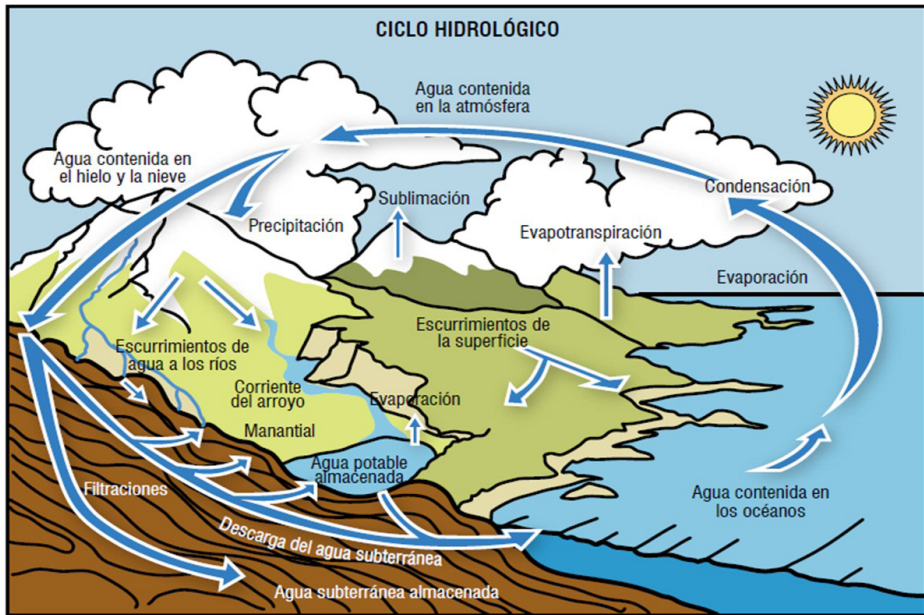
Según el tipo de estrategia de supervivencia de las especies, éstas se dividen en estrategias de la r y estrategias de la K:

Característica	R estrategias	K estrategias
Tiempo de vida	Corto. Generalmente inferior al año.	Superior a un año.
Mortalidad	Episodios catastróficos en los que mueren todos o casi todos los individuos. Independiente de la densidad.	Depende de la densidad de la población, depredación y otros factores ambientales.
Competencia entre individuos de la misma especie y diferente especie	Generalmente poco intensa.	Muy intensa.
Población	Muy variable en el tiempo y muy inferior a la capacidad de carga del medio.	Constante y próxima al equilibrio y al límite de carga del medio.
Adaptación	Variaciones ambientales frecuentes e impredecibles (climáticas, y de otro tipo), especies no bien adaptadas al medio que ocupan o colonizadoras.	Condiciones constantes y predecibles.
La selección favorece...	Desarrollo rápido Madurez precoz Reproducción única Elevado potencial biótico Pequeño tamaño Descendencia numerosa	Desarrollo lento Madurez retrasada Reproducción cíclica Capacidad competitiva y eficacia Mayor tamaño Descendencia poco numerosa y cuidado de la prole

Los estrategias de la r son colonizadores, se establecen antes que los de la K a un ambiente nuevo, como puede ser una roca.

Líquenes y musgos y más tarde otros organismos comienzan a descomponerla, a disgregarla y con el tiempo a crear condiciones favorables (de espesor de la capa de suelo, materia orgánica, etc.) para que sea sienten los estrategias de la K, como arbustos.

El agua, como elemento sustentador básico de la vida, dista mucho de ser estática, si no al contrario, el agua, como el resto de elementos mencionados anteriormente sigue un ciclo bastante dinámico, desplazándose por los distintos compartimentos de la Naturaleza (geosfera, biosfera, atmósfera, etc.) y afectándoles en uno u otro modo con relativa rapidez, no permaneciendo, en la mayoría de los casos, mucho tiempo en un mismo compartimento.



*Ciclo del agua*

El concepto de ciclo implica que no existe inicio en un lugar específico, por lo que asumiremos, a efectos didácticos, que comienza en la atmósfera. En este ámbito el agua está en fase vapor, siendo mucho más común su presencia en las capas de la atmósfera más cercanas a la superficie, en concreto la denominada troposfera.

Esta capa llega hasta un límite superior (tropopausa) situado a 9 km de altura en los polos y 18 km en el ecuador, y en ella se producen importantes desplazamientos verticales y horizontales de las masas de aire y el agua ahí contenida al ganar altitud se condensa en nubes. La temperatura, en condiciones normales, va disminuyendo conforme se va subiendo, hasta llegar a  $-70^{\circ}\text{C}$  en su límite superior.

