

Unidad 2: Recursos Hídricos

Ciclo hidrológico (o del agua)

El ciclo del agua, también conocido como ciclo hidrológico, describe el movimiento continuo y cíclico del agua en el planeta Tierra. El agua puede cambiar su estado entre líquido, vapor y hielo en varias etapas del ciclo, y los procesos pueden ocurrir en cuestión de segundos o en millones de años. Aunque el equilibrio del agua en la Tierra permanece relativamente constante con el tiempo, las moléculas de agua individuales pueden circular muy rápido. El sol dirige el ciclo calentando el agua de los océanos. Parte de este agua se [evapora](#) en vapor de agua. El hielo y la nieve pueden [sublimar](#) directamente en vapor de agua. Las corrientes de aire ascendentes toman el vapor de la atmósfera, junto con el agua de evapotranspiración, que es el agua procedente de las plantas y la evaporación del suelo. El vapor se eleva en el aire, donde las temperaturas más frías hacen que se condense en nubes. Las corrientes de aire mueven las nubes alrededor del globo. Las partículas de las nubes chocan, crecen y caen del cielo como [precipitación](#). Algunas caen como precipitaciones de nieve y pueden acumularse como casquetes polares y glaciares, que almacenan el agua congelada durante miles de años. En climas más cálidos, los bloques de nieve a menudo se descongelan y se derriten cuando llega la primavera, y el agua derretida [fluye por la tierra](#). La mayor parte de la precipitación cae sobre los océanos o la tierra, donde, debido a la gravedad, fluye sobre la superficie. Una parte de ese agua entra en los ríos a través de valles en el paisaje, y la corriente mueve el agua hacia los océanos. El agua filtrada pasa a las aguas subterráneas, que se acumulan y son almacenadas como agua dulce en lagos. No toda el agua fluye por los ríos. La mayor parte de ella empapa la tierra como [infiltración](#). Un poco de agua se infiltra profundamente en la tierra y rellena acuíferos (roca subsuperficial saturada), que almacenan cantidades enormes de agua dulce durante períodos largos del tiempo. Algunas infiltraciones permanecen cerca de la superficie de la tierra y pueden emerger, acabando como agua superficial (y oceánica). Algunas aguas subterráneas encuentran grietas en la tierra y emergen. Con el tiempo, el agua sigue fluyendo, para entrar de nuevo en el océano, donde el ciclo se renueva.

Reservorios de agua y tiempos de residencia

Reservorios de agua

En el contexto del ciclo hidrológico, un reservorio representa el agua contenida en las diferentes etapas dentro del ciclo. El reservorio más grande lo constituyen los océanos, que contienen el 97% del agua de la Tierra. La siguiente cantidad más grande (el 2%) se almacena en forma sólida en los casquetes polares y glaciares. El agua contenida dentro de todos los organismos vivos representa el reservorio más pequeño.

El volumen de agua en los reservorios de agua dulce, en particular aquellos que están disponibles para uso humano, son importantes recursos acuíferos.

Reservorio de agua	Volumen de agua (106 km ³)	Porcentaje del total de agua
Océanos	1370	97.25
Casquetes polares y glaciares	29	2.05
Agua del suelo	9.5	0.68
Lagos	0.125	0.01
Humedad del suelo	0.065	0.005
Atmósfera	0.013	0.001
Ríos y corrientes	0.0017	0.0001
Biosfera	0.0006	0.00004

Tiempos de residencia del agua

El tiempo de residencia de un reservorio dentro del ciclo hidrológico es el tiempo medio que una molécula de agua pasará en esa reserva (ver la tabla). Es una medida de la edad media del agua en ese reservorio, aunque parte del agua pase mucho menos

tiempo que el promedio y otra parte mucho más tiempo.

El agua subterránea puede pasar más de 10000 años bajo la superficie de la Tierra antes de salir. Al agua subterránea más antigua se le llama agua fósil. Sin embargo, el agua almacenada en el suelo permanece allí muy brevemente, porque se extiende poco a través de la tierra y se pierde fácilmente por [evaporación](#), transpiración, corrientes o recarga de agua subterránea. Después de la evaporación, el agua permanece en la atmósfera durante aproximadamente 9 días antes de [condensarse](#) y caer a la Tierra como [precipitación](#).

Reservorio de agua	Tiempo de residencia promedio
Océanos	3200 años
Glaciares	20 a 100 años
Cubierta de nieve estacional	2 a 6 meses
Humedad del suelo	1 a 2 meses
Agua del suelo: superficial	100 a 200 años
Agua del suelo: profunda	10000 años
Lagos	50 a 100 años
Ríos	2 a 6 meses
Atmósfera	9 días

En [hidrología](#), los tiempos de residencia pueden estimarse de dos formas. El método más común se basa en

el principio de conservación de la masa y asume que la cantidad de agua en un reservorio dado es aproximadamente constante. Con este método, los tiempos de residencia se estiman dividiendo el volumen del reservorio por la tasa a la cual el agua entra o sale del mismo. Conceptualmente, esto es equivalente al cronometraje de cuánto tiempo tardaría el reservorio vacío para llenarse si no saliera nada de agua (o cuánto tiempo tardaría el reservorio lleno en vaciarse si no entrara nada de agua). Un método alternativo consiste en estimar los tiempos de residencia usando técnicas isotópicas. Este método está ganando popularidad, en particular para datar aguas subterráneas.

Procesos del agua

El agua pasa por diferentes procesos:

* [Precipitación](#). Es el vapor de agua condensado que cae a la superficie de la Tierra. La mayor parte de la precipitación se produce como lluvia, aunque también incluye la nieve, el granizo, el goteo de la niebla, los copos de nieve y el aguanieve. Aproximadamente 505000 km³ de agua caen como precipitación cada año, y de ellos 398000 km³ caen sobre los océanos.

* Interceptación de dosel. Es la precipitación que intercepta el follaje de las plantas y las copas de los árboles. Es agua que finalmente se evapora y vuelve a la atmósfera más que caer sobre la tierra.

* Escorrentía de nieve. Se refiere a la escorrentía producida al derretirse la nieve.

* Escorrentía. Es la variedad de rutas por las cuales se mueve el agua a través de la tierra. Incluye tanto la [escorrentía superficial](#) como la escorrentía a través de canales. Cuando fluye, el agua puede infiltrarse en la tierra, evaporarse en el aire, almacenarse en lagos o embalses, o ser extraída para usos humanos, agrícolas u otros.

* [Infiltración](#). Es el agua de la superficie de la tierra que penetra en el suelo. Una vez infiltrada, el agua pasa a formar parte de la humedad del suelo o del agua subterránea.

* Flujo subsuperficial. Es el flujo de agua por el subsuelo, la zona vadosa y los acuíferos. El agua subsuperficial puede volver a la superficie (por ejemplo, a través de un brote o mediante bombeo humano), o finalmente filtrarse en los océanos. El agua vuelve a la superficie de la tierra a una elevación inferior a la de donde se infiltró, bajo la fuerza de la gravedad o la presión. El agua subterránea tiende a moverse y rellenarse despacio, por lo que puede permanecer en los acuíferos durante miles de años.

* [Evaporación](#). Es la transformación del agua líquida en gas cuando se mueve desde la tierra o las fuentes de agua hacia la atmósfera. La fuente de energía para la evaporación es principalmente la radiación solar. La evaporación a menudo incluye la transpiración de las plantas, y en conjunto se le llama evapotranspiración.

La evapotranspiración anual total asciende a aproximadamente 505000 km³ de agua, de los cuales 434000 km³ se evaporan de los océanos.

* [Sublimación](#). Es el cambio de estado directo desde agua sólida (nieve o hielo) a vapor.

* [Advección](#). Es el movimiento del agua (en estado sólido, líquido o gaseoso) por la atmósfera. Sin advección, el agua que se evapora sobre los océanos no podría precipitar sobre la tierra.

* [Condensación](#). Es la transformación del vapor de agua en gotitas de agua líquidas en el aire, que producen nubes y niebla.

