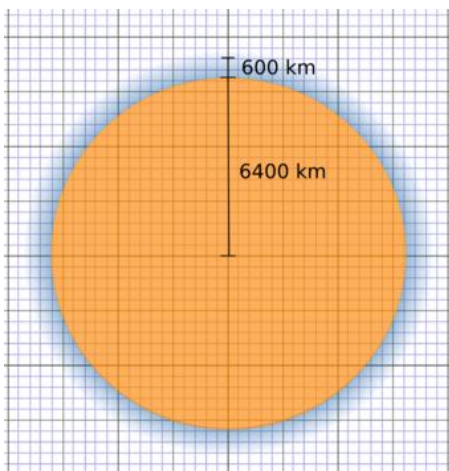


TEMA 11: A ATMOSFERA

1. COMPOSICIÓN E ESTRUTURA DA ATMOSFERA

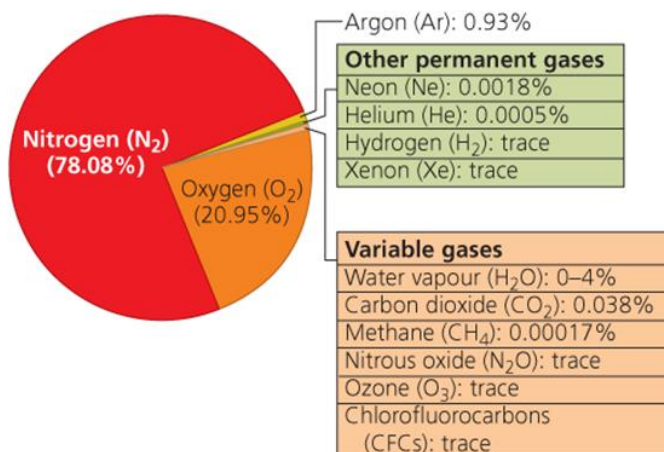


A atmosfera é a parte gasosa que rodea á esfera terrestre e que está suxeita á xeosfera pola atracción da gravidade. O seu límite superior é difuso xa que os gases se van facendo cada vez máis escasos ca altitude e se mesturan gradualmente ca atmosfera solar. A Federación Aeronautica Internacional considera o límite da atmosfera a 100 km de altura sobre o nivel do mar (líña de Karman).

1.1 - COMPOSICIÓN DA ATMOSFERA

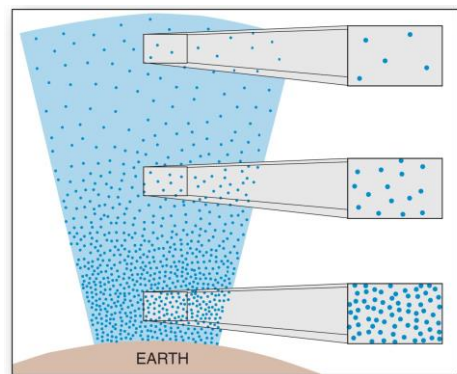
A atmosfera está formada por unha mestura de gases que tes representada na figura inferior como porcentaxes en volume.

Como podes ver o gas máis abundante é o **nitróxeno**, un gas bastante inerte, é dicir, que case non



reacciona con outras substancias polo que se considera u gas de recheo.

O seguinte en abundancia é o **osíxeno**, un gas moi activo xa que reacciona con compoñentes tanto da biosfera como da xeosfera participando en numerosos procesos como a respiración celular, fotosíntese, oxidación de minerais, etc.

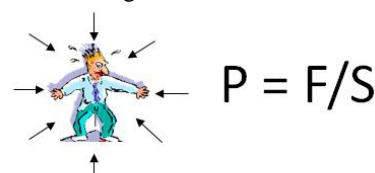


Os demais gases están en cantidades menores pero algúns deles exercen unha grande influencia sobre numerosos fenómenos tanto dos seres vivos como da dinámica atmosférica. Destacan o **vapor de auga** e o **dióxido de carbono** cuxas cantidades varían según a zona, estación, actividade humana, etc. e dos que iremos falando ao longo do tema.

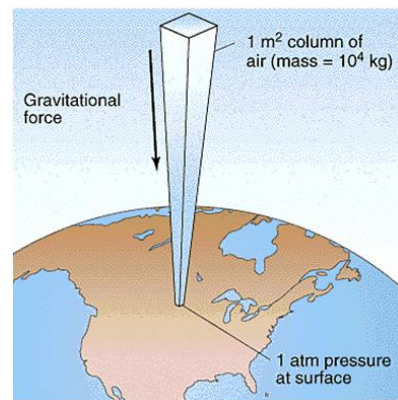
A pesar de que a composición da atmosfera é homoxénea (alomenos nos primeiros 90 km) a cantidade dos gases vai diminuindo gradualmente a medida que ascendemos (figura da esquerda), de feito o 80 % dos gases están contidos nos primeiros 20 km.

A presión atmosférica

A presión atmosférica é unha das propiedades que máis inflúen nos fenómenos meteorolóxicos tal como veremos máis adiante e se define como a presión que exercen os gases da atmosfera sobre a superficie da Terra. Como recordarás de Física a presión é o cociente entre a forza e a superficie, neste caso a forza é o peso do aire que hai por enriba (figura da dereita). A presión atmosférica é de tipo non dirixido, é dicir, a súa intensidade é a mesma en tódalas direccións



$$P = F/S$$



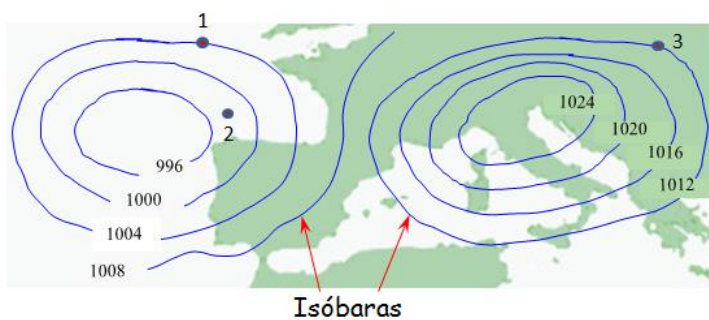
EXERCICIO

A presión atmosférica diminúe ca altitude. Por qué?

A unidade de presión no sistema internacional é o Pascal (1 Pa = 1N/m²) pero habitualmente se utiliza un múltiplo chamado o hectopascal (1hPa = 100 Pa). A presión atmosférica está no entorno dos 1000 hPa.

Nos mapas meteorolóxicos a presión atmosférica se representa mediante liñas que unen puntos de igual presión chamadas **isóbaras**.

O valor da presión atmosférica depende da densidade do aire (cando máis denso máis pesa). Como xa vimos un factor importante é a altitude (a presión diminúe ca altitude) pero para unha altitude determinada depende da **temperatura** e da **humidade**. Canto máis temperatura menor é a densidade e polo tanto menor é a presión atmosférica, isto e así xa que a temperatura aumenta o movemento dos gases e fai que as súas moléculas estean máis separadas. Por outra banda o aire húmido é menos denso ca o seco, xa que a masa molecular da auga é



menor ca dos outros gases (O_2 e N_2). Polo tanto o aire seco e frío é máis denso e a súa presión atmosférica é maior ca o aire quente e húmido.

EXERCICIO

No mapa a esquerda os valores de presión atmosférica están en hPa.

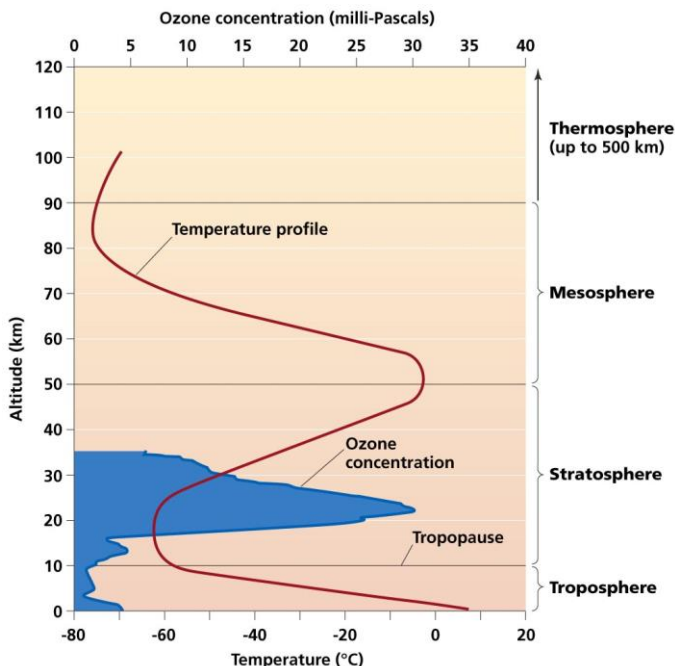
a) Indica a presión atmosférica dos puntos 1, 2 e 3.

b) Sinala cunha A unha zona de altas presións ou anticiclón e cunha B unha de baixas ou borrasca.

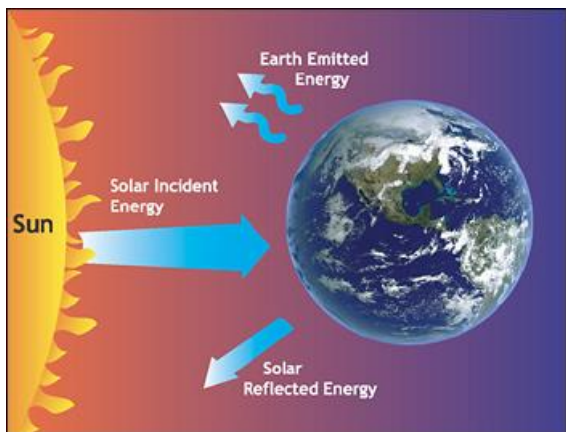
1.2 - ESTRUCTURA DA ATMOSFERA

A atmosfera se divide nunha serie de capas concéntricas según as variacións de temperatura que se producen ca altitude. Na imaxe da dereita tes representadas estas variacións que é o que se chama **gradiente vertical de temperatura** e as distintas capas que determinan.

- **Troposfera:** capa máis superficial e en contacto ca superficie terrestre. A súa temperatura diminúe gradualmente ata os -70°C xa que a súa fonte de calor é a superficie terrestre aquecida pola radiación solar. Contén o 75 % dos gases que están en constante movemento provocando a maioría dos fenómenos meteorolóxicos. O seu límite superior se chama **tropopausa** situada a unha altura media de 10 km (17 no ecuador, 7 nos polos)
- **Estratosfera:** se produce un aumento da temperatura ata o seu límite superior situado a uns 50 km sobre a superficie terrestre e que se chama **estratopausa**. A causa do aumento da temperatura está na presenza da capa de ozono (ozonosfera) que absorbe certas radiacións solares co que incrementa a súa temperatura.
- **Mesosfera:** capa máis descoñecida. A temperatura volve a descender novamente ata os -140°C . Nela acontecen certos fenómenos atmosféricos aínda non ben coñecidos como movementos ondulatorios no aire os as nubes mesosféricas polares.
- **Termosfera** ou ionosfera: é a última capa da atmosfera onde a temperatura volve a aumentar de novo. O seu límite superior é difuso e gradualmente se mestura co espazo exterior ou atmosfera solar onde a cantidade de materia é moi escasa. As radiacións solares son absorbidas polos gases desta capa que se ionizan (de ahí o seu nome) e aumentan a súa temperatura (se poden acadar máis de 2.000°C durante o día). Nesta capa hai importantes movementos dos gases e o vento solar interactúa co campo magnético terrestre orixinando as auroras.



1.3 - A ATMOSFERA E A ENERXÍA EXTERNA



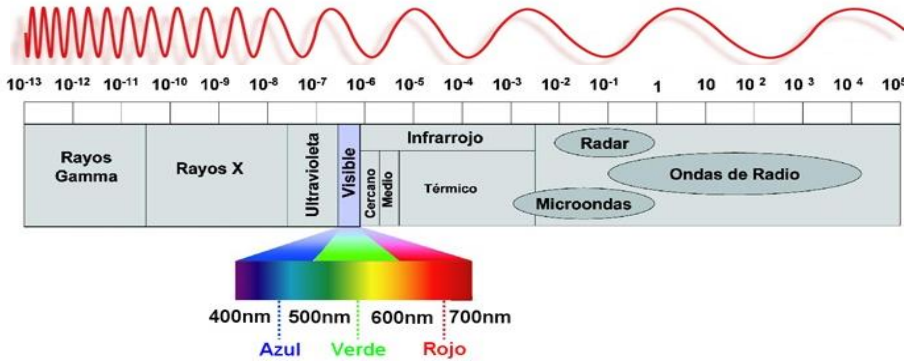
Como recordarás a Terra é un sistema termodinámico pechado xa que so interambia enerxía co seu entorno. A enerxía externa lle chega á terra procedente do Sol, principalmente en forma de **radiación electromagnética**, e a atmósfera xoga un papel importante na súa captación e redistribución.

Na imaxe da esquerda tes un esquema moi simplificado do balance enerxético da Terra. Á enerxía total recibida do sol se lle chama enerxía incidente da que unha parte é **reflectida** por distintos compoñentes da terra (atmosfera, hidrosfera, xeosfera). Á porcentaxe da enerxía incidente que é reflectida por unha determinada superficie se lle chama **albedo**.

A enerxía non reflectida vai ser **absorbida** polos dintintos compoñentes do planeta onde sufrirá distintas transformacións ata acabar sendo novamente emitida ao espazo exterior como calor. Ao final toda a enerxía recibida do sol acaba sendo novamente emitida ao espazo

A RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA

A radiación electromagnética é un mecanismo que transporta enerxía sen necesidade de materia polo que se transmite no baleiro, por exemplo a través do espazo exterior. Esta radiación se emite como consecuencia de moitos procesos físicos e químicos que liberan enerxía: reaccións nucleares nas estrelas, etc. As distintas radiacións electromagnéticas se caracterizan pola súa **lonxitude de onda** (λ): canto menor é a lonxitude de onda máis enerxía transportan. Ao conxunto de tódalas radiacións electromagnéticas se lle chama **espectro electromagnético** e o tes representado na figura adxunta. Como podes ver a radiación máis enerxética son os raios γ mentras que as menos son as ondas de radio. No medio está a radiación visible que é a que podemos percibir co sentido da vista e que á súa vez esta formada por un conxunto de radiacións que percibimos como distintas cores. A radiación ultravioleta (UV) é máis enerxética ca visible mentras que a infravermella (IR) a emiten os corpos quentes e é menos enerxética ca visible.

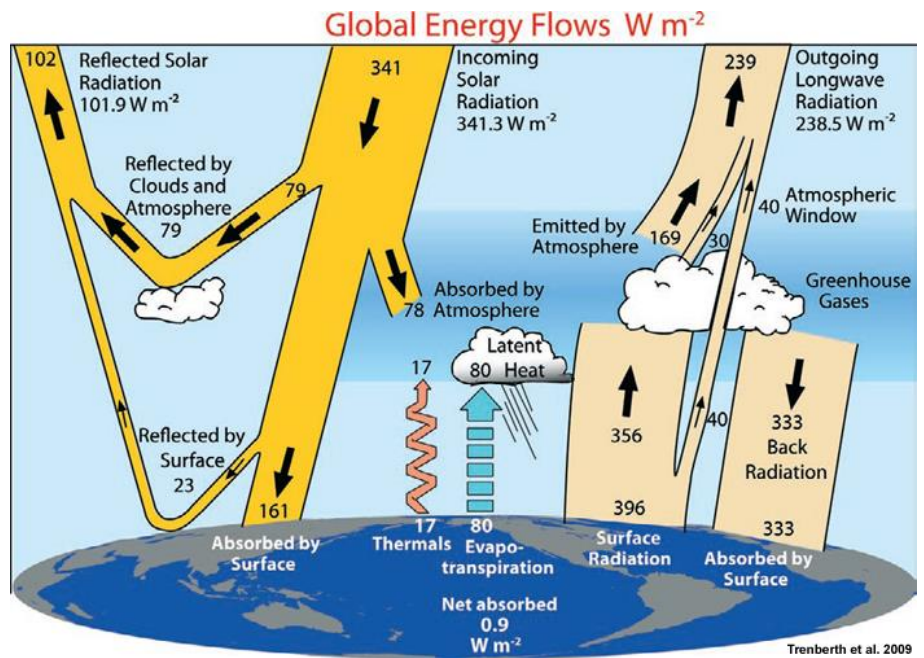


ver a radiación máis enerxética son os raios γ mentras que as menos son as ondas de radio. No medio está a radiación visible que é a que podemos percibir co sentido da vista e que á súa vez esta formada por un conxunto de radiacións que percibimos como distintas cores. A radiación ultravioleta (UV) é máis enerxética ca visible mentras que a infravermella (IR) a emiten os corpos quentes e é menos enerxética ca visible.

Na imaxe da dereita tes un diagrama máis complexo do balance enerxético que imos intentar entender.

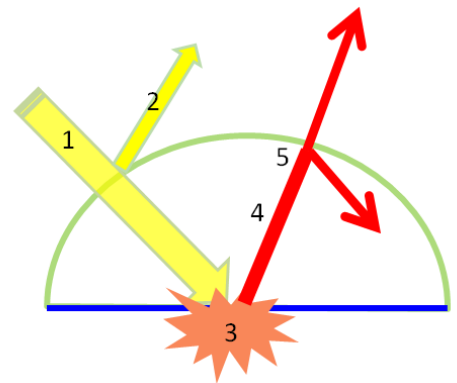
De toda a radiación procedente do sol unha parte atravesa a atmosfera, principalmente como radiación visible, e chega ata a superficie onde é absorbida. Como consecuencia disto aumenta a súa temperatura o que fai que emita parte da enerxía absorbida como radiación infravermella (IR). Pero a atmosfera non deixa escapar con facilidade esta radiación xa que certos gases contidos nela (CO_2 , vapor de auga, metano) absorben o IR e o reemiten, retendo temporalmente esta enerxía.

Este fenómeno é coñecido como o **efecto invernadoiro** e básicamente é unha trampa de calor: a enerxía entra facilmente como radiación visible pero queda retida como calor pola acción dos gases da atmosfera.



EXERCICIO

A imaxe da dereita é un esquema moi simplificado do efecto invernadoiro. Indica a qué número corresponden as seguintes etapas: radiación reflectida pola atmosfera, radiación IR emitida pola superficie terrestre, absorción e reemisión de IR pola atmosfera, radiación incidente, absorción de radiación visible pola superficie terrestre

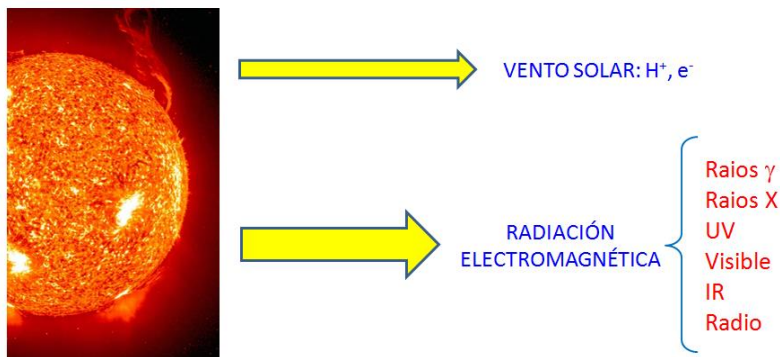


Composto	Formula	Concentración (ppm)	Contribución (%)
Vapor de auga	H_2O	10–50,000	36–72%
Dióxido de carbono	CO_2	~400	9–26%
Metano	CH_4	~1.8	4–9%
Ozono	O_3	2–8	3–7%

No cadro da esquerda tes os principais gases atmosféricos responsables do efecto invernadoiro ca súa contribución ao total que depende da concentración e das características do gas.

