Tema 16: LA HIDROSFERA: EL CICLO GEOLÓGICO DEL AGUA

◈ La hidrosfera es el conjunto de todas las aguas de la Tierra: océanos, mares, ríos, lagos, hielos, vapor de agua atmosférico y aguas subterráneas. Este tema se centra en su movimiento continuo, es decir, en el ciclo geológico del agua.

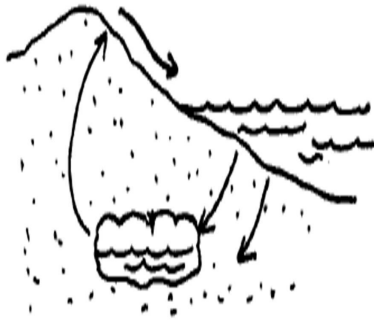
La idea principal es que el agua no está quieta, sino que circula constantemente entre atmósfera, superficie, suelo y subsuelo. Ese movimiento explica lluvias, escorrentía, infiltración, recarga de acuíferos, caudales de ríos y composición química del agua.

→ puntos Importantes:

- La hidrosfera incluye toda el agua del planeta, en estado líquido, sólido y gaseoso.
- El ciclo del agua conecta atmósfera, superficie, suelo y subsuelo.
- Comprender este ciclo es fundamental para hidrología, hidrogeología y gestión del agua.

⇒ ARISTÓTELES Y LAS PRIMERAS IDEAS SOBRE EL ORIGEN DE LOS RÍOS

Aquí se recuerda una explicación antigua del origen del agua de los ríos. Aristóteles pensaba que el agua marina se introducía en el subsuelo, se desalinizaba y después se condensaba como vapor de agua subterránea, alimentando de esta manera manantiales y ríos.



Hoy sabemos que esa explicación no es correcta, pero históricamente es importante porque muestra que durante siglos no se entendió bien el origen del ciclo del agua. La hidrología moderna tardó mucho en demostrar que la precipitación atmosférica era la fuente principal de alimentación de los ríos.

→ puntos Importantes:

- Las primeras teorías sobre el agua eran más filosóficas que cuantitativas.
- Aristóteles no conocía todavía el balance entre precipitación, escorrentía e infiltración.
- La hidrología moderna nace cuando se empieza a medir y comparar cantidades reales de agua.

⇒ ORIGEN DE LA HIDROLOGÍA MODERNA

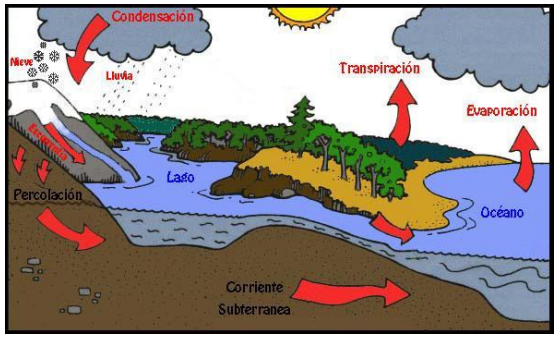
El origen, circulación y ciclo del agua no quedaron claros hasta finales del siglo XVII. ***Pierre Perrault***, considerado uno de los fundadores de la hidrología, demostró mediante balances hidrológicos que la lluvia caída sobre una cuenca era suficiente para explicar el caudal del río.

Esto fue una revolución científica porque introdujo la idea clave de medir. A partir de entonces otros científicos empezaron a cuantificar evaporación, infiltración profunda y caudales de manantiales. Es decir, la hidrología pasó de las hipótesis a los datos.

→ puntos Importantes:

- Pierre Perrault mostró que las precipitaciones podían explicar las aportaciones de los ríos.
- El balance hidrológico compara entradas, salidas y variaciones de almacenamiento.
- La hidrología moderna nace cuando se empieza a cuantificar el agua.

⇒ EL CICLO HIDROLÓGICO



Aquí entramos en el esquema general del ciclo hidrológico. El agua se evapora desde océanos, suelos y vegetación, se incorpora a la atmósfera, se condensa, precipita y vuelve a circular por la superficie o por el subsuelo.

El esquema permite ver que el ciclo es continuo y que intervienen varios procesos enlazados: evaporación,

condensación, precipitación, escorrentía e infiltración. La hidrología estudia precisamente esas transferencias entre reservorios.

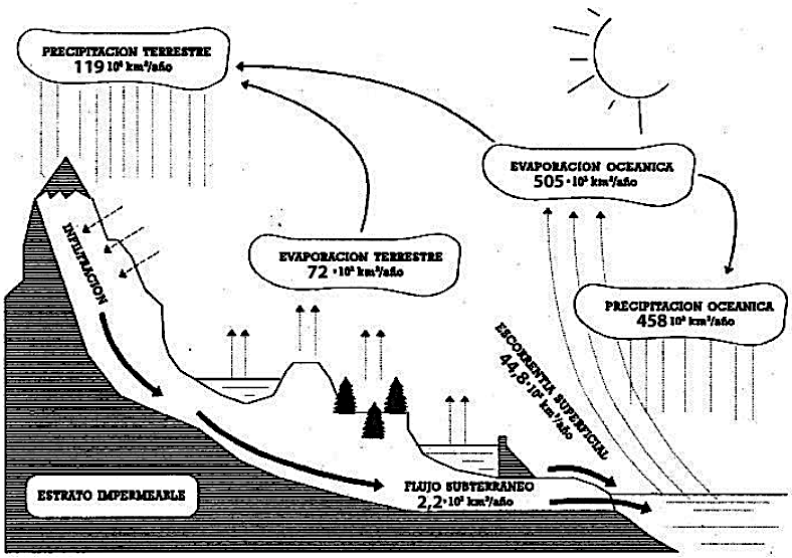
→ puntos Importantes:

- El ciclo hidrológico es un circuito continuo, no una secuencia aislada de fenómenos.
- Cada flecha del esquema representa un proceso de transferencia de agua.
- La atmósfera, la superficie y el subsuelo están conectados.

⇒ EL CICLO HIDROLÓGICO: RESERVORIOS Y FLUJOS

Esta imagen amplía el esquema del ciclo hidrológico y ayuda a visualizar los grandes reservorios de agua y los movimientos entre ellos. Los océanos son el principal almacén, pero también intervienen nubes, ríos, lagos, nieves, glaciares, suelos y acuíferos.

La utilidad de este esquema es que muestra que el agua puede permanecer tiempos muy distintos en cada lugar: poco tiempo en la atmósfera, más en los ríos, mucho más en el hielo o en algunos acuíferos.



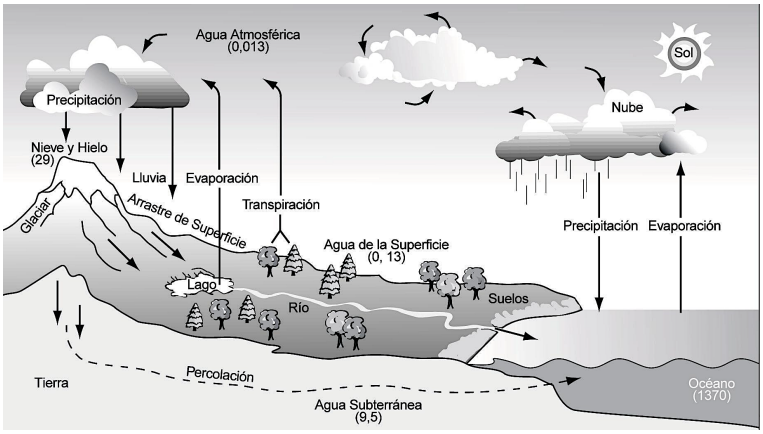
→ puntos Importantes:

- No toda el agua del ciclo se mueve con la misma rapidez.
- Los océanos son el gran almacén principal del planeta.
- Ríos, hielo, suelo y acuíferos forman parte del mismo sistema general.

