

## **As capas fluídas da Terra: Atmosfera e Hidrosfera**

### **1.- ATMOSFERA**

- 1.1. Formación**
- 1.2. Composición actual**
- 1.3. Estrutura da atmosfera**
- 1.4. Función protectora e reguladora**
- 1.5. Física da atmosfera**
- 1.6. Dinámica atmosférica**
- 1.7. Circulación xeral da atmosfera**

### **2.- HIDROSFERA**

- 2.1. Concepto e propiedades da auga**
- 2.2. Recipientes hídricos**
- 2.3. Balance hídrico e ciclo hidrolóxico**
- 2.4. Características físicas dos medios acuáticos**
- 2.5. Dinámica hídrica:**
  - 2.5.1. Dinámica hídrica continental**
  - 2.5.2. Dinámica hídrica oceánica**

## 1.- ATMOSFERA

**1.1.- Formación:** Atmosfera é a envoltura gasosa que rodea un planeta.

A atmosfera terrestre comezou a formarse hai 4600 Ma (millóns de anos) a consecuencia da desgasificación das capas externas do planeta; nas primeiras épocas da historia da Terra estaría composta por vapor de auga, dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), nitróxeno e pequenas cantidades de hidróxeno ( $\text{H}_2$ ) e monóxido de carbono (CO).

Era unha atmosfera lixeramente redutora ata que, en torno a 2.500 Ma, a actividade fotosintética bacteriana produciu o maior cambio atmosférico xamais acontecido: liberación de osíxeno, chegándose a unha composición equiparable á actual hai 1000 Ma.



**1.2.- Composición actual:** Composta fundamentalmente por gases, así como partículas líquidas e sólidas en suspensión (aerosois)

a) Gases maioritarios: Nitróxeno ( $\text{N}_2$ ) 78%  
Osíxeno ( $\text{O}_2$ ) 21%  
Argón (Ar) 0,93%  
Dióxido de C ( $\text{CO}_2$ ) 0,036%

b) Gases raros (en pequenísimas cantidades: partes por millón ou p.p.m.): helio, neón, hidróxeno, ozono, óxidos de nitróxeno e xofre, amoníaco, monóxido de C, etc

c) Compoñentes variables: vapor de auga, fundamental na regulación do clima, o seu contido depende da proximidade de masas de auga e da temperatura do aire.

Os volcáns e a actividade humana son responsables da emisión á atmosfera de diferentes gases e partículas contaminantes que teñen unha grande influencia nos cambios climáticos e no funcionamento dos ecosistemas.

Tamén é variable a cantidade de partículas en suspensión como sal mariño, pole, po, cinzas volcánicas ou microorganismos.

A densidade da atmosfera é maior en zonas baixas, xa que os seus compoñentes se concentran comprimidos pola gravidade, polo que ao aumentar a altura, a densidade diminúe con gran rapidez (a metade da masa atmosférica áchase nos primeiros 6 km).

Segundo a composición, a atmosfera divídese en:

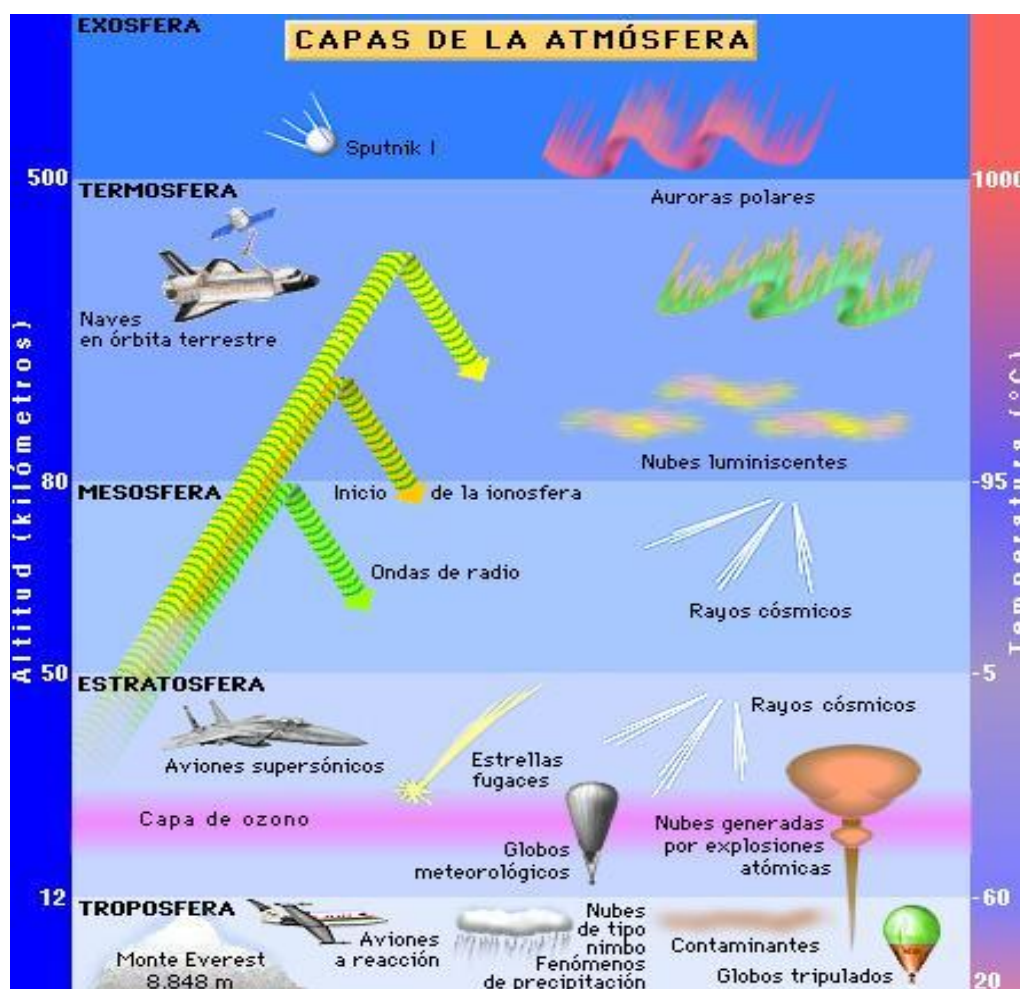
-Homosfera: nivel do mar ata 80–100 km, composición uniforme, constituída pola mestura de gases que denominamos *aire*. Con turbulencias que favorecen a mestura

-Heterosfera: dende 80–100 km ata o espazo exterior, sen límite definido. Non hai mestura de gases. Entre ambas as dúas atópase a homopausa.

**1.3.- Estrutura da atmosfera:** dividida en capas de acordo a diferentes características, estas capas son:

- **Troposfera**, capa baixa con límite superior, *tropopausa*, a 9 km nos polos e 16 no ecuador (media 12 km). Nela teñen lugar movementos verticais e horizontais das masas de aire, os ventos, por diferenzas de presión e temperatura. Con relativa abundancia de auga e CO<sub>2</sub>, pola súa proximidade á hidrosfera e biosfera, sendo a capa onde ocorren os fenómenos climáticos: choiva, vento, cambios de temperatura. Ademais, hai po en suspensión, sobre todo nos primeiros 500 m, é a *capa sucia*.

Na troposfera, a temperatura vai diminuindo co ascenso, ata acadar  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$  na tropopausa. Ese descenso é o gradiente vertical de temperatura.



- A **estratosfera**, con límite superior, *estratopausa*, a 50 km de altura. Gases distribuídos por capas, pois non hai movementos verticais de aire. Contén a *capa de ozono* (O<sub>3</sub>) ou *ozonosfera*, que se estende dos 15 aos 50 km, cunha importante *función protectora*, xa que filtra gran parte da radiación ultravioleta solar, nociva para o desenvolvemento da vida (mutacións). A absorción da radiación *uv* augmenta a temperatura, ata acadar  $0^{\circ}\text{C}$  na estratopausa.
- A **mesosfera** é a última capa da homosfera, é dicir, de composición similar ao aire que respiramos. A temperatura descende, e así no seu límite superior ou mesopausa, onde comeza a ionosfera, chega a  $-142^{\circ}\text{C}$ .

- A **ionosfera ou termosfera**, a densidade do aire é moi baixa. O límite superior, a 500 km, coincide co escudo magnético terrestre. *Ionosfera* refírese á ionización dos gases ao *absorber radiación de alta enerxía* (raios X e gamma), incompatibles coa vida, o que provoca o aumento da temperatura, ata 1000° C. Nesta capa reflíctense as ondas de radio, desintégrense a maioría dos meteoroides e se producen as auroras (boreais e austrais), fenómenos luminosos orixinados pola interacción entre os gases e as partículas cargadas do “vento solar”, que o campo magnético desvía cara aos polos.
- A **exosfera** ou última capa da atmosfera terrestre, moi tenue e sen límite superior claro. Podería tomarse como tal a altura á que predomina á influencia da atmosfera solar (“vento solar”) sobre a terrestre

#### 1.4.- Función protectora e reguladora da atmosfera:

- **Función protectora:** realizada pola ionosfera e a capa de ozono, pois ambas capas impiden que radiacións de alta enerxía acaden a superficie terrestre. *A ionosfera capta raios X e gamma*, capaces de destruír as biomoléculas, á vez que aumenta a temperatura e os gases se ionizan por perda de electróns.

A *capa de ozono* (O<sub>3</sub>) da estratosfera, presenta espesor máximo no ecuador e mínimo nos polos, e sofre variacións diarias e estacionais en función da radiación solar. *Retén gran parte dos raios ultravioleta*, con efectos mutaxénicos sobre os seres vivos, ao tempo que sube a temperatura da estratosfera. Podemos incluír tamén á *magnetosfera* que protexe do “vento solar”.

