

OS SISTEMAS FLUÍDOS: A ATMOSFERA.

- 1. Atmosfera: estrutura e composición:**
 - 1.1. Formación:
 - 1.2. Composición:
 - 1.3. Estrutura:
 - 1.4. Física da atmosfera:
 - 1.4.1. Dinámica atmosférica:
 - 1.4.2. Gradientes verticais de temperatura. Estabilidade e inestabilidade atmosféricas:
 - 1.4.3. A circulación xeral da atmosfera:
- 2. Zonas climáticas:**
 - 2.1. Climas locais:
 - 2.2. Clima da Península Ibérica:
 - 2.2.1. clima de Galicia no contexto ibérico:
 - 2.2.1.1. Factores:
- 3. Actividade protectora e reguladora da atmosfera:**
- 4. Contaminación atmosférica: detección, prevención e corrección:**
 - 4.1. A contaminación do aire e a súa orixe:
 - 4.1.1. Óxidos de carbono:
 - 4.1.2. Óxidos de xofre:
 - 4.1.3. Óxidos de nitróxeno:
 - 4.1.4. Compostos orgánicos volátiles:
 - 4.1.5. Ozono:
 - 4.1.6. Substancias radioactivas:
 - 4.1.7. Calor:
 - 4.1.8. Ruído:
 - 4.1.9. Contaminación electromagnética:
 - 4.1.10. Smog:
- 5. Factores de dispersión da contaminación:**
- 6. Burato da capa de ozono. Aumento do efecto invernadoiro. O cambio climático global:**
 - 6.1. Burato de ozono:
 - 6.2. Efecto invernadoiro:
 - 6.3. Cambio climático global:
- 7. Recursos enerxéticos relacionados coa atmosfera:**
 - 7.1. Enerxía solar:
 - 7.2. Enerxía eólica:

1.- Atmosfera: estrutura e composición:

1.1.- Formación: A atmosfera é a envoltura gasosa que rodea un planeta. Na Terra comezou a formarse hai uns 4600 millóns de anos e, aínda que gran parte se perdería no espazo, novos gases e vapor de auga íanse liberando das ardentes rochas que forman o noso planeta. Nas primeiras épocas da historia da Terra estaría formada por pequenas cantidades de hidróxeno (H_2) e monóxido de carbono e, sobre todo, por vapor de auga, dióxido de carbono (CO_2) e nitróxeno. Era unha atmosfera lixeiramente redutora ata que a actividade fotosintética dos seres vivos produciu a maior contaminación atmosférica xamais acontecida.



Así, o osíxeno e ozono empezaron a liberarse hai uns 2500 millóns de anos para chegar a unha composición equiparable á actual hai tan só uns 1000 millóns de anos.

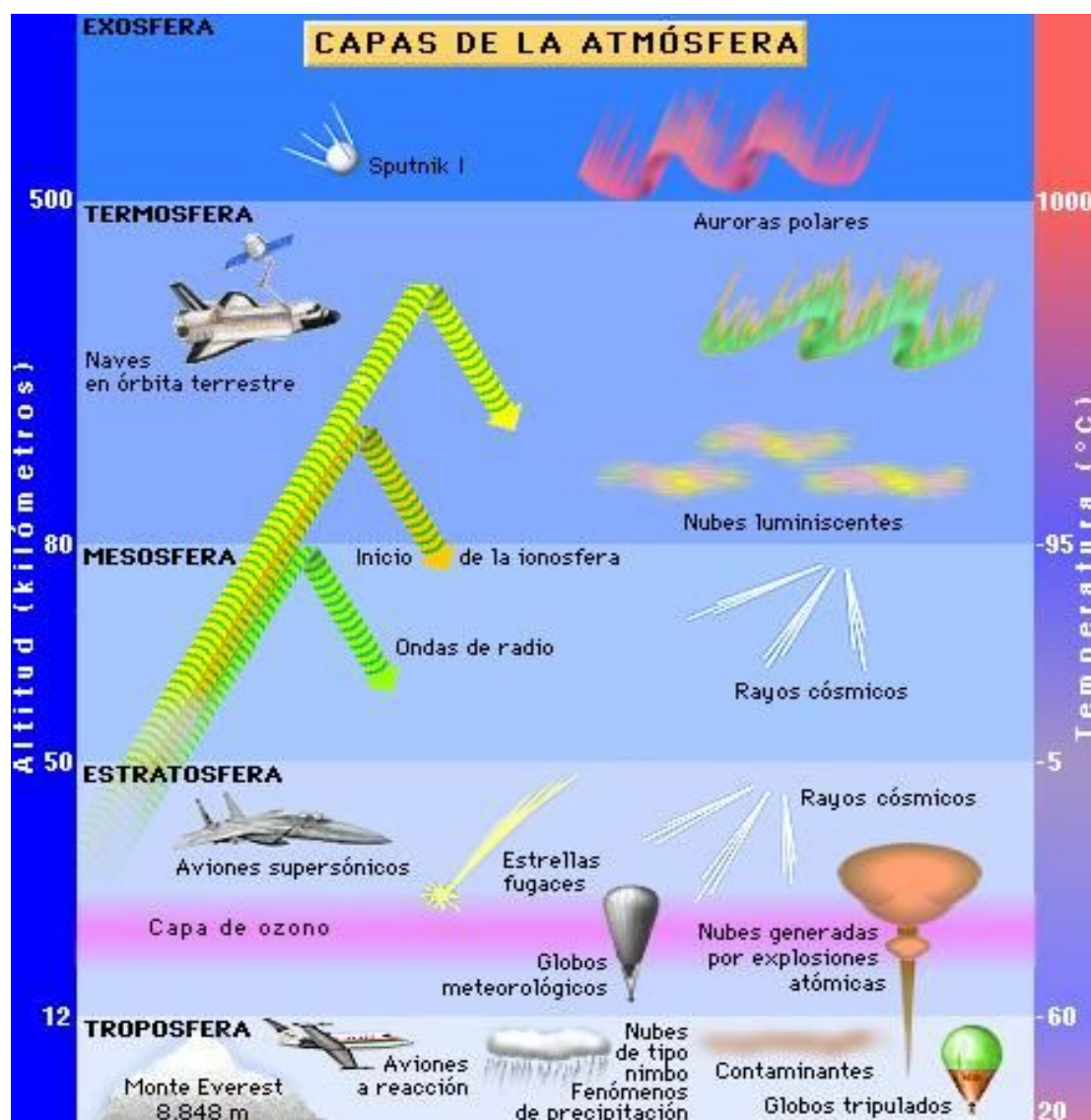
1.2.- Composición: Os gases fundamentais que forman a atmosfera son Osíxeno nun 21%, Nitróxeno nun 78% e Argon nun 1% a grandes trazos. Outros gases da atmosfera son o vapor de auga, o ozono e diferentes óxidos de nitróxeno, xofre, etc., así como partículas de po en suspensión (inorgánicos, organismos, sal mariño).

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, como veremos.

A densidade da atmosfera é maior en zonas baixas, xa que os seus compoñentes se atopan concentrados, comprimidos pola atracción da gravidade e, ao aumentar a altura, a densidade diminúe con gran rapidez. O aire mantén a súa composición ata os 80 km e, aínda que se fai cada vez menos denso conforme imos ascendendo, é máis pobre en osíxeno.

1.3.- Estrutura: Atendendo a diferentes características a atmosfera divídese en:

- A **troposfera**, presenta un límite superior chamado **tropopausa** que se atopa aos 9 Km nos polos e aos 18 no ecuador. Nela prodúcese importantes movementos verticais e horizontais das masas de aire (ventos) polas diferenzas de presión e temperatura das distintas zonas; así mesmo, hai relativa abundancia de auga e CO_2 , pola súa proximidade á hidrosfera e biosfera. Por todo isto é a **zona das nubes e os fenómenos climáticos**: chuvias, ventos, cambios de temperatura, etc. Ademais hai po en suspensión, sobre todo nos primeiros 500 m, o que se denomina capa sucia. Na troposfera a temperatura vai diminuindo conforme vai subindo, ata chegar a $-70^\circ C$ no seu límite superior ou tropopausa. Ese descenso recibe o nome de gradiente vertical de temperatura.



- A **estratosfera** chega ata os 50 quilómetros de altitude, o seu límite superior ou **estratopausa**. Nesta capa a temperatura vai aumentando ata chegar a ser de arredor de 15° C na estratopausa. Case non hai movemento en dirección vertical do aire, pero os ventos horizontais alcanzan os 200 km/h, o que contribúe a que os CFCs que destrúen o ozono se difundan por todo o globo con rapidez. Nesta parte da atmosfera, entre os 30 e os 50 quilómetros, atópase o ozono, que tan importante papel cumpre na absorción das daniñas radiacións de onda curta. O ozono é resultante da fotodisociación do osíxeno e forma unha capa na parte superior da estratosfera, a ozonoesfera, que actúa como pantalla protectora fronte a radiacións solares de alta enerxía e letais para o desenvolvemento normal da vida.
- A mesosfera é a última capa da homosfera, é dicir, de composición similar ao aire que respiramos. Na súa mesopausa, límite superior, a temperatura é de -142° C onde comeza a ionosfera.
- A ionosfera (ou termosfera) e a magnetosfera atópanse enriba da estratopausa. Nelas o aire ten unha densidade moi baixa. Hai grande parte de moléculas ionizadas por perda de electróns e por acción de radiacións solares de alta enerxía. Isto fai que a temperatura alcance os 1000° C. Son os lugares onde se producen as auroras boreais, pero o seu comportamento afecta moi pouco á vida.
- A Exosfera é a última capa da atmosfera terrestre, sen un límite superior claro. Podería tomarse como tal a altura á que predomina xa a atmosfera solar, constituída

por partículas subatómicas (protóns e electróns) de alta enerxía que interaccionan co campo magnético terrestre, constituíndo o chamado vento solar.

