

1. Introducció, objectius de la Unitat

L'atmosfera és la capa de gasos que envolta la Terra i que ens permet la vida. Com s'ha vista a la Unitat de l'estat del món, a partir de la revolució industrial, però molt especialment durant la segona meitat del segle XX, el humans hem cremat de forma indiscriminada combustibles fòssils i hem desenvolupat una sèries de processos industrials que han generat i generen encara una gran quantitat de gasos contaminants.

L'objectiu bàsic d'aquesta Unitat és comprendre com ha evolucionat la composició de l'atmosfera durant la història del planeta, quins són els principals gasos contaminants, els eus efectes i les principals tecnologies de control i depuració de gasos.

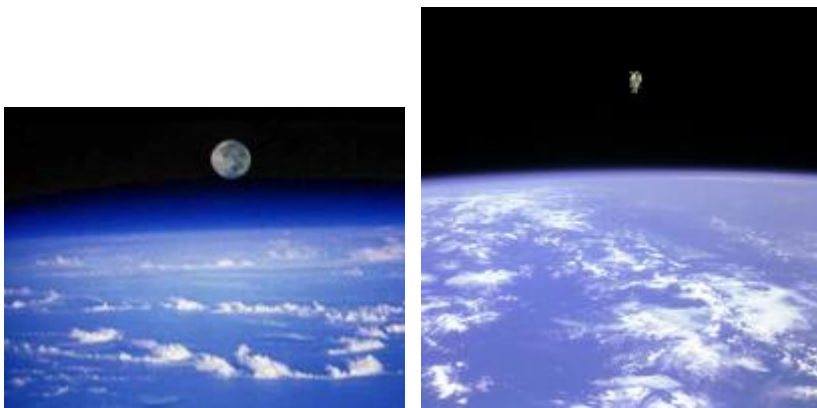


2. L'atmosfera terrestre

L'atmosfera és la capa de gasos que envolta la Terra. El nostre planeta no és l'únic que té atmosfera, però tant la distància respecte del Sol com les característiques (composició, temperatura i capacitat de protecció de les radiacions externes) de la mateixa atmosfera han creat les condicions necessàries perquè s'hi desenvolupés la vida.

Si no hi hagués atmosfera i tingués la composició actual, la temperatura del planeta terra seria de 22°C sota zero.

Figura 1. Planeta Terra i la seva atmosfera. Font: NASA



2.1 Atmosfera primitiva

La Terra es va formar fa uns 4.500 milions d'anys. A l'interior del planeta hi havia una pressió, una temperatura i una activitat nuclear molt gran, la qual cosa afavorí el fenomen del [vulcanisme](#). L'atmosfera primitiva es va formar, per tant, a partir dels gasos i el vapor d'aigua expulsats pels volcans, la qual cosa en condicionà de forma determinant la [composició](#).

Figura 2. Vulcanisme. Font: NASA

La vida va tenir l'origen en l'ambient reductor descrit abans i els primers organismes vius varen ser anaeròbics (microorganismes que no necessiten oxigen lliure per viure). En etapes posteriors, l'absència d'oxigen a l'atmosfera terrestre juntament amb la forta radiació ultraviolada provinent del Sol van confinar la vida (èssers vius de naturalesa fotosintètica) en una certa fondària del mar, on arribava encara llum solar visible suficient per permetre la fotosíntesi, però no en canvi la llum ultraviolada (que és nociva per als organismes vius).

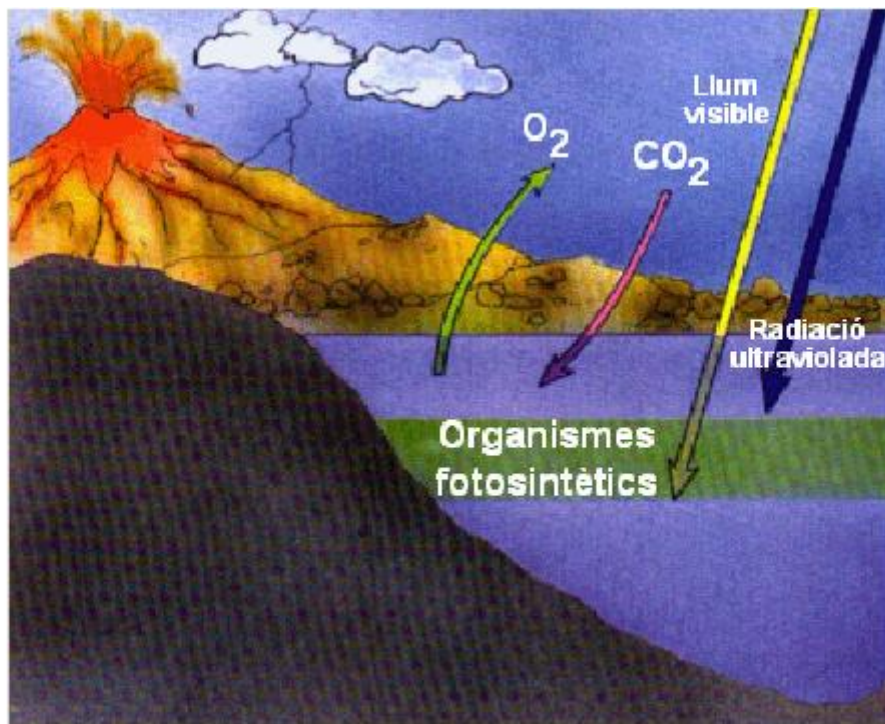
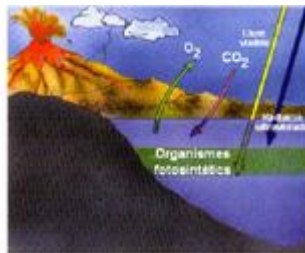


Figura 3. Atmosfera primitiva. Font: Luna, G. et al. (1995). La contaminació atmosfèrica. Departament de Medi Ambient. Generalitat de Catalunya

Els éssers vius presents al mar, de naturalesa fotosintètica, varen començar a consumir massivament el CO_2 i a emetre oxigen. L'acció lenta de milions d'éssers vius durant milions d'anys va arribar a saturar d'oxigen l'aigua del mar, el qual passà a l'atmosfera.



2.2 De l'atmosfera primitiva a l'actual

A les zones altes de l'atmosfera, l'oxigen es va transformar en ozó (O_3) i va formar la capa d'ozó, la qual va permetre posteriorment, i encara ara, el desenvolupament de la vida fora de l'aigua, atès que reté la llum ultraviolada.

La fotosíntesi continuada dels organismes vius va contaminar d'oxigen l'atmosfera primitiva fins que aquesta va convertir-se en la barreja de gasos que coneixem avui.

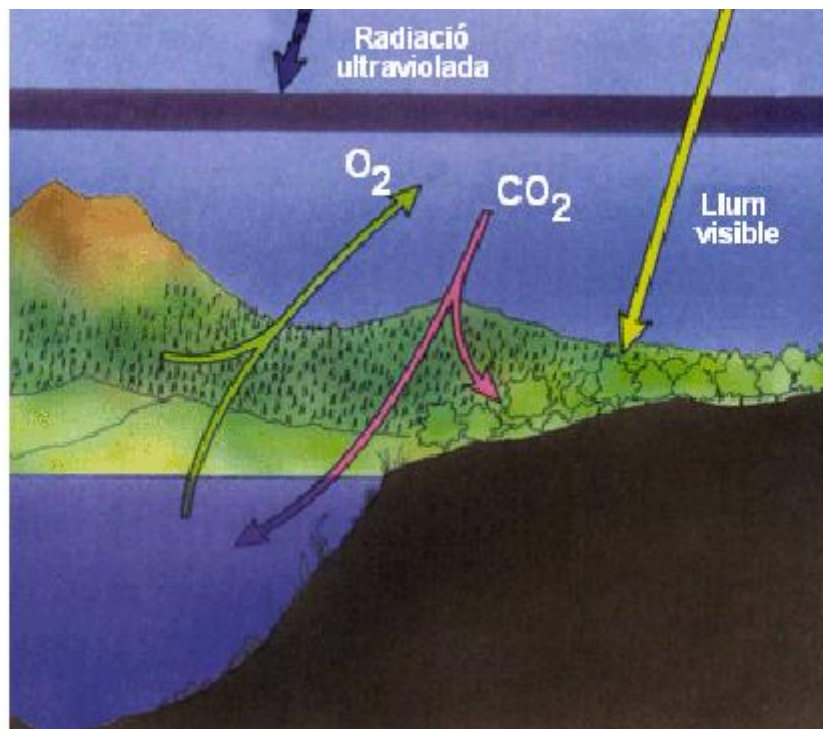
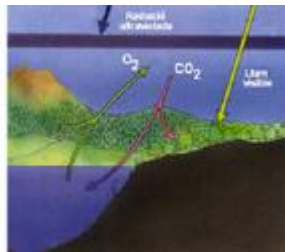
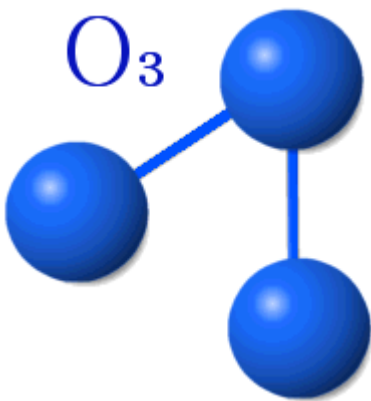


Figura 4. Atmosfera actual. Font: Luna, G. et al. (1995). La contaminació atmosfèrica. Departament de Medi Ambient. Generalitat de Catalunya



2.3 Composició actual de l'atmosfera

El 99,03% de l'aire que respirem actualment està compost per **nitrogen** i **oxigen** en una proporció aproximada de 4 a 1. També hi són presents altres components en proporcions més petites.



COMPOSICIÓ DE L'ATMOSFERA ACTUAL

<u>Gasos de concentració constant</u>	<u>Gasos de concentració variable</u>
N₂ Nitrogen (78,084%): substància inerta que no reacciona amb facilitat, esmorteix els efectes de l'oxigen	CO₂ Al voltant del 0,03% de mitjana. Té un paper molt important en el balanç de radiació del sistema SOL-TERRA-ATMOSFERA (efecte hivernacle) Contribueix al manteniment de la vida (fotosíntesi)
O₂ Oxigen (20,946%): molt reactiu, responsable dels processos d'oxidació (combustions, respiració dels éssers vius)	Vapor d'aigua Varia des d'un 0% (deserts) fins al 4%. Es concentra a les parts baixes (disminueix amb l'alçada). Permet la formació de núvols. Té importància per a l'intercanvi energètic entre l'atmosfera i la superfície terrestre quant al canvi d'estat i a l'absorció de certes radiacions. La Terra és l'únic planeta del sistema solar que té aigua en els 3 estats
Altres Altres (0,97%): argó (el més important), heli, criptó, xenó, hidrogen, òxid nítrics	Altres components Monòxid de carboni (CO): és el resultat de combustions incompletes. Metà (CH₄): majoritàriament és d'origen biològic. Amoníac (NH₃). Ozó (O₃). Diòxid de nitrogen (NO₂). Elements originats per l'activitat humana. Elements originats per altres éssers vius. Elements procedents del sòl. Elements procedents dels oceans. Elements procedents dels rius. Elements procedents dels volcans. Pol·len, pols, bacteris, fums, sals, etc. en un percentatge molt petit



2.4 Estructura i funcionament de l'atmosfera

Dins l'atmosfera, se sol distingir diversos nivells o capes: la Troposfera, l'Estratosfera, la Mesosfera, la Termosfera o Ionosfera i l'Exosfera.

