

HIDROLOGÍA APLICADA

TEMA 1. INTRODUCCIÓN



Estilita Ruiz Romera

Miren Martínez Santos

TEMA 1. INTRODUCCIÓN

El agua además de ser el elemento químico más abundante en la superficie terrestre es, a su vez, el principal constituyente de los seres vivos. Sin embargo, el agua no sólo juega un rol importante en el desarrollo de la vida sino que también interviene activamente moldeando la superficie terrestre, mediante los procesos de erosión y transporte de materiales, y es un factor clave en la aclimatación de nuestro planeta.

Por su parte, el incremento de la población terrestre en las últimas décadas implica una mayor demanda del recurso agua, de manera que en algunas áreas del planeta el agua empleada se aproxima a la demanda máxima. Además, junto a esta problemática, muchos núcleos urbanos se asientan en los valles y riberas de los ríos, con lo que los efectos destructivos de las grandes avenidas resultan devastadores, provocando importantes pérdidas personales y económicas. Los cambios en la distribución, circulación y temperatura del agua pueden tener efectos devastadores sobre el planeta; las glaciaciones, por ejemplo, fueron una manifestación de tales efectos. Es por todo ello que la hidrología se ha convertido en una materia de gran importancia para el ser humano y su entorno.

La hidrología es, por tanto, una rama de la ciencia que estudia el agua en la naturaleza: sus propiedades físicas, químicas y mecánicas, su distribución y circulación en la superficie terrestre y atmósfera, así como su interacción con el ambiente y los seres vivos. Entre las aplicaciones prácticas de la hidrología se encuentran, entre otras, las siguientes:

- Control de inundaciones y sequías, erosión y transporte de sedimentos.
- Abastecimiento de agua a una población, industria o un cultivo.
- Tratamiento y disposición de aguas residuales.

1.1. Ciclo Hidrológico

El agua existe en un espacio llamado hidrosfera, la cual se extiende desde unos 15 km arriba en la atmósfera hasta 1 km por debajo de la corteza terrestre. El agua que circula por la hidrosfera constituye el ciclo hidrológico. El concepto de ciclo hidrológico lleva consigo el movimiento o transferencia de las masas de agua (sólido, líquido o vapor) a través de distintas vías o caminos. El ciclo completo es un sistema "cuasicerrado" con un único aporte de energía externa en forma de radiación solar. No obstante, si nos referimos al ciclo hidrológico para una cuenca hidrográfica nos situaremos ante un

sistema abierto con entradas y salidas donde se consideran los factores de energía, precipitación, escorrentía y evapotranspiración.

El ciclo se inicia cuando por acción de la radiación solar el agua de los océanos o de la superficie terrestre se evapora (figura 1.1). Parte del vapor de agua se eleva a la atmósfera donde se condensa y da lugar a precipitaciones en forma de agua o nieve. El agua precipitada puede ser *interceptada* por la vegetación, otra parte puede convertirse en *flujo superficial* sobre el suelo, infiltrarse en él, transportarse por el suelo como *flujo subsuperficial* y descargar a los ríos como *escorrentía superficial*. El agua infiltrada también puede *percolarse* profundamente hasta recargar los acuíferos, los cuales a su vez pueden descargar en los manantiales o en los ríos.

El agua almacenada en la zona no saturada del suelo puede también retornar a la atmósfera por medio del proceso de *evaporación* o bien a través de la *transpiración* de las plantas. No es fácil separar ambos fenómenos (evaporación y transpiración) por lo que en numerosas ocasiones se calcula la *evapotranspiración* en su conjunto.

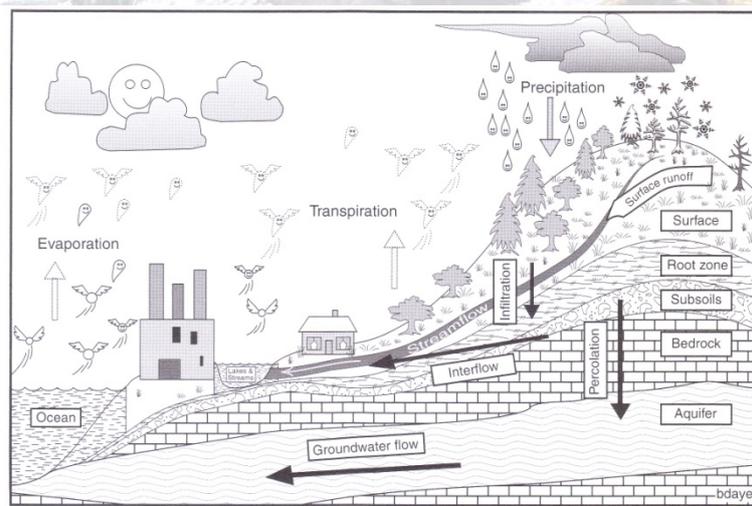


Figura 1.1. Ciclo Hidrológico (fuente: Ward and Trimble, 2004)