1.4.- Física da atmosfera:

➤ **Presión atmosférica:** En meteoroloxía trabállase con presións reducidas ao nivel do mar e a 0° C, é dicir, unha atmosfera de presión ou 1.013 milibares. O aire desprázase das áreas de máis presión ás de menos formándose desta forma os ventos. Coa altura, a presión diminúe rapidamente, pero ademais hai diferenzas de presión entre as zonas da troposfera; así, hai zonas de altas presións, cando a presión é maior dunha atmosfera, ou zonas de baixas presións, se o valor é menor. Chámanse isóbaras as liñas dos mapas meteorolóxicos que unen puntos de igual presión. Os mapas de isóbaras son os coñecidos "mapas do tempo".

➤ **Auga na atmosfera:** A atmosfera contén auga en forma de vapor, pequenas gotiñas líquidas e cristaliños de xeo. Hai un límite de vapor de auga a partir do cal o exceso de vapor se licúa en gotas. Este límite depende da temperatura, o aire quente é capaz de conter maior cantidade de vapor de auga que o aire frío. Así falaremos de:

- *humidade de saturación:* é a cantidade máxima de vapor de auga que pode conter un metro cúbico de aire para unha presión e temperatura determinadas;
- *humidade absoluta:* é a cantidade de vapor de auga por metro cúbico que contén o aire;
- *humidade relativa:* é a relación entre a cantidade de vapor de auga que contén o aire e a que podería conter. Exprésase nunha porcentaxe indicando qué cantidade de vapor de auga contén o aire do total que pode conter. Este dato é importante cando falamos da evapotranspiración, que se refire ao conxunto do vapor de auga enviado á atmosfera nunha superficie dende o chan, as plantas e outros seres vivos.

➤ **Forza de Coriolis:** debido á rotación da Terra, calquera obxecto que se desprace no hemisferio norte cunha traxectoria rectilínea experimentará unha desviación cara á dereita (en relación coa súa traxectoria). No hemisferio sur, a desviación é á esquerda.

Ademais de influír decisivamente na circulación xeral da atmosfera terrestre, tamén é responsable do sentido dos ventos en anticiclóns e borrascas. Os ventos van de anticiclón (alta presión) a borrasca (baixa presión), pero desvíanse pola forza de Coriolis e así xiran en sentido horario (anticiclóns) ou en sentido antihorario (borrascas) no hemisferio norte; no sur acontece o contrario.

1.4.1.- Dinámica atmosférica: Estudaremos neste apartado algúns movementos de convección de masas de aire, concretamente movementos verticais, que poden estar relacionados con:

- diferenzas de temperatura (o aire quente é máis lixeiro e ascende, o aire frío é máis denso);
- a humidade (o aire húmido é máis lixeiro que o seco, ascendendo);
- diferenzas de presión (presión atmosférica).

1.4.2.- Gradientes verticais de temperatura. Estabilidade e inestabilidade atmosféricas: Moitos dos movementos verticais que teñen lugar na troposfera son debidos ás notables diferenzas de temperatura que esta presenta coa altura.

Segundo as lei dos gases perfectos a medida que aumenta a temperatura do aire (a presión constante) diminúe a súa densidade e ao revés. En conclusión: o aire cálido é lixeiro e o frío máis pesado. Na troposfera, como xa vimos, a temperatura normalmente diminúe coa altura, polo que o aire quente das zonas próximas á superficie tende a subir e o aire frío

das capas máis altas tende a baixar. Ao ascender unha masa de aire diminúe a presión, implicando un aumento de volume e unha diminución da temperatura. Ao descender aumenta a presión e, polo tanto, a temperatura.

Chamamos *gradiente térmico vertical* á variación de temperatura entre dous puntos situados a unha diferenza de altitude de 100 m. A representación do descenso da temperatura coa altura denomínase curva de estado. O gradiente térmico vertical medio é de $6,5^{\circ}\text{C/Km}$, pero varía segundo o lugar e a época; tamén pode variar ao longo da espesura da troposfera.

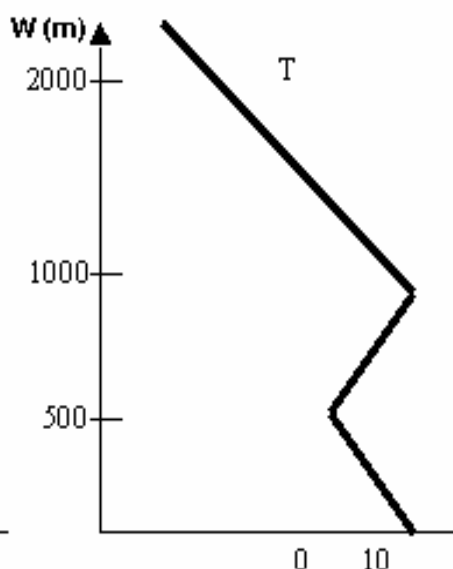
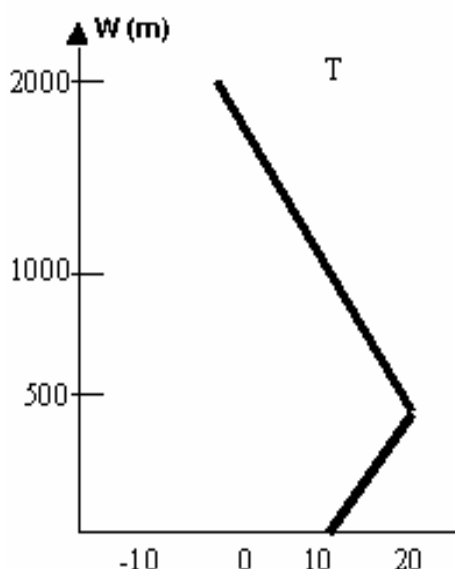
É frecuente atopar zonas da troposfera nas que existen perturbacións do gradiente térmico vertical e a temperatura aumenta coa altura. Este feito denomínase *inversión térmica*.

Existen diversos tipos de inversión. Un moi frecuente é o que ten lugar a rentes do chan, en momentos de tempo despexado, especialmente en inverno e nas primeiras horas do día. É debido ao arrefriamento da capa de aire en contacto co chan frío a causa da forte radiación nocturna emitida por este.

Pode acontecer que, en determinadas circunstancias, se produza unha ***inversión térmica***:

aumento da temperatura coa altura, é dicir, o gradiente vertical de temperatura invértese.

O *gradiente adiabático seco* é a variación de temperatura que experimenta unha masa de aire en movemento a medida que ascende. Polo tanto, a diferenza do anterior, non estamos a

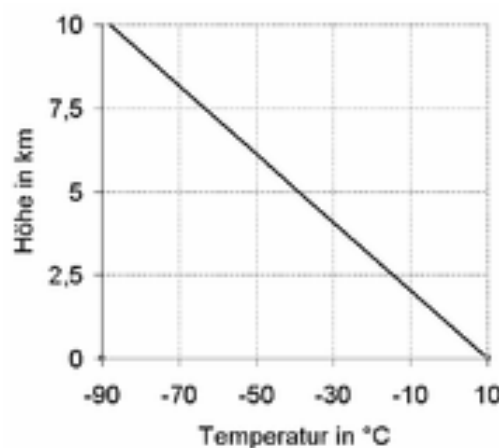


referirnos a condicións estáticas, senón que é un gradiente dinámico. Ten un valor fixo de $1^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ (a temperatura descende un grao cada 100 m).

Chámase adiabático porque a masa de aire que ascende non intercambia calor co aire que o rodea, sometido ao gradiente vertical de temperatura. Para asumir isto hai que ter en conta que o aire é mal condutor da calor. O aire arrefríase por aumento de volume. Cando un gas aumenta o seu volume, expandíndose, hai menos probabilidade de que choquen as súas moléculas, diminuíndo polo tanto a súa enerxía cinética e con iso a súa temperatura.

Chámase gradiente adiabático seco porque, aínda que o aire que ascende pode conter vapor de auga, supoñemos que non chega á súa condensación.

O *gradiente adiabático húmido ou saturado* é a variación de temperatura que experimenta unha masa de aire ascendente a partir do punto en que empeza a producirse condensación. Tendo en conta que a masa de aire ascendente se vai arrefriando, pode chegar

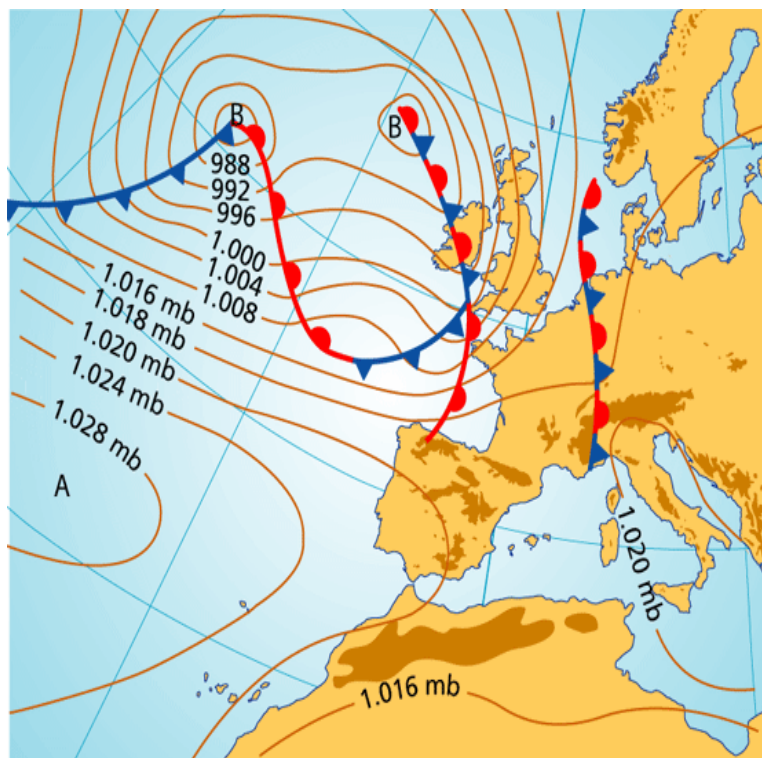


un momento en que se alcanza o punto de orballo; entón prodúcese condensación e esta libera calor.

Polo tanto, o gradiente adiabático húmido é menor que o gradiente adiabático seco e adoita tomar valores entre 0,3 e 0,6° C/100 m, segundo a humidade. Considerando as relacións entre os gradientes, podemos saber se se darán condicións de inestabilidade ou de estabilidade atmosférica.

