

## CAPÍTOL 7. Núvols i precipitacions

### Condensació i sublimació

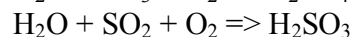
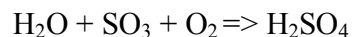
L'aigua continguda en l'aire pot trobar-se en estat sòlid, líquid o gasós. El pas del vapor d'aigua a un altre estat pot ser per:

- Condensació: Pas d'estat gasós a líquid
- Sublimació: Pas d'estat gasós a sòlid sense passar per cap estat entremig

Anomenarem "núvol" a la porció d'aire enturbiat per vapor d'aigua condensat/sublimat (numeroses gotetes líquides o agulles de gel o esferes congelades). Si aquest nº de gotetes és molt gran, pot tornar els núvols completament opacs.

Cada gota necessitarà un "nucli de condensació", és a dir, un granet de pols microscòpic al voltant del qual es pugui dipositar l'aigua. Aquest granet haurà de ser una matèria molt higroscòpica (molta afinitat a l'aigua), com pot ser la sal o sorra.

Hi ha un altre tipus de compostos químics que actuen com a base de condensació, com poden ser el S, ions SO<sub>2</sub> i SO<sub>3</sub>,... i que poden ser contaminants:



Les gotes varien de tamany al voltant dels nuclis de condensació per un procés de creixement que pot donar-se de dues maneres:

#### 1. Procés de captura:

- a) *Directe*: La mateixa gota d'aire quan precipita es fusiona amb altres gotes del seu tamany i fan que hi hagi una gota més gran expulsant a les petites.
- b) *Indirecte*: Al caure la gota es creen unes depressions que succionen altres gotes i fan que s'engrossin a la seva caiguda.

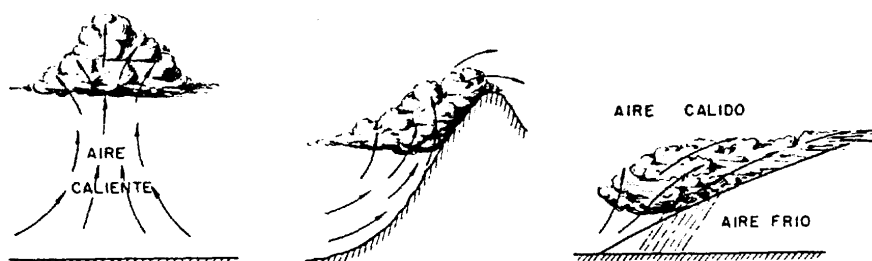
2. **Cristalls de gel** (efecte Bergeron): La tensió saturant dels cristalls de gel és més atractiva que les gotes d'estat líquid, i per tant és més fàcil que creixi un cristall de gel que una gota d'aigua. Aquest es donarà quan en un mateix núvol hi hagi gotes d'aigua i cristalls de gel.

### Formació dels núvols

Les regions on es formen els núvols són aquelles en que l'aire puja, sigui quina sigui la causa de l'ascens.

En funció de les causes que facin ascendir la massa d'aire podrem parlar de diferents tipus de núvols:

- Núvols convectius:** Son produïts per la inestabilitat atmosfèrica, que dona lloc a molts corrents d'aire ascendent o descendent. I cada cop que un d'aquests arriba a un nivell de condensació, forma el seu propi núvol. Com més distància ascendeixi, més espessor tindrà el núvol. Aquests núvols s'anomenen cúmuls (tenen forma de cotó)  
Pot ser que les masses continuïn la seva ascensió per sobre del nivell de condensació (les diminutes gotes tornaran al cúmul, augmentant-ne així el seu tamany). Però al arribar a certa altura el corrent ascendent no pot mantenir les gotes i per tant cauen en forma de precipitació (cumulonimbus).
- Núvols orogràfics:** Quan bufa el vent cap a la vessant d'una muntanya l'aire es veu forçat a pujar (ascens orogràfic). Si l'aire té suficient humitat per a que al arribar al cim agafi el punt de rosada hi haurà formació de núvols (soles veure's cobrint les crostes muntanyoses, a no gaire distància mar endins).
- Núvols frontals:** Sempre que es trobin dues masses d'aire, una relativament freda i l'altre relativament templada, ascendirà l'aire càlid sobre el fred (o al revés si és el fred el que empeny). La capa d'aire càlid que hi ha sobre l'aire fred podrà ocupar una gran superfície horitzontal. Això donarà lloc a una formació nuvolosa de tipus estratiforme, que tindrà el seu espessor màxim a la zona més propera a la terra (a més en aquesta zona els núvols seran més opacs).



