# Difusió de contaminants a l'atmosfera

## **Consideracions generals**

Es defineix contaminació atmosfèrica com la impurificació de l'atmosfera per la injecció de matèries alienes a la seva composició normal o en una proporció molt superior a l'habitual.

El *nivell d'immissió* es la concentració del contaminant. Es mesura en parts per milió ($ppm$) o en micrograms per metre cúbic ($\mu g/m^3$).

La intensitat d'una *font emissora* es pot mesurar en $Kg/s$.

Classificació dels contaminants

1. Segons el seu origen
   (a) Primaris: són els emessos directament a l'atmosfera ($SO_2$, $NO_2$, ...).
   (b) Secundaris: Es creen a partir dels primaris ($H_2SO_4$, $O_3$, ...).
2. Segons la seva composició
   (a) Compostos del Sofre ($SO_x$)
   (b) Compostos del Nitrògen ($NO_x$)
   (c) Compostos del Carboni
   (d) Partícules en suspensió
   (e) Ozó troposfèric

S'ha de tenir en compte el periòde del nivell d'immissió de cada contaminat a l'hora de promitjar les mesures.

## índex de qualitat

Per mesurar el seu efecte s'han establert valors de referència i índexs de qualitat. Els valors de referència són els valors màxims considerats inofensius.

| Contaminant | $SO_2$ | Part. | $NO_2$ | CO |
|---|---|---|---|---|
| Valor de referència ($\mu g/m^3$) | 250 | 300 | 400 | 15000 |
| Valor típic urbà ($\mu g/m^3$) | 132 | 120 | 77 | 7800 |
| Valor típic rural ($\mu g/m^3$) | 0.5 | 37 | 2 | 100 |

Els índexs són més útils per informar del grau de contaminació. A Catalunya, el departament de medi ambient utilitza l'índex ICQA. Es tracta d'una adaptació a la normativa europea de l'índex americà PSI.

L'ICQA tradueix a una mateixa escala els efectes dels contaminants sobre la salut de les persones. Té en compte els 4 principals contaminants. Si n'hi ha més d'un s'agafa el que tingui un valor més baix a l'escala.

| ICQA | $SO_2$ ($\mu g/m^3$) 24h. | Part. ($\mu g/m^3$) 24h. | $NO_2$ ($\mu g/m^3$) 1h. | $CO$ ($\mu g/m^3$) 8h. |
|---|---|---|---|---|
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 50 | 100 | 150 | 150 | 6000 |
| 0 | 250 | 300 | 400 | 15000 |
| -100 | 800 | 600 | 1130 | 17000 |

| bona | millorable | pobra |
|---|---|---|
| excel.lent $75 \leq ICQA \leq 100$ | acceptable $25 \leq ICQA \leq 50$ | deficient $-50 \leq ICQA \leq 0$ |
| satisfactòria $50 \leq ICQA \leq 75$ | baixa $0 \leq ICQA \leq 25$ | molt deficient $ICQA \leq -50$ |

## Destí dels contaminants

1. Reacció química

   Els contaminants tenen un *temps de residència* abans de transformar-se en altres compostos, sovint també contaminants.

   Per exemple, el temps de residència del $SO_2$ és d'uns dies. Es transforma en els següents contaminants secundaris

   $$SO_2 + \frac{1}{2}O_2 \longrightarrow SO_3$$
   $$SO_3 + H_2O \longrightarrow H_2SO_4$$

2. Deposició:

   (a) Seca:

   $$\Phi = \chi V_g$$

   on $V_g$ és la velocitat de deposició $(m/d)$ i $\chi$ és la concentració $(\mu g/m^3)$.

   (b) Humida:

   $$\Phi = \chi h I \alpha$$

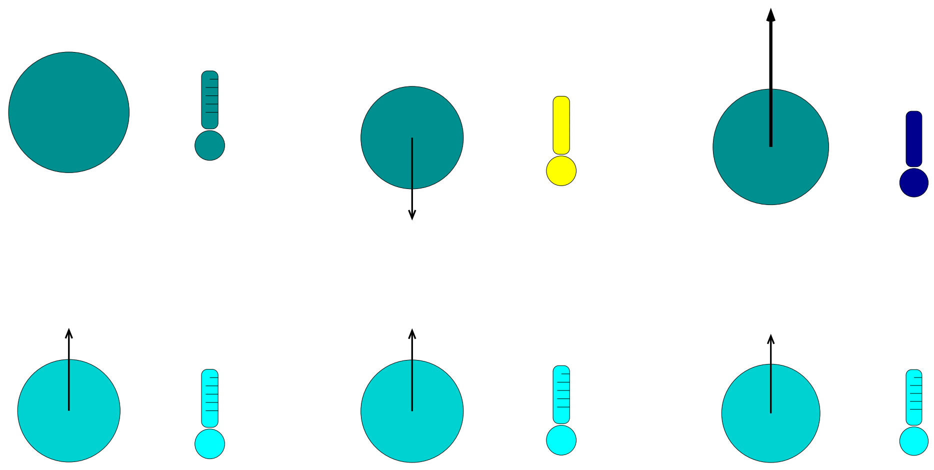
   on h és l'alçada de barreja $(\sim 1000m)$, $I$ la precipitació $(mm/d)$ i $\alpha$ és una constant $(mm{-}1)$ que indica la facilitat amb la que l'aigua s'emporta el contaminant.

   Pel $Cs^{137}$, $V_g = 210\, m/d$ i $\alpha = 0.6\, mm^{-1}$.

3. Difusió: Depèn de l'estratificació. Un dels models més emprats és el gaussià.

## Estratificació

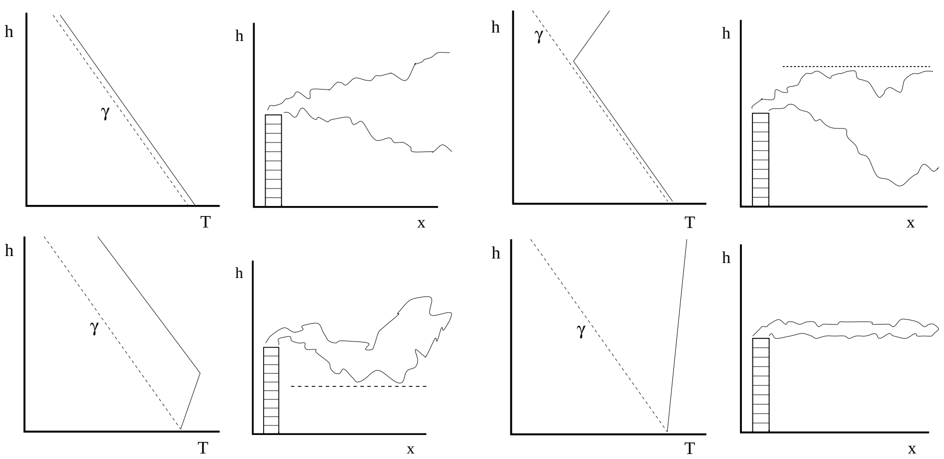
Segons la termodinàmica, l'aire es refreda amb l'alçada de manera proporcional a un coeficient $\gamma = 1/102\, C/m$.



Si l'atmosfera presenta un gradient més petit llavors l'aire no pot canviar d'alçada perquè es trobaria amb aire més calent que ell si puja o més fred si baixa.

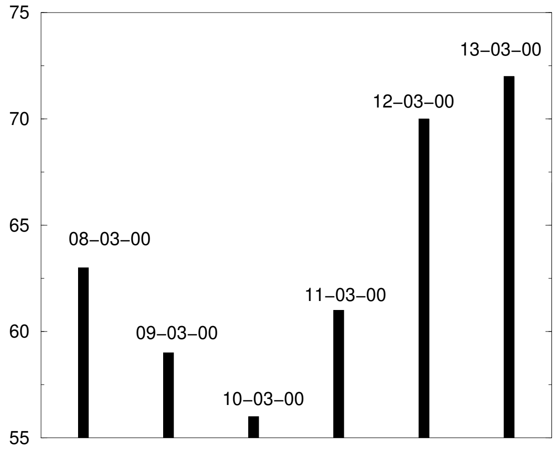
Si l'atmosfera presenta inversió tèrmica l'aire té encara més tendència a continuar pujant.