Así pues, el ciclo hidrológico es un proceso continuo en el que una partícula de agua evaporada del océano vuelve al mismo después de pasar por las etapas de precipitación y escorrentía superficial o subterránea. Podemos, por lo tanto, considerar que la cantidad de agua será constante, si bien el movimiento del agua en el ciclo es irregular, tanto en el espacio como en el tiempo. Así por ejemplo, en las regiones desérticas la lluvia puede darse en unos pocos días y no todos los años, con lo que la infiltración y la evaporación suelen ser casi tan irregulares como la lluvia, y la escorrentía superficial o subterránea son prácticamente inexistentes.

La distribución del agua en la Tierra es la siguiente, un 96.5% del agua se encuentra en los océanos, el 1.7% se encuentra en los casquetes polares, otro 1.7% en reservas subterráneas y únicamente el 0.1% en los sistemas de agua superficial y atmosférica. La gran mayoría del agua dulce de la Tierra se encuentra en los hielos polares (dos terceras partes) y el resto es agua subterránea. Por otra parte, se estima que el agua biológica, fijada en los organismos vivos, representa cerca del 0.003% de toda el agua dulce.

1.2. Ecuación del Balance Hídrico

El balance hídrico tiene por objeto cuantificar los recursos y volúmenes de agua del ciclo hidrológico de acuerdo con el axioma de Lavoisier: “nada se crea ni se destruye, sólo se transforma”. Este axioma en dinámica de fluidos se conoce como la ecuación de la continuidad. También permite establecer relaciones entre las distintas variables hidrológicas.

La ecuación de la continuidad se basa en que la diferencia que se produce entre las entradas y las salidas de agua se traduce en el agua que queda almacenada.

$$\text{Entradas} - \text{Salidas} = \text{Variación en el almacenamiento}$$

Generalmente se considera que, para tiempos suficientemente largos, se llegan a establecer condiciones de equilibrio entre las entradas y salidas y en consecuencia la variación en el almacenamiento es nula. Según esta hipótesis la ecuación quedaría:

$$P = E + ETR$$

$$E = ES + ED$$

Siendo:

P precipitación

E escorrentía total

ETR evapotranspiración real (evaporación + consumo vegetal)

ES escorrentía subterránea o descarga de los acuíferos a ríos, lagos o mar (equivalente a la infiltración)

ED escorrentía directa o superficial (inmediatamente posterior a las precipitaciones)

El balance hídrico anual para la Península Ibérica arroja unos valores de precipitación (P) de 334 km³ y una evapotranspiración (ETR) aproximada de 221 km³; asimismo, se estima una escorrentía subterránea (ES) de 21 km³, una aportación subterránea (AS)

de 16 km³, una descarga subterránea al mar (DSM) de 5 km³ y una aportación de los ríos al mar (AR) de 118 km³ que queda repartida de la siguiente manera:

Vertiente atlántica	91 km ³
Vertiente mediterránea	27 km ³

La distribución de las precipitaciones en la Península viene caracterizada por su irregularidad espacial y temporal. Esto hace que sea más apropiado definir el balance hídrico a partir de un análisis estadístico extendido a varios años y no establecerlo para un año determinado.

1.3. Elementos del balance hídrico

Para realizar un balance hídrico lo principal es la adquisición de datos, por lo cual se requiere que ésta se haga de la forma más precisa posible.

Se deben recoger datos de:

- PRECIPITACIÓN (**P**): Se mide en las estaciones meteorológicas mediante *pluviómetros*.
- EVAPOTRANSPIRACIÓN (**ET**): Se determina mediante *cálculos* basados en la temperatura y humedad de la atmósfera y del suelo.
- ESCORRENTÍA SUPERFICIAL o DIRECTA (**ED**): Se determina por *aforos* de cursos fluviales.
- ESCORRENTÍA SUBTERRÁNEA o DE INFILTRACIÓN (**ES**): Se calcula por *diferencia*, una vez conocidos los demás términos del balance hídrico, o por *cálculos* y *experiencias* basados en la porosidad y permeabilidad de diferentes rocas.