A temperatura media na superficie terrestre é de uns 14°C, grazas en parte o efecto invernadoiro. Sen este fenómeno se calcula que a temperatura terrestre sería duns -20°C co sería difícil a vida tal e como a coñecemos. Ademais este efecto fai que as diferencias de temperatura entre o día e a noite sexan menores.

Según moitos investigadores a actividade humana esta a incrementar a cantidades de gases de efecto invernadoiro, especialmente o CO₂, o que leva a unha acentuación deste fenómeno orixinando un incremento da temperatura terrestre. A este fenómeno se lle chama **cambio climático antropoxénico** e del falaremos máis adiante.



1.4 - A ATMOSFERA COMO FILTRO

O sol está enviando grandes cantidades de enerxía fundamentalmente de dúas maneiras distintas:

- Partículas cargadas, o que constitue o vento solar.
- Radiación electromagnética, en todo o espectro.

Moitas destas formas de enerxía non chegan á superficie terrestre xa que son retidas pola atmosfera o que permite ko desenvolvemento da vida na Terra. Vexamos estes filtros:

a) O vento solar é desviado polo campo magnético terrestre ben cara o espazo exterior ou cara os polos onde interactúa ca atmosfera e se transforma en luz formando as **auroras**.

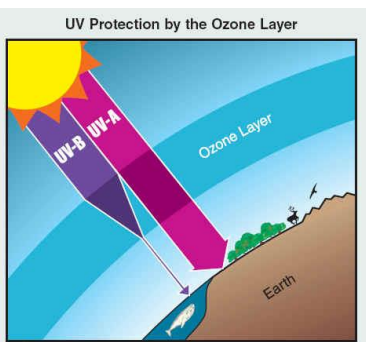
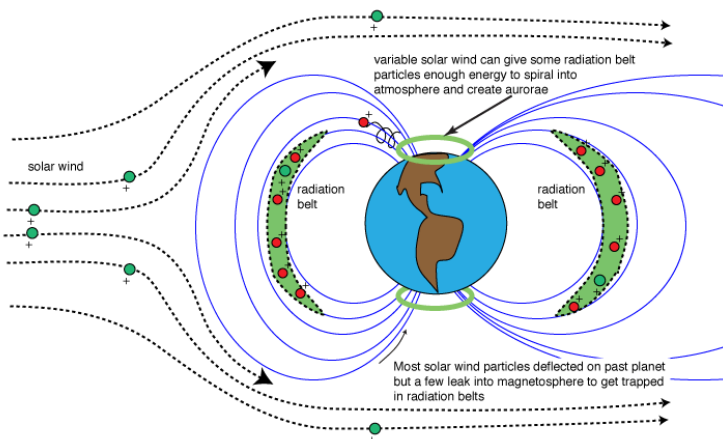
b) As radiacións electromagnéticas máis enerxéticas (raios γ ou raios X) son absorbidos nas capas máis altas da atmósfera, principalmente na termosfera onde, como xa comentamos, ionizan os gases.

c) Na estratosfera se está a formar e a destruír continuamente

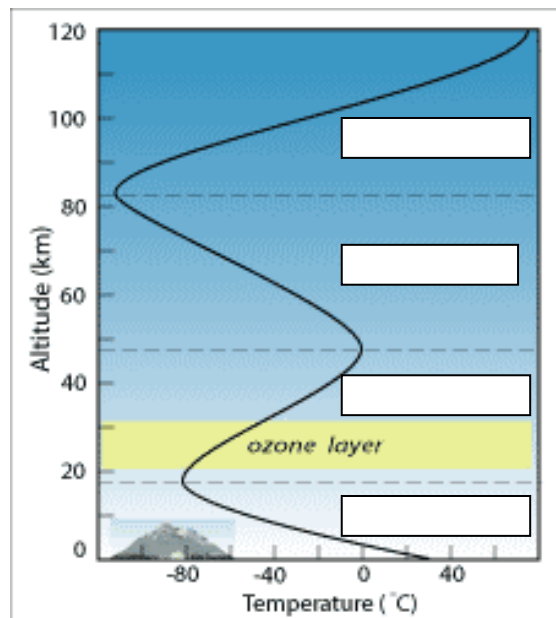
ozono (O₃) pola acción da radiación UV o que fai que se acumule nunha

capa situada entre os 20 e 30 km de altitude chamada capa de ozono ou ozonosfera. Esta capa absorbe a maioría da radiación ultravioleta máis enerxética (UV-B).

Estes filtros fan que á superficie terrestre chegue soamente a radiación visible e a ultravioleta de menos enerxética (UV-A), radiacións menos perxudiciais para a vida.



EXERCICIOS



1. Observa atentamente a figura adxunta e contesta ás seguintes preguntas:

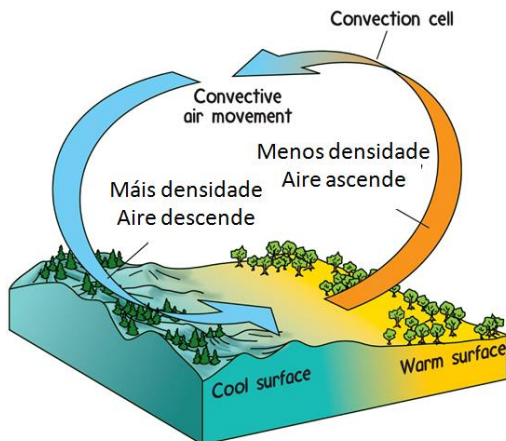
- Pon nomes ás capas da atmosfera
- Describe a variación da temperatura ca altitude e explica as causas destas variacións
- Qué é o ozono e cómo se orixina?. de qué xeito contribúe ao papel da atmosfera como filtro?.

2. A atmosfera inicial da Terra procedería principalmente dos gases emitidos polos volcáns e non contiña O₂. Nos inicios da vida na Terra abundarían archaebacterias produtoras de metano (CH₄) que incrementarían a cantidade deste gas na atmosfera, pero foi a aparición da fotosíntese osixénica o que provocou a aparición de O₂. Esta aparición desencadeou a chamada gran oxidación ou crise o osíxeno hai uns 2.800 m.a. no que case todo o metano atmosférico se transformou en CO₂ ao reaccionar co osíxeno molecular. Como consecuencia se produciu a maior glaciación da historia da Terra hai uns 2.400 m.a. Da unha explicación a este fenómeno

2. DINÁMICA DA ATMOSFERA

Por dinámica atmosférica entendemos os movementos das masas de aire na troposfera que dan lugar aos fenómenos meteorolóxicos. Consideramos a troposfera xa que é a contén a maioría dos gases e nela se dan variacións de temperatura e humidade que son as que causan estes movementos.

2.1 - DINÁMICA ATMOSFÉRICA VERTICAL: A CONVECCIÓN

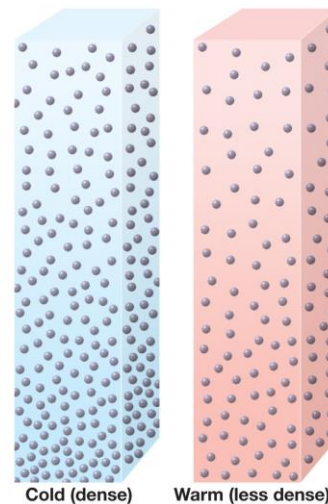


A convección son movementos de fluídos debidos á diferencias de densidade según o esquema que tes na figura da esquerda. O aire menos denso ascende e o seu lugar é ocupado polo aire máis denso que baixa. As diferencias de densidade no aire se deben a dúas causas: temperatura e humidade.

2.1.1 - Convección térmica

Cando unha masa de aire aumenta a súa temperatura a velocidade das moléculas aumenta co que o espazo entre elas tamén o fai provocando un aumento de volume o que fai diminuír a densidade.

Se consideramos un volume fixo, como na figura da dereita, ves que o aire quente ten menos moléculas e polo tanto a súa densidade é menor.

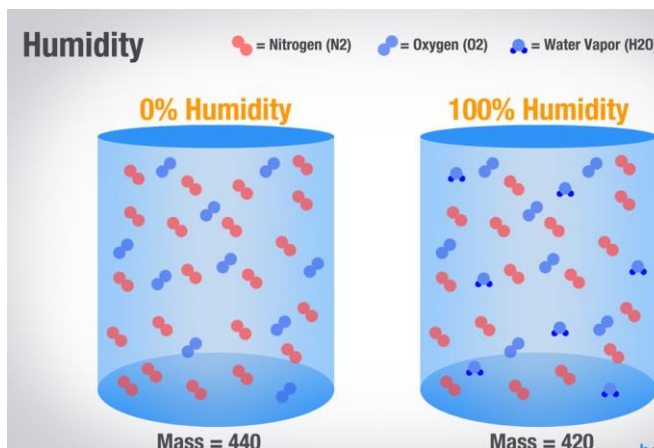


Tendo isto en conta o aire quente a ascender e o frío a descender creando movementos de convección.

2.2.2- Convección por humidade

Anque che poda parecer contradictorio o aire seco é máis denso que o aire húmido, xa que a auga ten unha molecular inferior á dos outros gases que forman o aire (táboa da esquerda). Vexámolo máis polo miúdo: a unha temperatura determinada o volume dun gas depende do número de moléculas que contén. No aire seco esas moléculas serán principalmente N₂ e O₂, mentres que no aire húmido algunhas destas moléculas serán substituídas por outras de auga, cunha masa inferior. Ao ter menos masa tamén terá menor densidade como podes ver na figura.

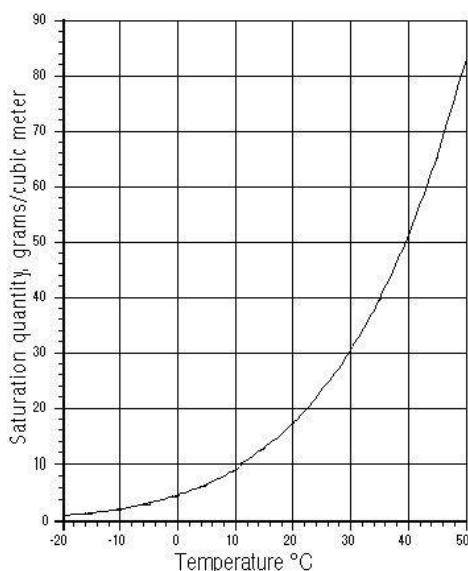
MASAS MOLECULARES
N ₂ = 28 O ₂ = 32 H ₂ O = 18



Medida da humidade o aire.

A humidade do aire é a cantidade de vapor de auga presente no aire e se pode expresar de dous xeitos distintos: humidade absoluta e humidade realtiva.

A **humidade absoluta** (AH) é a cantidade de vapor de auga (expresada en gramos) existente nun volume determinado de aire, normalmente 1 m³. A unidade é polo tanto g/m³. Cando un determinado volume de aire non pode conter máis vapor de auga de di que está **saturado** e o exceso de vapor pasa a estado líquido nun proceso que se chama **condensación**.

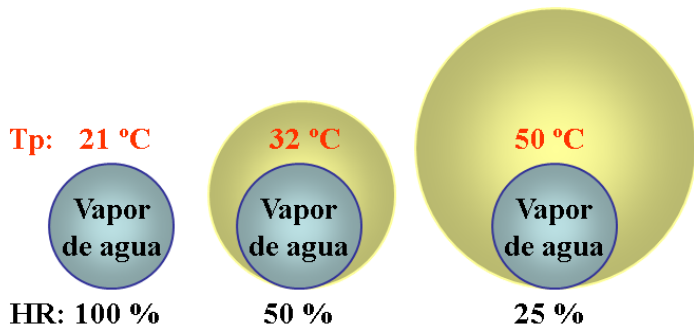


A cantidade de vapor de auga que pode conter o aire depende da temperatura como podes ver na gráfica adxunta que se chama **curva de saturación** do aire.

A **humidade realtiva** (RH) é unha magnitude máis útil en meteoroloxía e indica a porcentaxe de vapor de auga que contén un volume de aire con respecto á máxima que pode conter a esa temperatura (saturación), según a fórmula:

$$RH = \left(\frac{\text{masa H}_2\text{O (g)}}{\text{masa H}_2\text{O (g) saturación}} \right) \cdot 100$$

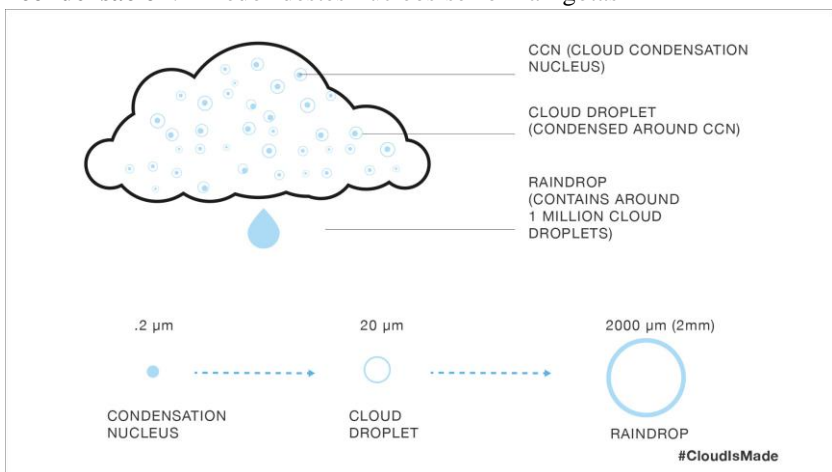
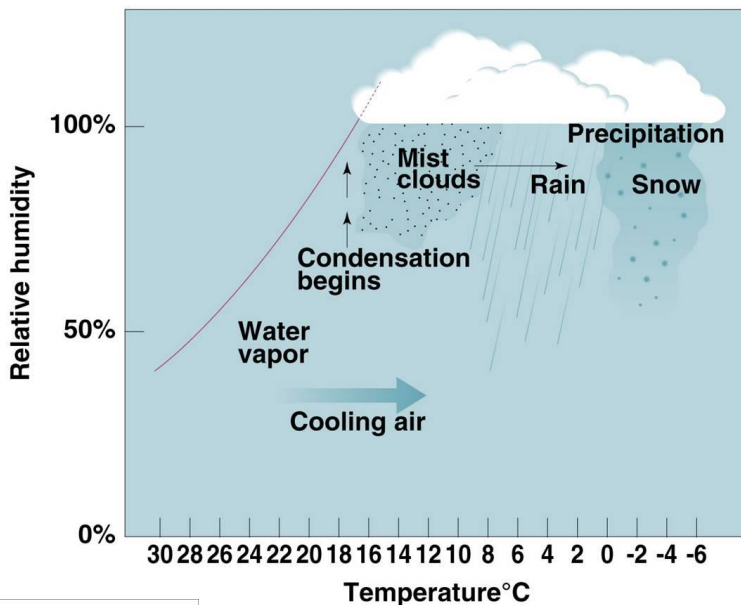
Así por exemplo cando unha masa de aire está saturada a súa humidade realtiva será do 100 %. Se ten a metade de vapor de auga do seu valor de saturación a esa temperatura a humidade realtiva será do 50 %.



EXERCICIO
 Na figura adxunta está representada unha determinada cantidade de vapor de auga nun mesmo volume de aire a tres temperaturas diferentes. Utilizando a gráfica da páxina anterior responde as seguintes cuestións:
 a) Cál é a humidade absoluta en cada caso?
 b) Por qué varía a humidade relativa

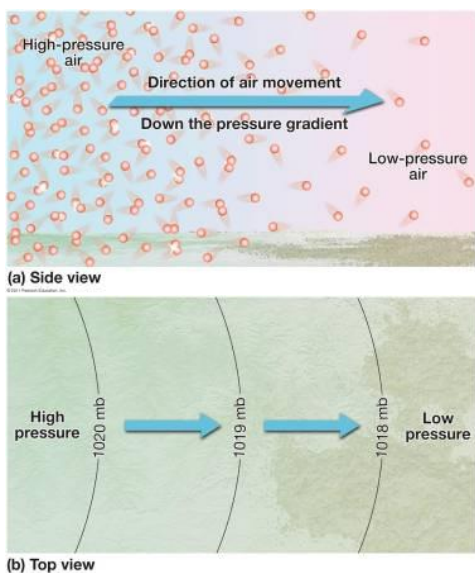
A condensación

A condensación é paso de vapor de auga a auga líquida. O proceso comenza cando a humidade é do 100 %, é dicir, cando a cantidade de vapor de auga acadada a saturación, ben porque se produce un incremento da cantidade de auga ou porque baixa a temperatura. A temperatura para a que unha determinada masa de aire acadada a saturación e polo tanto comenza a condensación se chama punto de **orballo** (punto de rocío en castelán). Na figura da dereita tes unha típica situación na que o punto de orballo se acadada cando o aire ascende e como consecuencia diminúe a temperatura (recorda que na troposfera a temperatura diminúe ca altura). Para que aconteza a condensación se precisa unha superficie sólida sobre a que se deposita a auga líquida que normalmente son partículas de po, cristais de xeo ou sales situadas na atmosfera e que se chaman núcleos de **condensación**. Arredor destes núcleos se forman gotas

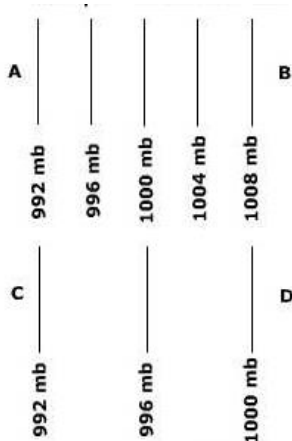


microscópicas de auga que permanecen en suspensión e que forman as **nubes**. Debido aos movementos internos na nube estas gotiñas se xuntan unhas cas outras (coalescencia) ata que acadan un tamaño suficiente para caer ao chan por gravidade, proceso que se chama **precipitación**. Se a precipitación é líquida falamos de **choiva**, se é sólida cristalina de **neve** e se é sólida amorfa **carazo** (granizo en castelán).

2.2 - DINÁMICA ATMOSFÉRICA HORIZONTAL: OS VENTOS.



Os ventos son movementos do aire na horizontal debido a diferencias de presión atmosférica. O vento se move onde hai máis presión atmosférica a onde hai menos. A velocidade do vento depende da diferenza ou gradiente da presión atmosférica. Por con convenio a dirección do vento se indica de onde ven.



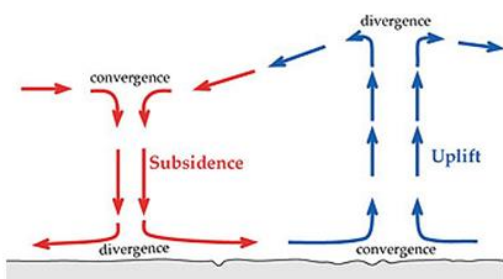
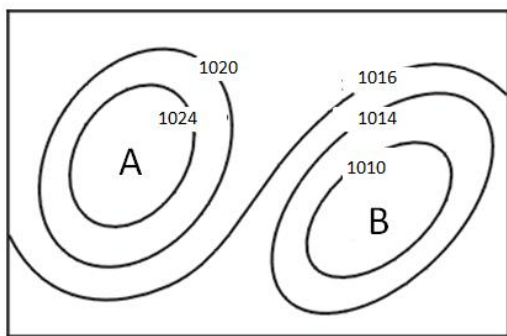
EXERCICIO
 A figura da esquerda representa as isóbaras en dúas zonas hipotéticas.
 a) Indica mediante unha flecha a dirección do vento.
 a) Onde será maior a velocidade do vento na zona superior ou inferior?. Xustifia a resposta.

2.2.3 - Borrascas e anticiclóns

Nas latitude medias (entre 30° e 60°) as masas de aire se organizan en zonas máis ou menos circulares onde a presión atmosférica varía gradualmente cara o seu centro. Se a presión atmosférica diminúe cara a parte central falamos dunha zona de baixa presión ou **borrasca**, mentras que se é ao revés trátase dunha zona de altas presións ou **anticiclón**.