Cambios temporales y efectos climáticos

Cambios con el tiempo

El ciclo del agua describe los procesos que conducen al movimiento del agua en todas las zonas de la hidrosfera. Sin embargo, queda mucha más agua en "almacenaje" durante períodos largos de tiempo de la que realmente se mueve por el ciclo. El almacén para la gran mayoría del agua de la Tierra son los océanos. Se estima que de los 1.386.000.000 de kilómetros cúbicos (km³) del abastecimiento de agua del mundo, aproximadamente 1.338.000.000 km³ se almacenan en los océanos, es decir, un 95%. También se estima que los océanos suministran alrededor del 90% del agua evaporada que entra en el ciclo de agua.

Durante los períodos climáticos más fríos se forman más glaciares y casquetes polares, y una parte sustancial del abastecimiento de agua global se acumula como hielo, disminuyendo las cantidades en otras partes del ciclo del agua. Lo contrario sucede durante los períodos cálidos.

Durante la última época glacial los glaciares cubrieron casi un tercio de la masa continental de la Tierra, con el resultado de que los océanos eran aproximadamente 122 metros más bajos que hoy. Durante el último calentamiento global, hace aproximadamente 125.000 años, los mares eran aproximadamente 5,5 metros más altos que ahora. Hace unos tres millones de años los océanos podrían haber estado a una altura de 50 metros más elevados.

El consenso científico expresado en el Panel Intergubernamental 2007 sobre el Cambio Climático (IPCC) indica que el ciclo del agua va a seguir intensificándose a lo largo del siglo XXI, aunque esto no signifique que la [precipitación](#) aumente en todas las regiones.

En áreas de tierra subtropicales (sitios que son relativamente secos ya) la precipitación podría disminuir durante el siglo XXI, aumentando la probabilidad de sequía. La sequía puede ser más fuerte hacia los márgenes polares de la región subtropical (por ejemplo, la Cuenca del Mediterráneo, Sudáfrica, Australia del sur y el Sudoeste de Estados Unidos).

Se espera que las cantidades de precipitación anuales aumenten en las regiones cercanas al ecuador, que tienden a ser más húmedas en el clima actual, y también en latitudes altas. Estos modelos a gran escala están presentes en casi todas las simulaciones de modelos climáticas llevadas a cabo en varios centros de investigación internacionales como parte de la cuarta evaluación del IPCC.

La retirada de los glaciares es también un ejemplo de un ciclo del agua cambiante, donde el suministro de agua a los glaciares a partir de la precipitación no puede mantenerse equilibrado con la pérdida de agua por fundición y sublimación. La retirada de glaciares desde 1850 ha sido extensa.

Las actividades humanas que cambian el ciclo del agua incluyen:

- * Agricultura
- * Modificación de la composición química de la atmósfera
- * Construcción de presas
- * Deforestación y repoblación forestal

- * Retiro de agua subterránea de pozos

- * Abstracción de agua de ríos

- * Urbanización

Efectos sobre el clima

El ciclo hidrológico está impulsado por la energía solar. El 86% de la [evaporación](#) global ocurre en los océanos, que reduce su temperatura por la refrigeración evaporativa. Sin el efecto refrescante de la evaporación, el efecto invernadero conduciría a una temperatura superficial mucho más alta de 67°C, y un planeta más cálido.

Efectos sobre el ciclo biogeoquímico

El ciclo del agua es un ciclo biogeoquímico, pero además el flujo de agua por encima y por debajo de la Tierra es un componente clave de otros ciclos. La [escorrentía](#) es responsable de casi todo el transporte de sedimentos erosionados y fósforo desde el suelo a los cursos de agua. La salinidad de los océanos procede de la erosión y el transporte de sales disueltas del suelo. La eutrofización de los lagos se debe principalmente al fósforo, aplicado en exceso a campos agrícolas mediante fertilizantes, y luego transportado por la tierra y los ríos. Tanto la escorrentía como el flujo de agua subterránea desempeñan papeles significativos en el transporte del nitrógeno desde la tierra a los cursos de agua. La escorrentía también juega un papel en el [ciclo del carbono](#), debido al transporte de roca erosionada y suelo.

Precipitación

La precipitación es cualquier producto de la condensación del vapor de agua atmosférico que se deposita en la superficie de la Tierra. Ocurre cuando la atmósfera (que es una gran solución gaseosa) se satura con el vapor de agua, y el agua se condensa y cae de la solución (es decir, precipita). El aire se satura a través de dos procesos: por enfriamiento y añadiendo humedad. La precipitación que alcanza la superficie de la tierra puede producirse en muchas formas diferentes, como lluvia, lluvia congelada, llovizna, nieve, aguanieve y granizo. La virga es la precipitación que comienza a caer a la tierra pero que se evapora antes de alcanzar la superficie.

La precipitación es un componente principal del ciclo hidrológico, y es responsable de depositar la mayor parte del agua dulce en el planeta. Aproximadamente 505000 km³ de agua caen como precipitación cada año, y de ellos 398000 km³ caen sobre los océanos. Dada el área superficial de la Tierra, eso significa que la precipitación anual promediada globalmente es más o menos de 1 m, y la precipitación anual media sobre los océanos de 1.1 m.

Tipos de precipitación

La precipitación se divide en tres categorías:

* **Precipitación líquida:** llovizna y lluvia.

* **Precipitación glacial:** llovizna congelada y lluvia congelada (aguanieve).

* **Precipitación congelada:** nieve, bolitas de nieve, granos de nieve, bolitas de hielo (aguanieve), granizo, bolitas o copos de nieve y cristales de hielo

Cómo se satura el aire

El aire contiene humedad, medida en gramos de agua por kilogramo de aire seco (g/kg), aunque es común expresarla como porcentaje de humedad relativa. La humedad que un volumen de aire puede mantener antes de que se sature (humedad relativa del 100%) depende de su temperatura. El aire cálido tiene una capacidad mayor para mantener la humedad que el aire frío. A causa de esta propiedad del aire, un modo de saturar un volumen de aire es refrescarlo. El punto de rocío es la temperatura a la que un volumen de aire tiene que enfriarse para que se produzca su saturación.

Algunos mecanismos de enfriamiento del aire incluyen:

* Elevación (convectiva, mecánica, advección de vorticidad positiva):

--> Enfriamiento conductivo (el aire cálido se mueve sobre una superficie fría)

--> Enfriamiento radiacional (el calor se irradia hacia el espacio por la noche)

--> Enfriamiento evaporativo (la temperatura del aire baja cuando el agua líquida usa la energía para cambiar a fase de vapor)

El otro modo de saturar el aire es añadirle humedad, mediante:

* Precipitación que cae desde arriba (estrato que forma lluvia bajo una nube más alta)

* El calor del agua que, de día, se evapora de la superficie de océanos y lagos

* Aire más seco que se mueve sobre aguas abiertas (corrientes de nieve en los Grandes Lagos en invierno)

Cómo se forma la precipitación

Condensación

La precipitación comienza a formarse cuando asciende el aire cálido y húmedo. Al enfriarse el aire, el vapor de agua comienza a condensarse en núcleos de condensación, formando nubes. Después de que las gotitas de agua se ponen lo bastante grandes, pueden ocurrir los siguientes dos procesos.

Coalescencia (fusión)

La coalescencia ocurre cuando las gotitas de agua se funden para crear otras gotitas más grandes, o cuando las gotitas se congelan en un cristal de hielo. La resistencia del aire hace que las gotitas de agua en una nube permanezcan inmóviles. Cuando se produce una turbulencia del aire, las gotitas de agua chocan, produciendo gotitas más grandes. Cuando estas gotitas descienden, la fusión continua, de modo que las

gotas se hacen lo bastante pesadas como para vencer la resistencia del aire y caer como lluvia. La coalescencia sucede más a menudo pasa en nubes por encima de la congelación.

Proceso de Bergeron

El proceso de Bergeron ocurre cuando los cristales de hielo adquieren moléculas de agua de las gotitas de agua superfrías cercanas. Cuando estos cristales de hielo ganan bastante masa, comienzan a caer. Esto generalmente requiere más masa que la fusión entre el cristal y las gotitas de agua vecinas. Este proceso es dependiente de la temperatura, ya que las gotitas de agua superfrías sólo existen en una nube por debajo de la congelación. Además, debido a la gran diferencia de temperaturas entre la nube y el nivel de tierra, estos cristales de hielo pueden derretirse cuando caen y convertirse en lluvia.

