



Proxecto de Educación Ambiental CAMBIO CLIMÁTICO

Libro Didáctico **3**:

AGUA Y CAMBIO CLIMÁTICO

Capítulo 2. El agua en movimiento

978-84-453-4994-6

Francisco Sóñora Luna (coordinador)
Francisco Anguita Virella



XUNTA DE GALICIA

1. UNA SUBSTANCIA UNIVERSAL

contenido del documento actual

2. EL AGUA EN MOVIMIENTO

3. HISTORIA, PRESENTE Y FUTURO DEL AGUA EN LA TIERRA

4. EL AGUA, FUENTE DE VIDA DESDE LOS OCÉANOS HASTA LA TIERRA FIRME

5. EL AGUA EN LA HISTORIA DE LA HUMANIDAD

6. EL CAMBIO CLIMÁTICO EN UNA SOCIEDAD SEDIENTA

7. EL AGUA, UN RECURSO CRÍTICO EN LA SOCIEDAD DEL CAMBIO CLIMÁTICO

8. UN CAMBIO DE DIRECCIÓN EN BASE AL USO SOSTENIBLE DEL AGUA EN LA SOCIEDAD DEL CAMBIO CLIMÁTICO

2. EL AGUA EN MOVIMIENTO

Responde con lo que sabes ahora

- ¿Qué diferencia existe entre los conceptos ciclo hidrológico y balance hídrico?
- Haz un esquema del ciclo hidrológico.
- ¿Se puede evaporar agua a temperaturas inferiores a 100°C?
- ¿Qué condiciones tienen que darse para que se produzcan precipitaciones?
- ¿Qué diferencia existe entre humedad absoluta y humedad relativa?
- ¿Qué diferencia existe entre el rocío y la escarcha?
- ¿Qué diferencia existe entre borrasca y tormenta?
- ¿Qué diferencia existe entre frente frío y frente cálido?
- ¿Por qué las faldas de las montañas que miran al océano son más verdes que las opuestas?
- ¿Cómo afectan a los balances hídricos los embalses y los pozos?

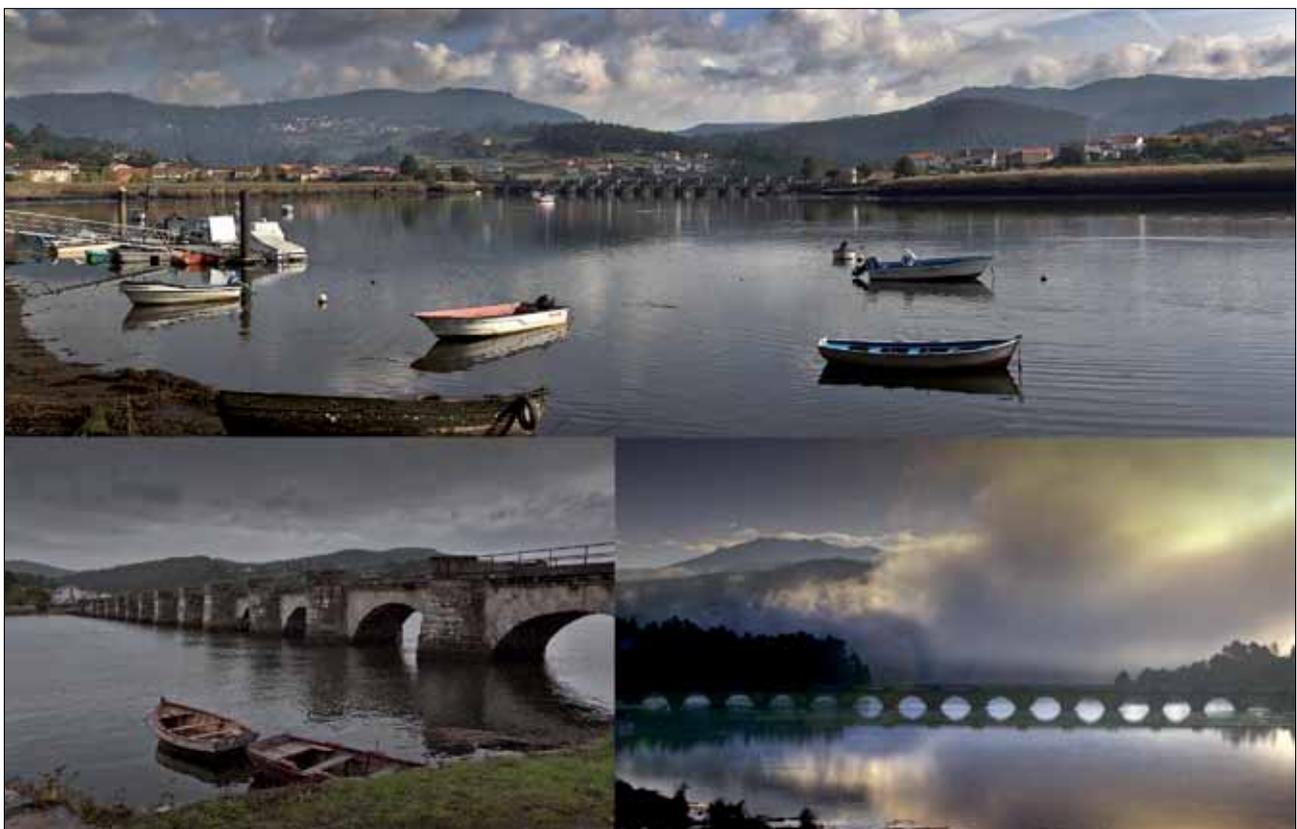


Figura 1. Tres manifestaciones diferentes del ciclo del agua en el río Tambre a su paso por Ponte Nafonso.

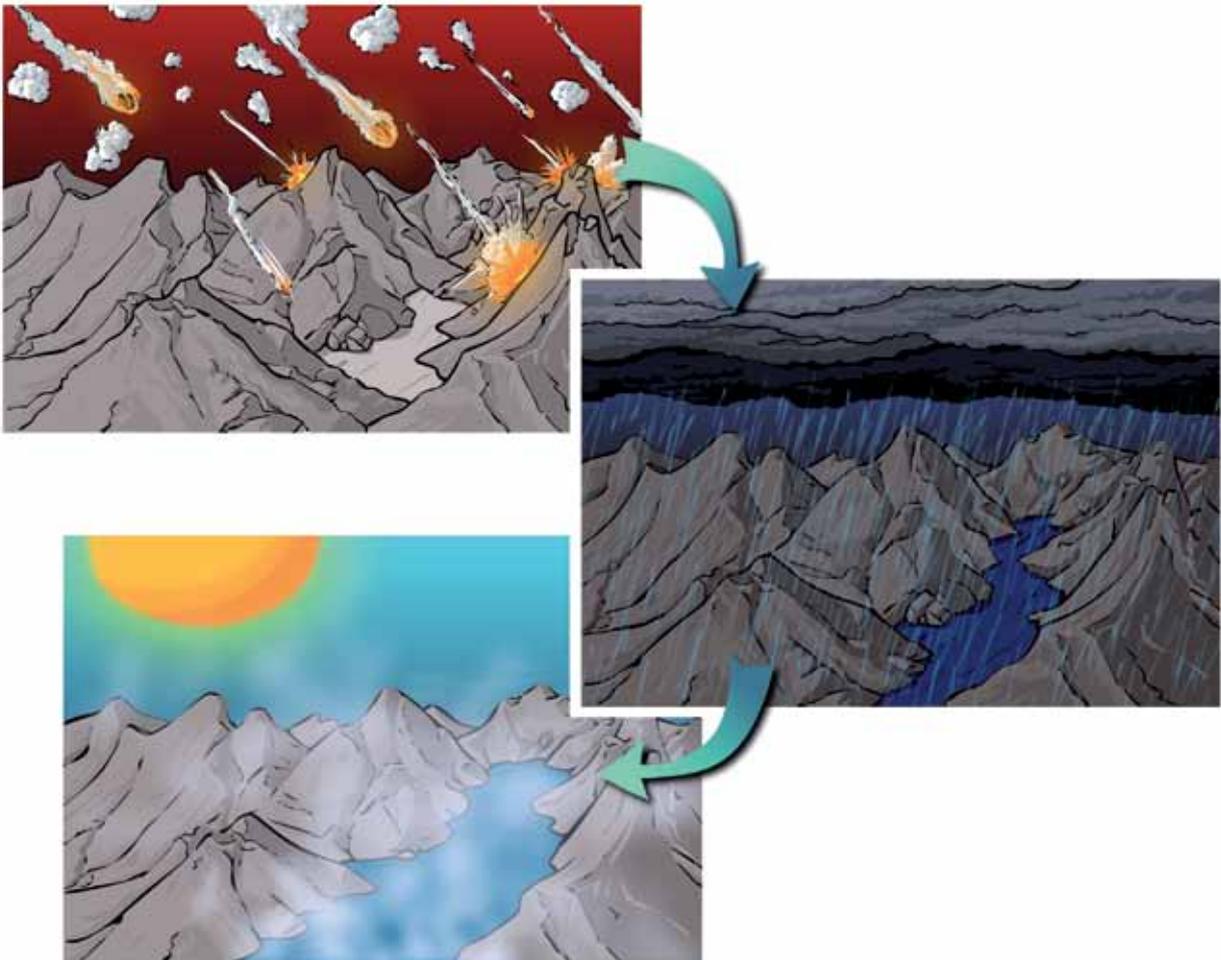




Un movimiento cíclico

Como acabamos de ver en el capítulo anterior, actualmente los científicos consideran que el agua llegó a la Tierra desde la línea de nieve, arrastrada por el movimiento de meteoritos y cuerpos similares cuya trayectoria se encontró con la superficie terrestre.

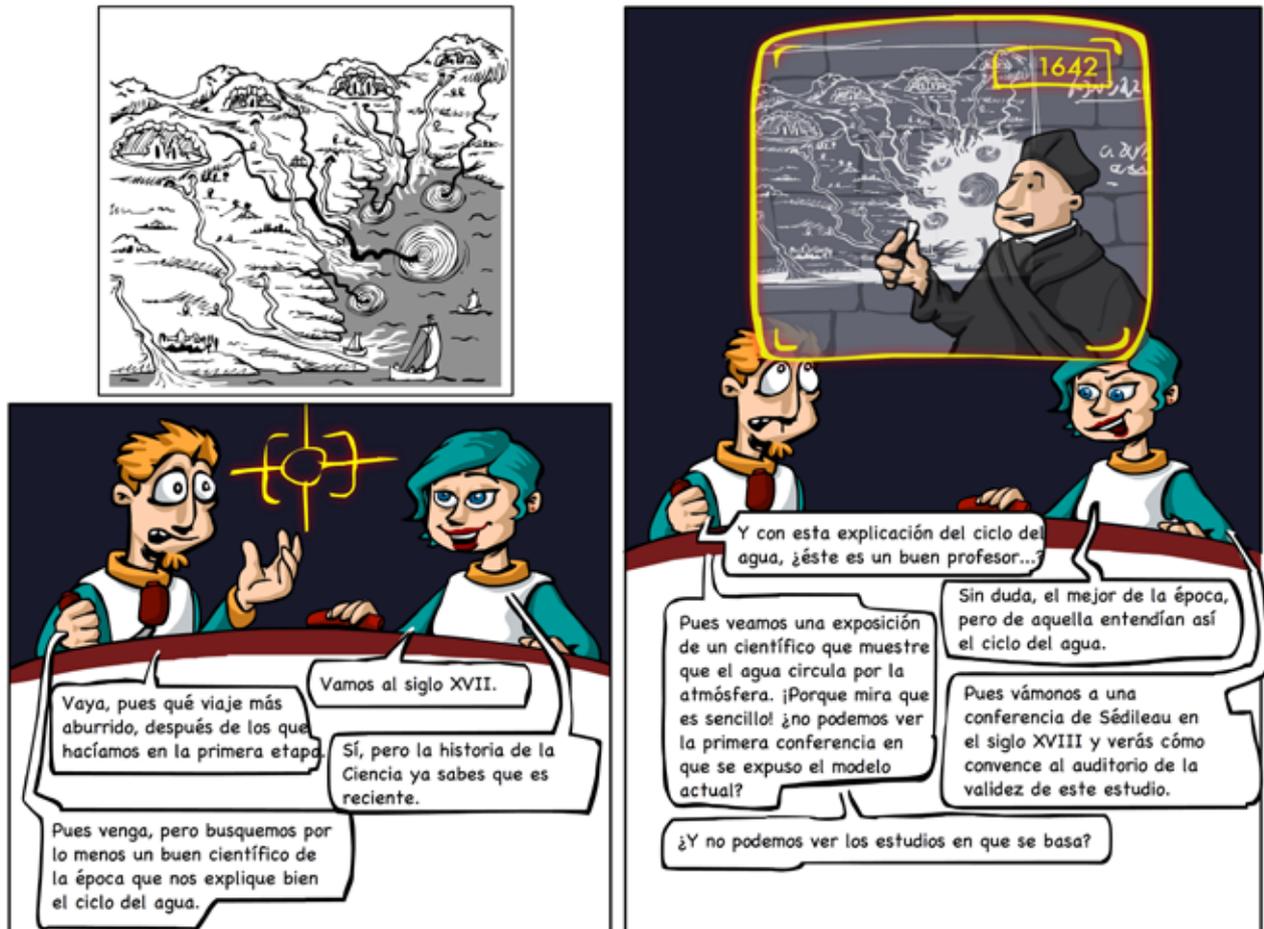
Desde entonces, el agua continúa en constante movimiento, incluyendo por el interior de la Tierra, y siguiendo recorridos tan pintorescos y calurosos como los volcanes y los géiseres. Sin embargo, desde que la temperatura descendió lo suficiente como para que el agua se condensase en forma de lluvia que llenó las primeras cuencas oceánicas, el principal motor del movimiento es el Sol, y en su recorrido se intercambian los tres estados: sólido (casquetes polares, glaciares), líquido (mares, ríos, lagos y acuíferos) y gaseoso (nieblas y nubes).



● ¿Por qué al enfriarse la Tierra, facilitando la condensación en forma de lluvia, el motor para el movimiento del agua pasó a ser el Sol?

Este movimiento del agua en la Tierra implicó desde sus inicios los cambios de estado debido a las diferencias del calentamiento solar, siendo el líquido el más evidente. Este capítulo se centrará en los mecanismos que provocan el movimiento del agua tanto a nivel global como a nivel regional.

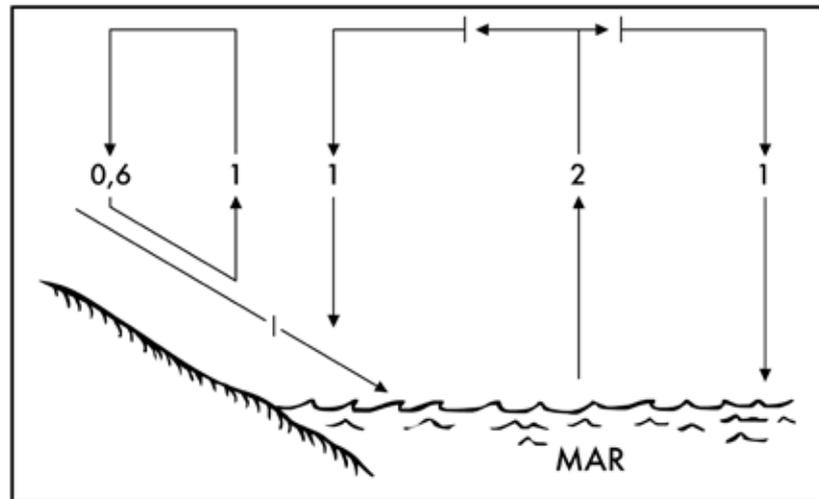
El hecho de que el flujo continuo de los ríos hacia los océanos, con el paso del tiempo no se hubiera manifestado en forma de subida del mar, ha llevado a idear el primer ciclo hidrológico. Sin embargo este ciclo, que hoy consideramos tan intuitivo y simple, ha seguido un camino complejo en su construcción como modelo. La idea de circulación aparece en el Renacimiento, pero curiosamente se vincula a una circulación por el interior de la Tierra, totalmente apartada de la atmósfera.



Ese primer modelo que se aplicó para explicar la circulación cíclica del agua suponía que esta se hundía hacia el interior de la Tierra en determinados puntos de los océanos, circulando por su interior hasta la cumbre de las montañas. Allí resurgiría hacia la superficie en forma del nacimiento de los ríos.