Por encima de esta capa está la estratosfera, la cual no es tan interesante para el ciclo del agua, ya que casi no hay movimiento en dirección vertical del aire, dado que apenas queda aire ni agua vapor, siendo mucho más predominantes los vientos horizontales que facilitan la dispersión con rapidez de cualquier sustancia que llega a esta capa.

De vuelta a la troposfera, las corrientes verticales, de manera muy básica, forman las nubes y las horizontales se encargan del desplazamiento de las mismas alrededor del globo terráqueo.

Es en esta capa donde se producen la mayoría de los fenómenos climáticos relacionados con el ciclo del agua conocidos: lluvias, tormentas, granizos, vientos, etc.

Si el agua en la atmósfera tuviera periodo de permanencia mayor, las precipitaciones estarían regularmente distribuidas por todo el Planeta, como ya sabemos, esto no es así. Se debe a que el agua en la atmósfera tiene un tiempo de permanencia relativamente corto (unos diez días) comparado con otras fracciones gaseosas de la atmósfera (nitrógeno, oxígeno, etc.). Lo que implica la distribución irregular de las lluvias globales que conocemos.

La irregularidad de las precipitaciones está influida por diferentes factores, siendo los más importantes la **latitud**, la **continentalidad** y el **relieve**.

Al observar las isoyetas, líneas que unen puntos que reciben igual cantidad de precipitación, se pueden observar las zonas de más precipitación, los denominados “cinturones de lluvia”, las cuales están distribuidas latitudinalmente, es decir, paralelas al Ecuador.

Es en esta zona donde se encuentran abundantes y continuas lluvias durante todo el año (superando los 2.000 mm/año), en la denominada zona de convergencia intertropical. Los dominios de esta zona varían de año a año, no siendo en absoluto estáticos, por lo tanto, a medida que nos desplazamos a los polos las precipitaciones disminuyen, ya que debido al movimiento de la convergencia intertropical pueden estar bajo su influencia parte del año y otra bajo la influencia de los anticiclones tropicales.

Es en estas zonas donde las precipitaciones descienden hasta valores a 250 mm anuales características de los desiertos subtropicales.

Al seguir desplazándonos hasta los polos la precipitación vuelve a aumentar progresivamente hasta alcanzar y superar los 1.000 mm en latitudes medias,

debido a que la zona de convergencia intertropical pierde su influencia y empiezan a notarse las borrascas del frente polar.

En los polos de nuestro planeta las precipitaciones descienden de nuevo hasta menos de 250 mm, debido a que a estas zonas las masas de aire que llegan tienen muy baja humedad.

Por otro lado, la continentalidad ejerce una influencia negativa en las precipitaciones por la lejanía de las grandes masas de agua terrestre que nutren las potenciales lluvias, por la misma razón y en general, el litoral recibe mayor cantidad de precipitaciones. Si bien las diferencias entre unas costas y otras son muy grandes, dado que en las zonas ecuatoriales y tropicales la parte oriental de los continentes reciben mayor cantidad de lluvia que las occidentales por influencia de las corrientes atmosféricas húmedas, de los monzones y de las corrientes cálidas marinas.

En las latitudes intermedias sin embargo, suelen ser las costas de la fachada occidental la que reciben más precipitaciones, como consecuencia de la dominancia de los vientos occidentales y del influjo de las corrientes marinas cálidas. Los vientos que han atravesado los continentes al llegar a la costa oriental apenas llevan humedad.

El tercer factor es el relieve, en general una montaña es una isla más húmeda que su entorno dado que esta acrecienta las precipitaciones al servir de obstáculo a las corrientes húmedas de aire y obligarles a ganar altitud y por tanto a descender su temperatura y llevar a cabo la condensación o sublimación inversa que favorece la formación de nubes y precipitación en las laderas de barlovento (es decir, a donde llega el viento).

En estas circunstancias, la otra cara de la ladera, la de sotavento, contrasta claramente con la primera, ya que en lugar de una gran humedad y abundancia de lluvias el cielo tiende a estar despejado, con presencia de aire seco y cálido que desciende por la ladera, lo que involucra un aumento de la temperatura.

A este efecto se le llama efecto Foehn.