Como podes ver na imaxe entre borrascas e anticiclóns se produce un intercambio de aire, tanto en superficie como en altura debido á combinación de movementos na vertical e na horizontal. As borrascas son zonas de converxencia en sferficie xa dada a súa baixa presión os ventos van cara o interior, mentras que os anticiclóns son zonas de diverxencia.

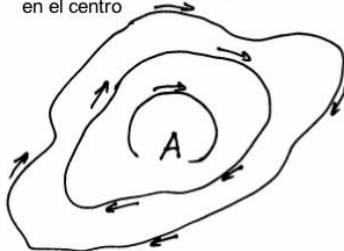
Con todo o comportamento dos ventos en superficie é mais complexa debido a **efecto coriolis** causado pola rotación terrestre. Debido a este fenómeno as masas fluídas da terra tenden a desviarse cara a dereita no hemisferio norte e cara a esquerda no hemisferio sur. Tendo isto en conta os ventos van a seguir unha traxectoria circular seguindo as isóbaras en sentido contrario as agullas do reloxo (antihorario) nas borrascas e horario nos anticiclóns no caso do hemisferio norte. No sur sería ao revés (imaxe inferior)



Rente ao chan e debido ao rozamento os ventos se desvían lixeiramente cara o interior no caso das borrascas e cara ao exterior nos anticiclóns.

ANTICICLÓN

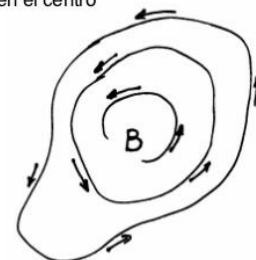
La presión máxima se localiza en el centro



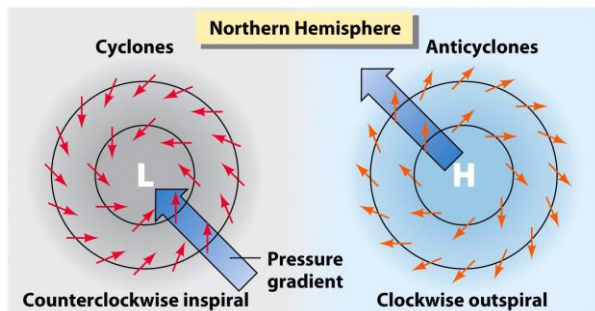
El aire se mueve en el sentido de las agujas del reloj en el H. Norte.

BORRASCA

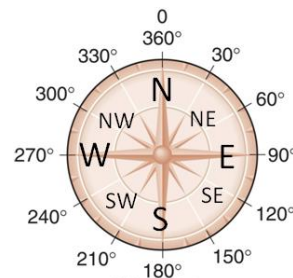
La presión mínima se localiza en el centro



El aire se mueve en sentido contrario a las agujas del reloj en el H. Norte.

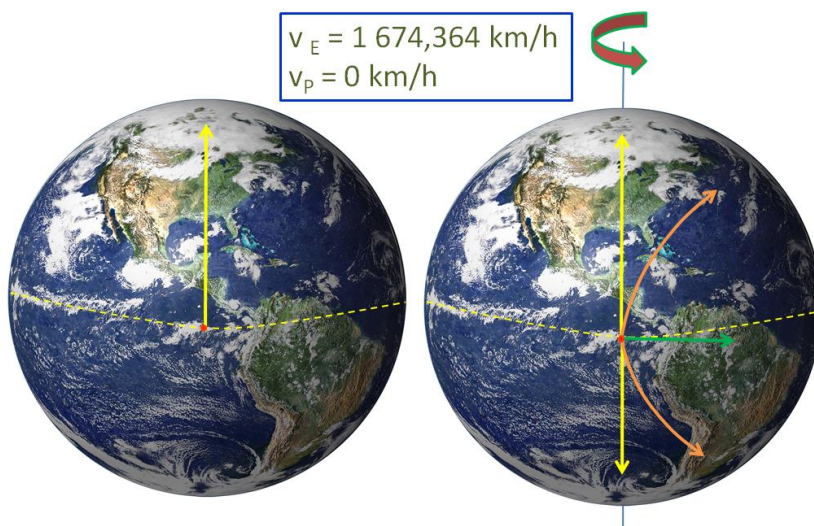


A DIRECCIÓN DO VENTO
 Para sinalar a dirección do vento se di de onde ven (barlovento) e se pode incicar como os rumbos da rosa dos ventos ou en graos como podes ve na imaxe da dereita



O EFECTO CORIOLIS

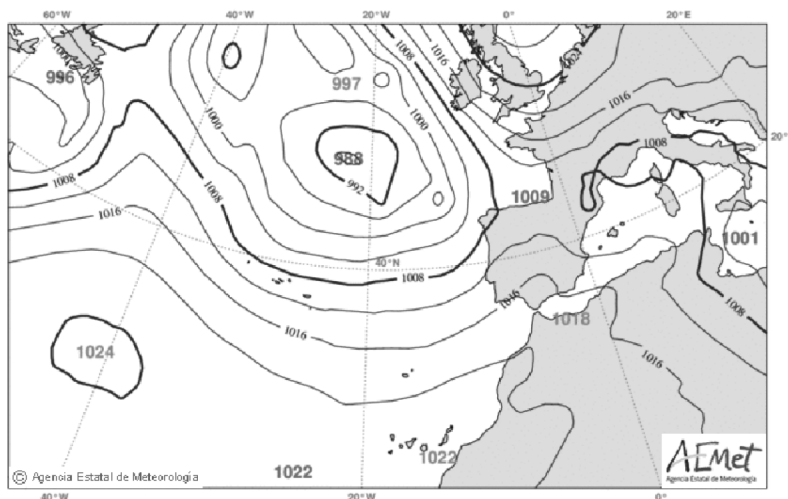
Nunha Terra estática se lanzamos un obxecto, por exemplo unha bala lde canón, dende o ecuador cara os polos seguiría unha traxectoria rectilínea. Como a Terra esta a rotar a velocidade dun puto o ecuador é superior ca nos polos polo que ao lanzar ese obxecto leva a velocidade que tiña no momento do seu lanzamento polo que a súa traxectoria vai a sufrir unha variación según os esquemas que tes na figura adxunta. A esta desviación se lle chama efecto coriolis, é máis intensa canto máis cerca do ecuador e é o responsable da desviación das masas fluídas (aire e auga) que comentamos anteriormente.



EXERCICIO

Á vista do seguinte mapa de ISÓBARAS, contesta as seguintes cuestións. Valoración:

- a) Localiza e sinala unha borrasca e un anticiclón
- b) Cal é a dirección do vento en Galicia? E en Dublín?. Por que?
- c) Onde terá maior intensidade o vento, en Dublín ou en Madrid? Xustifica a túa resposta.

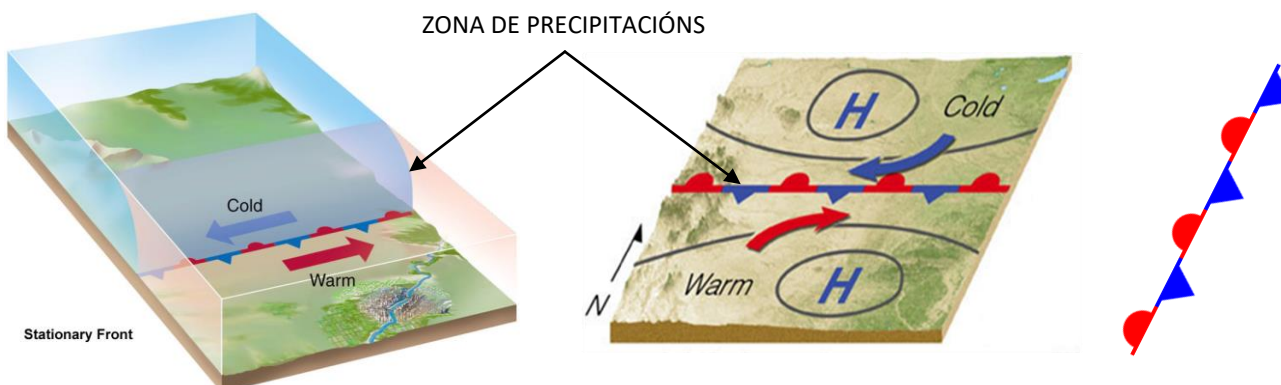


2.2.4 - As fronteas

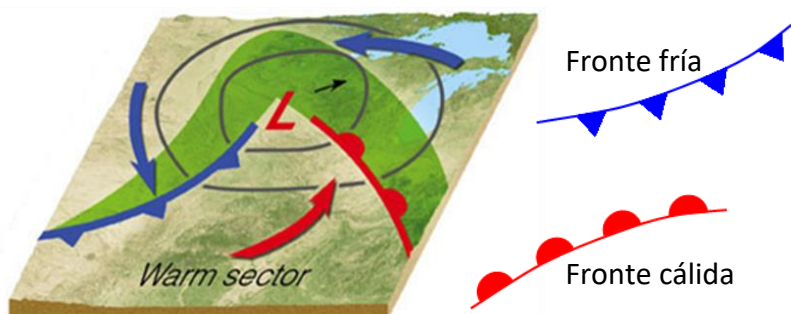
As fronteas son superficies onde contactan dúas masas de aire con características distintas: aire quente e húmido con aire frío e seco. Na zona de contacto baixa a temperatura do aire húmido co que acaba o punto de orballo e se producen precipitacións. Existen catro tipos de fronteas: estacionarias, frías, quentes e ocluídas.

a) Frontes estacionarias

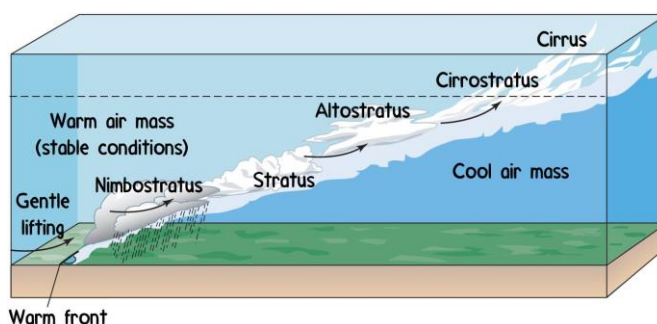
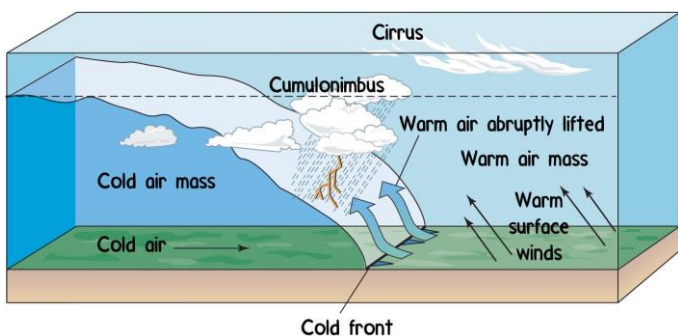
Neste caso as masas de aire no chocan unha contra a outra polo que poden permanecer sen moverse durante varios días nos que acontecen abundantes precipitacións. É o caso da fronte polar da que falaremos máis adiante.



b) Frontes frías e cálidas

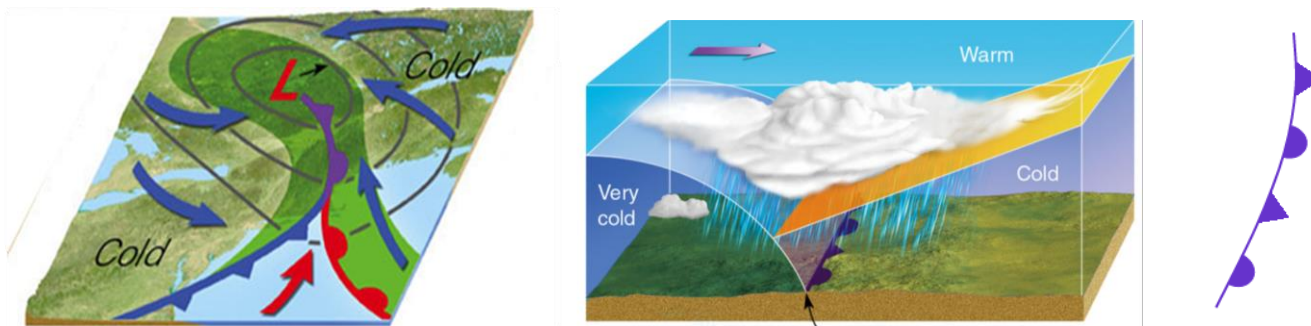


Están asociados a zonas de baixas presións ou borrascas como podes ver na figura da esquerda. A fronte fría se orixina cando o aire frío avanza sobre o quente e dado que é máis denso o eleva. Na zona de contacto se producen precipitacións intensas e pouco duradeiras. Pola contra a fronte cálida é cando o aire quente avanza sobre o frío situándose por enriba del dada a súa menor densidade. Neste caso as precipitacións son menos intensas pero máis duradeiras no tempo.



c) Frontes ocluídas

Dado que o aire frío avanza máis rápido ca o quente a fronte fría pode chocar ca fronte cálida e queda atrapa unha masa de aire quente e húmido en altura onde se producen abundantes precipitacións. A esta situación se lle chama fronte ocluída.

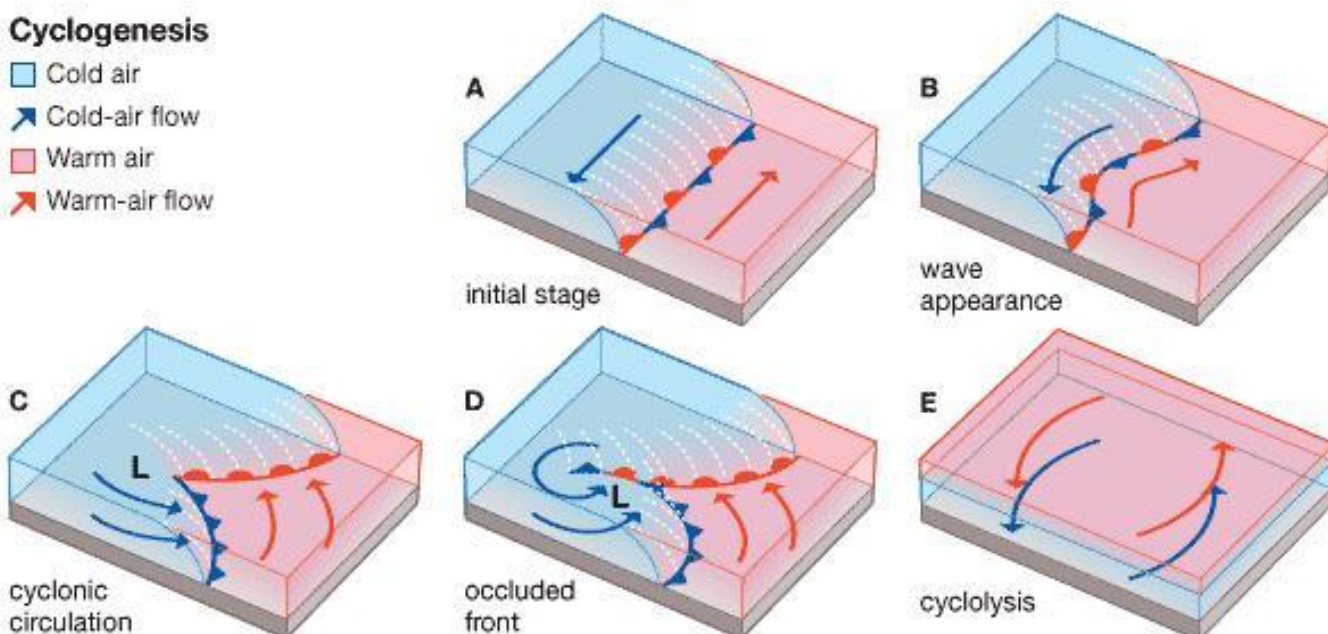


d) A ciclóxese

A ciclóxese e a formación de borrascas con fronte asociadas e habitualmente se aplica ás que se forman en latitudes medias. Na imaxe inferior tes un esquema do proceso que comenza cunha fronte estacionaria, xeralmetne a fronte polar. A continuación se producen ondulacións que acaban mesturando as masas de aire quente e húmido cas de frío e seco o que orixina unha fronte fría e outra cálida. O avance da fronte fría sobre a cálida forma unha fronte ocluída que acaba separando o aire quente en altira ata que se desfai a borrasca.

Cyclogenesis

- Cold air
- Cold-air flow
- Warm air
- Warm-air flow



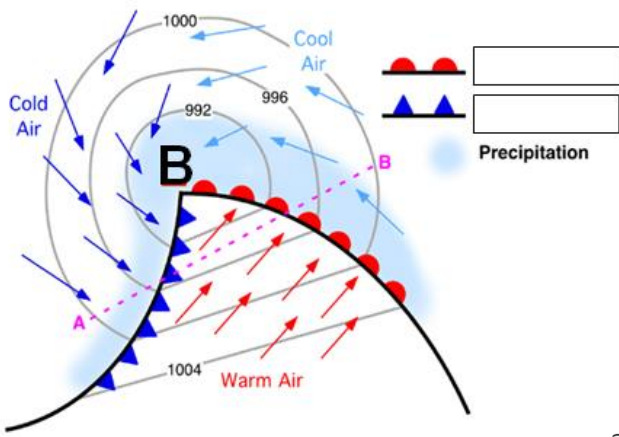
© 2008 Encyclopædia Britannica, Inc.

Estas situación son os coñecidos **temporais de inverno** e son máis frecuentes nesa estación polo que veremos máis adiante.

EXERCICIO

A imaxe da esquerda representa unha borrasca con dúas fronte asociadas.

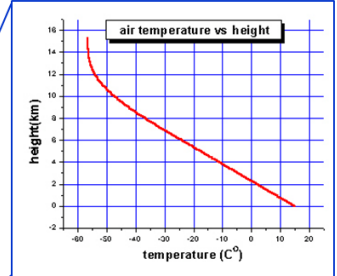
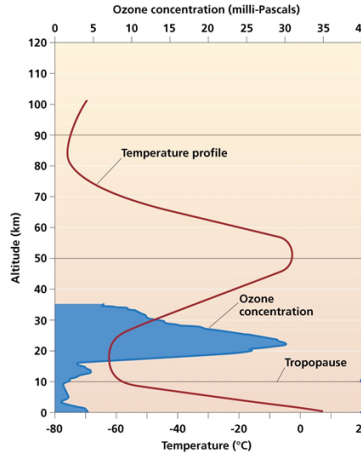
- a) Señala as fronte correspondentes e indica indica o tempo que fará na zona pola que pasan
- b) Qué indican as flechas?
- c) Fai o corte A-B e sitúa nel as fronte e as masas de aire frío e quente
- d) Explica cómo evolucionará esta situación



2.3 - GRADIENTES DE TEMPERATURA E FENÓMENOS ASOCIADOS

2.2.1 - Gradientes verticais de temperatura

$GVT = - 0,65 \text{ } ^\circ\text{C} / 100 \text{ M}$



AIRE ESTÁTICO

Por gradiente vertical na temperatura entendemos a variación de temperatura ca altitude, referido especialmetne á troposfera.

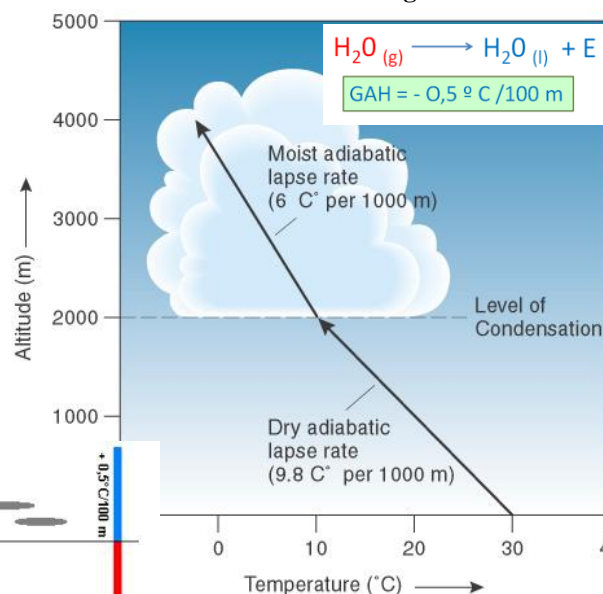
Nuha situación ideal de aire estático a temperatura do aire dinúe de xeito constante a razón dun $0,65 \text{ } ^\circ\text{C}$ cada 100 m, o que se chama gradiente vertical de temperatura (GVT). Isto é así xa que a fonte de calor para o aire troposférico é o solo: a radiación solar atravesa a troposfera e é absorbido polo solo que aumenta a súa temperatura. Este solo quenta o aire polo que canto máis próximo ao solo estará máis quente.