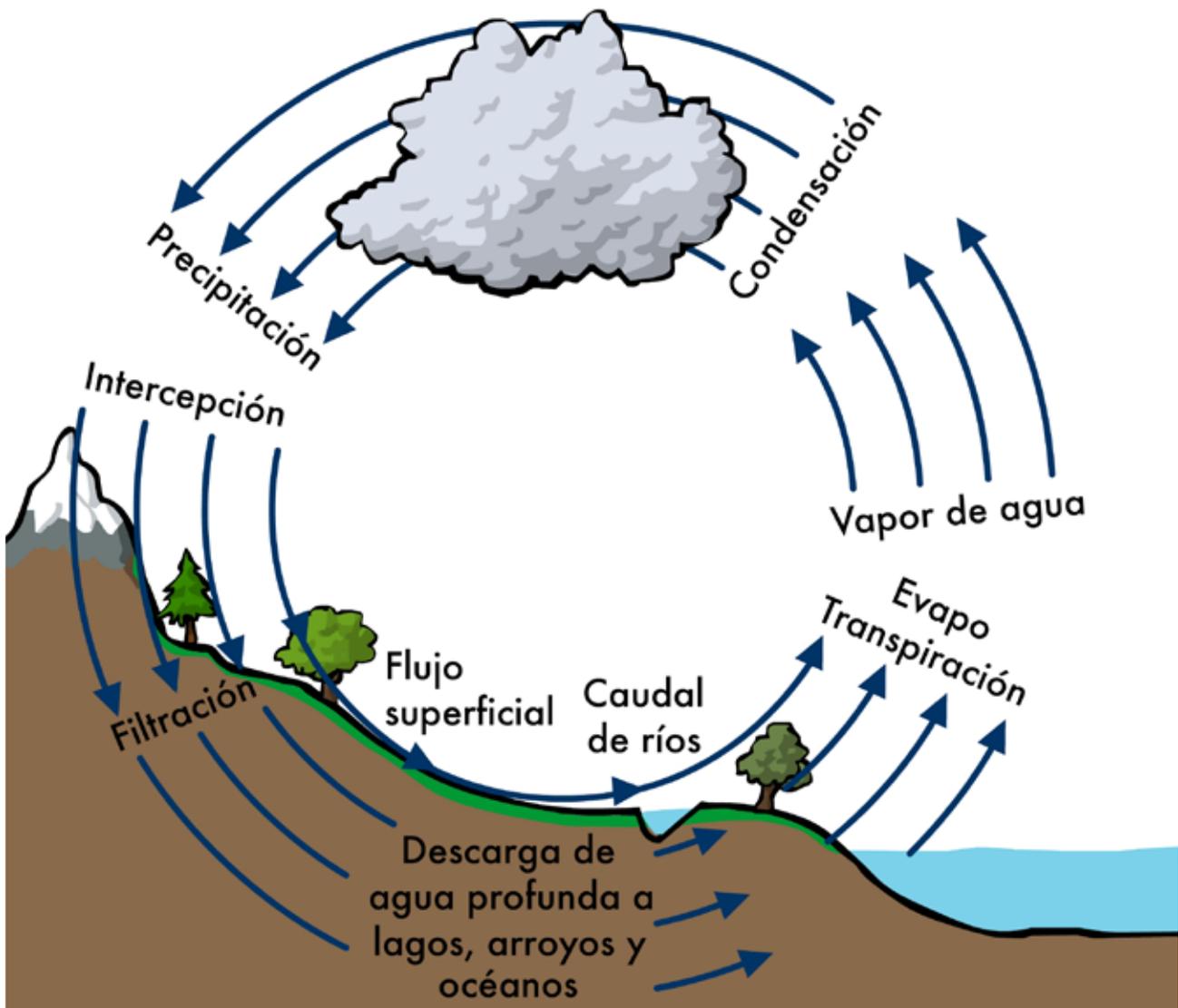
Sin embargo, con el auge del método científico se encontraron importantes debilidades, relacionadas principalmente con la dificultad para justificar la presión hidrostática que diera razón del ascenso y el que no coincidiesen el grado de salinidad del agua del mar y del río. La clave para avanzar desde este modelo al actual estuvo en la cuantificación. Midiendo el agua de las precipitaciones que llegaban a la cuenca del Sena y comparándolo con su caudal, que ya era conocido por aquel entonces, se encontró una coincidencia, que abrió el ciclo del agua a la atmósfera y lo dejó configurado como el modelo científico que se ha mantenido hasta nuestros días.





- ¿Por qué este modelo no es coherente con la teoría hidrostática?
- ¿Por que se dice que la diferencia de salinidad entre el agua del río y el agua del mar supuso una debilidad para este primer modelo?

Por lo tanto, forma en que el agua se mueve encaja mentalmente en una secuencia cíclica de procesos físicos que se conocen con el nombre de ciclo hidrológico. Este modelo cíclico comprende e integra el conjunto de transferencias de agua entre la atmósfera, el mar y la tierra en sus tres estados, sólido, líquido y gaseoso. El motor de esta transferencia, como ya hemos dicho, es el Sol.

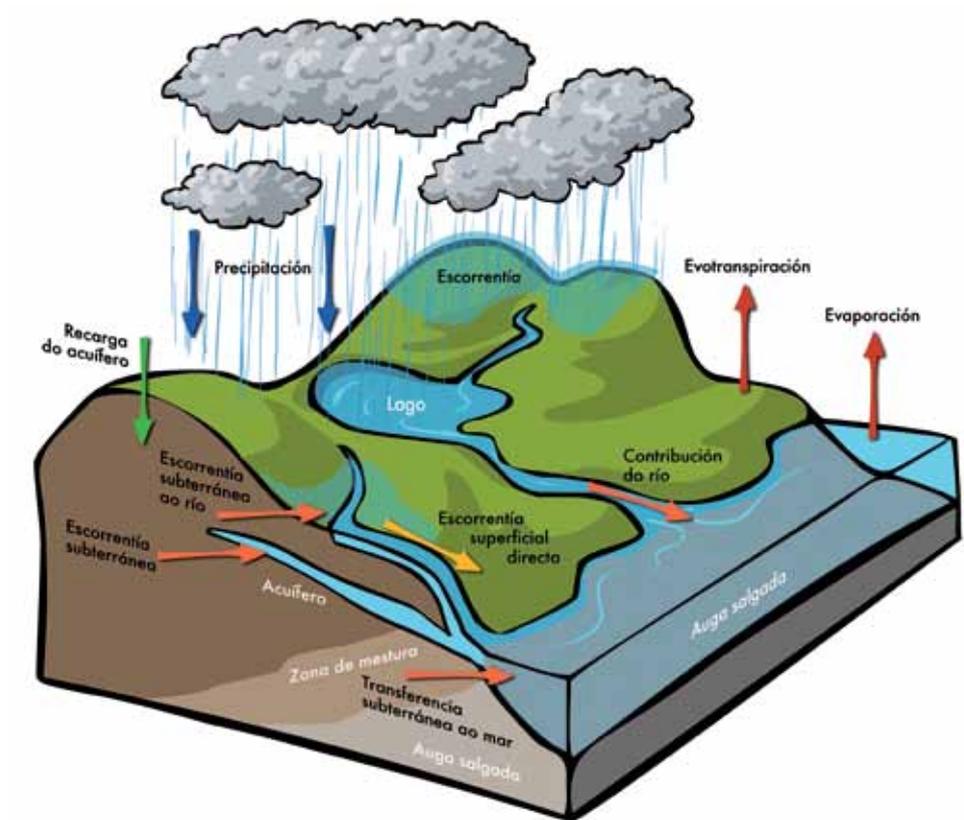


El ciclo hidrológico, como modelo, comprende la escala planetaria. Por tanto, es un modelo difícil de aplicar en su fase continental. Esto supone una limitación para los análisis regionales, porque esta fase es la que incorpora los recursos hídricos que necesitamos para satisfacer nuestras necesidades, la que produce perturbaciones como las grandes inundaciones, y la que mejor refleja nuestros principales impactos.

- ¿Puede el ciclo hidrológico explicar las consecuencias del cambio climático sobre la cantidad de agua en cualquier parte de la Tierra? Justifica la respuesta.

Los procesos que se representan mentalmente conectados como un ciclo en actividad continua a escala global son la evapotranspiración, la precipitación, la infiltración, la percolación y la escorrentía. superficial y subterránea.





La evapotranspiración

La evapotranspiración se produce a través de la evaporación del agua presente en la superficie terrestre, junto con la que está en mares, ríos y lagos y la que procede también de la tierra, incluyendo la transpiración de los seres vivos, en especial de las plantas. Como resultado de este proceso se determina la formación de vapor atmosférico, que, al llegar a las condiciones de condensación, retorna en parte a la superficie en forma de precipitación líquida o sólida.

Por tanto la evapotranspiración es la consideración conjunta de los procesos de evaporación y transpiración. La diferencia entre estos dos conceptos está en la participación de los seres vivos en el segundo, que es el proceso físico a través del cual sus superficies pierden agua a la atmósfera mediante el proceso de transpiración. Su inclusión en un concepto único con la transpiración se debe a la dificultad de medirlos por separado. Por tanto la evapotranspiración se produce desde:

- La evaporación del agua transpirada por los seres vivos.
- La superficie del suelo y de la vegetación inmediatamente después de la precipitación.
- La superficie de la hidrosfera: ríos, lagos, embalses, océanos.
- El suelo, pudiendo tratarse de agua recientemente infiltrada o de agua que se acerca de nuevo a la superficie después de un largo recorrido a través del subsuelo.



Figura 2. Evaporación del agua sobre la paja de una palloza.

La evapotranspiración depende de:

- El poder evaporante de la atmósfera: de la radiación solar, de la temperatura, de la humedad y del viento.
- De la salinidad del agua.
- Del grado de humedad del suelo.
- Del tipo de planta.

- Completa las frases relativas a los factores que influyen en la evapotranspiración poniendo entre paréntesis “más” o “menos”, según corresponda:
 - Cuanta menos humedad, (-----) evapotranspiración.
 - A mayor altitud, (-----) presión y, por tanto, (-----) evapotranspiración.
 - A más viento, (-----) evapotranspiración.
- Explica, utilizando dibujos y esquemas, un diseño experimental para probar la relación que existe entre la evapotranspiración y la salinidad. Una vez hayas desarrollado el experimento y anotado las conclusiones, completa la frase siguiendo el mismo criterio que en el caso de la actividad anterior.
 - A más salinidad con igual presión, radiación y temperatura, se producirá (-----) evapotranspiración.





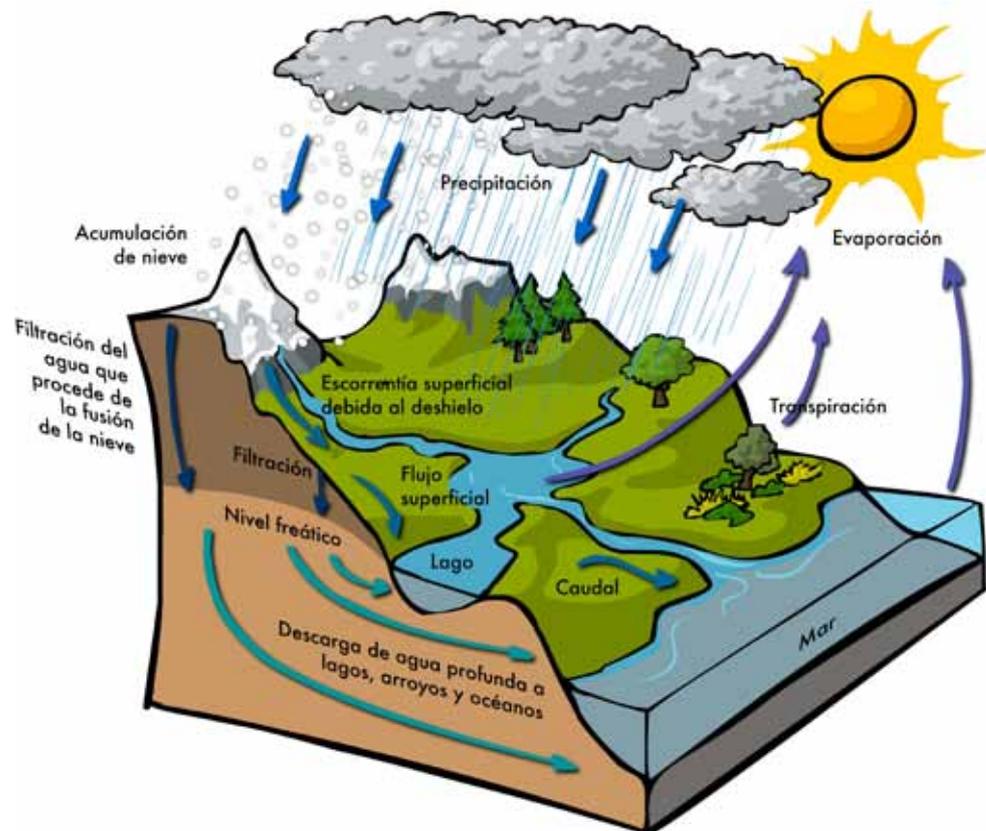
Esorrentía superficial y subterránea

Parte del agua precipitada sobre el continente se infiltra en el suelo, desde donde puede volver a evapotranspirar o, por el contrario, percolar en el subsuelo. La otra parte se escurre superficialmente por la red de drenaje hasta alcanzar la red fluvial (esorrentía superficial).

Por tanto la esorrentía es debida a la incapacidad de los horizontes superficiales del suelo para transmitir el agua de la lluvia con la misma intensidad que cae (esorrentía superficial).

Pero también se puede deber a la excesiva saturación de la porosidad total en algún punto del perfil del terreno (esorrentía subsuperficial y profunda).

En todo caso, toda la esorrentía profunda acaba aflorando a la superficie, y supone un desarrollo de parte del ciclo hidrológico por el interior de la corteza terrestre.



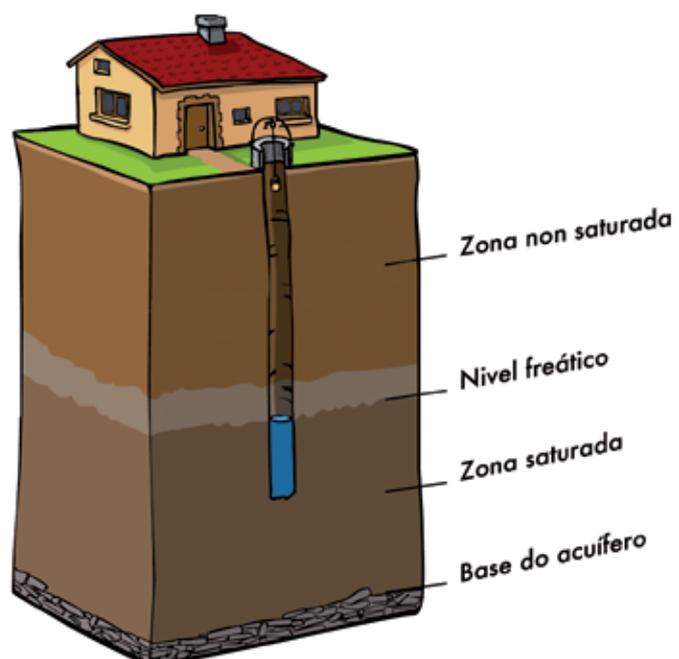
El agua infiltrada en el subsuelo, y que no se evapotranspira, se acumula en los poros, grietas y fisuras de los materiales del terreno donde queda almacenada. A las formaciones geológicas con alta capacidad para almacenar y transmitir el agua se denominan acuíferos (del griego *'el que trae agua'*).

Un acuífero es una roca porosa con los poros llenos de agua. Estas rocas porosas resultaban ser el objeto de búsqueda de los zahoríes, los míticos buscadores de agua con su varita. Eran personas con mucho conocimiento práctico del campo, que identificaban perfectamente bioindicadores relacionados con este tipo de rocas porosas como, por ejemplo, de los tipos de plantas que crecen donde hay agua subterránea, así que muchas veces acertaban, aunque la varita era puro teatro.



Por dos motivos hoy ya no tiene sentido hablar de zahoríes: uno, porque hay instrumentos científicos que detectan el agua subterránea con precisión y a bajo coste; y dos, porque, como consecuencia de lo anterior, prácticamente toda el agua subterránea del planeta está ya localizada.

