



GF 3022 Contaminación Atmosférica

Dispersión atmosférica y modelación de procesos

Laura Gallardo

Profesora Asociada, Departamento de Geofísica

Investigadora Asociada del Centro de Modelamiento Matemático

Universidad de Chile

laura@dgf.uchile.cl



Contenidos de hoy

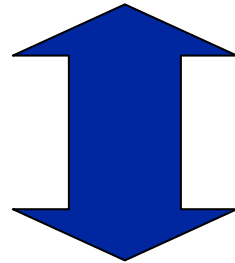


- Procesos de transporte
 - Advección
 - Mezcla turbulenta
- Representación numérica de la advección
- Trabajos

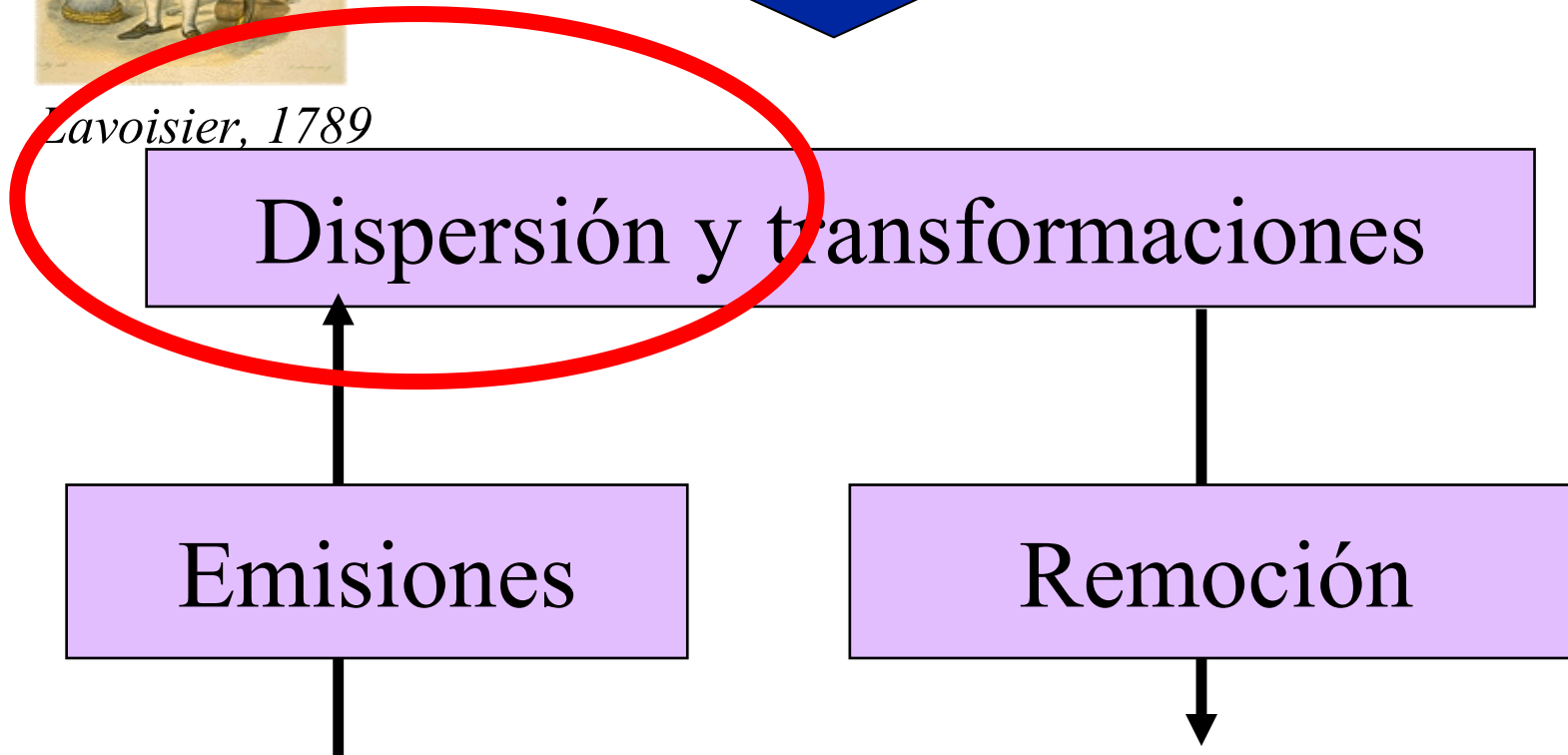
$$\frac{\partial c}{\partial t} = -\vec{v} \cdot \nabla c - c \nabla \cdot \vec{v} - \nabla \cdot (\langle c' \vec{v}' \rangle) + Q - S$$



Lavoisier, 1789



+CI & CB



Conservación de masa para cada traza

+CB

+CI

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -\vec{v} \cdot \nabla c - c \nabla \cdot \vec{v} - \nabla \cdot (\langle c' \vec{v}' \rangle) + Q - S$$

Variación por advección por el flujo promedio

Variación por flujos turbulentos

Variación por convergencia o divergencia del aire

Variación Local de la concentración

Fuentes y Sumideros

0 El aire es poco compresible

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -\vec{v} \cdot \nabla c - c \nabla \cdot \vec{v} - \nabla \cdot (\langle c' \vec{v}' \rangle) + Q - S$$

CI/CB

Advección

Mezcla turbulenta y convección

Advección

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -u \frac{\partial c}{\partial x}$$

