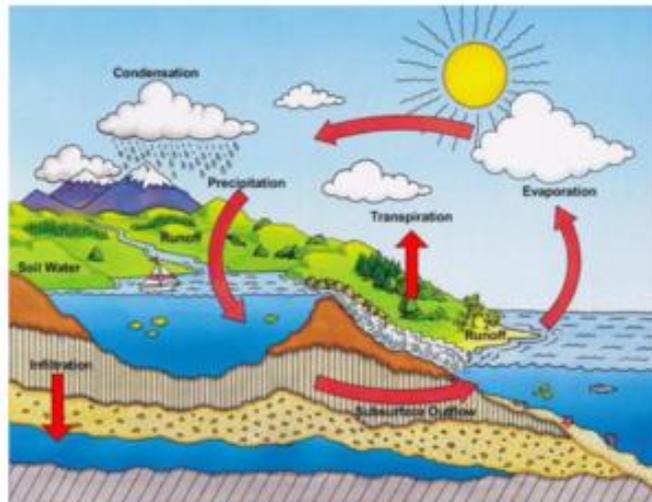


TEMA 10

EL CICLO DEL AGUA AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS BALANCE HÍDRICO



Ciclo hidrológico



Se denomina **Ciclo Hidrológico** al movimiento general del agua, ascendente por evaporación y descendente primero por las precipitaciones y después en forma de escorrentía superficial y subterránea.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. Introducción general
2. La hidrosfera
3. El ciclo del agua
 - 3.1 Introducción. Definición ciclo hidrológico
 - 3.2 Componentes del ciclo hidrológico
4. Balance hídrico

1. Introducción general



La hidrosfera es una de las capas fluidas que envuelve la Tierra. Está constituida por agua líquida, aunque también contiene, como componente sólido, y las nubes, como emulsiones de pequeñas gotitas de agua o cristales de hielo.

El agua cubre casi las tres cuartas partes de la superficie de nuestro planeta. Los principales almacenes de agua son: los océanos (con el 97,2% del volumen total), los glaciares (2,2%), las aguas subterráneas (0,6%), y los ríos y lagos, que almacenan el 0,002%. La atmósfera contiene el 0,001%. Estas cifras son orientativas y varían ligeramente según autores.

1. Introducción general

La mayor parte del agua presente en la hidrosfera está conectada configurando un ciclo cerrado, denominado ciclo hidrológico o ciclo del agua. La energía solar es la principal responsable de la movilización de los recursos de agua en el ciclo hidrológico.

El desarrollo de la sociedad actual ha provocado que los recursos hídricos se encuentren parcial o totalmente contaminados, según las zonas.

Con objeto de mitigar el porcentaje de contaminación de las aguas, se están desarrollando diversos métodos de depuración de las mismas, los cuales dependen del tipo y características del agente contaminante.



1. Introducción general

- El agua como recurso

El agua es uno de los recursos determinantes para la humanidad y el desarrollo de la vida.

Dependemos del agua, no solo el consumo doméstico, que supone un 10% del consumo total de agua, sino también para diversas actividades, como la agricultura (70% del consumo total) o la industria (20% del consumo total).

El agua dulce accesible para la humanidad representa una pequeña parte de la hidrosfera, y de ella una ínfima parte es la que se consigue captar, por eso el término más preciso para evaluar la disponibilidad del agua es el de **recursos hídricos renovables**, que se refiere a la cantidad de aguas dulces superficiales y subterráneas de una determinada zona geográfica (normalmente una cuenca hidrográfica o un país), que se renuevan anualmente.

1. Introducción general

- El agua como recurso

En teoría la cantidad de agua disponible sobre la Tierra, es capaz de mantener a una población de unos 20.000 millones de personas, pero a pesar de ser un recurso renovable, es un **recurso limitado**, por varias razones:

- La cantidad de agua disponible está condicionada por su desigual distribución en el espacio y en el tiempo.
- El aumento de consumo de agua, debido al aumento de población y a la mayor demanda en la agricultura, ganadería e industria, ha llevado a su **sobreexplotación**, reduciéndose las reservas de agua, fundamentalmente de los acuíferos subterráneos.
- La pérdida de la calidad del agua por la **contaminación** hace disminuir los recursos hídricos disponibles

1. Introducción general

- Recursos hídricos en España

En España se contabiliza una precipitación media anual de 682 mm, lo que representa unas entradas de 346.000 hm³, pero la sequedad de nuestro país produce una evapotranspiración de 235.000 hm³, de lo que resulta una escorrentía de 111.000 hm³ (220 mm/año), aproximadamente un tercio de la precipitación. Esta aportación incluye el agua de la red fluvial, o sea, la escorrentía superficial directa más el drenaje de los acuíferos (109.000 hm³/año) y la escorrentía subterránea al mar (2.000 hm³/año) que no se aprovecha.