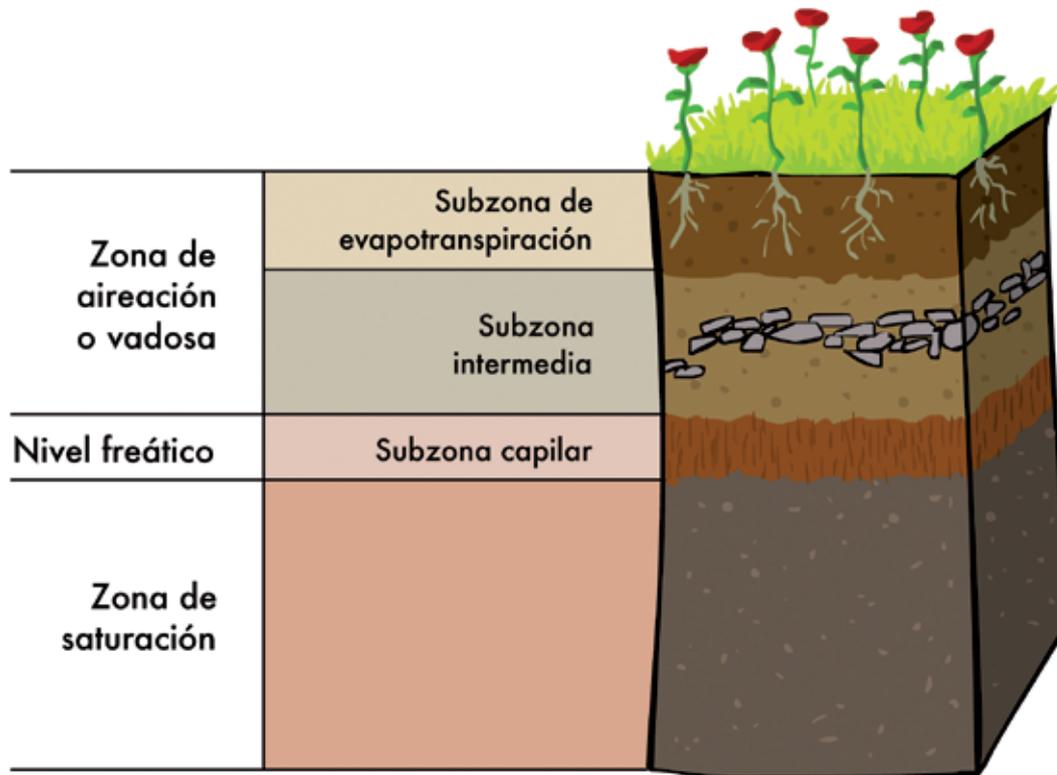
Un concepto importante relativo a las aguas subterráneas es el de nivel freático (del griego *freatós*, 'pozo'), que es la superficie que separa el terreno seco (arriba) y el acuífero (abajo). Cuando explotamos un acuífero, el nivel freático baja, pero la lluvia vuelve a hacerlo subir (recarga).





Por tanto, el agua subterránea que alimenta y satura acuíferos, que a su vez alimentan manantiales y ríos cuando no llueve, resulta de restarle a la que llueve, la escorrentía y la evaporación. La diferencia es, entonces, el agua disponible en pozos y acuíferos que, como se verá, supone la alimentación de manantiales y ríos cuando no llueve. La zona de incorporación del agua desde la superficie del suelo en contacto con la atmósfera hasta la parte superior del acuífero y del pozo se describe bastante bien apoyándose en las tres subzonas:

- Subzona de evapotranspiración. Es la afectada por este fenómeno y, por lo tanto, su extensión depende de la existencia de vegetación. Puede ir desde unos centímetros, si no existe, hasta varios metros.
- Subzona capilar. Es la afectada por el ascenso del agua por capilaridad y va a depender de la granulometría del suelo y del clima.
- Subzona intermedia. Entre las dos anteriores, a veces inexistente y a veces con varios metros de grosor.



Sin embargo, hay acuíferos que no se recargan. Se llaman acuíferos fósiles y se forman cuando el clima de una región se ha vuelto más árido, de manera que ya no hay lluvia que los recargue. En Libia y en California hay acuíferos de este tipo, y es muy peligroso depender de ellos porque, cuando se agotan, la región se queda sin agua; si la población crece, el problema puede ser difícil de resolver, tal y como se verá en el capítulo 7.

Como se irá viendo, la sobreexplotación y contaminación de los acuíferos suponen importantes impactos y riesgos, tanto para la cantidad como para la calidad del agua. Por eso urge la gestión de forma sostenible del agua de los acuíferos, para lo cual es esencial equilibrar las extracciones de agua con la capacidad de recarga del acuífero.

Por ejemplo, pensemos en una zona de cultivo de regadío. Durante el invierno hay lluvia abundante, que no es utilizada por las plantas, ya que no están creciendo y no transpiran. Como hemos visto, parte de esta agua de la lluvia escurre por la superficie y parte se infiltra en el suelo, almacenándose en el suelo y en el acuífero. Conociendo la cantidad que se almacena cada año en el acuífero, podremos extraerla mediante bombeo para riego en el verano, porque al invierno siguiente se volverá a recargar el acuífero hasta su nivel original, al almacenarse de nuevo el agua. De esta forma hay siempre agua disponible en el acuífero para cuando hace falta (época de riego), sin que se agote el acuífero o se creen problemas de sobreexplotación del agua. Ahora bien, si durante el verano extraemos demasiada cantidad de agua y la lluvia no es capaz de reponerla en el invierno, cada vez bajará más el nivel freático, el acuífero se agotará y lo estaremos gestionando de una forma no sostenible. Por eso es importante tener presentes estos conceptos al abordar la eficiencia y el ahorro de las aguas azules de riego agrícola, tal y como se verá en el capítulo 8.

Otro impacto ambiental cada vez más frecuente sobre los acuíferos es su contaminación, que no afecta a la cantidad del agua pero sí altera de forma significativa y frecuente su calidad.

Estas formaciones, con el tiempo, aportan parte del agua que almacenan a la red fluvial -directa o indirectamente- a través de la formación de manantiales. El agua que vierten estos manantiales se dirige de forma mucho más rápida a la red fluvial. A dicho proceso, extremadamente lento, se le denomina escorrentía subterránea. Esta escorrentía subterránea representa el flujo base de los ríos en las zonas en las que la fusión de los hielos no es significativa. La mayor parte de esta agua de los acuíferos fluye hacia los ríos por manantiales o se incorpora directamente a tramos de ríos, o incluso fluye directamente al mar.

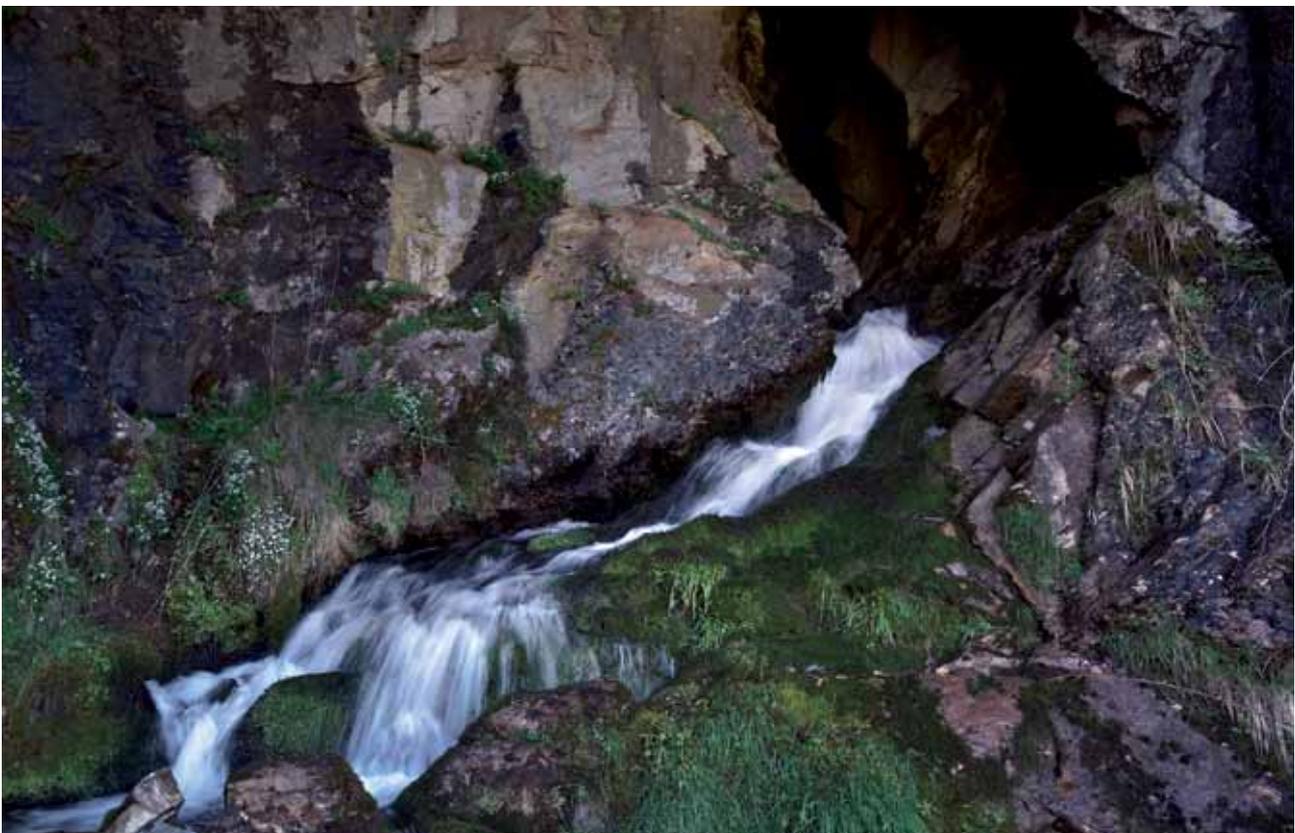
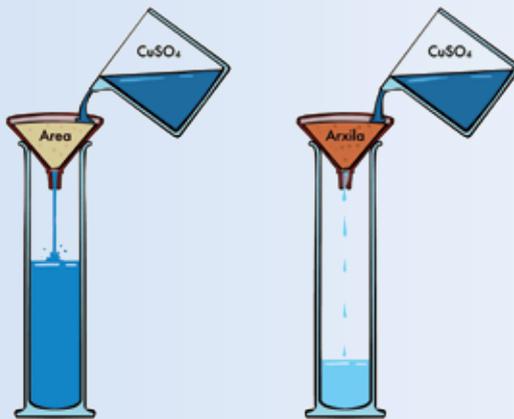


Figura 3. Manantial.





- Pon dos embudos iguales con papel de filtro en dos probetas de idéntico tamaño y volumen. Llena uno de arena de playa y otro de arcilla. Vierte en cada uno de los embudos 200 ml de la misma solución de sulfato de cobre y responde:



- ¿Qué diferencia hay entre el volumen recogido en ambos casos? ¿Cómo se relaciona con el color del líquido filtrado que se recoge en la probeta?
- ¿Cuál de las dos muestras tiene más potencial para participar en un acuífero? Justifica la respuesta.

- La importancia de los acuíferos en Galicia, ¿será mayor o menor hoy que hace 100 años? ¿Qué factores pueden estar influyendo en esa diferencia?
- Las tendencias actuales en el uso del agua y en el cambio del clima, ¿qué consecuencias futuras pueden tener sobre los acuíferos?

Las precipitaciones

La evapotranspiración procedente de la evaporación del agua del mar y tierras húmedas, y de la transpiración de los vegetales, es la responsable de que el aire contenga siempre una cantidad mayor o menor de vapor de agua, por lo que se habla de la humedad del aire.

Cuando nos referimos a la cantidad en gramos de vapor de agua contenida en un metro cúbico de aire, estamos expresando su humedad absoluta. El simple hecho de que el aire contenga vapor de agua no es la causa de que se produzcan precipitaciones. Para que estas sucedan, el aire debe haber alcanzado antes la cantidad máxima de vapor de agua que puede contener a la temperatura a la que se encuentra. En este caso se dice que el aire está saturado de humedad. A esta cantidad máxima de vapor de agua que puede contener por unidad de volumen el aire se la conoce como punto de saturación, y varía considerablemente con la temperatura, tal y como se puede ver en la tabla:

Temperatura	-10°C	0°C	10°C	20°C	30°C
g de H ₂ O por m ³ en atmósfera saturada	2,4	4,9	9,3	17,2	30,1

Tabla 1. Relación entre el punto de saturación y la temperatura.

Al ver la tabla se comprende fácilmente que 9 g de vapor de agua por m³, cuando la temperatura es de 10°C, representa una humedad mucho más próxima a la precipitación que 18 g en el mismo volumen cuando la temperatura es de 30°C. En el primer caso, la atmósfera está casi saturada de humedad, y la evaporación es, por tanto, nula, estando muy cerca a la condensación. En el segundo aún caben 12 g de agua por metro cúbico, y la evapotranspiración es mucho más intensa.

Esta relación entre el vapor de agua en el aire y su temperatura es determinante para que se produzca evaporación o precipitación. Por tanto, en el ciclo del agua resulta fundamental el concepto de humedad relativa del aire, que se entiende por tal la razón (r) de la humedad absoluta (h) por la humedad de saturación (H):

$$R = h/H$$

- Fíjate en los valores de la tabla 1 y calcula la humedad relativa expresada en tanto por ciento si a una temperatura de 30°C hay una humedad absoluta de 8.
- Completa la frase poniendo “aumenta” o “disminuye”: La humedad relativa (-----) con la proximidad de ríos, lagos, mares, etc., y (-----) al avanzar hacia el interior del continente.

Formación de nieblas, nubes y meteoros



Figura 4. Un día de lluvia en Verín

Las precipitaciones van asociadas a la formación de nieblas y nubes. Estas formaciones son resultado de la condensación del vapor de agua en la atmósfera en forma de pequeñas gotas. Para que esto se produzca, se deben dar dos condiciones:





- Que la temperatura del aire descienda por debajo del punto del rocío o punto de saturación, es decir, que la humedad relativa supere el 100 %.
- Que el aire contenga núcleos de condensación sobre los que puedan formarse las primeras gotitas. Estos núcleos de condensación pueden ser de naturaleza diversa, desde iones hasta partículas sólidas ligeras como polvo o humo.

Cuando estas dos condiciones se dan en las proximidades de la superficie terrestre se produce la niebla, que, en realidad, son nubes bajas.



Figura 5. Nieblas de un amanecer de un día de anticiclón en Viana do Bolo .

Cuando la condensación del vapor de agua tiene lugar en regiones altas de la atmósfera, como consecuencia de corrientes ascendentes de aire caliente y húmedo o como consecuencia del choque de masas de aire de temperaturas polares (frentes), se forman las nubes.



Figura 6. Nubes correspondientes al paso de un frente frío.

Si la condensación en el seno de la nube es lo suficientemente intensa, las gotitas integrantes se reúnen formando gotas mayores capaces de llegar a la tierra como lluvia, granizo o nieve.



Figura 7. Un tramo del Camino de Santiago en un día con precipitaciones.

Para la formación de rocío y escarcha no es necesaria la presencia de núcleos de condensación en la atmósfera, ya que esta se produce sobre superficies tales como rocas, vidrios, vegetación, etc., lo da lugar a que su vapor se condense. Si la temperatura de la superficie es superior a 0°C se forma rocío y si es inferior se forma escarcha.



Figura 8. Escarcha sobre una hoja.

- ¿Por qué en los días sin nubes se ve la formación de una estela nubosa en el trayecto que van recorriendo algunos aviones?