*Efecto Föhn.*

Las partículas de agua condensada van colisionando, creciendo y, al llegar a cierta masa crítica, caen en forma de precipitación líquida o sólida.

Si esta agua es en forma de nieve puede terminar acumulada en capas de hielo formando glaciares en donde el agua puede permanecer periodos de cientos o miles de años.

Los glaciares se localizan principalmente en los polos así como en zonas de muy alta montaña que permiten que estas masas de hielo se mantengan a pesar de los periodos más cálidos.

Las nieves que no se derriten por la acción del sol y del resto de factores se denominan nieves perpetuas, según la latitud a la que se encuentre el glaciar la línea de nieves perpetuas estará a mayor o menor altura, es decir, la altitud de las nieves perpetuas del Kilimanjaro en Tanzania, es mucho mayor que la que se encuentran en países templados y ésta a su vez mayor que en los polos.

El hielo se fundirá en primavera, o bien se puede desplazar a través de lenguas, desprendimientos u otros movimientos que impliquen un desplazamiento de las masas de hielo hacia zonas más cálidas que permitan la fusión del agua y la creación de escorrentías aluviales sobre la superficie como agua de deshielo, llegando gran parte a los océanos y mares.



La precipitación, no obstante, suele ser en forma de lluvia y dada la relativa escasez de tierra emergida suele caer en los océanos u otras masas de agua, donde podría volver a evaporarse por la acción de la radiación solar, con lo que volveríamos a lo que hemos establecido como principio del ciclo del agua, o bien permanecer y formar parte de las diferentes corrientes oceánicas o marinas.



Las **corrientes oceánicas** son desplazamientos de masas de agua dentro de los océanos principalmente y de los mares más extensos en menor medida, como si fueran ríos.

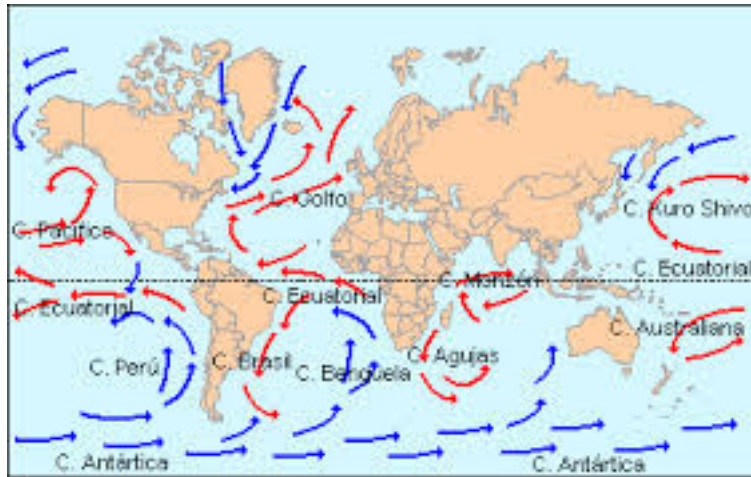
---

Los principales agentes dinamizadores de las corrientes superficiales son la acción giratoria de la Tierra, los vientos predominantes (los cuales a su vez están determinados por la latitud, la misma acción giratoria de la Tierra y muchos otros factores) y las surgencias. Estos factores transmiten gran cantidad de energía a los océanos, generando corrientes convectivas oceánicas en forma de bucles a favor de las agujas del reloj en el hemisferio norte (cercanía al Trópico de Cáncer) y contra-horarias en el hemisferio sur (Trópico de Capricornio).

La existencia de estos flujos de agua circulante a diferentes condiciones de temperatura (y otros parámetros como la salinidad) que las de la masa de agua matriz genera, de manera compensatoria, corrientes submarinas, de manera que si el flujo superficial es de oeste a este a nivel subsuperficial se produce un movimiento compensatorio de este a oeste.

Las corrientes de profundidad son las generadas por debajo de la piconclina (término que indica la capa de agua que súbitamente cambia su temperatura y salinidad, normalmente situada a un kilómetro de profundidad) y da origen a surgencias de aguas profundas, y por lo tanto frías, en las costas occidentales de los continentes en las latitudes intertropicales y subtropicales.

Estas surgencias a su vez provocan que se desplace el agua superficial, de manera que se cierran las corrientes convectiva oceánicas.



## Corrientes oceánicas

La temperatura no influye en las corrientes oceánicas profundas dado que la enorme presión a la que están sometidas homogeneiza la temperatura alrededor de la temperatura de máxima densidad del agua (es decir, 4°C, con una densidad de 1 gr/cm<sup>3</sup>).