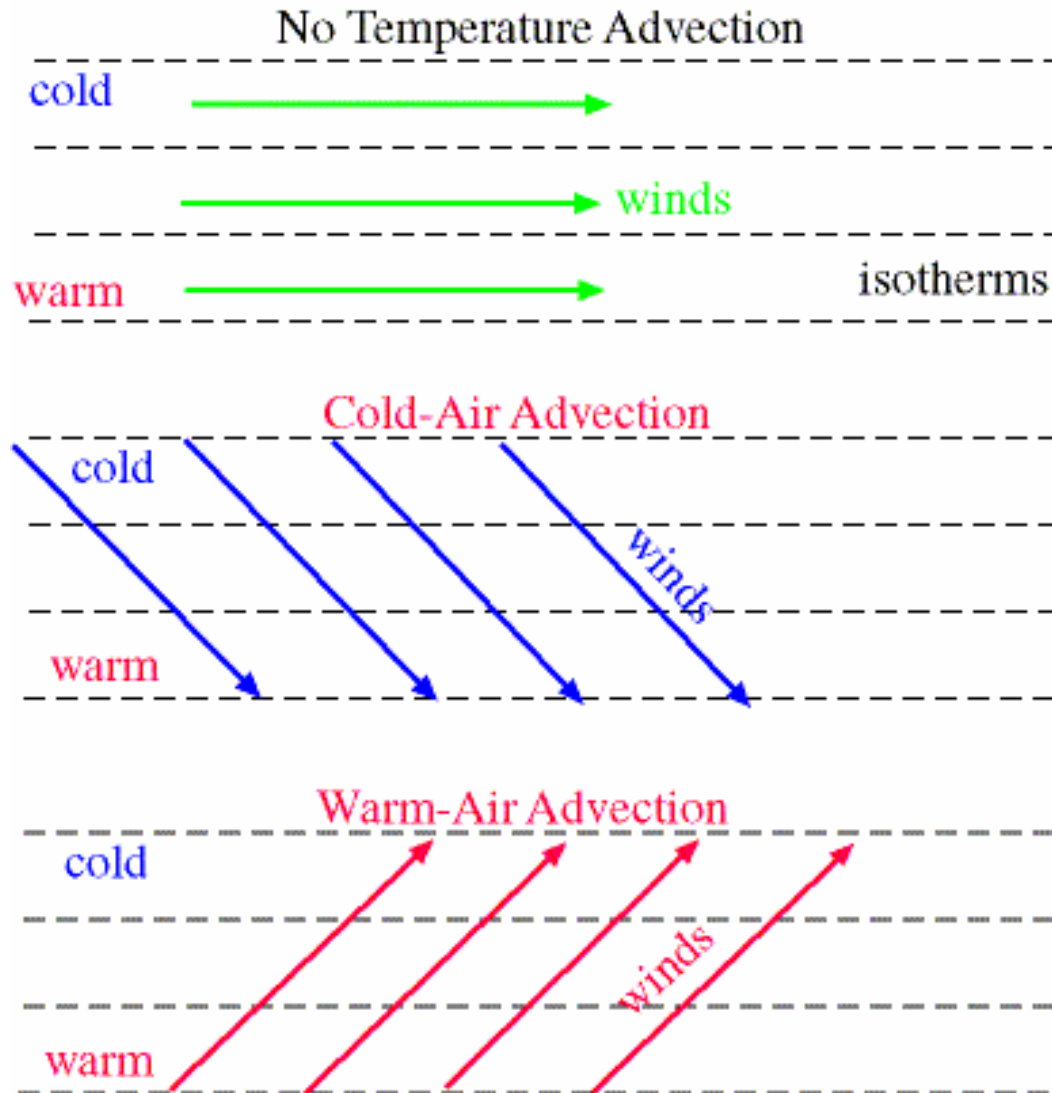
$$\frac{\partial c}{\partial t} = -v \frac{\partial c}{\partial y}$$

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -w \frac{\partial c}{\partial z} \quad 0$$

El arrastre a través del flujo medio (advección) prevalece en la horizontal pues, en general, los vientos horizontales prevalecen sobre los verticales.



La advección ocurre contra gradiente y requiere de isolíneas NO paralelas al viento

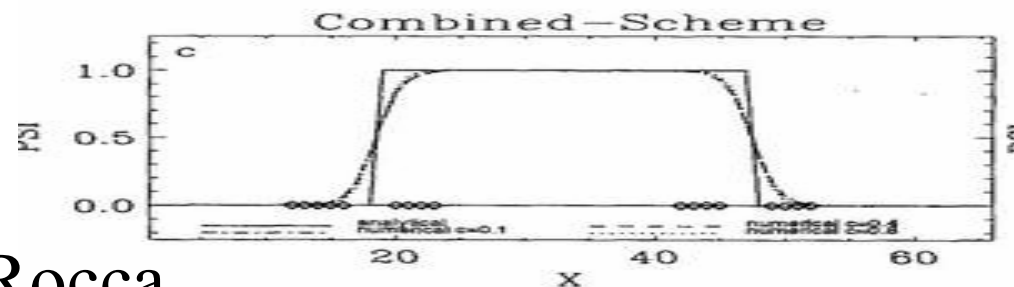
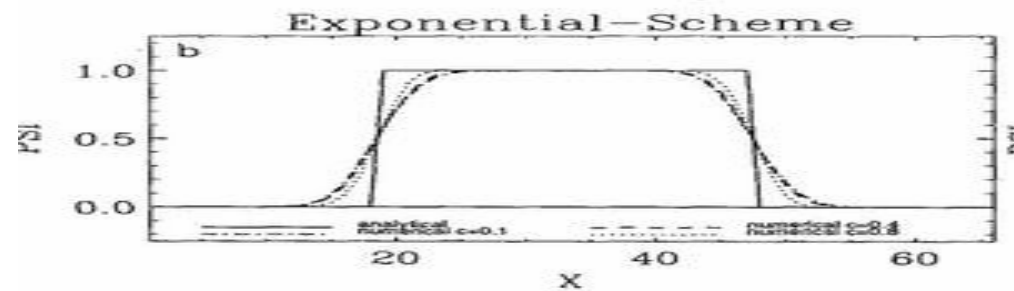
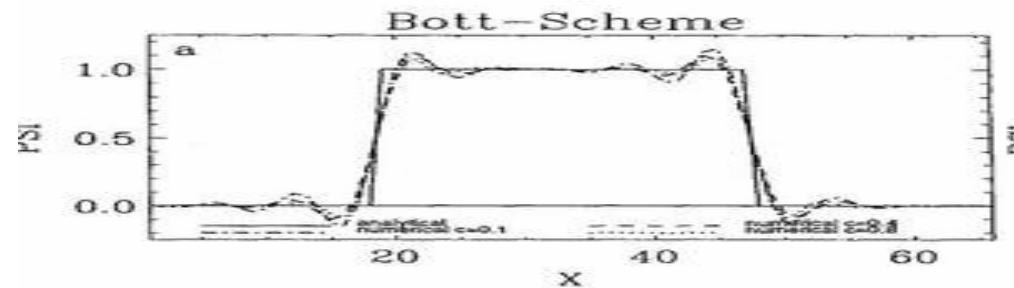