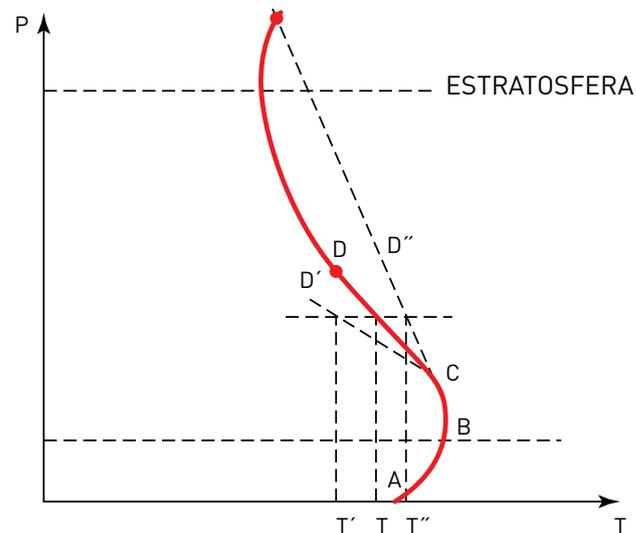




Precipitaciones en forma de tormenta

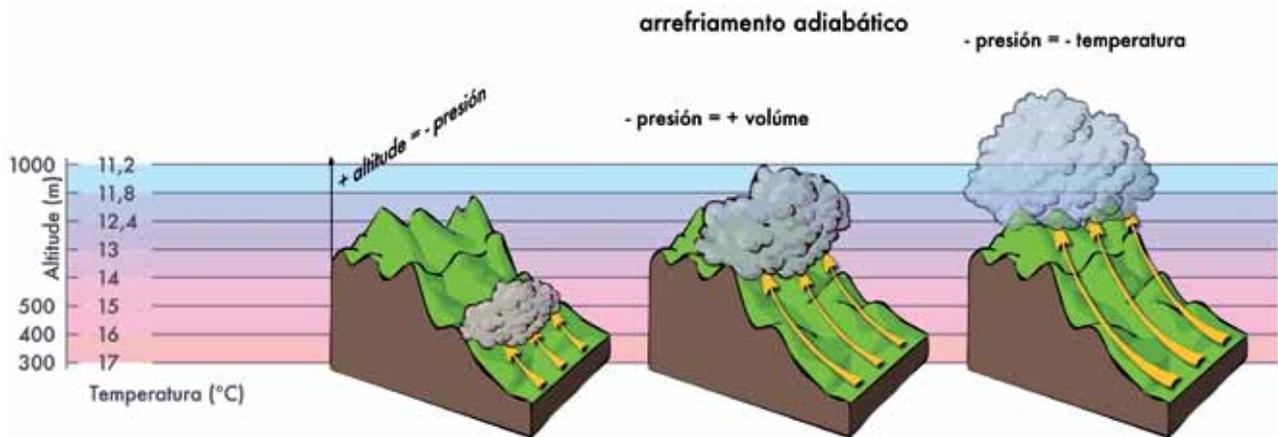
Las tormentas están asociadas a grandes nubes, que aumentan de tamaño en su avance vertical cuando ascienden por cambios en la estabilidad de masas de aire. Estos fuertes ascensos verticales se deben a notables diferencias en la temperatura a medida que el aire asciende en la troposfera. Con la media de múltiples sondeos matutinos en la troposfera en diferentes coordenadas se consigue una representación de cómo varía esta temperatura en la media de los ascensos troposféricos.

Estas curvas se conocen como curvas de estado. El promedio de los sondeos pone de manifiesto que la temperatura del aire tiende a disminuir con la altura a razón de $0,6^{\circ}\text{C}$ por hectómetro. A este valor se le conoce como gradiente vertical normal de temperatura. Este descenso se produce hasta la tropopausa, pues al pasar a la estratosfera la temperatura aumenta, dando lugar a lo que se conoce como inversión. A las líneas que representan esta evolución media de la temperatura a medida que se asciende verticalmente en la troposfera se las conoce como curvas de estado.



En la figura de la curva de estado se aprecia otra inversión diferente a la de la tropopausa. Esta primera inversión (AB) se produce muy cerca de la superficie porque se debe a la radiación nocturna que provoca la pérdida de calorías de la superficie, que se recuperarán con la radiación solar. No hay que confundir estas curvas con las de evolución, que corresponden a temperaturas sucesivas de una misma masa de aire cuando asciende.

Si por la presencia de una barrera, como puede ser una montaña, se produce un empuje vertical hacia arriba, la masa de aire asciende, y en ese proceso de ascenso, se producirá un aumento de su volumen, al estar sometido cada vez a menos presión. Esto va a provocar que la temperatura de la masa de aire se enfríe en su ascenso a través de la troposfera (enfriamiento adiabático), puesto que, al expandirse, la probabilidad de que se produzcan choques entre sus partículas disminuye. Si el aire es seco, el enfriamiento es del orden de 1°C cada 100 m (gradiente adiabático seco), y si el aire es húmedo, la mayor capacidad calorífica del agua que del aire hace que el enfriamiento sea más lento, debido a que el calor de vaporización del agua se emplea para retardar el enfriamiento del aire de la masa húmeda ascendente. Este enfriamiento será del orden de $0,6^{\circ}\text{C}$ cada 100 m (gradiente adiabático húmedo).



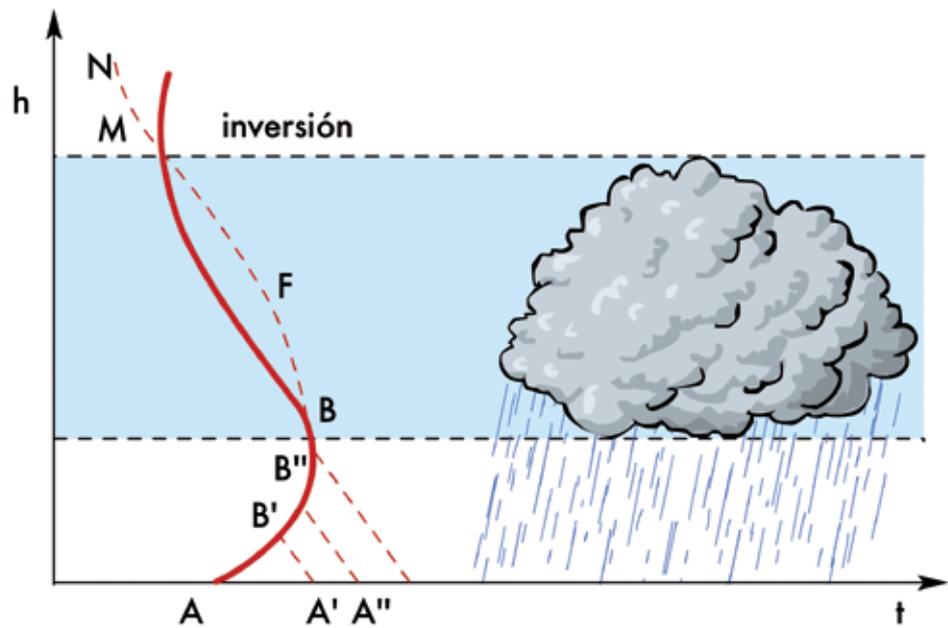
Si, en el ascenso, la velocidad de enfriamiento adiabático (pendiente CD´) es mayor que la correspondiente a la curva de estado (pendiente CD), esa masa se verá rodeada por otra más caliente y, por tanto, frenará el ascenso (estratificación estable). Si, por el contrario, al ascender se enfría más lentamente que lo indicado por la curva de estado (pendiente CD´), esta masa de aire va a ser menos densa que el aire que le rodea y ascenderá (estratificación inestable) hasta que se encuentre con una inversión, como la que se produce en la transición de la troposfera a la estratosfera (tropopausa).

Las tormentas de las tardes de verano se explican fácilmente con el modelo de estratificación inestable. Por la mañana, el aire próximo al suelo está más frío que el de más altura debido al enfriamiento nocturno, que es máximo en días anticiclónicos. Eso genera la inversión AB expresada en la figura. Dicha inversión va desapareciendo a medida que el suelo se calienta (A´B´, A´´B´´), anulándose alrededor del mediodía. Por eso las masas de aire que estaban estabilizadas por la inversión pierden su estabilidad. De esta forma se inicia el ascenso de la masa de aire.



Figura 9. Un día de tormentas de verano.



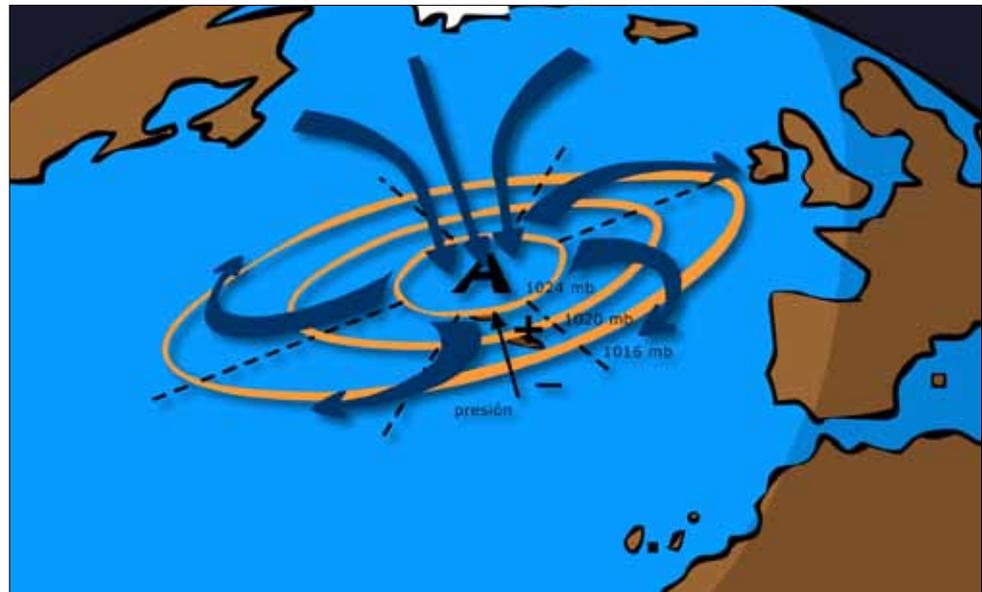


Si en su ascenso llega a un lugar en el que alcance su punto de rocío, se empiezan a formar gotas sobre los núcleos higroscópicos. Si la temperatura es inferior a 0°C se forman cristales de hielo, sobre los que condensa más fácilmente el vapor de agua, pudiendo llegar a formarse grandes cristales. Dichos cristales, al ser pesados, caen bastante rápido y pueden llegar en forma de granizo. Si no es así lo harán en forma de chubasco.

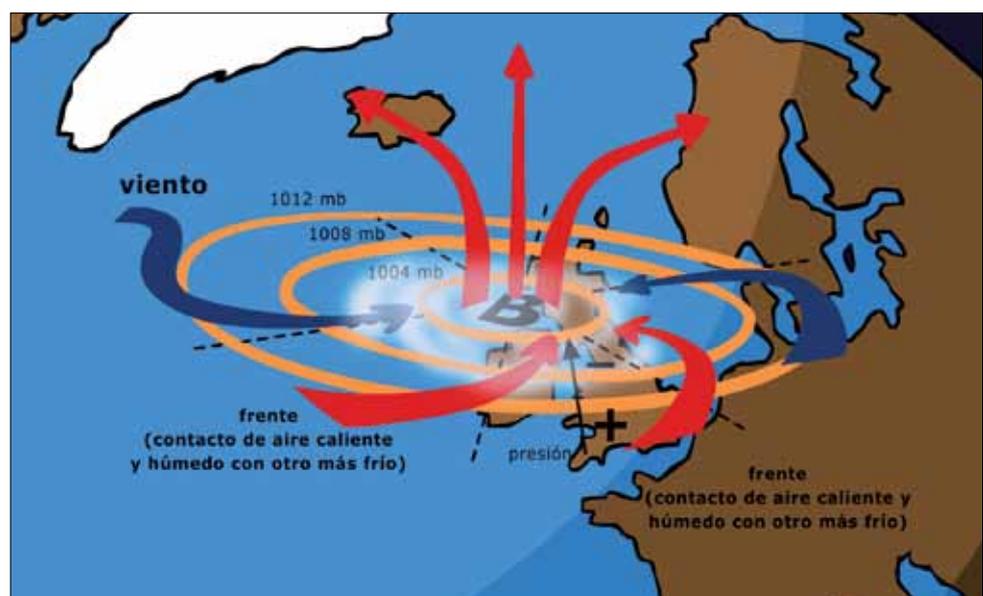
- Una masa de aire procedente del mar llegó a la costa circulando sobre la superficie del océano. En su movimiento hacia la costa se encontró con una cordillera de 1.000 metros de altura. En el momento del encuentro llevaba una humedad relativa del 80 %, siendo la temperatura del aire a esa altura de 18°C y estando situada la temperatura del punto de rocío en el valor de $14,5^{\circ}\text{C}$. Como sabe, cada 100 metros que asciende el aire sin precipitaciones, su temperatura disminuye 1°C (gradiente adiabático seco) y a partir de la altura en la que se alcanza el punto de rocío, esta disminuye $0,6^{\circ}\text{C}$ cada 100 metros. Con estos datos calcula:
 - ¿A qué temperatura empezará a precipitar en forma de lluvia esa masa de aire, si la temperatura de punto de rocío disminuye en $0,2^{\circ}\text{C}$ cada 100 metros?
 - ¿Cuál será la temperatura y la humedad relativa a esa altura?
 - ¿Qué tipo de precipitación se producirá en la cumbre de la montaña? Justifica la respuesta.
 - ¿A qué altura empezará a nevar?
 - La humedad relativa se puede calcular como la proporción entre la temperatura del aire y la temperatura del punto del rocío a esa altura. Teniendo en cuenta esta proporción y los datos anteriores, calcula la temperatura del punto de rocío y la humedad relativa en la base de la cara opuesta de la montaña.
 - ¿Por qué este tipo de montañas, que son barreras para las masas de aire que circulan sobre la superficie de los océanos, tienen especies más adaptadas a la sequía en la cara opuesta al océano (sotavento) que en la cara que mira al océano (barlovento)?

Precipitaciones debidas a frentes

Las zonas de anticiclones expulsan el aire generando vientos divergentes que evitan el contacto entre masas de aire heterogéneas, que giran hacia la derecha en el hemisferio norte debido a la aceleración de Coriolis.



Este viento, debido a la diferencia de presión, se dirige hacia las zonas de bajas presiones. Pero dicho movimiento no sigue exactamente la dirección marcada por el gradiente de presión, que sería perpendicular a las isóbaras —líneas que unen los puntos con igual presión—, sino que lo hace con un ángulo de desvío hacia la derecha en el hemisferio norte, y hacia la izquierda en el hemisferio sur, debido a la aceleración de Coriolis.

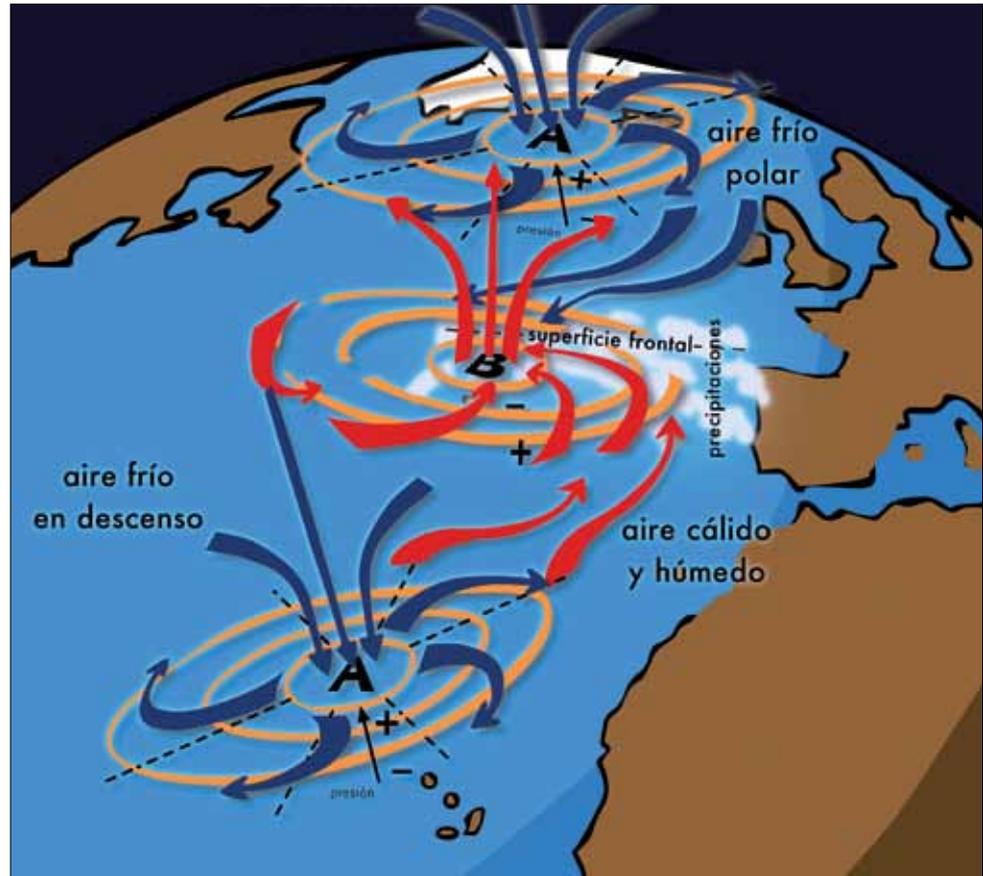


La confluencia de masas de aire que convergen en la región de bajas presiones conlleva que el aire de estas masas entre en contacto. Como las masas de aire que contactan proceden





de distintas regiones, pueden tener propiedades de temperatura y humedad muy diferentes. Este es el caso del contacto del aire que procede del Ártico con el que procede de los océanos tropicales. Si ese contacto se produce sobre Galicia, sin duda denominaremos aire frío al primero, porque está a menos temperatura que la superficie sobre la que avanza, y aire caliente el segundo, por la razón inversa.