- **Función reguladora do clima: efecto invernadoiro natural**

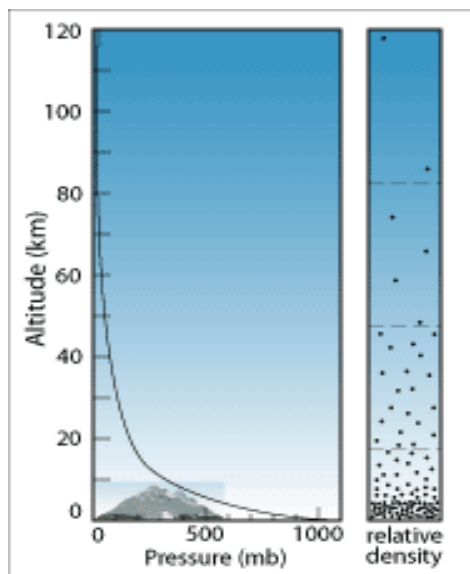
O *efecto invernadoiro natural* logra que a temperatura media na superficie terrestre se manteña en 15° C, valor idóneo para a vida.

Os gases da troposfera, sobre todo o vapor de auga e o CO<sub>2</sub>, son transparentes á radiación visible, pero reteñen parte da calor que a superficie emite ao espazo, en forma de infravermellos, producindo así un incremento térmico.

#### 1.5.- Física da atmosfera:

➤ **Presión atmosférica:** é o peso da columna de aire por unidade de superficie. Mídese co barómetro; en física do aire trabállase con presións reducidas ao nivel do mar a 0 °C, sendo 1 atmosfera (1 atm) o valor equivalente a 1.013 milibares (mb) e a 760 mm de Hg. A presión varía:

- *Diminúe coa altitude*, por perda de densidade e por diminución do espesor da columna de aire; o descenso medio é de 11 mb /100 m (ata 1.500 m, logo o descenso é menos brusco). A 5.500 m a presión é a metade que a nivel do mar.
- *Coa latitude*, a distinta distribución da radiación solar orixina zonas de alta e baixa presión (maiores e menores de 1 atm). En xeral, as *zonas cálidas teñen menor presión que as frías*, pois o aire quente se expande ao ser menos denso.



- O aire desprázase das áreas de alta presión ás de baixa (de anticiclóns a borrascas) para substituír ao que se eleva, esta corrente de aire é o *vento*.
  - As liñas que unen puntos de igual presión son as *isóbaras*.
- **Auga na atmosfera:** a atmosfera contén auga nos tres estados, vapor, gotiñas líquidas e cristaliños de xeo. A cantidade de vapor presente na atmosfera varía dependendo de:
- proximidade de grandes masas de auga (mar, lagos, ríos, encoros)
  - temperatura do aire: determina a cantidade de vapor que admite unha masa de aire, xa que o aire cálido pode conter máis vapor que o frío. Cando o aire non pode conter máis vapor está saturado, de forma que o exceso se licúa por *condensación*.

A cantidade de vapor de auga na atmosfera mídese por varios conceptos:

- *humidade de saturación ou máxima:* cantidade máxima de vapor que pode conter unha masa de aire (a presión e temperatura dadas);
- *humidade absoluta:* é a cantidade real de vapor de auga que contén unha masa de aire ( $g / m^3$ ), non informa se o aire está húmido ou seco;
- *humidade relativa:* relación entre a cantidade de vapor de auga que contén a masa de aire e a máxima que podería conter (entre humidade absoluta e máxima). Exprésase en porcentaxe, sendo:

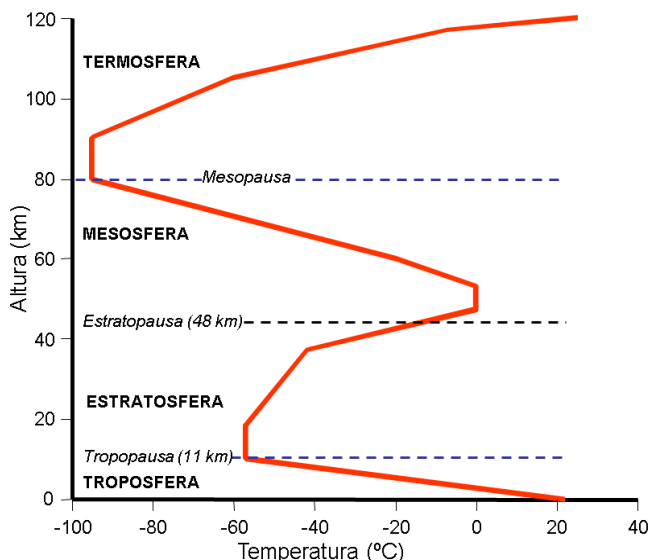
$$\text{Humidade relativa (\%)} = \frac{\text{Humidade absoluta}}{\text{Humidade máxima}} \cdot 100$$

Valores baixos indica aire seco, e altos definen ao aire húmido, sendo o *punto de rocío* a temperatura á cal a humidade relativa é 100 %.

Se a temperatura cambia, a humidade relativa varía, aínda que non cambie a absoluta, polo que o arrefriamento implica condensación (ou sublimación de xeo). Este proceso explica o rocío e as xeadas, de noite e madrugada.

➤ **Temperatura:** O aire non se quenta a partir da radiación solar, senón a partir da calor emitida pola superficie, polo que a *temperatura da troposfera diminúe coa altitude* a razón de  $0,65^\circ\text{C}$  cada 100 m de ascenso (*Gradiente Térmico Vertical*).

A temperatura non diminúe nas capas protectoras (estratosfera e termosfera), porque ambas absorben radiación solar de alta enerxía (*uv; X e gamma*), o cal orixina aumento térmico á vez que protexen aos seres vivos do efecto nocivo destas radiacións.



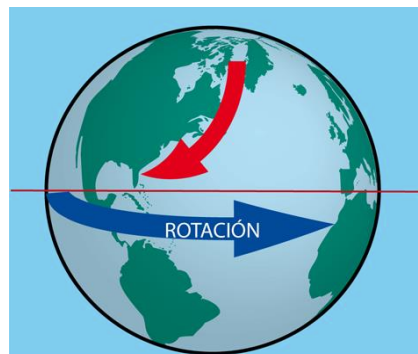


➤ **Efecto Coriolis:** efecto que se produce a causa do movemento de rotación da Terra e do seu xiro en sentido oeste → este, afectando aos móbiles que se desprazan pola súa superficie.

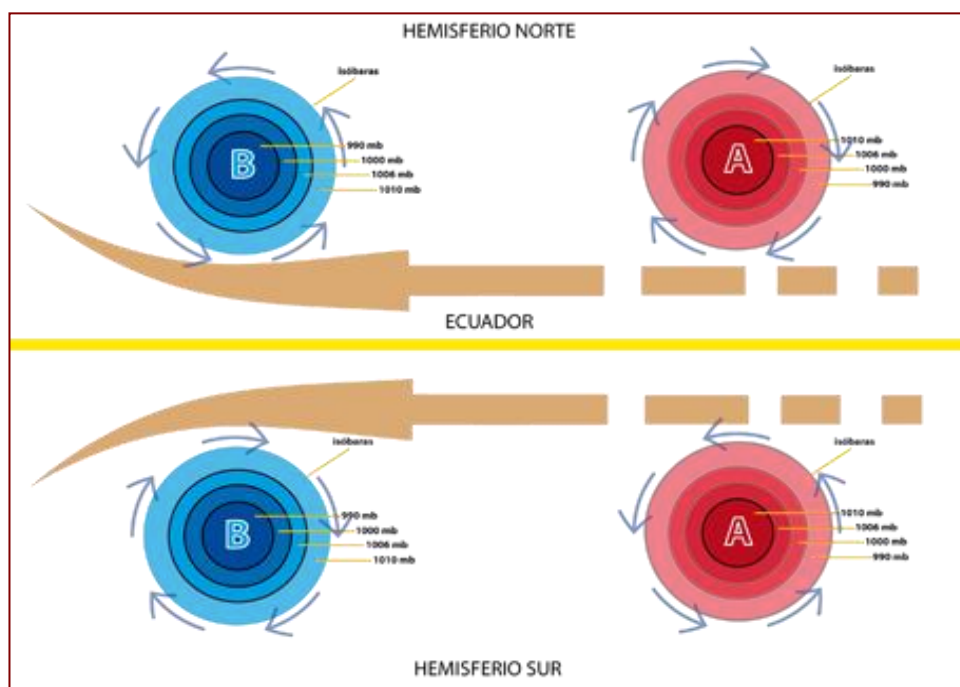
A forza de Coriolis é virtual e derívase da diferente velocidade de rotación dos puntos da superficie terrestre, polo que depende da latitude sendo nula no ecuador e máxima nos polos.

O efecto Coriolis desvía cara a dereita calquera obxecto que se desprace con traxectoria rectilínea no hemisferio norte, mentres que no hemisferio sur a desviación é cara á esquerda.

O efecto Coriolis inflúe na circulación xeral da atmosfera e hidrosfera, sendo así mesmo responsable do sentido de xiro do vento en anticiclóns e borrascas.



Os ventos circulan dende zonas de alta presión (anticiclóns) cara as zonas de baixa presión (borrascas), pero a traxectoria é desviada pola forza de Coriolis, así os anticiclóns xiran en sentido horario e as borrascas antihorario, no hemisferio norte; sendo en sentido oposto no hemisferio sur (o efecto Coriolis desvía cara a esquerda).

