



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

GF 3022 LGK 2010

HOY

- Mezcla y transporte vertical



- ¿Cómo se hace un pronóstico del tiempo?

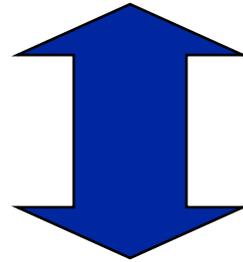


ClipartOf.com/1044778

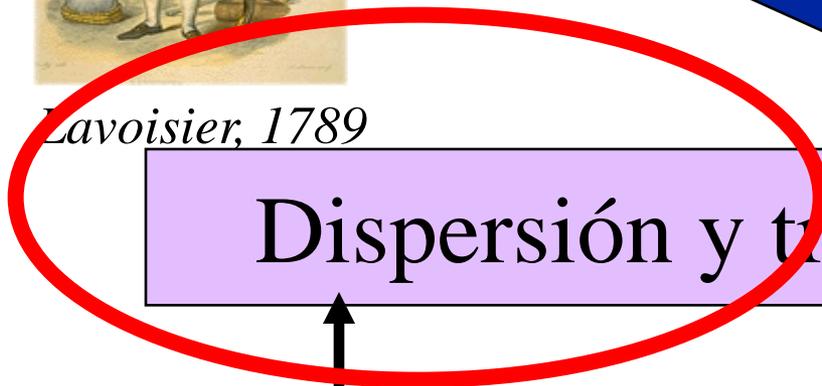
$$\frac{\partial c}{\partial t} = -\vec{v} \cdot \nabla c - c \nabla \cdot \vec{v} - \nabla \cdot (\langle c' \vec{v}' \rangle) + Q - S$$



Lavoisier, 1789



+CI & CB



Dispersión y transformaciones

Emisiones

Remoción

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

Advección



Es el arrastre a través del flujo medio (advección)

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

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

0

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

La advección prevalece en la horizontal pues, en general, los vientos horizontales dominan sobre los verticales.