Estas cifras indican que la disponibilidad máxima teórica de agua alcanza los 2.800 m³/hab./año, algo **más de la tercera parte del promedio mundial**. Pero, lo realmente grave es que la **distribución del agua en el espacio y en el tiempo es muy irregular**.

1. Introducción general

- Recursos hídricos en España

En la vertiente Norte, seguida a bastante distancia por el Pirineo Oriental es donde se alcanzan los valores más altos, mientras que la cuenca Sur (Guadalquivir y Segura), Canarias y Baleares son las que reciben menos precipitaciones y son deficitarias. Además la irregularidad temporal (marcados ciclos interanuales, originalidad del clima mediterráneo) impide que los recursos puedan ser totalmente aprovechados. Así, si no se alterara artificialmente el régimen natural, sólo sería posible explotar un 10%, no obstante gracias a la regulación de los caudales, las extracciones de agua subterránea y los trasvases, el aprovechamiento llega al 40%, por lo que el agua realmente disponible equivale a unos 1.025 m³/hab./año.

1. Introducción general

- Recursos hídricos en España

Problemas de agua en España

1. Alteraciones antropogénicas del ciclo hidrológico: Deforestación desmedida; Erosión; Desertización de las cuencas hidrológicas; Contaminación atmosférica
2. Distribución hidrográfica irregular: Fenómenos torrenciales; Inundaciones.
3. Aumento continuo de la demanda: Aumento de la población; Incremento cuantitativo del consumo per cápita.
4. Utilización irracional y contaminación del recurso: Vertido de efluentes sin tratar; El despilfarro y “el mal gastar”; La sobreexplotación de acuíferos

2. La hidrosfera



Concepto: es la capa de agua que se encuentra bajo la atmósfera y sobre y en la geosfera, puesto que también penetra en ella (aunque como mucho algunos kilómetros). El agua nunca es pura ya que en mayor o en menor medida contiene solutos disueltos y partículas en suspensión. De la concentración de estas disoluciones surge la clasificación en aguas dulces, saladas o salobres. El agua cambia de estado con facilidad en las condiciones que reinan en la Tierra, por lo que continuamente pasa de un subsistema a otro (atmósfera, geosfera y biosfera).

2. La hidrosfera

Todas las aguas del planeta forman la hidrosfera, la capa fluida que cubre el 71% de la superficie terrestre y que, desde el espacio, se ve como la característica más distintiva de la Tierra.

La hidrosfera está formada por los océanos y las aguas continentales, ya sean éstas de ríos, lagos o aguas subterráneas, y por los hielos polares y de las montañas. Esta agua se encuentra en constante movimiento, tanto por la superficie de la Tierra como por la atmósfera, donde llega mediante la evaporación. Este ciclo es tan activo que constituye el mayor movimiento de masas de materia en nuestro planeta, y afecta no sólo al agua, sino también a los materiales que forman la geosfera. Éstos son erosionados, arrastrados y disueltos por el agua, transportados y depositados en lugares lejanos. En buena medida, el agua es responsable del aspecto del relieve en muchos puntos de la Tierra.

El agua es el ambiente en el que viven y se mueven una gran cantidad de seres vivos. De todos los conjuntos o almacenes de agua que hay en el planeta, el más extenso y profundo es el océano. Su profundidad media es de casi 4.000 m, pero en muchos puntos (las fosas oceánicas) supera los 10.000 m. A su lado, el resto de los almacenes de agua del planeta son insignificantes.

2. La hidrosfera

Distribución de agua en la hidrosfera

La cantidad de agua presente en la hidrosfera puede considerarse constante (unos 1.356 millones de kilómetros cúbicos). Este agua no se distribuye de manera uniforme a lo largo y ancho del planeta (si así lo hiciera, y la superficie sólida no tuviera relieve, se estima que tendríamos una capa de unos tres kilómetros de espesor).