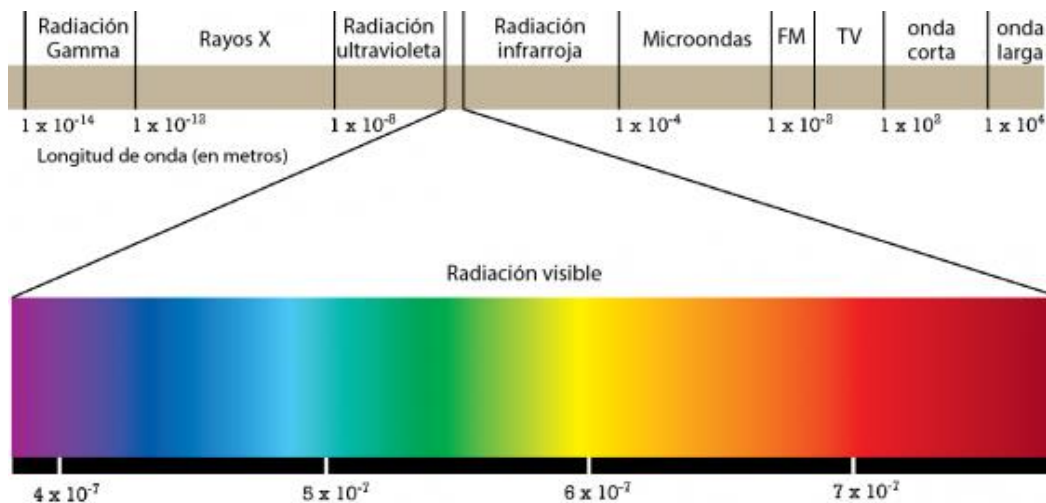


➤ **A enerxía na atmosfera.- Balance enerxético terrestre.**

*Denomínase radiación solar ou espectro electromagnético* ao conxunto de radiacións de natureza electromagnética que proveñen do Sol. O espectro solar está formado por ondas caracterizadas pola súa lonxitude de onda ( $\lambda$ ), de maneira que as radiacións de onda curta son moi enerxéticas, e as de onda longa pouco enerxéticas, xa que:

$$E = h \cdot \mu, \text{ sendo } h \text{ a constante de Planck; } \mu \text{ a frecuencia (inversa de } \lambda \text{).}$$

*Espectro solar:*



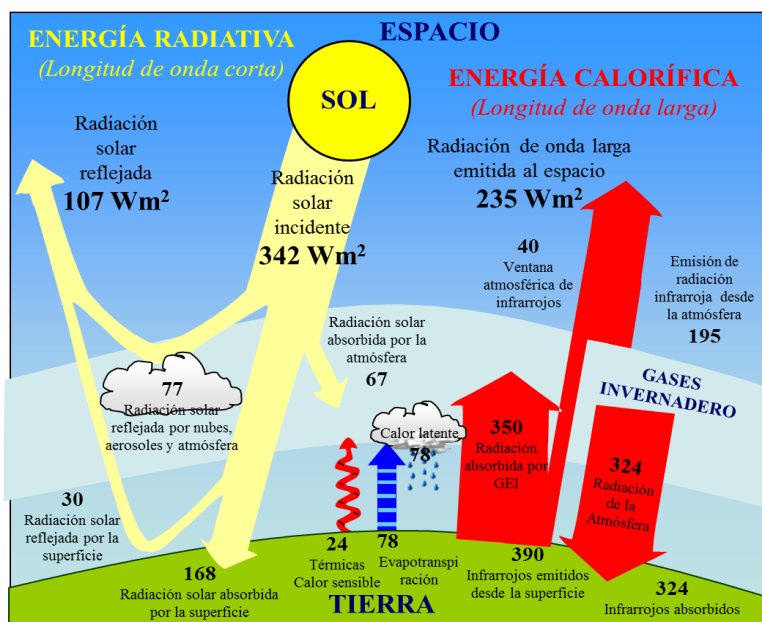
O Sol emite 9% de ondas curtas, 42% visible e 49% ondas longas.

**Balance enerxético terrestre:** Cando a radiación solar chega á Terra acontecen os seguintes fenómenos:

- As radiacións X e gamma son absorbidas pola termosfera.
- Gran parte da radiación ultravioleta é absorbida na estratosfera (ozono).
- A radiación visible e infravermella pasan a través da atmosfera e chegan á superficie. O infravermello é absorbido e quenta á superficie terrestre.
- Unha parte da radiación absorbida é reemitida ao espazo como calor (infravermello lonxano). O CO<sub>2</sub> e o vapor de auga atmosféricos captan parte desta calor que retorna á Terra, é o *efecto invernadoiro natural* que mantén a temperatura media en 15°C, favorable para a vida.
- Parte da radiación incidente é reflectida ao espazo sen ser absorbida (*albedo*). O albedo inflúe no clima e débese sobre todo á neve, nubes, gases e auga, sendo maior en superficies claras que escuras.

*O Balance en porcentaxes:*

- ✓ Total de enerxía solar incidente: **100 %**
- ✓ Reflectida pola atmosfera e superficie (albedo): 35%
- ✓ Absorbida por solo e mar: 45 %
- ✓ Absorbida pola atmosfera: 20 %

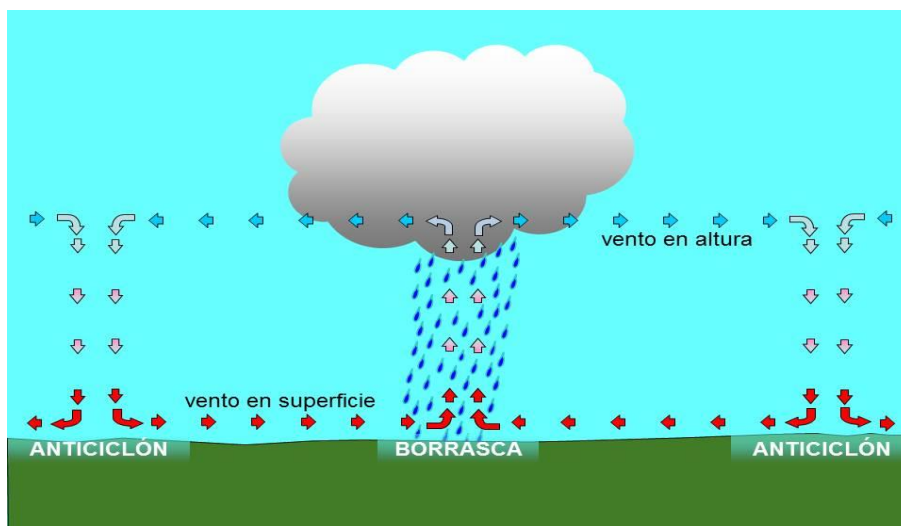


**1.6.- Dinámica atmosférica:** os movementos verticais das masas de aire, denominados *convección*, están relacionados con diferenzas de:

- presión (alta presión en anticiclóns e baixa nas borrascas).
- humidade (o aire húmido é máis lixeiro que o seco)
- temperatura (o aire quente é menos denso que o aire frío);

*Modelo básico de convección:*

- A medida que aumenta a temperatura do aire diminúe a súa densidade (lei dos gases perfectos): *o aire cálido é máis lixeiro que o frío.*
- Na troposfera, *a temperatura diminúe coa altura*, polo que o aire de zonas superficiais quéntase e tende a subir, ao contrario que o aire frío das capas altas que tende a baixar.
- Ao ascender unha masa de aire expándese e diminúe a presión, créase unha borrasca, mentres que o descenso de aire frío orixina un anticiclón. Vaise establecer unha *corrente de aire denominada vento*, que circula *dende anticiclóns cara as borrascas* (de alta a baixa presión) en superficie e en sentido contrario en altura. A traxectoria desvíase polo relevo e Coriolis.



**1.7.- Gradientes verticais de temperatura. Inversión térmica.** Definimos *gradiente térmico vertical* como á variación de temperatura do aire entre dous puntos situados a unha diferenza de altitude de 100 m. Temos tres tipos de gradientes:

- ❖ **GVT** (gradiente vertical de temperatura): representa a variación da temperatura do aire coa altura, en condicións estáticas ou de repouso. Aínda que é variable, o valor medio é de  $0,65\text{ }^{\circ}\text{C} / 100\text{ m}$ , o que significa que nun ascenso de 100 m a temperatura baixa esa cantidade.
- ❖ **GAS** (gradiente adiabático seco): variación de temperatura que experimenta unha masa de aire non saturado e en movemento (ascenso ou descenso). É dinámico e contén auga en forma de vapor. Ten un valor fixo de  $1^{\circ}\text{C} / 100\text{ m}$  (descende un grao cada 100 m de ascenso).
- ❖ **GAH** (gradiente adiabático húmido): afecta a masas de aire en movemento, a partir do punto en que hai condensación e se forman nubes. O seu valor é menor que o GAS, porque a condensación libera a calor, e oscila entre  $0,3^{\circ}\text{C} - 0,6^{\circ}\text{C} / 100\text{ m}$ , segundo a humidade.

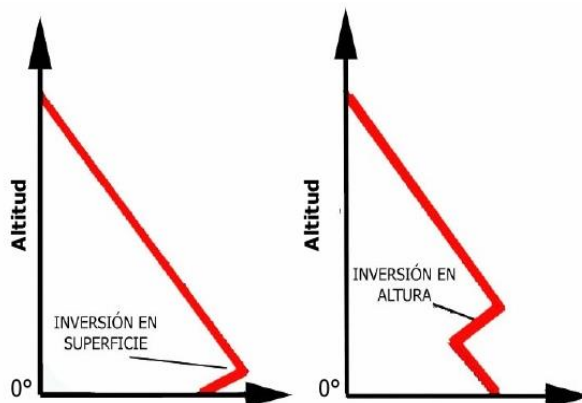
A representación dos gradientes en gráficas denomínase “curvas de estado”.