Advección:

Se trata explícitamente pero hay que ser cuidadosos con los métodos numéricos

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -u \frac{\partial c}{\partial x}$$

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -v \frac{\partial c}{\partial y}$$



Continuará: c/o Ondina Rocca

0 El aire es poco compresible

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \boxed{-\vec{v} \cdot \nabla c} - \cancel{c \nabla \cdot \vec{v}} - \boxed{\nabla \cdot (\langle c' \vec{v}' \rangle)} + Q - S$$

CI/CB

Advección

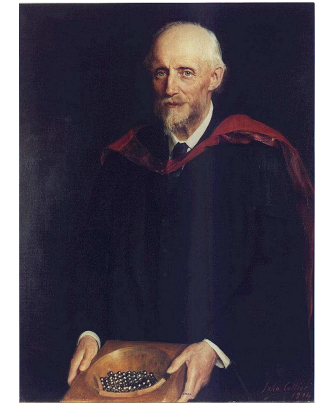
Mezcla turbulenta y convección

Aparece tras emplear la partición de Reynolds

1. La difusión molecular es **casi** siempre despreciable

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -\nabla \cdot (c\vec{v}) - \cancel{\kappa \nabla^2 c} + Q - S$$

0



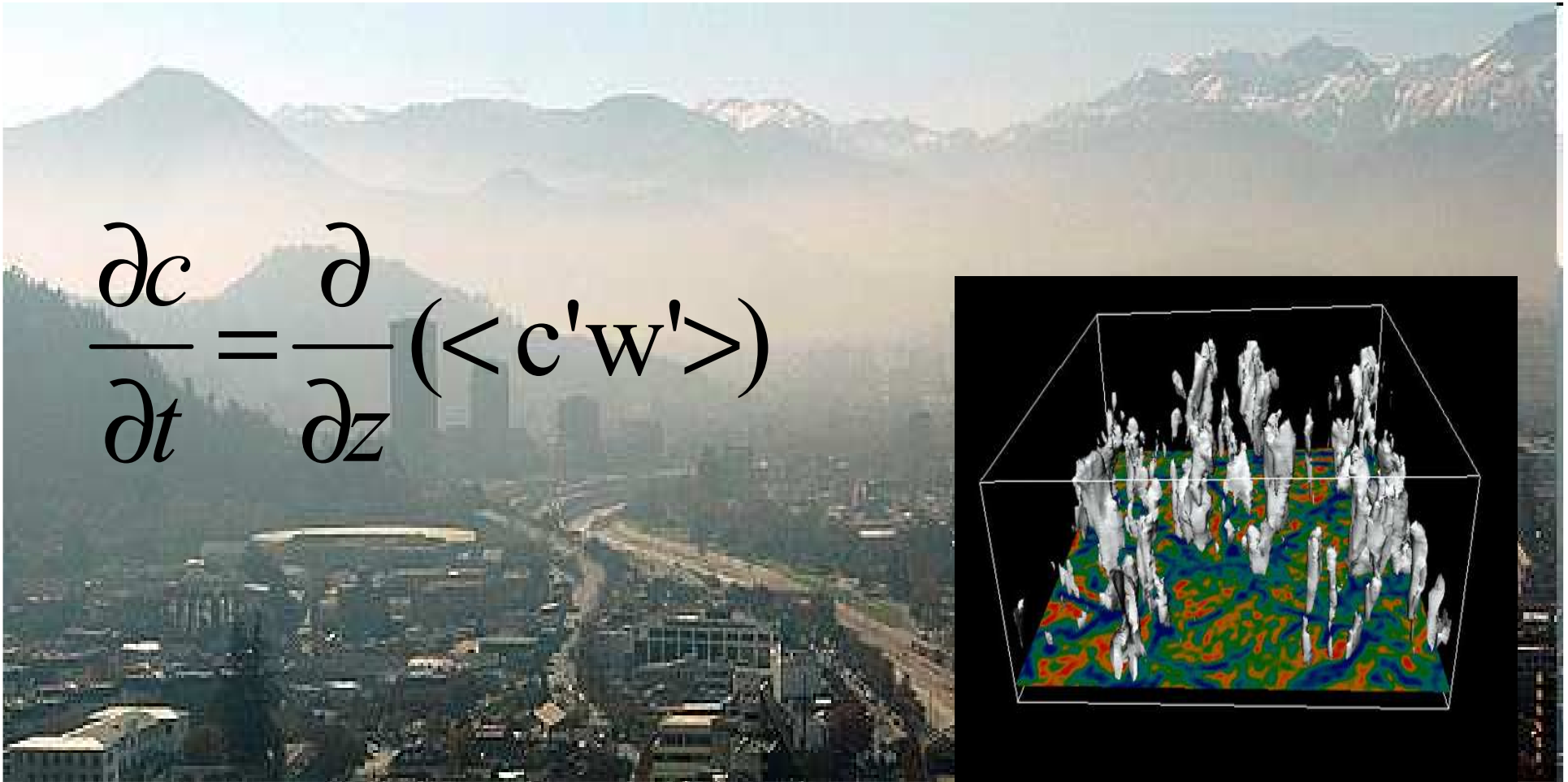
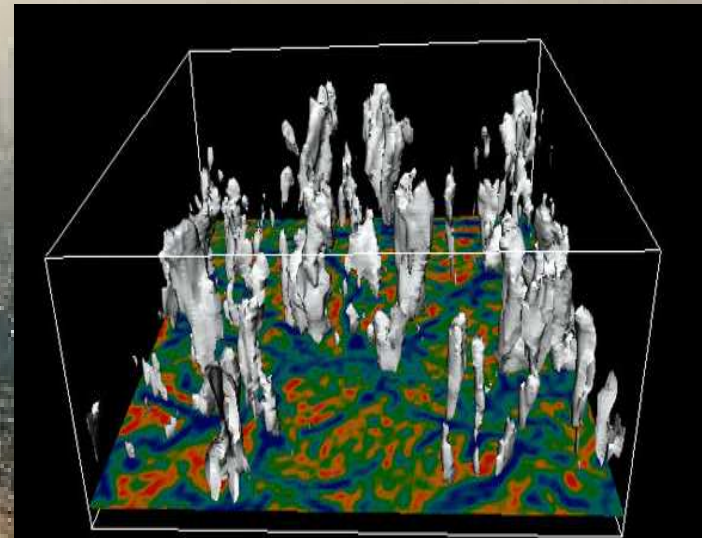
2. Las variables se conocen sólo como promedios temporales y/o espaciales