Falamos de *inestabilidade atmosférica* (ou convección) cando son posibles os movementos ascendentes do aire. Para que unha masa de aire poida ascender no seo do aire estático, o gradiente adiabático seco debe ser menor que o gradiente vertical de temperatura. O ascenso do aire determina que haxa baixa presión atmosférica, dando lugar a unha situación de borrasca. En situación de inestabilidade atmosférica, pódese producir condensación, formación de nubes e precipitacións. Tamén é boa para a dispersión dos contaminantes.

En condicións de estabilidade atmosférica (ou subsidencia) non se dan movementos ascendentes de aire, aínda que si pode haber descenso (subsidencia); con alta presión atmosférica debida á subsidencia de aire e con posibilidade de néboas. Así mesmo, a estabilidade é mala para a dispersión dos contaminantes.



Outra posible causa de estabilidade é que se dea unha inversión térmica.

1.4.3.- A circulación xeral da atmosfera: Os raios solares chegan ao ecuador case perpendicularmente. Aos polos, en cambio, chegan con moita oblicuidade. Polo tanto, a cantidade de enerxía por unidade de superficie que chega ao ecuador é considerablemente maior.

Se queremos facer un modelo da circulación xeral do aire na Terra, poderíamos pensar nun esquema cunha célula convectiva en cada hemisferio. O aire quente, menos denso, ascende no ecuador; o aire frío descende nas zonas polares; entre o ecuador e os polos prodúcese correntes a maior e a menor altura, para substituír o aire que sobe ou baixa. Realmente, en cada hemisferio non hai unha soa célula convectiva, senón polo menos tres. Para elaborar un modelo mellor de circulación xeral do aire no planeta, debemos ter en conta a *forza de Coriolis* e tamén a *distribución de continentes, océanos e cordilleiras*.

Hai *tres células convectivas en cada hemisferio*. Os ventos, pola forza de Coriolis, non se desprazan en dirección "ecuador→ polo" ou "polo→ ecuador", senón oblicuamente, ás veces case perpendiculares aos meridianos.

- Nas células convectivas máis próximas ao ecuador, o aire quente e húmido ascende nunha franxa chamada *Zona de Converxencia Intertropical* (ZCIT), descende na

zona de anticiclóns tropicais e xéranse ventos preto da superficie (*alisios*) ou a maior altura (contraalisios) para substituír o aire que ascende ou descende.

- Nas células convectivas máis próximas aos polos o aire frío descende, dando lugar aos anticiclóns polares, e ascende na zona de baixas presións subpolares. Xéranse ventos (levantes polares e outros contrarios a eles, a maior altura), para substituír o aire que ascende ou descende.
- As células convectivas intermedias entre os polos e o ecuador son máis irregulares.

O sistema climático non é un sistema enteiramente previsible. A unha escala duns dez días xa non se pode prever a evolución meteorolóxica, debido a que o carácter inestable da circulación fixo que calquera pequeno erro inicial repercuta no conxunto do Globo. Trátase do efecto ben coñecido, descuberto por Edward Lorenz en 1963 e popularizado co nome de *efecto ás de bolboreta*: expresa o feito de que calquera perturbación, por mínima que sexa, modifica irreversiblemente a historia da atmosfera. Pero isto non significa que non se poida obter ningunha información sobre a evolución do clima. Varios procesos guían os movementos da atmosfera e organizan o seu comportamento. O máis coñecido é o ritmo das estacións, pero existen outros. O océano, en efecto, organiza a evolución lenta do clima, xa que a súa inercia é maior que a da atmosfera e o seu comportamento resulta previsible durante períodos máis longos.

2. Zonas climáticas:

Tendo en conta a circulación atmosférica e outros factores, no mundo diferéncianse catro grandes zonas climáticas:

- ✓ **Zona de converxencia intertropical.** - Podémola chamar tamén zona **ecuatorial** porque se sitúa nas proximidades do ecuador. Nesta zona o aire cálido e húmido tende a ascender, especialmente coa insolación do día. Ao ir subindo arrefriase, polo que se forman grandes nubes que practicamente todos os días ao atardecer descargan chuvia. A abundancia de **chuvias** e as **elevadas temperaturas** favorecen o desenvolvemento da vexetación e é nesta zona na que se desenvolven os grandes bosques selváticos.
- ✓ **Zonas tropicais.** - Son as situadas ao norte e ao sur da zona anterior. Nelas predominan os chamados ventos **alisios**, que se forman cando as masas de aire do norte ou do sur se moven para ocupar o espazo que deixa libre o aire ascendente da zona ecuatorial. As zonas tropicais situadas entre os 20º e os 40º de latitude, nas que o aire descende dende a altura, caracterízanse polo predominio das **altas presións** (aire frío e denso que se acumula contra a superficie). Isto supón precipitacións escasas, normalmente inferiores aos 250 mm anuais, xa que a circulación vertical descendente impide o desenvolvemento de nubes, pois o aire ao baixar aumenta a súa temperatura e, polo tanto, aumenta a súa capacidade de conter vapor de auga (maior humidade de saturación). Por isto nestas zonas hai grandes extensións **desérticas** nos continentes, tanto no hemisferio norte coma no sur.
- ✓ **Zonas mornas.** - As masas de aire que arrastran os ventos occidentais chegan a chocar coas masas de aire frío procedentes das zonas polares e desprázanse montándose sobre elas, ao ser máis quentes. Este ascenso provoca a formación de nubes e precipitacións no fenómeno meteorolóxico que chamamos **borrasca**. Nas borrascas é típico que o aire ao ascender adquira un movemento xiratorio, formándose unha **fronte cálida** que adoita ser seguida doutra **fronte fría**. O paso das fronte cálida e fría é o que trae as chuvias. As borrascas tenden a desprazarse de oeste a leste, de tal maneira que ao paso dunha fronte cálida adoita seguilo unha melloría transitoria e ao paso dunha fronte cálida vén logo unha fronte fría con empeoramento do tempo, que remata por alcanzar e neutralizar a fronte cálida producíndose así a desaparición da borrasca. Estas continuas variacións provocadas

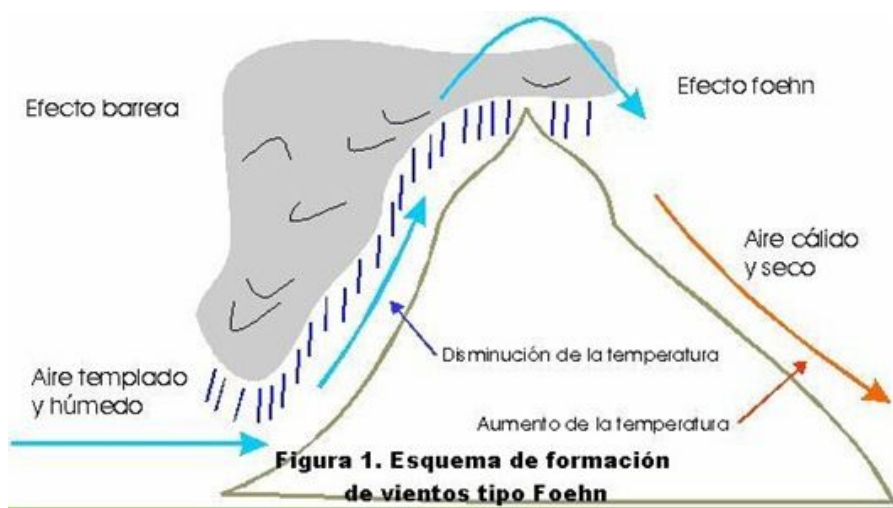
pola alternancia de anticiclóns (altas presións) e borrascas (baixas presións) son as típicas do "tempo" atmosférico das zonas mornas.

- ✓ **Zonas polares.** - Nelas a situación é case sempre **anticiclónica** porque as masas de aire frío descenden dende as alturas e desprázanse. Nestas zonas chove moi pouco, menos de 250 mm. anuais (situación anticiclónica), polo que se adoita falar de desertos fríos, a pesar de que se manteñan cubertos por xeos e neve.

2.1. - Climas locais: Nas distintas rexións ou localidades hai unha grande variación de tipos de clima que son influenciadas por:

a) Influencia das masas de auga. - A auga ten unha grande capacidade de almacenar calor pola súa elevada calor específica e durante o día ou en verán toma calor que logo libera pola noite ou na estación fría. Así, prodúcese brisas que desempeñan un importante papel nesa dulcificación das temperaturas. Durante o día sopran do mar á terra, traendo aire fresco, mentres que pola noite fano da terra ao mar. Por outro lado, as correntes mariñas teñen tamén unha grande influencia no clima das zonas costeiras que bañan. Por exemplo, a corrente do Golfo, que é cálida, fai máis suave e máis húmido o clima de toda a Europa atlántica.

b) Influencia das montañas. - Cando as masas de aire que veñen do océano cargadas de humidade se atopan co obstáculo das montañas, ascenden para poder superalas. Ao ascender arrefríanse e prodúcese precipitacións. Así as abas das montañas que reciben habitualmente aire do océano son húmidas. Pero cando o aire supera as montañas cae cara a niveis máis baixos, producíndose o efecto contrario. Este efecto, denominado **Foehn**, é o responsable das grandes diferenzas de pluviosidade que se producen entre zonas moi próximas da Península Ibérica, por exemplo entre o sur e o norte dos Pirineos ou da cordilleira Cantábrica.



c) Influencia da vexetación. - As plantas toman auga polas súas raíces e transpíranas, en forma de vapor, polas súas follas.

2.2.- O clima da Península Ibérica

Os climas de España pódense clasificar nos seguintes grupos:

- **Clima oceánico**, tamén chamado **morno húmido**. Dáse no bordo norte, dende Galicia ata o Pirineo occidental, que permanece todo o ano baixo a influencia da circulación morna. A pluviosidade é alta durante todo o ano. As diferenzas de temperatura ao longo do ano son pequenas, con veráns frescos e invernos mornos. A paisaxe e a vexetación son moi parecidos aos de Europa occidental.
- **Clima mediterráneo** en sentido estrito. Localízase na franxa costeira do Mediterráneo. Este clima caracterízase por veráns secos e áridos, poucas chuvias e invernos suaves.
- **Clima mediterráneo interior** ou **continental**. - Con invernos moi fríos e veráns cálidos.