⇒ EL CICLO HIDROLÓGICO: VISIÓN INTEGRADA

Esta otra diapositiva continúa desarrollando la visión global del ciclo del agua. Su función es reforzar que no se debe estudiar solo la lluvia o solo los ríos, sino todo el sistema de forma integrada.

En geología e hidrología esto es esencial, porque una alteración en una parte del ciclo afecta a las demás. Por ejemplo, menos infiltración implica menos recarga, menos agua subterránea y a menudo menos caudal base en los ríos.



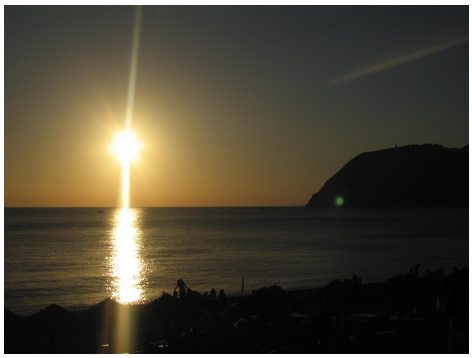
→ puntos Importantes:

- El ciclo del agua debe entenderse como un sistema completo.
- Los distintos procesos del ciclo están interrelacionados.
- Cambios en una parte del sistema repercuten en otras.

⇒ MOTORES DEL CICLO HIDROLÓGICO

Esta pregunta es clave: ¿**qué mueve el ciclo del agua**? El agua no circula sola; necesita motores físicos que impulsen los cambios de estado y los desplazamientos.

Los dos grandes motores del ciclo son la energía solar y la gravedad. El Sol proporciona la energía necesaria para evaporar agua. La gravedad hace caer la precipitación y mueve el agua ladera abajo, hacia ríos, acuíferos y océanos.



→ puntos Importantes:

• Sin energía solar no habría evaporación suficiente.

• Sin gravedad no habría caída de lluvia ni escorrentía hacia zonas bajas.

• El ciclo del agua depende de la combinación de ambos motores.

⇒ EL SOL COMO MOTOR DEL CICLO

El Sol es el motor energético del ciclo hidrológico porque calienta océanos, continentes y vegetación, favoreciendo la evaporación y la transpiración.

Es importante entender que el Sol no mueve el agua directamente como una bomba, sino que aporta energía para que el agua cambie de estado y pase a la atmósfera en forma de vapor.

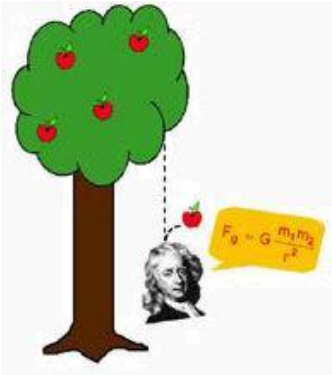
→ puntos Importantes:

• La energía solar impulsa evaporación y evapotranspiración.

• El paso del agua a vapor necesita calor.

• El Sol es el motor energético del ciclo.

⇒ LA GRAVEDAD COMO MOTOR DEL CICLO



La gravedad es el otro gran motor del ciclo hidrológico. Hace caer la lluvia y la nieve, impulsa la escorrentía hacia zonas más bajas y favorece la infiltración vertical del agua hacia el subsuelo.

Esto también explica que el agua subterránea se mueva desde zonas de mayor energía hidráulica hacia manantiales, ríos o el mar. Sin gravedad el agua no drenaría ni circularía de la forma en que lo hace en la Tierra.

→ puntos Importantes:

• La gravedad controla la caída de la precipitación.

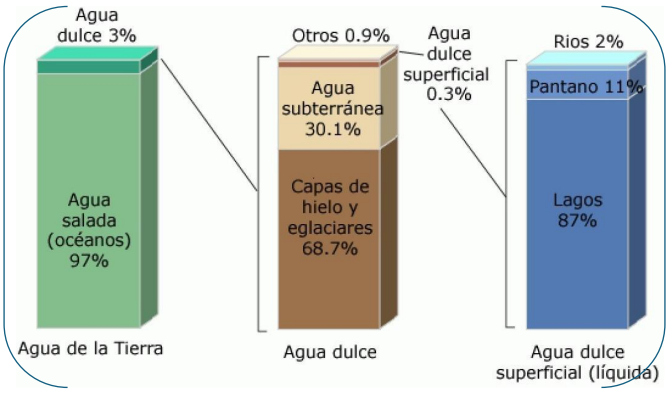
• La escorrentía superficial y parte del flujo subterráneo dependen de ella.

• Es el gran motor mecánico del ciclo hidrológico.

⇒ DISTRIBUCIÓN DEL AGUA EN LA HIDROSFERA

Aquí vemos como se reparte el agua del planeta. Aunque solemos pensar que hay muchísima agua, la mayor parte es salada y está en océanos y mares.

La fracción de agua dulce es pequeña, y dentro de ella no toda está fácilmente disponible: mucha se encuentra en glaciares, nieves permanentes o aguas subterráneas profundas. Por eso la disponibilidad real de agua dulce accesible es mucho menor de lo que parece.



→ puntos Importantes:

• La mayor parte del agua terrestre es salada.
• El agua dulce es una fracción pequeña del total.
• El agua fácilmente disponible para uso humano representa solo una parte mínima.

⇒ APOYO VISUAL

En este cuadro se complementa la distribución del agua en la hidrosfera. Lo importante aquí es distinguir entre agua total, agua dulce y agua realmente accesible.

Los esquemas o gráficos de distribución ayudan a comparar proporciones y a ver que el agua útil para consumo, riego o ecosistemas superficiales es solo una pequeña parte del total planetario.

	(1) Área ($km^2 \times 10^3$)	(2) Volumen ($km^3 \times 10^3$)	(3) Altura equivalente (m)	(4) % del agua total	(5) Tiempo de residencia medio
Océanos	362 000	1 350 000	2700	97,6	3000 años
Tierras emergidas					
Ríos (volumen instantáneo)	—	1,7	0,003	0,0001	15-20 días
Lagos de agua dulce	825	125	0,25	0,009	10 años
Lagos agua salada	700	105	0,20	0,008	150 años
Humedad del suelo en la zona no saturada	131 000	150	0,30	0,01	semanas a años
Casquete de hielo y glaciares	17 000	26 000	50	1,9	miles de años
Agua subterránea	131 000	7000	14	0,5	decenas a miles de años
Total en las tierras emergidas	148 000	33 900	65	2,4	—
Atmósfera (vapor de agua)	510 000	13	0,025	0,001	8-10 días
Total	510 000	1 384 000	2750	100	—

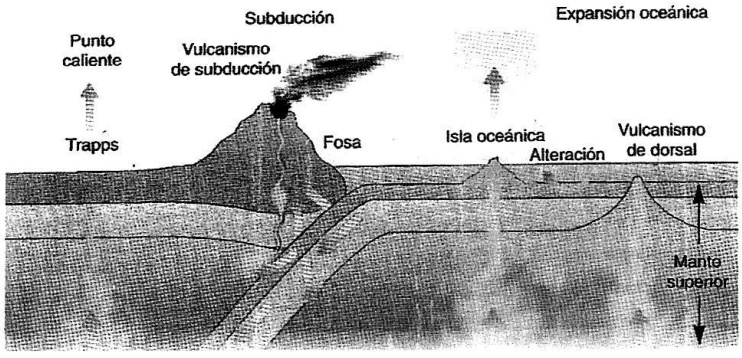
→ puntos Importantes:

• No toda el agua del planeta está disponible para uso humano.
• Las representaciones gráficas ayudan a comparar cantidades muy desiguales.
• La gestión del agua debe hacerse teniendo presente esa distribución real.