Esta situación ideal non se da xa que o aire está en continuo movemento debido a diferencias na súa densidade provocadas por diferenzas na temperatura e humidade. Estas masas de aire tardan en mesturarse unhas cas outras entre outras cousas porque o aire é un mal condutor a calor.

Imaxina situación representada na figura adxunta:

Unha masa de aire é aquecida polo calor do chan co que diminúe súa densidade e empeza a ascender. A medida que ascende aumenta o volume debido a que presión atmosférica diminúe. Ao aumentar o volume diminúe a temperatura (recorda as leis dos gases que estídiache en química). Nestas circunstancias a temperatura baixa 1°C por cada 100 metros de ascensión e a esta variación se lle chama **gradiente adiabático seco** (GAS). O término adiabático se refire a que non hai intercambio de calor, recorda que o aire conduce mal a calor.

Se a temperatura de esa masa de aire acada o punto de orballo se inicia a condensación que como recordarás é un proceso exotérmico, é dicir, libera enerxía. Se o aire segue a ascender a a enerxía liberada na condensación fai que a diminución da tempertura coa altitude sexa menor: uns $0,5^\circ\text{C}$ cada 100m. A esta variación se lle chama **gradiente adiabático húmido** (GAH).



Na gráfica da esquerda es resumidas as dúas situacións. As masas de aire van a densidade ca do exemplo o

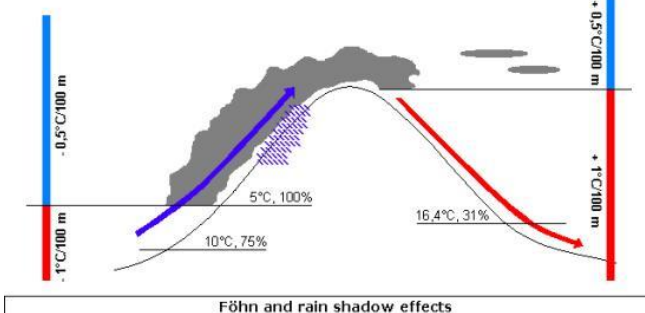
ve interrompido por unha cadea montañosa como no exemplo da figura inferior O aire húmido

continuar ascendendo ata que se iguale a súa aire que a rodea salvo que un axente externo, por vento, a impulse.

2.2.2 - Fenómenos asociados

a) O efecto Foehn

Este fenómeno se da cando un vento húmido se

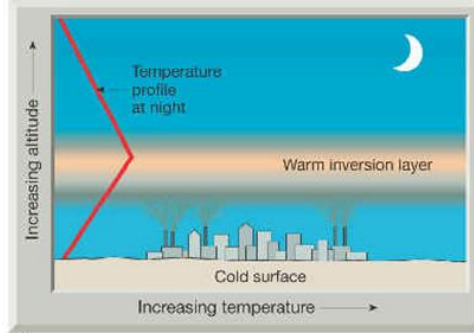
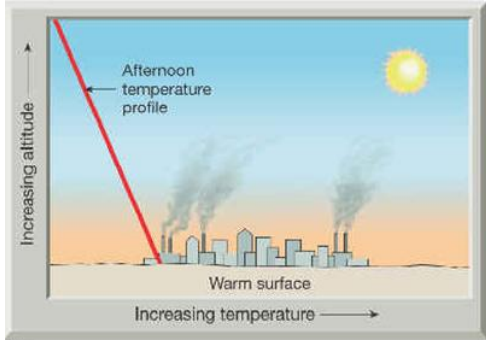


Föhn and rain shadow effects

ascende impulsado polo vento pola cara de barlovento da cadea montañosa. A medida que ascende vai diminuindo a súa temperatura primeiro según o gradiente adiabático seco e despois da condensación segun o GAH. Durante este ascenso se producen abundantes precipitación que diminén a humidade do aire. Ao chegar ao cumio da cordilleira este aire, máis seco e denso, baixa pola ladeira de sotavento incrementando a súa temperatura según GAS. Como podes ver no gráfico á mesma altura a ambos os dous lados da cordilleira hay unha diferencia importante na temperatura e nas precipitacións. Este fenómeno é a causa, entre outras cousas, de certos desertos chamados de **sombra orográfica** como o de Tabernas en Almería.

b) A inversión térmica

A inversión térmica dáse en certas situacións cando a **temperatura do aire aumenta ca altitude** en vez de diminuír. Unha estas situacións é en noites de inverno frías e sen nubes. Nestas situacións a ausencia de efecto invernadoiro fai que o solo perda moito calor e o aire rente ao chan se enfría máis que o situado en altura co que se invirte o gradiente. Esta situación adoita manterse ata uns 300 ou 500 m como podes ver nos gráficos da esquerda que comparan a situación normal ca de inversión.

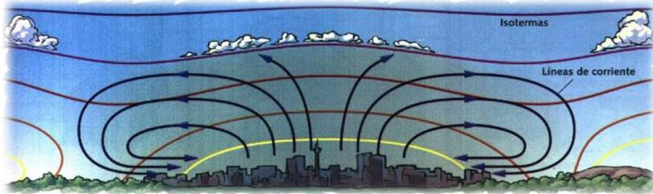


Dúas consecuencias deste proceso son:

- O aire frío próximo ao chan fai que se chegue ao punto de orballo producíndose condensación e néboas, especialmente en zonas próximas a ríos ou lagos.
- As zonas de inversión actúan como un tapón que impide que os fumes ascendan e se dispersen en altura agravando a contaminación, especialmente nas grandes cidades.

c) Illa de calor

Acontece nas grandes cidades onde se produce un incremento da temperatura na súa parte central fronte aos arredores. Isto é debido, por unha banda, ás actividades propias que xeneran calor (transporte, calefaccións, ...) e pola outra a unha maior absorción de radiación solar por superficies escuras (asfalto das carreteras, etc). Na cidade de Londres este incremento pode chegar ata os 6 °C.

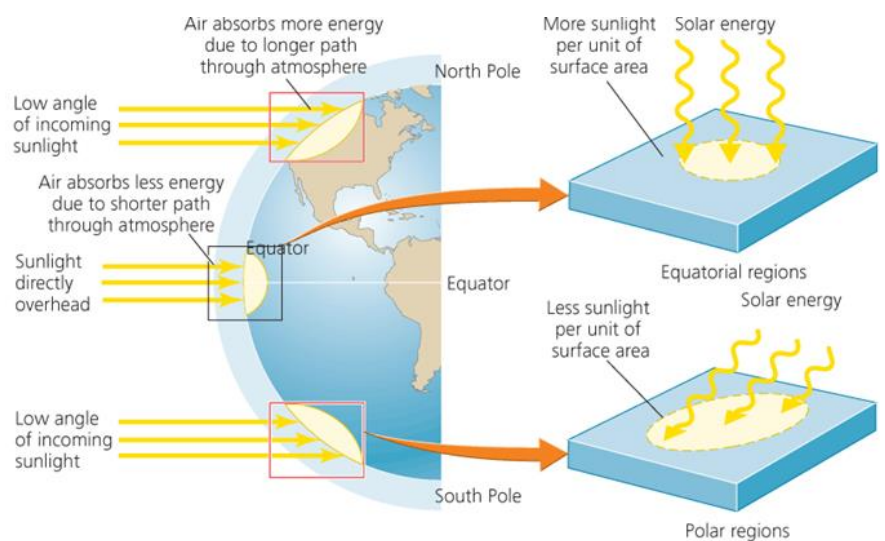
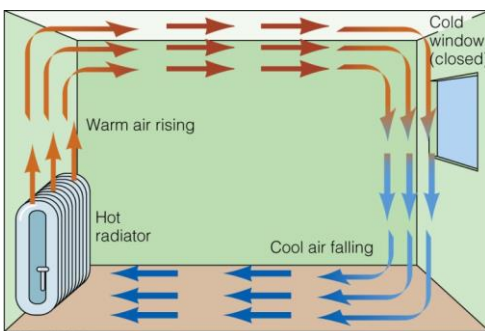


Este incremento xenera unha diminución da presión atmosférica e unha circulación atmosférica no interior da cidade que tes representada no esquema adxunto o que leva asociado un aumento das precipitacións (ata un 20 % máis).

2. 4 - CIRCULACIÓN ATMOSFÉRICA GLOBAL

A circulación do aire a nivel global é o resultado do aquecemento diferencial da atmosfera por parte do sol xunto co efecto da rotación terrestre (coriolis) e a distribución dos continentes e océanos.

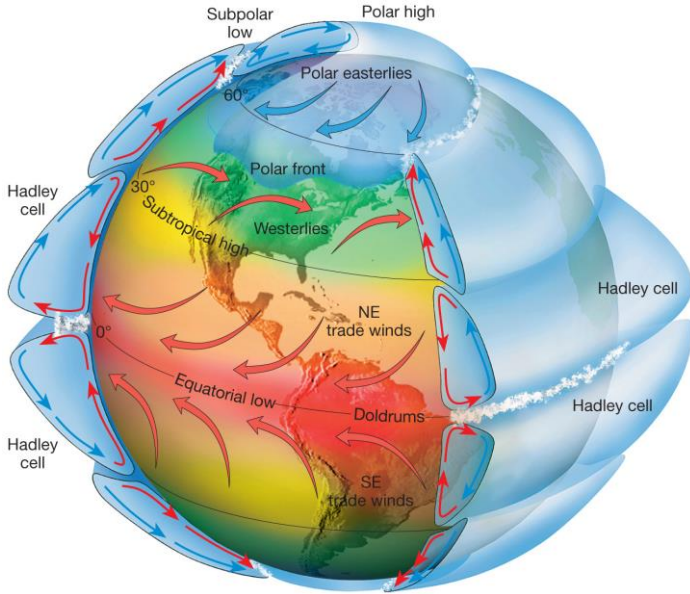
Como podes ver na imaxe da dereita os raios solares inciden perpendicularmente no ecuador e oblicuamente nos polos o que proocia que o calor se concentre na zona



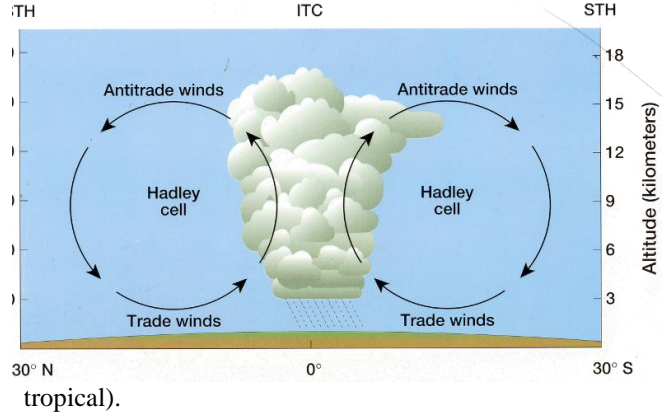
equatorial. Nunha terra estática ese calor se transportaría do ecuador aos polos nunha única célula convectiva similar á representada na imaxe da esquerda: o aire quente no ecuador ascende creando unha zona de baixa presión e é substituído polo aire frío procedente dos polos que se quenta ao chegar novamente ao ecuador.

Debido á rotación terrestre e á distribución dos continentes e océanos a situación é mais complexa e se orixinan tres células convectivas que tes representadas na imaxe da páxina seguinte e que pasamos a describir.

En torno ao ecuador (0º de latitude) o aire se quenta e ascende xenerando unha zona de baixa presión chamada **zona de converxencia intertropical (ZCIT)**. Ao ascender baixa a súa temperatura e se produce condensación e precipitacións o que orixina clima quente e húmido (clima

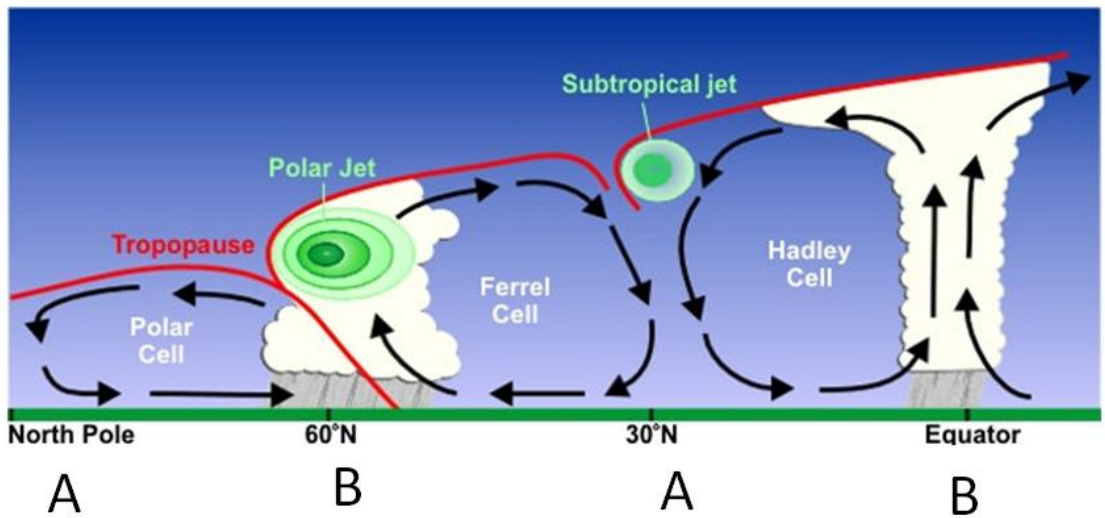


Copyright © 2009 Pearson Prentice Hall, Inc.



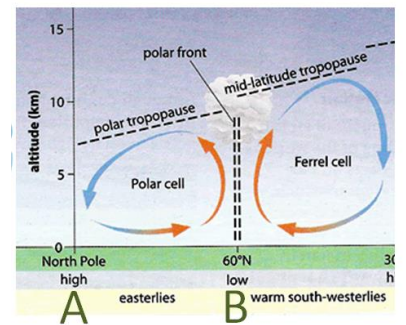
O aire se enfría en altura e descende aproximadamente aos 30º de latitude e regresando novamente ao ecuador co que se completa a primeira das células convectivas (Hadley). Como ves no esquema este movemento de aire xenera en superficie ventos que inicialmente veñen do norte pero polo efecto coriolis son desviados e son do NE no hemisferio norte e SE no sur.

A estes ventos se lles chaman **ventos alisios** (trade winds) e son moi constantes ao longo do ano. Entre os 30 e os 60º de latitude se produce unha segunda célula convectiva

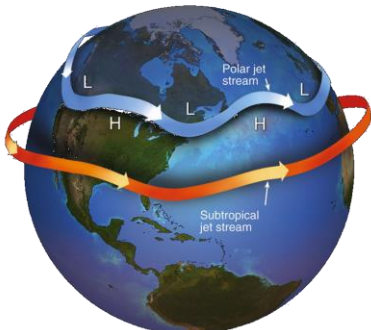


(Farrell). O descenso do aire máis frío e seco da célula anterior produce unha zona de altas presións nos 30º de latitude chamada **altas presións subtropicais** o que orixina climas secos e quentes (o calor do sol é aínda intenso nesas latitudes). A célula se completa co ascenso do aire húmido nos 60º de latitude xenerando ventos inicialmete do sur que son desviados polo efecto coriolis a compoñente oeste e se chaman **westerlies**. Estes ventos non son tan constantes xa que nesta zona predomina a circulación das borrascas e anticiclóns comentada en apartados anteriores.

Nos 60º de latitude se produce o contacto entre aire máis quente e húmido do sur co máis frío e seco das zonas polares o que orixina a **fronte polar** onde hai importantes precipitacións. No verán esta fronte esta fronte está situada moi carao norte onde se comporta como unha fronte estacionaria pero no inverno ao diminuír a temperatura se despraza cara o sur e entra na zona de latitudes medias onde os ventos son máis circulares e se orinan as cicloxéneses das que falamos no apartado anterior. A isto se debe que o clima nas latitudes medias sexa moi variable e cun forte compoñente estacional



A última célula é a célula polar onde o aire frío dos polos xenera altas presións que producen ventos de copoñente norleste (easterlies) que transportan o aire novamente á zona da fronte polar e orixinan climas fríos e secos.

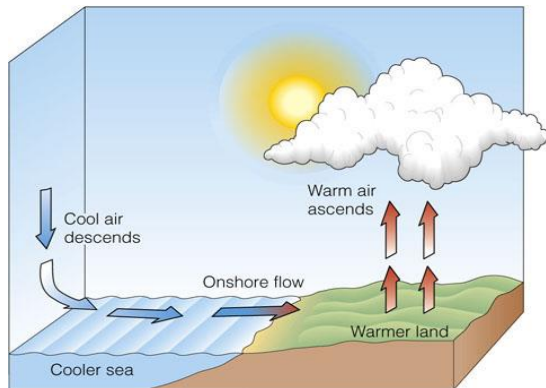


As correntes de chorro

As correntes de chorro ou **jet streams** son fortes ventos (100 - 300 km/h) en altura (10 km, na tropopausa) que seguen unha traxectoria circular de oeste a leste tanto no hemisferio norte como no sur. Forman unhas correntes cilíndricas duns 5 km de diámetro e poden presentar curvas ou sinuosidades como podes ver na figura. Estas sinuosidades se poden acentuar o que leva a que se estrangulen aillando masas de aire frío en altura que quedan en latitudes máis baixas. Hai dúas en cada hemisferio anque as máis importantes e rápidas son as polares.

2. 5 - OUTROS FENÓMENOS METEOROLÓXICOS

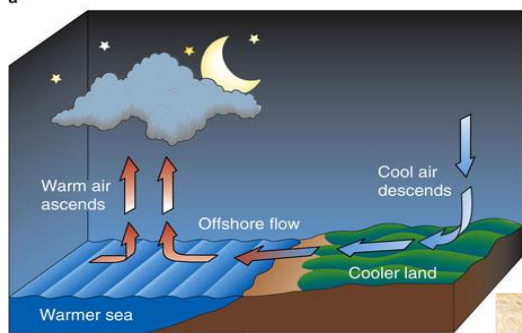
2.5.1 - As brisas



As brisas son ventos suaves que soplan entre o mar a terra nas zonas costeiras. Se deben ao difente calor específico da auga e a terra: a auga ten unha calor específica maior polo que tarda máis en quentarse, pero unha vez que o fai tarda tamén máis en enfriarse. Como podes ver nas figuras as brisas soplan do mar cara a terra durante o día e ao revés durante a noite.

EXERCICIO

Observa as figuras e explica a causa deste diferente comportamento dos ventos nas brisas.