Troposfera: Té uns 12 km i presenta les característiques següents

- És la cap més pertorbada i agitada contínuament per moviments verticals i horitzontals. Moviments verticals per efectes mecànics i tèrmics.

- La seva composició és pràcticament constant en tot el seu gruix i en ells es troben les ¾ parts de la massa total, pràcticament tots els cossos en suspensió i tota l'aigua en els seus tres estats.

- La temperatura baixa regularment entre 0.6 °C cada 100 m de altitud. L'aire que s'eleva es refreda per expansió adiabàtica. La mescla d'aire humit i aire fred assegura un gradient vertical comprés entre el gradient adiabàtic de l'aire (0.6 °C per 100 m) i el gradient pseudoadiabàtic de l'aire humit (1.0 °C pe 100 m).

- En aquesta capa es desenvolupen tots els fenòmens físics que poden ser estudiats amb independència com fenòmens elèctrics, física dels núvols, intercanvi radiants i l'òptica atmosfèrica.

A la separació de la troposfera i l'estratosfera es troba la tropopausa que és el punt on la temperatura deixa de disminuir regularment té una alçada d'uns 6 km, als pols i uns 17 km a l'equador.

Estratosfera: És la capa situada entre els 10 i 40 km d'alçada. La temperatura roman pràcticament constant en un punt determinat. L'aire és pràcticament sec. La capa que la separa de la mesosfera és la estratopausa que té uns 40 km. Aquesta capa pot acumular certs productes contaminants produïts a l'estratosfera, atesa la feblesa de la circulació vertical. **Conté la major part de la capa d'ozó** (al voltant dels 22 km d'altura hi ha la màxima concentració).

Mesosfera: És la capa compresa entre l'estratopausa i la termosfera. Es caracteritza per un augment de temperatura que arriba als 0°C a uns 50 km, disminuint a partir d'aquesta alçada fins arribar als –80°C a la mesopausa.

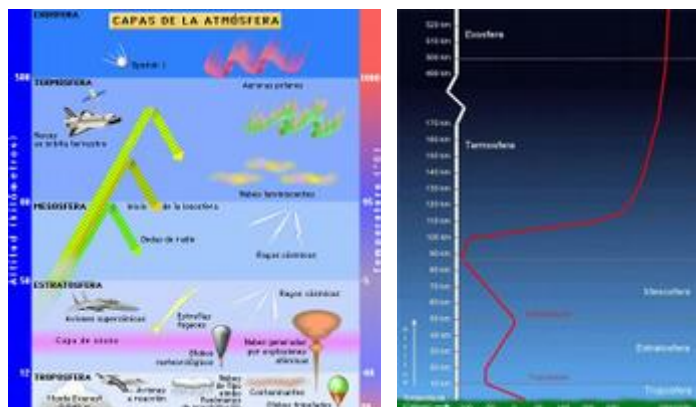
Termoesfera: Capa on la temperatura creix constantment amb l'alçada fins arribar als 500 km on arriba a temperatures de fins 1500 °C.La pressió atmosfèrica és petita (uns quants mil·límetres) i els raigs ultravioleta ionitzen les molècules.

La composició d'aquestes capes és bastant constant fins a una altura de 100 km de la superfície terrestre. A partir d'aquest nivell, les molècules gasoses simples poden dissociar-se en ions i radicals lliures mitjançant reaccions de fotodissociació provocades per les radiacions solars d'ona curta que arriben a la part alta de l'atmosfera.

Exosfera: S'estén fins als 8.000 km. Correspon a la part de l'atmosfera que es fusiona amb l'espai.

Figura 5. Capes de l'atmosfera terrestre. Font: Proyecto Bioisfera (a) y (b). Ministerio de Educación. Gobierno de España

Per veure les capes de l'atmosfera en funció de la temperatura mitjana, entreu en [aquest web](#) i cliqueu **estructura**.



2.5 Com s'escalfa l'atmosfera?

La superfície del Sol està a uns 5.700 °C i emet una gamma de radiacions que van des de la ultraviolada fins a la infraroja.

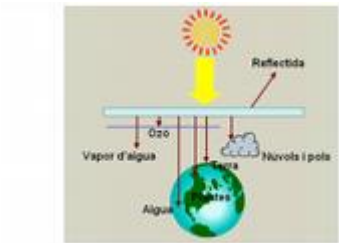
Però del 100% de l'energia que arriba a l'atmosfera exterior només un 47% arriba finalment a la superfície terrestre.

La radiació solar es transforma en energia mecànica (L'evaporació de l'aigua genera energia cinètica -vents- i els rius i glaciers generen energia potencial), en energia química (La fotosíntesi transforma el diòxid de carboni i l'aigua en hidrats de carboni, alhora que alliberant oxigen, gràcies a l'energia de la llum solar) i en el contingut calorífic de la Terra.

Figura 6. Com s'escalfa l'atmosfera?. Font: Carrera, E. et al (2000). *Tecnologia i Sostenibilitat*. Càtedra UNESCO de Sostenibilitat. UPC

Reflectida	Un 28 % de la radiació és reflectit (i per tant no és absorbida) pel núvols, la pols, la mateixa superfície de la terra i els oceans, i enviat novament a l'exterior. Aques fenòmen s'anomena <i>albedo</i> .
Núvols i Pols	Un 5% és absorbit pels núvols i la pols
Vapor d'aigua	Un 17% és absorbit pel vapor d'aigua i les partícules de l'aire
Ozó	Un 3% és absorbit per la capa d' ozó
Terr	Un 21% és absorbit per la Terra i es distribueix de forma diferent en funció de la mena de sòl i el tipus de vegetació
Aigua	Un 26% és absorbit per l'aigua del mar. L'aigua té un paper cabdal en el clima de la Terra a través del procés d'evaporació des dels sòls humits i les plantes. Aquesta evaporació ajuda a refredar la superfície terrestres, de la mateixa manera que la suor refreda els nostre cossos en èpoques de calor
Plantes	Només un 0,2% de l'energia del Sol és aprofitat per les plantes per fer la fotosíntesi, que converteix l'energia solar en energia química.

Podeu veure més informació sobre l'efecte hivernacle [clicant aquí](#).

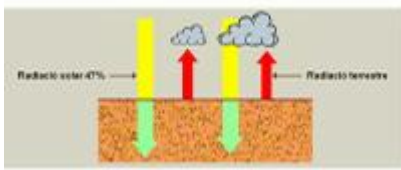


2.6 La Radiació terrestre

El 47% de la radiació solar que arriba a la superfície del planeta és absorbida pel terra i els oceans (l'energia solar no arriba amb la mateixa força a tots els indrets de la Terra. La que és absorbida prop de l'equador s'escampa a les regions més fredes del globus, transportada pels vents de l'atmosfera i pels corrents dels oceans. Així, l'aire i l'aigua actuen com una gegantina màquina de calor global). Un cop escalfats aquests dos medis, emeten un altra radiació, en la banda de l'infraroig (que té una energia més baixa), que s'anomena radiació terrestre.

Aquesta radiació és altament absorbida per alguns gasos presents a l'atmosfera (diòxid de carboni, vapor d'aigua, metà, etc.), els quals actuen de forma similar a una manta, ja que eviten la pèrdua de calor (les mantes ens permeten aïllar-nos del fred i evitar la pèrdues de la calor natural del nostre cos). Per aquest motiu també se'ls anomena gasos d'efecte hivernacle.

Figura 7. La radiació terrestre. Font: Carrera et al. (2000). *Tecnologia i Sostenibilitat*. Càtedra UNESCO de Sostenibilitat. UPC.



2.7 A què es destina l'energia provinent del Sol?

El 47% de la radiació solar que arriba finalment a la Terra es consumeix de la manera següent: un 40% es destina a l'evaporació de l'aigua, només un 0,2% a la fotosíntesi i un 59,8% és absorbit pel terra i els oceans.

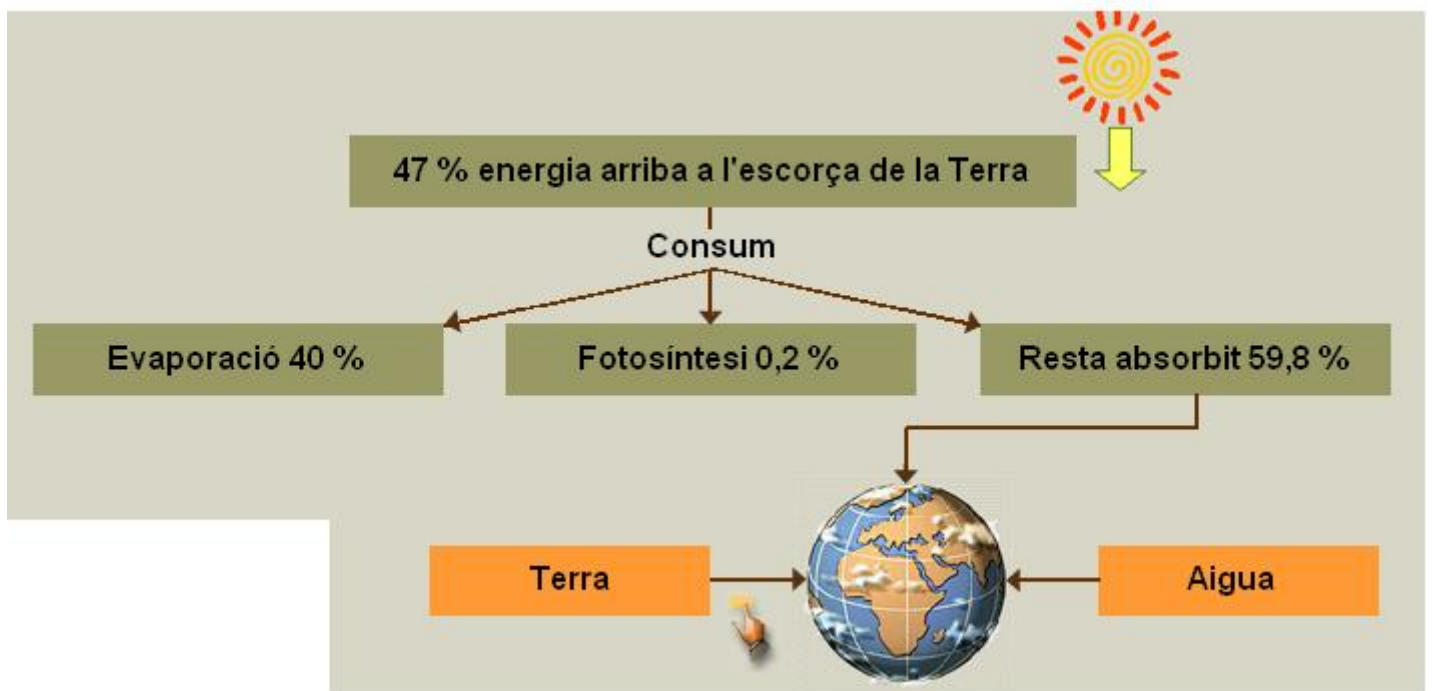


Figura 8. A què es destina l'energia provinent del sol?. Font: Carrera, E. et al (2000). *Tecnologia i Sostenibilitat*. Càtedra UNESCO de Sostenibilitat. UPC

Terra	La calor absorbida pel terra és transmesa de maneres diferents segons la cobertura del sòl (vegetació i tipus de sòl, roca nua, etc.).
Aigua	La calor es transmet fins a 100 m de fondària gràcies a l'acció de les onades. Els oceans aconsegueixen una funció decisiva en el cicle energètic, atès que les transformacions de fase són acompanyades de grans canvis latents de calor. L'evaporació, amb el consegüent desplaçament de vapor per l'acció del vent i la condensació posterior, produeix un transport de calor a través de l'atmosfera. Aquests canvis calorífics són els que, en darrer terme, condueixen el desenvolupament del sistema de circulació de l'aire per tot el planeta.