– **Inversión térmica:** Son frecuentes as zonas da troposfera con perturbacións do gradiente térmico vertical, nas que a *temperatura aumenta coa altura*, en lugar de diminuír. Estas situacións denomínanse *inversión térmica* e nelas o GVT é negativo. As *inversións térmicas supoñen estabilidade atmosférica, impedindo o movemento vertical de aire*, pois actúan como tapadeiras que estancan o aire e atrapan os contaminantes atmosféricos, *dificultando a súa dispersión*, á vez que se favorece a condensación, e se forman *néboas*.

Existen diversos tipos de inversión, a *rentes do solo* e a *certa altura*.

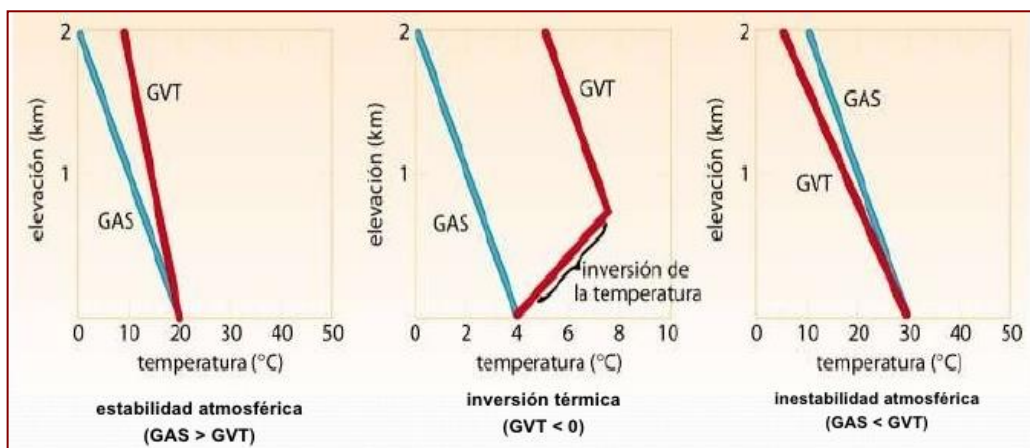
- ✓ *Inversión a rentes do solo:* moi frecuentes nas madrugadas e noites de inverno en situacións de estabilidade e ceo despexado, por arrefriamento da capa baixa de aire en contacto co solo, a causa da forte irradiación nocturna.
- ✓ *A certa altura:* a capa de inversión térmica sitúase a unha altura; concreta, frecuente en zonas de costa afectadas por correntes mariñas frías.



- ✓ A termopausa pode considerarse unha inversión térmica permanente.

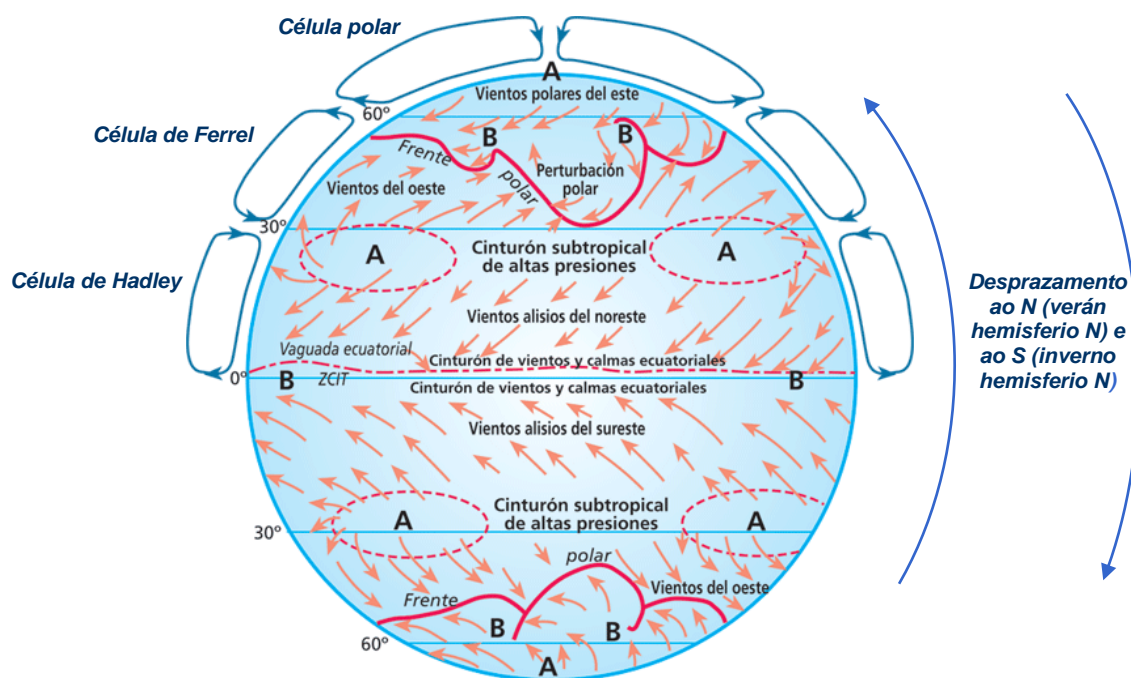
**1.8. Estabilidade e inestabilidade atmosféricas:** son condicións atmosféricas que teñen que ver coa relación entre os diferentes gradientes (GVT e GAS):

- ✓  $GVT > GAS$ : *Inestabilidade atmosférica*, hai convección. Para que unha masa de aire ascenda, o seu gradiente adiabático seco debe ser menor que o gradiente vertical de temperatura. O ascenso determina que baixe a presión atmosférica, dando lugar a unha borrasca e, como o aire que ascende se arrefría, pode haber condensación (nubes e risco de precipitacións). Así mesmo, co ascenso de aire hai expansión e dispersión da contaminación.
- ✓  $GAS > GVT$ : *Estabilidade atmosférica*, non hai convección, o aire queda estancado ou pode descender (subsistencia); a estabilidade vai ligada a situacións anticiclónicas ou de inversión térmica. Non haberá precipitacións, pero sí posibilidade de néboas e dificúltase a dispersión ao quedar atrapados os contaminantes (favorece o smog ou boina de contaminación).



**1.9.- A circulación xeral da atmosfera:** O distinto quentamento da superficie terrestre, a causa da diferente inclinación da radiación incidente, vai determinar a circulación xeral na troposfera. Así, os raios solares chegan case perpendiculares ao ecuador, mentres que nos polos inciden moi oblicuos. Polo tanto, a cantidade de enerxía por unidade de superficie na zona ecuatorial é considerablemente maior que nas polares.

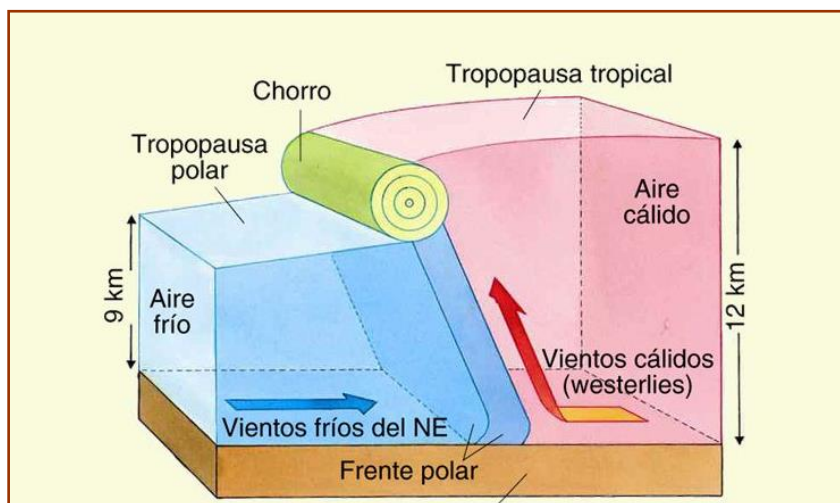
Nunha terra estática, formaríase unha célula convectiva entre o ecuador e os polos, pero o movemento de rotación vai determinar a existencia de tres células convectivas en cada hemisferio, que a súa vez condicionarán as grandes zonas climáticas do planeta. A cada célula lle corresponde un tipo de vento en superficie, nos que a dirección vai depender do relevo terrestre e do efecto Coriolis.



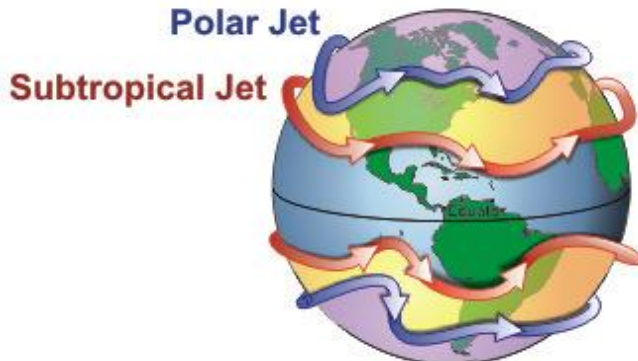
- Células de Hadley: próximas ao ecuador (0 – 30° N e S), o aire quente e húmido ascende nas borrascas ecuatoriais (*Zona de Converxencia Intertropical* ou *ZCIT*), condensa e descende seco na zona de anticiclóns tropicais. Os ventos de superficie son os *alisios*, que circulan dos anticiclóns cara as borrascas, e ao desviarse polo efecto Coriolis, traerán dirección: **NE** (hemisferio Norte) / **SE** (hemisferio Sur)
- Células polares: células convectivas próximas aos polos (60 – 90° N e S), o aire ascende no cinto de borrascas subpolares e descende frío nos anticiclóns polares. Xeran os ventos *levantes polares*, que tras ser desviados por Coriolis, proceden de: **NE** (hemisferio Norte) / **SE** (hemisferio Sur)
- Células de Ferrel: as células convectivas de latitudes medias (30 – 60° N e S) son máis irregulares. Comprendidas entre a zona de borrascas subpolares e o cinto dos anticiclóns tropicais. Orixinan os ventos *do oeste* (*westerlies*), que tres seren desviados, traen dirección: **SO** (hemisferio Norte), vento predominante na Península Ibérica / **NO** no hemisferio Sur.