La intersección entre la superficie de contacto de aire caliente y aire frío (superficie frontal) con la superficie terrestre se conoce como frente. Como a través de la superficie frontal tiene lugar un cambio brusco de las propiedades del aire, en general el paso de un frente viene acusado por fenómenos meteorológicos diversos, entre los que se encuentran, con mucha frecuencia, las precipitaciones. Dependiendo de la mayor o menor diferencia del cambio, se pueden distinguir dos grandes tipos de frentes.

Si el cambio entre la humedad y temperatura de las dos masas de aire que contactan a través de la superficie frontal es muy brusco, el frente se denomina frío. Se caracteriza por movimientos ascendentes rápidos de aire húmedo y caliente empujado por una corriente fría y seca (aire más denso), motivo por el cual se producen nubes de gran desarrollo, acompañadas de fuertes y fríos chubascos.



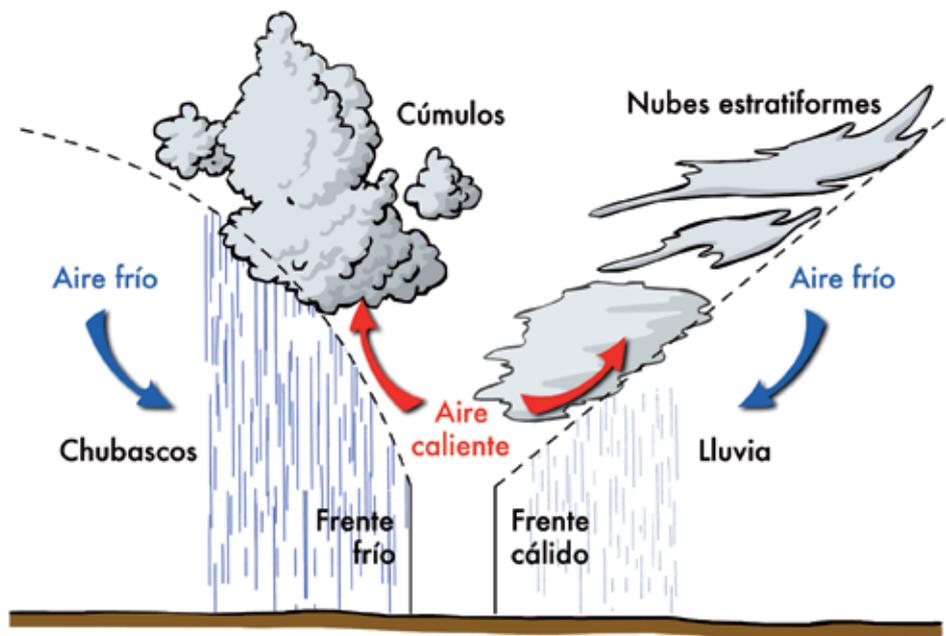
Figura 10. Nubes propias del paso de un frente frío.

El otro tipo se denomina frente cálido y se caracteriza, por el contrario, porque el aire caliente del frente cálido asciende lentamente sobre la masa del aire relativamente frío, dando lugar a varias capas de nubes estratiformes y, a niveles más bajos, a nieblas y finas lloviznas.

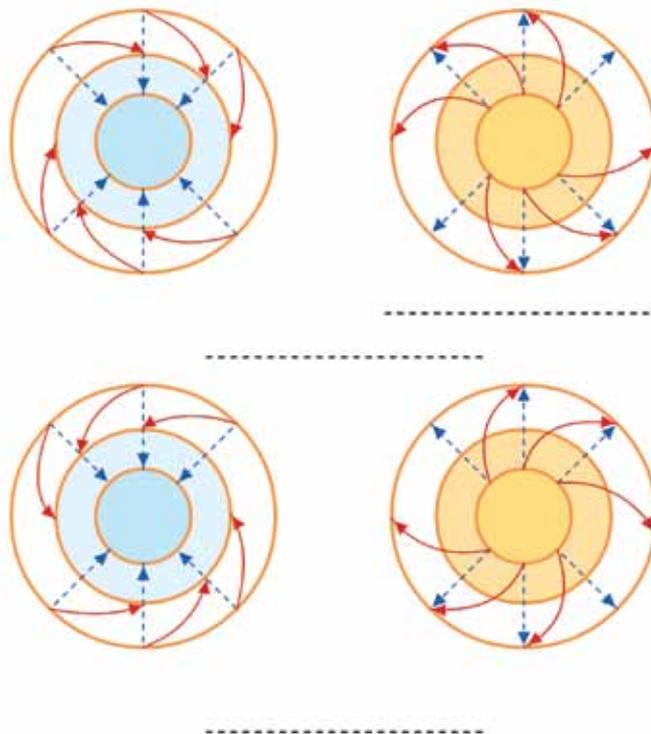


Figura 11. Nubes propias del paso de un frente cálido.





● Fíjate en las figuras y pon en el centro de cada grupo de círculos concéntricos A o B, según se corresponda con una situación anticiclónica o una de borrasca. Completa también los espacios poniendo “hemisferio norte” y “hemisferio sur”.



La formación de borrascas en las zonas templadas tiene que ver con la génesis de frentes en esas regiones, debido a que una masa de aire frío de origen ártico, en su avance hacia el sur, encuentra cortado su camino por una corriente de aire cálido. La superficie de separación se conoce como frente polar, que tiene carácter estacionario/estacional.

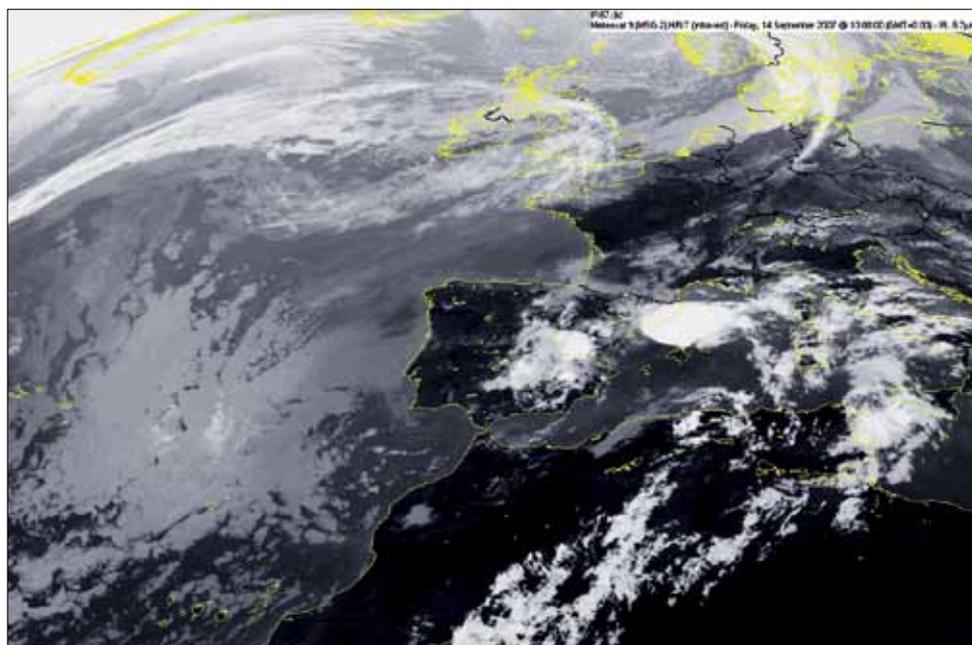
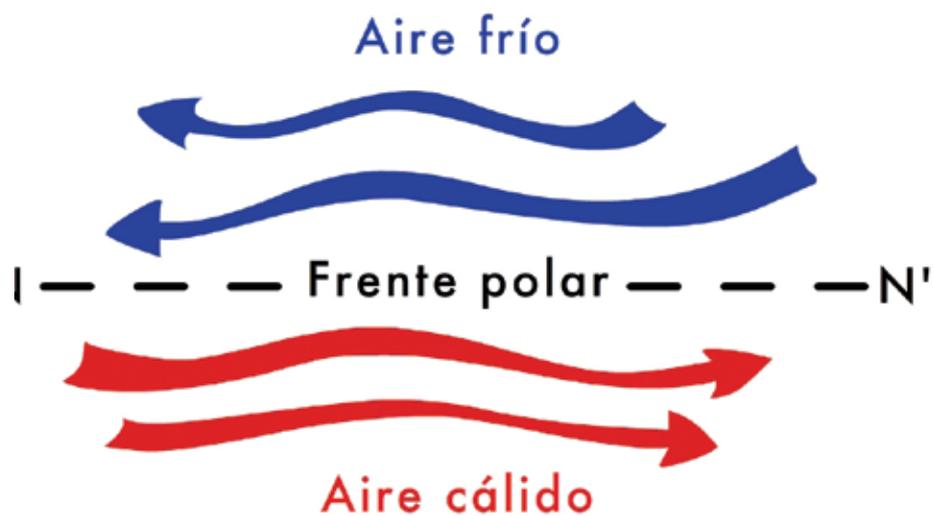
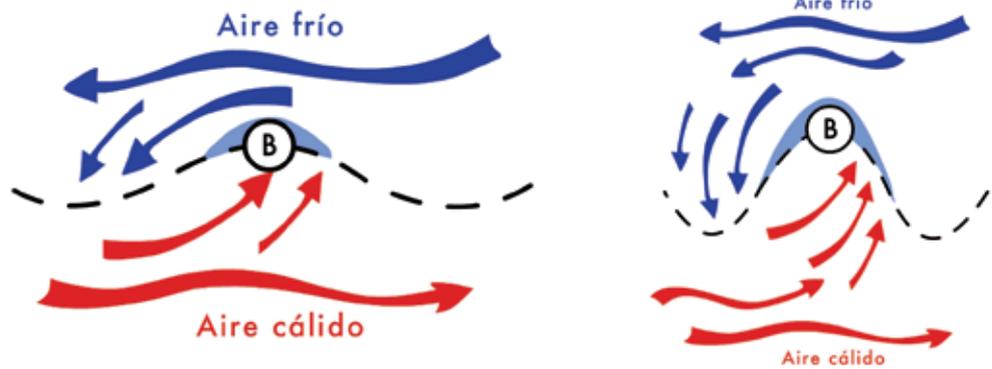


Figura 12. Imaxe satélite da formación dunha fronte

Debido a la dirección opuesta de los dos vientos en ambas masas, en dicha superficie de separación se produce una ondulación, de manera semejante a la formación de olas en la superficie de contacto entre las corrientes marinas y el viento de dirección contraria. Como ocurre en la formación de las olas del mar, estas ondulaciones se van acentuando con el tiempo





Este proceso de acentuación de la ondulación se prolonga hasta llegar a formarse, alrededor de B, una verdadera circulación ciclónica, que avanzará con una velocidad que depende de la del viento frío.

● Realiza este experimento siguiendo los pasos que se indican a continuación para responder a las 3 preguntas que se enumeran después del tercer paso:

- Coge dos botellas de plástico idénticas. Llena una de las botellas hasta la mitad y añádele colorante.
- Conecta las dos botellas de tal forma que sus aperturas se superpongan, tal y como se muestra en la figura y en la fotografía, y fíjalas usando abundante cinta adhesiva.
- Dale la vuelta y responde:
 - Anota el sentido del giro que observas.
 - ¿Qué relación puede tener ese giro con la rotación de la Tierra?
 - ¿Qué relación encuentras entre el experimento y la formación de las borrascas y anticiclones en Europa?
 - ¿Qué cambios se producirían en el experimento si este se realizase en el Colegio Santiago Apóstol de Buenos Aires? Justifica la respuesta.



A modo de resumen, podemos decir que en un territorio las precipitaciones pueden estar causadas por fenómenos atmosféricos locales, o bien por fenómenos relacionados con la dinámica de la circulación atmosférica a gran escala.

Así, en las zonas templadas del planeta las precipitaciones están causadas principalmente por los frentes que, procedentes de los océanos, entran en los continentes y producen las lluvias.

En las zonas ecuatoriales (como en las pluvisilvas), la importancia de los fenómenos de circulación atmosférica a gran escala es más secundaria y las precipitaciones dependen más de las condiciones locales, como la capacidad de evapotranspiración de las plantas de la selva, que funcionan como una verdadera bomba de agua desde el suelo hacia la atmósfera, y que tienen un papel destacado en la aparición de nubes locales con un importante desarrollo vertical, que es la causa de las precipitaciones que se producen prácticamente a diario.



Figura 13. Lluvias durante una tormenta tropical en el aeropuerto de La Habana

Otras veces es frecuente una combinación de ambos factores. Por ejemplo, en la meseta ibérica y en invierno las lluvias aparecen asociadas al paso de frentes procedentes del océano Atlántico, mientras que las tormentas de verano se asocian muchas veces a fenómenos de fuerte evaporación causados por el calor, o a las lluvias orográficas ocasionadas por la condensación del agua en el aire, al encontrarse el viento con una montaña, ascender el aire por su falda, enfriándose, condensando el agua, y creando una nube local que da lugar a una precipitación de tipo tormentoso.

En aquellas zonas donde los frentes procedentes de los océanos no pueden penetrar, o donde no se dan las condiciones locales para la aparición de nubes y precipitaciones, aparecen los desiertos..



Figura 14. Paisaje desértico

- ¿Cuál es la razón de que en las selvas se produzcan intensas precipitaciones a diario?
- ¿Por qué las tormentas de verano son más frecuentes en la meseta que en Galicia y por qué razón en Galicia llueve más que en la meseta?





Balance hídrico de un territorio

El ciclo hidrológico, como hemos visto, es un modelo global. Sus elementos son extrapolables a nivel local a través del concepto de balance hídrico de un territorio, que consiste en la cuantificación, en un periodo cualquiera, en valores de medio a largo plazo, de las entradas y salidas del agua a ese territorio mostradas en el esquema. Por tanto el balance hídrico puede definirse como la relación existente entre la oferta y la demanda meteorológicas de agua.

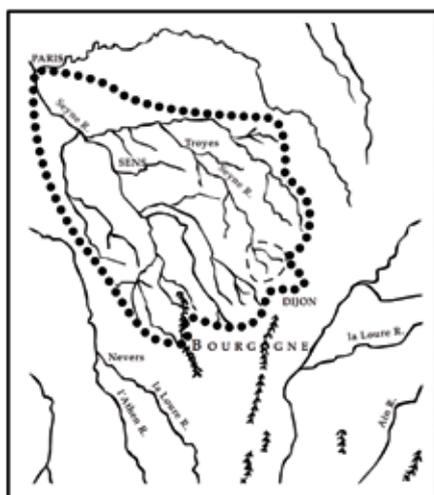
Aunque el territorio no tiene que circunscribirse a cuencas hidrográficas, estas representan un caso particular de territorio muy interesante para el cálculo de balances hídricos. Esto es así porque se trata de un territorio que no recibe, en régimen natural, transferencias superficiales de otros territorios, y las que recibe subterráneamente suelen ser poco importantes. Esta independencia hídrica con respecto a los territorios vecinos es lo que hace a las cuencas hidrográficas muy adecuadas como unidades territoriales para la gestión de los recursos hídricos.