Fins ara hem explicat d'una manera senzilla i bàsica com l'energia del sol entra al planeta Terra. Per aprofundir una mica més sobre això entra al [Curs d'ecologia "Conceptes bàsics i paper de l'home en el funcionament de l'ecosfera"](#) realitzat pel Catedràtic de la Universitat de Barcelona d'Ecologia Narcís Prat, i consulta els capítols 2 i 3, veuràs com menys de l'1 % de l'energia que prové del Sol és usada directament per la vida. Val la pena que et fixis també amb els conceptes d'energia exosomàtica i endosomàtica.

També es pot completar aquesta descripció amb la vista a un altra pàgina web de la [Facultad de Historia, Geografía y Ciencia política de la Pontificia Universidad Católica de Chile](#), tot clicant la opció "Energía en la atmósfera".



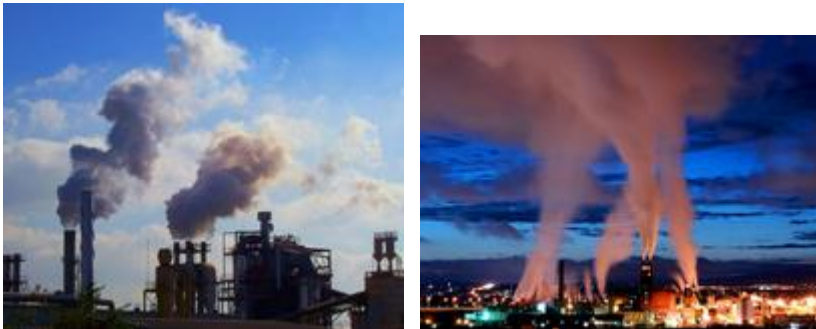
Contaminació atmosfèrica

3. Contaminació atmosfèrica

L'atmosfera és contaminada quan **s'hi emeten**, de forma natural o per acció de l'home, **substàncies alienes a la composició normal**.

Figura 9. Imatges de contaminació atmosfèrica. Font: (esquerra) [El Blog Verde](#); Font: (dreta) [Un Blog Verde](#)

Al [Web del Colegio de Físicos de España](#), trobareu una excel·lent informació sobre contaminació atmosfèrica.



3.1 Fonts de contaminació atmosfèrica

Són tots els focus que alliberen substàncies contaminants a l'atmosfera, bé siguin partícules o gasos.

Les fonts de contaminació poden ser:

- a) Naturals
- b) Naturals però accelerades per l'activitat humana
- c) Antropogèniques

a) Fonts Naturals: Són les més importants i l'home no pot intervenir-hi per evitar-les

Figura 10. Contaminació produïda per un volcà a Islàndia

Erupcions volcàniques (gasos sulfurosos + CO_2 + cendres). [Veure vídeo erupció volcà Islàndia](#)
Incendis forestals naturals (CO_2 + cendres)
Tempestes de sorra
Aerosols formats per les aigües dels oceans, rius i llacs
Polinització de les plantes (primavera = al·lèrgies)
Tempestes de sorra

b) Fonts naturals, però accelerades per les activitats humanes: L'home té la possibilitat de prevenció i la limitació de l'emissió si l'activitat humana és més racional.

Figura 11. Imatge d'un incendi forestal

Font: [Planeta ECO](#)

Incendis forestals provocats per imprudències
Pols (resultat de l'erosió del sòl, desertització d'origen humà)
Sega de cereals (conreu intensiu + maquinària pesada)

c) Fonts antropogèniques: L'home pot intervenir-hi de forma eficaç per evitar-la o minimitzar-la.

Figura 12. Imatge de la contaminació atmosfèrica generat pel trànsit.

Font: [Ecologia Verde](#)

Els mitjans de transport
Processos industrials en general
Generació de calor i electricitat
Calefaccions domèstiques
Activitats agrícoles (metà)



3.2 Factors determinants en els nivells de contaminació atmosfèrica

L'atmosfera és un sistema obert, en contacte amb la superfície del planeta i amb unes dimensions molt considerables.

Els vents, la turbulència de l'aire, la pluja, el relleu geogràfic intervenen d'una manera clara en la distribució, la dispersió o la concentració de contaminants.

Estratificació de l'aire:

A mesura que ens enlairem la temperatura de l'aire disminueix d'una manera progressiva. A vegades, a causa de factors orogràfics i climatològics el gradient s'altera i s'inverteix. La franja d'inversió pot tenir un gruix variable i el fet es doni impedeix la difusió normal dels fums i d'altres contaminants. A Catalunya situacions similars d'inversió tèrmica es donen a la depressió de Lleida (Segrià) o del pla de Barcelona (Barcelonès i Baix Llobregat).

Els vents i la turbulència:

Generalment tenen una influència favorable, ja que impliquen un desplaçament de masses d'aire en funció dels gradients de pressió de l'atmosfera. L'efecte del vent és normalment diluir la pol·lució.

La pluja i la neu:

La pluja i la neu "netegen" l'atmosfera, però no fan sinó descarregar-ne la brutícia al terra i a l'aigua.

El relleu:

El relleu té efectes sobre la difusió i l'acumulació de contaminants. En una vall tancada, per exemple, hi ha la tendència que s'acumulin els contaminants és més important. Els edificis i els carrers orientats en direccions diferents creen un règim de vents i remolins els quals influeixen en la permanència dels contaminants

3.3 Contaminants atmosfèrics

La contaminació de l'aire és un procés que s'inicia a partir de les emissions a l'aire des dels diferents focus emissors de contaminants a l'atmosfera. L'atmosfera, com em vist anteriorment, és un medi fluid amb una dinàmica que fa que la dispersió i el transport dels contaminants siguin difícils d'estudiar i de preveure. Així la relació entre la quantitat de contaminants emesos a l'aire i la presència d'aquests a l'aire en un moment i en un lloc determinat no és una relació directa ni proporcional ni senzilla de conèixer ja que l'atmosfera és un sistema complex amb un comportament caòtic.

Figura 13. (esquerra) Contaminació difusa provocada pel trànsit. Font: Preguntate WordPress.com , (dreta) contaminació de lloc fixes com algunes activitats industrials. Font: Ecologia blog.com

Per tant, per tal de minimitzar la contaminació atmosfèrica és necessari, per una banda el control de les emissions atmosfèriques (nivells d'emissió), i per altra banda, el control i la vigilància de la presència dels contaminants a l'aire en diferents punts receptors (nivells d'immissió).

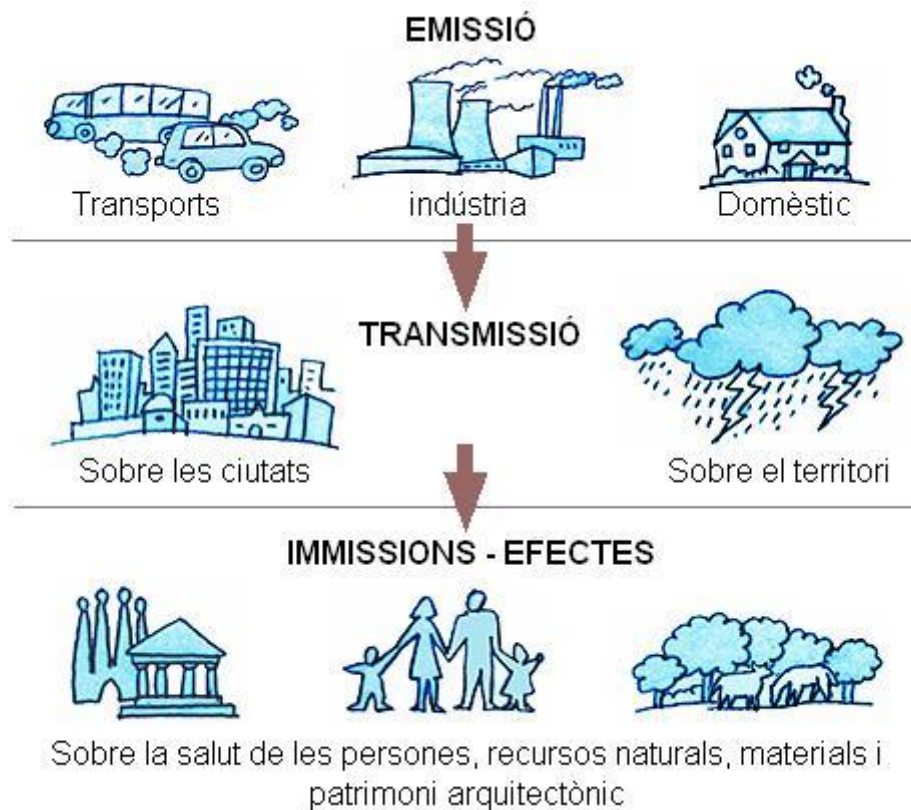


Figura 14. Font: Carrera, E. et al. (2000). Tecnologia i Sostenibilitat. Càtedra UNESCO de Sostenibilitat. UPC

El procés de contaminació atmosfèrica comença al dipositar-se a l'atmosfera els contaminants, i continua amb la presència dels mateixos en el medi gasós, on la seva evolució depèn, com hem vist anteriorment, de les propietats dels compostos i de les condicions ambientals.

El procés s'inicia, doncs, amb l'emissió dels productes. Per emissió s'entén la totalitat de substàncies que passen a l'atmosfera després de deixar les fonts de les que procedeixen.

Una vegada produïda l'emissió, els compostos es distribueixen per l'atmosfera segons un procés de dispersió que principalment depèn de dos tipus de factors:

- específics del contaminant: velocitat de sortida, temperatura, forma, grandària, etc...
- meteorològics: velocitat del vent, gradient de temperatura de l'aire, turbulències atmosfèriques.