⇒ DEL CICLO HIDROLÓGICO INTERNO

Aquí se presenta el ciclo hidrológico interno, es decir, la parte del ciclo que ocurre dentro del suelo y del subsuelo. Una vez que el agua llega al terreno, una parte se infiltra, otra queda retenida y otra recarga acuíferos.

Este ciclo interno es fundamental porque conecta precipitación, humedad del suelo, aguas subterráneas y caudal de base de los ríos. Sin él no se entendería ni la recarga de acuíferos ni la persistencia del agua en épocas secas.

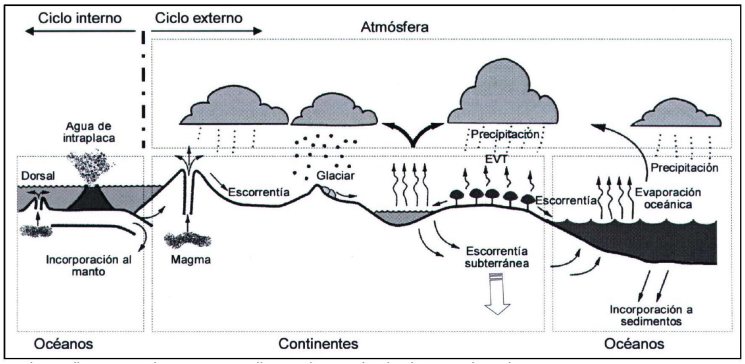


→ puntos Importantes:

• El ciclo interno se desarrolla en suelo y subsuelo.
• Relaciona infiltración, retención en el suelo y recarga de acuíferos.
• Es clave para comprender aguas subterráneas y disponibilidad de agua en estiaje.

⇒ APOYO VISUAL

En esta diapositiva queda de manera clara el ciclo hidrológico. Su función es ayudar a reconocer de forma gráfica cómo el agua pasa de la atmósfera a la superficie, al suelo y de nuevo a la atmósfera.



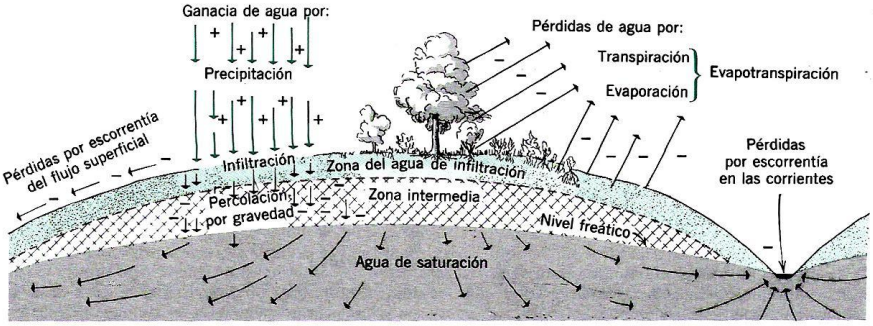
Cuando una diapositiva del ciclo es sobre todo imagen o esquema, lo importante es leer las flechas y entender qué proceso representa cada una: evaporación, condensación, precipitación, escorrentía o infiltración.

→ puntos Importantes:

- Las flechas del esquema representan movimientos o cambios de estado del agua.
- La imagen debe leerse como un sistema conectado, no como elementos aislados.
- El objetivo es visualizar mejor el funcionamiento general del ciclo.

⇒ BALANCE DE AGUA EN EL SUELO

Aquí se resume el balance hídrico del suelo. El principio es sencillo: el agua que entra debe igualar al agua que sale, salvo la parte que se almacena o se pierde de las reservas. Por eso se expresa como entradas, salidas y variación de reservas.



La precipitación es la entrada principal. Las salidas incluyen escorrentía superficial, escorrentía subterránea y evapotranspiración. Este balance permite saber si un suelo gana agua, la pierde o mantiene un estado aproximadamente estable.

→ puntos Importantes:

- El balance del agua es una aplicación directa del principio de conservación.
- La precipitación es la entrada principal al sistema suelo.
- Las reservas del suelo cambian según clima, vegetación y drenaje.

⇒ LAS PRECIPITACIONES: DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN

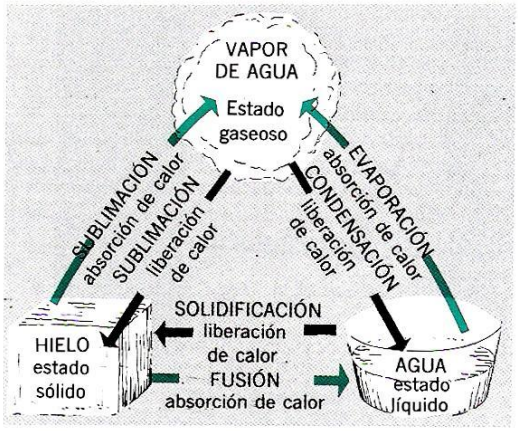
La precipitación se define como cualquier forma en la que el agua cae o llega desde la atmósfera a la superficie terrestre. La diapositiva distingue precipitaciones verticales y horizontales.

Las verticales incluyen lluvia, llovizna, aguacero, nevada y granizo. Las horizontales incluyen rocío, escarcha y niebla. Esta clasificación es importante porque no todas aportan agua de la misma forma ni en la misma cantidad.

→ puntos Importantes:

- La precipitación no es solo lluvia.
- Las formas verticales caen desde la atmósfera; las horizontales se forman cerca de la superficie.
- Cada tipo de precipitación tiene condiciones físicas propias.

⇒ CAMBIOS DE ESTADO



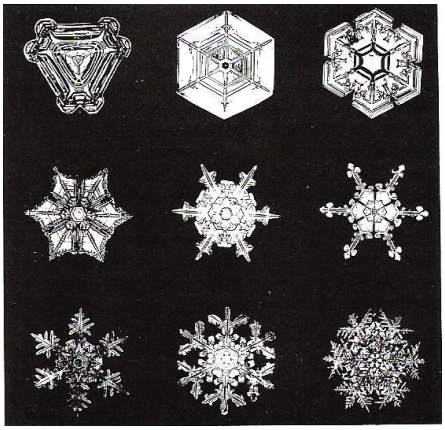
La diapositiva trata los cambios de estado del agua, que son esenciales en el ciclo hidrológico. El agua puede pasar de líquido a vapor, de vapor a líquido, de líquido a sólido o directamente entre vapor y sólido.

Esos cambios explican evaporación, condensación, congelación, fusión, sublimación y deposición. Entenderlos es básico porque gran parte del ciclo del agua depende más de estos cambios de estado que del simple movimiento físico del agua líquida.

→ puntos Importantes:

- Los cambios de estado conectan atmósfera, nieve, hielo y agua líquida.
- Sin evaporación y condensación no habría nubes ni lluvia.
- El ciclo hidrológico es también un ciclo térmico.

⇒ PRECIPITACIONES VERTICALES



Aquí se describen varias precipitaciones verticales. La lluvia está formada por gotas líquidas con determinado tamaño y velocidad de caída. La nevada se forma por cristales de hielo, y el granizo por capas de hielo que crecen en nubes muy inestables.

La diferencia entre ellas no es solo visual: cada una se forma bajo condiciones atmosféricas diferentes y tiene efectos distintos sobre el terreno, la infiltración, la escorrentía y la disponibilidad posterior de agua.

→ puntos Importantes:

- La lluvia, la nieve y el granizo tienen orígenes físicos distintos.
- La forma de precipitación condiciona cómo se almacena y circula el agua después.
- La nieve actúa además como reserva temporal de agua.