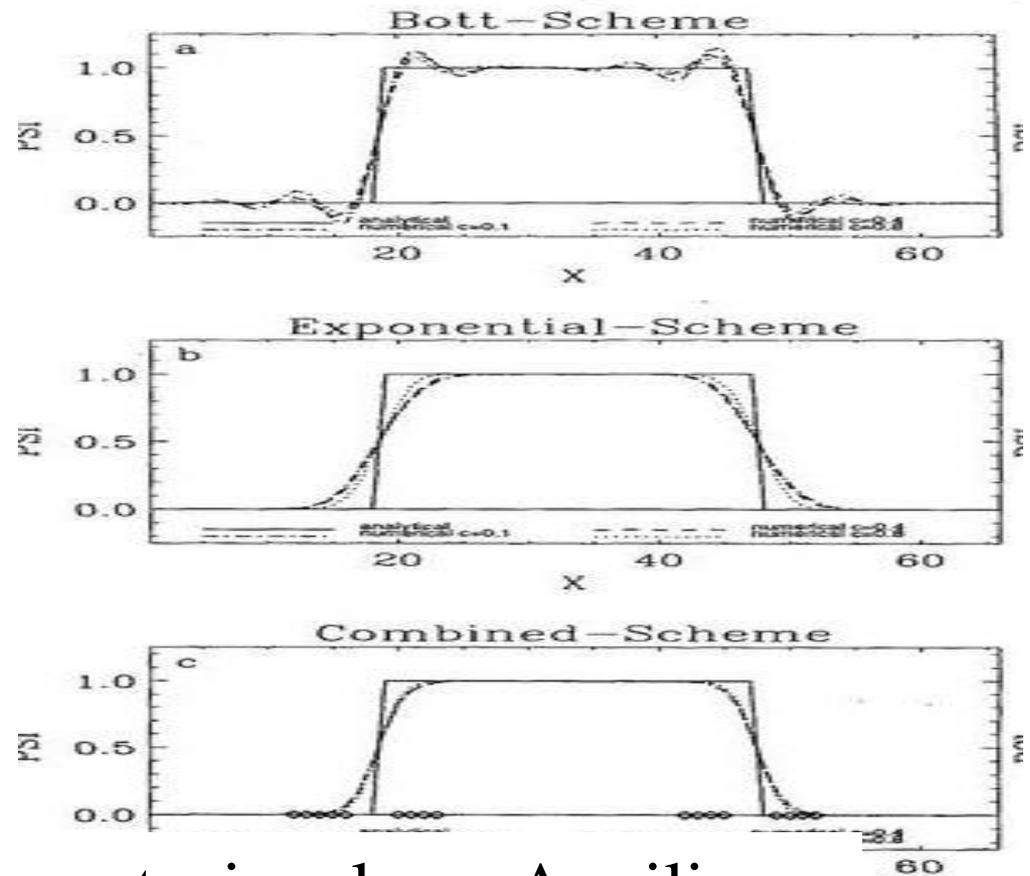
La advección ocurre contra gradiente

Advección:

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

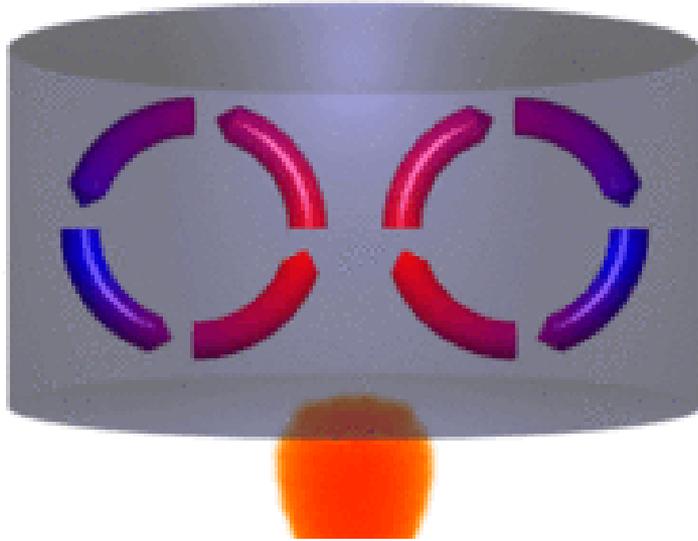
$$\frac{\partial c}{\partial t} = -u \frac{\partial c}{\partial x}$$