Establecimiento del balance hídrico

El establecimiento del balance hídrico en una cuenca o en una región determinada permite obtener información sobre:

- El volumen anual de escorrentía o excedentes.
- El periodo en el que se produce el excedente y por tanto la infiltración o recarga al acuífero.
- Periodo en el que se produce un déficit de agua o sequía y el cálculo de la demanda de agua para riego en ese periodo.

- Cálculo de la ETR.

El balance hídrico permite el siguiente planteamiento:

$$P = ETR + EX + \Delta R$$

Siendo:

- P** precipitación (en mm)
- ETR** evapotranspiración real (en mm)
- EX** excedentes de agua (escorrentía + infiltración) (en mm)
- ΔR** variación de la reserva de agua utilizable por las plantas (en mm)

La ETR se calcula mediante el balance hídrico o mediante fórmulas empíricas (de Coutagne, de Turc, o de Makkink) o directamente mediante *evapotranspirómetros*. El cálculo de la ETP se realiza mediante la aplicación de fórmulas empíricas (de Penman, de Thornthwaite, de Blaney-Criddle, de Turc, de Makkink, entre otros)

Para establecer el balance hídrico se necesitan los datos de:

- Las precipitaciones medias anuales (con una serie de 5-10 años) del máximo de estaciones meteorológicas disponibles.
- La evapotranspiración potencial media anual (de la misma serie de años)
- La reserva de agua útil (RU) o el agua que puede almacenar el suelo y ser utilizada por las plantas.

Depende del tipo de suelo, de su capacidad de campo (CC, es el contenido de agua o grado de humedad de un suelo que ha sido saturado y que, posteriormente, ha perdido toda su agua gravitacional) y del punto de marchitez (PM, grado de humedad mínima de un suelo en el cual una planta no puede seguir extrayendo agua). Esto quiere decir que la fuerza de succión de las raíces no supera a la fuerza con la que dicho suelo retiene el agua.

Estos datos se pueden obtener experimentalmente o, conociendo el tipo de suelo, mediante tablas. El cálculo del balance hídrico comienza en octubre, cuando comienza el año hidrológico. Durante el primer mes se puede considerar que el suelo está a *capacidad de campo* (reserva completa) o que está seco. Mes a mes se va obteniendo la ETR que será igual a la ETP cuando ésta sea menor que las precipitaciones o cuando exista agua en la reserva del suelo para llegar a la ETP. Cuando la ETP es mayor que las precipitaciones, la ETR sólo puede llegar a ser igual a la ETP si existe

agua suficiente en la reserva del suelo, o como máximo llegará al valor de la precipitación.

La diferencia entre P y ETP supone una variación en la reserva del suelo, de manera que si es positiva se sumará a la reserva del mes anterior hasta que ésta esté completa, mientras que si es negativa se restará a dicha reserva. Si la reserva de agua se completa, lo que sobra formará parte de los excedentes, mientras que si falta agua en la reserva para alcanzar la ETP, esto constituye el déficit.

Una vez acabado el cálculo mensual se realiza la suma total anual de la P, ETP, ETR, excedentes y déficit y se debe cumplir:

$$P = ETR + \text{EXCEDENTES}$$

$$ETP = ETR + \text{DÉFICITS}$$

El valor de la ETR anual se compara con el obtenido mediante algunas de las fórmulas empíricas antes citadas y se decide qué valor de la reserva de agua útil es el más correcto.

Una vez realizado el balance se representa gráficamente para establecer el periodo de recarga o de infiltración hacia los acuíferos, el periodo de sequía o de déficit y el periodo de utilización de la reserva de agua del suelo.

El Balance Hidráulico o Hídrico puede ser general, incluyendo aguas superficiales y subterráneas, o puede ser parcial (sólo de aguas superficiales o subterráneas, del agua del suelo, de una única porción del sistema, etc.)

Dado que la ecuación del balance se va aplicar siempre a una determinada unidad hidrogeográfica será necesario:

- * Definir una cuenca (superficie de tierra que drena hacia una corriente de agua en un lugar dado) o definir una unidad hidrogeológica (conjunto de formaciones geológicas cuyo funcionamiento hidrogeológico conviene considerar conjuntamente. Dentro de una unidad puede haber uno o varios acuíferos que están conectados entre sí).
- * Fijar un tiempo de medida (como mínimo se suele tomar un año)

Los datos que se requieren para aplicar la ecuación de Balance Hídrico comprenden:

- * Registros de caudales-corrientes.
- * Registros de precipitación.