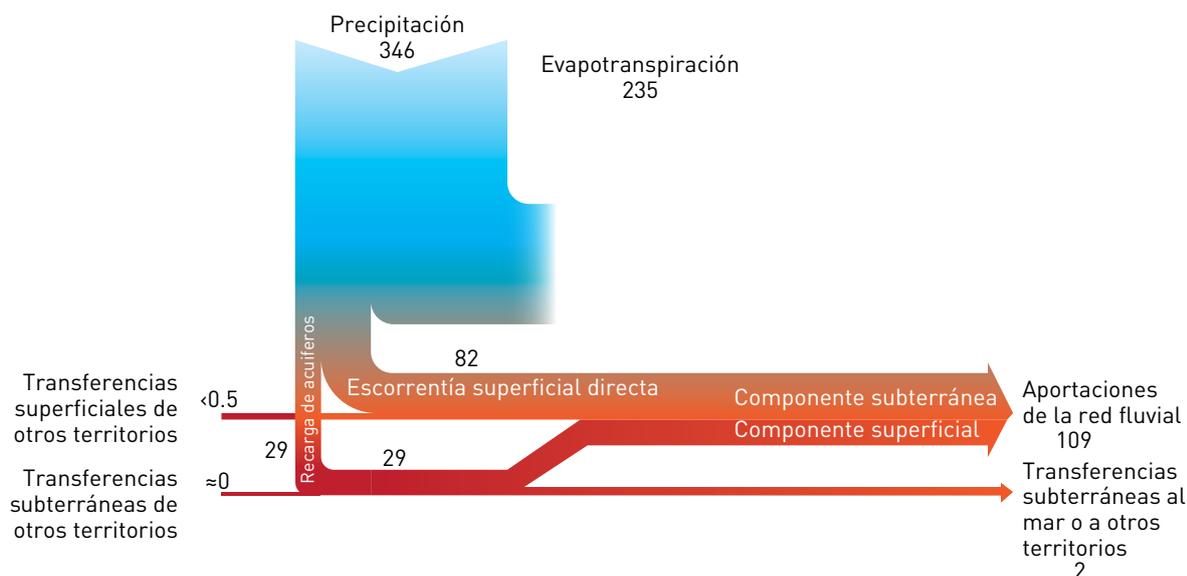
Figura 15. Vista de una parte de la cuenca de un río

Se puede decir que, en realidad, el balance hídrico es un concepto anterior al ciclo hidrológico, pues el modelo de ciclo hidrológico en el que interviene la atmósfera surge en el siglo XVIII como consecuencia de estudios iniciados ya a finales del siglo XVII por la Academia Real de las Ciencias de París sobre la cuenca hidrográfica del Sena.

Estos estudios vendrían a poner de manifiesto que la precipitación de la cuenca fluvial del Sena era igual al caudal del río más la evapotranspiración. Con la hipótesis de partida de que lo que ocurría a nivel de esta cuenca se correspondía con un modelo global de circulación del agua, se hicieron otros estudios semejantes sobre otras cuencas, obteniendo resultados parecidos. Por eso, relacionando las precipitaciones con la condensación del agua, que anteriormente se evaporó sobre la superficie del océano y del continente, y asumiendo que el agua vuelve por evaporación a la atmósfera y fluye en estado líquido por gravedad a los océanos, se construyó el actual modelo de ciclo hidrológico.



Actualmente este concepto se usa en outros territorios máis amplos que la cuenca hidrográfica. Por eso los estados suelen hacer estudios de los balances hídricos de su territorio. Los datos del balance hídrico ponen de manifiesto la aportación total de unos 109 km³/año a la red fluvial española (del orden de un tercio de los 346 km³/año), de los que tres cuartas partes son escorrentía superficial directa y una cuarta parte es escorrentía subterránea.

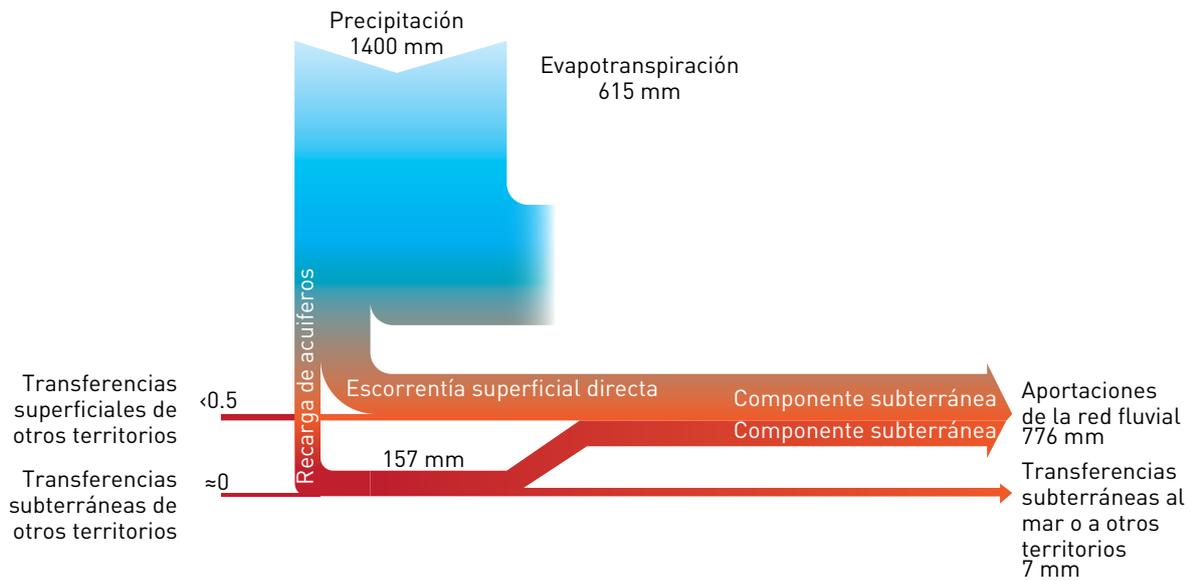


Las transferencias externas, en este caso, juegan a favor del valor del cálculo dado su carácter peninsular, separado del resto por cordilleras, e isleño, y, por tanto, su gran aislamiento geográfico en relación a otros países del entorno.





Datos Galicia



- Calcula el valor de la escorrentía superficial directa y el de la subterránea de España, expresando el valor en $\text{km}^3/\text{año}$.
- ¿Por qué razón en los ciclos hidrológicos no se cuantifican datos y sí se hace en los balances hídricos, si en ambos casos participan la evapotranspiración, la precipitación y la escorrentía?

¿Podemos llegar a alterar los balances hídricos?

El agua ocupa un lugar destacado en nuestra vocación por modificar nuestro entorno, debido, sobre todo, a que es un elemento imprescindible para la vida y el desarrollo de las civilizaciones.

De hecho, el ser humano ha logrado modificar el régimen de los flujos naturales del agua y su almacenamiento, lo que ha afectado a la práctica totalidad de los balances hídricos y, por lo tanto, al ciclo hidrológico.

Los motivos para estas modificaciones son diversos, y van desde el establecimiento de las ciudades a la agricultura de regadío, la producción de energía, etc. Las intervenciones derivadas de estos y otros aspectos han provocado diversas modificaciones en la circulación del agua.



Figura 16. Acueducto

- Señala intervenciones sobre la circulación del agua, introducidas en la Edad Media, en el Imperio romano y en el siglo XX. Explica los objetivos de las intervenciones, de sus aprovechamientos y de sus impactos ambientales.

Cuando pensamos en estas intervenciones, suele venirnos a la mente la construcción de los embalses. Los embalses suponen una evidente modificación del régimen hidrológico del río con el objetivo de adaptarlo a nuestras demandas.

Las presas o embalses son muros construidos cortando el caudal del río. Un embalse puede servir:

- Para evitar las crecidas, que, como hemos visto, pueden ser fenómenos muy peligrosos.
- Para, en periodos de sequía, utilizar para riego el agua almacenada.
- En algunos casos, para producir energía hidroeléctrica, que es limpia y renovable.

Algunas presas sirven para las tres cosas. El problema es que estas ventajas son contrarrestadas por varios inconvenientes. Los embalses transforman los cursos de agua naturales en estanques y, además, inundan grandes zonas, destruyendo la vegetación de las orillas, buena parte de la fauna que vive en los ríos y, en muchos casos, obligando a desalojar pueblos o ciudades. Son además lugares peligrosos, que han dado lugar a serias catástrofes cuando el muro se ha roto, anegando las poblaciones situadas aguas abajo. Son también obras efímeras, porque sirven como trampas para los sedimentos que transporta el río, que quedan atrapados en su fondo hasta que inutilizan la presa, en general en menos de un siglo. Por último (como se explica en el párrafo siguiente), contribuyen al hundimiento de los deltas. Por todo ello hay ahora una tendencia a destruir buena parte de las presas construidas en los siglos XIX y XX: en Estados Unidos se destruyen entre 20 y 50 presas cada año. En España aún no hemos llegado a esta fase, y hay proyectadas 120 nuevas presas.





Figura 17. Embalse de Belesar

Los **deltas** son ambientes naturales muy interesantes; por ejemplo, los deltas de Bangladesh son un hábitat natural del tigre de Bengala. También lo son para el hombre, porque los sedimentos que aporta el río son ideales para el cultivo (de arroz, por ejemplo). Pero se trata de sistemas inestables, porque las corrientes marinas los socavan y, por ello, tienden a hundirse en el mar. El aporte de sedimentos del río equilibra este proceso, pero si los embalses cortan este flujo de sedimentos el hundimiento será muy rápido. Eso es lo que está pasando en una gran mayoría de los deltas del mundo. El del Nilo es el mejor ejemplo: un tercio de su superficie está a sólo 1 metro sobre el nivel del mar, y la velocidad de hundimiento es de 1 cm/año. El problema es serio, porque el delta alimenta a la mayor parte de Egipto.

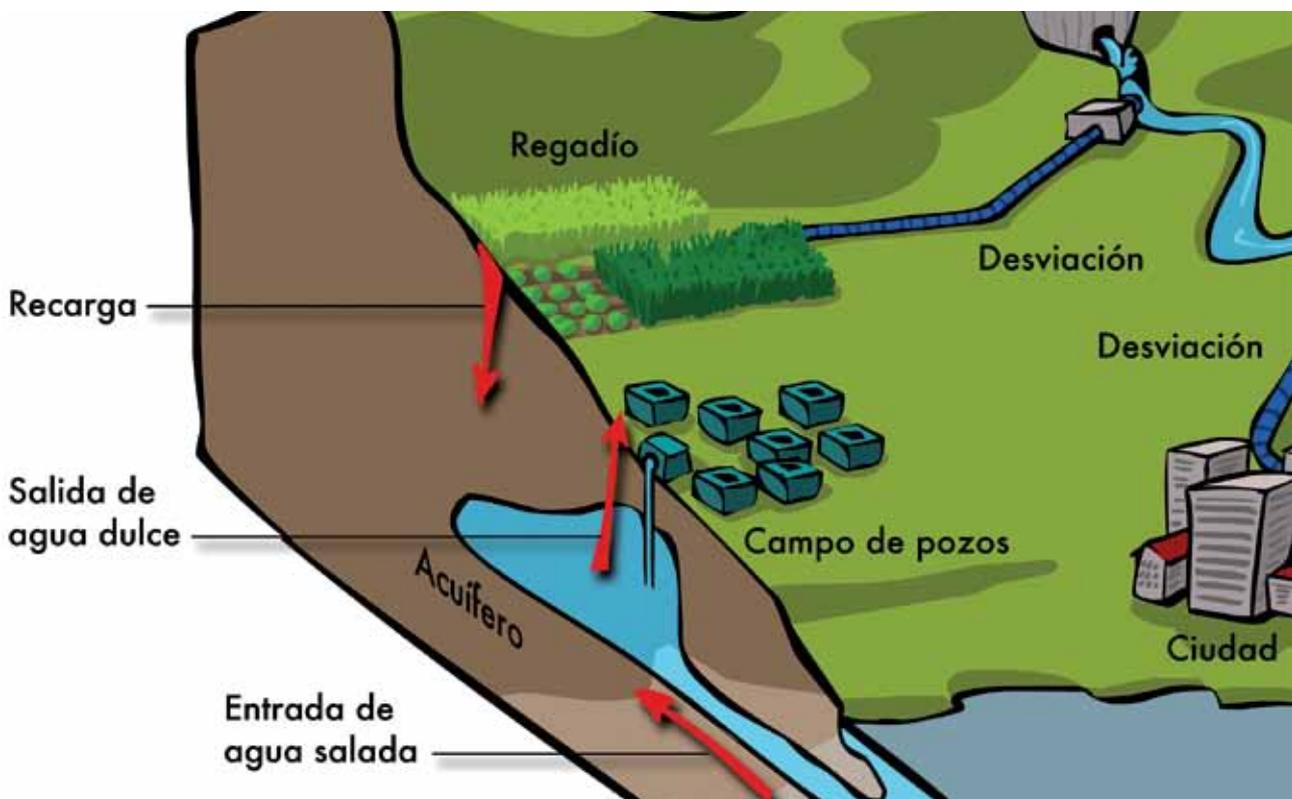


Figura18. Delta

Por último, el dato menos conocido sobre el ciclo del agua: cada vez hay menos ríos que lleguen al mar. Ya no lo hace, por ejemplo, el río Amarillo (el segundo más largo de China), porque todo su caudal se emplea para beber, en agricultura o en fábricas. El Indo (compartido por India y Pakistán) sólo alcanza el mar en la temporada de lluvias. En España, muchos ríos como el Miño, el Sil, el Mijares o el Turia apenas tienen caudal, lo que significa que no pueden sostener vida. El *homo sapiens* está utilizando ya la mayor parte del agua dulce disponible y se prevé que el problema del agua se haga más grave a medida que la población siga aumentando.

- ¿Por qué la construcción de un embalse aumenta la evaporación en el balance hídrico de una cuenca hidrográfica?
- Justifica la aparición de nieblas matutinas diarias en una zona del borde de un embalse.
- Señala las utilidades de los embalses y los impactos ambientales derivados de su construcción.

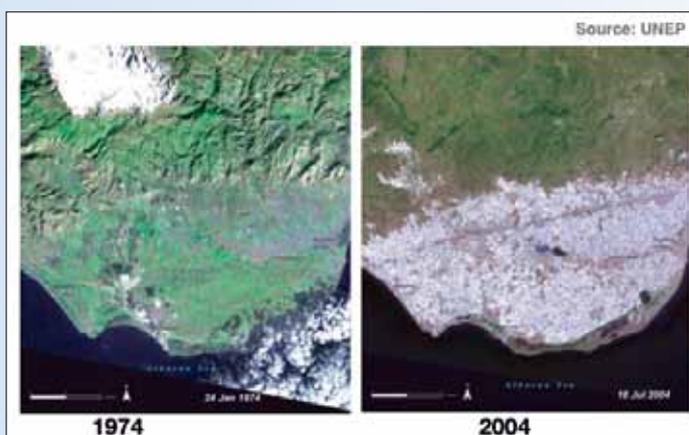
Otra intervención que, también, puede modificar el régimen hidrológico y el balance hídrico de una cuenca hidrográfica es la construcción de pozos. Este tipo de intervención supone el bombeo de agua del acuífero, pudiendo llegar a afectar el caudal del río, que, a su vez, puede acabar provocando la penetración de intrusiones salinas en los pozos próximos a la costa, evidenciando más la presencia de los pozos de los que se ha extraído agua para regar, facilitando la invasión del acuífero por agua marina)





- Lee este fragmento extraído del artículo “Agricultura intensiva y explotación de los recursos naturales en el Campo de Dalías”, de Miguel Ángel García Dory, publicado en la revista Quercus y responde a las cuestiones que sobre él se formulan:

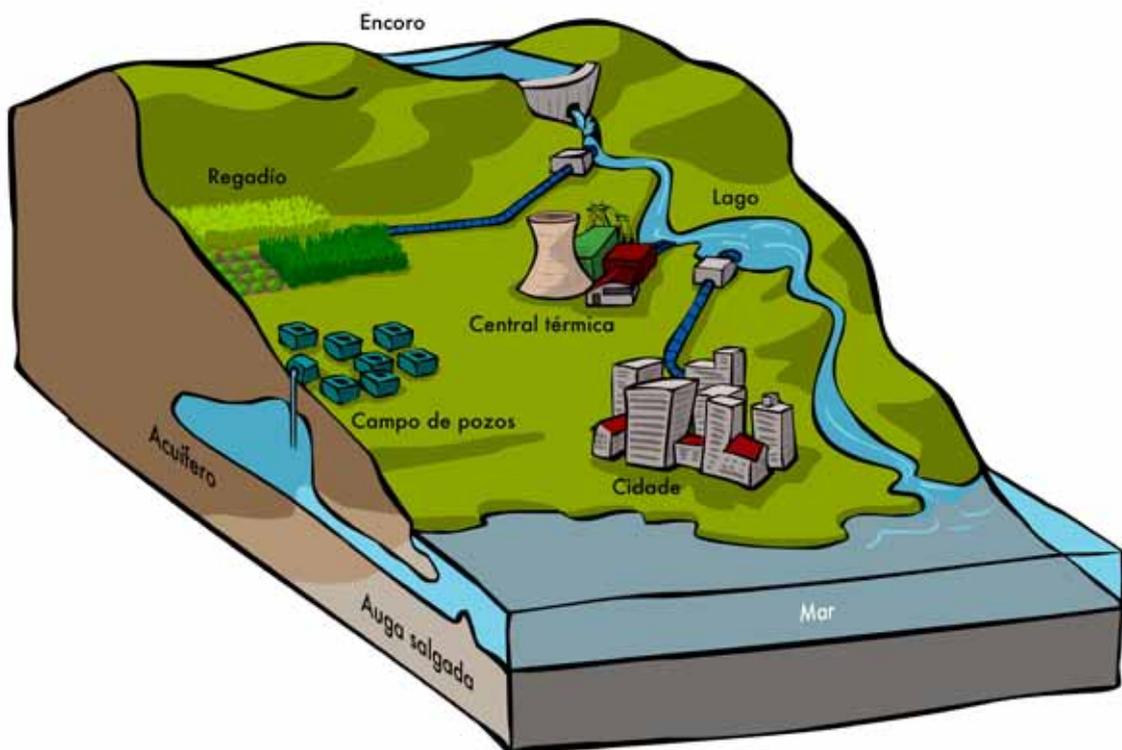
“El campo de Dalías, llanura costera localizada en el extremo suroriental de la provincia de Almería, se tiene citado obstinadamente como uno de los más espectaculares éxitos del desarrollo económico que se ha producido en una comarca aparentemente pobre en recursos naturales [...].