- **Clima mediterráneo oceánico**, ou **continental suavizado**. - Os veráns son secos, como no caso anterior, pero as chuvias son máis abundantes e prodúcense fundamentalmente en inverno.

Ademais destas rexións climáticas principais, existen outras de menor extensión pero de notable interese:

- **Clima árido**. - Sitúase no sur da franxa mediterránea. Chove moi pouco.
- **Clima oceánico subtropical**. - Con precipitacións relativamente abundantes en inverno e temperaturas cálidas.
- **Climas subtropicais** de Canarias. - Con temperaturas moi suaves e uniformes ao longo do ano e con precipitacións similares ás do clima mediterráneo.

2.2.1.- O clima de Galicia no contexto ibérico: O clima de Galicia vén determinado por varios factores: a latitude, a súa complexa orografía e o seu contacto co mar. En xeral, é de tipo **oceánico**, morno e húmido (grazas ao océano atlántico) pero moi variable ao longo do ano. No Sur atopamos un clima **mediterráneo**, ao existir un período seco en verán (aridez estival) en Xullo e Agosto.

Factores:

- ✓ Galicia está situada nunha **latitude** (entre os 42 e os 44° N), pola que se ve influenciada tanto do aire polar coma dos trópicos. En verán, a Fronte Polar ascende a latitudes maiores, deixándonos así baixo a influencia do anticiclón subtropical das Azores, que xera un tempo cálido e seco ao impedir o paso das borrascas. En inverno a Fronte Polar descende ata o estreito de Xibraltar, quedando baixo o influxo das baixas presións, que traerán chuvias e aire frío. En ocasións a entrada de aire procedente dos anticiclóns polares dá lugar a un tempo moi frío e seco.
- **O relevo** galego conta cunha orografía moi variada: dende as altas chairas de Lugo ás profundas depresións preto do litoral, modifican a circulación atmosférica de xeito importante. Do Sueste prolónganse altas serras polo Nordés; acantilados ao Norte de ata os 600 metros de altura, nunha estrutura graduada que descende dende o interior ata a costa, na que hai que destacar as rías.
- ✓ As temperaturas medias anuais son moi distintas: 6° nas montañas do Sueste (máis de 1500 m de altura), máis de 13° na costa (15° nas Rías Baixas). A **influencia do mar** ten un efecto regulador da auga que suaviza as temperaturas tanto en inverno coma en verán, de maneira que a costa varía moderadamente as súas temperaturas ao longo de todo o ano, mentres que o interior sofre variación varios graos maior, podéndose falar dun clima oceánico na costa e dun clima máis continental no interior das provincias de Ourense e Lugo. Así, as zonas de interior padecen xeadas en inverno, en tanto que na costa son moito máis escasas.

O réxime de chuvias é o responsable da extensa cuberta vexetal que dá a Galicia o seu aspecto típico. Galicia é unha rexión xeográfica de abundantes precipitacións, na que só unha pequena parte do territorio (alta montaña) recibe menos de 1000 l/m² mentres que nas Rías Baixas se poden alcanzar os 3.000 mm. que caen ao longo de 100-150 días ao ano. As frecuentes néboas, debidas á inversión térmica ao arrefriarse o chan pola noite, achegan unha humidade extra.

Nos lugares onde son menores as precipitacións, en verán chégase a situacións de seca, agravada pola evapotranspiración. A falta de humidade do chan propicia a aparición e propagación de non sempre naturais **incendios forestais**.

O vento tamén é un elemento típico de Galicia. A zona da Barbanza conta coas maiores dunas móbiles de todo o país, que testemuñan este fenómeno; así, a nosa Comunidade é hoxe clave na obtención de enerxía eólica mediante aeroxeradores, xuntamente con Cataluña e o estreito de Xibraltar.

3.- Actividade protectora e reguladora da atmosfera:

A temperatura do planeta mantense máis ou menos constante, é dicir, emite a mesma cantidade de enerxía que a que recibe. Isto débese a:

Balance global da radiación solar: A radiación solar que chega á atmosfera terrestre é: raios γ , X, ultravioleta, luz visible e, por último, a radiación infravermella coa menor frecuencia de enerxía.

De toda esta enerxía o 30% reflíctese nas nubes e chan, que é o que se denomina albedo; outro 25% é absorbida pola atmosfera; e un 45% é absorbida pola superficie terrestre. Desta última porción, unha parte é absorbida polos gases e as nubes e devolta á superficie, que fai que a calor se perda máis lentamente: é o efecto invernadoiro.

Función protectora: a atmosfera como filtro protector: destacan a ionosfera e a capa de ozono. Ambas as dúas impiden que radiacións solares de alta enerxía alcancen a superficie terrestre.

Na **ionosfera** os raios X, os raios gamma e algúns ultravioleta son absorbidos polas moléculas e átomos, que perden electróns ou ionízanse.

A **capa de ozono** está na estratosfera; presenta unha espesura máxima no ecuador e mínima nos polos. As cantidades de ozono (O_3) estratosférico sofren variacións diarias e estacionais en función da radiación solar e, normalmente, as reaccións de formación e de destrución de ozono están en equilibrio. Reteñen a maior parte dos raios ultravioleta que producen un incremento de temperatura na estratosfera.

Función reguladora do clima: o efecto invernadoiro:

O efecto invernadoiro natural logra que a temperatura media na superficie terrestre sexa de $15^\circ C$. Así, a auga mantérase líquida en moitos sitios. O vapor de auga, o CO_2 e outros gases son transparentes á radiación visible; a radiación infravermella é absorbida por eles e devolta á superficie terrestre lentamente, quentando, deste xeito, o planeta; así mesmo, atrasase a perda de calor sen que se altere o equilibrio, visto antes, entre a radiación recibida e emitida pola Terra.

Vemos, polo tanto, que o efecto invernadoiro natural é importante dentro do papel regulador da atmosfera.

Outros aspectos da función reguladora do clima; ademais de estar relacionada co efecto invernadoiro, a función reguladora do clima que ten a atmosfera tamén está relacionada co albedo e coa circulación xeral do aire.

4.- Contaminación atmosférica: detección, prevención e corrección:

4.1.- A contaminación do aire e a súa orixe: "Calquera circunstancia engadida ou quitada dos normais constituíntes do aire, pode chegar a alterar as súas propiedades físicas ou químicas o suficiente para ser detectada polos compoñentes do medio". Algúns dos principais contaminantes atmosféricos son substancias que se atopan de forma natural na atmosfera. Considerámolas contaminantes cando as súas concentracións son notablemente máis elevadas que na situación normal.

Toda a nosa actividade, mesmo a máis normal e cotiá, orixina contaminación. Hai dous tipos de contaminación:

- ✓ Contaminantes primarios. - Aqueles procedentes directamente das fontes de emisión.
- ✓ Contaminantes secundarios:- Aqueles orixinados no aire por interacción entre dous ou máis contaminantes primarios, ou polas súas reaccións cos constituíntes normais da atmosfera.

Os contaminantes atmosféricos son tan numerosos que resulta difícil agrupalos para o seu estudo. Seguindo unha agrupación bastante frecuente incluíremolos nos seguintes grupos: Óxidos de carbono, Óxidos de xofre, Óxidos de nitróxeno, Compostos orgánicos volátiles, Partículas e aerosois, Oxidantes, Substancias radiactivas, Calor, Ruído e outros contaminantes.

4.1.1.- Óxidos de carbono:

Dióxido de carbono: é un dos gases que máis inflúe no importante problema ambiental do calentamento global do planeta e o conseguinte cambio climático. Desempeña un destacado papel no ciclo do carbono na natureza en enormes cantidades. Dada a súa presenza natural na atmosfera e a súa falta de toxicidade, non deberíamos consideralo unha substancia que contamina, pero danse dúas circunstancias que o fan un contaminante de grande importancia na actualidade:

- é un gas que produce un importante efecto de captura da calor, o chamado efecto invernadoiro; e
- a súa concentración está a aumentar nos últimos decenios pola queima dos combustibles fósiles e de grandes extensións de bosques.

Monóxido de carbono: é unha gas sen cor, olor nin sabor. É un contaminante primario. É tóxico porque envelena o sangue impedindo o transporte de osíxeno. Procede, principalmente, da combustión incompleta da gasolina e o gasóleo nos motores dos vehículos.

4.1.2.- Óxidos de xofre:

Dióxido de xofre (SO_2): Importante contaminante primario. É un gas incoloro e non inflamable, de olor forte e irritante. A súa vida media na atmosfera é curta, duns 2 a 4 días. Case a metade volve depositarse na superficie húmido ou seco e o resto convértese en ións sulfato (SO_4^{2-}). Por este motivo, como se ve con detalle na sección correspondente, é un importante factor na chuva ácida.

En conxunto, máis da metade do que chega á atmosfera é emitido por actividades humanas, sobre todo pola combustión de carbón e petróleo e pola metalurxia. Na natureza é emitido na actividade volcánica.

Destacan na súa emisión Galicia e Aragón, ao estar situadas nestas Comunidades importantes instalacións produtoras de electricidade que usan combustibles de baixa calidade.

Trióxido de xofre (SO_3): Contaminante secundario que se forma cando o SO_2 reacciona co osíxeno na atmosfera. Posteriormente este gas reacciona coa auga formando ácido sulfúrico, co que contribúe de forma moi importante á chuva ácida e produce danos importantes na saúde, a reprodución de peixes e anfibios, a corrosión de metais e a destrución de monumentos e construcións de pedra, como veremos máis adiante.

4.1.3.- Óxidos de nitróxeno:

NO_x (conxunto de NON e NO_2): O óxido nítrico (NON) e o dióxido de nitróxeno (NO_2) adoitan considerarse en conxunto coa denominación de NO_x . Son contaminantes primarios de moita transcendencia nos problemas de contaminación. O NO_x ten unha gran transcendencia na formación do smog fotoquímico, do nitrato de peroxiacetilo (PAN) e inflúe nas reaccións de formación e destrución do ozono, tanto troposférico como estratosférico, así como no fenómeno da chuva ácida. En concentracións altas produce danos para a saúde e as plantas e corroe tecidos e materiais diversos. Máis da metade dos gases deste grupo proceden do transporte.