### Tipus de núvols

Podem classificar els núvols en funció de la seva altura i forma:

	ALTS	MITJOS	BAIXOS	DE DESENVOLUPAMENT VERTICAL
<b>Altura</b>	<6000m	2500-4000m	<2500m	Aprox0m-6000m
<b>Classe</b>	Cirros (Ci) Cirro cúmuls (Cc) Cirrostrats (Cs)	Alto cúmuls (Ac) Altostrats (As)	Nimbostrats (Ns) Estrats (St) Estratocúmuls (Sc)	Cúmuls (Cu) Cumulonimbus (Cb)

Anem a explicar breument aquests tipus de núvols:

- Núvols alts:** Tenen la seva base a una altura >6000m. Aquests es coneixen amb el nom de "Cirros" (Ci). Son generalment núvols prims amb forma de pelussa i formats per cristalls de gel. A través d'ells el pot veure el sol i les estrelles amb un lleuger halo, i malgrat que poden unir-se amb les seves ramificacions formant una estructura curvilínea, mai arriben a cobrir uniformement el cel. Podem distingir entre 2 varietats:

- a) *Cirrocúmulus (Cc)*: Solen formar una capa o agrupació de núvols del tipus cirros, petits i arrodonits o en forma de flocs blancs sense ombres que es distribueixen en grups o línies, generalment d'aspecte rugós.
- b) *Cirrostratus (Cs)*: Constitueixen un vel blanquinós amb aspecte fibrós en major o menor grau, i amb filaments irregulars.

Aquests tipus de núvols no son de pluja, perquè és tanta l'altura que s'evapora abans de caure a terra.

**2. Núvols mitjos:** Acostumen a trobar-se entre el 2000 i 4000m d'altura:

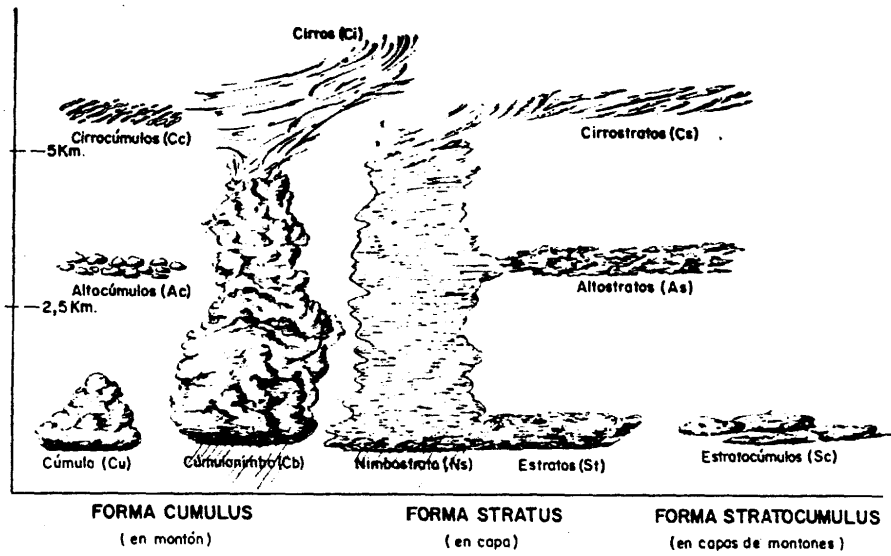
- a) *Alto-cúmulus (Ac)*: Formats per una capa o grup de petits núvols de forma globular o plana. Es distribueixen en grups o línies més o menys regulars segons 1 o 2 direccions. Poden o no formar ombra, i si estan propers al sol podran presentar un color vermellós o verdós.
- b) *Altostratus (As)*: Formen un vel fibrós o estriat de color gris o blavós. No hi ha fenomen de halo, però dibuixa els contorns de sol o lluna als seus extrems
- c) *Alto-cirrus (Ac)*