⇒ PRECIPITACIONES HORIZONTALES

Las precipitaciones horizontales no caen desde una nube en el sentido habitual, sino que se producen por condensación o solidificación del vapor de agua sobre superficies frías o muy cerca de ellas. El rocío se condensa; la escarcha se forma por solidificación; la niebla es un conjunto de gotitas suspendidas en el aire.

Aunque suelen parecer menos importantes que la lluvia, en algunos climas y ecosistemas pueden aportar una cantidad apreciable de agua, especialmente en zonas áridas, montañosas o costeras con nieblas frecuentes.

→ puntos Importantes:

- El rocío y la escarcha se forman sobre superficies frías.
- La niebla está compuesta por gotitas muy pequeñas suspendidas en el aire.
- Las precipitaciones horizontales pueden tener importancia ecológica local.

⇒ ORIGEN DE LAS PRECIPITACIONES

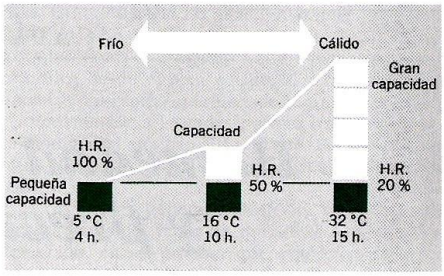
La diapositiva introduce conceptos fundamentales: punto de rocío, humedad relativa y humedad absoluta. El punto de rocío es la temperatura a la que una masa de aire se satura y empieza a condensar.

La humedad relativa compara el vapor que contiene el aire con el máximo que podría contener a esa temperatura. La humedad absoluta mide la masa real de vapor en un volumen de aire. Estos conceptos permiten entender cuándo y por qué se forman nubes, rocío o lluvia.

→ puntos Importantes:

• El punto de rocío indica cuándo empieza la condensación.
• La humedad relativa depende de la temperatura y del contenido de vapor.
• La formación de precipitaciones depende del estado higrométrico del aire.

⇒ APOYO VISUAL



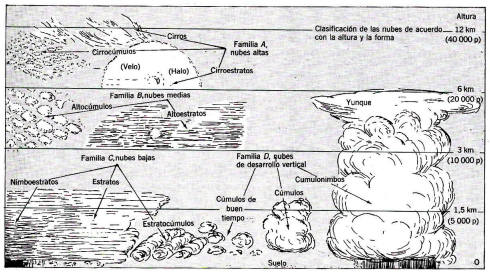
Esta diapositiva es un apoyo visual del bloque de precipitaciones. Puede mostrar tipos, mecanismos de formación, ejemplos o instrumentos de medida.

El objetivo es que no te quedes solo con la definición, sino que sepas reconocer cada tipo de precipitación, cómo se forma y qué significado tiene dentro del balance hídrico.

→ puntos Importantes:

• La precipitación puede representarse con esquemas, fotografías o aparatos de medida.
• Ver la imagen ayuda a identificar mejor tipos y procesos.
• La precipitación es la gran entrada atmosférica del ciclo del agua hacia la superficie.

⇒ APOYO VISUAL



Esta diapositiva es un apoyo visual del bloque de precipitaciones. Puede mostrar tipos, mecanismos de formación, ejemplos o instrumentos de medida.

El objetivo es que no te quedes solo con la definición, sino que sepas reconocer cada tipo de precipitación, cómo se forma y qué significado tiene dentro del balance hídrico.

→ puntos Importantes:

• La precipitación puede representarse con esquemas, fotografías o aparatos de medida.
• Ver la imagen ayuda a identificar mejor tipos y procesos.
• La precipitación es la gran entrada atmosférica del ciclo del agua hacia la superficie.

⇒ MEDIDA DE LAS PRECIPITACIONES

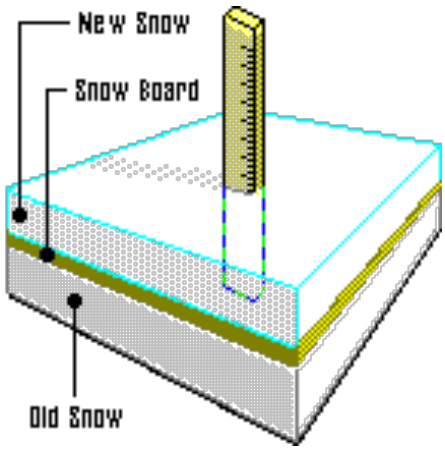
La precipitación se mide en milímetros, que equivalen a la altura que alcanzaría el agua si quedara uniformemente repartida sobre una superficie horizontal. Un milímetro equivale a un litro por metro cuadrado.

La diapositiva distingue pluviómetros, que miden la cantidad total caída, y pluviógrafos, que además registran su distribución en el tiempo. Esa diferencia es importante, porque no es lo mismo que caigan 20 mm en todo un día que en diez minutos.

→ puntos Importantes:

• Un milímetro de lluvia equivale a un litro por metro cuadrado.
• El pluviómetro mide cantidad; el pluviógrafo registra también cómo se reparte en el tiempo.
• La intensidad de lluvia es tan importante como la cantidad total.

⇒ EQUIVALENCIA ENTRE NIEVE Y LLUVIA



Esto es una equivalencia simple entre altura de nieve y altura de lluvia. Se trata de una regla aproximada para transformar una acumulación sólida en un equivalente de agua líquida.

Es importante porque la nieve es una reserva temporal. Aunque no circule inmediatamente como lluvia o escorrentía, representa agua almacenada que podrá fundirse después y alimentar ríos o infiltrarse.

→ puntos Importantes:

• La nieve puede expresarse como equivalente en agua.

• La nieve actúa como almacén temporal del ciclo hidrológico.

• No toda precipitación entra inmediatamente como escorrentía o infiltración.

⇒ EVAPORACIÓN, TRANSPIRACIÓN Y EVAPOTRANSPIRACIÓN

La evaporación es el paso del agua líquida a vapor desde superficies libres, suelos húmedos o agua interceptada. La transpiración es la liberación de vapor por las plantas a través de sus estomas.

La evapotranspiración suma ambos procesos. Es una salida fundamental del balance hidrológico porque devuelve mucha agua a la atmósfera antes de que esa agua llegue a ríos o acuíferos.

→ puntos Importantes:

• Evaporación y transpiración son procesos diferentes, pero relacionados.

• La evapotranspiración representa una gran pérdida de agua del suelo hacia la atmósfera.

• La vegetación juega un papel activo en el ciclo del agua.

⇒ EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL Y REAL

La evapotranspiración potencial, ETP, es la cantidad de agua que podría volver a la atmósfera si no faltara humedad en el suelo y la vegetación cubriera completamente la superficie. Es una demanda climática de agua.

La evapotranspiración real, ETR, es la que realmente ocurre y depende de las precipitaciones, del agua disponible y de las condiciones del suelo. Por eso la ETR siempre es igual o menor que la ETP.

→ puntos Importantes:

• La ETP indica cuánta agua pediría la atmósfera en condiciones ideales de humedad.

• La ETR depende de cuánta agua hay realmente disponible.

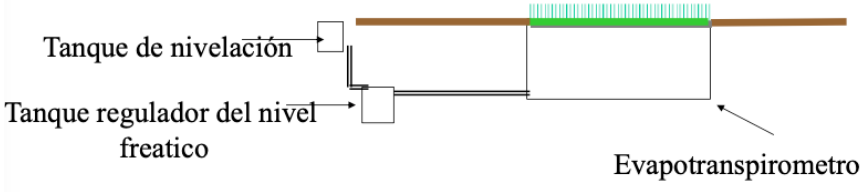
• Cuando falta agua en el suelo, la ETR baja, aunque la ETP sea alta.