No contacto entre as diferentes células convectivas temos a fronte polar, en superficie, e as correntes en chorro, en altura.

**Fronte polar:** A zona de contacto entre masas de aire cálido-húmido tropical e os ventos polares orixina **a fronte polar**, ondulada, irregular e variable, con grande influencia no clima das latitudes medias. Consta dunha serie de fronte a modo de fronte única, que varía de posición segundo as estacións porque as masas de aire están en continuo movemento; así en outono-inverno pode chegar a latitudes temperadas ao ondularse máis, e incluso fragmentarse, formando bolsas ou gotas de aire moi frío en capas altas.



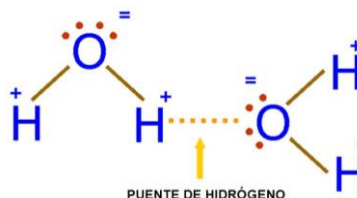
**Correntes en chorro (jet stream):** correntes serpenteantes de ventos do oeste que circulan a gran velocidade en capas altas da troposfera, nas zonas de contacto ente as células da circulación atmosférica. Na súa xénese inflúe a rotación terrestre e os diferentes espesores da troposfera. Inflúen na navegación aérea.



## 2.- HIDROSFERA:

**2.1. Concepto e propiedades da auga:** A *Hidrosfera* é o subsistema terrestre constituído por mares e océanos, ríos e lagos, así como a auga do solo, subsolo e atmosfera. Na Terra, a auga atópase nos tres estados: sólido, líquido e gasoso.

A auga é unha molécula singular polas súas propiedades físico – químicas, debidas á súa natureza polar, e aos enlaces por pontes de hidróxeno que se establecen entre moléculas.



As propiedades máis salientables da auga son:

- Bo disolvente de compostos iónicos e de compostos orgánicos polares.
- Elevada calor específica: 1 cal / g ° C).
- Puntos de fusión e ebulición superiores á maioría dos líquidos
- Baixa condutividade térmica.
- Menor densidade como sólido que como líquido (densidade máxima a 4°C).
- Elevada tensión superficial.

Estas especiais propiedades da auga van permitir que desenvolva determinadas funcións fundamentais, tanto xeolóxicas como biolóxicas, como son:

Propiedade	Procesos xeolóxicos	Funcións biolóxicas
Bo disolvente	Disolve sustancias sólidas, líquidas e gases. Eficaz axente de transporte	Principal compoñente da materia viva e medio de disolución, reacción e transporte.
Gran capacidade calorífica	Regula o clima, diminúe os contrastes térmicos; transporta calor e refrixera a superficie ao formar nubes	Regula a temperatura corporal dos seres vivos, eficaz refrixerante por transpiración.
Densidade máxima a 4° C	Crioclastia: o xeo ocupa máis volume e contribúe a rachar as rochas	O xeo flota na auga, permitindo a vida acuática por debaixo da auga conxelada (banquisa).
Elevada tensión superficial	A auga é un bo adherente, empapando rochas e solos	A auga ascende por capilaridade nos vasos condutores, e permite o deslizamento de insectos.

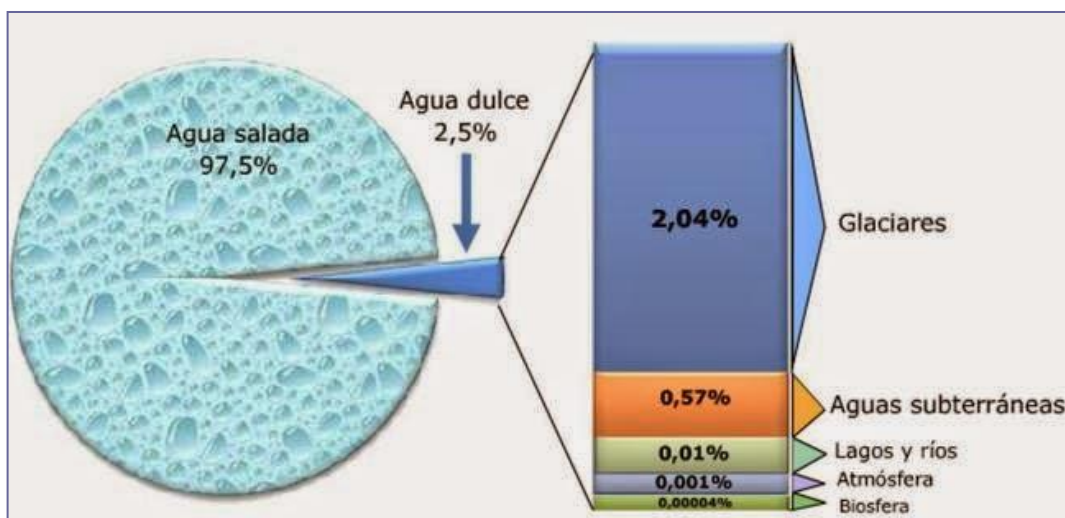
### 1.2. Os recipientes hídricos

A distribución da auga da hidrosfera non é uniforme, podemos considerar seis recipientes ou compartimentos hídricos: océanos, depósitos de xeo, augas subterráneas, augas superficiais, atmosfera e biosfera. Na seguinte táboa represéntase unha aproximación aos valores en cada compartimento:

Auga almacenada	Volume (km <sup>3</sup> )	% sobre o total
<b>Total de auga</b>	<b>1.386 x 10<sup>6</sup></b>	<b>100</b>
<b>Océanos</b>	<b>1.350 x 10<sup>6</sup></b>	<b>97,4</b>
<b>Glaciares</b>	<b>28 x 10<sup>6</sup></b>	<b>2,02</b>
<b>Augas subterráneas</b>	<b>8 x 10<sup>6</sup></b>	<b>0,57</b>
<b>Lagos e ríos</b>	<b>2 x 10<sup>5</sup></b>	<b>0,01</b>
<b>Atmosfera</b>	<b>13 x 10<sup>3</sup></b>	<b>0,001</b>
<b>Biosfera</b>	<b>6 x 10<sup>2</sup></b>	<b>0,00004</b>



O 97,4 % do total forma mares e océanos, e so o 2,6 % constitúe auga continental, que se distribúe:



- en casquetes polares e glaciares (estado sólido): **79%** (2% total)
- subterráneas ou acuíferos, circulan polo subsolo: **20%** (0,6% do total)
- superficial (ríos, torrentes, lagos): **1%** é auga doce de acceso doado (0,01% total)
- Unha pequena parte áchase na atmosfera e na materia viva (0,001% e 0,00004% respectivamente)

A cantidade total de auga da hidrosfera pódese considerar *constante*, aínda que non sexa de todo exacto pois na alta atmosfera a radiación solar destrúe vapor de auga, tamén entra auga nos meteoritos, sendo en ambos casos cantidades insignificantes. Así mesmo, a cantidade de auga que sae do interior terrestre (volcáns, fontes termais) é compensada pola que entra por subducción

### 2.3. Balance hídrico e ciclo da auga.

Os movementos e cambios de fase da auga na hidrosfera constitúen un circuíto practicamente pechado, chamado **ciclo hidrolóxico**, que se mantén en funcionamento grazas á enerxía solar e á forza da gravidade. O Sol proporciona a enerxía para evaporar a auga, e a gravidade fai que a auga condensada precipite e que viaxe a zonas topograficamente máis baixas (escorrentías).

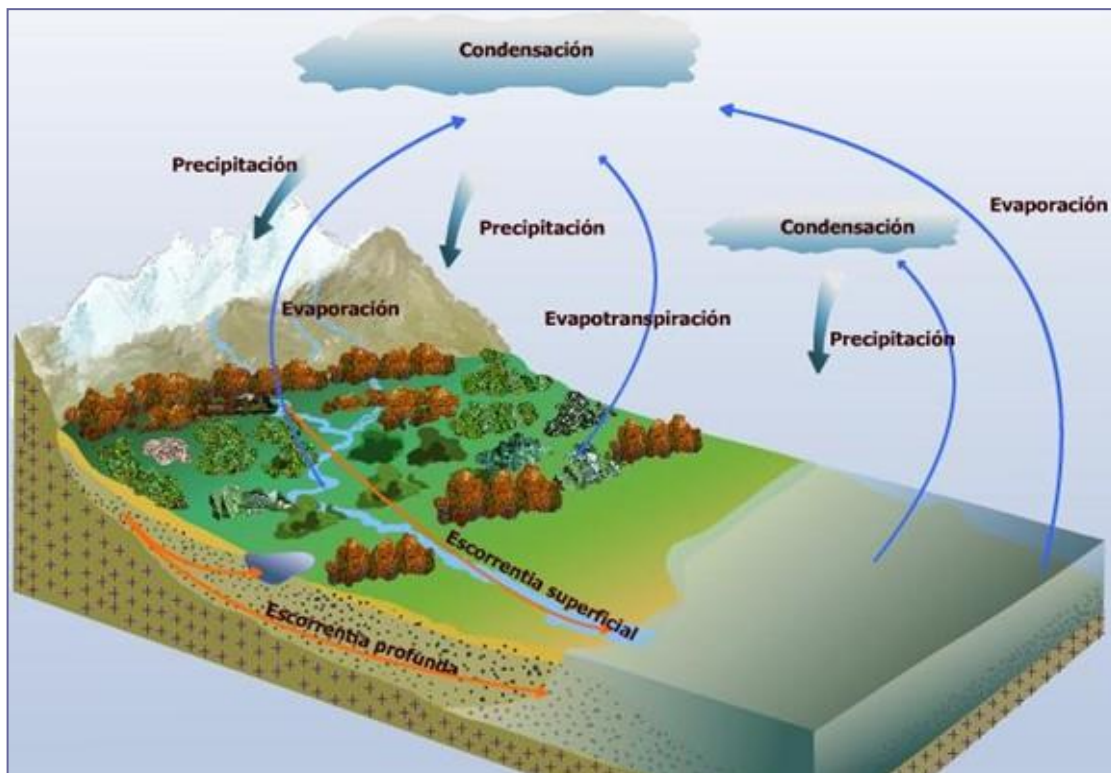
Debido á elevada calor específica da auga é necesaria gran cantidade de enerxía para quentalala e, ao ser mal condutora da calor, arrefríase lentamente. Polo que nubes e océanos almacenan e transportan gran cantidade de enerxía en forma de:

- *Calor sensible*: indica a enerxía cinética media que posúen as moléculas dunha substancia. É a que miden os termómetros e as súas formas de transporte son:
  - ✓ *Radiación*: é a perda de calor por irradiación de enerxía electromagnética de todas as substancias polo feito de estar a temperatura maior de 0° K (-273 °C)
  - ✓ *Conducción*: a calor é transportada a través da materia seguindo a dirección de maior a menor temperatura.
  - ✓ *Convección*: propia de gases e líquidos, fórmanse correntes que redistribúen a calor pola mestura de partes quentes e frías do fluído.
- *Calor Latente*: É a enerxía absorbida e almacenada por un gas ou líquido durante o proceso de evaporación ou fusión. Distinguímos entre:



- ✓ *Calor latente de vaporización*: a evaporación dun líquido transvasa enerxía dende a súa superficie cara a atmosfera. Cando a auga se evapora cada gramo absorbe 540 calorías, que son devoltas ao medio no momento da condensación.
- ✓ *Calor latente de fusión*. Corresponde á enerxía necesaria para romper os enlaces da estrutura sólida cristalina. No caso da auga absórbense 80 calorías por cada gramo que se funde. En ambos casos son valores altos.

O ciclo hidrolóxico, ou movemento cíclico da auga pola hidrosfera, é un sistema pechado, á vez que unha eficaz *máquina térmica* que transporta calor entre os distintos sistemas terrestres.

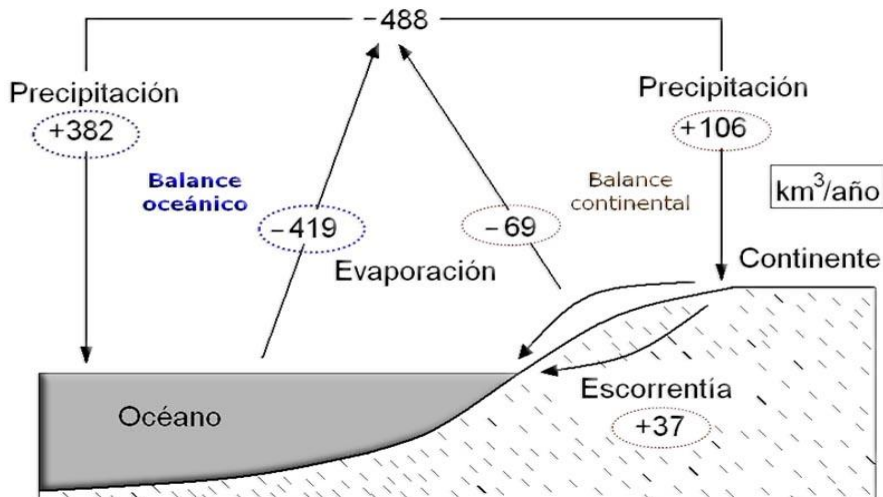


O ciclo da auga consta dos seguintes procesos:

- ✓ A calor do Sol produce a *evaporación* da auga da hidrosfera que pasa á atmosfera en forma de vapor.
- ✓ O vapor de auga atmosférico *condensa* cando o aire se arrefría formando nubes, que conteñen pequenas pingas de auga ou cristais de xeo (sublimación).
- ✓ A auga da atmosfera volve á superficie terrestre en forma de *precipitacións*, tanto líquidas como sólidas (chuvia, neve e sarabia).
- ✓ A auga que cae sobre os continentes pode seguir varias rutas:
  - 1) Flúe pola superficie, *auga de escorrentía superficial*, cara a zonas máis baixas ata acadar torrentes, ríos, lagos e, en último termo, o mar.
  - 2) Acúmase temporalmente en forma de xeo de *glaciares*.
  - 3) É *retida* polos seres vivos que a devolven á atmosfera por evaporación e transpiración (*evapotranspiración*)
  - 4) *Infiltración* a través do solo e rochas formando augas subterráneas ou *acuíferos*, onde se acumula circulando lentamente ata que volve ao mar por *escorrentía subterránea*.

**Balance Hídrico da Terra:** a hidrosfera forma un sistema case pechado, e anualmente entran no ciclo  $423.000 \text{ km}^3$ , cun balance global en equilibrio (entradas = saídas). Nos océanos a evaporación supera á precipitación (balance negativo), e nos continentes a precipitación supera ás perdas por evapotranspiración e infiltración, e este excedente é igual á cantidade que flúe por escorrentía superficial e subterránea.

Entradas:  $488 \text{ km}^3/\text{año}$



#### 2.4. – Características físicas dos medios acuáticos

- **Tempo de residencia:** tempo de permanencia dunha molécula de auga nun compartimento (10 a 20 días en atmosfera e ríos, de 1–100 anos en lagos, 300 – 5000 anos en acuíferos, 8000 anos en glaciares, e 3.000–30.000 anos no mar). En acuíferos moi profundos é de millóns de anos (auga fósil). O concepto inverso é a taxa de renovación.
- **Salinidade:** cantidade de sales disoltos na auga, que depende da taxa de renovación; así, no mar a renovación é lenta e a salinidade elevada, son augas salgadas cun valor medio de 35 g/l. A salinidade varía segundo o clima e as achegas fluviais, así o Mar Morto chega a 330 g/l mentres que no Báltico baixa ata 6 g/l. O sal máis abundante no mar é o cloruro sódico (NaCl). Se a renovación é rápida a salinidade é menor, son as augas doces de ríos e lagos, pero non toda a auga continental é doce, xa que pode haber lagos máis salgados que o mar, en zonas de rochas salinas e intensa evaporación. Intermedias son as augas salobres, en marismas, albufeiras e esteiros.

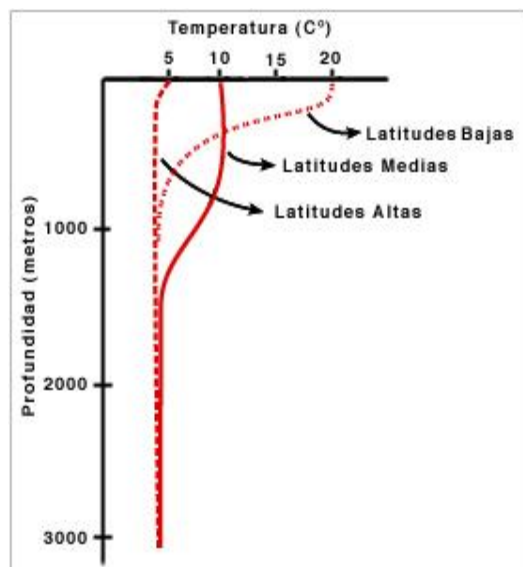
Debido á gran capacidade disolvente da auga na natureza non se atopa auga pura. A auga é capaz de disolver substancias sólidas, líquidas e gasosas, como os gases atmosféricos, sendo o  $\text{CO}_2$  moito máis soluble que o  $\text{O}_2$ , e a solubilidade dos gases diminúe ao aumentar a temperatura (a auga quente empobrécese en osíxeno).

- **Distribución da luz e da temperatura coa profundidade:**

**Luz:** A auga absorbe luz visible ata unha determinada profundidade, polo que en mares e lagos hai unha zona fótica superficial, onde se desenvolve a fotosíntese (ata 200 m no mar e 20 m en lagos transparentes), e unha zona afótica sen luz, a maior profundidade, onde non pode haber fotosíntese.

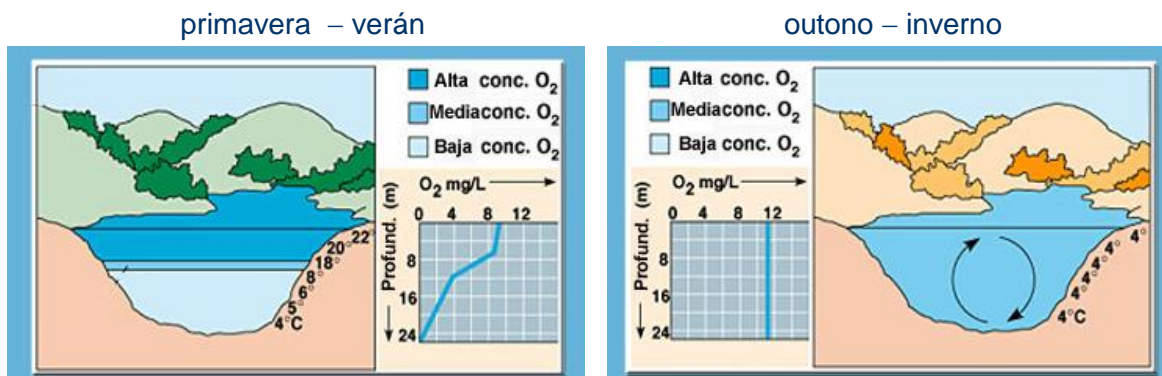
**Temperatura:** diminúe lentamente coa profundidade ata chegar a unha zona de descenso brusco, a *termoclina*, zona que separa a auga en dúas capas, a superficial máis cálida e lixeira, e a profunda de auga fría e densa.

