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 Nitròg en (NO_x)
   (c) Compostos del Carboni
   (d) Partícules en suspensió
   (e) Ozó troposfèric

S'ha de tenir en compte el període 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 refèrencia 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 χ 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 α 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

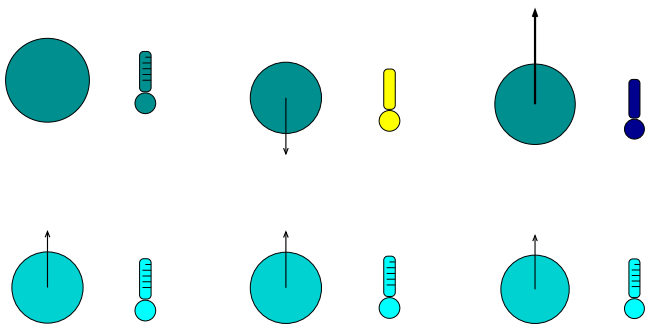

Figura 1: Situació indiferent, estable i inestable

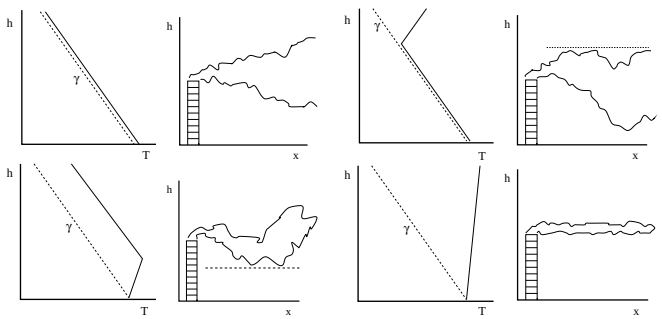

Figura 2: Tipus d'estratificació

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

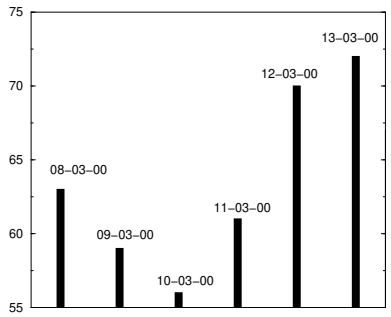

Figura 3: ICQA durant la setmana

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.

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).