4.1.4.- Compostos orgánicos volátiles: Este grupo inclúe diferentes compostos como o metano, CH_4 , outros hidrocarburos, clorofluorocarbonados (CFC) e outros.

Metano (CH_4): é o máis abundante, un contaminante primario que se forma de xeito natural en diversas reaccións anaeróbicas do metabolismo. O gando, as reaccións de putrefacción e a dixestión dos térmites forman metano en grandes cantidades. Tamén se desprende do gas natural, do que é un compoñente maioritario, e nalgúñas combustións. Considérase que non produce danos na saúde nin nos seres vivos. A grande maioría do metano emitido á atmosfera procede de catro fontes, en proporcións moi similares: a agricultura e gandería, o tratamento de residuos, o tratamento e distribución de combustibles.

Clorofluorocarbonados: son especialmente importantes polo seu papel na destrución do ozono nas capas.

4.1.5.- Ozono (O_3): é unha molécula formada por átomos de osíxeno. Diferénciase do osíxeno molecular normal en que este último é O_2 .

O ozono é un gas de cor azulada que ten un forte olor moi característico que se adoita notar despois das descargas eléctricas das tormentas. De feito, unha das maneiras máis eficaces de formar ozono a partir de osíxeno é sometendo este último a potentes descargas eléctricas.

- **Ozono estratosférico.** É imprescindible para que a vida se manteña na superficie do planeta porque absorbe as letais radiacións ultravioletas que nos chegan do sol.
- **Ozono troposférico.** Fórmase por reaccións inducidas pola luz solar nas que participan, principalmente, os óxidos de nitróxeno e os hidrocarburos presentes no aire. É o compoñente máis daniño do smog fotoquímico e causa danos importantes na saúde, cando está en concentracións altas, e frea o crecemento das plantas e as árbores.

4.1.6.- Substancias radioactivas: A súa presenza na atmosfera pode ser debida a fenómenos naturais. Por exemplo, algunhas rochas, especialmente os granitos e outras rochas magmáticas, desprenden isótopos radioactivos.

4.1.7.- Calor: Producida pola actividade humana nalgúñas aglomeracións urbanas chega a ser un elemento de certa importancia na atmosfera. Por isto, considérase unha forma de contaminación aínda que non no mesmo sentido, loxicamente, que calquera outro dos contaminantes estudados.



4.1.8.- Ruído: Pode ser un factor a ter moi en conta en lugares concretos: xunto ás autoestradas, aeroportos, ferrocarrís, industrias ruidosas; ou en fenómenos urbanos: locais ou actividades musicais, cortadoras, sirenas, etc.

Cando unha persoa está sometida a un nivel alto de ruído durante un tempo prolongado, os seus oídos dánanse. Os sons moi fortes provocan molestias que van dende o sentimento de desagrado e a incomodidade ata danos irreversibles no sistema auditivo. A

presión acústica mídese en decibelios (dB). A presión do son vólvese daniña a uns 75 dB-A e dolorosa arredor dos 120 dB-A. Pode causar a morte cando chega a 180 dB-A. O límite de tolerancia recomendado pola Organización Mundial da Saúde é de 65 dB-A. O oído necesita algo máis de 16 horas de repouso para compensar 2 horas de exposición a 100 dB (discoteca ruidosa).

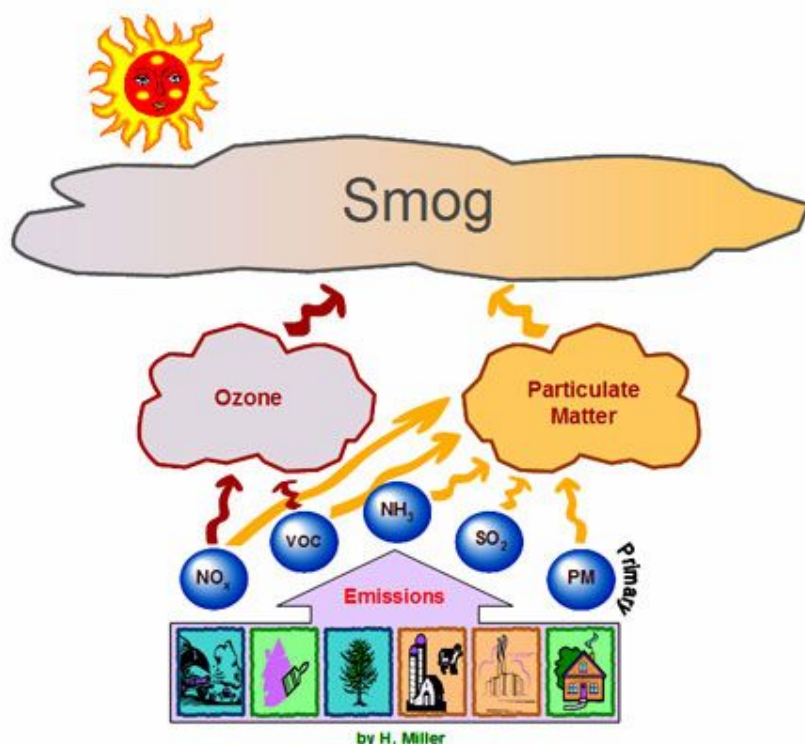
4.1.9.- Contaminación electromagnética: Un tipo de contaminación física sobre o que cada vez se está a falar máis é o **electromagnético**. Dispositivos eléctricos tan habituais como as liñas de alta tensión e algúns electrodomésticos orixinan campos electromagnéticos.

4.1.10.- Smog: A palabra inglesa *smog* (de *smoke*: fume e *fog*: néboa) úsase para designar a contaminación atmosférica que se produce nalgúns cidades como resultado da combinación dunhas determinadas circunstancias climatolóxicas e uns concretos contaminantes. O chamado **smog industrial** ou gris foi moi típico nalgúns cidades grandes, como Londres ou Chicago, con moita industria, nas que, ata hai uns anos, se queimaban grandes cantidades de carbón e petróleo pesado con moito xofre en instalacións industriais e de calefacción. Nestas cidades formábase unha mestura de dióxido de xofre, pinguiñas de ácido sulfúrico formadas a partir do anterior e unha grande variedade de partículas sólidas en suspensión, que orixinaban unha espesa néboa cargada de contaminantes con efectos moi nocivos para a saúde das persoas e para a conservación de edificios e materiais.

Smog fotoquímico: As reaccións **fotoquímicas** que orixinan este fenómeno prodúcense cando a mestura de óxidos de nitróxeno e hidrocarburos volátiles emitida polos automóbiles e o osíxeno atmosférico reaccionan, inducidos pola luz solar, nun complexo sistema de reaccións que acaba formando ozono. O ozono é unha molécula moi reactiva que segue reaccionando con outros contaminantes presentes no aire e acaba formando un conxunto de varias decenas de substancias distintas, como nitratos de peroxiacilo (PAN), peróxido de hidróxeno (H_2O_2), radicais hidroxilo (OH), formaldehído, etc. Estas substancias, en conxunto, poden producir importantes danos nas plantas, irritación ocular, problemas respiratorios, etc.

Na situación habitual da atmosfera a temperatura descende coa altitude, o que favorece que suba o aire máis quente (menos denso) e arrastre os contaminantes cara a arriba. Nunha situación de inversión térmica unha capa de aire máis cálido sitúase sobre o aire superficial máis frío e impide a ascensión deste último (máis denso), polo que a contaminación queda encerrada e vai aumentando.

En moitas cidades o principal problema de contaminación é o chamado smog fotoquímico. Escurece a atmosfera deixando un aire tinguido de cor marrón avermellada



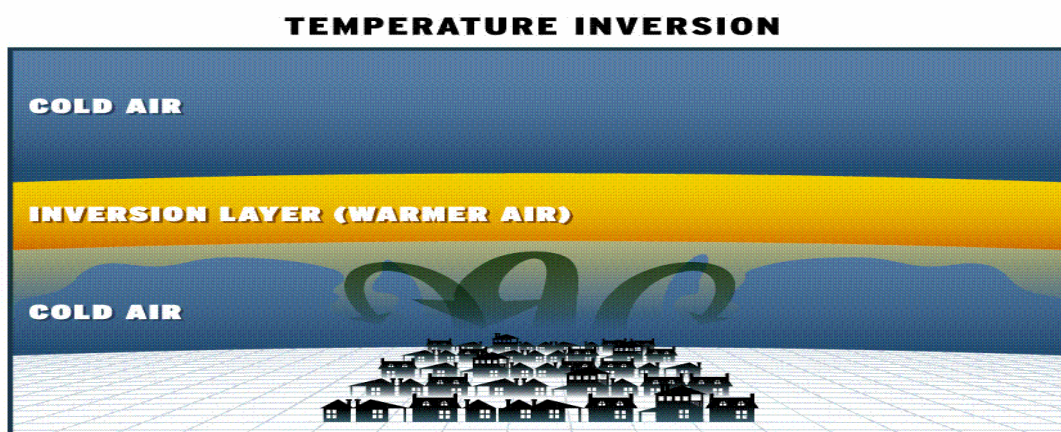
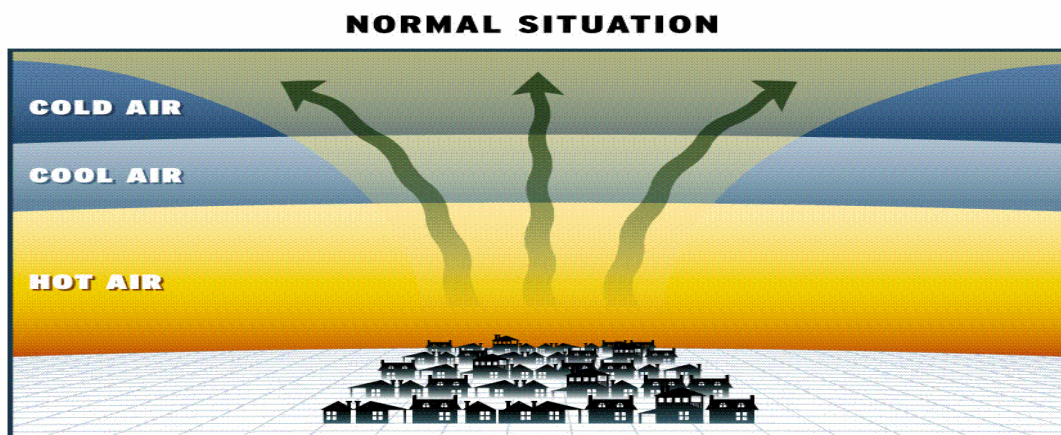
cargada de compoñentes danos para os seres vivos e os materiais. Aínda que practicamente en todas as cidades do mundo hai problemas con este tipo de contaminación, é especialmente importante nas que están en lugares con clima seco, cálido e soleado, e teñen moitos vehículos. O verán é a peor estación para este tipo de polución e, ademais, algúns fenómenos climatolóxicos, como as inversións térmicas, poden agravar este problema en determinadas épocas, xa que dificultan a renovación do aire e a eliminación dos contaminantes.