L'avaluació dels contaminants a l'atmosfera està relacionada amb la idea d'immissió, és a dir, la concentració dels contaminants en l'ambient gasós, en punts força allunyats de les fonts com per no poder discernir quina d'elles és la causant dels nivells de contaminació. Són els nivells d'immissió els que determinen l'efecte d'un contaminant sobre la salut o el medi ambient. Fruit dels estudis mèdics i científics, s'han establert uns valors de referència per als nivells d'immissió de cada contaminant. Mentre no se superen, es pot considerar que la qualitat de l'aire és bona.

Contaminants atmosfèrics més importants, segons la seva composició química
Partícules: segons la mida, són sedimentables ($> 30 \mu\text{m}$), partícules en suspensió ($< 30 \mu\text{m}$), partícules respirables ($< 10 \mu\text{m}$), o fums ($< 1 \mu\text{m}$).
Compostos de sofre: SO_2 , H_2S , H_2SO_4 mercaptans, sulfurs ...
Compostos de nitrogen: NO , NO_2 , NO_x , NH_3 ...
Compostos de carboni: CO , CO_2 , CH_4 , HCT ...
Halògens i compostos halogenats: Cl_2 , HCl , HF , CFC ...
Oxidants fotoquímics: O_3 , peròxids, aldehids...

Les fonts d'emissió inventariades es classifiquen en una sèrie de categories, entre les que podem distingir:

- Fonts estacionàries de combustió.
- Fonts de combustió mòbils.
- Incineració d'escombraries o combustió de deixalles.
- Processos industrials.

Classificació dels contaminants segons la seva procedència
Contaminants primaris: procedents directament de fonts d'emissió fixes o mòbils, que es poden trobar amb la mateixa forma química en els focus emissors (per exemple: SO_2 , H_2S , NO , NH_3 , CO , CO_2 , HCl , HF , PST ...).
Contaminants secundaris: originats en l'atmosfera mateixa, com a conseqüència de transformacions de contaminants primaris; és a dir, no es poden trobar amb la mateixa forma química en els focus emissors (per exemple: O_3 , SO_3 , H_2SO_4 , NO_2 , HNO_3 ...).

En [aquest enllaç](#) trobareu informació més detallada sobre els contaminants atmosfèrics, característiques i fonts emissores.

Magnitud máxima del problema

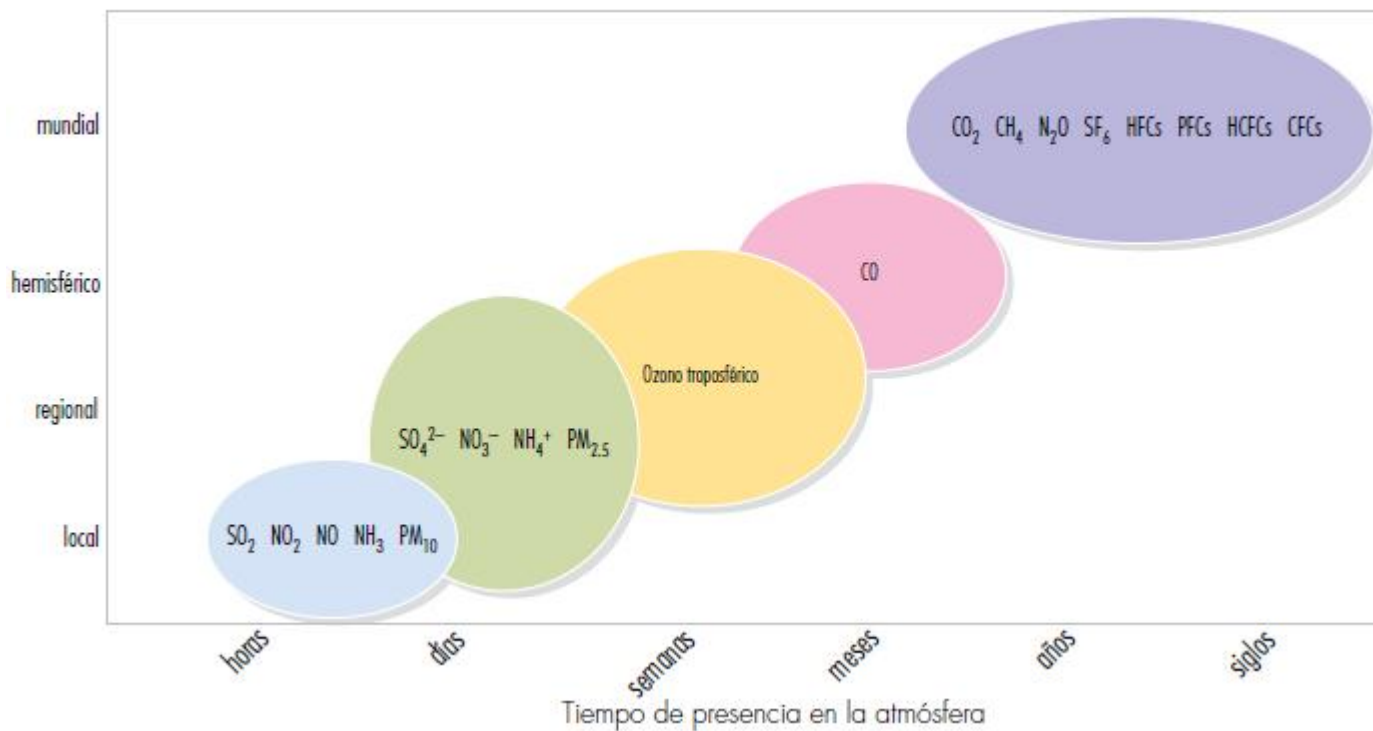
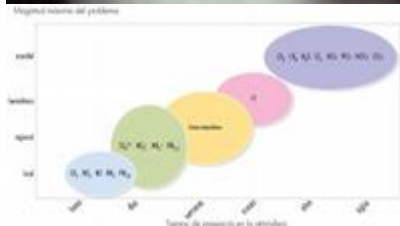


Figura 15. Mitjana de temps de permanència a l'atmosfera de contaminants específics. Font: Agència Europea de Medi Ambient (1995)



3.4 Efectes produïts pels contaminants atmosfèrics: Canvi climàtic

A l'atmosfera que embolcalla el nostre planeta, hi ha una sèrie de gasos (sobretot el vapor d'aigua i el diòxid de carboni) que tenen un efecte d'hivernacle, és a dir, absorbeixen i reemetten la radiació infraroja, impedit que part d'aquesta escapi de la terra, i contribuint a que la temperatura mitjana de l'aire superficial del planeta sigui d'uns 15° C, una temperatura apta per a la vida. L'efecte hivernacle, és per tant un fenomen natural de l'atmosfera.

El problema actual és que la quantitat d'aquests gasos naturals amb efecte d'hivernacle a l'atmosfera ha augmentat i que s'hi han abocat, a més, gasos amb efecte d'hivernacle no presents de forma natural a l'atmosfera. Aquest canvi, posa en perill la composició, la capacitat de recuperació i la productivitat dels ecosistemes naturals.

Els gasos responsables de l'efecte hivernacle són aquells components gasosos de l'atmosfera, tant naturals com d'origen antropogènic, que absorbeixen i reemetten radiació infraroja.

A mesura que incrementa la concentració d'aquests gasos, la radiació infraroja és absorbida a l'atmosfera i reemesa en totes direccions, contribuint aquest fet a que la temperatura mitjana de la Terra augmenti. Aquest fenomen s'anomena efecte d'hivernacle perquè l'absorció i posterior emissió de radiació infraroja també la fan el vidre i certs plàstics amb els quals es fabriquen els hivernacles. Veure una animació [aquí](#).

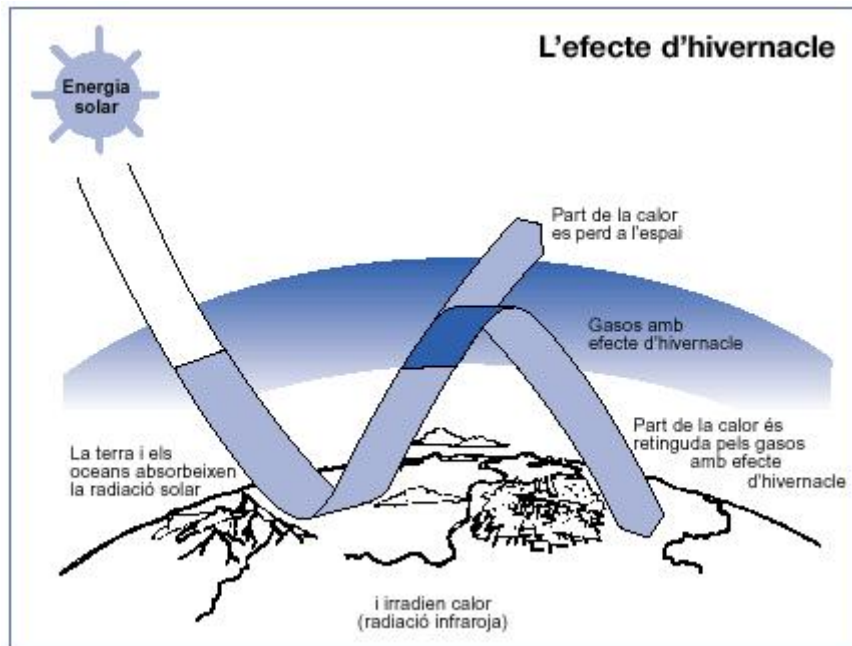


Figura 15. L'efecte hivernacle. Font: Departament de Medi Ambient i Habitatge. Generalitat de Catalunya

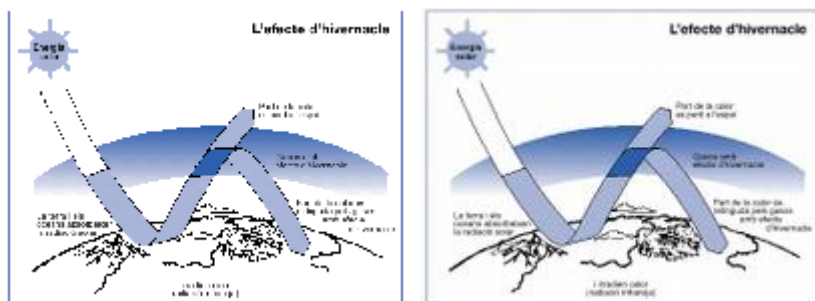
Gasos atmosfèrics que contribueixen a l'efecte d'hivernacle
Diòxid de carboni (CO_2)
Metà (CH_4)
Oxid nitrós (N_2O)
Vapor d'aigua
Ozó (O_3)
Els halocarbons: els hidrofluorocarburs (HCFC), els perfluorocarburs (PFC) i l'hexafluorur de sofre (SF_6)

Els quatre primers es troben de forma natural a la composició de l'atmosfera. L'activitat industrial, en cremar combustibles fòssils, desprèn grans quantitats de diòxid de carboni i òxid de nitrogen. El metà es genera com a resultat de l'activitat agrícola i ramadera. Els halocarbons són d'origen antropogènic i es van començar a fabricar a partir dels anys quaranta.