Formas de precipitación

Actividad frontal

La precipitación estratiforme o dinámica ocurre como consecuencia del ascenso lento del aire en sistemas sinópticos, como en los frentes fríos, y antes de los frentes cálidos. Un ascenso similar se observa alrededor de los ciclones tropicales fuera del ojo, y en modelos de precipitación con cabeza de coma alrededor de los ciclones de latitud media.

Convección

La lluvia convectiva proviene de nubes convectivas, como los cumulonimbos o cúmulos congestus. Cae como chaparrones con una intensidad que varía rápidamente. La precipitación convectiva cae en un tiempo relativamente corto sobre un área determinada. La mayor parte de la precipitación en zonas tropicales parece ser convectiva; sin embargo, se ha sugerido que también se da la precipitación estratiforme. Los copos de nieve y el granizo siempre indican convección. A latitudes medias, la precipitación convectiva tiene relación con los frentes fríos (a menudo detrás del frente), las líneas de chubascos y los frentes cálidos con una significativa humedad disponible.

Efectos orográficos

La precipitación orográfica ocurre en el lado de barlovento de las montañas y está causada por el

movimiento de ascendente de un flujo de aire húmedo a través de la montaña, que provoca la refrigeración adiabática y la [condensación](#).

En las zonas montañosas del mundo, sujetas a vientos relativamente consistentes (por ejemplo, los vientos alisios), prevalece un clima más húmedo por lo general en el lado de barlovento de la montaña que en el lado de sotavento. La humedad es eliminada por el ascenso orográfico, dejando el aire más seco en la bajada (generalmente calentándose), y una sombra de lluvias al lado de sotavento.

La precipitación orográfica es bien conocida en las islas oceánicas, como por ejemplo las Islas Hawaianas, donde la mayor parte de la precipitación queda en el lado de barlovento, mientras que el lado de sotavento tiende a ser completamente seco (casi parecido a un desierto). Este fenómeno causa sustanciales declives locales en la precipitación media; en las áreas costeras caen entre 500 y 750 mm por año (20 a 30 pulgadas), mientras que en los altiplanos interiores caen 2.5 m por año (100 pulgadas).

En Sudamérica, la sierra de Los Andes bloquea la mayor parte de la humedad Atlántica que llega a aquel continente, causando un clima parecido a un desierto en la costa pacífica de Perú y norte de Chile, ya que la fría Corriente de Humboldt asegura que el aire del Océano Pacífico sea seco también. En el lado de sotavento de Los Andes está el Desierto de Atacama, en Chile. También está bloqueado de la humedad por las montañas a su oeste. No es de extrañar que este sea el lugar más seco de la tierra. La Sierra Nevada crea el mismo efecto en Norteamérica, formando el desierto Great Basin, el desierto de Mojave y el de Sonora.

Actividad tropical

La actividad tropical, en general, consiste en grandes masas de aire de varios cientos de millas con la presión baja en el centro y con vientos que soplan alrededor del centro en cualquier dirección en el sentido de las agujas del reloj (hemisferio sur) o contrario a las agujas del reloj (hemisferio norte). La precipitación surge cuando un frente cálido se forma debido a una masa progresiva de aire cálido que sube por una superficie inclinada de aire frío que se retira, y es enfriada en el proceso de elevación causando la precipitación. El Gran Desierto Arenoso obtiene casi toda su lluvia durante las tormentas monzónicas o la depresión lluviosa de algún ciclón tropical ocasional. Las tormentas ocurren en un promedio de 20-30 días anualmente en la mayor parte del área. Aunque el desierto tenga tasas de precipitación bastante altas, debido a que también hay una alta tasa de evaporación, este área permanece con un ambiente árido y áreas enormes de arena.

Otras áreas del mundo donde se producen estos raros acontecimientos de precipitación son el noroeste de México, el sudoeste de los Estados Unidos y el sudoeste de Asia. En Norteamérica, los desiertos de

Chihuahua y Sonora han recibido algo de precipitación tropical en los últimos diez años. La actividad tropical es rara en todos los desiertos, pero la poca lluvia que cae es importante para la existencia del ecosistema.

Características de la precipitación

Tamaño y forma

Las gotas de lluvia tienen tamaños en los límites de 0.1 mm hasta los 9 mm de diámetro, y por encima de ese tamaño tienden a romperse. Las gotas más pequeñas se llaman gotitas de nube, y su forma es esférica.

Cuando una gota de lluvia aumenta de tamaño, su forma se hace más redondeada, con un corte transversal más grande.

Intensidad y duración

La intensidad y duración de la precipitación están, por lo general, inversamente relacionadas; es decir, las tormentas de intensidad altas probablemente serán de duración corta, y las tormentas de intensidad baja pueden tener una duración larga.

Intensidad y área

Sobre un área grande la precipitación suele ser menos intensa que sobre un área pequeña.
Tamaño de gota e intensidad

Las tormentas de intensidad alta tienen un tamaño de gota más grande que las tormentas de intensidad baja.

Medida de la precipitación

El método estándar de medir la lluvia o nevada es un pluviómetro estándar, que puede ser de plástico o metal, y de entre 100 mm y 200 mm. El cilindro interior se llena con 25 mm de lluvia, que al desbordar fluye en el cilindro externo. Los calibradores plásticos tienen marcas en el cilindro interior con una resolución de 0.25 mm, mientras que los calibradores metálicos requieren el uso de un palo diseñado con marcas de 0.25 mm. Estos calibradores se adaptan para el invierno quitando el embudo y el cilindro interior y permitiendo que la lluvia o nieve entre en el cilindro externo. Una vez que la nevada o hielo termina de acumularse, o cuando se acerca a 300 mm, se retira para que se derrita, o se usa agua caliente para llenar el cilindro interior a fin de derretir la precipitación congelada en el cilindro externo, guardando la cantidad de fluido caliente añadido, que luego se resta del total general una vez que todo el hielo o nieve se ha derretido.

Otros tipos de calibradores incluyen el pluviómetro de cuña (el pluviómetro más barato y más frágil), el pluviómetro de cubeta basculante y el pluviómetro pesado. Los pluviómetros de cuña y de cubeta basculante tienen problemas con la nieve. Las tentativas de compensar la nieve o hielo calentando la cuña basculante tienen un éxito limitado, ya que la nieve puede sublimar si el calibrador se guarda por encima de la temperatura de congelación. Los pluviómetros pesados con anticongelante son más apropiados para la nieve, pero hay que quitarles el embudo antes de que comience la precipitación. Para quienes quieren medir la precipitación de una forma casera y económica, es posible hacerlo con una lata cilíndrica con lados rectos, pero su exactitud dependerá de la regla que se use para medir la lluvia. Cualquiera de los pluviómetros mencionados puede ser construido en casa.

Hay varias redes de mediciones de precipitación repartidas por todo el mundo, que comparten sus datos a través de Internet o de oficinas meteorológicas locales. Los datos de precipitación son importantes para pronosticar los flujos de los ríos y la calidad del agua del río, usando modelos de transporte hidrológicos como SWMM, SHE o el modelo DSSAM.

Período de retorno

La probabilidad de que se produzca un evento, con una intensidad y duración especificada, se llama período o frecuencia de retorno. La intensidad de una tormenta puede predecirse para cualquier período de retorno y duración de la tormenta, a partir de tablas basadas en datos históricos de posición.

Frecuencia de inundación

No hay ningún modo de predecir cuándo tendrá lugar una inundación y de qué tamaño será, pero los eventos de inundaciones pasadas pueden proporcionar alguna información en cuanto a lo que se podría esperar.

Escorrentía superficial

La escorrentía superficial describe el flujo del agua, lluvia, nieve, u otras fuentes, sobre la tierra, y es un componente principal del ciclo del agua. A la escorrentía que ocurre en la superficie antes de alcanzar un canal se le llama fuente no puntual. Si una fuente no puntual contiene contaminantes artificiales, se le llama contaminación de fuente no puntual. Al área de tierra que produce el drenaje de la escorrentía a un punto común se la conoce como línea divisoria de aguas. Cuando la escorrentía fluye a lo largo de la tierra, puede recoger contaminantes del suelo, como petróleo, pesticidas (en especial herbicidas e insecticidas), o fertilizantes.