## Efecte de la inversió tèrmica



## Situacions meteorològiques desfavorables

Durant la primera quinzena del mes de març de 2000 es va produir un episodi de contaminació més elevada del que és normal

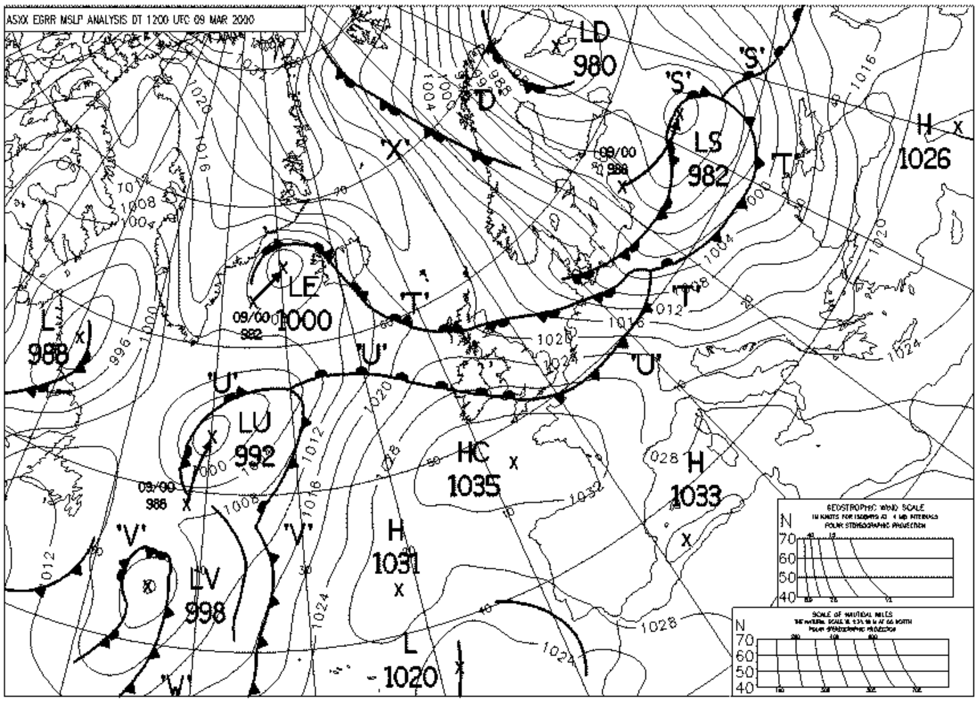


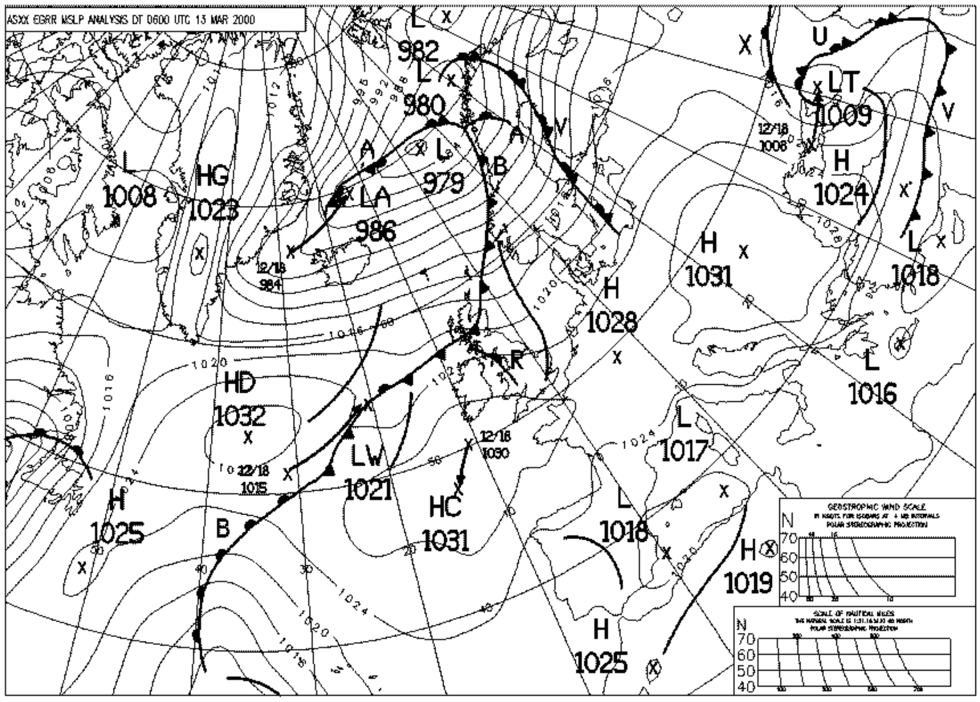

Els dies amb pitjor qualitat de l'aire es caracteritzen per

1. Elevada pressió atmosfèrica
2. Isòbares separades

Això produeix vents febles i inversió tèrmica.