Se consideran **seis compartimentos o sistemas acuáticos**, cada uno de ellos con características propias, pero todos más o menos interrelacionados y que son: océanos, depósitos de hielo, aguas subterráneas, aguas superficiales, atmósfera y biosfera.

2. La hidrosfera

De modo aproximado, se estima que del total de las aguas de la hidrosfera, el **97%** está contenido en los **mares y océanos**. Como sabemos es agua salada. Por consiguiente queda un **3%** de agua no marina y que podríamos denominar agua dulce.

De esta última, un **79%** está en forma de hielo en los casquetes polares y en menor medida en las altas cumbres y glaciares de latitudes más bajas que los polos (glaciares de los Alpes, por ejemplo). Del **21%** restante (agua dulce líquida), el **95%** es agua subterránea y el **5%** que queda, podría definirse como agua superficial.

Dentro de esta escasa cantidad, proporcionalmente hablando, hay que distinguir entre los lagos (**50%**), agua edáfica o integrante del suelo (**38%**) y que no debe ser confundida con las aguas subterráneas, agua atmosférica en estado de vapor (**10%**), ríos (**1%**) y biosfera, como integrante de los seres vivos (**1%**).

2. La hidrosfera

Como **resumen y reflexión**, pensemos que casi toda el agua de que disponemos o es salada o está helada y que el agua continental, la que más utilizamos como recurso, no es más que una mínima parte.

Por otro lado, llama la atención que las aguas subterráneas son mucho más abundantes que las aguas de escorrentía superficial (ríos y lagos).



3. El ciclo del agua

3.1 Introducción. Definición ciclo hidrológico

El agua no permanece estacionaria sobre la Tierra, sino que se establece una circulación del agua entre los océanos, la atmósfera y la litosfera-biosfera de forma permanente. El concepto de ciclo se basa en el permanente movimiento o transferencia de las masas de agua, tanto de un punto del planeta a otro como entre sus diferentes estados (líquido, gaseoso y sólido). Este flujo de agua se produce por dos causas principales: la energía solar y la gravedad.

El **ciclo hidrológico** se podría definir como el *proceso que describe la ubicación y el movimiento del agua en nuestro planeta*. Es un proceso continuo en el que una partícula de agua evaporada del océano vuelve a éste después de pasar por las etapas de precipitación, escorrentía superficial y/o escorrentía subterránea (Figura 1).



3. El ciclo del agua

3.1 Introducción. Definición ciclo hidrológico

A partir de los lagos, ríos, mares y océanos, o bien a través de la vegetación por transpiración, el agua en forma de vapor pasa a la atmósfera cargando el aire de humedad. Cuando el vapor de agua se enfría, se condensa formando las nubes, desde donde retornará a la superficie del planeta en forma de precipitación, como lluvia, nieve, granizo, rocío o escarcha. Una vez en la superficie de la tierra, el agua circulará por la superficie de terreno, como escorrentía superficial, o pasará a formar parte de los acuíferos, como escorrentía subterránea.



3. El ciclo del agua

3.2 Componentes del ciclo hidrológico

Precipitación

La precipitación es agua liberada desde las nubes en forma de lluvia, aguanieve, nieve o granizo, aunque la mayor parte de la precipitación se produce en forma de lluvia. Representa uno de los componentes principales del ciclo hidrológico. Los aparatos destinados a la medida de la precipitación se denominan pluviómetros. La unidad de medida suele ser el milímetro, que representa la altura que alcanza un litro en un prisma que tenga una base de un metro cuadrado de superficie. Por tanto, 1 mm equivale a 1 l/m².



3. El ciclo del agua

3.2 Componentes del ciclo hidrológico

Evaporación

La evaporación es el principal proceso por el cual el agua cambia de estado líquido a gaseoso mediante la energía calorífica, normalmente producida por el Sol. Diversos estudios han demostrado que los océanos, mares, lagos y ríos proveen alrededor del 90% de humedad a la atmósfera, vía evaporación; el restante 10% proviene de la transpiración de las plantas. Del agua caída durante la precipitación sobre los continentes, parte se evapora desde la superficie del suelo y otra parte queda retenida sobre las hojas de los árboles. A este último fenómeno se le denomina «interceptación» y en lluvias de corta duración sobre zonas de bosque este fenómeno puede devolver a la atmósfera una gran parte del agua precipitada, sin que ésta haya tocado el suelo.