**3. Núvols baixos:** Tenen la seva base a una altura inferior als 2000m

- a) *Estratus (St)*: Formats per una capa més o menys continua de baixa altura semblant a una boia però sense descansar al terra.
- c) *Estrato-cúmulus (Sc)*: Constituïts per una capa nuvolosa gris amb trossos més clars. Té una forma més regular que el cúmul i sol cobrir gairebé tot el cel
- b) *Nimbostratus (Ns)*: Format per una capa de núvols baixos, densos i sense forma definida, de la que es desprenen precipitacions. Té un color gris i sembla il·luminat des de el seu interior. Cobreixen tot el cel i són opacs. Constitueixen el nucli central d'una depressió.

**4. Núvols de desenvolupament vertical:** La dimensió predominant és la vertical. La seva base sol estar molt a prop de terra i sol ser plana (la altura de la part superior dependrà d'aquests). Son brillants i formen montones:

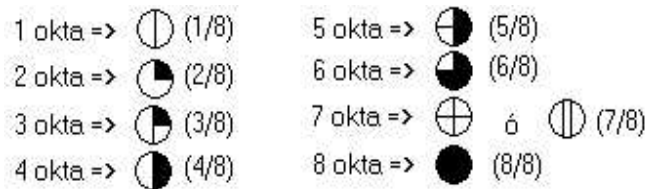
- a) *Cúmulus (Cu)*: Núvols densos. El seu cim forma cúpules i està guarnit amb protuberàncies arrodonides.
- b) *Cumulonimbus (Cb)*: Massa potent de núvols, la part superior dels quals és d'estructura fibrosa. Estan formades per gotes d'aigua a la part inferior, i per cristalls de gel a la part superior.



### Claredat del cel

En les parts meteorològiques ens representaran la claredat del cel en forma de oktes o bé en forma de desenes.

#### 1. Oktes:



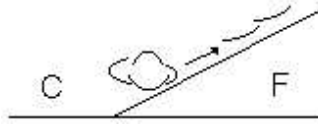
#### 2. Desenes:

- <1/10 => clear (clar)
- 1 – 5/10 => Partly cloudy (parcialment ennuvolat)
- 6 – 9/10 => Cloudy (ennuvolat)
- 10/10 => Overcast (totalment ennuvolat)

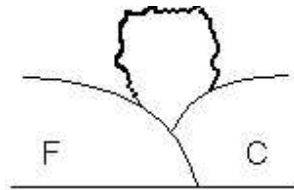
### Desenvolupament dels núvols

En el conjunt de núvols que acompanya a una pertorbació depressionària típica, aquests apareixen sempre en un mateix ordre, per tant se'ls associa amb fronts. Si tenim dos fronts, un càlid i un fred, ens pot passar que:

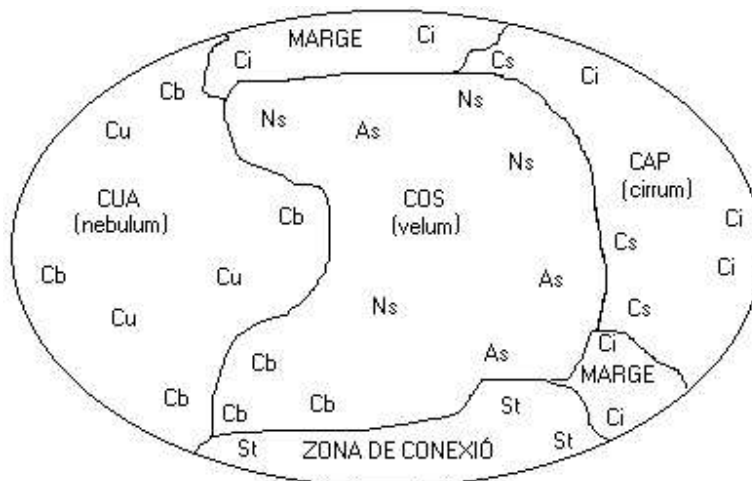
1. **El front càlid empeny el fred:** Es formen núvols alts i estratificats a la part de dalt, i a baix podem veure cumulonimbus (a baix també es pot formar boira).