De esta manera, cuando en los primeros años de la década de los años cincuenta del siglo XX empezó la reciente explotación del agua subterránea, se presentaba en este y otros lugares un panorama desolador [...]. Unas décadas después, una extracción masiva del agua del subsuelo permitió una transformación radical del lugar que acabó convirtiéndose en un auténtico emporio donde la producción agrícola alcanzaba cuotas hasta entonces insospechadas [...]. El éxito de estos nuevos cultivos fue de tal envergadura que rápidamente se propagaron por la comarca, de tal forma que, a principios de la década de los sesenta, ya se encontraban en regadío unas 5.000 hectáreas de unos terrenos que hasta entonces sólo proporcionaban algunos cereales, forrajeras o eran extensos eriales baldíos. En 1962 empezaron a levantarse los primeros invernaderos de plástico, con lo que se logró incrementar aún más los rendimientos y gracias a los cuales se pudo adelantar el momento de las cosechas [...].

En 1977, el Instituto Geológico Minero de Almería estimaba que la caída del acuífero en todo el Campo de Dalías era de un metro por año y advertía sobre el riesgo de una intrusión marina [...]. En 1980 se alcanzó la cota cero, igual a la del nivel del mar en algunos acuíferos. [...] Incluso en algunos lugares próximos a la costa la salinización del agua forzó el abandono de cultivos. [...] En la actualidad, dos de los tres principales acuíferos se encuentran claramente sobreexplotados, por lo que los fenómenos de salinización afectan ya a una superficie considerable.”

- ¿Por qué este fenómeno es más fácil que ocurra en Almería que en Galicia?
 - Explica por qué los terrenos de Campos de Dalías se han vuelto salinos.
 - ¿Qué modificación ha experimentado el régimen hidrológico de esa zona?
- La figura muestra un esquema de las distintas alteraciones en el régimen natural del balance hídrico de una determinada zona debido a la presencia de un embalse de regulación, de unos pozos en el acuífero, de una central térmica, de una ciudad y de una zona de regadío.
- ¿Cómo afectará el embalse al régimen hidrológico del río?
 - ¿Cómo le afectaron los pozos?
 - ¿Cómo le afectará la central térmica?
 - ¿Cómo le afectará la agricultura?
 - ¿Cómo le afectará la ciudad?



Todas estas afectaciones están bastante bien estudiadas a nivel local en diversos balances hídricos. Pero en la actualidad se empieza a considerar la necesidad de abrir líneas de investigación a escala global, continental y planetaria, por impactos de esta naturaleza, tales como el cambio climático.

Los modelos regionales indican que, a lo largo del presente siglo, las precipitaciones van a sufrir modificaciones significativas relacionadas con el cambio climático, cuyas consecuencias sobre la hidrosfera las abordaremos en más profundidad en los capítulos 6 y 7 en el. Se prevé que en los países del arco mediterráneo disminuyan, pero que sean





más concentradas. En España se prevé, por tanto, una mayor intensificación de los riesgos asociados a fenómenos climáticos extremos como las inundaciones y, muy especialmente, las sequías.

Por tanto, en el marco del cambio climático, tanto en el contexto global como en los regionales, no podemos excluir el aumento de precipitaciones. Sin embargo, en términos generales, lo que sí cabe esperar es un aumento de la evapotranspiración, que afectará a aquellos acuíferos que tengan el nivel freático próximo a la superficie del terreno. También se espera una mayor demanda hídrica debido al calor y a la menor disponibilidad de agua superficial.

Con estas previsiones cabe esperar un descenso generalizado del agua subterránea en los acuíferos, lo que pone en riesgo de la estabilidad físico-química de los recursos hídricos subterráneos.

- Señala las partes de España que tendrán más riesgo de inundaciones y de sequías.
- ¿Cómo se prevé que sea la situación de Galicia en comparación con el conjunto de España?

En la actualidad, aparte de los efectos del cambio climático sobre la hidrosfera, en especial sobre los océanos, se están identificando otros efectos globales derivados de la interferencia humana en el ciclo del agua.

Un ejemplo curioso de estos impactos globales en el ciclo del agua nos lo encontramos en la acción combinada y global de la construcción de embalses y el uso de fertilizantes.



Esto ha originado que los embalses hayan supuesto importantes barreras para el acceso de los silicatos a los océanos, y el uso de fertilizantes ha aumentado la cantidad de nitratos que entran en el océano. Por eso últimamente se ha detectado a escala global la disminución en el plancton de las algas diatomeas, que necesitan sílice, y el aumento de los dinoflagelados.

- Responde con lo estudiado en este apartado a las cuestiones iniciales del apartado "Responde con lo que sabes ahora"



Circulación del agua y clima: de las selvas a los desiertos

La distribución de las precipitaciones está relacionada con la circulación atmosférica, dado que el vapor de agua es uno de los componentes del aire y, como hemos visto, su condensación, cuando el aire húmedo se satura al bajar la temperatura, va a determinar la formación de precipitaciones.

Entre los factores que determinan el clima destacan las precipitaciones y la temperatura. La temperatura está muy relacionada con la insolación y, por tanto, con la latitud. Las precipitaciones, como hemos visto, tienen mucho que ver con la circulación atmosférica, que es en lo que nos vamos a centrar a continuación.

Modelo de circulación atmosférica para caracterizar las precipitaciones según latitudes

Como el agua que nos llega a la Tierra lo hace en forma de precipitación, para abordar algún tipo de modelo que permita comprender su distribución y, por tanto, predecir cómo le puede afectar cualquier cambio en el sistema climático, debemos recurrir a la búsqueda de un modelo de circulación general de la atmósfera.

Ese modelo sería muy sencillo, si la Tierra no girara y, además, su superficie fuera regular. De ser así, la circulación se explicaría de una forma muy sencilla con un modelo de celda continua que se desarrollaría desde el ecuador (superficie de bajas presiones) hasta los polos (superficie de altas presiones). Un modelo tan simple implicaría una circulación continua donde el aire caliente iría enfriándose en altura hacia los polos y descendería luego para volver pegado a la Tierra a ocupar la zona de bajas presiones del ecuador, donde se calentaría, iniciando de nuevo el ascenso. De esta forma, en nuestra latitud el viento soplaría hacia el sur en el hemisferio norte, y estaríamos así recibiendo constantes vientos del norte. Obviamente, en el hemisferio sur ocurriría lo contrario.

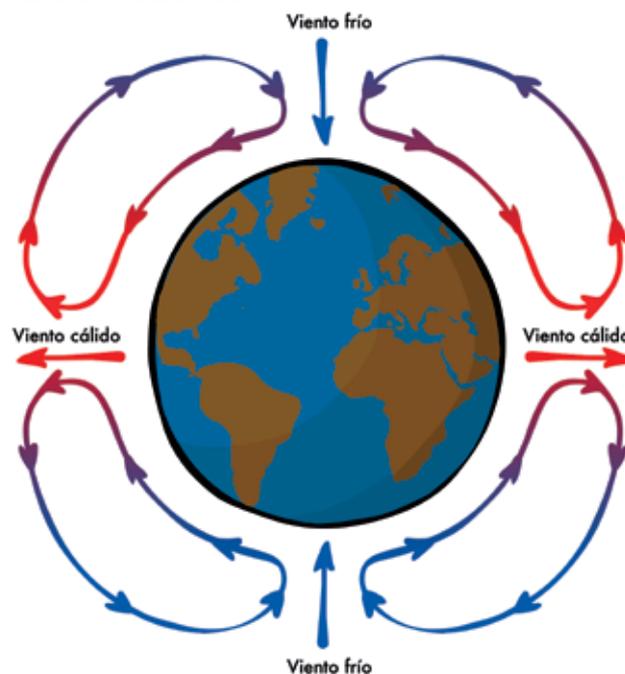


Figura 19. Modelo simple de la circulación atmosférica despreciando la continentalidad





La presencia de núcleos de altas y bajas presiones cambiantes, que a su vez provocan el cambio de la orientación de los vientos y la formación de borrascas, se contradice con este modelo global tan simple. Sin embargo, sí es cierto que la mayor insolación a nivel del ecuador provoca el ascenso del aire, porque su densidad disminuiría debido a la dilatación térmica, y el aire frío más denso pasará a ocupar su lugar.

Entre los factores que invalidan este modelo general simple de celda única, destaca el hecho de que la Tierra tenga un movimiento rotacional que imprime a sus fluidos una fuerza que se denomina de Coriolis. Además de esta aceleración, interfieren en el modelo general simple el relieve y los efectos continental y oceánico, debido a la mayor capacidad calorífica del océano frente a la que presenta el interior de los continentes, que hace que aquí la regulación térmica sea menor.

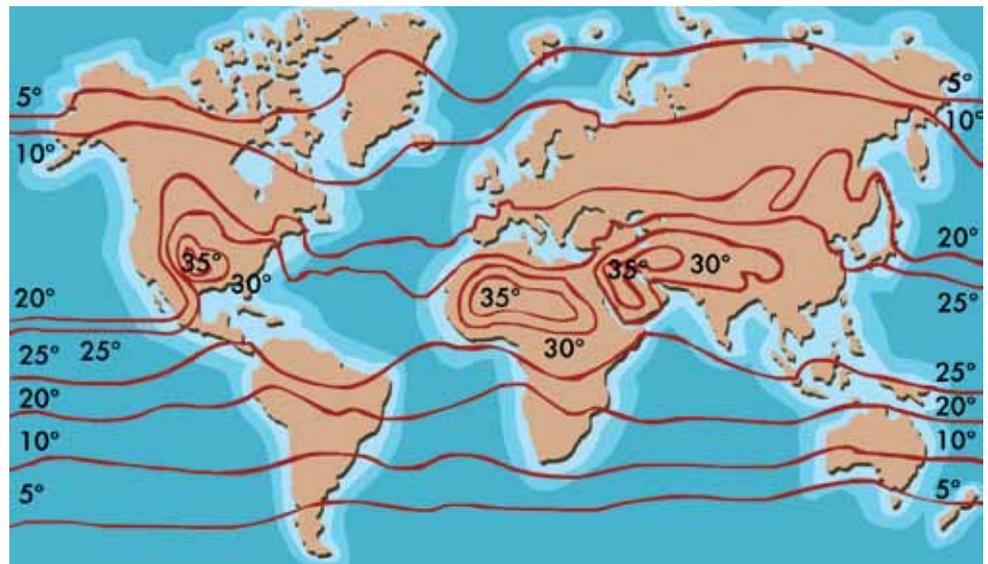


Figura 20. Influencia de la continentalidad y de la latitud en la variación térmica. Si la temperatura no estuviese influenciada nada más que por la latitud, las líneas isotermas coincidirían con los paralelos (puntos de igual latitud) y el máximo térmico estaría siempre situado sobre el ecuador. Pero esa coincidencia no se produce, tal y como se puede comprobar al observar cómo las isotermas, o líneas que unen puntos de igual temperatura, experimentan curvaturas por efecto de la continentalidad

En la búsqueda de un modelo global, es factible incorporar el efecto provocado por la fuerza de Coriolis, pero con el efecto de continentalidad y con el relieve no ocurre lo mismo, por su naturaleza regional.

Teniendo presente entonces la diferencia de insolación ligada a la latitud y el efecto de la aceleración de la fuerza de Coriolis, podemos establecer un modelo general que nos permita categorizar las regiones planetarias por las probabilidades de sus precipitaciones, que, en combinación con sus temperaturas medias estacionales, darán lugar a determinadas grandes regiones climáticas que, por su lado, van a presentar unas adaptaciones climáticas singulares en sus comunidades, cuya caracterización queda integrada en el concepto de bioma.

Situándonos en el hemisferio norte (en el sur las orientaciones ocurre lo contrario por la fuerza de Coriolis) para una descripción del modelo, el aire asciende en el ecuador debido a la elevada insolación, generando así una zona de bajas presiones ecuatoriales. Ese aire que asciende en las zonas ecuatoriales se dirige por las capas de la atmósfera con dirección NE, regresando a la superficie terrestre hacia los 30° de latitud, donde se sitúan las zonas de altas tropicales.

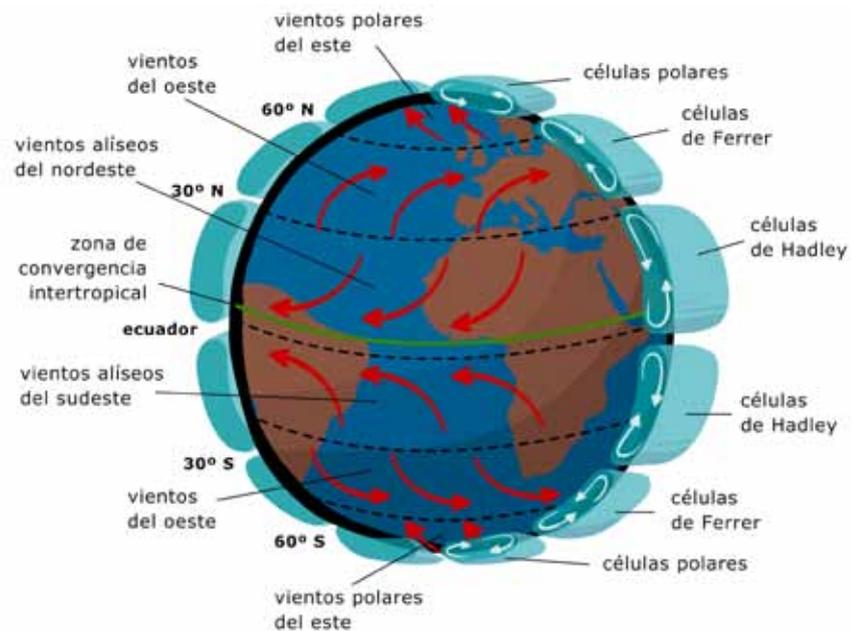


Figura 21. Modelo general de circulación atmosférica

A partir de esa latitud, se dirigen hacia el este en dirección de latitudes superiores, formándose los clásicos vientos de poniente frecuentes en las latitudes medias correspondientes a las zonas templadas. La orientación hacia el este supone que en nuestras latitudes sentimos que el viento nos viene del SO, que se extiende hasta la zona de bajas subpolares, situadas en regiones en torno la latitud 60°. Por tanto, las celdas de circulación en las latitudes medias están comprendidas aproximadamente entre los 30° y los 60° de latitud.