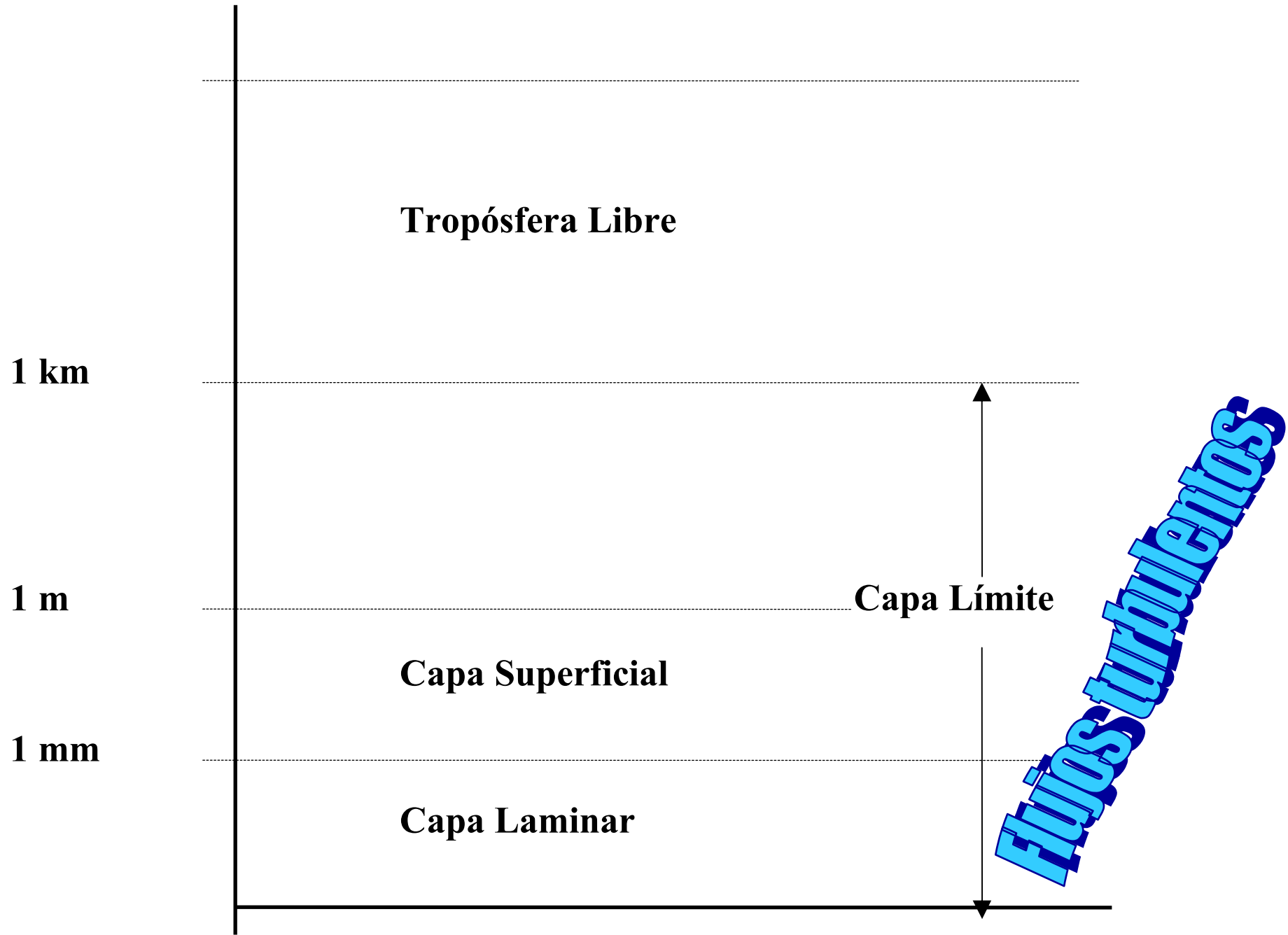
$$c = \bar{c} + c' \quad \vec{v} = \bar{\vec{v}} + \vec{v}'$$