Os motores de camiós e automóviles son fonte moi importante de varios contaminantes. Para reducir as emisións convén empregar medidas tanto de prevención coma de limpeza dos gases emitidos polo motor antes de que saian á atmosfera.

5.- Factores de dispersión da contaminación:

Antes de empezar a estudar estes factores hai que coñecer qué se entende por emisión. *Emisión* é a cantidade de contaminantes que verte un foco emisor nun período de tempo determinado. O valor desta emisión mídese na saída do foco e téñense en conta tanto os contaminantes primarios como os secundarios resultantes das múltiples reaccións que teñen lugar na atmosfera, un medio que recibe enerxía solar e contén substancias químicas de alto poder oxidante.

Finalmente, dise que a *inspiración* é a cantidade de contaminantes presentes nunha atmosfera determinada unha vez que foron transportados, difundidos e mesturados nela, e aos que están expostos os seres vivos e os materiais que se atopan baixo a súa influencia. Se estes niveis non son adecuados diminúe a calidade do aire orixinándose os efectos negativos sobre os distintos receptores e o ecosistema no seu conxunto.



Os factores de dispersión son os seguintes:

- Características das emisións contaminantes: veñen determinadas pola natureza do contaminante, a súa concentración, as súas características físico-químicas e a velocidade de emisión, xa que a maior velocidade, máis facilidade para atravesar unha inversión térmica, por exemplo. Cando a temperatura da emisión é maior que a do medio, o gas ascende e facilita a súa dispersión.
- Condicións atmosféricas: o estado e movemento das masa de aire condiciona a estabilidade atmosférica que facilita ou dificulta a dispersión das emisións. As situacións anticiclónicas ou de estabilidade atmosférica dificultan a dispersión dos contaminantes e aumentan os seus niveis de inspiración. A situacións ciclónicas, ou de borrascas, ou de inestabilidade atmosférica, facilitan a dispersión da contaminación. Mentres que as situacións de inversión térmica coma se observa na ilustración anterior, dificultan enormemente a dispersión dos contaminantes, sendo ou podendo chegar a provocar situación de perigosidade pública nalgúns casos.
- Hai que destacar:
- A temperatura do aire e as súas variacións coa altura: gradientes verticais de temperatura, ventos, inversións térmicas... inflúen na dispersión; destacan as inversións, pois o aire cálido en altura impide a dispersión das emisións.
- Ventos: dinámica horizontal atmosférica, a súa dirección, velocidade e turbulencia, sendo esta última un factor de acumulación, mentres que a dirección e velocidade facilitan a dispersión.
- Precipitacións: lavan o aire ao arrastrar parte dos contaminantes ao chan favorecendo a súa dispersión.
- Insolación: favorece as reaccións entre precursores de contaminantes secundarios aumentando, lóxicamente, a súa concentración.
- Características oroxénicas: a situación xeográfica e o relevo teñen grande influencia na orixe dos ventos que dispersan ou acumulan contaminantes. Así:
 - En zonas costeiras: a brisas cara ao interior de día e viceversa de noite fan unha dispersión cíclica cada día.
 - Vales fluviais: xeran brisas de val e montaña. De día quéntanse as abas e estas, que son aproveitadas polos contaminantes para ascender, quentan o aire. Pero no fondo dos vales acumúlase unha masa de aire frío, o que dá lugar a unha inversión térmica que impedirá o movemento das masas de aire e dificultará a dispersión dos contaminantes. De noite o chan cede calor e o aire frío acumúlase no val descendendo polas abas, repetíndose a situación.
- Presenza de vexetación: diminúe a cantidade de contaminación, freando o aire e depositando substancias na follaxe; ademais, a fotosíntese é un sumidoiro de CO₂ actuando como o seu regulador.
- Presenza de núcleos urbanos: diminúen ou frean as correntes de aire e forman turbulencias. Por outro lado, o efecto illa de calor, con máis temperatura no centro da urbe que na periferia, dificulta a dispersión dos contaminantes orixinando a denominada cúpula de



contaminantes ou nube tóxica que ondea sobre algunhas cidades como un ronsel. Esta cúpula de contaminantes vese favorecida polos anticiclóns e pode ser eliminada polas precipitacións, manchando fachadas nalgúns casos de forma espectacular.

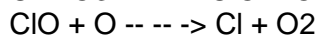
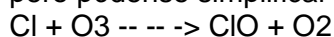
6.- O burato da capa de ozono. Aumento do efecto invernadoiro. O cambio climático global:

6.1.- Burato de ozono: Denomínase **burato de ozono** ou **burato da capa de ozono** á zona da atmosfera terrestre onde se producen reducións anormais da capa de ozono.

Mecanismo de destrución do ozono: As substancias que destrúen a capa de ozono pódense resumir en:

- **Clorofluorocarburos (CFC):** Son compostos formados por cloro, fluor e carbono. Adóitanse usar como refrixerantes, disolventes e para a fabricación de plásticos esponxosos. Non destrúen o ozono directamente: primeiro sofren fotólise, formando cloruro de hidróxeno (HCl) ou nitrato de cloro (ClONO₂), moléculas que tampouco reaccionan co ozono directamente, pero que se descompoñen lentamente dando, entre outras cousas, unha pequena cantidade de átomos de cloro (Cl) e de moléculas de monóxido de cloro (ClO), que son as que catalizan a destrución do ozono.

As reaccións envolvidas nos procesos de destrución son máis de 100, pero pódense simplificar nas seguintes:



átomo de cloro actúa como catalizador, é dicir, non é consumido na reacción, polo que destrúe miles de moléculas de ozono antes de desaparecer. O átomo de bromo é aínda máis destrutivo que o de cloro (unhas 10 ou 100 veces máis). Por outro lado, xunto a isto, as concentracións de cloro son moi baixas na estratosfera e as de bromo aínda menores.

- **Hidroclorofluorocarburos (HCFC):** Compostos formados por H, Cl, F e C. Estanse a utilizar como substitutos dos CFCs porque moitas das súas propiedades son similares e son menos daniños para o ozono ao ter unha vida media máis curta e liberar menos átomos de Cl. Considéranse só unha solución provisional e o seu uso foi prohibido nos países desenvolvidos a partir do ano 1930.

- **Halóns:** Son compostos formados por Br, F e C. Pola súa capacidade para apagar incendios úsanse nos extintores, aínda que a súa fabricación e uso está prohibido en moitos países pola súa acción destrutora do ozono. A súa capacidade de danar a capa de ozono é moi alta porque conteñen Br, que é un átomo moito máis efectivo destruindo o ozono que o Cl.

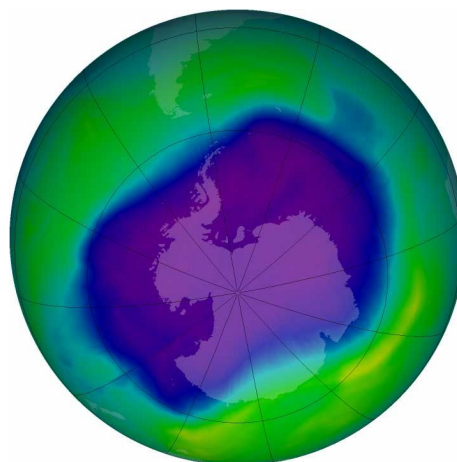
- **Bromuro de metilo (CH₃Br):** É un pesticida moi eficaz que se usa para fumigar chans e en moitos cultivos. En moitos países fixéronse datas arredor do 2000, a partir das cales se prohibe o seu uso.

- **Tetracloruro de carbono (CCl₄):** É un composto que foi moi utilizado como materia prima en moitas industrias como, por exemplo, para fabricar CFCs e como disolvente. Deixou de usarse como disolvente cando se descubriu que era canceríxeno.

- **Metilo cloroformo (CH₃CCl₃):** Úsase como disolvente industrial.



Burato da capa de ozono da Antártida: Aínda que a diminución da concentración de ozono está demostrada en toda a atmosfera, é especialmente acusada na Antártida. Sobre este continente prodúcese todos os anos, nos meses de setembro a novembro, coincidindo coa primavera antártica, o chamado vórtice circumpolar, que illa o aire frío, situado sobre a Antártida, do aire máis cálido que se atopa no resto do mundo. Debido ao frío fórmanse cristais de xeo, con cloro e outras moléculas adheridas que teñen grande capacidade de destruír ozono. Así, fórmase o que se adoita denominar o "burato" de ozono. Cando o vórtice circumpolar se debilita, o aire con moi pouco ozono da Antártida mestúrase co aire das zonas veciñas.