3. El ciclo del agua

3.2 Componentes del ciclo hidrológico

Evapotranspiración

La evapotranspiración es un término que se aplica sólo a un área de terreno cubierto de vegetación, ya que de lo contrario se trataría de evaporación. Se define como el resultado del proceso por el cual el agua cambia de estado líquido a gaseoso, y directamente, a través de las plantas, vuelve a la atmósfera en forma de vapor. Se expresa en milímetros. En condiciones naturales es muy difícil medir aisladamente la evaporación y la transpiración; por ello el concepto de evapotranspiración aúna ambos fenómenos.



3. El ciclo del agua

3.2 Componentes del ciclo hidrológico

Escorrentía

Es la fracción de la precipitación caída en una cuenca vertiente que escapa a la evapotranspiración y circula superficial y subterráneamente.

■ Escorrentía superficial

Se refiere al agua que circula sobre la superficie del terreno, bien de forma difusa o canalizada por río y arroyos. En determinado tipo de suelos el agua puede circular justo por debajo de la superficie, moviéndose con la misma dirección y sentido que la escorrentía superficial (paralela a ella). En este caso se habla de escorrentía subsuperficial o hipodérmica.

■ Escorrentía subterránea

Es el agua que circula por el interior de las formaciones geológicas. Tras la precipitación, una vez que el agua se pone en contacto con la superficie de la tierra, puede movilizarse y distribuirse por alguna de las siguientes zonas:

- **Suelo edáfico.** Se corresponde con la parte más superficial, con frecuencia suelo edáfico. Su capacidad para retener agua viene determinada por su capacidad de campo, que puede definirse como la máxima cantidad de agua que es capaz de almacenar un suelo una vez que ha sido drenada el agua gravífica. El término de agua gravífica hace referencia al volumen de agua drenada por gravedad en un suelo.
- **Zona no saturada.** Comprende la zona que hay desde la superficie del terreno hasta el límite superior de la zona saturada o nivel freático. En ella los poros están ocupados por aire y agua.
- **Infiltración.** La infiltración es el proceso por el cual el agua penetra en el suelo a través de la superficie de la tierra, y bien queda retenida por él, o bien alcanza un nivel acuífero incrementando el volumen acumulado anteriormente. Superada la capacidad de campo del suelo, el agua desciende por acción conjunta de las fuerzas capilares y de la gravedad.
- **Zona saturada.** Comprende desde el nivel freático o límite superior de la zona saturada, hasta el límite impermeable del acuífero, cuya posición y geometría dependerá de la litología y estructura geológica. Representa el agua almacenada en los acuíferos y es por donde tiene lugar la escorrentía subterránea.

3. El ciclo del agua

3.2 Componentes del ciclo hidrológico

En función de la permeabilidad de las rocas por las que circula el agua subterránea, de la capacidad de almacenamiento y de la capacidad de transmisión de agua, se pueden definir los siguientes términos:

- **Acuífero:** Formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable y que permite que circule a través de ella con facilidad. Ejemplos: Arenas, gravas. También granito u otra roca compacta.
- **Acuicludo:** Formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable y que no permite que el agua circule a través de ella. Ejemplo: limos y arcillas.
- **Acuitardo:** Formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable pero que el agua circula a través de ella con dificultad. Concepto intermedio entre las dos anteriores. Ejemplos: arenas arcillosas y areniscas.
- **Acuífugo:** Formación geológica que no contiene agua porque no permite que circule a través de ella. Ejemplos: granito o esquistos inalterados y no fracturados.

4. Balance hídrico

Para conocer las disponibilidades de agua de una cuenca hidrográfica, acuífero, país, ..., es preciso conocer el **balance hídrico** del sistema en cuestión, que se define como la cuantificación de las entradas y salidas de agua en el sistema en un tiempo determinado.

El **período de tiempo considerado es el “año hidrológico”**, que comprende los doce meses siguientes a la época en que las precipitaciones y el almacenamiento son mínimos; en España comprende del 1 de septiembre al 30 de agosto del año siguiente.