Generación

La escorrentía superficial puede generarse por precipitación o por fundición de nieve o glaciares. La fundición de nieve y glaciares se da sólo en áreas lo bastante frías como para que se formen permanentemente. La escorrentía de nieve suele alcanzar su punto máximo en primavera, y los glaciares se derriten en verano, lo que produce máximos de flujo pronunciados en los ríos afectados por ellos. El factor determinante de la tasa de fundición de nieve o glaciares es la temperatura del aire y la duración de la luz solar. En las regiones de alta montaña, las corrientes se elevan durante los días soleados y disminuyen en los nublados debido a la razón anterior.

En áreas donde no hay nieve, la escorrentía proviene de la precipitación. Sin embargo, no toda la precipitación produce escorrentía, porque el almacenaje en los suelos puede absorber los chaparrones ligeros. En los suelos muy antiguos de Australia y África del Sur, las raíces proteoides, con sus redes muy densas de pelos, pueden absorber tanta agua de lluvia como para evitar la escorrentía, aunque caigan cantidades sustanciales de lluvia. En estas regiones, incluso en suelos de arcilla agrietados relativamente menos estériles, son necesarias cantidades altas de [precipitación](#), y un bajo potencial de [evaporación](#), para generar cualquier escorrentía superficial, lo que conduce a adaptaciones especializadas a corrientes muy variables (por lo general, efímeras).

Flujo terrestre con exceso de infiltración

Hay un exceso de [infiltración](#) cuando la tasa de precipitación en una superficie excede la tasa a la cual el agua puede infiltrarse en la tierra, y cualquier cuenca para almacenamiento está ya llena. A este proceso también se le llama flujo terrestre hortoniano (en honor de Robert E. Horton), o flujo terrestre insaturado. Se produce con más frecuencia en regiones áridas y semiáridas, donde las intensidades de precipitación son altas y la capacidad de infiltración del suelo es reducida debido a la impermeabilización de la superficie, o en áreas pavimentadas.

Flujo terrestre con exceso de saturación

Cuando el suelo está saturado y la cuenca de almacenamiento llena, la precipitación producirá inmediatamente una escorrentía superficial. El nivel precedente de humedad del suelo es un factor que afecta al tiempo que pasará hasta que el suelo se sature. Esta escorrentía se conoce también como flujo terrestre saturado.

Flujo de retorno subsuperficial

Después de que el agua se infiltra en el suelo en la porción en cuesta de una colina, el agua puede fluir lateralmente por el suelo, y exfiltrarse (fluir fuera) cerca de un canal. También se le llama flujo interno. Al fluir, la cantidad de escorrentía puede verse reducida de varios modos: una pequeña parte puede evaporarse; el agua puede almacenarse temporalmente en cuencas microtopográficas; y otra parte puede fluir inmediatamente sobre la superficie. La escorrentía superficial que permanece al final fluye en una corriente de agua como ríos, lagos, estuarios u océanos.

Impacto humano sobre la escorrentía superficial

La urbanización aumenta la escorrentía superficial, al crear superficies más impermeables, como pavimento y edificios, que no permiten la filtración del agua hasta el acuífero. En vez de filtrarse al suelo, el agua es forzada directamente hacia corrientes o drenajes, donde la erosión y sedimentación pueden ser problemas importantes, incluso cuando no hay inundación. El aumento de escorrentía reduce la recarga de agua subterránea, bajando así la capa freática y empeorando las sequías, sobre todo para los agricultores y quienes dependen de pozos de agua.

Cuando hay contaminantes antropogénicos disueltos o suspendidos en la escorrentía, el impacto humano se amplía. Esta carga de contaminantes puede alcanzar a diversas aguas receptoras como corrientes, ríos, lagos, estuarios y océanos, cambiando la química del agua en estos sistemas y en sus ecosistemas relacionados.

Efectos de la escorrentía superficial

Erosión

La escorrentía superficial es una de las causas de erosión de la superficie de la tierra. La erosión provoca una menor productividad de las cosechas, por lo que sus efectos se estudian en el campo de la conservación del suelo. Hay cuatro tipos principales de erosión: erosión de salpicadura, erosión de barranco, erosión de lámina y erosión de lecho de arroyo. La erosión de salpicadura es el resultado de la colisión mecánica de una gota de lluvia con la superficie del suelo, provocando que algunas partículas de suelo queden suspendidas en la solución de agua superficial. La erosión de barranco ocurre cuando la corriente de la escorrentía es tan fuerte que corta una rínglera reconocible en el suelo y crea un pequeño riachuelo con canal bien definido,

que podría ser tan pequeño como un centímetro de ancho o tan grande como varios metros. La erosión de lámina es el transporte terrestre de escorrentía que no tiene un canal bien definido. Ambos tipos de escorrentía pueden transportar cantidades significativas de sedimentos u otros contaminantes del agua. En el caso de la erosión de barranco, cantidades masivas de material pueden ser transportadas en un pequeño espacio de tiempo.

Las partículas de suelo que lleva la escorrentía tienen un tamaño variable de entre 0.001 mm y 1 mm de diámetro. Las partículas más grandes tienden a precipitar, o a asentarse, con pequeñas distancias de transporte, mientras que las partículas diminutas pueden recorrer mucha distancia suspendidas en la columna de agua. Por esta razón, los suelos de arcilla, compuestos por partículas más pequeñas, tienden a generar turbiedad y disminuir la transmisión de luz, una condición que puede interrumpir los ecosistemas acuáticos.

Actualmente, una de las fuentes principales de pérdida de suelo por erosión proviene de la tala y la quema de bosques tropicales. Cuando la superficie de tierra total es despojada de vegetación y de todos los organismos vivos, los suelos superiores son vulnerables a la erosión del viento y el agua. En varias regiones de la tierra, hay sectores enteros que han sido declarados improductivos. Por ejemplo, en la alta meseta central de Madagascar, que comprende aproximadamente el diez por ciento del área de tierra de aquel país, el paisaje es estéril en vegetación, con surcos erosivos superiores a 50 metros de hondo y de un kilómetro de ancho. La pérdida de suelo superior a causa de la erosión reduce su fertilidad y la calidad del producto agrícola.

Impactos ambientales

Las principales cuestiones ambientales asociadas con la escorrentía son los impactos sobre el agua superficial, subterránea y del suelo, por el transporte de contaminantes a estos sistemas. En último término, estas consecuencias se traducen en riesgos para la salud humana, perturbaciones del ecosistema e impacto estético sobre los recursos de agua. Entre los contaminantes que crean el mayor impacto, sobre las aguas superficiales que provienen de la escorrentía, están las sustancias derivadas del petróleo, los herbicidas y los fertilizantes. Cuando las aguas superficiales son usadas como abastecimientos de agua potable, pueden quedar comprometidas en cuanto a riesgos para la salud y estética del agua potable (es decir, en su olor, color y turbiedad). Las aguas superficiales contaminadas también pueden cambiar los procesos metabólicos de las especies acuáticas que reciben; estas

Infiltración del agua

La infiltración es el proceso por el cual el agua en la superficie de la tierra entra en el suelo. La tasa de infiltración, en la ciencia del suelo, es una medida de la tasa a la cual el suelo es capaz de absorber la [precipitación](#) o la irrigación. Se mide en pulgadas por hora o milímetros por hora. Las disminuciones de tasa hacen que el suelo se sature. Si la tasa de precipitación excede la tasa de infiltración, se producirá [escorrentía](#) a menos que haya alguna barrera física. Está relacionada con la conductividad hidráulica saturada del suelo cercano a la superficie. La tasa de infiltración puede medirse usando un infiltrómetro.

Introducción

La infiltración está gobernada por dos fuerzas: la gravedad y la acción capilar. Los poros muy pequeños empujan el agua por la acción capilar además de contra la fuerza de la gravedad. La tasa de infiltración se ve afectada por características del suelo como la facilidad de entrada, la capacidad de almacenaje y la tasa de transmisión por el suelo.