Els gasos d'efecte hivernacle no tenen tots la mateixa importància ni el seu efecte és similar. D'alguns (CFC) hi ha poques emissions, però en canvi cada molècula emesa té una gran capacitat d'absorció de radiació, pel que el seu efecte relatiu pot ésser important. D'aquesta manera les petites concentracions de CFC's a l'atmosfera són responsables d'una cinquena part de l'efecte hivernacle. També és important l'efecte del metà o dels òxids de nitrogen i, fins i tot, de l'ozó troposfèric, tot i la seva inestabilitat, encara que més de la meitat de la responsabilitat de l'efecte hivernacle és produïda pel CO_2 .

Les conseqüències del canvi climàtic pronosticades pels científics del Panel Intergovernamental per al Canvi Climàtic són les següents:

- augment de la temperatura mitjana d'1 a 3,6 graus centígrads en el proper segle,
- desertificació de certes zones del planeta,
- pluges de caràcter torrencial en d'altres zones,
- pujada del nivell del mar d'entre 15 i 94 cm, que inundaria zones avui densament poblades, difusió de certes malalties de tipus tropical en zones avui de clima temperat.



3.5 Boira fotoquímica

La boira fotoquímica produeix irritació de les mucoses, per això origina problemes respiratoris i, en condicions extremes, pot causar malalties greus i, fins i tot, la mort. Els efectes d'aquest tipus de boira es deuen no solament als contaminants primaris (és a dir, els emesos per l'activitat de l'home) sinó molt especialment als contaminants secundaris (és a dir als que es formen com a resultat de les reaccions químiques que es produeixen a l'atmosfera).

Figura 16. Imatge de la ciutat xinesa de Beiging, sense i amb boira fotoquímica o "smog". Font: China for dummies

Entre aquests contaminants secundaris es troben substàncies com els formols, els aldèhids, l'ozó o els nitrats de peroxiacil, totes elles substàncies formades per reaccions d'oxidació i responsables dels problemes respiratoris i inflamatoris de l'aire urbà contaminat.

Els elements claus de l'smog, a més de les emissions esmentades, són la llum solar, les partícules i els òxids de nitrogen. L'smog es produeix per oxidació dels contaminants primaris i aquesta oxidació es fa sobretot pels radicals oxigen que es produeixen a les reaccions fotoquímiques que tenen com a origen els òxids de nitrogen.

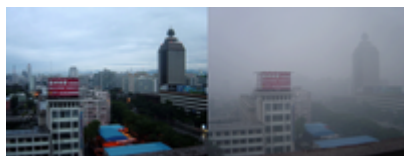
A continuació es presenta un esquema molt senzill de la generació dels contaminants secundaris.



Figura 17. Font: DMAiH

La boira fotoquímica es produeix durant el dia en moments de forta insolació i quan el trànsit és elevat (molta emissió d'hidrocarburs, per exemple la benzina que s'evapora dels dipòsits dels cotxes i de les benzineres), la generació de contaminants secundaris és màxima a finals del matí o principis de la tarda. Després, en disminuir la radiació solar i anar-se consumint els contaminants secundaris (són compostos inestables) va disminuint la seva quantitat.

A la nit, en no haver-hi radiació, va desapareixent l'smog degut als contaminants secundaris i es regenera la situació inicial. A l'endemà recomença el procés.



3.6 Acidificació del medi ambient

S'origina com a conseqüència del retorn a la superfície de la terra en forma d'àcids dels òxids de sofre i nitrogen descarregats a l'atmosfera. Aquesta acidificació es pot produir com deposició seca o deposició humida (pluja àcida).

La majoria de contaminants secundaris produïts en l'smog fotoquímic manifesten els seus efectes a escala local i no es transporten a distàncies grans. Molts dels contaminants primaris (sobretot els que s'emeten en més quantitat) poden ser transportats a distàncies considerables, especialment si són poc reactius amb altres elements o s'emeten en grans quantitats. Aquest és el cas de dos grups de molècules que són abundants a l'atmosfera i que es produeixen a les combustions resultat de l'activitat de l'home: els òxids de sofre i de nitrogen (SO_x , NO_x).

Els òxids de sofre es produeixen sobretot en les emissions industrials i molt especialment quan es crema carbó (lignit) o petroli. Els òxids de nitrogen es produeixen en totes les combustions però especialment en els motors de combustió dels vehicles.

Aquests dos compostos poden ser traslladats a centenars de quilòmetres pels moviments de les masses d'aire i, de vegades, segueixen trajectòries ben determinades que fan que les emissions en un punt provoquin contaminacions en un altre.

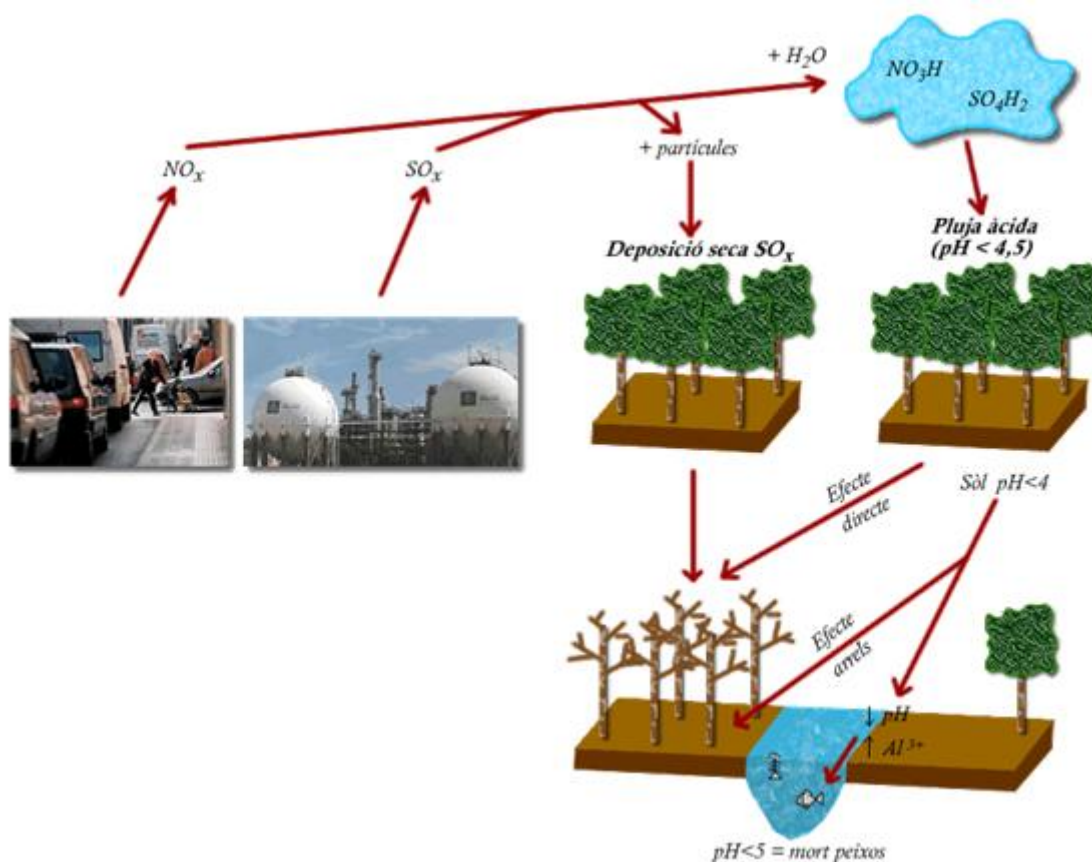


Figura 18. Procés d'acidificació del medi ambient. Font: Departament de Medi Ambient i Habitatge. Generalitat de Catalunya

Els seus efectes es poden produir tant com als compostos emesos originalment o per la seva combinació amb el vapor d'aigua, i per això parlem respectivament de deposició seca o deposició humida.

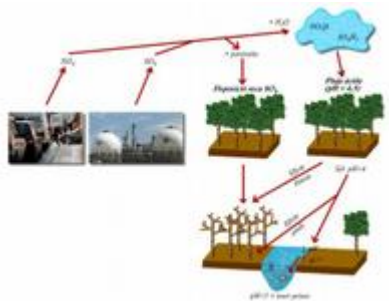
La deposició seca, sobretot vehiculada per micropartícules riques en òxids de sofre, produeix efectes molt importants en la vegetació que, sotmesa a concentracions mitjanes d'aquests compostos en intervals de temps llarg, pot patir defoliació, ja que les fulles es moren.

Figura 19. Efectes de pla pluja àcida sobre la vegetació. Font: [Verdeoscuro](#)

Els efectes de la deposició humida dels òxids de sofre i nitrogen són els coneguts com a pluja àcida. Els òxids de sofre i nitrogen, en combinar-se amb l'aigua atmosfèrica, formen petites gotes d'aigua riques en àcid nítric o àcid sulfúric. Aquestes gotes són traslladades pels moviments de les masses d'aigua atmosfèriques a zones allunyades on l'aigua forma gotes més grans i acaba com a gotes de pluja sobre un territori ben diferent al d'origen de les emissions. La pluja, rica en àcid sulfúric, té un pH molt baix, inferior a 4,5, i per això parlem de pluja àcida.

La pluja àcida té efectes directes sobre la vegetació i també efectes indirectes sobre aquesta i els ecosistemes aquàtics associats. De forma directa la pluja àcida crema les fulles dels arbres provocant la seva defoliació i, en casos extrems, la seva mort. De forma indirecta, aquesta pluja àcida fa que l'aigua del sòl augmenti la seva acidesa; i això repercuteix en la funció de les arrels, que pot fer disminuir l'assimilació per part de l'arbre i també la seva mort. A més, aquesta aigua àcida del sòl s'escola cap als medis aquàtics propers, rius, llacs i aiguamolls reben aquesta aigua àcida i això provoca la mort de molts organismes que no poden suportar la disminució del pH a l'aigua. En casos extrems, i quan els sòls ja són àcids de naturalesa (sòls sobre pissarres, granits o esquists) l'extrema acidesa de l'aigua del sòl pot provocar la mobilització de l'alumini (Al) dels silicats i passar a l'aigua que així pot arribar als ecosistemes aquàtics. Com que l'alumini és un metall tòxic, l'efecte combinat de pH baix i alumini alt pot provocar mortaldats importants de peixos i altres organismes.

Podeu veure més informació sobre el fenomen de la puja àcida, [clicant aquí](#).



3.7 Afebliment de la capa d'ozó

Com ja hem vist en capítols anteriors a la part superior de l'Estratosfera es troba la capa d'ozó, que actua de filtre de la radiació solar ultraviolada. Si es produeix una reducció de la seva concentració, es provoca un increment de la quantitat de radiació ultraviolada que incideix sobre la Terra.

Quan el diòxid de nitrogen i els CFCs arriben a les altes regions de l'Estratosfera són dissociats per efecte de la llum solar, produint-se òxid de nitrogen i clor lliure. Aquest darrer element destrueix l'ozó.

La reducció de l'ozó a l'estratosfera provoca un increment en la radiació ultraviolada que assola la superfície terrestre. L'increment d'aquesta radiació augmenta els seus efectes naturals. Sense anar més lluny, és considerada un agent cancerígen. En general pot afirmar-se que l'increment percentual del flux ultravioleta és el doble que el percentatge de decreixement de la concentració d'ozó.