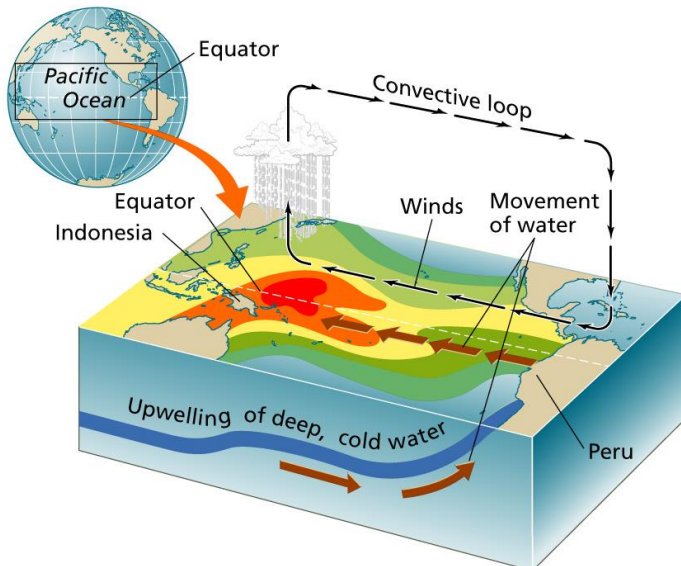
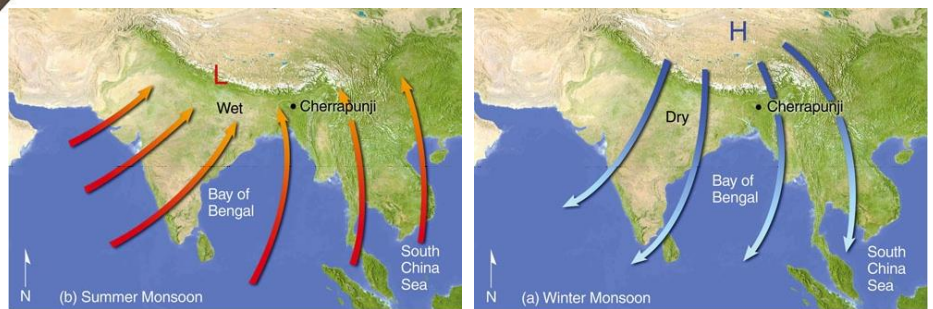


2.5.2 - Os monzóns

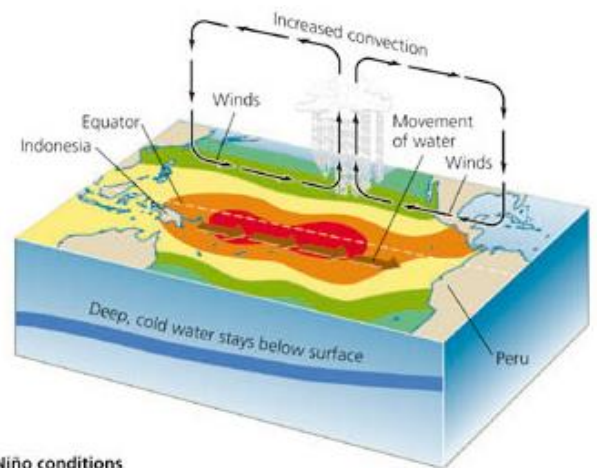
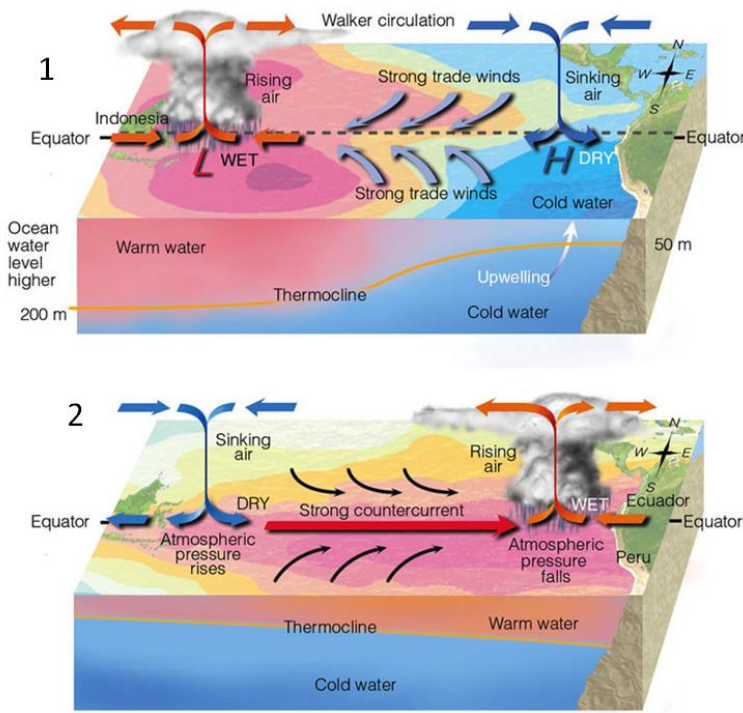
A causa é a mesma ca anterior pero a maior escala. Se dan principalmente na zona do sur de Asia e a India onde ao norte hai unha enorme masa continental mentras que ao sur do Himalaia predomina o océano Índico. Durante o verán (marzo-outubro) o sur de Asia se quenta pola acción do sol o que xenera unha zona de baixas presións, mentras que no entorno da India este aquecemento é menor pola grande cantidade de oceano. Os ventos soplan dende o océano Indico cara Asia deixando choivas na zona da India. No inverno acontece ao revés xa que a terra se enfría máis que o océano e polo tanto as baixas presións estan na zona do océano Índico.

2.5.3 - El niño (ENSO)

El Niño (El niño southern oscillation) é un fenómeno que se repite cunha periodicidade moi variable (entre 3 e 8 anos) na zona do Pacífico sur. A situación normal nesa zona a tes esquematizada no diagrama inferior.



Como podes ver os ventos alisios que soplan do leste desplazan a auga do océano Pacífico das costas de sudamérica o que fai que sexa reemplazada por augas máis profundas e frías. Este fenómeno de afloramento (upwelling) é o responsable da grande produción primaria nesta zona e da súa riqueza pesqueira. Este afloramento de augas frías fai baixar a temperatura do aire da zona creando altas presións e a circulación convectiva do aire que tes representada na figura. As baixas presións se localizan na zona de Nova Zelanda e Australia o que xenera un clima húmido. Cando os alisios se debilitan diminúe o efecto de upwelling e a auga do Pacífico sudamericano é máis quente e xenera unha zona de baixa presión o que despraza a zona de choivas cara o leste podendo chegar a provocar fortes inundacións na zona de Sudamérica e importantes secas en Australia e Nova Zelanda como podes ver representado na figura da páxina seguinte.



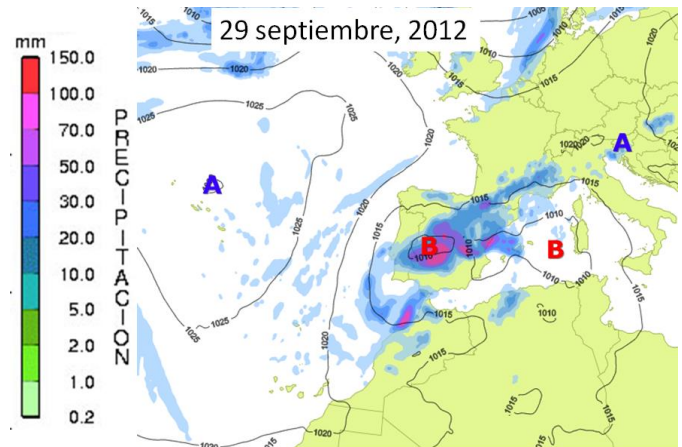
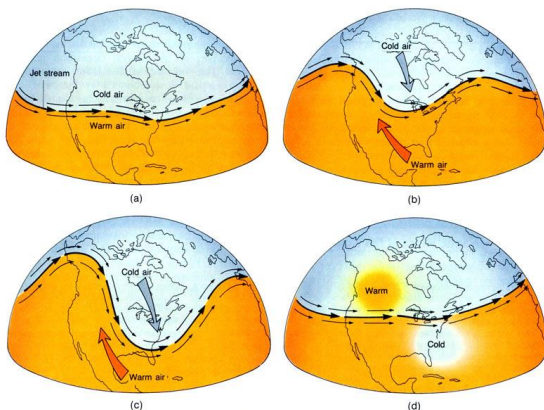
El Niño conditions

O fenómeno de **La niña** acontece cando as condicións normais se ven acentuadas.

EXERCICIO

Observa as figuras da esquerda, indica cal corresponde ca situación normal e cal ca de El Niño e explica o que acontece.

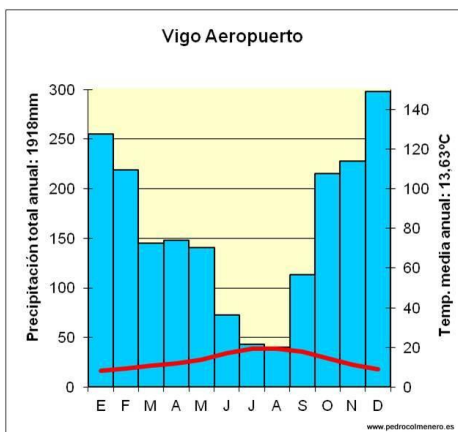
2.5.4 - Gota fría (DANA)



A gota fría ou, según a terminoloxía actual, **depresión aislada en niveis altos** (DANA) é típica, anque non exclusiva, de zonas do mediterráneo a finais do verán.

Acontece cando ao aumentar a temperatura o aire se quenta e orixina unha zona de baixa presión (baixa térmica). Ese aire quente e húmido ascende e se se atopan en niveis altos con aire frío procedente do estrangulamento da corrente de chorro entran en contacto e se produce condensación que xenera fortes choivas moi localizadas.

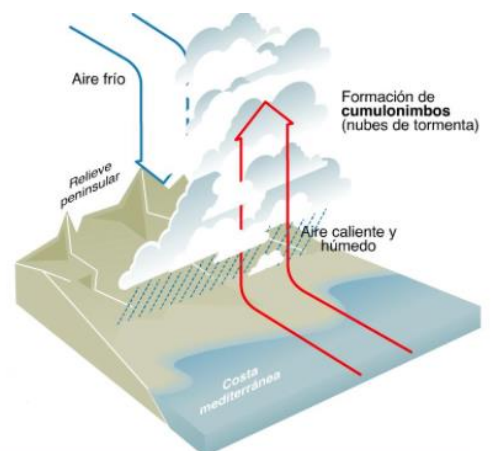
2.6 - TEMPO E CLIMA



Entendemos por **tempo atmosférico** a situación da atmosfera nun momento determinado mentras que cando falamos de clima nos referimos ás condicións climatolóxicas nun período de tempo longo (anos).

Os datos climáticos adoitan representarse nuns diagramas chamados **climogramas** como o que tes representado na figura adxunta.

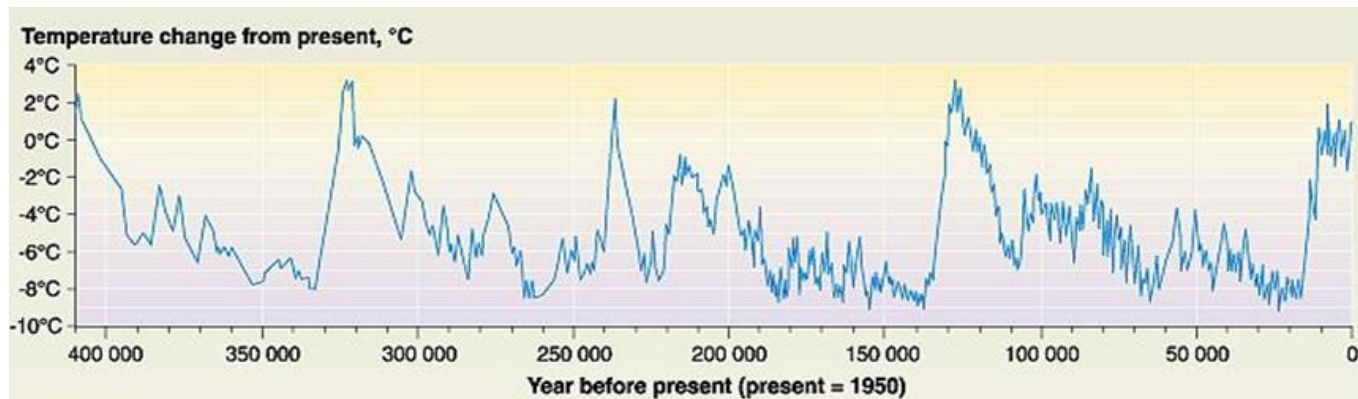
No eixo de abscisas se representan os meses do ano mentras que o eixo de ordeadas ten unha dobre escala: temperaturas e precipitacións acumuladas no mes



correspondente (expresadas en mm que é o mesmo que litros/m²). Os datos se poden referir a un ano concreto ou ser unha media de varios anos como no exemplo da figura. As precipitacións se representan como rectángulos e as temperaturas por puntos que se unen mediante unha liña. As escalas están construídas de tal xeito que se a liña de temperaturas queda por enriba da de precipitacións indica periodo de sequía.

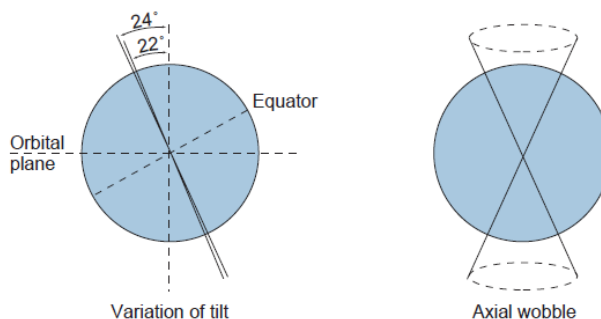
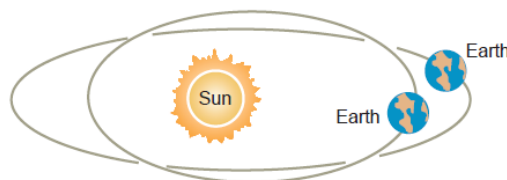
Cambios climáticos

Cambio climático é unha variación nos parámetros climatolóxicos (temperatura, precipitacións, frecuencia de fenómenos extremos, etc) que se mantén no tempo (centos, miles, millóns de anos). Na imaxe inferior tes a variación das temperaturas con respecto á media actual nos últimos 400.000 anos según os datos obtidos da análise do xeo extraído en sondeos feitos na Antártida.

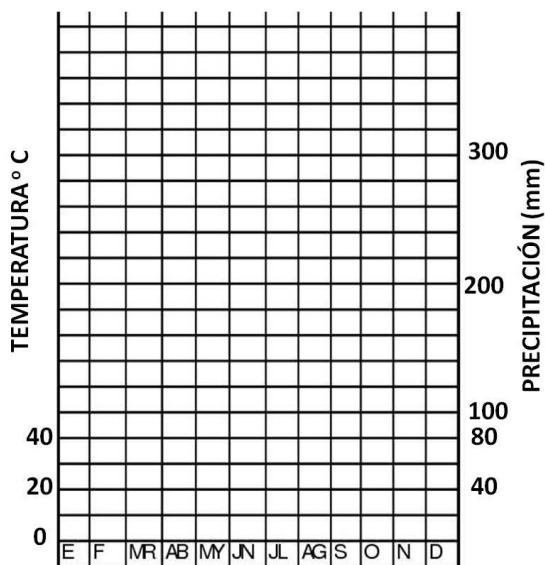


Como podes ver o clima non é constante e entre as causas que ocasionan estes cambios están:

- Variación na actividade solar que provoca aumentos e diminución na enerxía que chega á Terra
- Variación nos parámetros orbitais da Terra, especialmente a inclinación do eixo de rotación e a excentricidade da órbita terrestre (imaxe da dereita).
- Variación nos gases de efecto invernadoiro como no caso descrito no exercicio 2 da páxina 4
- Distribución das masas continentais que producen alteracións na circulación oceánica descrita no tema anterior.



Nos últimos 100 anos, dende que hai rexistos de temperaturas directos, se está a observar un incremento da temperatura terrestre o que leva a algúns investigadores a propoñer un novo episodio de cambio climático que tería que ver a actividade humana e do que falaremos no seguinte apartado.

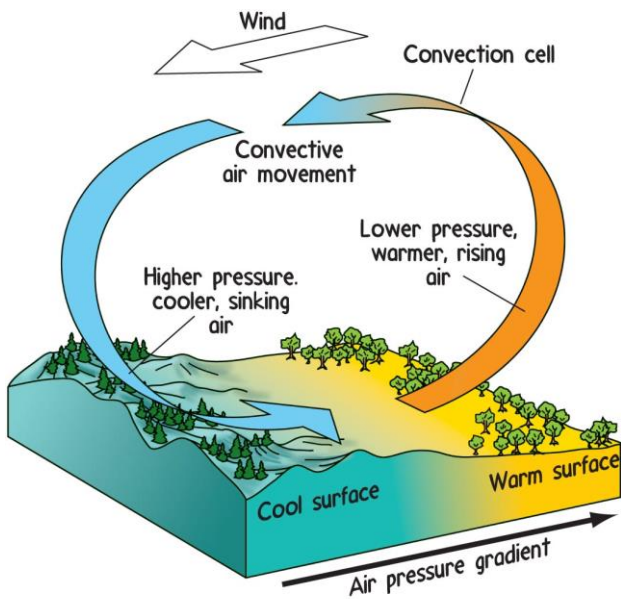


EXERCICIO

Cos datos da táboa inferior debuxa o climograma utilizando o gráfico da esquerda.
 Comparao co da páxina anterior. Qué conclusións sacas?

PARÁMETROS CLIMÁTICOS PROMEDIO DE VIGO (CENTRO) ANO 2015												
MES	XAN	FEB	MAR	ABR	MAI	XUN	XUL	AGO	SET	OCT	NOV	DEC
TEMPERATURA (°C)	9.5	9.1	12.1	15.4	17.3	20.2	20.2	19.6	17.9	16.8	14.6	13.8
PRECIPITACIÓN (mm)	172	110	53	83	74	8	14	38	66	151	49	67

EXERCICIOS



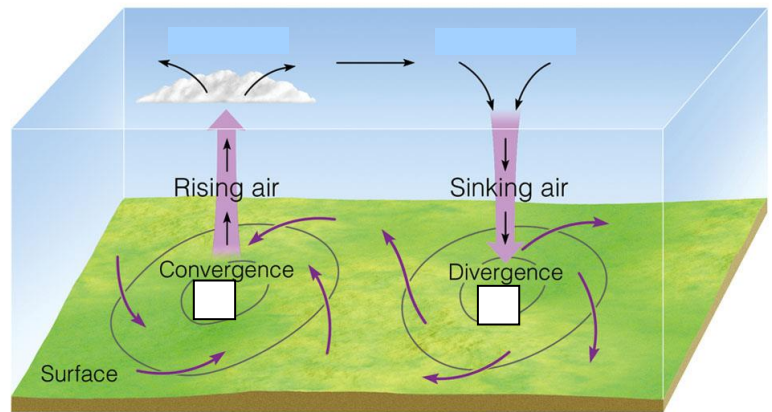
Copyright © 2007 Pearson Education, Inc., publishing as Pearson Addison-Wesley.

3 Contesta ás seguintes cuestións relacionadas coa ATMOSFERA.

- a) Razona como afectan as condicións anticiclónicas e as borrascas na dispersión dos contaminantes.
- b) En que capa da atmosfera se orixinan os fenómenos meteorolóxicos? ¿Por que?
- c) Por que no hemisferio norte as masas de aire nas borrascas xiran en sentido antihorario?
- d) ¿Como se forma unha fronte fría e que provoca?
- e) Cal é a función protectora da atmosfera?.
- f) En que consiste o fenómeno de inversión térmica? Como afecta este fenómeno ó grao de contaminación dunha grande cidade?
- g) De producirse un incremento da temperatura media da atmosfera no planeta, ¿que ocorrería co vapor de auga na atmosfera? E co nivel dos océanos? Razona as respostas.
- h) Que é a fronte polar? É a súa posición constante? Razona a resposta.
- i) Que repercusión ten o fenómeno de El Niño sobre a pesca no Pacífico? Razona a resposta.