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

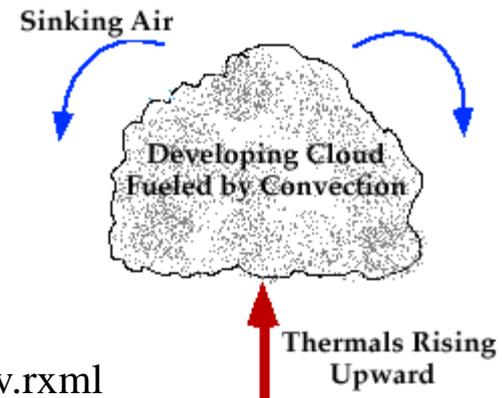


Continuará: c/o Taller computacional con Auxiliares

Convección

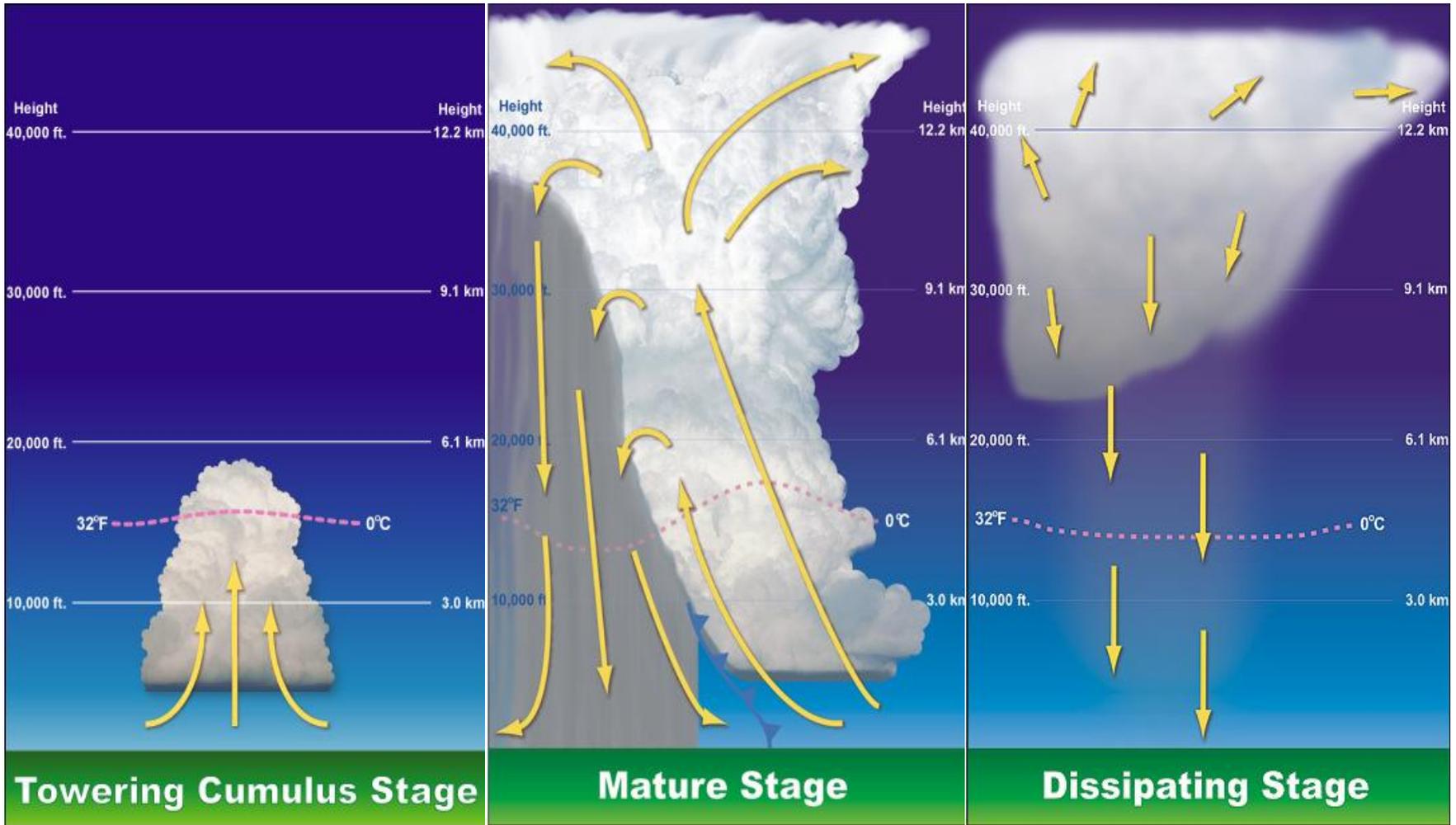


transporte de calor por medio de las corrientes ascendente y descendente del fluido.