Figura 20. Esquema de la problemàtica generada per l'afebliment de la capa d'ozó degut a activitats antropogèniques. Font: [El Jinete insomne](#)

El 1985, els científics van descobrir que la quantitat d'ozó damunt de l'Antàrtida havia minvat de manera molt important. Es va descobrir que el forat a la capa d'ozó havia estat provocat per un tipus de contaminació, en concret, els productes químics anomenats CFC (clorofurocarboni). Els CFC són gasos que es fan servir per produir temperatures baixes en frigorífics i aparells d'aire condicionat. També s'utilitzen en aerosols i en la fabricació d'envasos de plàstic. Quan els gasos CFC arriben a l'atmosfera, les radiacions ultraviolades els fan alliberar radicals de clor, que destrueixen l'ozó. Cada primavera austral s'obre un forat a la capa d'ozó sobre l'Antàrtida, tan extens com els Estats Units i tan profund com l'Everest. El forat ha crescut pràcticament tots els anys, des de 1979.

Cada vegada es va fent més gros i ens amenaça greument. S'estima que una pèrdua de l'1% de la capa d'ozó pot comportar un increment del 2% de casos de càncer de pell, que actualment ja provoca 100.000 morts al món cada any.

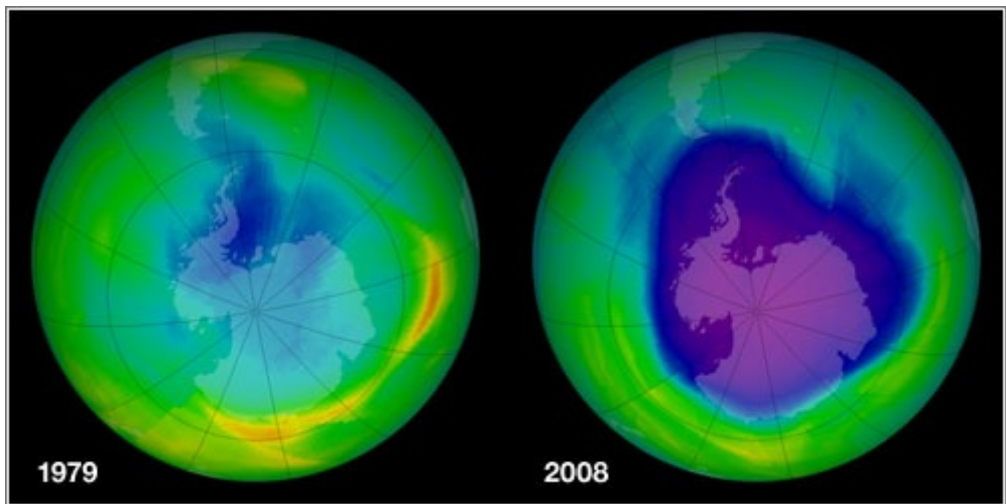


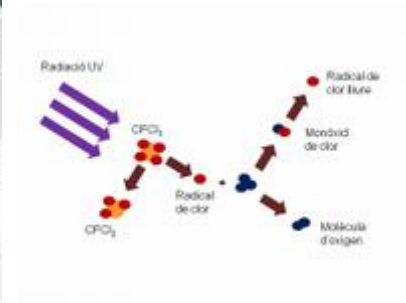
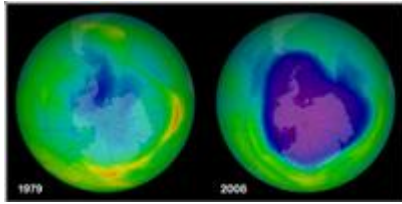
Figura 21. El forat de la capa d'ozó sobre la Antàrtida entre 1979 i 2008. Font: Earth Observatory. NASA

Els gasos CFC són molt estables a les temperatures de la superfície de la Terra, però a mesura que pugen per les capes de l'atmosfera, són sotmesos a temperatures més altes i es tornen inestables. Quan arriben a l'estratosfera, les radiacions ultraviolades (UV), provoquen que els CFC alliberin un radical de clor que queda lliure i pot atacar les molècules d'ozó (O_3), separant d'elles un àtom d'oxigen que es fusiona amb el radical de clor, i es forma així una molècula de monòxid de clor (ClO) i una molècula d'oxigen (O_2), de tal manera que la molècula d'ozó atacada desapareix. El problema és molt greu perquè la molècula de monòxid de clor (ClO) generada es trenca fàcilment i queda lliure de nou un radical de clor que pot atacar noves molècules d'ozó. Per tant, una sola molècula de gas CFC pot destruir ràpidament milers de molècules d'ozó. A la figura següent es pot veure un esquema simplificat del mecanisme de destrucció de l'ozó, d'elaboració pròpia.

Figura 22. Esquema del mecanisme de destrucció de l'ozó. Font: Elaboració pròpia

Des que s'ha descobert que els CFC destrueixen la capa d'ozó, s'han signat acords internacional s per a la prohibició del seu ús com és el cas del [Protocol de Montreal](#). Molts països han prohibit ús dels aerosol que emeten aquests gasos. Però els CFC es continuen utilitzant en l'aire condicionat, el suro sintètic, els refrigeradors i els envasos de plàstic. Veure la [Secretaria del Ozono](#) del Programa de Nacions Unides pel Medi Ambient (PNUMA)

Els CFC duren moltíssim i poden voltar per l'estratosfera fins a 100 anys; per tant, el gas que ja hi és pot anar destruint l'ozó fins d'aquí a un segle.



4. Qualitat de l'aire

L'anàlisi de la qualitat de l'aire és necessària per a la qualitat de vida, la salut de les persones i el medi ambient. És de gran importància conèixer quins contaminants afecten i d'on provenen, per tal de poder avisar a la població i aplicar mesures preventives i correctores.

Figura 23. Efectes potencials de la contaminació atmosfèrica sobre la salut de les persones. Font: [Associació de Veïns de Bellvitge](#).



4.1 Índex català de la qualitat de l'aire

L'[ICQA](#) és el sistema d'informació pública de l'estat de la qualitat de l'aire implantat a Catalunya des del gener de 1995.

A Catalunya, la vigilància de la qualitat de l'aire es duu a terme mitjançant la [Xarxa de Vigilància i Previsió de la Contaminació Atmosfèrica](#) (la [XVPCA](#)), equipada per estacions de mesura manuals i estacions automàtiques, distribuïdes en els municipis.

Aquestes estacions mesuren la concentració a l'aire dels principals contaminants atmosfèrics, és a dir, els nivells d'immissió. La xarxa no té la funció de controlar els focus emissors de contaminants sinó la de vigilar la qualitat de l'aire en cada ubicació.

Informar dels resultats de totes aquestes estacions de mesura i fer-ho per a cadascun dels contaminants és una tasca feixuga i sovint de difícil comprensió per la quantitat d'informació tècnica que requereix.

La informació pública sobre la qualitat de l'aire a Catalunya s'ha caracteritzat, durant molt de temps, per ser una informació rigorosa i científicament correcta però de difícil interpretació per al gran públic.

L'ICQA vol ser l'eina que permeti informar tothom de forma clara, directa i ràpida sobre la qualitat de l'aire que respirem, que garanteixi amb efectivitat el dret que tenen tots els ciutadans d'accedir a la informació ambiental. Es calcula a partir de les dades de les estacions automàtiques de la Xarxa de Vigilància i Previsió de la Contaminació Atmosfèrica (la XVPCA).

L'ICQA té en compte els 6 principals contaminants atmosfèrics per als quals l'actual normativa comunitària ha establert els nivells màxims d'immissió permesos.

S'utilitzen per al càlcul de l'ICQA els nivells d'immissió de: el **monòxid de carboni** (CO), el **diòxid de nitrogen** (NO₂), el **diòxid de sofre** (SO₂), l'**ozó** (O₃) i les **partícules en suspensió** (PM10 -partícules en suspensió igual o menors de 10 micrometres- i **PST**).

L'Índex català de qualitat de l'aire, l'ICQA, és una xifra única i sense unitats que pondera l'aportació dels diferents contaminants mesurats (CO, NO₂, SO₂, O₃, PM10 i PST) a la qualitat global de l'aire. És, per tant, un indicador especialment pensat per informar el gran públic.

El contaminant que ha donat una concentració més alta, essent aquest el que més empitjora la qualitat de l'aire, és el que determina l'ICQA diari.

L'ICQA va de 100 (la millor qualitat de l'aire possible) a -400 (a la pràctica, no sol baixar de -50). Com més alt és el valor de l'ICQA, més alta és la qualitat de l'aire.

El valor de 0 de l'ICQA marca una frontera important:

- un ICQA negatiu significa que, com a mínim, un dels contaminants ha ultrapassat el nivell límit d'emissió fixat per la normativa vigent actualitzada.
- un ICQA positiu significa que els 6 contaminants que determinen l'ICQA estan presents a l'aire en concentracions inferiors als valors límit.

A partir del valor numèric de l'ICQA es defineix una qualitat de l'aire. Quan més alt és l'ICQA més alta és la qualitat de l'aire.

Bona 50<ICQA<100	*****	Qualitat de l'aire excel·lent 75<ICQA<100
Bona 50<ICQA<100	****	Qualitat de l'aire satisfactòria 50<ICQA<75
Millorable 0<ICQA<50	***	Qualitat de l'aire acceptable 25<ICQA<50
Millorable 0<ICQA<50	**	Qualitat de l'aire baixa 0<ICQA<25
Pobra ICQA<0	*	Qualitat de l'aire deficient -50<ICQA<0
Pobra ICQA<0	.	Qualitat de l'aire molt deficient ICQA<-50

Classificació de la qualitat de l'aire segons el valor de l'ICQA

Per conèixer els nivells de contaminació de CO, NO₂, SO₂, O₃, PM10 i PST mesurats per les estacions automàtiques [consulteu el web de la XVPCA](#).



4.2 Sistema de vigilància de la qualitat de l'aire

La vigilància de la qualitat de l'aire ha adquirit molta importància en totes les organitzacions que estudien la contaminació atmosfèrica. Els sistemes de vigilància utilitzats fins ara estan format per xarxes que disposen cada una d'elles d'una o varies estacions manuals on es recullen mostres de diferents contaminants, els quals s'analitzen posteriorment al laboratori per donar valors mitjos de concentració generalment per períodes diaris.

Conèixer l'estat de la qualitat de l'aire a les diferents zones del territori, la seva evolució en el temps i la seva variació en funció de les condicions meteorològiques és un dels objectius de l'administració. D'aquesta manera, es pot informar els ciutadans i adoptar les mesures preventives i de sanejament més adients per a la protecció i la millora de la qualitat de l'aire.

Així doncs, la Xarxa de Vigilància i Previsió de la qualitat de l'aire (XVPCA) permet:

- Conèixer les zones més vulnerables o afectades per posar en marxa les mesures preventives o de sanejament més adients.
- Conèixer la qualitat de l'aire que respirem i informar-ne als ciutadans.
- Observar com varia la qualitat de l'aire en punts fixos del territori.