⇒ EVAPOTRANSPIRÓMETROS



Aquí se muestra aparatos y montajes para medir evapotranspiración potencial. Estos dispositivos mantienen el suelo a capacidad de campo y con cubierta vegetal completa para aproximarse a las condiciones ideales de ETP.

Su objetivo es medir cuánta agua pierde el sistema suelo-planta-atmósfera bajo condiciones controladas. Es una información muy útil en agronomía, hidrología y gestión del riego.



⇒ CARACTERÍSTICAS DEL SUELO: HUMEDAD, CAPACIDAD DE CAMPO Y PUNTO DE MARCHITEZ

La humedad del suelo expresa cuánta agua contiene respecto a su masa seca. La capacidad de campo es el grado de humedad que queda después de perder el agua gravitacional, es decir, cuando el suelo ya ha drenado lo que no puede retener con facilidad.

El punto de marchitez es el contenido de agua por debajo del cual las plantas ya no pueden absorber suficiente agua. La diferencia entre ambos valores define el agua utilizable por las plantas.

→ puntos Importantes:

• La capacidad de campo marca el agua retenida útil después del drenaje inicial.
• El punto de marchitez señala cuándo la planta ya no puede aprovechar el agua.
• El agua disponible para las plantas está entre ambos valores.

⇒ INFILTRACIÓN

La infiltración es la entrada del agua desde la superficie hacia el interior del suelo por acción de la gravedad y de fuerzas capilares. Es un movimiento inicialmente vertical, aunque después el agua puede cambiar de trayectoria en profundidad.

La diapositiva explica que una parte del agua infiltrada queda retenida en el suelo y puede ser evapotranspirada, mientras otra parte profundiza y llega a recargar acuíferos o a sostener caudales de ríos. Es decir, infiltrar no significa perder agua, sino redistribuirla dentro del ciclo.

→ puntos Importantes:

• La infiltración conecta precipitación, suelo y aguas subterráneas.
• Parte del agua infiltrada se retiene en el suelo; otra parte recarga acuíferos.
• La infiltración reduce escorrentía superficial y aumenta almacenamiento subterráneo.

⇒ ESCORRENTÍA

La escorrentía es la fracción de la precipitación que termina alimentando los cursos de agua de una cuenca. Puede ser superficial, cuando el agua circula por encima del terreno, o subterránea, cuando se infiltra y luego llega a la red de drenaje a través de acuíferos.

Esta distinción es muy importante porque dos cuencas con la misma lluvia pueden responder de manera muy distinta según infiltración, pendiente, cobertura vegetal y tipo de suelo.

→ puntos Importantes:

• La escorrentía superficial circula por encima del terreno.
• La escorrentía subterránea alimenta ríos a través de acuíferos.
• La respuesta hidrológica de una cuenca depende de cómo se reparte la lluvia entre infiltración y escorrentía.

⇒ APOYO VISUAL



La diapositiva ayuda a entender la escorrentía y sus recorridos posibles. El agua puede desplazarse por la superficie del terreno o circular más lentamente a través del subsuelo antes de llegar al cauce.

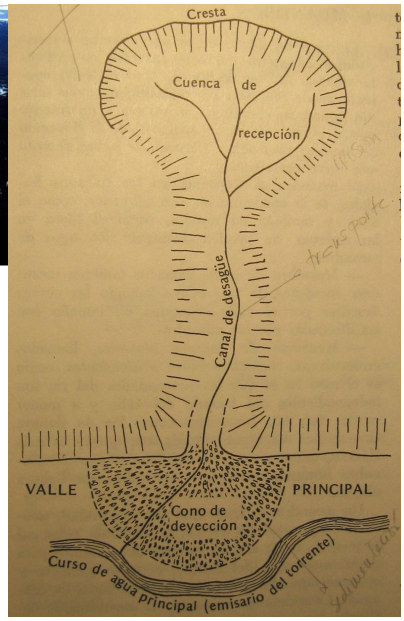
Las imágenes de este bloque suelen ser útiles para ver que la escorrentía no es un proceso único. En una misma cuenca pueden coexistir escorrentía rápida, lenta, superficial y subterránea.

→ puntos Importantes:

• La escorrentía puede seguir caminos distintos hacia la red de drenaje.
• El tiempo de respuesta de una cuenca depende de esos caminos.
• La imagen ayuda a visualizar la conexión entre ladera, subsuelo y cauce.







⇒ IMPORTANCIA DE LA ESCORRENTÍA

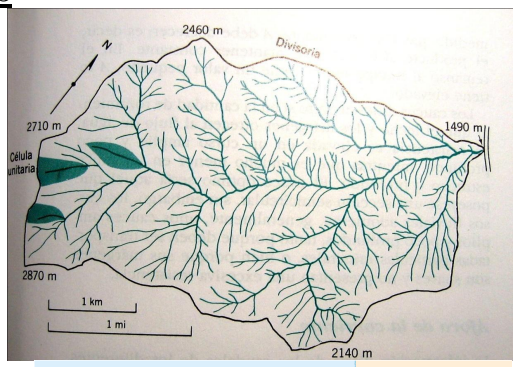
La escorrentía es importante porque alimenta ríos y arroyos, permite almacenar agua en azudes y presas, aporta energía potencial para producir electricidad y participa en la composición química de las aguas.

Al mismo tiempo, puede ser un problema: es responsable de avenidas e inundaciones y está asociada a muchos procesos erosivos. Por eso la escorrentía es un fenómeno útil y peligroso a la vez, según su intensidad y control.

→ puntos Importantes:

- La escorrentía sostiene cursos de agua y recursos aprovechables.
- También puede generar erosión, avenidas e inundaciones.
- Su estudio es básico en gestión del agua y prevención de riesgos.

⇒ ESTUDIO HIDROLÓGICO DE LAS CUENCAS



La cuenca hidrográfica es el área topográficamente delimitada en la que toda el agua drena hacia una salida común. Es la unidad básica de estudio en hidrología, porque dentro de ella se relacionan precipitación, infiltración, escorrentía y caudal.

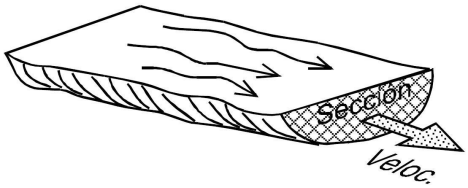
Entender una cuenca significa saber cómo recoge la lluvia, cómo la transforma en caudal y cómo influyen el relieve, los suelos, la vegetación y la geología. Sin enfoque de cuenca, el análisis hidrológico queda incompleto.

→ puntos Importantes:

- La cuenca es la unidad natural del estudio hidrológico.
- Todo lo que ocurre dentro de ella influye en su respuesta en caudal.
- El límite de la cuenca viene dado por la topografía.



⇒ AFOROS: MEDIDA DE CAUDALES



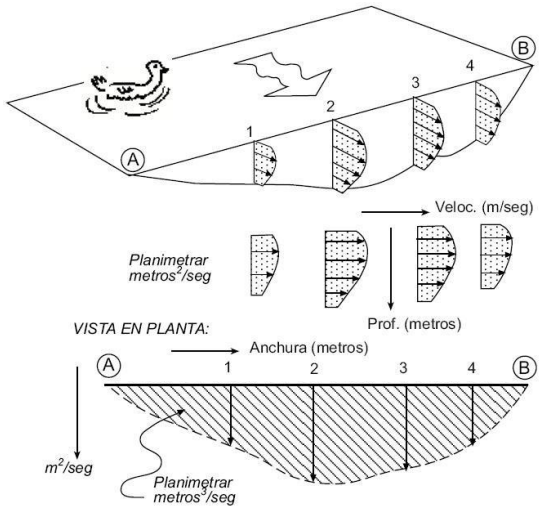
Aforar un río significa medir su caudal. La expresión básica es sencilla: caudal igual a sección por velocidad. Si se conoce el área de la sección mojada del cauce y la velocidad media del agua, puede calcularse el volumen que pasa por segundo.