## Importante

Esta característica del agua tiene consecuencias muy importantes sobre las corrientes marinas, y en general para el comportamiento del agua en las diferentes fases del ciclo y de la Vida tal como la conocemos.

A diferencia del resto de sustancias (aceites, metales, etc.), el agua no alcanza su máxima densidad en estado sólido (0° C para el agua dulce y unos -2°C para el agua de mar) sino en estado líquido y a 4° C.

Al ser el hielo menos denso que el agua éste flota y permite que el resto del agua se mantenga líquida y por tanto pueda albergar vida en su interior. De no ser así la fracción sólida se hundiría y facilitaría la congelación del resto de la

fracción líquida superior, lo que acabaría facilitando la congelación completa de las masas de agua.

Las corrientes oceánicas se pueden clasificar también, atendiendo a su temperatura, en cálidas o frías.

Las primeras provienen de la zona de los trópicos, y se dan principalmente en el hemisferio norte, yendo de las costas continentales orientales hacia el norte, en dirección contraria al giro terrestre. Estas corrientes no son predominantes en el sur ya que no se encuentran apenas tierras emergidas en las franjas correspondientes a los climas templados y fríos.

Las frías sí siguen la dirección de la rotación terrestre, desde las costas continentales occidentales hacia el oeste.

A niveles más locales y en masas de agua más pequeñas (lagos, etc.) la insolación es un factor importante, ya que provoca el aumento de la temperatura del agua superficial y por tanto un descenso en la densidad, de esta manera se dificulta el descenso de esta capa a niveles de aguas más frías y densas, favoreciendo a su vez recibir más insolación.

Esto genera un círculo vicioso donde la capa más superficial de agua ve modificada su temperatura a medida que transcurre el día, mientras que la capa inferior se mantiene relativamente estable.

En caso de precipitarse sobre la tierra el agua, por efecto de la gravedad, discurrirá sobre la superficie como escorrentía pluvial, se infiltrará o será asimilada por la biota.

En el primer supuesto se formarán las aguas superficiales continentales, las cuales se subdividen enóticas y lénticas.

Las masas de aguas superficiales lólicas o corrientes fluyen en su mayor parte sobre la superficie del suelo (en las depresiones del terreno), pudiendo fluir bajo tierra en parte de su curso y se incluyen ríos, arroyos y cauces de caudal discontinuo como barrancos. En este momento del ciclo el agua permanece durante un período aproximado de diez días de media hasta su desembocadura en un lago endorreico (uno que no evacua cantidades importantes de agua ni por desagüe superficial ni por infiltración) mar u océano.

Cuando el agua está próxima a su desembocadura se va salinizando como consecuencia de la exposición al agua costera, conociéndose como aguas de transición.



Las **acumulaciones de agua quietas** o **lénticas** son masas que pueden o no estar estancadas como lagos, lagunas, humedales y pantanos, cuyo período de permanencia es muy variable.

---

Otra fracción significativa acaba infiltrándose al terreno. Parte de esta agua es tomada por las raíces de las plantas (biosfera) a poca profundidad y transpirada a través de la superficie de las hojas, regresando a la atmósfera y otra parte de estas permanece en las capas inferiores del suelo (unos dos meses aproximados, según estimaciones), y es cedida a otros cuerpos de agua (mar, ríos, etc.) como descarga de agua subterránea.

Dentro del apartado de la biosfera, se pueden incluir todos los seres vivos, que al estar basados en el agua, participan en el ciclo mediante la transpiración, metabolización y demás procesos (con un tiempo de residencia aproximado de una semana).

En el caso de que las aguas se infiltren bajo la zona de saturación se almacenan en contacto directo con el suelo o el subsuelo pudiendo eventualmente emerger en aperturas o filtraciones en la superficie terrestre como manantiales de agua dulce.

Parte de estas aguas subterráneas se queda almacenada, recargando los acuíferos con grandes cantidades de agua dulce por largos períodos de tiempo.

Cerrando el ciclo del agua en los océanos y mares, donde el sol, principal impulsor energético del ciclo conjuntamente con la gravedad terrestre, calienta la superficie, provoca la evaporación de vuelta a la atmósfera del agua en su fracción gaseosa.

La influencia del ser humano (antroposfera) es determinante, especialmente en las últimas décadas, en la parte correspondiente al ciclo integral del agua será estudiada convenientemente.