A termoclina impide a mestura de augas, o que trae consecuencias para a vida acuática: así, na capa superficial esgótanse os nutrientes ao ser consumidos polo plancto, mentres que as capas frías profundas son ricas en nutrientes, porque se acumulan no fondo, pero pobres en osíxeno, que é consumido polos seres vivos, e no fondo renóvase con dificultade.



A termoclina depende da latitude e da estación: nos océanos tropicais a termoclina é permanente, as zonas polares non presentan termoclina e nas zonas mornas segue un patrón estacional, fórmase en primavera-verán e desaparece en outono-inverno. *Cando desaparece a termoclina mestúranse as augas, achegando nutrientes á zona superficial e osíxeno ás profundas, favorecendo a riqueza biolóxica.*

Nos lagos profundos o fenómeno é similar, a termoclina aparece na estación cálida e desaparece, aportando fertilidade, cando a capa superficial perde temperatura.



## 2.5. Dinámica hídrica: son os circuítos que segue a auga ao fluír pola hidrosfera.

### 2.5.1 Dinámica hídrica continental: superficial e subterránea.

- Auga de arroiada, torrentes, ríos, glaciares, lagos, humedais.
- Auga subterránea, acuíferos ou auga freática.

### 2.5.2 Dinámica hídrica oceánica: correntes mariñas, mareas, ondas.

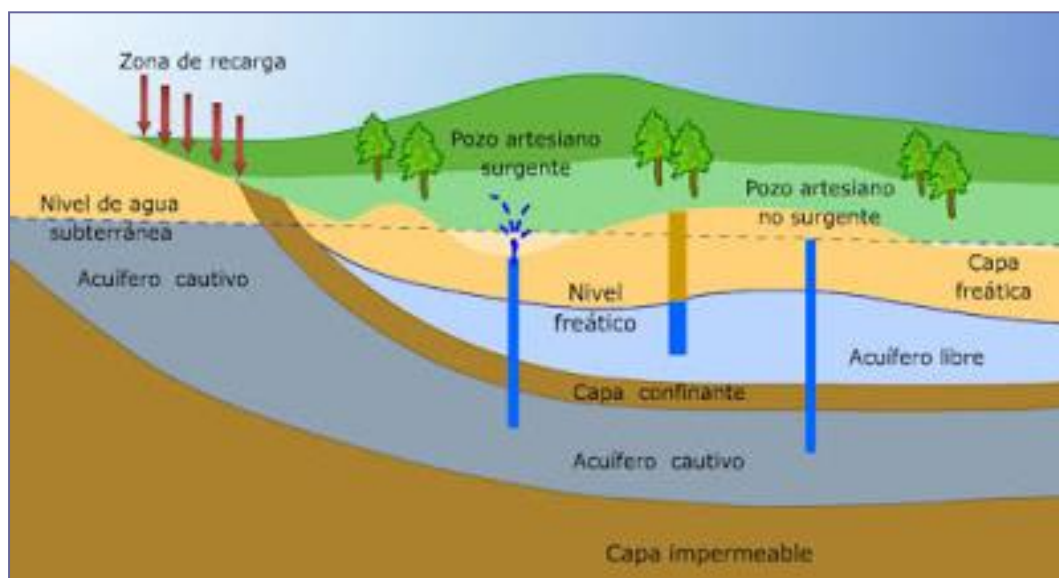
2.5.1 Para o estudo da auga continental establécese como unidade natural a *cunca hidrográfica*: superficie de terreo que inclúe un río e todos os seus afluentes, e se ademais comprende a auga subterránea chámase *cunca hidrolóxica*. A liña imaxinaria que delimita unha cunca é a divisoria de augas que coincide coa liña de cumios.

O *balance hídrico* dunha cunca reflicte o equilibrio entre entradas e saídas de auga, e é negativo en zonas áridas e positivo nas húmidas. Tamén varía segundo as estacións.

**Acuíferos:** formación rochosa que permite o almacenamento e a circulación da auga subterránea entre os seus poros ou gretas. Constitúen unha gran reserva de auga doce continental.

Os acuíferos están constituídos por rochas porosas (areas, gravas) ou fisuradas, e so no caso de rochas solubles, como calcarias, forman auténticos ríos no subsolo. A auga subterránea pode aflorar na superficie en forma de mananciais ou surxencias.

#### Estrutura dun acuífero:



- **zona de saturación**, zona onde a auga enche completamente os poros da rocha, sendo o límite inferior un material impermeable e o superior o *nivel freático*, que varía segundo a recarga e a extracción (ascende en época húmidas e descende coas secas).
- **zona de aireación ou vadosa**, capa superior comprendida entre o nivel freático e a superficie, non saturada pois os poros conteñen auga e aire.

#### *Tipos de acuíferos:*

- **Acuífero libre:** acuífero con nivel freático en rocha permeable, en contacto coa zona de recarga, que será autóctona. A presión de auga na zona superior é a mesma que a presión atmosférica, aumentando en profundidade.
- **Acuífero cautivo ou confinado:** acuífero comprendido entre dúas capas impermeables, sometido a maior presión que a atmosférica. A zona de alimentación é distante (alóctona). Neste caso, A perforación de pozos fai fluír a auga a modo de surtidor e sen necesidade de bombeo, ata o nivel freático: temos un *pozo artesiano*.

#### 2.5.2 Dinámica hídrica oceánica: a) correntes mariñas; b) mareas; c) ondas

a) Correntes mariñas: A auga oceánica está en continuo movemento, tanto en superficie coma en profundidade, a causa do vento, da forza de Coriolis, que depende da rotación da Terra, e das diferenzas de densidade da auga.

Distinguimos dous tipos de correntes oceánicas: superficiais e profundas, segundo afecten a augas situadas por enriba da termoclina, ou as profundas, por debaixo.



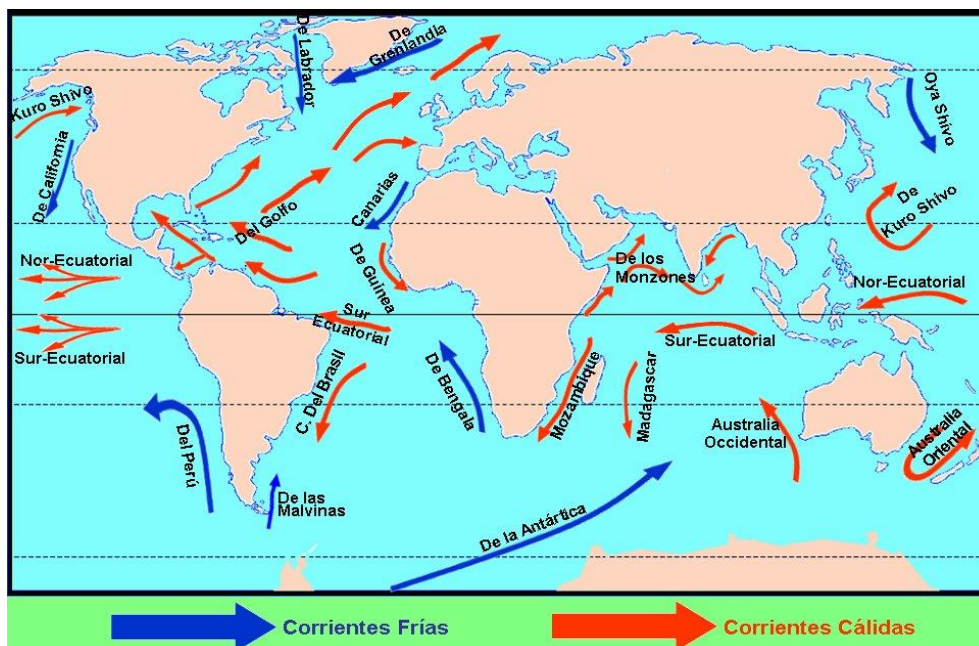
– *Correntes mariñas superficiais*: movemento da auga superficial do océano a causa dos ventos dominantes, de maneira que a súa traxectoria vai estar modificada polo efecto Coriolis (desvía dereita en hemisferio norte e a esquerda no sur), máis a presenza das masas continentais que actúan como obstáculo.

As principais correntes mariñas superficiais son:

- *Correntes ecuatoriais cálidas*, dúas franxas determinadas polos ventos alisios, que circulan de Este → Oeste, orixinando aridez na costa, ao arrastrar as nubes. Ao chegar á costa oposta xiran cara aos polos orixinando correntes paralelas que suavizan o clima de latitudes máis altas. Son a Corrente do Golfo, Kuro-Shivo (Xapón) ou Brasil.
- Correntes frías de latitudes medias: Corrente de Humboldt-Perú, corrente de Canarias, Benguela e California.
- Correntes frías polares: a corrente ártica baixa polos estreitos de Labrador, Groenlandia e Bering, e a corrente antártica, que circunvala a Antártida.

A *influencia das correntes mariñas no clima é decisiva*, pois constitúen un eficaz sistema de *transporte de calor* dende latitudes baixas a latitudes altas, polo que suavizan zonas frías e refrescan zonas ecuatoriais-tropicais, a modo dunha xigantesca fita transportadora de calor.

*Esquema das principais correntes mariñas superficiais:*



– *Circulación termohalina*: son as correntes oceánicas profundas, por baixo da termoclina, máis lentas que as superficiais e orixinadas por diferenzas de densidade da auga, que á súa vez depende da temperatura e salinidade: a auga será máis densa canto máis fría e salgada sexa.

A auga fría e densa de latitudes polares afúndese e distribúese por todos os océanos formando unha corrente fría profunda e lenta. Así, a auga fría do Atlántico Norte afunde formando unha corrente profunda que baixa polo Atlántico ata chegar ao Océano Antártico, dende onde se distribúe ao resto dos océanos.