El caudal se expresa habitualmente en metros cúbicos por segundo. Esta medida es fundamental para estudiar ríos, gestionar embalses, prever avenidas y conocer recursos hídricos.

→ puntos Importantes:

- El caudal es el volumen de agua que pasa por una sección en una unidad de tiempo.
- Se obtiene combinando tamaño de la sección y velocidad del agua.
- Medir caudales es básico en hidrología fluvial.

⇒ AFOROS DIRECTOS: MOLINETE



En un aforo directo con molinete se mide la velocidad del agua en distintos puntos de la sección del río. El molinete gira impulsado por la corriente y su velocidad de giro se relaciona con la velocidad del agua.

Después se calcula una velocidad media y se multiplica por la sección. Es un método clásico y bastante preciso, aunque requiere acceso directo al cauce y condiciones adecuadas de medida.

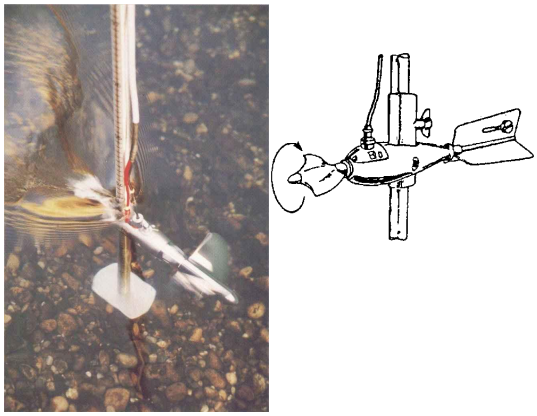
→ puntos Importantes:

• El molinete mide directamente la velocidad de la corriente.

• La sección del río también debe conocerse para obtener el caudal.

• Es un aforo directo porque se mide en el propio cauce.

⇒ APOYO VISUAL



La diapositiva completa el bloque de aforos. Puede mostrar aparatos, procedimientos o ejemplos de medición de caudal en el cauce.

En este bloque es importante diferenciar entre medir directamente velocidad y sección, usar trazadores químicos o registrar niveles para estimar después el caudal.

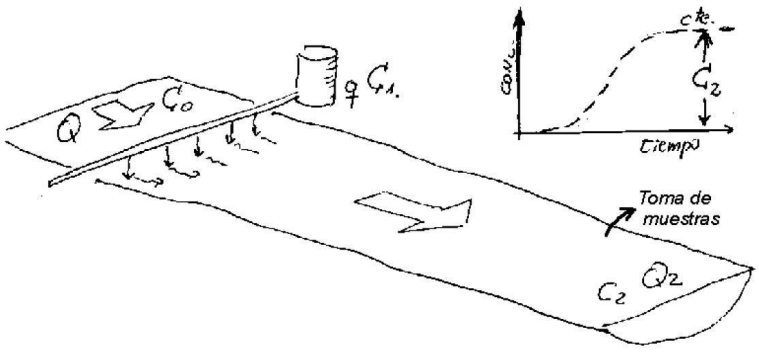
→ puntos Importantes:

• Aforar es medir caudal.

• Existen métodos directos, químicos e indirectos.

• La imagen ayuda a comprender cómo se realiza la medida en la práctica.

⇒ AFOROS QUÍMICOS



Los aforos químicos se basan en introducir o aprovechar una sustancia trazadora y observar cómo se diluye en el agua del cauce. Con esa dilución puede calcularse el caudal.

Son útiles cuando es difícil medir velocidad y sección por métodos clásicos. Muestran que en hidrología no solo se usan instrumentos mecánicos, sino también procedimientos químicos de cálculo.

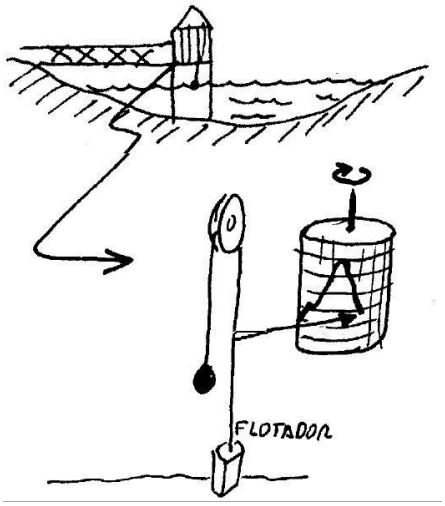
→ puntos Importantes:

• El principio básico es la dilución de una sustancia conocida.

• Permiten medir caudal cuando el aforo directo es difícil.

• Son una alternativa útil en cauces complicados.

⇒ AFOROS INDIRECTOS: LIMNÍGRAFOS



Los aforos indirectos no miden continuamente el caudal, sino una variable relacionada con él, normalmente la altura del agua en el cauce. El limnígrafo registra esa altura a lo largo del tiempo.

Después, mediante una curva de gasto, se transforma el nivel en caudal estimado. Esto permite seguimiento continuo sin necesidad de medir manualmente cada momento.

→ puntos Importantes:

• El limnígrafo registra nivel de agua, no caudal directamente.

• La relación entre nivel y caudal se establece mediante calibración previa.

• Es muy útil para series temporales continuas.

⇒ APOYO VISUAL





La diapositiva completa el bloque de aforos. Puede mostrar aparatos, procedimientos o ejemplos de medición de caudal en el cauce.

En este bloque es importante diferenciar entre medir directamente velocidad y sección, usar trazadores químicos o registrar niveles para estimar después el caudal.

→ puntos Importantes:

• Aforar es medir caudal.

• Existen métodos directos, químicos e indirectos.

• La imagen ayuda a comprender cómo se realiza la medida en la práctica.

⇒ ESCALAS LIMNIMÉTRICAS



Las escalas limnimétricas son reglas graduadas colocadas en el cauce para leer visualmente la altura del agua. Son un instrumento simple, pero muy útil para controlar niveles de manera rápida.

Aunque por sí solas no dan el caudal, son la base de muchos aforos indirectos, especialmente cuando se relacionan los niveles observados con medidas de caudal previas.

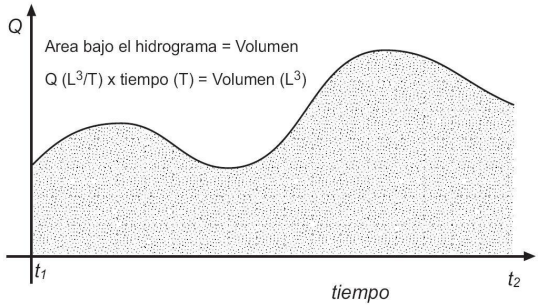
→ puntos Importantes:

• La escala limnimétrica mide altura de agua en el cauce.

• Es un instrumento sencillo pero muy valioso para seguimiento hidrológico.

• Con una curva nivel-caudal puede convertirse en estimación de caudal.

⇒ HIDROGRAMA



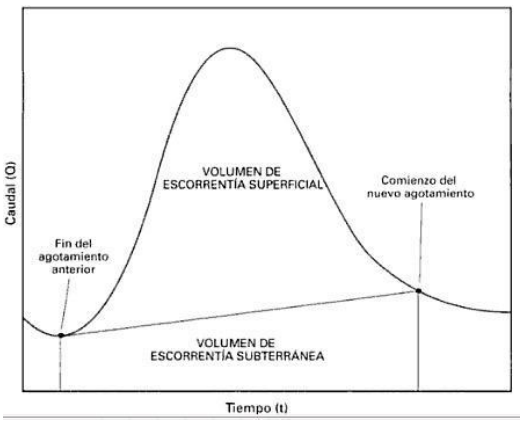
Un hidrograma es la representación gráfica del caudal en función del tiempo. Permite ver cómo responde un río ante una lluvia: cuándo empieza a subir, cuándo alcanza el máximo y cómo desciende después.