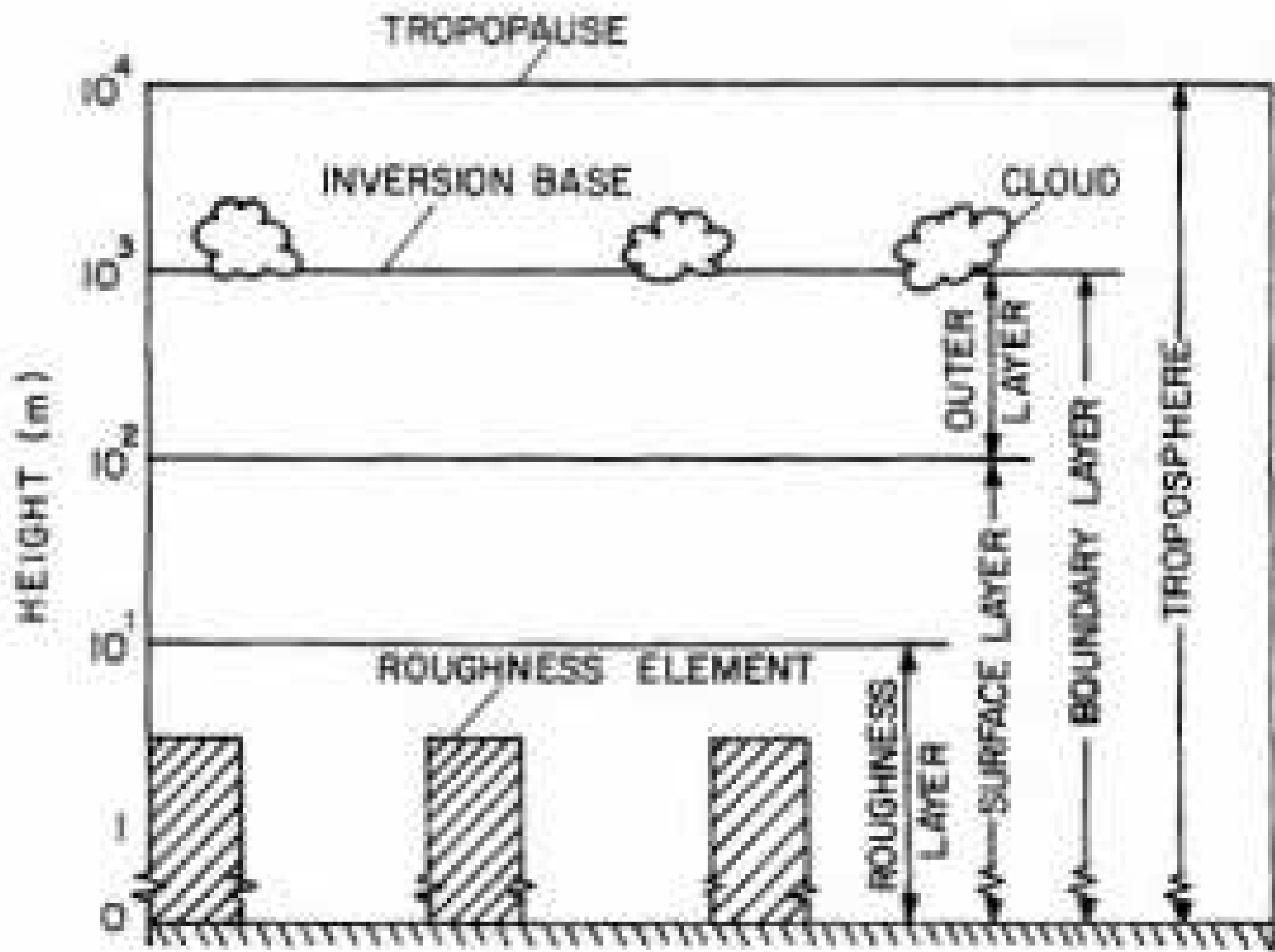
Mezcla turbulenta

- Prevalece en la vertical (0 ~1 km) y dentro de la capa límite

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} (\langle c'w' \rangle)$$



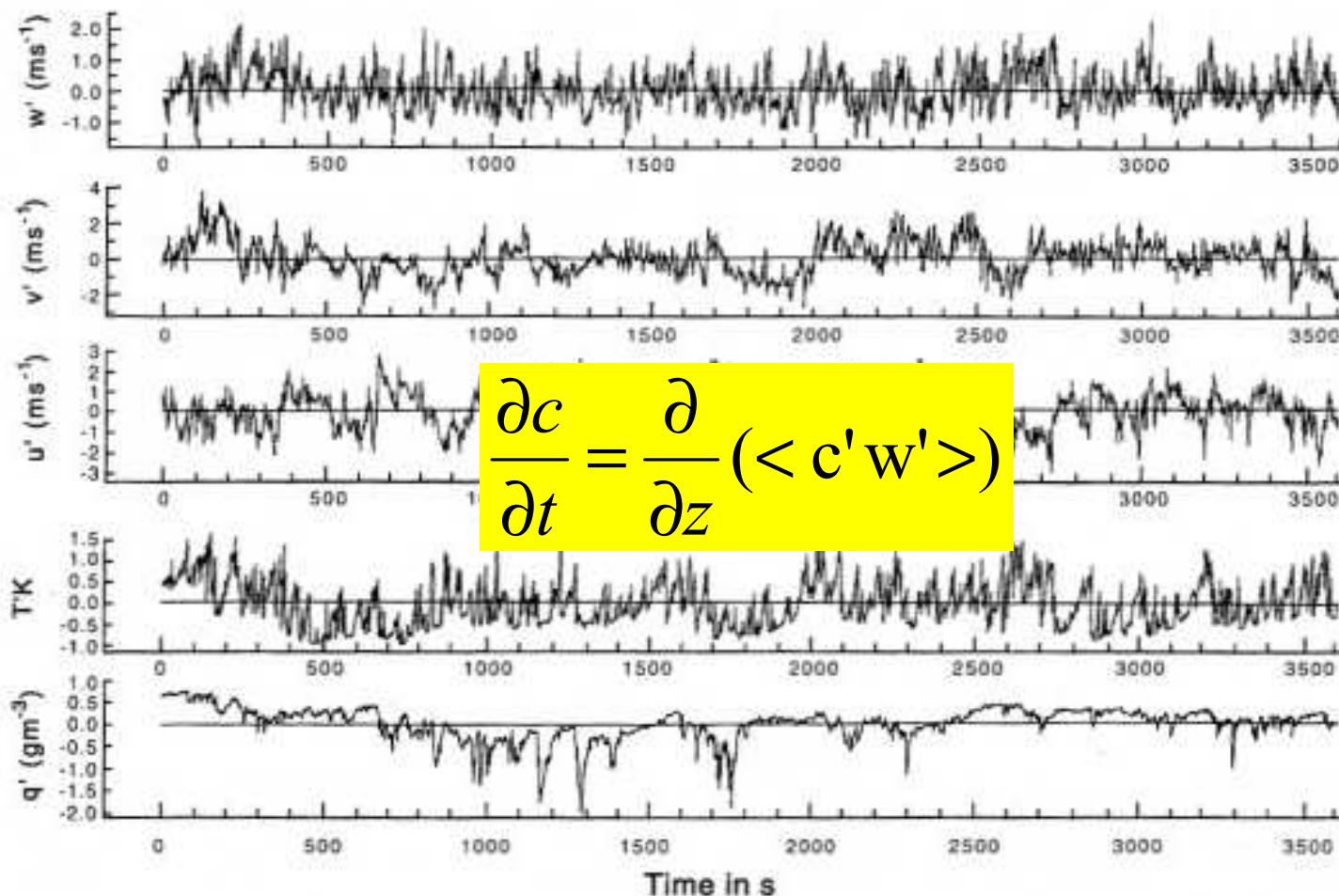




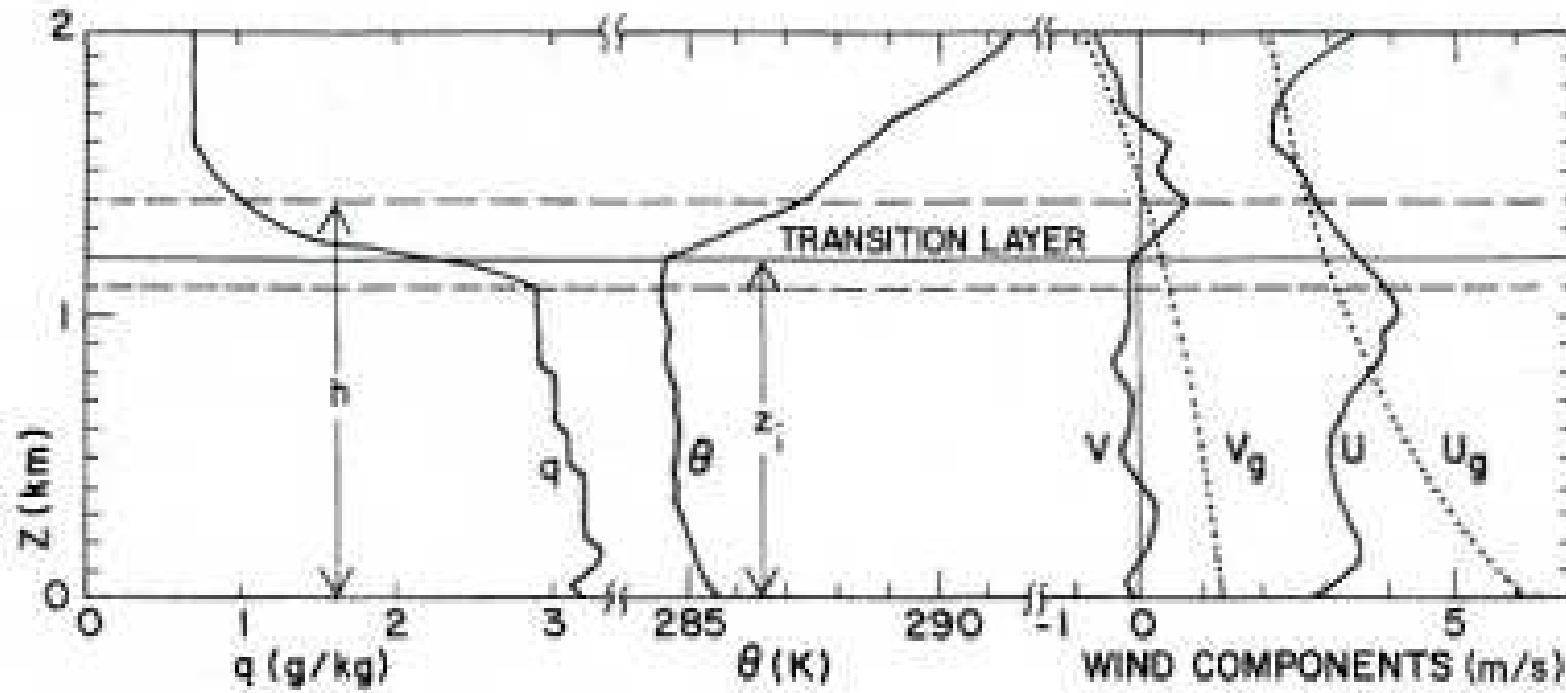
Mezcla turbulenta en la capa límite



Turbulencia y fluctuaciones: hay transporte si hay cofluctuaciones y gradientes verticales



Turbulencia y mezcla: debe haber gradientes (verticales) forzados



Flujos turbulentos...remolinos y meandros...forzados...