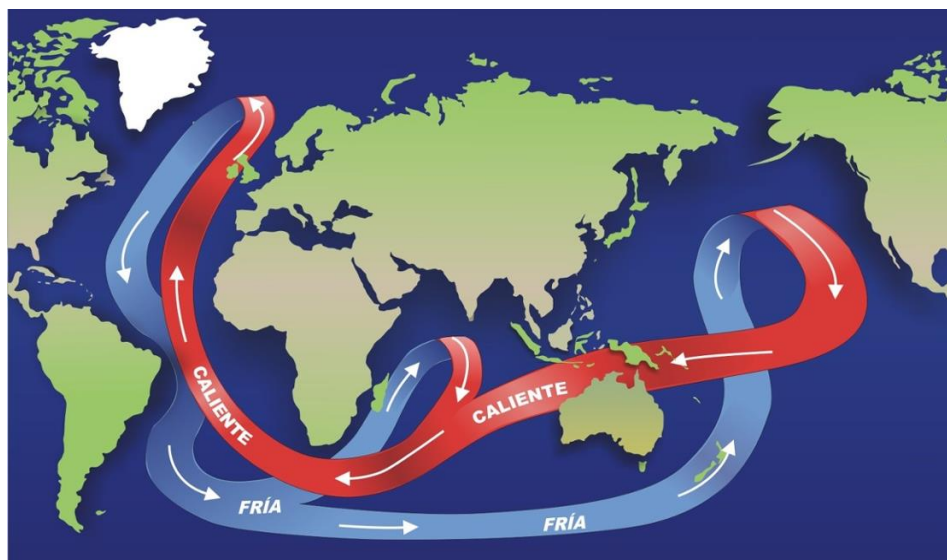


As correntes profundas circulan moi lentamente, tardando anos en emerxer á superficie, cando o fan levan consigo grande cantidade de nutrientes acumulados durante moito tempo, dando lugar a rexións moi produtivas de gran riqueza mariña: as zonas de afloramento.

♦ **Idea de síntese sobre as correntes mariñas: a fita transportadora oceánica.**

Chámase océano global ao conxunto de todos os océanos e mares do planeta, idea acertada porque hai comunicación entre todos eles. O océano global dá resposta a moitos interrogantes sobre o clima do planeta, xa que se trata dun importante almacén ou sumidoiro de CO<sub>2</sub> e dun eficaz mecanismo de transporte de calor e nubes. Este aspecto constitúe a fita transportadora oceánica.

Denomínase así á auga oceánica que percorre o océano global, na primeira metade do traxecto en forma de corrente profunda fría, condicionada pola densidade, e na segunda metade como corrente superficial cálida supeditada aos ventos dominantes:



– **Afloramentos:** os afloramentos costeiros ou oceánicos son correntes de ascenso de augas profundas frías e cargadas de nutrientes cara a superficie, orixinando zonas de grande riqueza biolóxica, pesqueira e marisqueira.

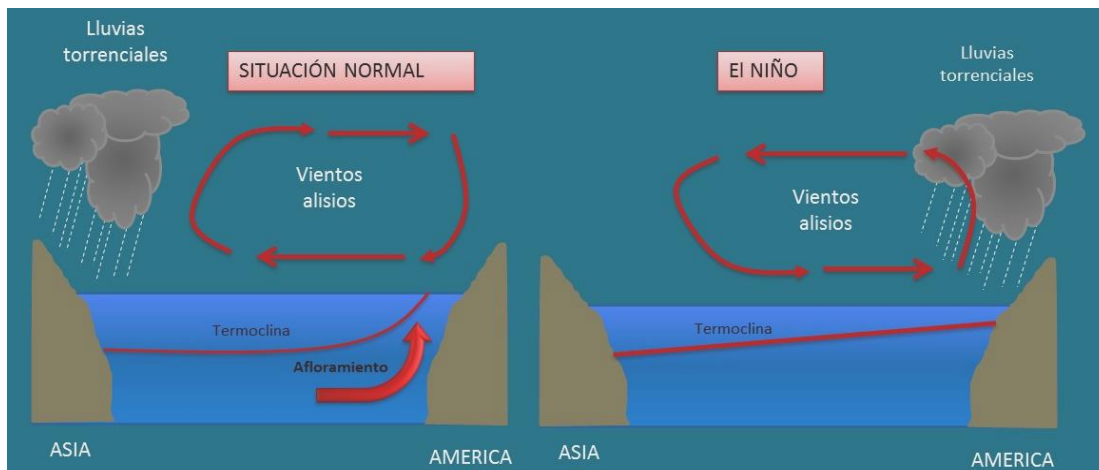
Os mecanismos que producen afloramentos son:

a) *Ventos costeiros constantes* que sopren cara ao mar, como os *alisios* que son ventos de zonas tropicais que sopran dende a costa cara o mar, polo que desprazan nubes e auga superficial mar adentro, o desprazamento vaise compensar co ascenso de auga profunda fría e rica en nutrientes, aumentando a fertilidade da auga e favorecendo á vida acuática, polo que van ser zonas moi ricas en pesca.

As principais zonas de afloramento, causadas polos alisios, son as zonas máis ricas de pesca mundial e son California, Perú, Namibia e Sahara. Ademais da riqueza pesqueira, son zonas de moi escasas precipitacións a causa do desprazamento das nubes mar dentro (desertos costeiros).

– *Fenómeno "El Niño" (ENSO):* flutuación periódica entre atmosfera e o Océano Pacífico, que afecta ao afloramento de Perú, e repercute no clima de todo o planeta.

En condicións normais (ENSO neutral) na costa de Perú sopran os alisios mar adentro, arrastrando nubes e auga superficial. As consecuencias son: afloramentos de auga profunda, zona rica en pesca, e aridez na costa (desertos de Perú e Chile).



Ultimamente, e por causas non de todo craras, cada 3–5 anos por Nadal (verán austral) ten lugar *El Niño*, por quentamento excesivo do océano: non sopran os alisios, a auga superficial caldéase, persiste a termoclina e *non hai afloramiento*. Así mesmo, as nubes non son arrastradas, estancándose na costa peruana dando lugar a *intensas choivas* nunha zona árida, *á vez que desaparece a pesca*. Afecta a outras zonas do globo porque produce seca nas costas pacíficas de Asia e Australia.

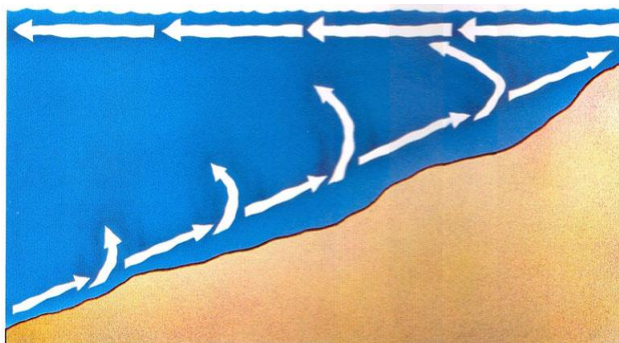
Algunhas teorías atribúen o fenómeno de El Niño ao cambio climático.

Cando certo tempo ten lugar unha esaxeración da situación normal, estamos ante *la Niña*, soprando os alisios con maior intensidade.

b) *por circulación termohalina*: en mares, rías ou esteiros onde haxa aporte de auga fría, por fusión de icebergs ou cambio de estación, a auga superficial tenderá a afundirse ao ser máis densa. A consecuencia é un afloramiento de auga profunda fértil. O fenómeno é máis habitual en latitudes frías e mornas, cando desaparece a termoclina a principios da estación fría.

– **Afloramentos nas rías galegas**: Os afloramentos son os responsables de que a auga das rías galegas sexa a máis fría da Península, pero tamén a máis rica, destacando a ría de Arousa, a máis profunda, considerado o ecosistema mariño máis produtivo de Europa. Os afloramentos teñen lugar na fachada atlántica, en especial nas Rías Baixas, e obedecen a varios factores, como:

O vento do nordés (NE) asociado a anticiclóns e a orientación das rías favorecen a saída de auga superficial cara o océano, que se compensa coa entrada de auga profunda, fértil e fría. Tamén inflúe o enfriamento da auga superficial a finais de verán / principios de outono.



Estes afloramentos son os responsables de que a auga das rías galegas sexa a máis fría da Península, pero tamén a máis rica, destacando a ría de Arousa, a máis profunda, como o ecosistema mariño máis produtivo de Europa.

**b) MAREAS:** movementos regulares e diarios de ascenso e descenso do nivel do mar, producidos pola forza de atracción gravitatoria que exercen a Lúa e o Sol sobre a Terra. A influencia da Lúa é moito maior pola súa proximidade.

A marea alta é a preamar e a baixa chámase baixamar, debido á rotación da Terra cada día hai dúas preamares e dúas baixamares (cada 6 h aproximadamente). Cada día atrásanse 40–50 minutos con respecto ao anterior.

As mareas son imperceptibles en alta mar e presentan maior amplitude nas costas abertas (3–16 m no Atlántico fronte a 30 cm no Mediterráneo).

Segundo a posición relativa de Lúa e Sol, distinguimos entre mareas vivas e mortas:

- Mareas vivas: Lúa Nova e Lúa Chea. A acción do Sol e da Lúa súmanse, ao estar aliñados.
- Mareas mortas: nos Cuartos (crecente e minguante). A acción da Lúa e o Sol réstanse ao formar ángulo recto.

**c) Ondas:** movementos ondulatorios na auga producidos polo vento, que se inician na superficie do mar e se propagan ata á costa.

As partículas de auga describen traxectorias circulares, pero non hai desprazamento.



Na costa, o rozamento co fondo altera o movemento das partículas, a onda defórmasse e crece en altura, ata que a súa crista rompe na costa. As ondas exercen unha importante acción erosiva.