En el control de la tasa y capacidad infiltración desempeñan un papel la textura y estructura del suelo, los tipos de vegetación, el contenido de agua del suelo, la temperatura del suelo y la intensidad de precipitación. Por ejemplo, los suelos arenosos de grano grueso tienen espacios grandes entre cada grano y permiten que el agua se infiltre rápidamente. La vegetación crea más suelos porosos, protegiendo el suelo del estancamiento de la precipitación, que puede cerrar los huecos naturales entre las partículas del suelo, y soltando el suelo a través de la acción de las raíces. A esto se debe que las áreas arboladas tengan las tasas de infiltración más altas de todos los tipos de vegetación.

La capa superior de hojas, que no está descompuesta, protege el suelo de la acción de la lluvia, y sin ella el suelo puede hacerse mucho menos permeable. En las áreas con vegetación de chaparral, los aceites hidrofóbicos de las hojas suculentas pueden extenderse sobre la superficie del suelo con el fuego, creando grandes áreas de suelo hidrofóbico.

Otros eventos que pueden bajar las tasas de infiltración o bloquearla son los restos de plantas secas que son resistentes al remojo, o las heladas. Si el suelo está saturado en un período glacial intenso, puede convertirse en un cemento congelado en el cual no se produce casi ninguna infiltración. Sobre una línea divisoria de aguas probablemente habrá huecos en el cemento helado o el suelo hidrofóbico por donde el agua puede infiltrarse.

Una vez que el agua se ha infiltrado en el suelo, permanece allí y se filtra al agua subterránea, o pasa a formar parte del proceso de escorrentía subsuperficial.

Proceso de infiltración

El proceso de infiltración puede continuar sólo si hay espacio disponible para el agua adicional en la superficie del suelo. El volumen disponible para el agua adicional depende de la porosidad del suelo y de la tasa a la cual el agua antes infiltrada puede alejarse de la superficie a través del suelo. La tasa máxima a la que el agua puede entrar en un suelo se conoce como capacidad de infiltración. Si la llegada del agua a la superficie del suelo es menor que la capacidad de infiltración, toda el agua se infiltrará. Si la intensidad de precipitación en la superficie del suelo ocurre a una tasa que excede la capacidad de infiltración, el agua comienza a estancarse y se produce la escorrentía sobre la superficie de la tierra, una vez que la cuenca de almacenamiento está llena. Esta escorrentía se conoce como flujo terrestre hortoniano. El sistema hidrológico completo de una línea divisoria de aguas se analiza a veces usando modelos de transporte hidrológicos, modelos matemáticos que consideran la infiltración, la escorrentía y el flujo de canal para predecir las tasas de flujo del río y la calidad del agua de la corriente.

Investigaciones sobre la infiltración

Robert E. Horton (1933) sugirió que la capacidad de infiltración rápidamente disminuía durante la fase inicial de una tormenta y luego tendía hacia un valor aproximadamente constante después de un par de horas. El agua antes infiltrada llena los almacenes disponibles y reduce las fuerzas capilares que hacen entrar el agua en los poros. Las partículas de arcilla en el suelo pueden hincharse cuando se mojan, y así reducen el tamaño de los poros. En áreas donde la tierra no está protegida por una capa de residuos forestales, las gotas de lluvia pueden separar las partículas del suelo superficial y lavar las partículas finas en los poros superficiales, lo que puede impedir el proceso de infiltración.

Infiltración en la recogida de aguas residuales

Los sistemas de recogida de aguas residuales consisten de un juego de líneas, uniones y estaciones elevadoras para comunicar las aguas residuales con una planta de tratamiento de agua. Cuando estas líneas se ven comprometidas por ruptura, rajadas o invasión de la raíz de un árbol, puede producirse infiltración de aguas pluviales. Esta circunstancia a menudo conduce a un desbordamiento de alcantarillas, o la descarga de aguas residuales no tratadas al entorno.

Métodos de cálculo de la infiltración

Hay varias formas de estimar el volumen y/o la tasa de infiltración del agua en un suelo. Algunos métodos de valoración excelentes son el método Verde-Ampt, el método de SCS, el método de Horton, y la ley de Darcy.

Evaporación

La evaporación es el proceso por el cual las moléculas en estado líquido (por ejemplo, el agua) se hacen gaseosas espontáneamente (ej.: vapor de agua). Es lo opuesto a la [condensación](#). Generalmente, la evaporación puede verse por la desaparición gradual del líquido cuando se expone a un volumen significativo de gas. Por término medio, las moléculas no tienen bastante energía para escaparse del líquido, porque de lo contrario el líquido se convertiría en vapor rápidamente. Cuando las moléculas chocan, se transfieren la energía de una a otra en grados variantes según el modo en que chocan. Los líquidos que no parecen evaporarse visiblemente a una temperatura dada en un gas determinado (p.ej., el aceite de cocina a temperatura ambiente) poseen moléculas que no tienden a transferirse la energía de una a otra como para darle "la velocidad de escape" (la energía calórica) necesaria para convertirse en vapor. Sin embargo, estos líquidos se evaporan, pero el proceso es mucho más lento y considerablemente menos visible.

La evaporación es una parte esencial del ciclo del agua. La energía solar provoca la evaporación del agua de los océanos, lagos, humedad del suelo y otras fuentes de agua. En [hidrología](#), la evaporación y la transpiración (que implica la evaporación dentro del estoma de la planta) reciben el nombre conjunto de evapotranspiración.

Teoría cinética

Para que las moléculas de un líquido se evaporen, deben estar localizadas cerca de la superficie, moverse en la dirección apropiada y tener la energía cinética suficiente como para vencer las fuerzas intermoleculares de la fase líquida. Sólo una pequeña proporción de las moléculas cumplen con estos criterios, por lo que la tasa de evaporación es limitada.

Debido a que la energía cinética de una molécula es proporcional a su temperatura, la evaporación se produce más rápido conforme la temperatura es más alta. Como las moléculas que se mueven más rápido escapan, las moléculas restantes tienen una energía cinética media inferior, y por tanto la temperatura del líquido disminuye. Este fenómeno se conoce como refrigeración evaporativa, y es la razón por la cual la evaporación del [sudor](#) refresca el cuerpo humano.

La evaporación también tiende a producirse más rápidamente con tasas de flujo más altas entre la fase gaseosa y líquida, y en líquidos con presión de vapor más alta. Por ejemplo, la ropa tendida en un cordel secará (por evaporación) más rápidamente durante un día ventoso que en un día sin viento. Tres puntos claves de la evaporación son el calor, la humedad y el movimiento del aire.

Equilibrio evaporativo

Si la evaporación ocurre en un recipiente cerrado o en sitios calientes, las moléculas que se escapan se acumularán como vapor encima del líquido. Muchas de las moléculas vuelven al líquido, haciéndose el retorno más frecuente conforme la densidad y la presión del vapor aumentan. Cuando el proceso de fuga y retorno alcanza un equilibrio, se dice que el vapor está "saturado", y ya no se dará ningún cambio adicional en la presión o la densidad del vapor. Para un sistema que consiste en vapor y líquido de una sustancia pura, este estado de equilibrio está directamente relacionado con la presión de vapor de la sustancia, como viene expresado en la relación de Clausius-Clapeyron:

donde P_1 y P_2 son las presiones de vapor a temperaturas T_1 y T_2 respectivamente, ΔH_{vap} es la entalpía de la vaporización, y R es la constante universal de los gases. La tasa de evaporación en un sistema abierto está relacionada con la presión de vapor encontrada en un sistema cerrado. Si un líquido se calienta, cuando la presión de vapor alcance la presión ambiental, el líquido hervirá.

La capacidad para evaporarse de la molécula de un líquido se debe en gran parte a la cantidad de energía cinética que una partícula individual pueda poseer. Incluso a temperaturas inferiores, las moléculas individuales de un líquido pueden evaporarse potencialmente si tienen más de la cantidad mínima de energía cinética requerida para la vaporización.

Factores que influyen en la tasa de evaporación

- * Concentración de la sustancia que se evapora en el aire. Si el aire ya tiene una alta concentración de la sustancia que se evapora, entonces la sustancia se evaporará más despacio.
- * Concentración de otras sustancias en el aire. Si el aire ya está saturado con otras sustancias, puede tener una capacidad inferior para la sustancia que se evapora.