2. **El front fred empeny al càlid:** Es tan violent que la massa freda queda sobre la calenta i es forma un núvol vertical:



En un sistema de front podem distingir per el tipus de nubolositat, unes àrees concretes a la superfície de la terra:



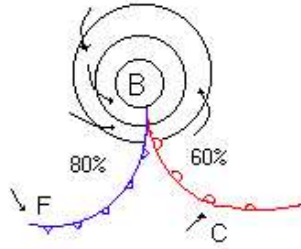
Com podem veure, en aquest hi ha la distribució:

1. **Cirrum:** Constituït per cirros i cirrostrats
2. **Velum:** Constituït per altostrats, nimbostrats i cumulonimbus
3. **Nebulum:** Constituït per cúmulus i cumulonimbus
4. **Marges:** Constituïts per cirrus
5. **Zona de connexió:** Constituïda per estrats

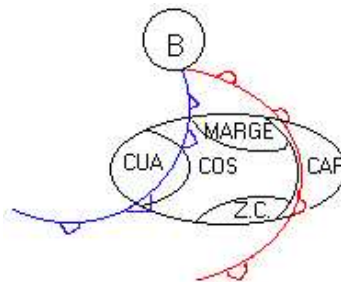
La zona de connexió queda fora del front i el pot classificar com a fora d'aquesta àrea.

Formació d'un sistema nuvolós:

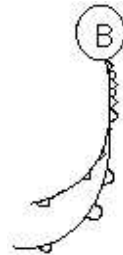
1)



2)



3)



### Estimació de l'altura dels núvols

És difícil estimar l'altura dels núvols. Al vaixell ho farem generalment, identificant-los (sabent que cadascun té una altura estimada):

#### 1. Núvols baixos i de desenvolupament vertical:

- a) Cúmulus: 700-1700m
- b) Cumulonimbus: 300-1700m
- c) Estratocúmulus: 500-1700m
- d) Estrats: <300m
- e) Nimbostrats: 150-2000m

2. *Núvols mitjos i alts*: Resulta difícil estimar-ne l'altura. Aquesta estarà generalment en funció del seu tamany.

### Aparells de mesura dels núvols

1. Un sistema és agafar un globus, i sabent la velocitat ascensional en mesurem el temps fins que desapareixi. Així podrem obtenir-ne la altura del núvol.
2. *Ceilometer*: Son projectors d'un feix de llum que és reflexat per el vapor d'aigua, i en un període de 12<sup>m</sup> el braç del projector farà un recorregut del zenit a l'horitzó projectant llum. La cèl·lula fotoelèctrica captarà la distància a la que està el núvol i la inclinació del braç (d'aquí en treu l'altura).
3. *Telemeter*: Es un radar que a més emet una llum on es veu reflexat el núvol (és igual que l'anterior).

### Zones de distribució geogràfica amb humitat

Als llocs on hi hagi aigua i ascendència de masses d'aire es crearà nubolositat. En un principi s'hauria de produir només en zones marítimes, però segons en quina zona la terra és més calenta que el mar (en els continents). I segons la zona geogràfica s'hi crearà un tipus o altre de nubolositat.

### Hidrometeor

Un hidrometeor és un fenomen de condensació o sublimació produït per la presència de vapor d'aigua a l'atmosfera.

Anomenem "Precipitació" a tota la caiguda de productes derivats de la condensació (H<sub>2</sub>O) o sublimació (gel) del vapor d'aigua, i que arriben a terra amb velocitat apreciable.

Segons sigui el procés de formació podrem parlar de 4 tipus de hidrometeors (els va inventar Bergeron):

1. **Hidrometeors anafrontals**: Es formen per l'ascens suau d'una massa d'aire relativament càlida sobre una cunya d'aire fred que es retira. Comprèn la pluja i la neu que cauen amb bastant uniformitat d'una mescla nuvolosa continua i extensa amb nimbostrats.
2. **Hidrometeors de masses d'aire estable**: Son els procedents de masses d'aire d'estratificació estable. Correspon al plugim, grams de gel, neu granulada, agulles de gel, boira i neblina
3. **Hidrometeors de masses d'aire inestable**: Constitueixen es fenòmens més violents originats en el seno de masses d'aire d'estratificació inestable. Corresponen els chubascos, granizos, pedriscos,...
4. **Hidrometeors especials**: Son la resta: calima, ventisca, gelada, escarcha, rosada (no es ben bé un hidrometeor)

\*La calima (mist) no es pot considerar un hidrometeor. És la opacitat de l'horitzó deguda a partícules sòlides (sal, sorra,... en suspensió).