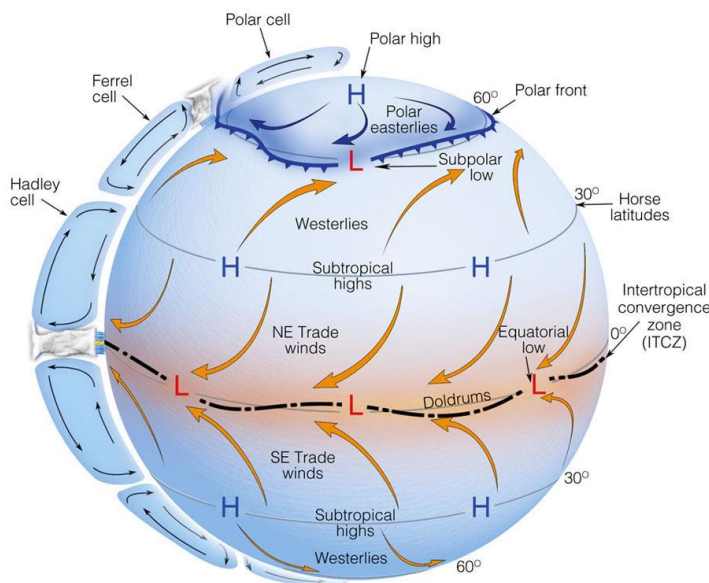
1. A figura da esquerda representa unha célula convectiva na atmosfera.
 - a) A qué se debe o movemento convectivo do aire?. Razona como inflúe nel a temperatura e a humidade.
 - b) Señala no debuxo as zonas de alta e baixa presión atmosférica na superficie.
 - c) Señala a dirección do vento en superficie

2. Observa a figura inferior e responde ás seguintes preguntas
 - a) Señala a zona de anticiclón e a de borrasca
 - b) Por qué o vento segue unha traxectoria curvada en distinto sentido nas zonas de altas e baixas presións?
 - c) Qué acontece cunha masa de aire que ten unha certa humidade a medida que ascende?. Qué entendemos por punto de rosada (rocío)?
 - d) Imaxina que hai unha industria que emite contaminantes gasosos á atmosfera. Razona cómo se produciría a dispersión destes contaminantes no caso de que estivera nunha zona de borrasca ou nunha zona de anticiclón.



© 2007 Thomson Higher Education

4. Observa atentamente a figura inferior e responde ás preguntas que aparecen a continuación:



© 2007 Thomson Higher Education

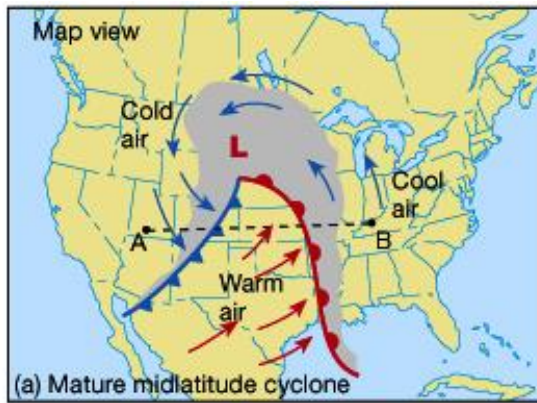
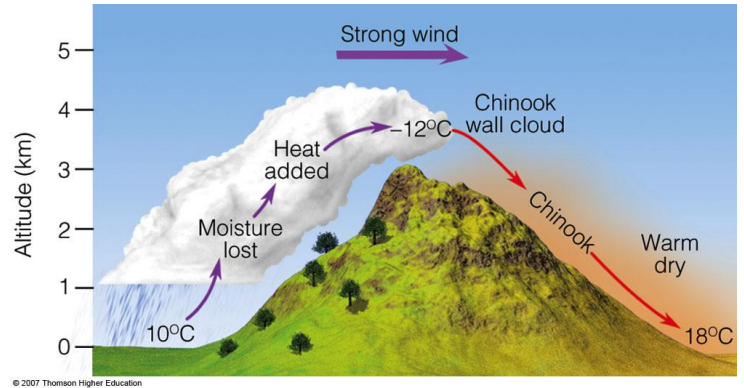
- a) Señala a zona de converxencia intertropical. Indica razoadamente o tipo de clima que presentará e con que bioma está relacionado.
 - b) Señala os ventos alisios e explica cómo se xeneran.
 - c) Sobre os 30 ° de latitude se sitúan a maioría dos desertos da Terra. Por que?
 - d) Sitúa a fronte polar e explica cómo varía a súa posición ao longo do ano e as consecuencias para o clima das latitudes medias.
 - e) Que é a corrente de chorro?
- 5.** Señala como verdadeiras (V) ou falsas (F) as seguintes frases. As respostas erróneas puntuarán negativamente.

- a) O efecto de Coriolis é máximo nos polos e mínimo/nulo no ecuador.
- b) As borrascas dificultan a dispersión da contaminación.
- c) A inversión térmica é un fenómeno que se produce cando a temperatura diminúe coa altura en vez de aumentar.

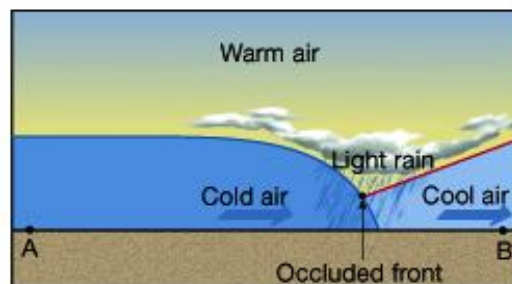
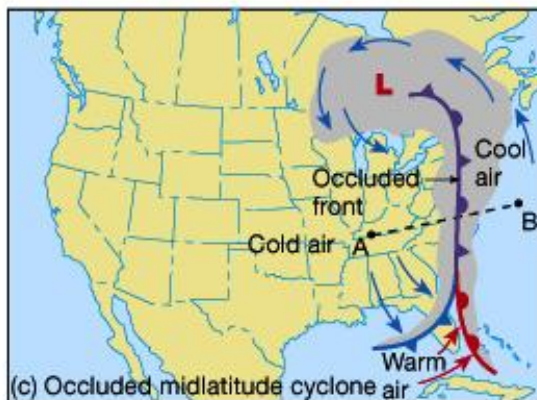
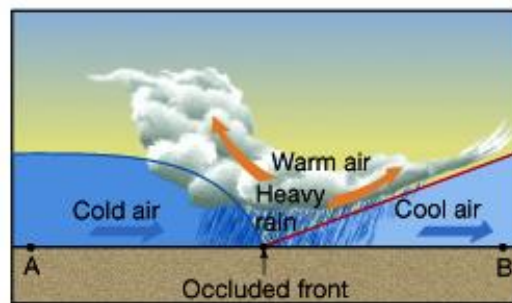
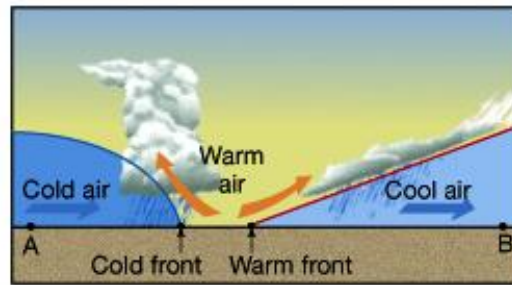
- d) A inversión térmica prodúcese cando a temperatura diminúe coa altura en vez de aumentar.
- e) Os anticiclóns dificultan a dispersión de contaminantes e aumentan os niveis de inmisión destes contaminantes.
- f) Os anticiclóns facilitan a dispersión de contaminantes e aumentan os niveis de inmisión destes contaminantes.
- g) Os seres vivos non modificaron as características químicas da atmosfera até a aparición dos organismos multicelulares eucariotas (plantas e animais).
- h) Unha *illa térmica* é aquela situada próxima ao Ecuador.
- i) Os movementos de convección débense a variacións de temperatura, humidade ou presión atmosférica.
- j) O principal causante do efecto invernadoiro é o vapor de auga

6. Observa a imaxe adxunta e responde ás seguintes preguntas

- a) Define gradiente adiabático seco e gradiente adiabático húmido.
 - b) Describe o que acontece na imaxe e indica as consecuencias deste fenómeno
 - c) Cómo se chama este fenómeno? Indica algún lugar do planeta onde aconteza.
7. Que representa a figura inferior? Describe o que acontece.



Cross sectional view

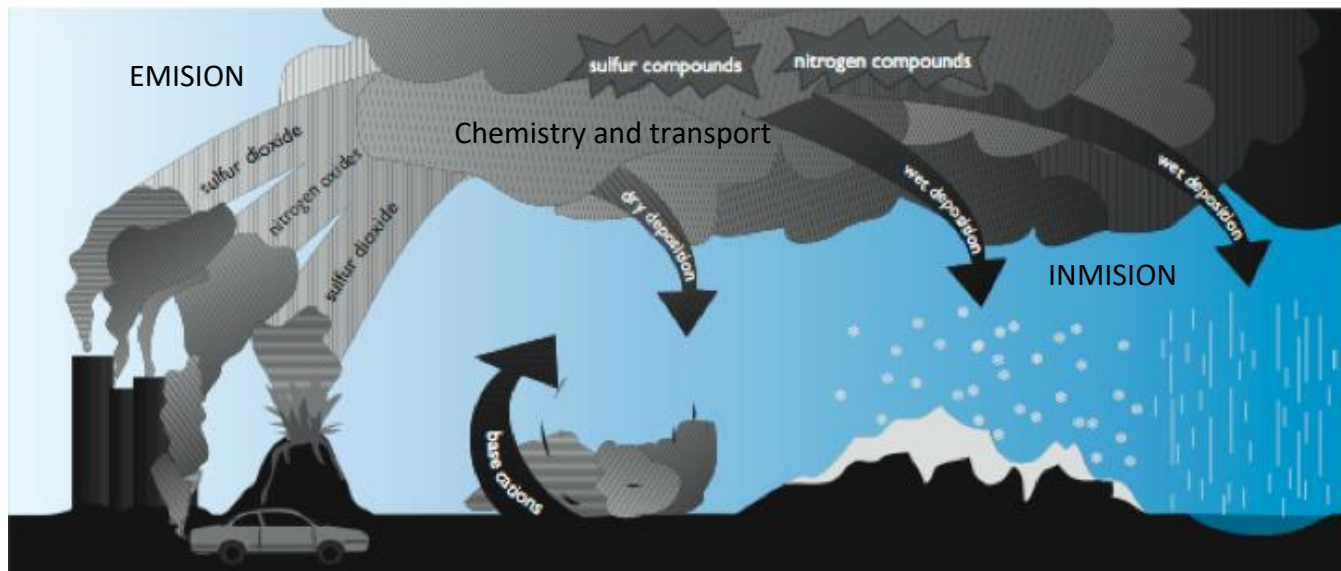


3. CONTAMINACIÓN DA ATMOSFERA

A contaminación atmosférica se debe á presenza de contaminantes. Un **contaminante atmosférico** é calquera substancia ou forma de enerxía presentes na atmosfera que en determinadas concentracións altera as súas características e pode causar dano ou molestia grave ás persoas, outros seres vivos ou bens materiais.

3.1. CONCEPTOS BÁSICOS

A figura inferior resume a dinámica dos contaminantes atmosféricos e a partir dela imos definir algúns conceptos básicos sobre contaminación atmosférica.



EMISIÓN: é a introducción na atmosfera de contaminantes pola acción dunha **fonte de emisión** que pode ser natural: volcán, ser vivo ou antropoxénica (artificial): fábrica, coche. Os contaminantes emitidos son transportados e no seu caso modificados químicamente pola circulación atmosférica.

INMISIÓN: é a concentración dos diferentes contaminantes nun momento dado e nunha zona determinada.

DEPOSICIÓN: é cando os contaminantes chegan á superficie terrestre onde se poñen en contacto cos seres humanos e resto dos seres vivos e bens materiais. A deposición se pode facer de dúas maneiras: **deposición húmida** cando os contaminantes son arrastrados pola auga de precipitación ou **deposición seca** cando non interven a auga (correntes de aire, sedimentación).

CONTAMINANTE PRIMARIO: o que sae directamente da fonte de emisión sen alteracións posteriores.

CONTAMINANTE SECUNDARIO: non saen directamente da fonte de emisión senon que se xeneran por modificacións químicas dos primarios.

TEMPO DE RESIDENCIA: promedio de tempo que permanece un contaminante na atmosfera.

Nas figura tes un diagrama de sectores onde se indica a proporción das distintas actividades humanas que contribuen á contaminación atmosférica antropoxénica.

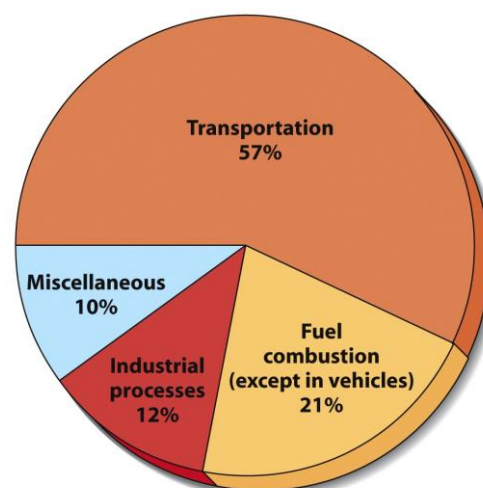
3.2. PRINCIPAIS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

3.2.1- PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN

Son partículas sólidas e gotiñas líquidas de pequeno tamaño e que polo tanto poden permanecer durante certo tempo dentro da masa de aire en suspensión. Adoitan clasificarse según o seu tamaño en dúas categorías: PM_{10} , cun diámetro inferior a $10\ \mu m$ e $PM_{2.5}$ cun diámetro inferior a $2,5\ \mu m$. a súa natureza é moi variada: partículas de po, carbono, microorganismos, sales, metais pesados, etc.

A orixe destas partículas son as combustións tanto industriais como domésticas (fume), actividades industriais e extractivas como a minería ou fábricas de cemento. De xeito natural son emitidas polos volcáns e incendios.

Un **aerosol** é unha mestura homoxénea de partículas sólidas ou líquidas nun gas.



3.2.2- COMPOSTOS DE XOFRE

Neste apartado se inclúen os óxidos de xofre: SO₂ e SO₃ que principalmente proceden da combustión de combustibles fósiles como o carbón e o petróleo. O SO₂ é o contaminante máis frecuente nas cidades e é fortemente irritante cun alto poder de corrosión e causa importantes problemas respiratorios

Outro composto de xofre é o H₂S que se orixina nas refineries de petróleo e fábricas de gas e de xeito natural nas erupcións volcánicas. Adoita estar presente en pequenas cantidades pero é facilmente detectable polo seu cheiro característico a ovos podres.

3.2.3- COMPOSTOS ORGÁNICOS

a) Hidrocarburos

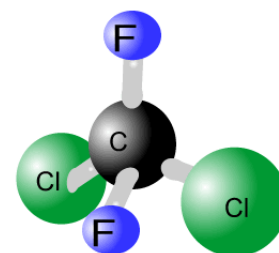
Conteñen exclusivamente carbono e hidróxeno e o seu estado físico depende do número de átomos de carbono. Os de menor números son gases (metano, propano, butano) e participan nos procesos de oxidación fotoquímica que veremos máis adiante. De xeito natural aparecen nos pantanos e nos xacementos petrolíferos e a súa orixe antropoxénica está asociada a ás industrias petrolíferas, gas natural e aos vehículos. Moitos destes hidrocarburos son carcinóxenos.

Dentro dos hidrocarburos merece especial atención o metano (CH₄) que é un importante gas de efecto invernadoiro. De xeito natural se orixina pola descomposición bacteriana anaeróbica (en condicións de pouco osíxeno) de materia orgánica en zonas pantanosas e no intestino dos rumiantes. Artificialmente está asociado a industrias do petróleo e a agricultura do arroz que se cultiva en zonas encharcadas e polo tando con pouco osíxeno.

b) Compostos orgánicos volátiles (VOC)

Son un grupo de compostos orgánicos gasosos a temperatura ambiente entre os que destacan os clorofluorocarburos (CFC's). Os CFC's son compostos que teñen carbono, flúor e cloro como o ilustrado na imaxe que teñen unha orixe antrópica utilizándose principalmente como propelentes dos esprais (axudan a expulsar o seu contido) e na industria da refrixeración.

O seu principal efecto, como veremos máis adiante, é a destruír o ozono estratosférico polo que o seu uso está limitado ou prohibido en moitos países.



3.2.4- ÓXIDOS DE NITRÓXENO

Son un conxunto variado de substancias entre as que destacan o NO e o NO₂ que se coñecen en conxunto como NO_x e son tóxicos a temperatura ambiente. De xeito natural se poden orixinar por descargas eléctricas, erupcións volcánicas e pola acción de certas bacterias do solo mentras que a súa orixe antrópica está na combustión de combustibles fósiles (calefaccións, centrais térmicas, coches).

Outro composto deste tipo é o N₂O que se orixina principalmente como consecuencia do uso de fertilizantes nitrogenados que en contacto co aire se transforman neste gas.

3.2.5- ÓXIDOS DE CARBONO

Son o monóxido de carbono (CO) e o dióxido de carbono (CO₂).

O CO₂ é un composto presente en cantidades importantes na atmosfera sendo un nutriente esencial para as plantas (fotosíntese) e se xenera durante os procesos de respiración celular como vimos no ciclo do carbono. A actividade humana produce importantes cantidades de CO₂ como consecuencia da combustión dos combustibles fósiles o que está levando a un aumento a dúas concentracións o que pode acentuar o efecto invernadoiro como veremos máis adiante.

O CO se xenera maioritariamente por procesos naturais pero a combustión incompleta (en baixas condicións de osíxeno), especialmente nos coches p pode levar a un aumento importante nas cidades. É un gas altamente tóxico e moi perigoso xa que é totalmente incoloro, inodoro e insípido.

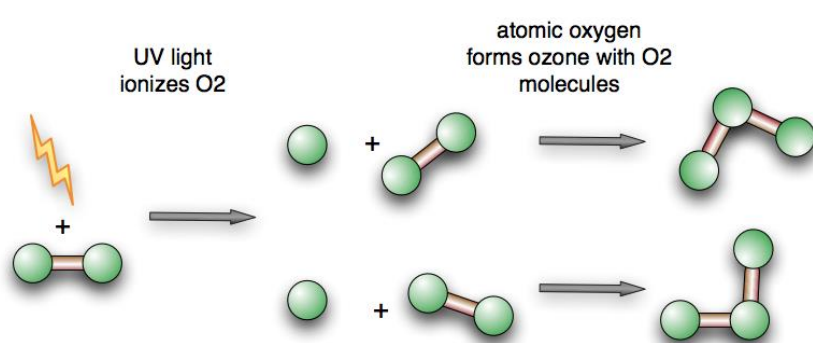
Table 20.2 Health Effects of Several Major Air Pollutants

<i>Pollutant</i>	<i>Source</i>	<i>Effects</i>
Particulate	Industries, electric power plants, motor vehicles, construction, agriculture	Aggravates respiratory illnesses; long-term exposure may cause increased incidence of chronic conditions such as bronchitis; linked to heart disease; suppresses immune system; some particles, such as heavy metals and organic chemicals, may cause cancer or other tissue damage
Nitrogen oxides	Motor vehicles, industries, heavily fertilized farmland	Irritate respiratory tract; aggravate respiratory conditions such as asthma and chronic bronchitis
Sulfur oxides	Electric power plants and other industries	Irritate respiratory tract; same effects as particulates
Carbon monoxide	Motor vehicles, industries, fireplaces	Reduces blood's ability to transport oxygen; headache and fatigue at lower levels; mental impairment or death at high levels
Ozone	Formed in atmosphere (secondary air pollutant)	Irritates eyes; irritates respiratory tract; produces chest discomfort; aggravates respiratory conditions such as asthma and chronic bronchitis

3.3. CONTAMINANTES SECUNDARIOS E FENÓMENOS ASOCIADOS

3.3.1- OZONO (O₃)

Ozone Formation in the Stratosphere

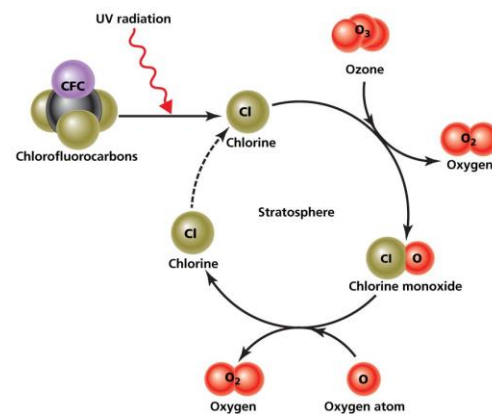


O ozono se orixina na estratosfera pola acción da radiación ultravioleta sobre as moléculas de osíxeno según o esquema da figura da esquerda. Ao mesmo tempo a propia radiación UV tamén destrúe moléculas de ozono polo que existe un equilibrio entre a formación e a destrucción. A máxima concentración de ozono se da na estratosfera a uns 25 km de altitude na chamada **capa de ozono**. Con todo esta concentración non é constante e varia ca época do ano e ca latitude sendo máis alta nos polos ca nas zonas tropicais debido a circulación atmosférica que o transporta cara

latitudes altas.