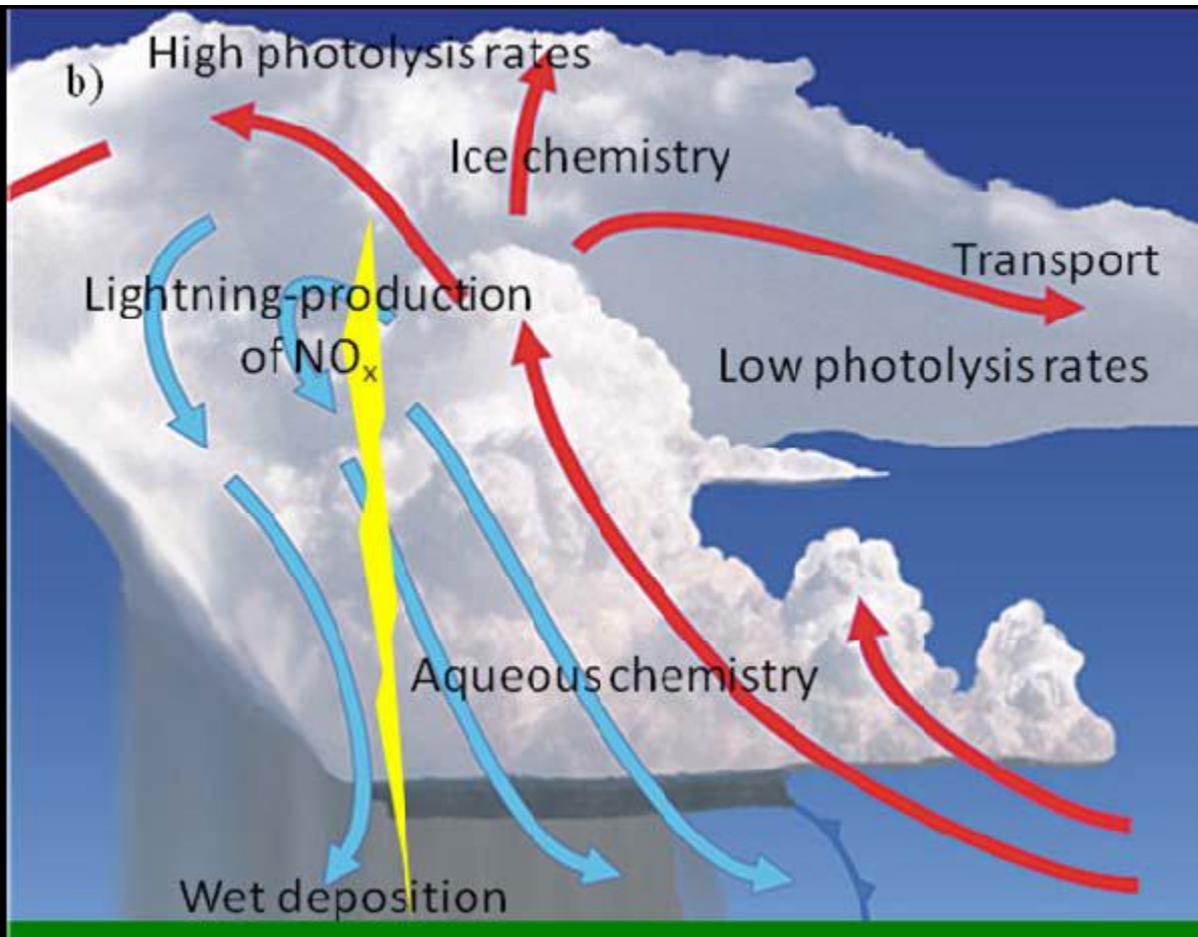
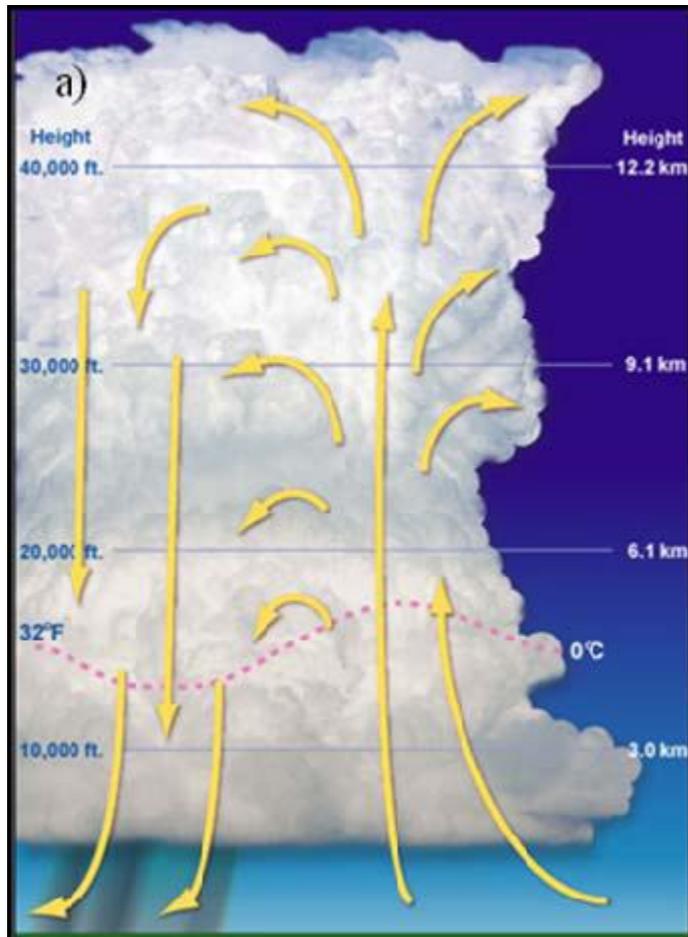
GF 3022 LGK 2010