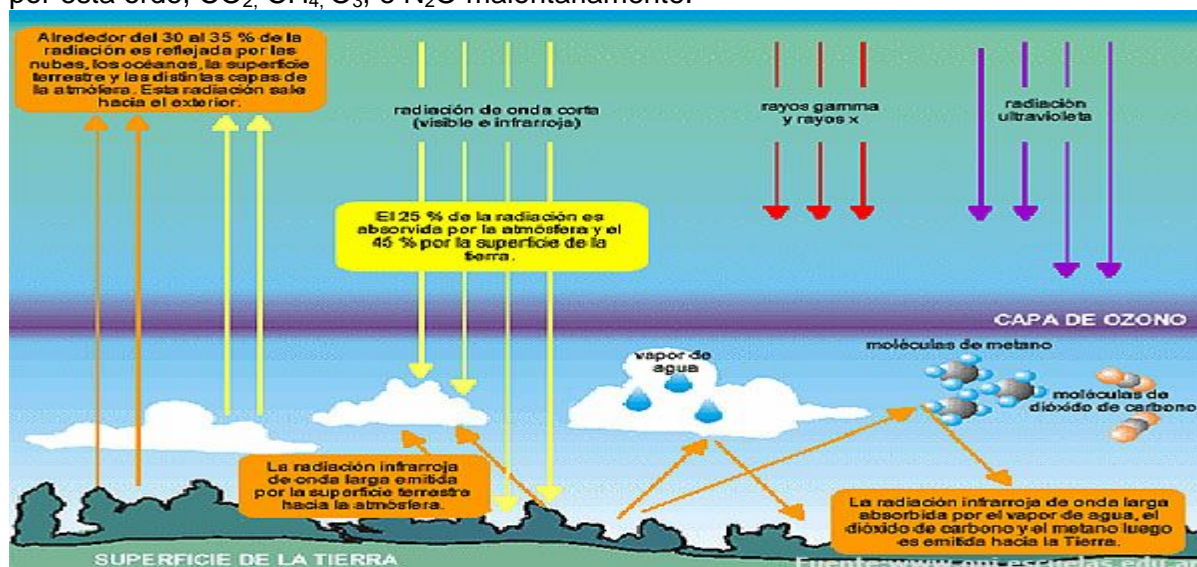


Isto provoca unha importante diminución na concentración de ozono en toda a zona de arredor e parte de América do Sur, Nova Zelandia e Australia quedan baixo unha atmosfera máis pobre en ozono do normal, quedando expostas ás radiacións ultravioleta. Estas radiacións poderían chegar a producir un incremento en cancro de pel e outras enfermidades.

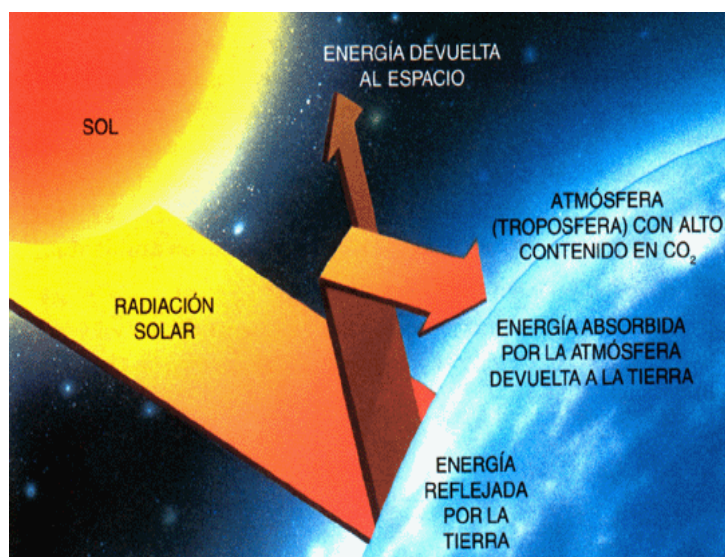
Cando a evidencia científica do dano causado polos CFCs se foi facendo unánime, a industria aceptou a necesidade de desenvolver novos produtos para substituílos e os gobernos chegaron a acordos internacionais (Montreal, 1987; Londres, 1990 e Copenhague, 1992) para limitar a fabricación deses produtos daniños para o ozono.

Na actualidade pódese considerar que o problema está en vías de solución. Se as previsións feitas nos últimos anos se cumpren, a concentración de cloro na estratosfera alcanzará o seu máximo a finais deste século e a partir de entón empezará a diminuír ata volver ao seu nivel natural a finais do próximo século. De todos os xeitos, dada a gravidade do problema, a evolución destes gases é seguida con atención para comprobar que todo vai sucedendo conforme se prevé, ou para tomar novas medida en caso de que non sexa así.

6.2- Efecto invernadoiro: No conxunto da Terra prodúcese un efecto natural de retención da calor grazas a algúns gases atmosféricos. Baixo un ceo claro, arredor do 60 ao 70% do efecto invernadoiro é producido polo vapor de auga. Despois del son importantes, por esta orde, CO_2 , CH_4 , O_3 , e N_2O maioritariamente.



O efecto invernadoiro orixínase porque a enerxía que chega do sol traspasa a atmosfera con gran facilidade. A enerxía remitida cara ao exterior, dende a Terra ou albedo, é retida polos gases con efecto invernadoiro. Esta absorción da enerxía fai que a temperatura sexa máis alta. Así, a temperatura media na Terra é duns 15° C e se a atmosfera non existise sería duns -18° C. Chámaselle efecto invernadoiro por similitude, porque en realidade a acción física pola que se produce é totalmente distinta á que sucede no invernadoiro de plantas.



Hai que destacar que o CFC produce un efecto invernadoiro 15000 veces maior que o CO₂, pero como a cantidade de CO₂ é moito maior que a do resto dos gases, considérase este último como o problema principal no aumento deste efecto.

No último século a concentración de anhídrido carbónico e outros gases invernadoiro na atmosfera foi crescendo constantemente debido á actividade humana pola queima de vexetación en grandes cantidades e, na actualidade, polo uso dos combustibles fósiles. Por outro lado os niveis de metano dobráronse nos últimos 100 anos, a cantidade de óxido de nitróxeno increméntase nun 0,25% anual. Loxicamente, moitos científicos pensan que coa maior concentración de gases con efecto invernadoiro se producirá maior aumento na temperatura na Terra. A partir de 1979 os científicos comezaron a afirmar que un aumento

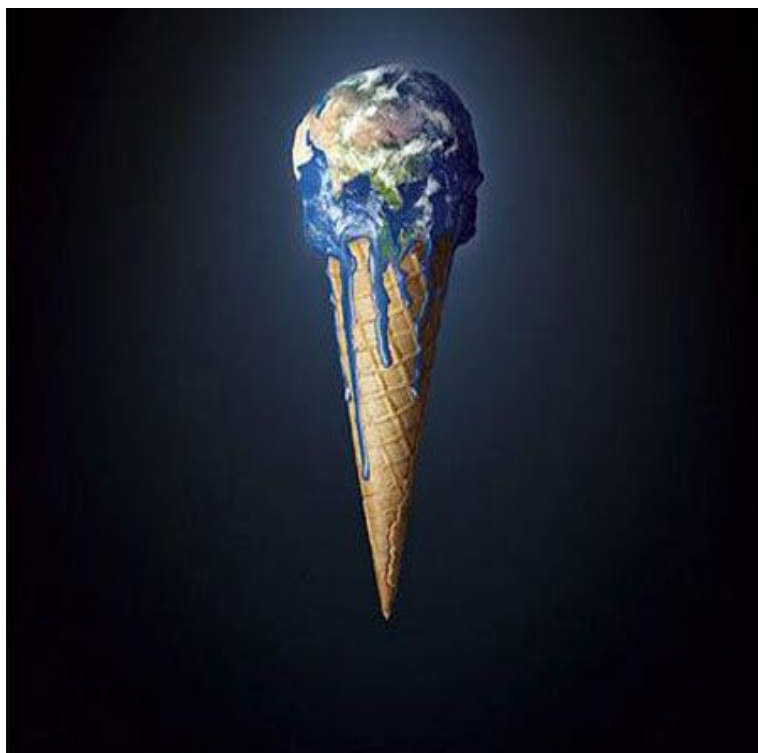
ao dobre na concentración do CO₂ na atmosfera suporía un quentamento medio da superficie da Terra de entre 1,5 e 4,5° C.



6.3.- O cambio climático global: Non é posible predicir con gran seguridade o que pasaría nos distintos lugares, pero é previsible que os desertos se fagan máis cálidos aínda que non máis húmidos, o que tería graves consecuencias no Oriente Medio e en África, onde a auga é escasa. Entre un terzo e a metade de todos os glaciares do mundo e grande parte dos casquetes polares fundiríanse, poñendo en perigo as cidades e campos situados nos vales que se atopan por debaixo do glaciar. Grandes superficies costeiras poderían desaparecer inundadas polas augas que ascenderían de 0,5 a 2 m., segundo diferentes estimacións. Terras agrícolas converteríanse en desertos e, en xeral, produciríanse grandes cambios nos ecosistemas terrestres. Estes cambios suporían unha xigantesca convulsión na nosa sociedade, que nun tempo relativamente