Quan es va produïr una situació on era més fàcil la circulació de l'aire (tant verticalment com horitzontalment), la qualitat de l'aire va millorar rapidament.


ASXX EGRR MSLP ANALYSIS DT 1200 UTC 09 MAR 2000
LD
980
'S'
'S'
'D'
'X'
LS
982
'T'
H
1026
LE
1000
'T'
'T'
L
988
'U'
'U'
'U'
LU
992
HC
1035
H
1033
'V'
'V'
LV
998
H
1031
L
1020
'W'
GEOSTROPHIC WIND SCALE
SCALE OF NAUTICAL MILES


ASXX EGRR MSLP ANALYSIS DT 0600 UTC 13 MAR 2000
L
982
L
980
U
LT
1009
V
L
1008
HG
1023
A
L
979
A
B
V
LA
986
H
1024
H
1031
L
1018
H
1028
R
HD
1032
LW
1021
L
1017
L
1016
H
1025
B
HC
1031
L
1018
H
1019
H
1025
GEOSTROPHIC WIND SCALE
SCALE OF NAUTICAL MILES

## Avaluació qualitativa de l'estratificació

És necessari conèixer l'estratificació perquè determina la velocitat del vent a l'alçada de la xemeneia i els coeficients de difusió dels contaminants.

L'estratificació es pot avaluar de manera qualitativa basant-se en les següents observacions:

1. La velocitat del vent a 10 m d'alçada ($m/s$).
2. L'alçada del sol (graus) durant el dia o la fracció de cel tapada pels núbols durant la nit.

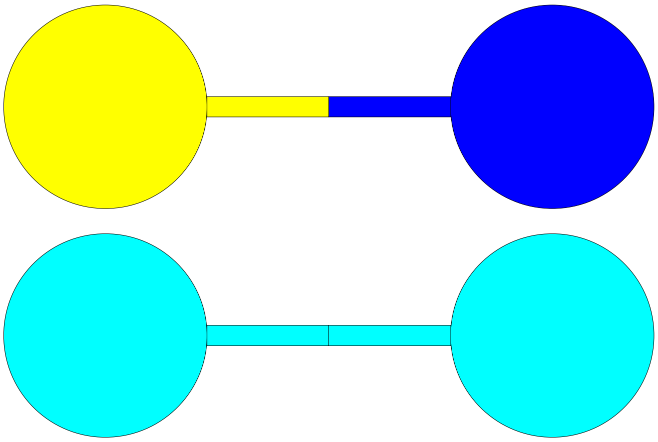
| $v$ a 10 m | $\theta > 60$ | $60 > \theta > 35$ | $35 > \theta$ | n>4/8 | n<4/8 |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | A | A-B | B | G | G |
| 2-3 | A-B | B | C | E | F |
| 3-5 | B | B-C | C | D | E |
| 5-6 | C | C-D | D | D | D |
| >6 | C | D | D | D | D |

| | |
|---|---|
| A | molt inestable |
| B | moderadament inestable |
| C | lleugerament inestable |
| D | indiferent |
| E | lleugerament estable |
| F | moderadament estable |
| G | molt estable |

Quan el cel està tapat es sol considerar que l'estratificació es indiferent (D).

## Difusió

Els dos gasos tendiran a barrejar-se, degut al moviment de les seves mol.lecules



Tenim dues maneres de tractar la difusió:

1. Macroscòpicament: Considerem $\vec{u}$ com la velocitat, $n$ com la concentració i $\vec{k}$ com uns coeficients que caracteritzen la difusió en cada direcció.

$$\frac{\partial n}{\partial t} + \vec{u}\vec{\nabla}n = \vec{\nabla}\left(\vec{k}\vec{\nabla}n\right)$$

2. Microscòpicament: considerem que cada partícula realitza un "vol gaussià". Això vol dir que la densitat de probabilitat de que estigui en un lloc té forma de campana de Gauss, amb el màxim a la posició inicial i amb la amplada de la campana augmentant amb el temps.