- * Mapas topográficos.
- * Datos de aguas subterráneas.
- * Datos de evaporación y transpiración.
- * Datos de calidad en la demanda disponible.

Estos datos pueden dividirse en dos grandes grupos. El primero incluye registros de factores variables, los cuales muestran una variación temporal cualitativa o cuantitativa en la demanda, por ejemplo el caudal y la precipitación. Un segundo grupo incluiría datos de carácter más o menos permanente, tales como los mapas topográficos de las cuencas. Así pues, para obtener datos del primer grupo se necesitaran largos períodos de tiempo, y el valor de estos registros incrementa directamente con la longitud del período cubierto. El segundo grupo de datos no variará con el tiempo y por lo tanto será posible obtenerlos en un plazo de tiempo relativamente corto.

1.4. Demanda y usos del agua

Se pueden diferenciar dos categorías dentro de la utilización de los recursos hídricos:

- **Usos consuntivos:** el volumen que entra es diferente del que se devuelve. Este agua se utiliza para obtener productos industriales y/o agrícolas, así como para el abastecimiento de poblaciones
- **Usos no consuntivos:** se aprovecha la energía del agua en movimiento (*hidroenergía*) o se utiliza como medio (transporte acuático, piscicultura), así como elemento del paisaje (para fines deportivos, recreativos) sin alterar su cantidad ni, a veces, su calidad.

Los recursos más utilizados son las aguas superficiales relegando las aguas subterráneas a un segundo plano, a pesar de su importancia.

Según datos aportados por la UNESCO, a escala mundial la superficie total de agua embalsada es de unos 300.000 km², con una capacidad de explotación de 5.000 km³ (10.000 embalses), lo que equivale a un 13% de la aportación anual de la superficie terrestre. Entre los grandes lagos reguladores se encuentra el lago Victoria (África), Baikal (Rusia) y Ontario (América del Norte). Los acuíferos también juegan un papel regulador, ya que pueden ser recargados en mayor o menor medida dependiendo de su capacidad de infiltración.

En los últimos años cada vez son mayores los trabajos que se vienen desarrollando para promover la utilización conjunta de aguas superficiales y subterráneas. El aprovechamiento de las aguas excedentarias debe contemplar la prevención del agotamiento de los acuíferos, su defensa ante la contaminación y la intrusión marina.

En el caso concreto de España el volumen de agua que se utiliza es superior a 27.000 hm³/año lo que supone un 25% de la aportación por escorrentía. El regadío constituye el principal uso consuntivo (85-90%), unos 25.000 hm³, con una superficie regable de 3 x 10⁶ ha, de las que sólo 1/3 (900.000 ha) se riegan con aguas subterráneas. El resto es de uso urbano e industrial, donde un 30% del agua aquí empleada es de origen subterráneo (siendo éste el porcentaje más bajo de toda Europa, a excepción de Noruega). La importancia actual de los recursos subterráneos en España aún no está bien valorada, aunque cabe destacar por ejemplo que en las islas es prácticamente el único recurso hídrico disponible.

Los recursos superficiales están regulados mediante 900 embalses con un volumen total de agua embalsada de 52.000 hm³. Estos recursos cubren, en general, las demandas de aguas establecidas en la Síntesis del Plan Hidrológico Nacional (PHN, 1990), aunque existen cuencas deficitarias. El PHN prevé una dotación media para uso urbano de 300 L/habitante*día y para uso agrícola de 7.600 m³/habitante*año.

La agricultura es el mayor demandante de agua, con un 70% de todas las extracciones, en comparación con un 25% que se destina a la industria (incluidos usos para refrigeración y generación hidroeléctrica) y un 10% al consumo humano. Las superficies de regadío suponen sólo un 16% de las tierras agrícolas del mundo, sin embargo producen alrededor de un 40% del total de alimentos.

España dispone de unos recursos hídricos cifrados en 2.750 m³/habitante/año, lo que suponen 114.300 hm³ en un año de precipitación media, necesitándose 37.100 hm³ para satisfacer las demandas anuales de abastecimiento urbano, industria, agrícola, refrigeración de plantas de energía y aquellas derivadas del mantenimiento ambiental. La demanda consuntiva según el proyecto del Plan Hidrológico Nacional se reparte de la siguiente forma:

USO	CANTIDAD hm ³ /año	%
Regadío	24.200	80
Abastecimiento y población	4.300	14
Industria	1.900	6

Actualmente, es la Confederación Hidrográfica de cada cuenca la encargada de la gestión y manejo del agua (www.euskadi.net, www.mma.es).