Figura 24. Esquema del sistema de funcionament del control de la qualitat de l'aire a Catalunya

Font: [Departament de Medi Ambient i Habitatge. Generalitat de Catalunya](#)

Tant la XVPCA com les unitats mòbils de vigilància de la contaminació atmosfèrica mesuren els nivells de concentració a l'aire dels diferents contaminants que respirem, és a dir, els nivells d'immissió.

El que controlen és la qualitat de l'aire en un indret i un temps determinats. El qual permet emprendre les mesures necessàries per millorar-la.

La combinació dels nivells d'immissió i els paràmetres meteorològics permet localitzar l'origen dels contaminants.

Ni una ni l'altra mesuren els contaminants que emet una xemeneia o un tub d'escapament, el que es coneix com a nivells d'emissió.

La Xarxa és un sistema de detecció dels nivells d'immissió dels principals contaminants. Va ser creada per la Llei 22/1983, de 21 de novembre, definida per l'Ordre de 20 de juny de 1986 i adscrita administrativament al Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya.

La Xarxa s'estructura en forma piramidal i consta de:

- Sensors: aparells de mesuratge dels nivells d'immissió, organitzats en estacions.
- Centres d'anàlisi: laboratoris capaços d'analitzar les mostres de les estacions manuals i de validar i tractar les dades obtingudes dels sensors. Actualment, n'hi ha 12.
- Centre receptor i coordinador: és el Departament de Medi Ambient, que planifica, coordina i supervisa tota la Xarxa, homologa les estacions, rep les dades (via ràdio o telèfon), les analitza (amb sistemes informatitzats) i n'informa dels resultats.

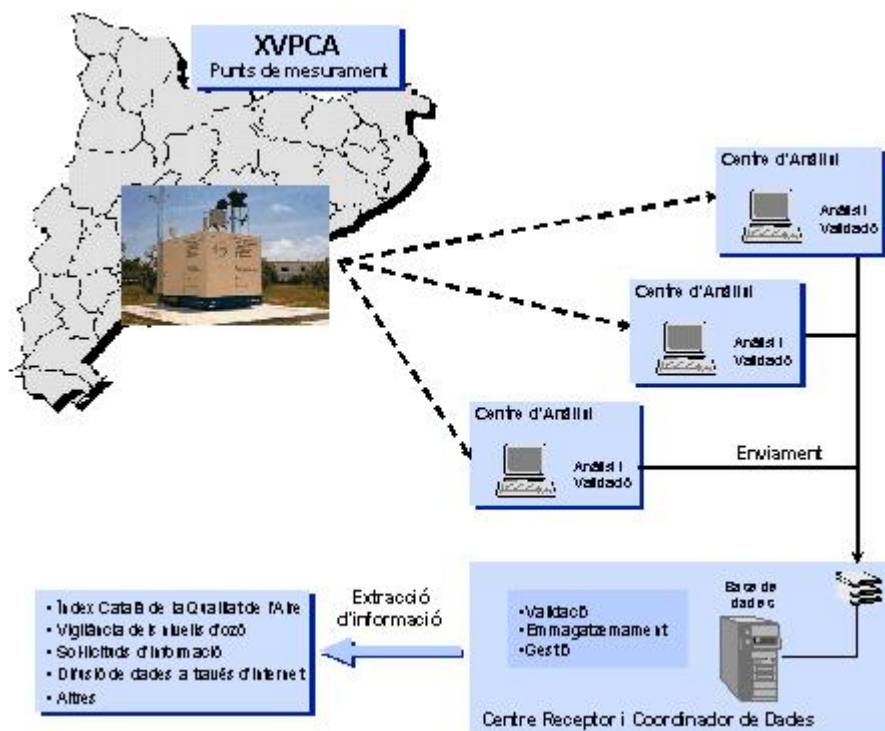


Figura 25. Esquema del sistema de funcionament de la Xarxa de Vigilància de la Qualitat de l'Aire XVPCA a Catalunya

Font: [Departament de Medi Ambient i Habitatge. Generalitat de Catalunya](#)



4.3 Control de les emissions industrials a Catalunya

Les indústries han de realitzar mesuraments reglamentaris d'emissió amb la periodicitat estipulada

Cada focus emissor d'una instal·lació ha d'estar condicionat per a la realització de mesuraments d'emissió amb boques de mostreig per a l'extracció de mostra i amb una plataforma d'accés per a treballar-hi, d'acord amb l'Ordre 18 d'octubre de 1976.

Les tendències actuals en el camp del control de les emissions industrials a l'atmosfera apunten cap als sistemes de control en continu, que permeten conèixer en temps real els nivells d'emissió d'un determinat focus.

El Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya disposa dels [instruments](#) següents per al control en continu de les emissions:

- Unitats mòbils de control de les emissions industrials, que permeten controlar en continu les emissions de tot tipus d'indústries arreu de Catalunya

- Xarxa de control de les emissions industrials (XEAC) que permet rebre al Departament en temps real les dades d'emissió d'una instal·lació que estigui integrada

5. Depuració de gasos

La prevenció de la contaminació de l'aire, provinent de fonts industrials s'inicia dins de la fàbrica o planta. No és necessari haver de dependre de dispositius de neteja dels gasos i de xemeneies altes de descàrrega a fi de reduir les emissions i dispersar i diluir les substàncies perjudicials a concentracions tolerables a nivell del sòl, quan el control del procés i del sistema sigui efectiu en evitar la formació i descàrrega dels contaminants a l'aire, és a dir s'hauran de comprovar els següents punts:

1. Substitució del combustible
2. Canvis en el procés
3. Pràctica operatòria bona
4. Reubicació de la font
5. Clausura de la font
6. Neteja dels gasos
7. Dispersió

Finalment, es pot arribar a la conclusió de que és necessari un equip de neteja dels gasos.

5.1 Eliminació de partícules

Encara que les partícules representen un tant per cent molt petit (10% aprox) del total dels contaminants de l'aire produïts per l'home, el risc potencial d'aquest tipus de contaminants és molt més gran. Les partícules presenten un risc pels pulmons, augmenten les reaccions químiques a l'atmosfera, redueixen la visibilitat, augmenten la possibilitat de la precipitació, la boira i els núvols, redueix la radiació solar i embruta les matèries del sòl.

La magnitud del problema a cada una de les àrees anteriors és una funció del rang de la grandària de les partícules presents a l'atmosfera local, la concentració de les partícules i les composicions químiques i físiques de les partícules.

És necessari determinar un cert número de factors abans de poder fer una selecció apropiada de l'equip de col·lecció.

Entre les dades necessàries més importants es troben les següents:

- les propietats físiques i químiques de les partícules;
- l'interval de la taxa de flux volumètric del corrent del gas;
- l'interval de les concentracions de partícules que es podrien esperar (càrregues de pols);
- la temperatura i pressió del corrent de flux;
- la humitat;
- la naturalesa de la fase gasosa com per exemple les característiques corrosives i de solubilitat);
- i la condició necessària per l'efluent tractat.

Aquest últim element d'informació pot ser el més important, ja que indica l'eficiència de col·lecció que s'ha de complir, ja sigui per una sola peça de l'equip o vàries operant en sèrie. En molts casos, les consideracions anterior limiten a l'enginyer a un o dos tipus bàsics d'equip.

A continuació es presenten les cinc classes bàsiques d'equips de col·lecció de partícules:

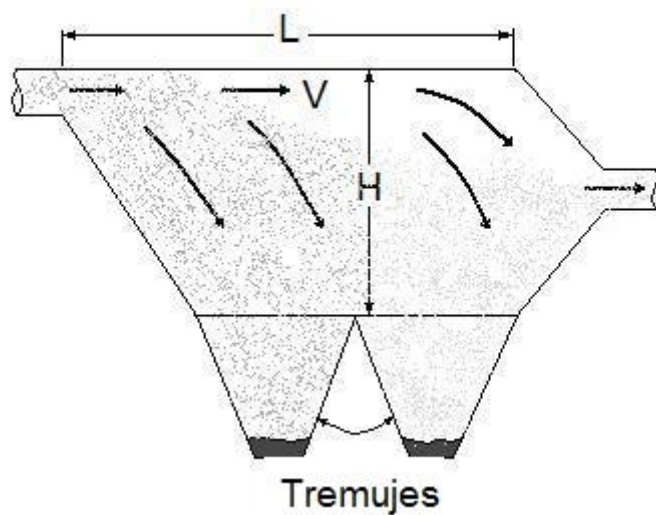


Figura 26. Cambra de sedimentació. Font: Pròpia a partir de Kenneth Wark; Cecil f. Warner. (1991).

Figura 27. Ciclons. Font: Kenneth Wark; Cecil f. Warner. (1991).

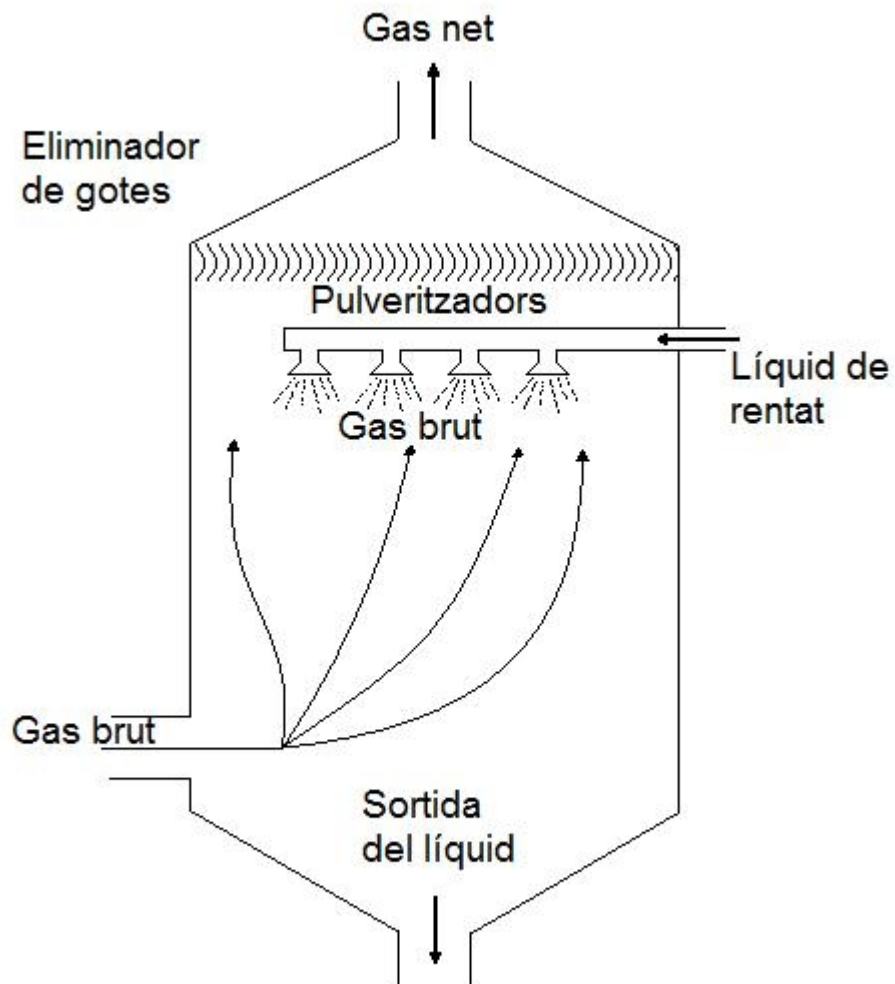


Figura 28. Col·lector humit: Font: Pròpia a partir de Kenneth Wark; Cecil f. Warner. (1991).