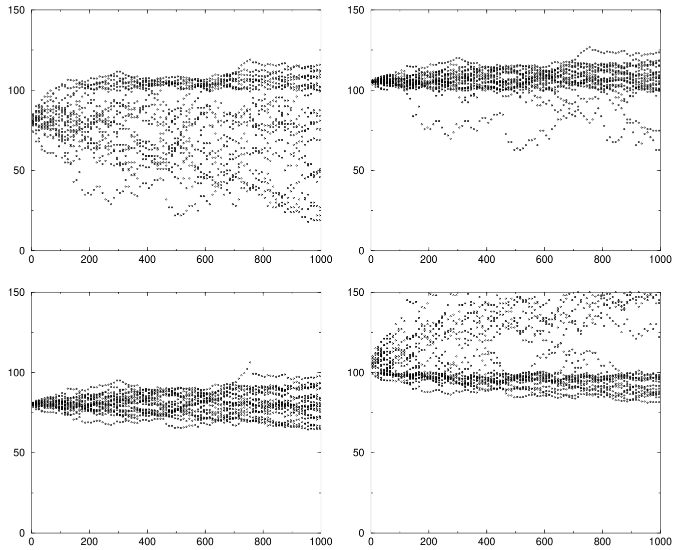
## Simulació d'una inversió tèrmica

Per simular els efectes d'una inversió tèrmica suposarem que:

1. La partícula es mou horitzontalment a velocitat constant.
2. A cada pas, la partícula es mou verticalment una distància que ve donada per una variable aleatòria gaussiana.
3. Aquesta distància és més petita en una zona invertida que en una que no ho està.

Podem aproximar el segon pas, suposant que la partícula es mou una mateixa distància amunt o abaix aleatòriament (amb igual probabilitat).

Resultats: inversió, inversió en alçada i inversió a terra:



## Fumera gaussiana

La fórmula més utilitzada per modelitzar el nivell d'immissió produït per una xemeneia és la gaussiana:

$$\begin{aligned} C(x, y, z) &= \frac{S}{2\pi v\ \sigma_y(x)\ \sigma_z(x)} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y(x)}\right)^2\right] \\ &\left\{\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H}{\sigma_z(x)}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H}{\sigma_z(x)}\right)^2\right]\right\} \end{aligned}$$

El vent bufa en la direcció $x$. La direcció $y$ és perpendicular a la del vent i la $z$ és la vertical. $H$ és l'alçada efectiva de la xemeneia i $v$ és la velocitat del vent a aquesta alçada.

La velocitat del vent $v$ a una alçada $z$ es pot calcular si coneixem la velocitat $v_0$ a una alçada $z_0$.

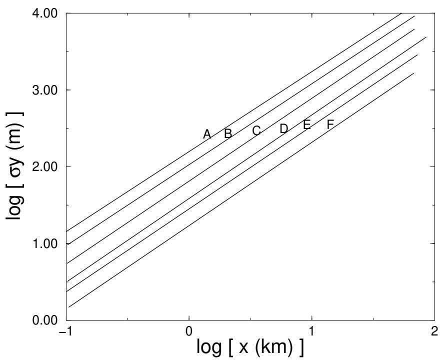
$$\frac{v}{v_0} = \left(\frac{z}{z_0}\right)^n$$

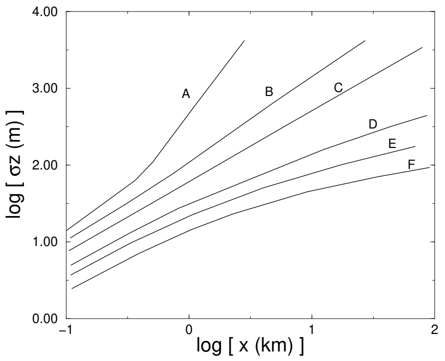
L'exponent $n$ depèn de la topografia i de l'estratificació.

| | Urbà | Rural |
|---|---|---|
| A | 0.15 | 0.07 |
| B | 0.15 | 0.7 |
| C | 0.2 | 0.1 |
| D | 0.25 | 0.15 |
| E | 0.4 | 0.35 |
| F | 0.6 | 0.55 |

## **Coeficients** $\sigma(x)$

La fórmula de la fumera gaussiana depén de $x$ i de l'estratificació només a través dels coeficients $\sigma$.



## Influència de l'alçada de la xemeneia

Dades: $v = 1\,m/s$, $font = 1.2\,Kg/s$, $h = 200\,m$, Estratificació C, Cada línia són $2500\,m$.