A capa de ozono ten un papel de filtro xa que absorbe a radiación UV máis perigosa impedindo que chegue ata a superficie terrestre onde tería graves consecuencias sobre os seres vivos, recorda que é causa de mutacións e pode provocar cancro coma o de pel.

Certos contaminantes atmosféricos como os CFC's e os óxidos de nitróxeno, especialmente os xerados polos motores dos avións (adoitan a voar cerca da tropopausa) destrúen as moléculas de ozono diminuindo o grosor da capa de ozono. Estes contaminantes tenden a desplazarse cara os polos pola circulación atmosférica polo que é alí onde o seu efecto é maior xerando o **burato na capa de ozono**. As medidas anticontaminación teñen dado resultado e este problema xa non é tan acuciante.

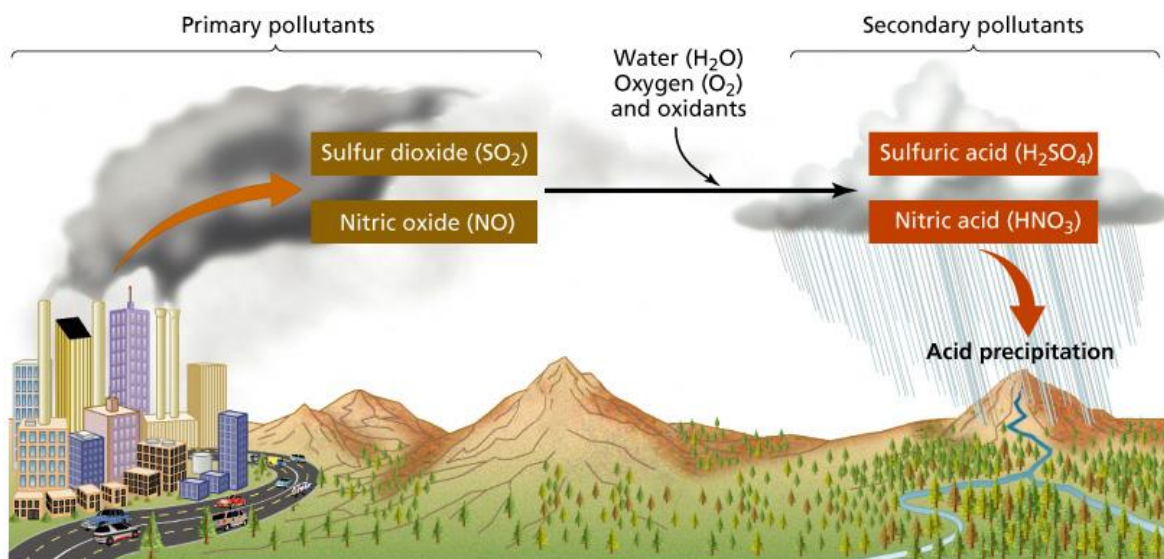


O ozono troposférico

A cantidade de ozono na troposfera é moi baixa pero pode incrementarse pola acción da luz sobre certos contaminantes primarios (smog fotoquímico). Este gas é tóxico para o ser humano provocando graves problemas respiratorios e cardiovasculares incluso en baixas concentración. Por esta razón adoita decirse que o ozono é “bo arriba e malo abaixo”.

3.3.2- A CHOIVA ÁCIDA

A choiva ácida é a deposición de substancias ácidas principalmente ácido nítrico (HNO₃) e sulfúrico (H₂SO₄). Na figura inferior tes un esquema de cómo se xeneran estes ácidos.



Os responsables principais son contaminantes primarios como o SO₂ e os NO_x que se orixinan por combustión de combustibles fósiles en industrias, calefaccións e coches. Estes contaminantes reaccionan ca auga e o O₂ da atmosfera orixinando os ácidos arriba indicados. A deposición (chegada á superficie terrestre dos contaminantes) se pode facer polas

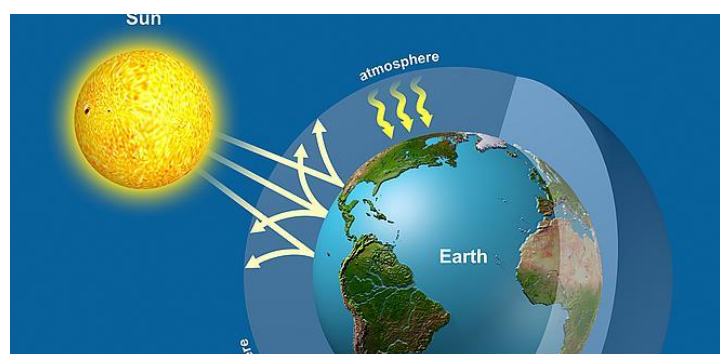
dúas vías xa comentadas: deposición seca, directamente as gotiñas de ácido chegan á superficie (aerosois); deposición húmida, máis frecuente, cando os ácidos van disoltos na auga de precipitación sólida ou líquida.

A choiva normal ten un pH lixeiramente ácido (5,6) debido á presenza do ácido carbónico (HCO₃) orixinado polo CO₂ ao reaccionar ca auga. Se considera choiva ácida cando o pH é inferior a 5, podendo chegar a valores de 3,8 que é o pH do vinagre).

Efectos da choiva ácida:

- Acidificación das augas de ríos lagos e oceanos que afecta a vida neles podendo causar a morte de peixes e outros organismos.
- Acidificación do solo o que altera a dispoñibilidade de nutrientes para as plantas, afectando especialmente ás bacterias fixadoras no nitróxeno.
- Afecta á vida vexetal provocando serios danos e incluso morte de plantas
- É altamente corrosiva para as construción humanas, especialmente os metais e as feitas con rochas carbonatadas (calizas e mármore). Nestas últimas se acelera notablemente a súa meteorización (recorda o que pasaba cando engadimos HCl a estas rochas) nun proceso que se chama **mal da pedra**.

3.3.3- O EFECTO INVERNADOIRO E O AQUECEMENTO GLOBAL

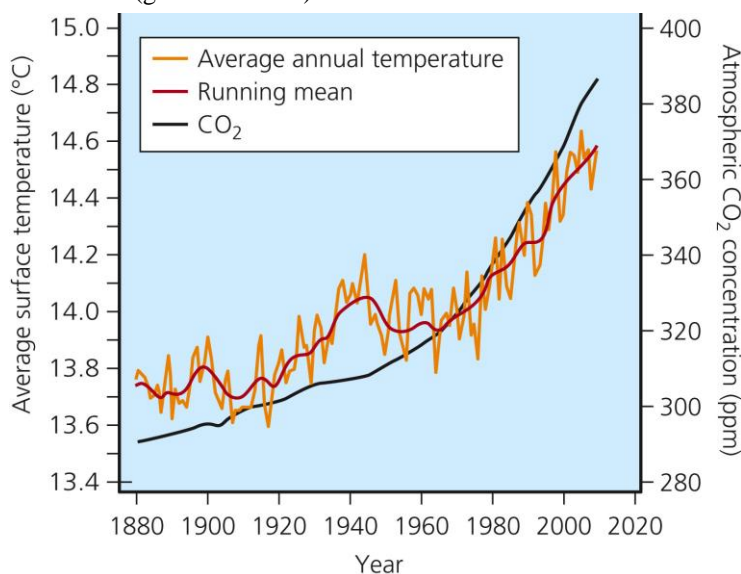


Como recordarás do tema anterior o efecto invernadoiro consiste en que a radiación solar visible atravesa a atmosfera quendando o solo, como consecuencia do cal se emite radiación infravermella parte da cal é absorbida por certos gases da atmosfera o que fai que a enerxía non se escape rapidamente. Isto fai que a temperatura media da Terra sexa duns 15 °C e de non existir este efecto a temperatura sería duns -20 °C.

Na táboa adxunta tes os principais gases responsables deste efecto, tendo en conta a súa concentración na atmosfera.

Nos últimos anos se ven observando un incremento na temperatura terrestre acompañado dun aumento na concentración de CO₂ atmosférico (gráfica inferior).

Compound	Formula	Contribution (%)
Water vapor and clouds	H ₂ O	36 – 72%
Carbon dioxide	CO ₂	9 – 26%
Methane	CH ₄	4–9%
Ozone	O ₃	3–7%



A hipótese máis aceptada para estes datos propón que o aumento do CO₂ sería a causa deste incremento da temperatura debido a un aumento do efecto invernadoiro e a súa vez o aumento do CO₂ tería a súa orixe na actividade humana por dous motivos:

- Incremento das emisións pola combustión de combustibles fósiles
- Incremento da deforestación o que provoca unha diminución do consumo de CO₂ na fotosíntese.

Este fenómeno se coñece como o **aquecemento**

global antropoxénico ou cambio climático global antropoxénico e podería ter, entre outras, as seguintes consecuencias:

- Derretemento do xeo dos casquetes polares o que provocaría un aumento do nivel do mar co asolagamento de moitos asentamentos humanos costeiros.
- Desertización en moitas zonas o que levaría a diminución de colleitas e escaseza de alimentos
- Variabilidade climática rexional con fenómenos meteorolóxicos extremos. Alternancia de épocas de sequía con outras de choivas torrenciais, etc.

Este fenómeno se podería acrecentar por un proceso de realimentación positiva debido a tres factores:

- O derretemento dos polos diminúe o albedo o que fai que se sigan a incrementar as temperaturas
- O efecto do oceano na eliminación de CO₂. Como vimos no ciclo do carbono, parte do dióxido de carbono difunde cara o oceano e se dissolve na auga reaccionando con ela. O produto da reacción é o H₂CO₃ que se pode transformar en bicarbonato e posteriormente en carbonatos que forman calizas. Este proceso depende da temperatura e canto maior é a

temperatura con menor intensidade se produce, polo que ao diminuír a absorción de CO₂ por parte do oceano aumenta a súa concentración na atmosfera.

- Ao incrementarse a temperatura tamén aumenta a cantidade de vapor de auga na atmosfera o que a súa vez incrementa o efecto invernadoiro.

Acordos internacionais: o protocolo de Kyoto e a conferencia de París

Dada a gravidade da situación se están a tomar iniciativas a nivel internacional para tratar de solucionar o problema. Recordamos que a dinámica atmosférica é un proceso global e os contaminantes emitidos nunha determinada zona poden depositarse noutra situada a moitos quilómetros de distancia. O acordo máis salientable neste aspecto é o **protocolo de Kyoto** firmado en 1997 polo que establecen unha serie de cuotas de emisión de gases de efecto invernadoiro co obxectivo de reducir estas emisións. De momento non está a dar os resultados esperados debido principalmente ás reticencias de USA e China que son os principais emisores. Periodicamente existen cumios para actualizalo e tentar acadar novos acordos como o de París no ano 2015.

3.3.4- NÉBOAS CONTAMINANTES OU SMOG

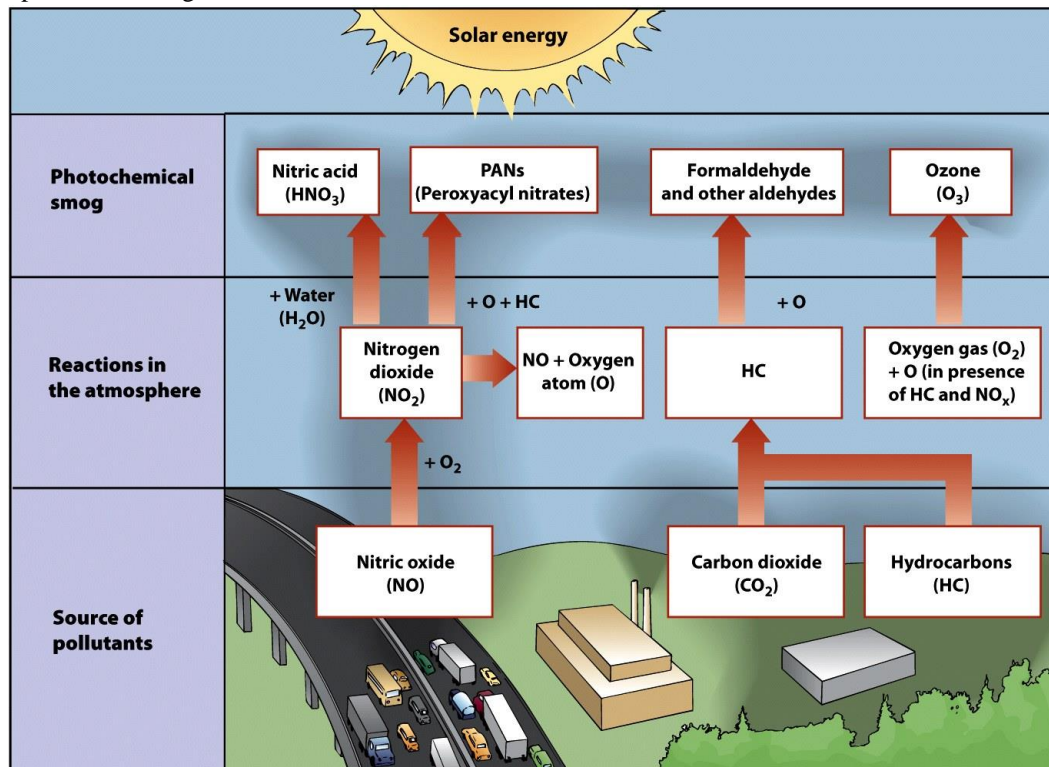
As néboas contaminantes ou smog (smoke= fume, fog= néboa) é unha mestura de distintos contaminantes no aire asociado xeralmente ás zonas urbanas en condicións anticiclónicas que dificultan a dispersión de estes. Existen dous tipos: industrial e fotoquímico.



a) Smog industrial ou sulfuroso

Se en condicións de elevada humidade ambiental e baixas temperaturas polo que adoita acontecer no inverno onde se favorece a formación de intensas néboas.

Se nestas condicións se produce unha forte emisión de contaminantes, especialmente SO₂ e partículas (fume), procedentes de calefaccións, industrias, tráfico rodado, etc estes se mesturan coa auga das néboas orixinando contaminantes secundarios como a H₂SO₄. Toda esta mestura de contaminantes primarios e secundarios permanece na atmosfera moi próxima ao chan dadas as condicións anticiclónicas causando graves danos na saúde das persoas, especialmente no aparello respiratorio. O episodio de smog acontecido en Londres entre o 5 e o 9 de decembro de 1952 causou a morte a 12.000 persoas.

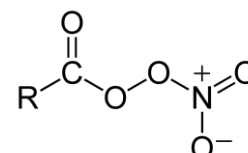


b) Smog fotoquímico

Máis complexo ca o anterior se dá en condicións de temperaturas máis altas e baixa humidade, polo tanto propio do verán ou de zonas máis cálidas con fotoperíodos máis longos. Nestas condicións os contaminantes primarios sufran unha serie de complexas e aínda non totalmente ben coñecidas reaccións químicas provocadas pola radiación solar (de ahí o nome de fotoquímico) e que tes esquematizadas na figura adxunta.

Os principais contaminantes primarios involucrados son os

óxidos de nitróxeno e os hidrocarburos orixinados polas reaccións de combustión (tráfico, industrias). O resultado son unha serie de contaminantes secundarios: PAN, aldehidos, O₃ que xunto cos primarios forman unha neboa espesa de cor marrón moi perxudicial para a saúde, especialmente para o aparello respiratorio. En concreto os PAN (nitratos de peroxiacilo, fórmula da figura) son carcinóxenos e provocan cancro de pel.



Alguns dos contaminantes secundarios mencionados son tamén fortes oxidantes e teñen grande poder de corrosión polo que tamén provocan graves danos en construcións e bens materiais. Na imaxe tes unha gráfica onde se ve a evolución da concentración destes ao longo do día nun episodio de smog fotoquímico.

3.4. A DISPERSIÓN DOS CONTAMINANTES

Unha vez que un contaminante é emitido pola fonte de emisión adoita ser transportado polas correntes de aire e dispersado por unha zonas máis ou menos ampla dependendo dalgunhas condicións. Velahí algunhas delas:

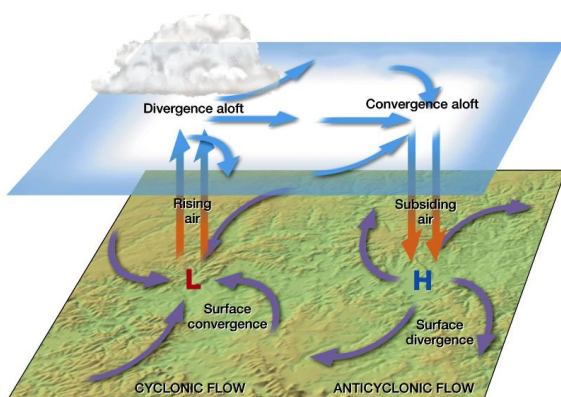
a) Características das emisións

Tanto ás características dos contaminantes como da fonte emisora. Polo que respecta ás propiedades dos contaminantes destaca a temperatura de emisión (canta máis temperatura menor densidade e tende á ascender), tamaño das partículas (as máis grandes tenden a depositarse con maior rapidez), etc.