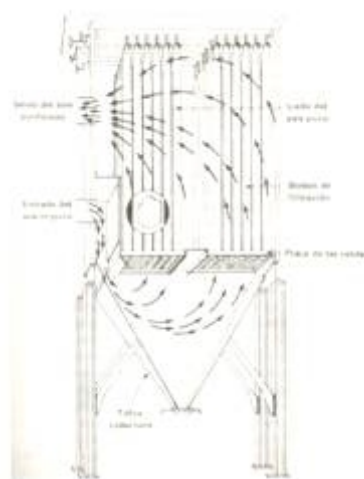


Figura 29. Filtre de tela. Font: Kenneth Wark; Cecil f. Warner. (1991).

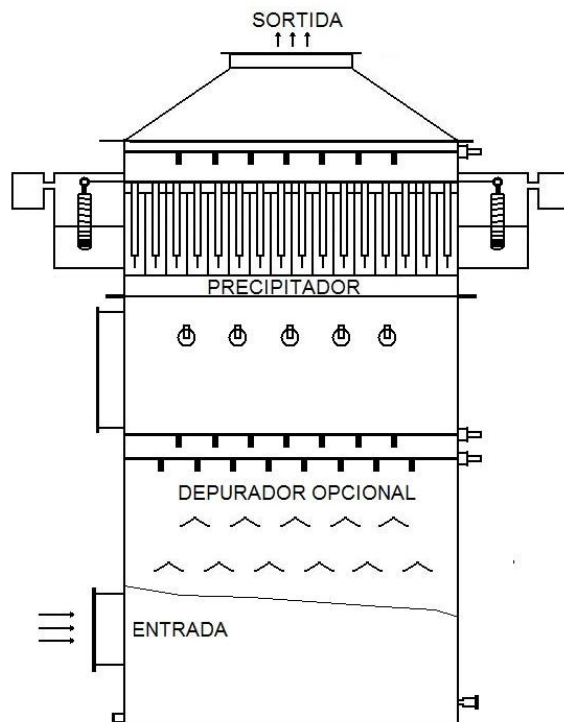
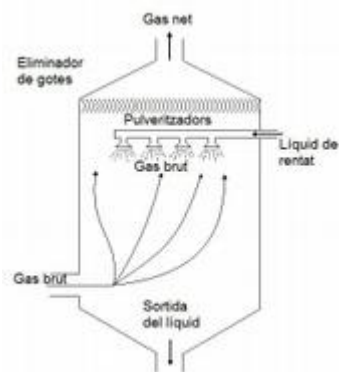
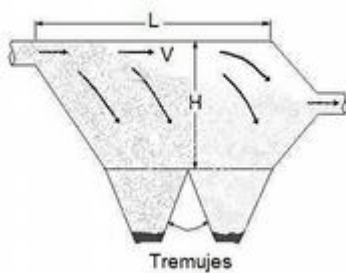
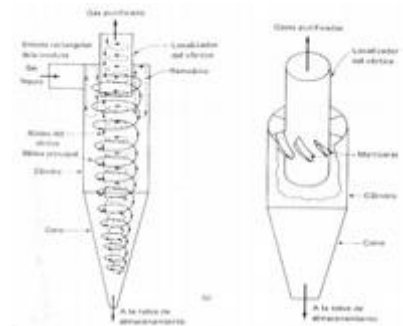
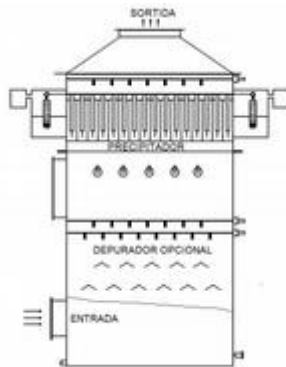
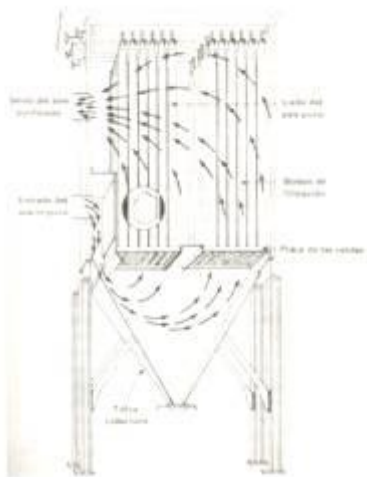


Figura 30. Precipitador electrostàtic: Font: Kenneth Wark; Cecil f. Warner. (1991).



5.2 Eliminació de gasos contaminants

La majoria dels contaminants de l'aire reconeguts estan en forma de gasos; entre ells estan el monòxid de carboni, els òxids de nitrogen, els òxids de sofre i els hidrocarburs no cremats.

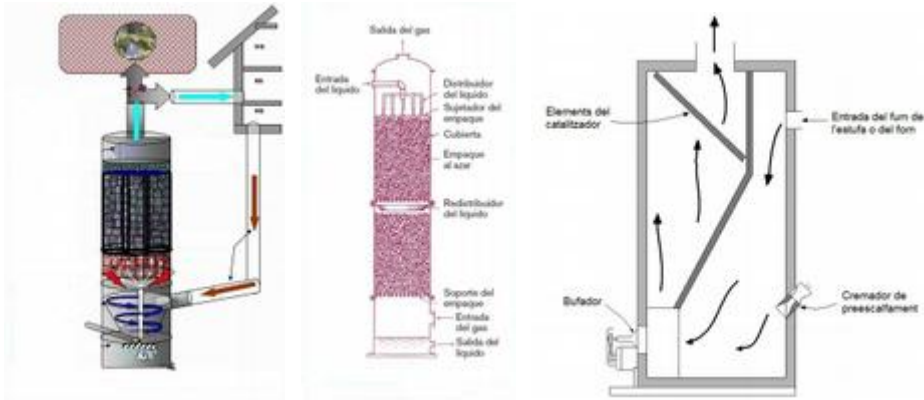
La reducció d'aquestes substàncies a nivells desitjables es pot portar a terme per diferents mètodes:

- La concentració del contaminant es pot reduir per la **restricció de la quantitat de contaminant** formada en el procés químic original.
- **Adsorció**: l'espècie contaminant es pot adsorbir sobre la superfície d'adsorbidors sòlids selectius.
- **Absorció**: els contaminants poden ser absorbits per dissolvents líquids.
- **Oxidació**: el contaminant es pot oxidar mitjançant la incineració catalítica o de flama directa, a una altra forma química que sigui un contaminant.

Figura 31. Adsorció. Font: Kenneth Wark; Cecil f. Warner. (1991).

Figura 32. Absorció. Font: Kenneth Wark; Cecil f. Warner. (1991).

Figura 33. Oxidació. Font: elaboració pròpia a partir de Kenneth Wark; Cecil f. Warner. (1991).



6. Legislació

Les normatives més importants sobre la contaminació atmosfèrica es descriuen a continuació

a) [Legislació Europea](#)

- **Directiva 2008/50/EC** of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe.

- **Directiva 2004/101/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de octubre de 2004, por la que se modifica la Directiva 2003/87/CE, por la que se establece un régimen para el comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero en la UE.

- **Directiva 2001/81/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2001, sobre techos nacionales de emisión de determinados contaminantes atmosféricos.

- **Directiva 96/61/EC** concerning integrated pollution prevention and control (the IPPC Directive)

b) [Legislació Espanyola](#)

LEY 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera. (pdf)

RESOLUCIÓN de 14 de enero de 2008, de la Secretaría General para la Prevención de la Contaminación y el Cambio Climático, por la que se publica el Acuerdo de 7 de diciembre de 2007, del Consejo de Ministros, por el que se aprueba el II Programa Nacional d

Ley 1/2005, de 9 de marzo por la que se regula el régimen de comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero.

Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación.

c) **Lesgislació catalana**

[Legislació diversa sobre contaminació atmposfèrica a Catalunya](#)



7. Activitats

Activitat 1

Fer grups de 5 persones, cada persona ha de llegir 10 preguntes del document: "[50 preguntes i respostes sobre comerç de drets d'emissió](#)".

Cada membre del grup ha d'explicar a la resta de companys el que ha llegit i entés d'aquestes 10 preguntes i per tant amb el treball de tots els membres del grup es contruirà de forma cooperativa el coneixement d'aquest tema.

Per avaluar l'activitat, tots els membres del grup -de forma individualitzada- han de respondre a un qüestionari que prepararà el professor/a amb 10 preguntes triades a l'atzar de les 50 que inclou el document abans citat.

8. Bibliografia

Libres

Parker, A. (1983). *Contaminación del Aire por la Industria*. Ed Reverté. ISBN: 84-291-7464-8

Stern, C.; Richard W; Boubel, D; Turner,B.; Donald L. Fox. (1984). *Fundamentals of Air Pollution*. Arthur Ed. Academic Press, Inc. ISBN: 0-12-66580-X

Wark, J.; Warner, C.F. (1991). *Contaminación del aire. Origen y control*. Ed. Limusa Noriega. ISBN: 0-700-22534-X

Webs

[Agència del medi ambient europea \(EEA\)](#)

[Centre europeu de l'aire i canvi climàtic](#)

[Difusió de contaminants a la atmosfera](#)

[Enllaços amb pàgines relacionades amb la qualitat de l'aire](#)

[European Topic Centre on Air and Climate Change](#)

[Intergovernmental Panel on Climate Change \(IPCC\)](#)

[Ministeri de Medi ambient. Gobierno de España](#)

[Medi ambient i Habitatge. Generalitat de Catalunya](#)

[Portal Sostenibilidad](#)

[Registre europeu de contaminants. EPER](#)

[Registre espanyol de contaminants. EPER](#)

9. Crèdits

Com s'ha de citar aquesta unitat?

Garrido, N.; Carrera, E. *Contaminació atmosfèrica*. A: Carrera, E.; Segalàs, J. (ed.). *Tecnologia i sostenibilitat* [en línia]. Terrassa: Universitat Politècnica de Catalunya. Càtedra UNESCO de Sostenibilitat, 2010. [Consulta: dia mes any]. Disponible a: <<http://tecnologiaisostenibilitat.cus.upc.edu>>

Els continguts d'aquest capítol han estat elaborats per:

Núria Garrido

Departament de Màquines i Motors Tèrmics
Universitat Politècnica de Catalunya

nuria.garrido@upc.edu



Enric Carrera Gallissà

Càtedra UNESCO de Sostenibilitat
Universitat Politècnica de Catalunya

carrera@catunesco.upc.edu