* Tasa de flujo de aire. Si aire fresco se mueve sobre la sustancia todo el tiempo, la concentración de la sustancia en el aire tendrá menos probabilidad de subir con el tiempo, potenciando así una evaporación más rápida. Esto resulta en una capa divisoria en la superficie de evaporación que disminuye con la velocidad de flujo, disminuyendo la distancia de difusión en la capa estancada.

* Concentración de otras sustancias en el líquido (impurezas). Si el líquido contiene otras sustancias, tendrá una capacidad inferior para la evaporación.

* Temperatura de la sustancia. Si la sustancia está más caliente, la evaporación será más rápida.

* Fuerzas intermoleculares. Cuanto mayores son las fuerzas que mantienen las moléculas juntas en el líquido, más energía será necesaria para evaporarlas.

* Área superficial. Una sustancia que tiene un área superficial más grande se evaporará más rápido, ya que hay más moléculas superficiales que son capaces de escaparse.

* Calentamiento. Cuanto más grueso es el recipiente donde se está calentando, más se reduce la evaporación del agua, debido a que se dedica menos calor a los propia evaporación. En los Estados Unidos, el Servicio Meteorológico Nacional mide la tasa actual de evaporación en "ollas" estandarizadas de agua abiertas al aire libre en varias localizaciones a escala nacional. Otros servicios hacen lo mismo alrededor del mundo. Los datos estadounidenses son compilados en un mapa de evaporación anual. Las medidas varían entre 30 y más de 120 pulgadas por año.

Aplicaciones

Secado

Cuando la ropa se cuelga de un cordel, aunque la temperatura ambiental esté por debajo del punto de ebullición del agua, el agua se evaporará. Este proceso se acelera por factores como humedad baja, calor (del sol) y viento. En un secador de ropa, se hace pasar aire caliente por las prendas, permitiendo que el agua se evapore muy rápidamente.

Combustión

Las gotitas de combustible se vaporizan, cuando reciben calor, mezclándose con los gases calientes en la

cámara de combustión. El calor (energía) también puede ser recibido por radiación de cualquier pared refractaria caliente de la cámara de combustión.

Deposición de capas

Evaporando una sustancia y condensándola en un sustrato es posible depositar capas delgadas.

Sublimación

La sublimación de un elemento o compuesto es una transición de la fase gas a la fase sólida sin pasar por una etapa líquida intermedia. La sublimación es una transición de fase que ocurre a temperaturas y presiones por debajo del punto triple. A presiones normales, la mayor parte de compuestos químicos y elementos poseen tres estados diferentes a temperaturas distintas. En estos casos, la transición del sólido al estado gaseoso requiere un estado líquido intermedio. Sin embargo, para algunos elementos o sustancias, a determinadas presiones, el material puede pasar directamente de sólido al estado gaseoso. Esto puede ocurrir si la presión atmosférica ejercida en la sustancia es demasiado baja para evitar que las moléculas escapen del estado sólido.

Lo opuesto a la sublimación es la deposición. La formación de heladas es un ejemplo de deposición meteorológica.

Algunas sustancias (como el zinc y el cadmio) se subliman a presiones bajas, y pueden ser un problema en aplicaciones de alto vacío.

El dióxido de carbono es un ejemplo común de compuesto químico que se sublima a la presión atmosférica. Un bloque de CO₂ sólido (hielo seco), a temperatura ambiente y a la presión atmosférica, se convertirá en gas sin hacerse líquido.

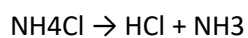
El yodo es otro ejemplo de sustancia que produce vapores con calentamiento suave. En contraste con el CO₂, sin embargo, es posible obtener yodo líquido a la presión atmosférica controlando la temperatura justo por encima del punto de fusión del yodo.

La nieve y otras aguas heladas también se subliman, aunque más despacio, a temperaturas bajo cero. Este fenómeno permite que la ropa mojada se pueda colgar al aire libre con tiempo glacial y sea recuperada más tarde en estado seco (aunque se requiera que la luz del sol sea fuerte).

La naftalina, un ingrediente común de las bolas antipolillas, también se sublima fácilmente. Y el arsénico se sublima a temperaturas altas.

La sublimación requiere energía adicional y un cambio endotérmico. La entalpía de sublimación puede ser calculada como entalpía de fusión más entalpía de vaporización.

Otras sustancias, como el cloruro de amonio, se subliman debido a reacciones químicas. Cuando se calienta, el cloruro de amonio se descompone en cloruro de hidrógeno y amoníaco en una reacción reversible:



Purificación por sublimación

La sublimación es una técnica usada por los químicos para purificar compuestos. Se coloca un sólido en una vasija, y se calienta en condiciones de vacío. Bajo esta presión reducida, el sólido se volatiliza y se condensa como un compuesto purificado en una superficie fría, dejando las impurezas como residuos no volátiles. Esta superficie fría a menudo tiene forma de dedo. Una vez que el calentamiento cesa y se libera del vacío, el compuesto purificado puede recogerse de la superficie fría. Por lo general, esto se hace usando un aparato de sublimación.

Usos

Los congeladores sin hielo funcionan mediante un ventilador y circulación de aire dentro del congelador. La temperatura bajo cero, junto con la circulación de aire, conserva la sequedad del aire y acelera considerablemente el proceso de sublimación. Esto mantiene sin hielo las paredes del congelador y los compartimentos, aunque los cubitos de hielo sublimen continuamente.

La sublimación de tinte también se usa a menudo en la impresión a color sobre una variedad de sustratos, incluido el papel. Se usa un pequeño calentador para vaporizar el material de tinte sólido, que se solidifica sobre el papel. Cuando este tipo de impresora permite un control muy fino de las proporciones de color primarias es posible obtener una foto de buena calidad incluso con una resolución de impresora relativamente baja, comparando con otros tipos de impresoras de resolución similar. Las impresoras láser en blanco y negro estándares son capaces de imprimir en papel normal usando un "tónor de transferencia especial" que contiene tintas de sublimación que pueden ser transferidas

permanentemente por calor a camisetas, sombreros, tazas, metales, rompecabezas y otras superficies. La sublimación también se usa para crear sustancias deshidratadas por congelación, como por ejemplo té, sopa o medicamentos, en un proceso llamado liofilización, que consiste en congelar una solución o suspensión y calentarla muy despacio en condiciones de medio a alto vacío (a una presión más baja que la presión de vapor del solvente en su punto de fusión). El resultado sólido es, por lo general, mucho más fácil de disolver o suspender de nuevo que uno que haya sido producido a partir de un sistema líquido, y las temperaturas bajas causan menos daño a las sustancias sensibles o reactivas.

Advección

La advección es el transporte en un fluido. El fluido se describe matemáticamente para tales procesos como un campo vector, y el material transportado como una concentración escalar de sustancia, que está presente en el fluido. Un buen ejemplo de advección es el transporte de contaminantes o sedimentos en un río: el movimiento del agua lleva estas impurezas río abajo. Otra sustancia comúnmente advectada es el calor, y aquí el fluido puede ser el agua, el aire, o cualquier otro material fluido que contenga calor. Cualquier sustancia, o propiedad conservada (como el calor) puede ser advectada, de un modo similar, en cualquier fluido.

La advección es importante para la formación de las nubes orográficas y la precipitación del agua desde las nubes, como parte del ciclo hidrológico.

En meteorología y oceanografía física, la advección a menudo se refiere al transporte de alguna propiedad de la atmósfera u océano, como calor, humedad o salinidad. La advección meteorológica u oceanográfica sigue superficies isobáricas y es, por tanto, predominantemente horizontal.

Matemáticas de la advección

La ecuación de advección es una ecuación diferencial parcial que gobierna el movimiento de un escalar conservado cuando es advectado por un campo de velocidad conocido. Se deriva usando la ley de conservación del escalar, junto con el teorema de Gauss, y tomando el límite infinitesimal. Quizás la mejor imagen a tener en mente es el transporte de la sal vertida en un río. Si el río es al principio de agua dulce y fluye rápidamente, la forma predominante del transporte de la sal en el agua será advectiva, cuando el flujo de agua en sí mismo transportaría la sal. Si el río no estuviera fluyendo, la sal simplemente se dispersaría hacia fuera desde su fuente en una manera difusiva, lo cual no es advección. La ecuación de advección no es simple de solucionar numéricamente: el sistema es una ecuación diferencial

parcial hiperbólica, y el interés típicamente se centra en soluciones "de choque" discontinuas (que son notoriamente difíciles para manejar esquemas numéricos).