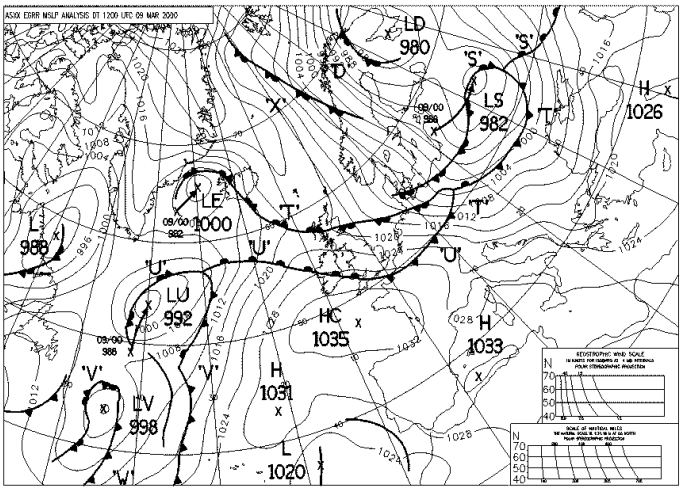

Figura 4: Situació meteorològica el 9-3-2000

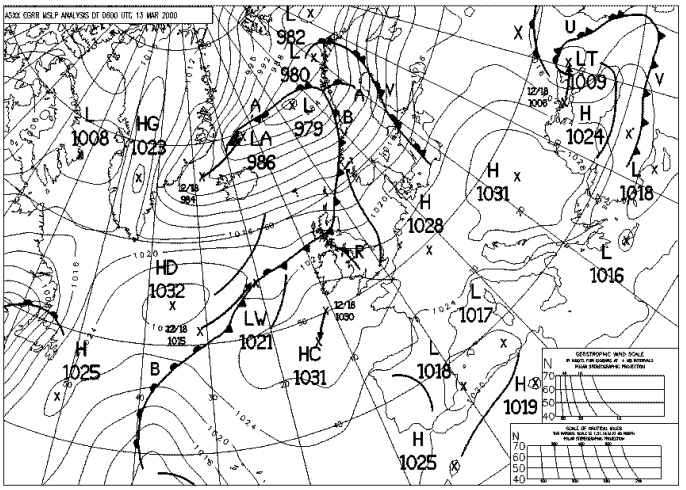

Figura 5: Situació meteorològics el 13-3-2000

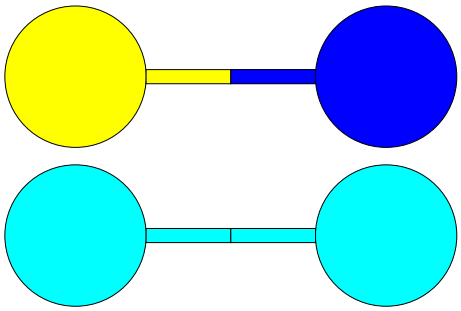

Figura 6: Exemple de difusió

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:

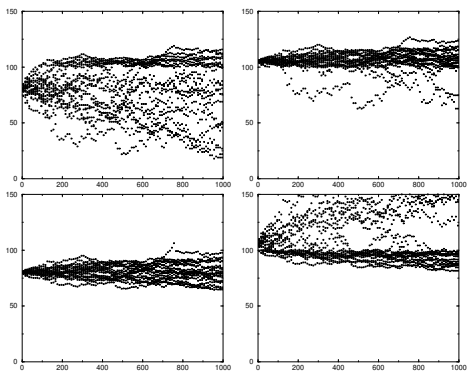

Figura 7: Tipus d'inversió

Fumera gaussiana

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

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

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 $\sigma(x)$

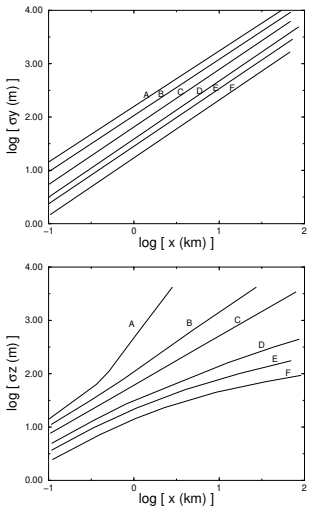

Figura 8: Parametres del model gaussià

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

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 $2500\,m$.

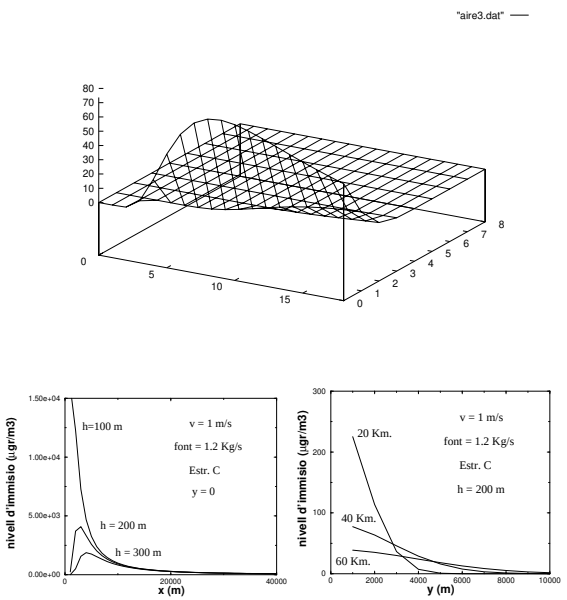

Figura 9: Dependència amb l'alçada de la xemeneia