Es una herramienta central de la hidrología porque resume el comportamiento de una cuenca. Dos cuencas con la misma precipitación pueden generar hidrogramas muy distintos según infiltración, pendiente, tamaño y uso del suelo.

→ puntos Importantes:

• El hidrograma muestra la evolución temporal del caudal.
• Permite analizar respuesta de una cuenca a una lluvia.
• Es una herramienta clave para estudiar crecidas y funcionamiento hidrológico.

⇒ SEPARACIÓN DE COMPONENTES EN UN HIDROGRAMA



La separación de componentes intenta distinguir dentro del hidrograma qué parte del caudal procede de escorrentía rápida y qué parte procede de aportaciones más lentas, como el flujo subterráneo.

Aunque se presenta un método simple, la idea es muy importante: el caudal total de un río no tiene un solo origen. Una parte responde casi inmediatamente a la lluvia y otra refleja aportes almacenados en el sistema.

→ puntos Importantes:

• El hidrograma combina aportes rápidos y lentos.
• Separar componentes ayuda a interpretar la respuesta de la cuenca.
• El flujo subterráneo suele sostener el caudal en fases de descenso.

⇒ ACUÍFERO E HIDROGRAMA

Existe una relación en el comportamiento del hidrograma con la presencia de acuíferos. Cuando una cuenca tiene un buen almacenamiento subterráneo, el río puede mantener un caudal base más estable.

Esto significa que el agua infiltrada no desaparece, sino que vuelve después gradualmente a la red de drenaje. La conexión entre acuíferos y ríos es una de las claves de la hidrología y la hidrogeología.

→ puntos Importantes:

• Los acuíferos amortiguan la respuesta del río.
• El agua subterránea puede sostener caudales en épocas sin lluvia.
• Río y acuífero suelen formar parte de un mismo sistema hídrico.

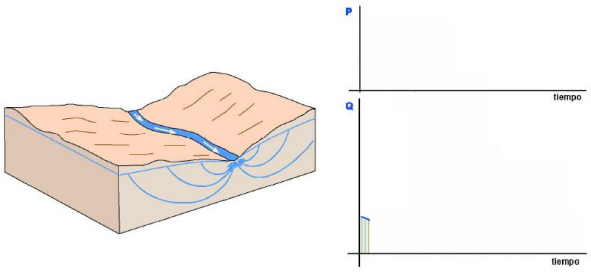
⇒ APOYO VISUAL

Con estas imágenes se complementa el estudio del hidrograma. Se muestra la curva de caudal, sus componentes o la influencia del acuífero en la forma del gráfico.

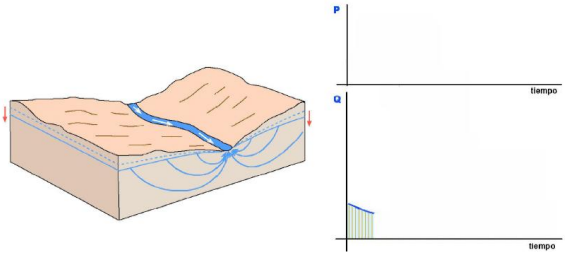
Hay que fijarse en cómo sube y baja el caudal y en qué parte representa respuesta rápida de lluvia y qué parte respuesta más lenta del sistema subterráneo.

→ puntos Importantes:

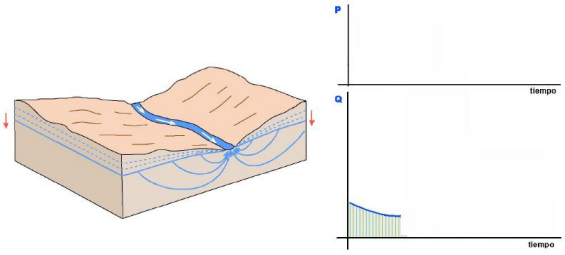
• El hidrograma resume el comportamiento temporal del río.
• La forma de la curva aporta información sobre la cuenca.
• La imagen ayuda a separar respuesta rápida y lenta.



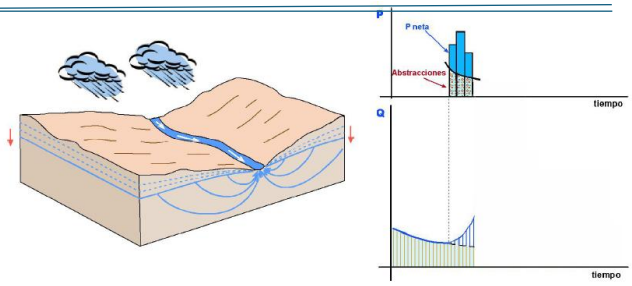
No está lloviendo, el caudal del río se genera exclusivamente por la escorrentía subterránea (río efluente o ganador)



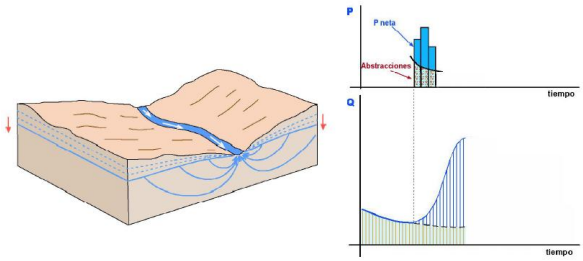
Sigue sin llover, la superficie freática desciende poco a poco: eso hace que el caudal vaya disminuyendo



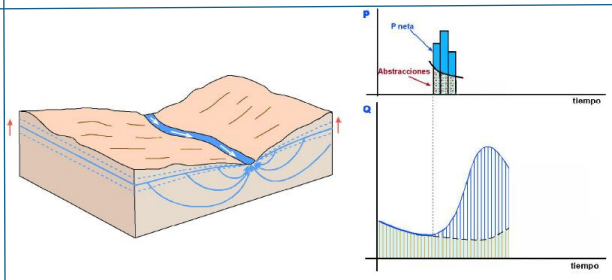
Sigue sin llover, la superficie freática sigue bajando, el caudal sigue disminuyendo



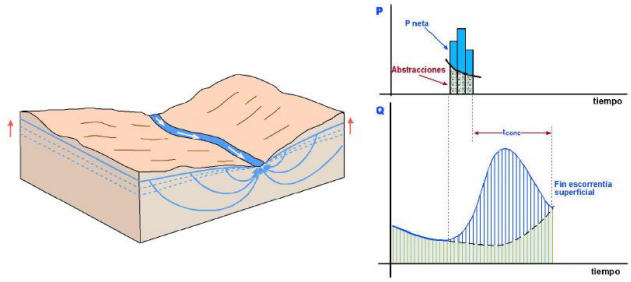
Comienzan las precipitaciones. El caudal comienza a subir, pero la parte aportada por la escorrentía subterránea sigue descendiendo



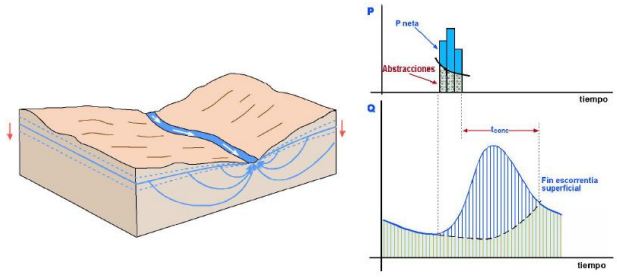
Cesa la precipitación, el caudal alcanza el máximo (llegan las precipitaciones caídas en las partes más alejadas de la cuenca) pero la aportación subterránea sigue disminuyendo