Ordinariamente se cumple que las entradas de agua en la cuenca son iguales a las salidas. Las entradas se deben a las precipitaciones (P), mientras que las salidas se producen por evapotranspiración (ET) y por escorrentía total (ES), tanto superficial como subterránea.

En su forma más simple se expresa mediante la ecuación **$P = ET + ES$**

4. Balance hídrico

Los resultados de los balances se suelen expresar en términos relativos, como porcentajes de la precipitación.

Así, el balance hídrico en España es:

$$P (100\%) = ET (66\%) + ES (34\%)$$

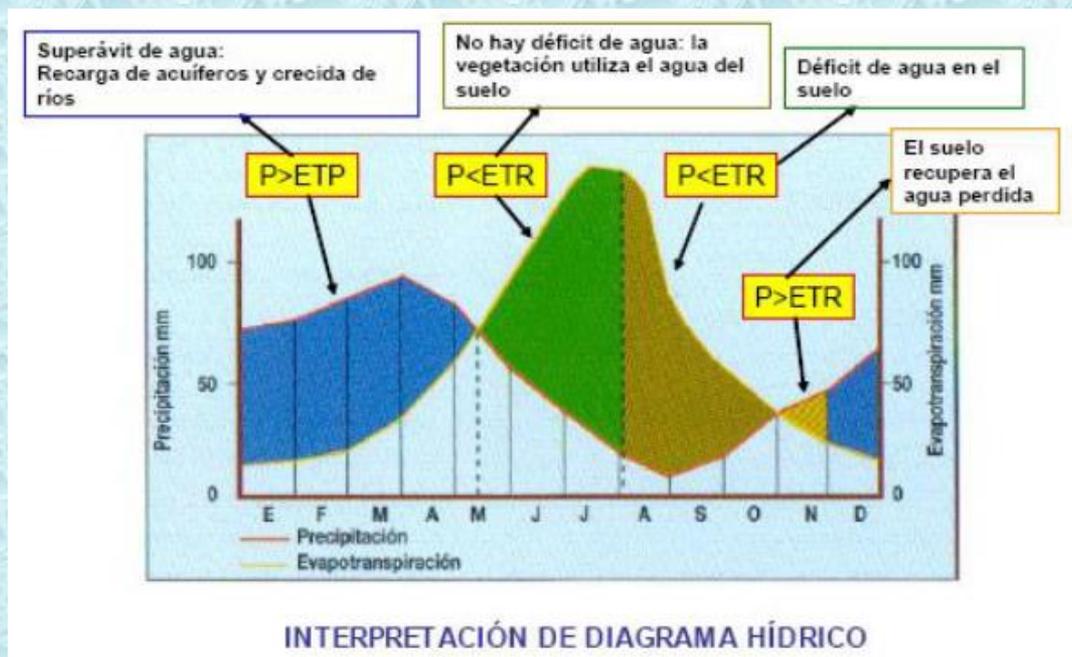
A las entradas de agua hay que sumar o restar el volumen de agua almacenada (V) en el sistema, por lo que la ecuación quedaría:

$$P = ET + ES \pm V$$

Para un período largo de tiempo el volumen de agua almacenada se puede despreciar, pues es constante. El valor medio de la diferencia entre P y ET constituye los **recursos hídricos renovables**.

4. Balance hídrico

El balance hídrico se puede representar gráficamente mediante un **diagrama hídrico**, en el que se compara la evapotranspiración (potencial y real) con la precipitación, en un tiempo determinado, generalmente mensual. Los diagramas hídricos nos permiten conocer el exceso o déficit probable de agua disponible en el suelo y así poder planificar el riego, el tipo de cultivos, etc. Además es importante para evaluar los recursos hídricos disponibles.



4. Balance hídrico

Otros conceptos:

- Evapotranspiración Potencial (ETP): es la cantidad máxima posible de agua que perdería el suelo por evaporación y transpiración, suponiendo que este estuviera saturado. Por ej: campo de cultivo bien regado, área con vegetación natural en un periodo de suficientes precipitaciones.
- Evapotranspiración real (ETR): es la que se produce realmente bajo las condiciones meteorológicas, de humedad de suelo y de vegetación existentes en un lugar y durante un tiempo dado.
- NOTAR QUE: **$ETR \leq ETP$** !