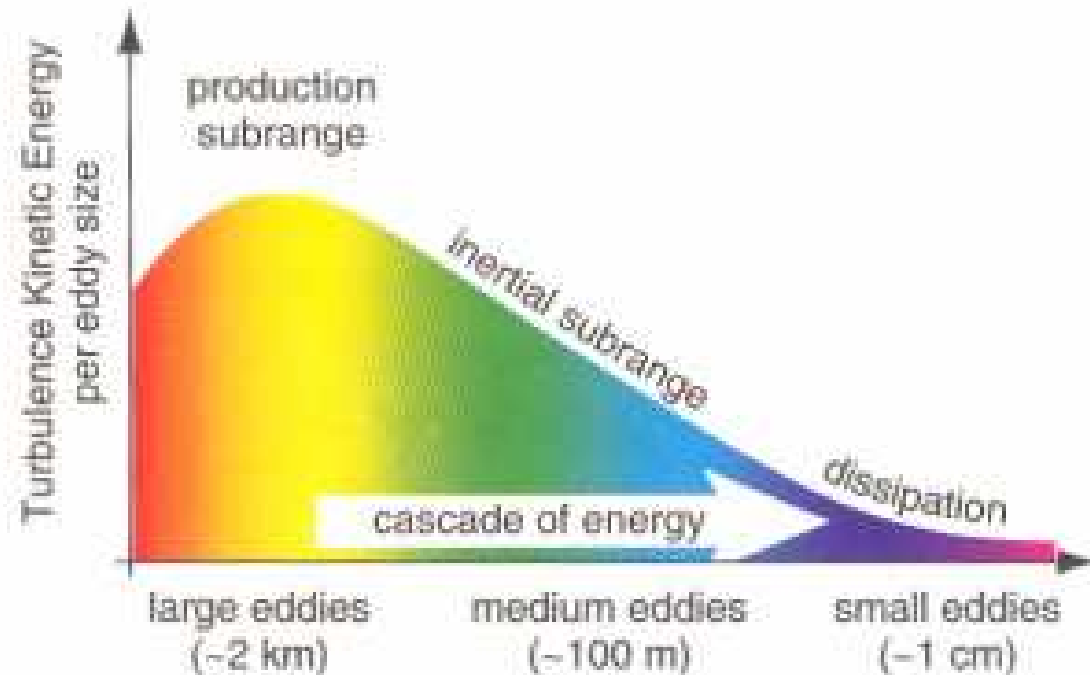
Los torbellinos se pueden generar:

- Mecánicamente (gradiente *vertical* de viento) (Convección forzada)
- Térmicamente (gradiente *vertical* de temperatura) (Convección libre)
- Inercialmente (cascada turbulenta)

$$\frac{\partial \bar{v}}{\partial z}$$
$$\frac{\partial T}{\partial z}$$

Turbulencia generada inercialmente

Richardson's poem: *Big whirls have little whirls what feed on their velocity, little whirls have smaller whirls, and so on to viscosity.*