Incluso en una dimensión espacial y a velocidad constante, el sistema sigue siendo difícil de simular.

Condensación

La condensación es el cambio en la materia de una sustancia a una fase más densa, como por ejemplo de gas (o vapor) a líquido. La condensación generalmente ocurre cuando un vapor se enfría, pero también puede ocurrir si se comprime (es decir, si se aumenta la presión) o se somete a una combinación de refrigeración y compresión. Al vapor que ha sido condensado de un líquido se le llama condensado. El dispositivo o la unidad donde se condensan los vapores en el líquido se llama condensador. Los condensadores se usan en intercambiadores de calor que tienen diversos diseños y tamaños.

Condensación del agua en la naturaleza

Al vapor de agua del aire que se condensa de forma natural en superficies frías se le llama rocío. El vapor de agua sólo se condensará en otra superficie cuando ésta sea más fría que la temperatura del vapor de agua, o cuando el equilibrio de vapor de agua en el aire, es decir, la humedad de saturación, se haya excedido.

Cuando el vapor de agua se condensa en una superficie, se produce un recalentamiento neto en dicha superficie.

La molécula de agua trae un paquete de calor con ella. La temperatura de la atmósfera también se eleva muy ligeramente. Como consecuencia de su condensación, la molécula tiende a ser relativamente baja en energía cinética. Ya que la atmósfera ha perdido una partícula de movimiento lento, la velocidad media de las moléculas en la atmósfera aumenta, y por tanto su temperatura también se eleva. En la atmósfera, la condensación del vapor de agua es lo que produce las nubes. El punto de rocío del aire es la temperatura a la cual debe enfriarse antes de que comience a formarse condensación. También, una condensación neta de vapor de agua ocurre cuando la temperatura de la superficie está igual o por debajo de la temperatura del punto de rocío de la atmósfera.

La deposición (formación directa de hielo a partir del vapor de agua), es un tipo de condensación. Las heladas y la nieve son ejemplos de deposición.

Condensación en edificios

La condensación es la forma más común de humedad en los edificios. En ellos, el aire interno puede tener un nivel alto de humedad relativa debido a la actividad de los inquilinos (por ejemplo, cocina, duchas, secado de la ropa, respiración etc). Cuando este aire entra en contacto con superficies frías, como ventanas y paredes, puede condensarse causando humedad.

Aplicaciones de la condensación

La condensación es un componente crucial de la destilación, una aplicación importante en química industrial y de laboratorio.

Como la condensación es un fenómeno que ocurre de forma natural, a menudo se usa para generar agua en grandes cantidades para el uso humano. De hecho, hay muchas estructuras que son realizadas únicamente para el agua que se recoge de la condensación, como las cercas de niebla, los pozos de aire y las charcas de rocío. También puede usarse para retener la humedad del suelo en áreas donde se da una desertificación activa.

Efectos sobre la civilización humana

La civilización ha prosperado históricamente alrededor de los principales ríos y canales. Mesopotamia, llamada "cuna de la civilización", estuvo situada entre los ríos principales Tigris y Eufrates. La sociedad antigua de los egipcios dependía completamente del Nilo. Las metrópolis grandes como Rotterdam, Londres, Montreal, París, Ciudad de Nueva York, Shanghai, Tokio, Chicago y Hong Kong deben su éxito en parte a su accesibilidad al agua y la extensión consiguiente del comercio. Las islas con puertos de agua seguros, como Singapur, han prosperado por la misma razón.

En sitios como África del Norte y el Oriente Medio, donde el agua es más escasa, el acceso al agua potable era y es un factor fundamental en el desarrollo humano.

Salud y contaminación

El agua adecuada para el consumo humano se llama agua potable. El agua que no es potable puede hacerse potable por destilación (calentándose hasta que se convierta en vapor de agua, y luego capturando el vapor sin las impurezas), o por otros métodos (sustancias químicas o tratamiento por calor que matan las

bacterias).

A veces se le llama agua segura al agua potable con un umbral de calidad inferior (es decir, eficaz para la nutrición de personas que tienen poco acceso al agua). El agua que no es adecuada para la bebida, pero no es dañina para las personas cuando se usa para nadar o bañarse, suele llamarse agua segura para el baño. El cloro es un irritante de la piel y las membranas mucosas que se usa para hacer segura el agua para el baño o la bebida. Su uso es supervisado por regulaciones estatales (típicamente 1 parte por millón (ppm) para el agua potable, y 1-2 ppm para el agua de baño).

El agua cada vez es más escasa en ciertos sitios, y su disponibilidad es de gran interés social y económico. Actualmente, casi un billón de personas alrededor del mundo beben agua no potable de forma habitual. La mayor parte de los países aceptaron, en la cumbre del G8 de 2003, el objetivo para 2015 de reducir a la mitad el número de personas en el mundo que no tienen acceso a agua segura y saneada. Incluso si se alcanza este difícil objetivo, quedarán aproximadamente quinientos millones de personas sin acceso a agua potable segura, y más de un billón sin acceso a agua potabilizada. La pobre calidad del agua y una potabilización ineficaz son potencialmente mortales, provocando 5 millones de muertes por año a causa del agua contaminada.

El agua, sin embargo, no es un recurso finito (como el petróleo), ya que se pone en circulación continuamente como agua potable con las precipitaciones en cantidades mucho más altas que el consumo humano. Por lo tanto, el agua que no es renovable es la cantidad relativamente pequeña de agua que está en reserva en la Tierra (aproximadamente el 1% de nuestro suministro de agua potable, que se rellena en los acuíferos alrededor de entre 1 a 10 años). Lo que escasea es la distribución de agua potable y de irrigación, más que la cantidad actual que existe en la Tierra. Los países pobres en agua usan la importación como método primario para obtener el agua (lo suficiente para el consumo humano local). En los países en vías de desarrollo, el 90% de toda el agua residual todavía llega sin tratar a los ríos y corrientes locales. Alrededor de 50 países, con un tercio de la población mundial, también sufren de problemas por agua, y 17 de ellos extraen más agua anualmente de la que es recargada por sus ciclos de agua naturales. El problema no sólo afecta a las fuentes de agua dulce superficiales, como los ríos y lagos, sino que también degrada el agua subterránea.

Hidrología

La hidrología es el estudio del movimiento, distribución y calidad del agua en todas las zonas de la Tierra, y se dedica tanto al ciclo hidrológico como a los recursos de agua. Los hidrólogos trabajan en ciencias ambientales o geológicas, geografía física, e ingeniería civil y ambiental.

Los dominios de la hidrología incluyen la hidrometeorología, la hidrología superficial, la hidrogeología, la administración del drenaje y la calidad del agua. La oceanografía y la meteorología no están incluidas porque en ellas el agua es sólo uno de muchos aspectos importantes.

La investigación hidrológica es útil en cuanto que nos permite entender mejor el mundo en el que vivimos, y también proporciona conocimientos para la ingeniería ambiental, política y planificación.

Historia de la hidrología

La hidrología ha sido objeto de investigación e ingeniería desde hace milenios. Por ejemplo, sobre el año 4000 a.C. el Nilo fue represado para mejorar la productividad agrícola de las tierras, que antes eran estériles. Las ciudades de Mesopotamia fueron protegidas de los desbordamientos con altas paredes de tierra. Los acueductos fueron construidos por los antiguos griegos y romanos, mientras que en China se construyeron obras para controlar las inundaciones y la irrigación. Los cingaleses usaron la hidrología para construir las complejas obras de irrigación de Sri Lanka, e inventaron válvulas que permitieron la construcción de grandes embalses, presas y canales que todavía funcionan.

Marcus Vitruvius, en el siglo I d.C., describió una teoría filosófica del ciclo hidrológico, en la cual se decía que la precipitación que cae en las montañas se infiltra en la superficie de la tierra y provoca corrientes y brotes en las tierras bajas.