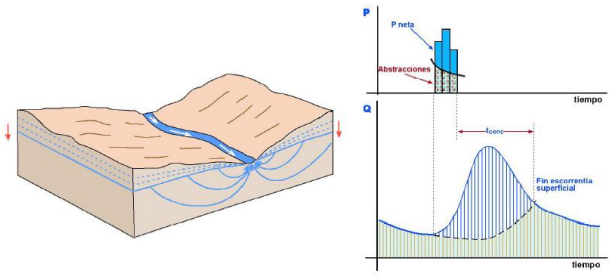
La escorrentía superficial comienza a disminuir.
La superficie freática comienza a recuperarse (por infiltración de parte de la lluvia anterior): la aportación subterránea aumenta



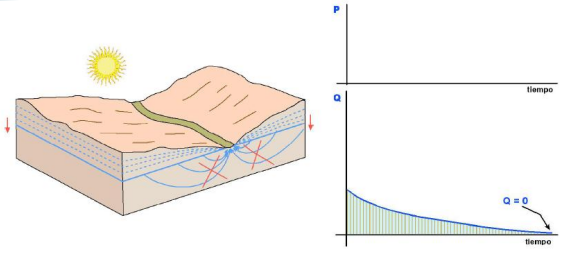
La escorrentía superficial se agota (tiempo concentración), pero la escorrentía subterránea sigue aumentando



Como en las primeras imágenes, todo el caudal es debido a la escorrentía subterránea, que comienza a disminuir



La superficie freática sigue descendiendo, el flujo base disminuye



Si la superficie freática llega a la horizontal (no hay gradiente que genere el flujo), la aportación subterránea se hace cero, el río se seca

⇒ COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL AGUA EN EL CICLO

Aquí se abre el bloque final: la química del agua. El agua no conserva siempre la misma composición durante el ciclo, sino que va cambiando al entrar en contacto con gases atmosféricos, suelos, rocas y aguas preexistentes.

Por eso la hidrología no estudia solo cantidades y movimientos, sino también calidad y evolución química. La química del agua permite reconstruir por dónde ha circulado y con qué materiales ha interactuado.

→ puntos Importantes:

- La composición química del agua cambia a lo largo del ciclo.
- El agua se modifica al contactar con atmósfera, suelo y roca.
- La química del agua ayuda a interpretar procesos hidrológicos e hidrogeológicos.

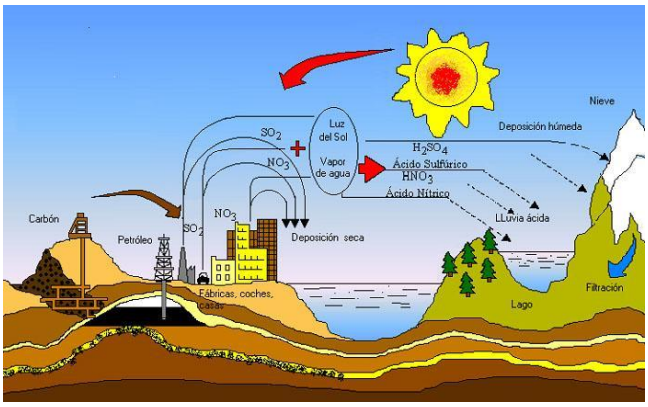
⇒ APOYO VISUAL

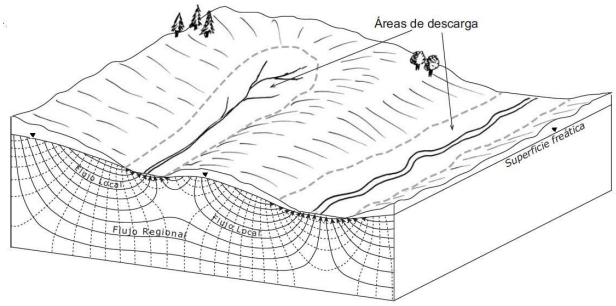
Estas diapositivas son un apoyo visual del bloque de química del agua. Su función es mostrar cómo el agua cambia de composición al atravesar diferentes medios.

En este bloque conviene relacionar siempre el agua con el material que toca: gases atmosféricos, suelo, roca, sales y aguas preexistentes. Esa interacción es la que explica la evolución química.

→ puntos Importantes:

- La química del agua se modifica por contacto con el medio.
- Las imágenes ayudan a seguir esa evolución paso a paso.
- La composición química es una herramienta para interpretar el recorrido del agua.





⇒ EVOLUCIÓN QUÍMICA DEL AGUA EN EL CICLO

Esta diapositiva resume cómo cambia el agua desde la atmósfera hasta el subsuelo y su salida a superficie. El agua de lluvia disuelve gases atmosféricos; al atravesar el suelo incorpora CO2 y ácidos húmicos; más abajo disuelve sales del terreno y modifica progresivamente su composición.

La evolución depende de la solubilidad de las rocas y del tiempo de

ΔΔ $[HCO_3^-]$ y $[Ca^{++}]$ Δ $[Cl^-]$, $[SO_4^=]$, $[NO_3^-]$ Δ $[Mg^{++}]$, $[Na^+]$ ≈ $[K^+]$	AGUA EN LA ATMÓSFERA: vapor de H_2O AGUA DE LLUVIA: disolución gases atmosféricos AGUA EDÁFICA:- disolución CO_2 y ácidos húmicos - ambiente árido: precipitación sales - ambiente húmedo: percolación AGUA EN Z.N.S: disolución de sales del terreno
Δ mineralización Evolución a Cl – Na Modificación por: - Rocas solubles	AGUA EN LA Z.S: disolución progresiva de sales. Evulución: - solubilidad de la roca (sal > yeso > caliza..) - permanencia y contacto agua-roca: $HCO_3^- \rightarrow SO_4^= \rightarrow Cl^-$ $Ca^{++} \rightarrow Mg^{++} \rightarrow Na^+$
Cambio composición	SALIDA A SUPERFICIE: - modificaciones químicas - dilución con agua superficial
Salinización	OCÉANOS Y MARES: - evaporación y Δ concentración

13

contacto agua-roca. Por eso aumentan ciertos iones, cambia la mineralización y en algunos casos el agua evoluciona hacia facies más salinas, como clorurada sódica. El mensaje clave es que el agua adquiere "historia química" a medida que circula.

→ puntos Importantes:

• La química del agua evoluciona según el medio que atraviesa.
• El tiempo de contacto con la roca influye mucho en la mineralización.
• La composición final del agua ayuda a saber por dónde ha circulado y qué ha disuelto.

⇒ RESUMEN GENERAL DEL TEMA

El tema muestra que el agua circula continuamente entre atmósfera, superficie, suelo y subsuelo gracias a la energía solar y a la gravedad. A lo largo de ese ciclo cambian su estado, su localización, su velocidad de circulación y también su composición química.

Además, explica cómo se mide la precipitación y el caudal, cómo se estudian infiltración y escorrentía, y cómo se interpreta la respuesta de una cuenca mediante hidrogramas. En conjunto, el tema une hidrología, hidrogeología y geoquímica del agua.

→ puntos Importantes:

• El Sol y la gravedad son los dos motores principales del ciclo hidrológico.
• La precipitación es la gran entrada atmosférica del agua al sistema terrestre.
• La infiltración conecta el agua superficial con acuíferos y humedad del suelo.
• La escorrentía explica el funcionamiento de ríos, avenidas e inundaciones.
• La composición química del agua cambia durante su recorrido por atmósfera, suelos y rocas.