### Aparells de mesura de pluja i neu

- La mesura de la pluja es pot fer amb un **pluviòmetre** o **pluviògraf**. Les unitats usades per a mesurar la pluja seran els mil·límetres d'altura en una àrea de  $1\text{ cm}^2$ .  
El pluviòmetre s'utilitza per a mesurar la quantitat de pluja caiguda durant un interval de temps determinat. És un vas cilíndric amb una boca de secció calibrada i amb una certa altura.  
El pluviògraf ens donarà un registre continu de les precipitacions, i aquest pot ser de tres tipus:
  - De balança
  - De flotador
  - De pes
- La mesura de la neu es farà amb un **nivòmetre**. És un sistema semblant a l'anterior, però que té en compte la densitat de la neu. A més és més gran que l'anterior (la neu ocupa més espai).

### Formació de boires, propagació i dispersió

La boira és el resultat de la condensació del vapor d'aigua contingut a l'atmosfera sobre certs nuclis sòlids en suspensió quan  $H_r \cong 100\%$ . Aquest grau d'humitat relativa l'aconsegüem bé per el refredament o per evaporació de l'aigua, o per ambdós casos. La conseqüència d'això és una disminució de la visibilitat, i quan aquesta sigui inferior a una milla nàutica direm que existeix boira. (La calima o calima no pot ser classificada com a tal).

Classificació segons visibilitat:

NOM	VISIBILITAT
Boira molt espessa	<50m
Boira espessa	50m-200m
Boira regular	200m-500m
Boira moderada	500m-1Km
Neblina	1Km-2Km
Bruma	2Km-10Km

Les dues condicions principals per a que es formi la boira seran:

- Existència de nuclis de condensació
- Saturació de l'atmosfera

### Classificació segons la seva formació

Hi ha tres tipus de formació de boira. Sempre hi haurà un tipus més predominant que altre, malgrat això tots apareixeran sempre:



**1. Refredament:** La pèrdua de calor en una massa d'aire serà a conseqüència:

a) *Cessió de calor:*

a.1) Boires de radiació: La massa d'aire es refreda per radiació a conseqüència del refredament del terreny.

Es comuna a la terra (de nit i de matinada), i mai es dona a mar excepte si és desplaçada de terra a mar (com a màxim arribarà a 10' mar endins).

Generalment son formades en terres baixes de tardor a hivern, i en latituds mitges. El refredament nocturn de la terra es transmet per irradiació de l'aire. Les seves condicions favorables seran:

- Cel despejat: Així no es podrà crear cap impediment al pas de radiació tèrmica sortint
  - Lleugera brisa o vent en calma: La calma afavorirà una boira densa i de poc grossor. En canvi la lleugera brisa repartirà la pèrdua de calor en una secció vertical major (serà menys dens)
  - Elevat contingut d'humitat als estrats d'aire inferiors
  - Terreny inicialment fred i humit
- Aquestes condicions són típiques d'anticiclons continentals

a.2) Boires d'advecció o de mar: El refredament és degut al desplaçament d'una massa d'aire càlid per una superfície freda. S'acostuma a formar a la mar.

És típica a l'hivern, quan bufen vents templats de mar a terra (més freda), encara que també poden formar-se a la mar.