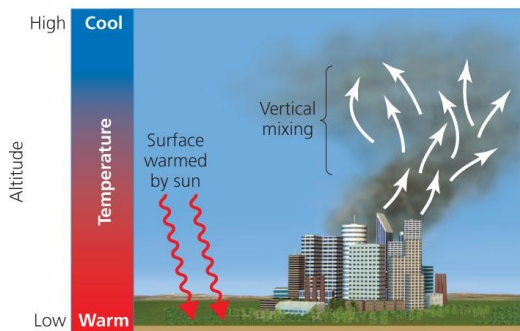
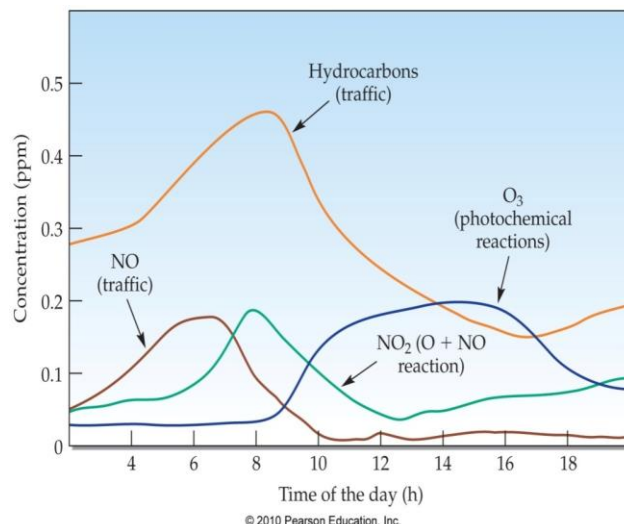
As características da fonte de emisión tamén son importantes por exemplo altura das chemineas que facilita a dispersión dos contaminantes.

b) Condicións atmosféricas

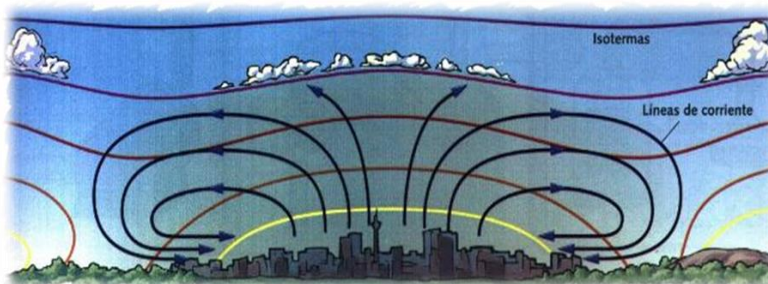
Podemos destacar:



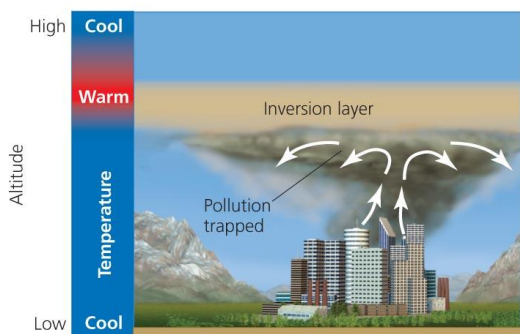
- Zonas de borrascas e anticiclóns. Os anticiclóns por ser zonas de converxencia en superficie tenden a acumular os contaminantes aumentando os niveis de inmisión, mentras que nas borrascas acontece o contrario como podes ver na figura da esquerda).
- Gradientes verticais de temperatura que provocan movementos convectivos. Por exemplo as inversións térmicas dificultan a dispersión dos contaminantes xa que o aire frío en superficie é máis denso e non ascende arrastrando os contaminantes, ademáis o aire máis quente en altura pode dificultar o ascenso das emisións que normalmente saen a altas temperaturas (figura inferior esquerda). Outra situación que dificulta a dispersión dos contaminantes é a illa de calor, normalmente asociada a zonas urbanas, que crea unha diferenza de presión atmosférica entre o centro a periferia o que xenera unha circulación de aire no interior da cidade que fai recircular os contaminantes en vez de dispersalos (figura inferior dereita).



(a) Normal conditions



- Precipitacións. A existencia de precipitacións fai un efecto de lavado dos contaminantes atmosféricos (especialmente partículas en suspensión) e as condicións de borrascas asociadas a elas facilitan a dispersión dos outros contaminantes.



(b) Thermal inversion

3.5. MEDIDA DA CALIDADE DO AIRE

Debido aos riscos para a saúde das persoas e os danos materiais que poden ocasionar existen na maioría dos países unha rede de estacións que miden a concentración dos distintos contaminantes no aire. Estas estacións (fotografía da páxina seguinte) conteñen aparellos que por distintos procedementos deteminan de xeito continuo a cantidades destes



contaminantes. A partir destes datos se define o índice de calidade do aire (ICA ou AQI) que permite identificar os riscos da contaminación atmosférica e no seu caso tomar as medidas correctoras correspondentes. Na taboa inferior tes os contaminantes que se utilizan para definir o ICA e as calificacións do estado de contaminación para os distintos valores destes contaminantes.

ICA	O ₃ (ug/m ³)		NO ₂ (ug/m ³)	CO (mg/m ³)		SO ₂ (ug/m ³)		PM ₁₀ (ug/m ³)	PM _{2,5} (ug/m ³)
	1h	8h	1h	8h	1h	24h	24h	24h	
Muy mala	≥240	≥180	≥400 (≥3h)	≥15	≥500 (≥3h)	≥200	≥75	≥60	
Mala	180-240	120-180	≥200	10-15	≥350	125-200	50-75	40-60	
Deficiente	120-180	80-120	80-200	6-10	125-350	90-125	40-50	25-40	
Admisible	80-120	60-80	40-80	3-6	70-125	50-90	25-40	15-25	
Buena	0-80	0-60	0-40	0-3	0-70	0-50	0-25	0-15	

Bioindicadores.

Un bioindicador é un organismo ou grupo de organismos que viven nunhas condicións determinadas e que polo tanto a súa presenza nos permite deducir a existencia destas condicións. Por outra banda certos bioindicadores tamén poden experimentar cambios no seu aspecto en función das condicións ambientais polo que a observación destes cambios nos permite deducir a existencia destas condicións. Algunhas vantaxes dos bioindicadores fronte ao análese físico-químico clásico son:

- Adoitan permanecer no hábitat a estudar durante longos periodos de tempo, polo que están sometidos ás condicións ambientais da zona e polo tanto á acción dos contaminantes.
- O estudo dos bioindicadores tamén nos permite observar o efecto dos contaminantes sobre eles: diminución do crecemento, aparición de malformacións, cambios de coloración, etc., é dicir os bioindicadores nos permiten coñecer a presenza dos contaminantes e tamén o seu efecto nos seres vivos
- Moitos bioindicadores son bioacumuladores (recorda este concepto do tema de ecoloxía) o que quere dicir que almacenan os contaminantes ao longo do tempo facendo máis doado a súa determinación (metais pesados, etc).

Polo que respecta á contaminación atmosférica son especialmente sensibles a ela os líques (especialmente aos niveis de SO₂) e existe unha escala das especies de líques que podemos atopar en diferentes condicións de contaminación. Na taboa tes uns datos simplificados dos rangos de tolerancia de certos líques para concentracións de SO₂ atmosférico.

[SO ₂] (ug/m ³)	GRAO CONTAMINACIÓN	LIQUES	DESCRIPCIÓN
150-170	Moi alta	Non existen	
125	Alta	Lecanora	Liquen crustaceo gris: forma costras nas rochas
60-50	Media	Xanthoria	Lique crustaceo amarelo
40	Escasa	Parmelia	Lique foliaceo: forma láminas en rochas ou cortiza das árbores
< 35	Inexistente	Evernia, Ramalina, Usnea	Liques fruticulosos: forman filamentos que sobresaen do sustrato



Xanthoria, lique crustaceo



Parmelia, lique folioso



Usnea, lique fruticuloso

3.6. MEDIDAS DE PREVENCIÓN E CORRECCIÓN

Son unha serie de actuación tendentes a dimuir ou correr o problema da contaminación atmosférica. As medidas preventivas pretenden evitar que aconteza a contaminación mentgras que as correctoras tratan de restaurar a calidade do aire uha vez que foi contaminado. Como podes ver nas descrições algunhas se poden incluír nas dúas categorías.

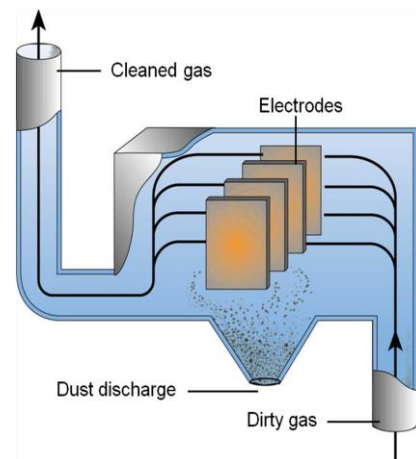
3.6.1- Medidas preventivas

Podemos sinalar:

- Planificación e usos do solo, mediante o cal se sitúan as industrias e outras infraestruturas nos lugares onde o impacto da contaminación sexa menor por estar lonxe de poboacións ou en zonas de fácil dispersión dos contaminantes.
- Avaliación de impacto ambiental. Son estudos que se realizan antes de intalar unha industria ou obra pública e que permiten predecir o grao de contaminación que xenera. Con estes estudos se pode recomendar a súa ubicación máis axeitada e incluso prohibir a súa construción.
- Emprego de tecnoloxías de de baixa ou nula emisión de contaminantes, tanto nas industrias como nas fontes de enerxía. Por exemplo as centrais térmicas de xeración de electricidade se poden substituír por eólicas, hidroeléctricas ou nucleares que emiten menos contaminantes atmosféricos.
- Programas de investigación para desenvolver novas tecnoloxías de baixa emisión ou que reduzan a contaminación das existentes.
- Educación ambiental para conciencias á poboación sobre uso do transporte público, utilización de enerxías limpas, etc.

3.6.2- Medidas correctoras

- Utilización nas industrias con forte emisión de contaminantes de dispositivos que reducen estas emisións como filtros, procedementos químicos ou eléctricos. Un exemplo son os precipitadores electrostáticos (figura adxunta) que retén as partículas en suspensión antes de enviar o gas ao exterior. Se sitúa nas chemineas das industrias e debe ir acompañado dun mecanismo limpo de eliminar estas partículas unha vez separadas.
- Expulsión dos contaminantes por chemineas altas o que facilita a dispersión dos contaminantes.
- Restriccións ao tráfico rodado, por exemplo facendo circular matrículas pares e ipares en días alternos ou limitando a circulación no centro das cidades so aos residentes. Estas medidas deben ir acompañadas do fomento do transporte colectivo.



3.7. OUTRAS FONTES DE CONTAMINACIÓN

Entre elas cabe salientar:

- Contaminación sonora: presenza de sons de alta intensidade e desagradables para as persoas (ruído) provocado en moitas actividades humanas. Pode causar danos na saúde, tanto física (especialmente perdas de audición) como psíquicas (alteracións do sono, estrés, etc)
- Contaminación lumínica: presenza de luz non desexada especialmente o resplandor nocturno provocado por unha inaxeitada iluminación acentuada pola refracción dos aerosois atmosféricos. Afecta notablemente a fauna e flora nocturnas alterando os seus ciclos vitais e incluso pode causar trastornos aos seres humanos (trastornos do sono, dificultades de visión)
- Contaminación biolóxica, se debe a presenza de microorganismos, esporas, pole etc. que en determinadas circunstancias pode ocasionar trastornos a saúde. Esta contaminación se considera como partículas en suspensión anque pola súa peculiaridade existen redes de vixilancia específica para algunhas delas como por exemplo o pole que adoita provocar problemas de alerxia.

EXERCICIOS

1. Contesta á seguintes cuestións relacionadas coa ATMOSFERA.

- 1.1. En que consiste o fenómeno de inversión térmica? Como afecta este fenómeno ó grao de contaminación dunha grande cidade?
 - 1.2. De producirse un incremento da temperatura media da atmosfera no planeta, Que ocorrería co vapor de auga na atmosfera? E co nivel dos océanos? Razoas as respostas.
 - 1.3. Que efecto ten a choiva ácida sobre os solos e sobre a vexetación?
 - 1.4. Cales son as posibles accións antrópicas que liberan os gases que están implicados no efecto invernadoiro?
 - 1.5. Cal é a acción / efecto dos CFC na capa de ozono e as repercusións medioambientais de dita acción?.
 - 1.6. Por que no hemisferio norte as masas de aire nas borrascas xiran en sentido antihorario?
2. A táboa seguinte representa o tempo de residencia na atmosfera de certos

Contaminante	Tiempo
N ₂ O.....	12 a 150 a
NO/NO ₂	5 a 30 d
NH ₃	7 d a 3 m
CO	1 a 3 m
SO ₂	4 a 14 d
H ₂ S.....	h a 4 d
CH ₄	4 a 10 a
CFC _s	2 a 380 a

Clave: h = horas, d = días, m = meses, a = años

contaminantes. En relación con ela, **contesta as cuestións** que se presentan.

- 2..1. Elixe DOUS compostos da táboa e sinala cuál é a súa procedencia.
- 2.2. Con que problema ou problemas ambientais están relacionados os dous primeiros?
- 2.3. Que factores/mecanismos inflúen na dispersión dos contaminantes atmosféricos?
- 2.4. Cita TRES medidas preventivas e TRES medidas correctoras contra a contaminación atmosférica

3. Le o seguinte artigo de prensa e responde ás cuestións do final

13 diciembre, 2015

Aire irrespirable: ¿qué diferencia la 'boina' madrileña del cielo de Pekín?



Comunicar Ciencia

Blog del Máster en Comunicación Científica, Médica y Ambiental de la UPF Barcelona School of Management

Durante las últimas semanas, y coincidiendo con la Cumbre del Clima en París, hemos sido testigos de los **graves episodios de contaminación** del aire en Pekín y otras ciudades chinas, llegando a alcanzar niveles nunca vistos que han puesto en alerta a las autoridades del país, que prohibían la circulación, cerraban fábricas y aconsejaban a los ciudadanos quedarse en casa. Con niveles de partículas en suspensión hasta **25 veces por encima** de los límites que recomienda la OMS, el **smog** de la capital china dejaba imágenes que parecían de ciencia ficción e inundaban las redes sociales.

En Madrid, la conocida **'boina'** hacía acto de presencia, los niveles de **dióxido de nitrógeno (NO₂)** se elevaban a más de 200 microgramos por metro cúbico y el Ayuntamiento ponía en marcha el protocolo de actuación para estos casos, prohibiendo aparcar en el centro, aplicando restricciones de velocidad y recomendando a los madrileños no hacer ejercicio al aire libre. A simple vista, es obvio que la situación en cualquier ciudad china es muchísimo peor que en una ciudad como Madrid, de poco más de 3 millones de habitantes. Pero, visibilidad aparte, ¿qué diferenciaba esos días el cielo de Madrid del **smog** de Pekín?

El término **smog**, un anglicismo resultado de las palabras smoke (humo) y fog (niebla), empezó a utilizarse a principios del siglo XX en Inglaterra, para denominar una espesa niebla cargada de sustancias tóxicas, entonces hollín y azufre, consecuencia de la contaminación del aire provocada por la combustión del carbón. En los años 60 se identificaron dos tipos de contaminación del aire que podían provocar este **smog**:

La primera, típica del **Londres** de la época, que se solía producir en invierno, en condiciones húmedas y de baja insolación ante emisiones fuertes de dióxido de azufre (SO₂) procedentes de la quema de combustibles fósiles (sobre todo carbón) para calentar los hogares, que daba lugar al fenómeno conocido como **lluvia ácida**.

La segunda, típica de **Los Ángeles** (y hoy en día de la mayoría de ciudades del mundo), y conocida como **smog fotoquímico**, se solía producir en condiciones de fuerte insolación, poco viento y por la presencia de **óxidos de nitrógeno** e **hidrocarburos** procedentes, sobre todo, de la intensidad del tráfico rodado. Esta mezcla daba lugar a la formación de **ozono**, el mismo gas que forma la famosa capa en la estratosfera, pero a una altura mucho menor, y que tenía un fuerte carácter irritante. La **'boina' madrileña** se corresponde, pues, con éste último tipo de contaminación.

En las **ciudades chinas**, en cambio, la bruma de contaminación se caracteriza por concentraciones muy elevadas de **dióxido de sulfuro** y de dióxido de nitrógeno, procedentes de la **combustión de carbón**, sobre todo, para la calefacción doméstica en invierno, pero también de las centrales térmicas que producen electricidad. La intensa actividad industrial también constituye un foco de emisión importante de estos gases, además de otros compuestos de azufre y nitrógeno.

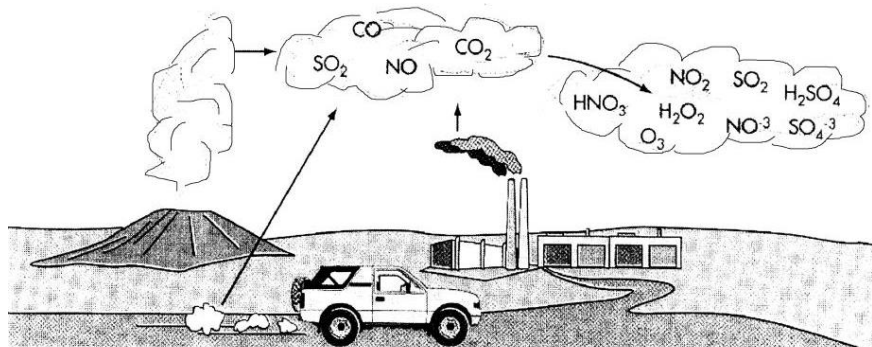
Pero una de las **grandes diferencias** del cielo de Pekín con el de Madrid es, sobre todo, la enorme cantidad en el primero de **partículas en suspensión**, especialmente las inferiores a 2,5 micras (PM2.5), formadas generalmente por aerosoles, partículas de combustión y metales pesados, que **limitan la visibilidad** y tienen efectos muy nocivos para la salud, deteriorando los sistemas respiratorio y cardiovascular, ya que pueden llegar hasta el torrente sanguíneo. De hecho, el contacto prolongado con estas partículas está relacionado con enfermedades como el cáncer de pulmón.

En cualquier caso, el problema en Madrid y en otras ciudades europeas no es menor: la contaminación del aire causa 430.000 muertes prematuras al año¹. Pero mientras en China la solución pasa, para empezar, por reducir la dependencia del carbón, en Madrid la creación de zonas de bajas emisiones o la restricción del tráfico son medidas que podrían ayudar a solucionar el problema.

1- 25 de marzo de 2014 | Ginebra - En nuevas estimaciones publicadas hoy, la Organización Mundial de la Salud (OMS) informa de que en 2012 unos 7 millones de personas murieron –una de cada ocho del total de muertes en el mundo– como consecuencia de la exposición a la contaminación atmosférica. Esta conclusión duplica con creces las estimaciones anteriores y confirma que la contaminación atmosférica constituye en la actualidad, por sí sola, el riesgo ambiental para la salud más importante del mundo.

- a) Como nos define o texto smog e qué variedades existen? Explica as diferencias entre elas
- b) Que son as partículas en suspensión e cómo afectan á saúde?
- c) Cantas mortes prematuras ao ano causa a contaminación atmosférica?
- d) Cal é a actividade humana que provoca maior contaminación atmosférica e onde se concentra preferentemente?

4. A seguinte figura mostra diferentes actividades que afectan á contaminación atmosférica. Observa e **contesta as cuestións** que se presentan.



- 4.1. Que efecto produce o incremento destes gases na atmosfera? Razona a contestación.
- 4.2. Cal é a acción / efecto dos CFC na capa de ozono, e cales son as repercusións medioambientais de dita acción? Sinala unha fonte de emisión dos CFC á atmosfera.
- 4.3. Como inflúen as borrascas e os anticiclóns na dispersión dos contaminantes atmosféricos?

5. Sinala como verdadeiras (V) ou falsas (F) as seguintes frases.

- a) O protocolo de Kyoto estableceu un mercado de cotas de emisións á auga.
- b) A combustión dos hidrocarburos emite á atmosfera grande cantidade de CO₂, óxido de S e metais pesados.
- c) As borrascas dificultan a dispersión da contaminación.
- d) A combustión dos hidrocarburos emite á atmosfera grande cantidade de óxido de S, o cal favorece o efecto invernadoiro.
- e) A combustión de carbón é unha causa da chuvia ácida
- f) nivel de ozono estratosférico varía diariamente ou estacionalmente en función da cantidade de radiación solar recibida.
- g) A capa de ozono presenta o seu grosor máximo no ecuador e mínimo nos polos.
- h) A combustión de carbón é unha causa da chuvia ácida
- i) O efecto illa térmica potencia os danos da chuvia ácida
- j) A combustión dos hidrocarburos emite á atmosfera grande cantidade de CO₂, o cal favorece o efecto invernadoiro.
- k) Os movementos de convección débense a variacións de temperatura, humidade ou presión atmosférica.
- l) Os CFC son compostos que contribúen ao chamado efecto invernadoiro e á diminución da capa de ozono estratosférica.
- m) A emisión de CO₂ e hidrocarburos á atmosfera provocan a chuvia ácida e o "mal da pedra".

6. Observa a figura inferior e responde ás seguintes preguntas:

- a) Explica a diferenia entre contaminante primario e secundario. Cal é cal no caso da figura?
- b) Indica algúns efectos das contaminacións representadas na figura
- c) Cita dúas medidas preventivas e dúas medidas preventivas dúas correctoras deste probema