Con la adopción de un acercamiento más científico, Leonardo da Vinci y Bernard Palissy alcanzaron de forma independiente una representación exacta del ciclo hidrológico. Hasta el siglo XVII no empezaron a cuantificarse las variables hidrológicas.

Los pioneros de la ciencia moderna de la hidrología fueron Pierre Perrault, Edme Mariotte y Edmund Halley. Midiendo la [precipitación](#), la [escorrentía](#) y el área de drenaje, Perrault demostró que la precipitación era suficiente para explicar el flujo del Sena. Marriotte combinó la velocidad y las medidas de corte transversal del río para obtener la descarga, de nuevo en el Sena. Halley demostró que la evaporación del Mar Mediterráneo era suficiente para explicar la efusión de los ríos que fluyen al mar. Los avances durante el siglo XVIII incluyeron el piezómetro de Bernoulli y la ecuación de Bernoulli (obtenidos por Daniel Bernoulli), así como el tubo de Pitot. En el siglo XIX se desarrolló la hidrología de agua subterránea, con la ley de Darcy, la fórmula de Dupuit-Thiem y la ecuación del flujo capilar de Hagen-Poiseuille.

Los análisis racionales comenzaron a sustituir al empirismo en el siglo XX, mientras que las agencias gubernamentales comenzaban sus propios programas de investigación hidrológicos. De particular importancia fue la unidad hidrográfica de Leroy Sherman, la teoría de la [infiltración](#) de Robert E. Horton y la prueba/ecuación de los acuíferos de C.V. Theis.

Desde los años 1950, el estudio de la hidrología ha tenido una base más teórica que en el pasado, gracias a los avances en el entendimiento físico de los procesos hidrológicos y por el uso de ordenadores y sistemas de información, sobre todo geográficos.

Ramas de la hidrología

- * Hidrología química: estudio de las características químicas del agua.
- * Ecohidrología: estudio de las interacciones entre los organismos vivos y el ciclo hidrológico.
- * Hidrogeología: estudio de la presencia y movimiento del agua en acuíferos.
- * Hidroinformática: adaptación de la tecnología de la información a la hidrología y sus aplicaciones a los recursos de agua.
- * Hidrometeorología: estudio de la transferencia de agua y energía entre las superficies de tierra y agua y la atmósfera inferior.
- * Hidrología de isótopos: estudio de las firmas isotópicas del agua.
- * Hidrología superficial: estudio de los procesos hidrológicos que tienen lugar en la superficie de la Tierra o cerca de ella.

Campos relacionados

- * Química acuática
- * Ingeniería civil
- * Climatología

- * Ingeniería ambiental
- * Geomorfología
- * Hidrografía
- * Ingeniería hidráulica
- * Limnología
- * Oceanografía
- * Geografía física

Medidas hidrológicas

El movimiento del agua por la Tierra puede ser medido de varias formas. Esta información es importante tanto para la evaluación de los recursos de agua como para el entendimiento de los procesos implicados en el ciclo hidrológico. Lo siguiente es una lista de dispositivos usados por los hidrólogos y lo que miden:

- * Disdrómetro - características de precipitación.
- * Olla de evaporación de Symon - evaporación.
- * Infiltrómetro - infiltración.
- * Piezómetro - presión de agua subterránea y, por inferencia, profundidad del agua subterránea.
- * Radar - propiedades de las nubes, estimación de la tasa de lluvia, y detección de nieve y granizo.
- * Pluviómetro - lluvia y nevada.
- * Satélite - identificación de áreas lluviosas, estimación de la tasa de lluvia, uso y cobertura de la tierra, humedad del suelo.
- * Higrómetro - humedad.
- * Corrientómetro - flujo de corriente.
- * Tensiómetro - humedad de suelo.
- * Reflectómetro de dominio temporal - humedad de suelo.

* Sonda de capacitancia - humedad del suelo.

Predicción hidrológica

Las observaciones de los procesos hidrológicos se usan para hacer predicciones sobre el futuro comportamiento de los sistemas hidrológicos (flujo de agua y calidad del agua). Uno de los principales intereses actuales en la investigación hidrológica es la Predicción en Cuencas No calibradas (BAR), es decir, en cuencas donde existen muy pocos datos o ninguno.

Hidrología estadística

Analizando las propiedades estadísticas de los archivos hidrológicos, como la precipitación o el flujo de un río, los hidrólogos pueden estimar los futuros fenómenos hidrológicos. Esto, sin embargo, asume que las características de los procesos permanecen sin alterar.

Estas estimaciones son importantes para ingenieros y economistas, de modo que pueda hacerse un análisis de riesgo apropiado para influir en las decisiones sobre inversión en la futura infraestructura y determinar las características de fiabilidad de la producción de sistemas de abastecimiento de agua. La información estadística se utiliza para formular reglas de operaciones para presas grandes que forman parte de sistemas que incluyen demandas agrícolas, industriales y residenciales.

Modelos hidrológicos

Los modelos hidrológicos son representaciones conceptuales simplificadas de una parte del ciclo hidrológico. Se usan principalmente para la predicción hidrológica y para entender los procesos hidrológicos. Hay dos tipos principales de modelos hidrológicos:

* Modelos basados en datos. Estos modelos son sistemas de caja negra, que usan conceptos matemáticos y estadísticos para asociar una determinada entrada (por ejemplo, precipitación) con un modelo de salida (por ejemplo, escorrentía). Las técnicas que suelen usarse son la regresión, funciones de transferencia, redes

neurales e identificación de sistema. Estos modelos son conocidos como modelos de hidrología estocásticos.

* Modelos basados en descripciones del proceso. Estos modelos tratan de representar los procesos físicos observados en el mundo real. Contienen representaciones de escorrentía superficial, flujo subsuperficial, evapotranspiración y flujo de canal, pero pueden ser mucho más complicados. Estos modelos son conocidos como modelos hidrológicos deterministas. Pueden subdividirse en modelos de un solo evento y modelos de simulación continua.

La investigación reciente sobre modelos hidrológicos trata de tener un acercamiento más global para entender el comportamiento de los sistemas hidrológicos, de manera que se puedan obtener mejores predicciones y afrontar los principales desafíos en la administración de los recursos de agua.

Transporte hidrológico

El movimiento del agua es un medio significativo por el cual otros materiales, como el suelo o los contaminantes, son transportados de un lugar a otro. Desde los años 60, se han desarrollado modelos matemáticos bastante complejos, facilitados por la disponibilidad de ordenadores de alta velocidad. Las clases de contaminantes más comunes que se analizan son nutrientes, pesticidas, y sólidos y sedimentos disueltos.

Aplicaciones de la hidrología

- * Determinación del equilibrio de agua de una región.

- * Diseño de proyectos de restauración ribereños.

- * Mitigación y predicción de inundaciones, desprendimiento de tierras y riesgo de sequía.

- * Pronóstico de inundaciones en tiempo real y advertencias.

- * Diseño de esquemas de irrigación y administración de la productividad agrícola.

- * Parte del módulo de riesgo en modelado de catástrofes.

- * Suministro de agua potable.

- * Diseño de presas para abastecimiento de agua o generación de energía hidroeléctrica.

- * Diseño de puentes.

- * Diseño de alcantarillas y sistemas de drenaje urbano.

- * Análisis del impacto de la humedad antecedente en sistemas de alcantarillado sanitarios.

- * Predicción de cambios geomorfológicos, como erosión o sedimentación.

- * Evaluación de los impactos de cambio ambiental natural y antropogénico en los recursos del agua.

- * Evaluación del riesgo de transporte de contaminantes y establecimiento de pautas de política ambiental.

Tres cuartas partes de la superficie terrestre están cubiertas de agua. Debido al calor del Sol, el agua se evapora, asciende a la atmósfera y se condensa en forma de nubes. Cuando las gotas de agua adquieren cierto tamaño, precipitan en forma de lluvia, nieve o granizo en función de la temperatura. Una parte del agua es absorbida por las plantas, que la devuelven luego mediante la evapotranspiración. Los animales también toman parte de este agua y la retornan al medio por la respiración o la excreción. El resto de agua se filtra y circula por cauces subterráneos, o bien forma cursos superficiales que modelan el paisaje.

Durante este proceso, el agua se va evaporando y comienza de nuevo el ciclo.