Condicions de formació:

- Vent entaulat càlid sobre una superfície freda (millor moderat que dèbil, i entre 5 i 10 nusos)
- No influeix la variació de la  $T_{\text{diurna}}$  i per tant es poden formar tant de dia com de nit (a la matinada no es dissipen, podent romandre així varis dies)
- Quan  $T_{\text{aire}} > T_{\text{mar}}$ , i estant proper a la costa, el vent no bufa de terra

Aquestes són bastant abundants a l'estret de Gibraltar i Golf de Cadis, on l'aire templat del Mediterrani es desplaça sobre l'aigua més freda de l'Atlàntic

b) *Expansió adiabàtica per ascens:*

b.1) Boires Orogràfiques o de muntanya: Si l'aire és forçat a pujar quan bufa contra una muntanya, a mida que puja hi ha menys pressió, i per tant s'expansiona adiabàticament ( $\Rightarrow$  hi ha pèrdua de calor)

Les pertorbacions seran adverses a la formació de boira. Si l'aire ascendeix i arriba al nivell de saturació de l'aire, aquest aire estarà en:

Situació d'estabilitat: Es formarà boira

Situació d'inestabilitat: Es formaran corrents convectius

2. **Evaporació:** Suposem un volum d'aigua una Aigua ( $\Rightarrow E_{\text{aigua}}$ ) determinada i una massa d'aire situada sobre aquest a una Tiera ( $\Rightarrow E_{\text{aire}}$ ). Si l'aire no està saturat la tensió de vapor d'aquest serà:

$$e < E_{\text{aire}} < E_{\text{aigua}}$$

Es produirà evaporació fins aconseguir l'equilibri:

$$e = E_{\text{aire}} = E_{\text{aigua}}$$

I aquesta evaporació serà igual a :

$$\text{Evaporació} = E_{\text{aigua}} - e$$

Aquesta evaporació es podrà produir de dues maneres:

- a) *Boira de vapor:* Es produeix quan s'entaula un corrent d'aire fred sobre una superfície d'aigua més templada, sempre que hi hagi un contrast tèrmic acusat (boires frontals de l'Àrtic).
  - b) *Boira frontal:* Típica d'un front càlid en que la massa d'aire més càlida queda per sobre de la freda, produint-se precipitacions que poden evaporar-se abans d'arribar al punt de terra, però que al travessar una massa d'aire fred es condensen formant boira. Es forma per un procés d'evaporació i mescla propi de les proximitats d'una "Oclusió" o "Front Càlid" degut a la evaporació de la pluja, mitjançant el qual cauen gotes. Aquest tipus de boira és transitori i ocupa una zona de 50' d'amplitud com a molt..
3. **Mescla:** Son formades per el trobament de dos corrents d'aire de naturalesa diferent. Una massa d'aire fred que es trobi amb una d'aire templat i humit en una zona de xoc refredarà l'aire calent, i si el contrast és suficientment acusat es formarà boira. Són clàssiques de fronts càlids i oclusions sobre el mar. Si el front és estacionari hi romandrà durant bastant de temps

## CUADRO DE CLASIFICACIÓN DE LAS NIEBLAS.

<u>Se Forman.</u>	<u>Se Disipan.</u>
<p><u>1- Evaporación</u>  desde:- Gotas de lluvia cuya <math>T^a</math> es superior a la del aire.  (Niebla <b>Frontal</b>)  -Superficie de agua más cálida que el aire.  (Niebla de <b>Vapor</b>)</p> <p><u>2-Enfriamiento</u>  -Ascenso Orográfico con enfriamiento adiabático  (Niebla <b>Orográfica</b>).  -Irradiación desde la Superficie sobre la que descansa la niebla.  (Niebla de <b>Radiación</b>)  -Advección de aire cálido sobre una superficie relativamente más fría.  (Nieblas <b>Advectivas</b>)</p> <p><u>3-Mezcla.</u>  -Mezcla Horizontal.</p>	<p><u>1-Sublimación o Condensación</u>  sobre:- Nieve con temperaturas del aire bajo <math>0^{\circ}\text{C}</math> (excepto las formadas por cristales de hielo)  - Nieve con temperaturas del aire sobre <math>0^{\circ}\text{C}</math>.  (Nieve <b>Fundente</b>)</p> <p><u>2-Calentamiento.</u>  -Descenso Orográfico con calentamiento Adiabático.  -Radiación absorbida por la niebla, o por la superficie sobre la que descansa.  -Advección de aire frío, sobre una superficie relativamente más caliente.</p> <p><u>3-Mezcla.</u>  -Mezcla Vertical.  (Factor de disipación de la niebla y formación de Estratos.)</p>

**Evolució diurna de la boira**

La boira a la mar s'aclara a mida que transcorre a aigües més templades, ja que eleva la  $T_{\text{aire}}$  a nivells sobre del  $T_{\theta}$  i a més produeix convecció.