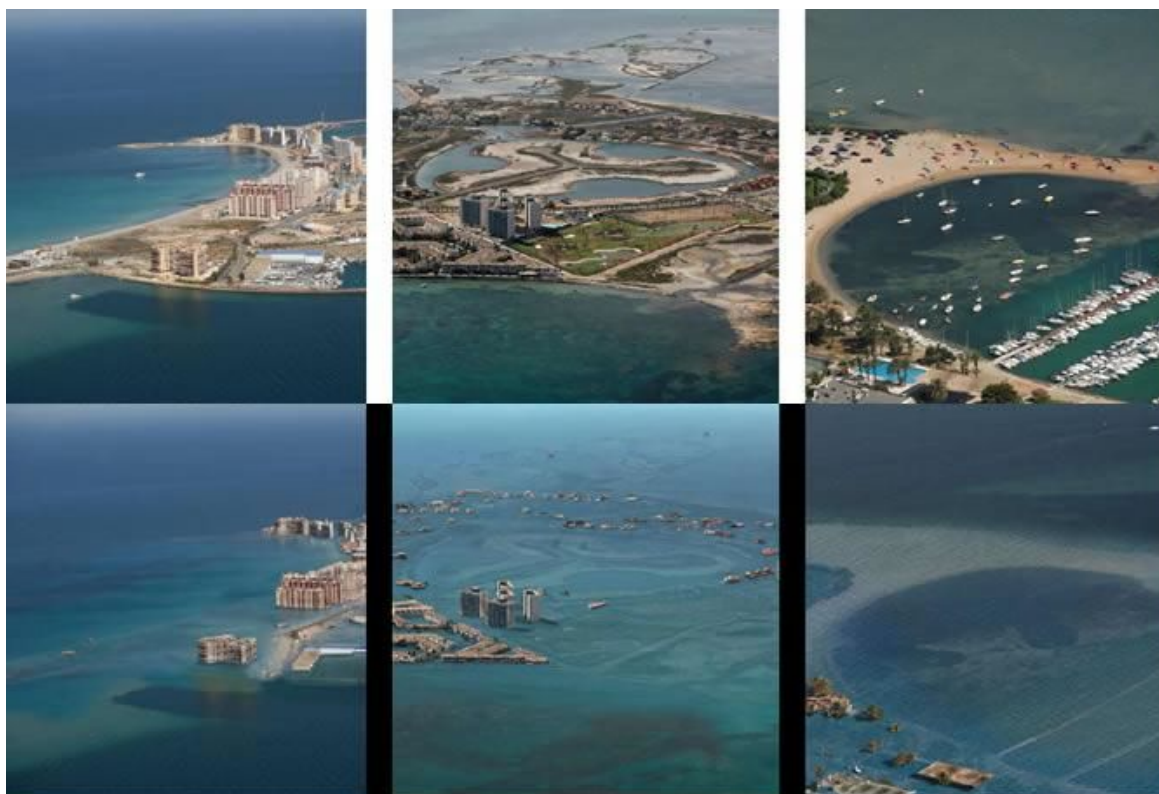
breve tería que facer fronte a moitas obras de contención do mar, emigracións de millóns de persoas, cambios nos cultivos, etc.

O aumento da concentración de gases invernadoiro na atmosfera é realmente algo cientificamente comprobado, pero a partir de aí a evidencia científica é moito máis débil. As fluctuacións climáticas son moi difíciles de medir e o quentamento que parece que se está a dar nos últimos quince anos poderíase deber a moitas causas, porque o clima depende dun gran número de variables. Ademais, para a investigación de temas como este, simúlanse as distintas situacións con modelos de



ordenador, e os que se usan son, aínda, moi insuficientes e pouco satisfactorios, porque o funcionamento do clima é enormemente complexo.

Hai que tomar unha serie de decisións, xa que a complexidade do problema é tan grande que se poden producir danos irreversibles. Ademais, debe pasar moito tempo para que se note o efecto que producirán as emisións de gases: este é un problema global e as



solucións deben ser tomadas polo conxunto dos países de todo o planeta.O

desenvolvemento de tecnoloxías eficaces para reducir significativamente as emisións de gases con efecto invernadoiro sería, por exemplo:

- Investir na eficiencia da reciclaxe de materiais; impulsar o uso de vehículos de transporte eficientes con uso de combustibles e enerxías alternativas; efectuar cambios no estilo de vida que non incrementen as emisións; fomentar a construción de vivendas e edificios que usen a enerxía con maior eficiencia; e substituír o carbón por petróleo e estes dous por gas natural, na medida do posible, reducindo os escapes e asumindo o uso de máis enerxías renovables.
- Na industria poderíase reducir moi notablemente a liberación de gases con efecto invernadoiro (CO_2 , CH_4 , N_2O , clorofluorcarburos e SF_6) coa eliminación dalgúns disolventes e a substitución de determinadas materias primas.
- En agricultura e explotación forestal deberíase fomentar o uso de biomasa en substitución dos combustibles fósiles, buscando solucións políticas de explotación forestal que deteñan a deforestación e que rexeneren os bosques alí onde foron destruídos (pódense captar grandes cantidades de carbón nos bosques).

Tamén poderían tomarse medidas políticas, sociais e económicas a nivel internacional que axudarían a reducir as emisións de gases con efecto invernadoiro, como implantar estratexias do prezo da enerxía establecendo, por exemplo, impostos sobre o carbón ou outras formas de enerxía máis contaminantes. Hai que estimular a investigación en novas tecnoloxías máis ecolóxicas, mediante negociacións con industrias que incentiven o uso de enerxías renovables. É moi importante a educación, adestramento, información dos cidadáns e traballadores. O aumento dos gases de efecto invernadoiro na atmosfera, susceptible de provocar un quentamento do planeta de varios graos no próximo século, constitúe un risco que xa ninguén ignora. Non obstante, a complexidade do problema científico formulado, conxugado sen dúbida coa importancia das medidas económicas e políticas que sería ou será necesario adoptar para estabilizar a composición química da nosa atmosfera, levan periodicamente a cuestionar a realidade deste problema.

7.- Recursos enerxéticos relacionados coa atmosfera:

A Conferencia de Madrid (Marzo 1994) considera viable que as enerxías renovables contribúan cun 15% á demanda total de enerxía primaria na CE antes do ano 2010.

7.1.- Enerxía solar: A enerxía que procede do sol é fonte directa ou indirecta de case toda a enerxía que usamos. Os combustibles fósiles existen grazas á fotosíntese, que converteu a radiación solar nas plantas e animais das que se formaron o carbón, gas e petróleo. O ciclo da auga que nos permite obter enerxía hidroeléctrica é movido pola enerxía solar que evapora a auga formando nubes transportadas terra adentro, onde caerán en forma de chuvia ou neve. O vento tamén se forma cando unhas zonas da atmosfera son quentadas polo sol en maior medida que outras.

O aproveitamento directo da enerxía do sol faise de diferentes formas:

- *Quentamento directo de locais polo sol:* En invernadoiros, vivendas e outros locais, apróveitase o sol para quentar o ambiente. Algúns deseños arquitectónicos buscan aproveitar ao máximo este efecto e controlalo para poder restrinxir o uso de calefacción ou de aire acondicionado.



- **Acumulación da calor solar.** Consegue paneis ou estruturas especiais colocadas en lugares expostos ao sol, como os tellados das vivendas, nos que se quenta algún fluído que almacena a calor en depósitos. Úsase, sobre todo, para quentar auga e pode supoñer un importante aforro enerxético se temos en conta que nun país desenvolvido máis do 5% da enerxía consumida é usada para quentar auga.

- **Xeración de electricidade:** Pódese xerar electricidade a partir da enerxía solar por varios procedementos. No **sistema termal** a enerxía solar úsase para converter auga en vapor en dispositivos especiais. Nalgúns casos úsanse espellos cóncavos que concentran a calor sobre tubos que conteñen aceite. O aceite alcanza temperaturas de varios centos de graos e con el quéntase auga ata ebulición. Co vapor xérase electricidade en turbinas clásicas. Con algúns dispositivos destes conséguense rendementos de conversión en



enerxía eléctrica da orde do 20% da enerxía calorífica que chega aos colectores.

A luz do sol pódese converter directamente en electricidade usando o efecto fotoeléctrico. As células fotovoltaicas non teñen rendementos moi altos. A eficiencia media na actualidade é dun 10 a un 15%, aínda que algúns prototipos experimentais logran eficiencias de ata o 30%. Por isto, necesítanse grandes extensións se se quere producir enerxía en grandes cantidades.

Un dos problemas da electricidade xerada co sol é que só se pode producir durante o día e é difícil e cara para almacenar. Para intentar solucionar este problema estanse a investigar diferentes tecnoloxías. Unha delas usa a electricidade para dissociar a auga, por electrólise, en osíxeno e hidróxeno. Despois o hidróxeno úsase como combustible para rexenerar auga, producindo enerxía pola noite.

A produción de electricidade por estes sistemas é máis cara, en condicións normais, que polos sistemas convencionais. Só nalgúns situacións especiais compensa o seu uso, aínda que as tecnoloxías van avanzando rapidamente e no futuro poden xogar un importante papel na produción de electricidade. En moitos países en desenvolvemento estanse a usar con grande aproveitamento nas casas ou granxas ás que non chega a subministración ordinaria de electricidade porque están moi lonxe das centrais eléctricas.

7.2.- Enerxía eólica:

Cóñcese como enerxía eólica o aproveitamento polo home da enerxía do vento. Antigamente utilizouse para propulsar naves mariñas e mover muíños de gran. Hoxe emprégase sobre todo para xerar enerxía limpa e segura. As enerxías solar e eólica forman parte das enerxías renovables que proceden do sol. A enerxía procedente da radiación solar, que a Terra absorbe nun ano, equivale a unhas 20 veces a enerxía



almacenada en todas as reservas de combustibles fósiles do mundo (carbón, petróleo e gas).

Os muíños de vento usáronse dende hai moitos séculos para moer o gran, bombear auga ou outras tarefas que requiren enerxía. Na actualidade, sofisticados muíños de vento úsanse para xerar electricidade, especialmente en áreas expostas a ventos frecuentes, como zonas costeiras, alturas montañosas ou illas.

O impacto ambiental deste sistema de obtención de enerxía é baixo. É, sobre todo, estético, porque deforman a paisaxe, aínda que tamén hai que considerar a morte de aves por choque coas aspas dos muíños.

A enerxía procede indirectamente do sol, que quenta o aire e ocasiona o vento, sendo polo tanto inesgotable, limpa na súa produción e universal, xa que se pode dar en todo o mundo. Por outro lado, é unha enerxía moi dependente da tecnoloxía, polo tanto o seu custo vai variar moito no tempo e, a medida que a tecnoloxía avance, suponse que se abaratará.

A xeración de electricidade a partir do vento non produce gases tóxicos, nin contribúe ao efecto invernadoiro, nin á chuvia ácida. Non orixina produtos contaminantes secundarios perigosos nin residuos.

Actualmente calcúlase que existen uns 30.000 xeradores eólicos repartidos. España ocupa un lugar destacable no panorama eólico comunitario, co 5º posto por potencia eólica instalada, detrás de Dinamarca, Alemaña, Reino Unido e Holanda.

A electricidade producida por un aeroxerador evita que se queimen diariamente 3150 Kg de lignito negro nunha central térmica ou unha tonelada de petróleo, evitándose que se emitan catro toneladas de dióxido de carbono (necesitaríamos 200 árbores para a súa eliminación).