Por debajo de la latitud de 30° el viento fluye sobre la superficie desde los trópicos al ecuador, en sentido contrario, por lo que en esas latitudes se percibe que los vientos vienen del NE, y se conocen como alisios. Estos vientos se cierran en altura con otros vientos que completan las celdas, que, en el caso de la de los alisios, se denominan contra-alisios, que soplan en dirección SE, que completa la celda de las latitudes bajas, entre la latitud 0 y la latitud 30. La tercera celda se configura desde las bajas subpolares hasta el polo, interpretando así la formación de las altas polares.

- Explica la formación de tormentas tropicales con este modelo
- ¿Cómo explica este modelo el clima tropical?
- ¿Cómo explica este modelo la alta frecuencia de bajas presiones en la zona de las Islas Británicas?
- ¿En Galicia el viento más frecuente es el de NE o el SO? ¿Cuál está ligado a la existencia de precipitaciones? ¿En que época del año se suelen formar los vientos menos frecuentes?

Las precipitaciones desde las selvas a los desiertos

Este modelo, con sus limitaciones, permite explicar la existencia de las grandes regiones climáticas. Las comunidades de dichas regiones caracterizadas por unos gradientes de valores de precipitación y temperatura se conocen, como ya hemos dicho, como biomas. Al





estar determinados por dos gradientes, precipitaciones y temperaturas, estos biomas se pueden representar en sistema cartesiano, donde cada uno quedará gráficamente situado en las intersecciones de sus correspondientes márgenes de gradientes de temperatura y precipitaciones.

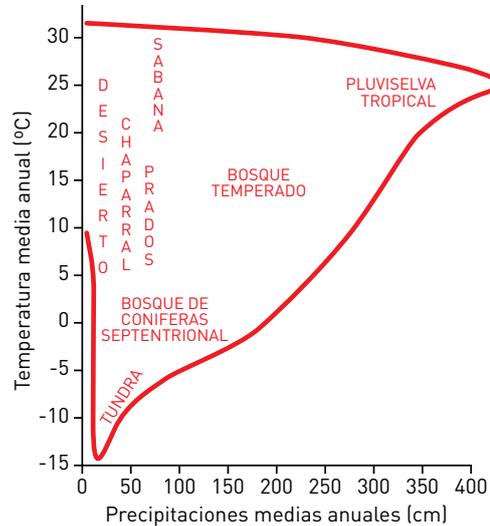


Figura 22. Distribución de ocho biomas terrestres principales con respecto a la temperatura media anual y a las precipitaciones medias anuales. (Simplificado por Begon a partir de Whittaker).

El factor fundamental en la configuración de los biomas es la disponibilidad del agua durante la época de crecimiento de las plantas. Donde no hay escasez, el arbolado es denso y la vegetación cubre toda la superficie de suelo fértil, como en la selva o un bosque templado de robles. Cuando el agua empieza a escasear, las plantas necesitan explorar con sus raíces un mayor volumen de suelo para obtener el agua que precisan y tienen que separarse cada vez más unas de otras. Los árboles y la vegetación ya no ocupan toda la superficie, sino que aparecen separados, como ocurre con las encinas de la dehesa, o con los baobab de la sabana, que aparecen aislados y sin que sus copas lleguen a tocarse.



Figura 23. Sabana

Y el segundo factor que matiza los biomas, como se ha dicho, es la temperatura. Allí donde no baja de un determinado valor en todo el año, se considera que no hay estación fría y las plantas pueden crecer continuamente todos los meses del año (salvo que haya una estación seca). Es el caso de las selvas tropicales. La agricultura en estas regiones, allí donde hay suelo utilizable, es muy productiva, pues al no haber parada invernal de crecimiento se pueden obtener cosechas todos los meses del año, especialmente si hay acceso a agua abundante para riego y el agua no es un factor limitante.

- A la vista de la gráfica, busca el nombre del bioma que corresponde a cada una de las regiones cuyas temperaturas e precipitaciones medias anuales se indican a continuación:
 - 350 cm y 25 ° C (-----)
 - 200 cm y 15° C (-----)
 - 5 cm y 20° C (-----)
 - 0 cm y -5° C (-----)

Las regiones con mayores precipitaciones son las correspondientes a las selvas que se extienden desde las zonas ecuatoriales a los trópicos. Son zonas en las que las lluvias anuales superan los 200 cm³ y en las que caen al menos 12 cm³ de agua. Según el modelo de celdas, se corresponden con zonas de bajas presiones debido al ascenso de aire caliente en los alrededores del ecuador.

En el otro extremo de precipitaciones, están los desiertos.



Figura 24. Deserto

Se encuentran en zonas que experimentan sequías extremas. Las precipitaciones son inferiores a los 25 cm³. La mayoría de los desiertos se extiende entre latitudes ligeramente superiores e inferiores alrededor de los trópicos; lo que se explica bastante bien con el modelo de celdas al coincidir esas regiones con las zonas de altas presiones tropicales.





En zonas tropicales con mayor humedad, más próximas a las selvas, se localizan las sabanas, cuya imagen típica es la de prados con mucha hierba y algunos árboles dispersos.



Autora: Verónica Valiente Pérez

Figura 25. Sabana

Muy parecidos a las sabanas, en cuanto a la escasez de precipitaciones, son los prados templados, que han recibido nombres distintos dependiendo de los continentes y países: praderas, estepas, pampa... Bastante parecidos a los prados pero con menos precipitaciones, tenemos los *chaparrales* mediterráneos.

En gradientes de bajas temperaturas y de bajas precipitaciones, tenemos el bioma de la tundra, que se sitúa alrededor del Círculo Polar Ártico. El agua superficial de esta zona se congela y descongela al ritmo de las estaciones del año, pero aquella que se encuentra en el suelo a partir de unos determinados centímetros de profundidad se caracteriza por estar permanentemente helada, en lo que se conoce como permafrost. La flora típica incluye musgos, líquenes y árboles enanos, si bien en algunas zonas de permafrost, donde las condiciones son algo mejores y el hielo permanente del suelo se encuentra ya más profundo, se encuentran los grandes árboles del bosque de coníferas conocido como taiga. En la actualidad estos árboles, en determinadas regiones como Alaska, se ven inclinados en direcciones diferentes.



Figura 26. Árboles inclinados en diferentes direcciones debido a la inestabilidad del terreno por derretimiento del permafrost

El motivo es que el calentamiento global actual ha comenzado a derretir el permafrost bajo un suelo que antes, al estar helado, era firme, y que ahora, con el deshielo en profundidad, se ha vuelto inestable e incapaz de sujetar el arbolado. En Siberia ya está afectada un área de aproximadamente un millón de kilómetros cuadrados, lo que además de poner en peligro este bioma, supone un riesgo para el incremento del calentamiento global. Esta posible contribución al cambio climático se debe a que la cantidad de carbono almacenado en estos suelos se puede desestabilizar con la descongelación, al poder descomponer los microorganismos una materia orgánica antes inaccesible para su metabolismo al estar permanentemente congelada, pasando el carbono a la atmósfera y retroalimentando así el calentamiento global.



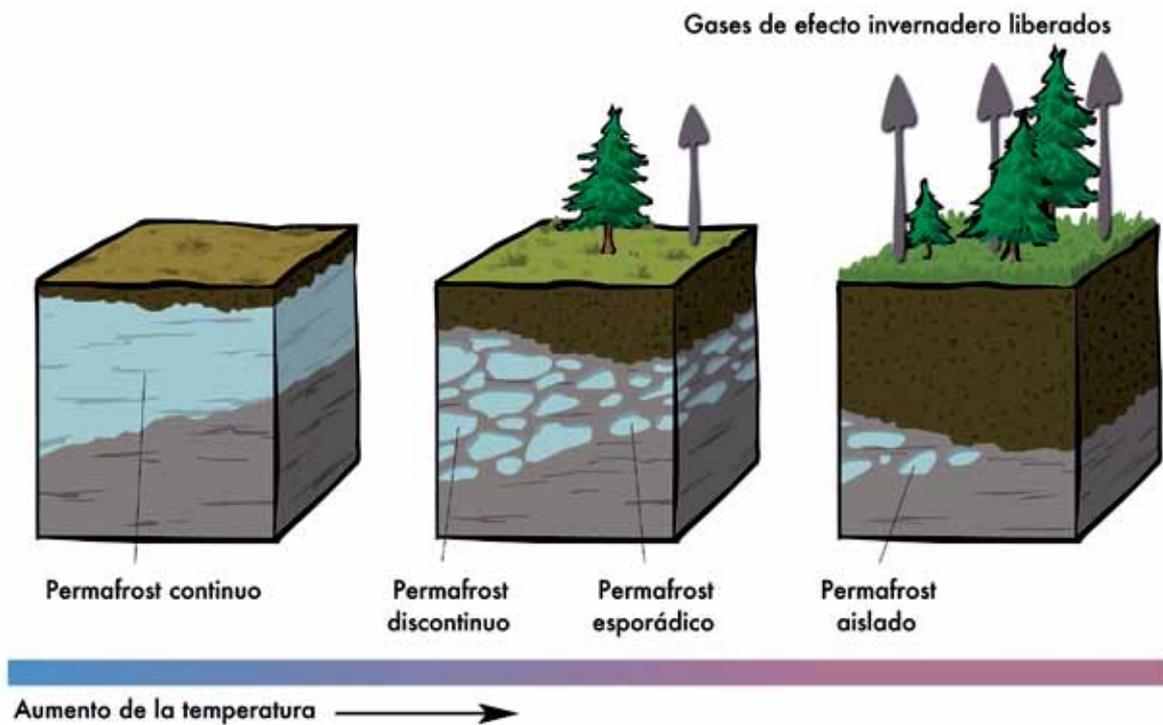
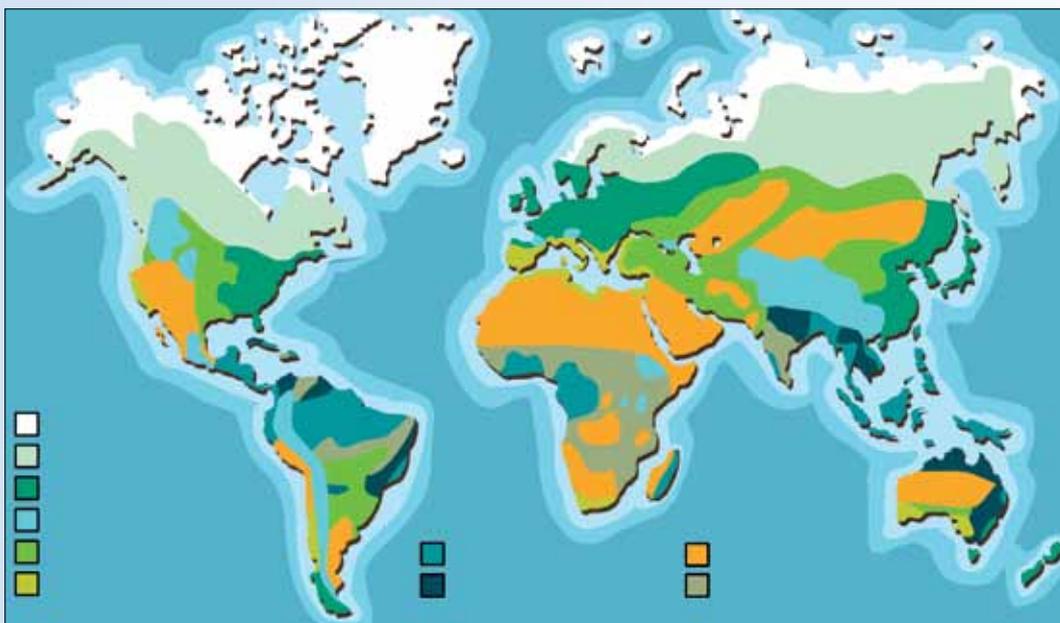


Figura 26. Derretimiento del permafrost por aumento de temperatura

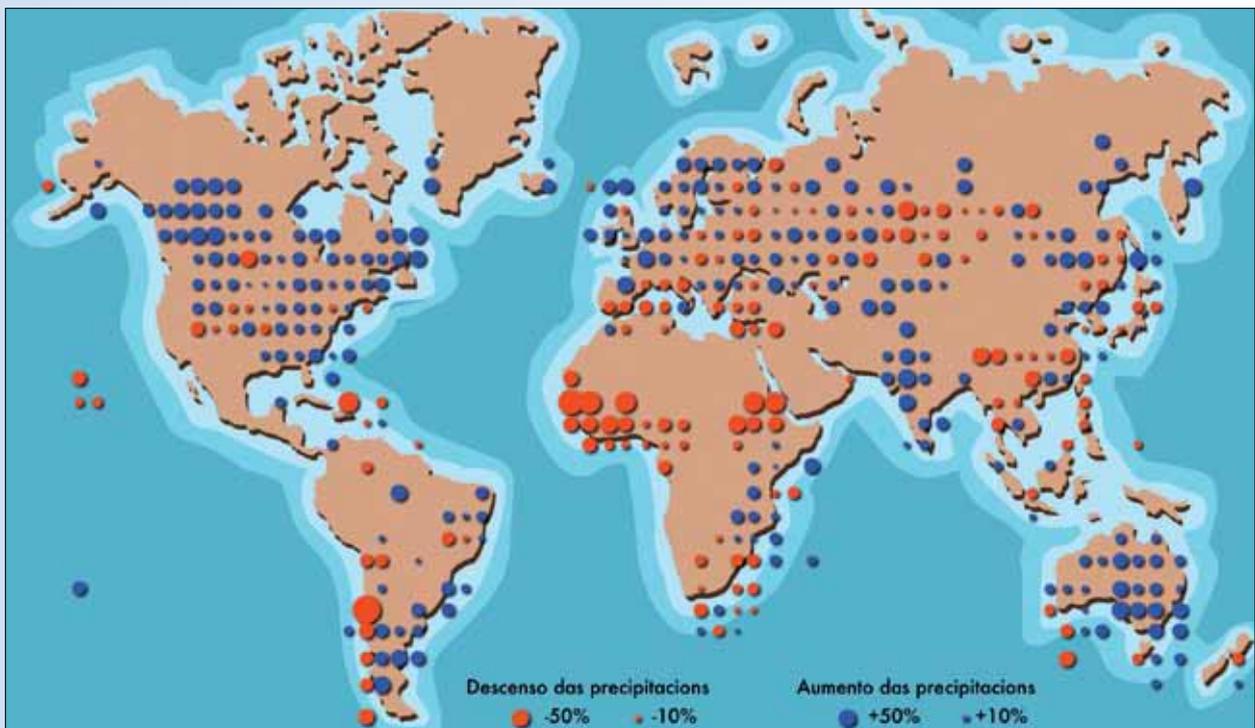
En las regiones de climas templados, tenemos los bosques templados, con variantes mixtas con mezcla de especies de hoja caduca y perenne, como ocurre en nuestras fragas. Estos bosques requieren de temperaturas medias y de elevadas precipitaciones. Se ven favorecidos en aquellas regiones templadas en las que son frecuentes los pasos de frentes que dejan abundantes precipitaciones.

- A la vista del mapa, sitúa en las leyendas en las que falta texto los siguientes biomas según corresponda: selva, desierto, tundra y bosque templado.



Estos biomas son la manifestación de una pauta en el reparto de las precipitaciones, teniendo en cuenta las temperaturas que caracterizan las latitudes en las que se manifiesta. Una de las preocupaciones del calentamiento global es la disminución de precipitaciones, o la presencia torrencial de estas, que puede provocar inundaciones. Según los datos de los que disponemos, en el último siglo las precipitaciones se han incrementado a nivel global casi un 20%, lo que es coherente con un escenario de calentamiento global. Sin embargo, el aumento no se reparte homogéneamente por todas las regiones, subiendo en unas regiones y disminuyendo en otras. Por tanto, los biomas actuales pueden verse alterados por el cambio climático.

- Fíjate en el mapamundi, teniendo en cuenta que los círculos azules señalan áreas que han experimentado un aumento de las precipitaciones y los naranjas muestran lugares en los que han disminuido.



El tamaño representa el porcentaje según la leyenda. Una vez analizada la información responde:

- ¿Qué biomas y en que continentes se pueden ver alterados en superficie, en aumento o disminución, de mantenerse la tendencia?
 - ¿En qué regiones se va a complicar la adaptación al cambio climático de mantenerse la tendencia?
- Responde con lo estudiado en este apartado a las cuestiones iniciales: "RESPONDE CON LO QUE SABES AHORA".