Número de Richardson



$$R_i = \frac{g \frac{\partial \theta_v}{\partial z}}{\frac{|\partial v_H}{\partial z}|^2} T_v$$

Un flujo laminar se vuelve turbulento cuando $Ri \sim 0.25$





Tratamiento usual: parametrización à la Fick

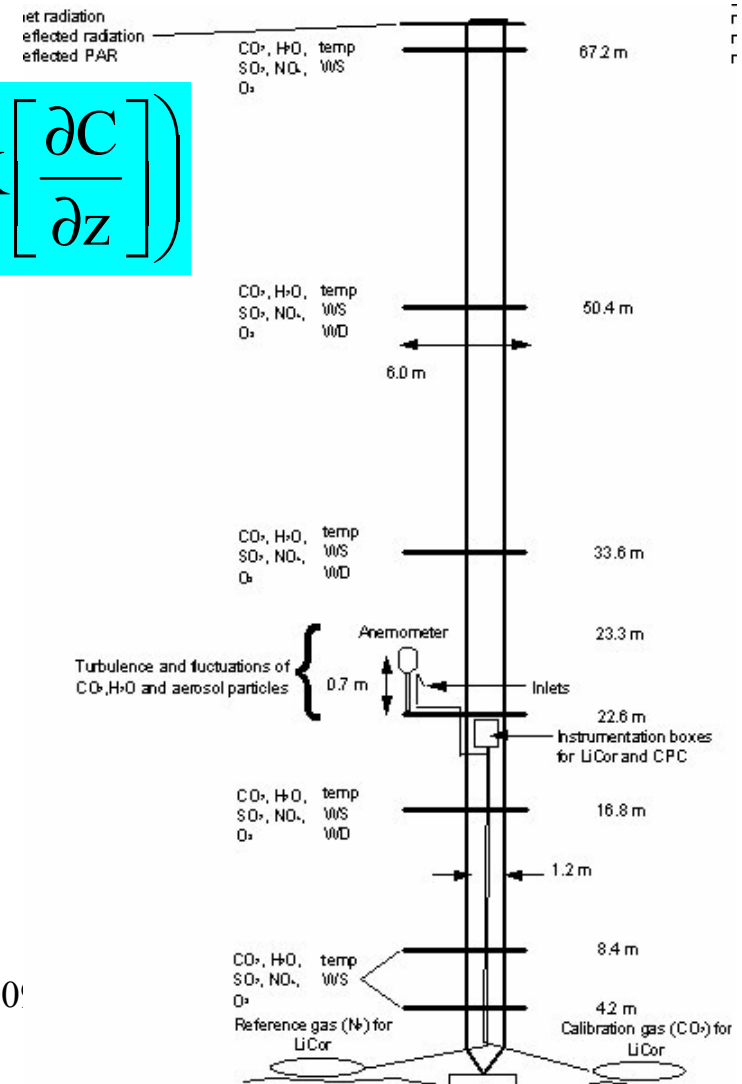
$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} (\langle c' w' \rangle) \approx - \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial c}{\partial z} \right)$$

- La mezcla ocurre contra gradiente (-)
- Existe un coeficiente **análogo** al coeficiente de difusión molecular
- K_{zz} se parametriza y depende de las condiciones de estabilidad y mezcla
- K_{zz} se estima a través mediciones de alta frecuencia

Medición de gradientes de concentración: alta resolución espacial y temporal

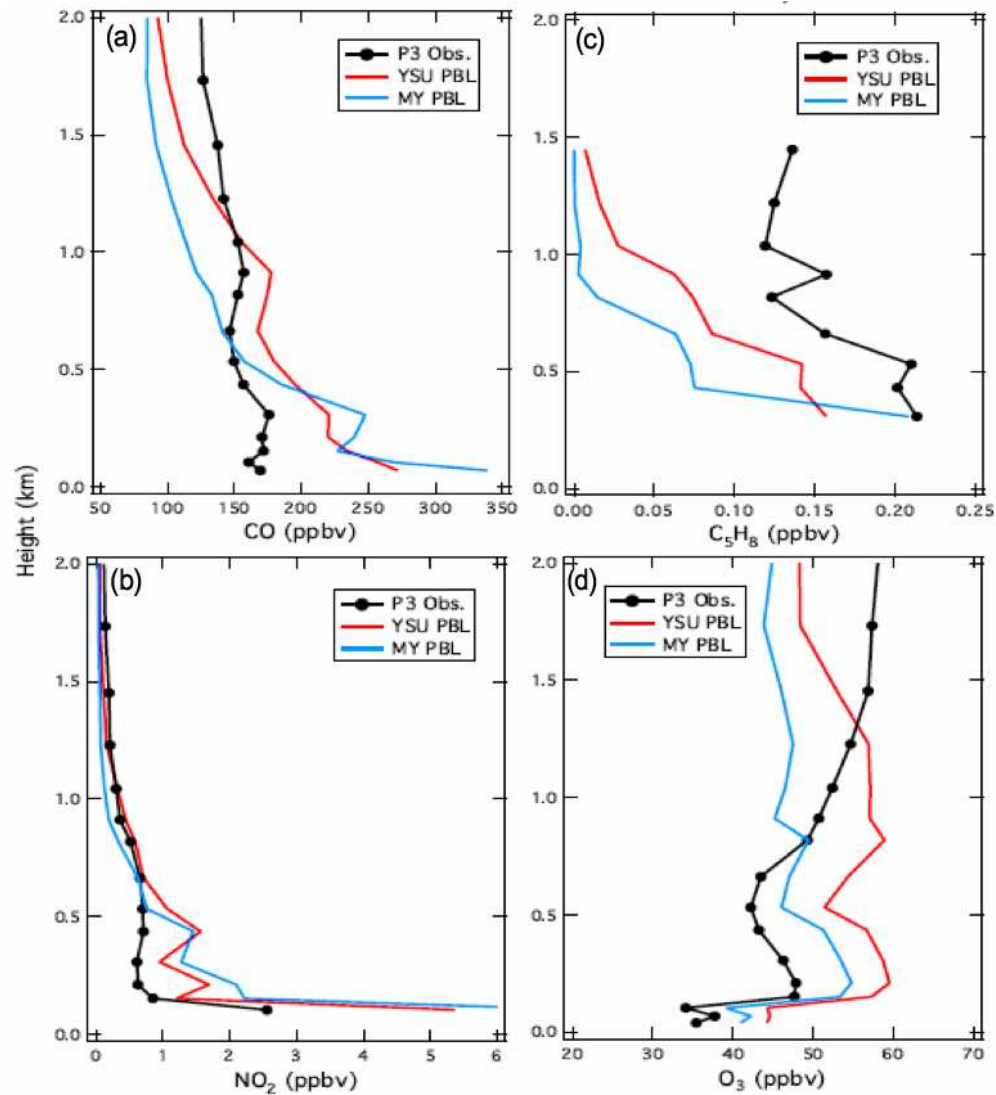


$$F = \langle w' C' \rangle \approx \frac{\partial}{\partial z} \left(K \left[\frac{\partial C}{\partial z} \right] \right)$$



GF 3022 LGK 200!