La boira de radiació es dissipa si es desplaça sobre l'aigua templada o quan la altura del sol pot secar la boira d'abaix a dalt.

La boira pot aixecar-se si el vent comença a bufar per sobre d'una força 4 de Beaufort, arribant així l'aire relativament superior de les capes altes a baix (per la turbulència).

Si hem de rodejar una illa ho farem sempre per sotavent, ja que per barlovent ens trobarem amb boires:

Cas Pacífic NW => Corrent Kuroshio i de Oyashio  
Costes subtropicals i regions polars a l'estiu

Súper-refracció: El gradient tèrmic vertical es inferior al normal, i per tant la humitat ha de decreixen en altura. A més les ones de radar arriben més lluny

Subrefracció: El gradient tèrmic vertical és superior al normal, i per tant la humitat no decreix en altura (no decreix tant). Les ones de radar no arriben tant lluny.

**Fórmula de Sprung**

Desenvolupant la fórmula  $C_p(T-T')=(E-e)L \cdot \rho/P$  trobarem que:

$$C_p(T-T') = \frac{L \cdot \rho}{P} (E-e) \Rightarrow (E-e) = \frac{C_p P}{L \cdot \rho} (T-T')$$

I si  $T \cong 0^\circ\text{C}$  :

$$A = (0.00079 - 0.00069) = 0.007$$

I si a més  $P=760\text{mmHg}$ , podem simplificar la fórmula encara més:

$$\begin{aligned} E - e &= A P (T - T') \Rightarrow e = E - A P (T - T') \\ A &= 0.007 \\ P &= 760\text{mmHg} \end{aligned} \left| \begin{array}{l} e = E - \frac{(T - T')}{2} \end{array} \right.$$

**Problema:** Calcular la  $T_\theta$  a partir de 3 observacions on  $T$  és la  $T$  en el moment i  $T'$  la  $T$  de la bola humida:

$t$	$t'$	$t''$
$T = 10^\circ\text{C}$	$T = 23^\circ\text{C}$	$T = 19^\circ\text{C}$
$T' = 9^\circ\text{C}$	$T' = 19^\circ\text{C}$	$T' = 13^\circ\text{C}$

Solució:

$$\begin{aligned} e &= E - \frac{(T - T')}{2} = 8.61\text{mmHg} - \frac{(10 - 9)}{2} = 8.11\text{mmHg} \Rightarrow T_R = 8.2^\circ\text{C} \\ e &= E - \frac{(T - T')}{2} = 16.48\text{mmHg} - \frac{(23 - 19)}{2} = 14.48\text{mmHg} \Rightarrow T_R = 16.9^\circ\text{C} \\ e &= E - \frac{(T - T')}{2} = 11.23\text{mmHg} - \frac{(19 - 3)}{2} = 8.23\text{mmHg} \Rightarrow T_R = 8.5^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Segons la fórmula de Sprung hem calculat la  $T_\theta$  ( $T$  al punt de rosada) en cadascuna de les observacions. Per això necessàvem la tensió de vapor que el fa saturant, i aquesta la hem tret de la taula (entrem per la  $T$  que marca el termòmetre de la bola humida ( $T'$ )).

Doncs bé, aquesta fórmula ens donarà  $e$ , i com nosaltres el que volíem era la  $T_\theta$ , haurem de tornar a entrar a la taula (aquest cop fent interpolacions).

D'aquesta forma podrem saber si hi ha boira o no:

$$\begin{aligned} t &\Rightarrow T' < T_\theta \Rightarrow \text{Les capes més properes a la mar es refredaran i començaran a saturar (serà una boira molt poc densa)} \\ t' &\Rightarrow T' > T_\theta \Rightarrow \text{Hi ha boira} \\ t'' &\Rightarrow T'' \gg T_\theta \Rightarrow \text{Es comencen a formar corrents verticals d'aire} \end{aligned}$$