...mezcla turbulenta y química



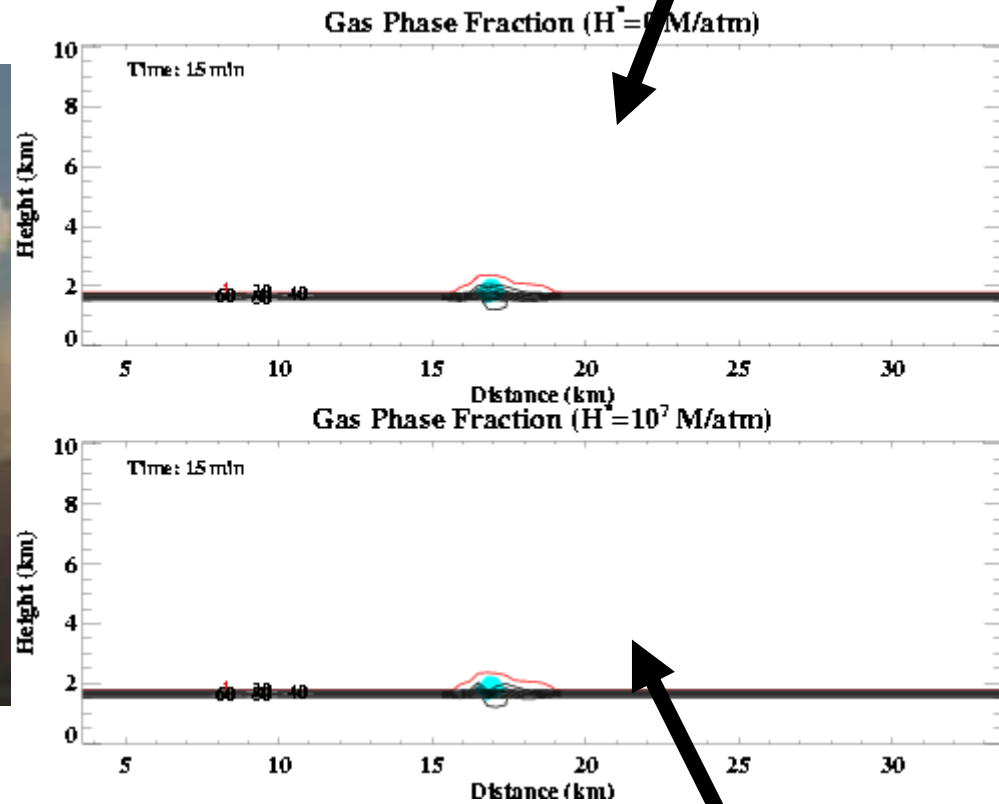
La distribución de las trazas es sensible a las parametrizaciones

Particularmente cuando hay química de por medio

$$\left(\frac{\partial \bar{s}}{\partial t}\right)_{con} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho_0 \overline{u'_i s'})$$

Convección

Insoluble



Soluble

Una parametrización de K_{zz}

Holstag et al, 1995; Zilinkevich & Mironov, 1996

$$\overline{\omega' \mu'} = g\rho K_z \frac{\partial \mu}{\partial z} = -(g\rho)^2 K_z \frac{\partial \mu}{\partial p},$$

$$K_z(z) = \frac{ku_* z}{\phi_H(z, z_0, L)} (1 - z/z_{PBL})^2,$$

Condiciones neutras
o estables

$$K_{zz} = \frac{\kappa \Delta p^2}{\Delta t} \frac{1}{(g\rho)^2}$$

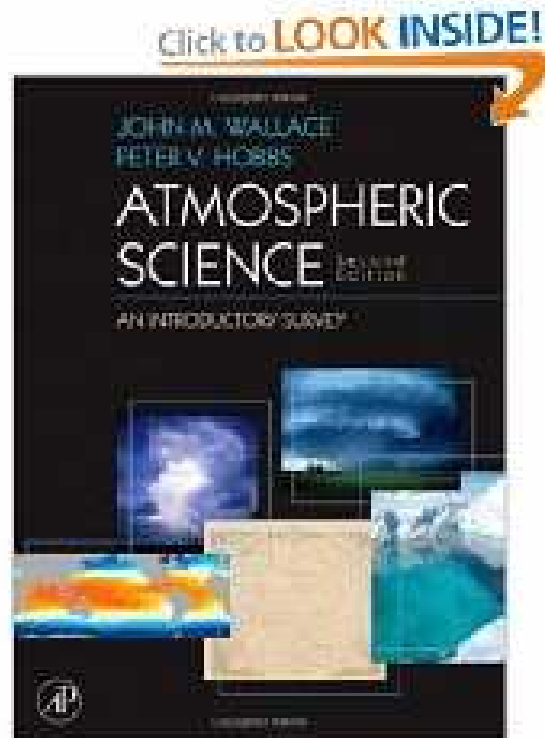
Condiciones inestables

$$\kappa = 1 - \exp\left(\frac{-w_* \Delta t}{z_{PBL}}\right)$$

Trabajos

- Melisa +Adolfo...Buenos Aires
- Temas
 - CO invernal vs estival en Santiago 2005
 - SO_x en Chile central en cond. de vaguada costera 1999
 - SO_x volcánico en Chile (20-40S)

Lecturas



- Capítulo 9: The Atmospheric Boundary Layer
- Libro disponible en biblioteca DGF

“Atmospheric Sciences, An Introductory Survey” (second edition, with Peter V. Hobbs) Academic Press / Elsevier, 483 pp.