Fases de un Cb



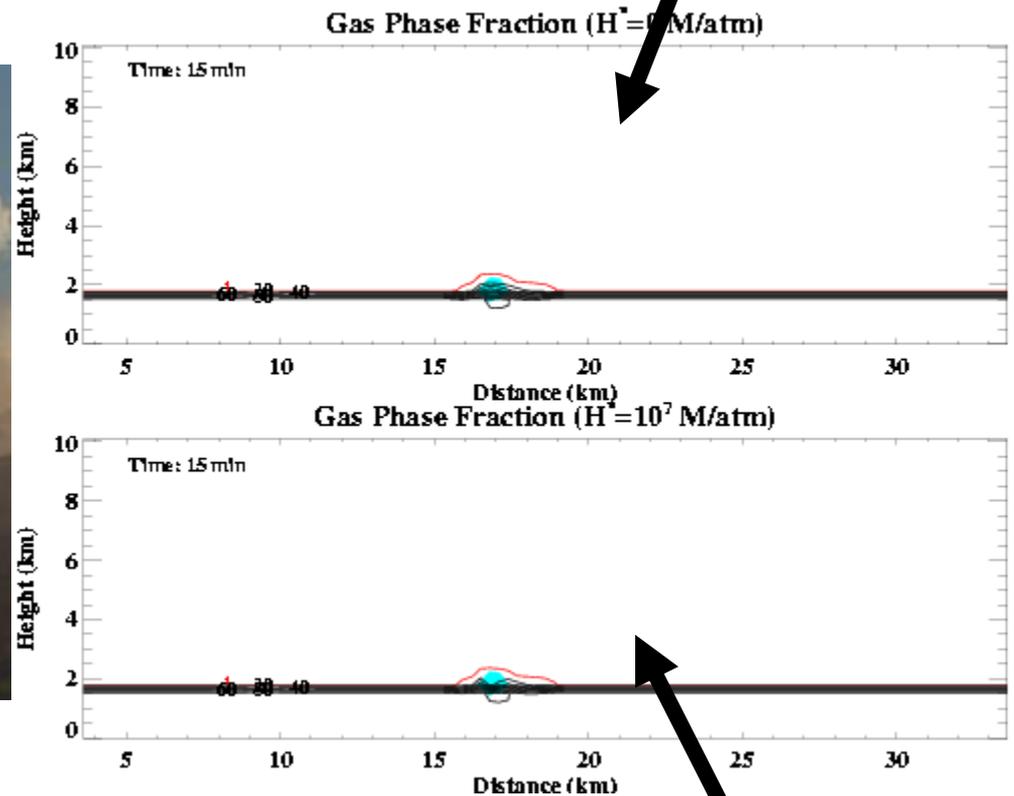
GF 3022 LGK 2010

Convección profunda y química atmosférica



Convección

Insoluble



Soluble

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

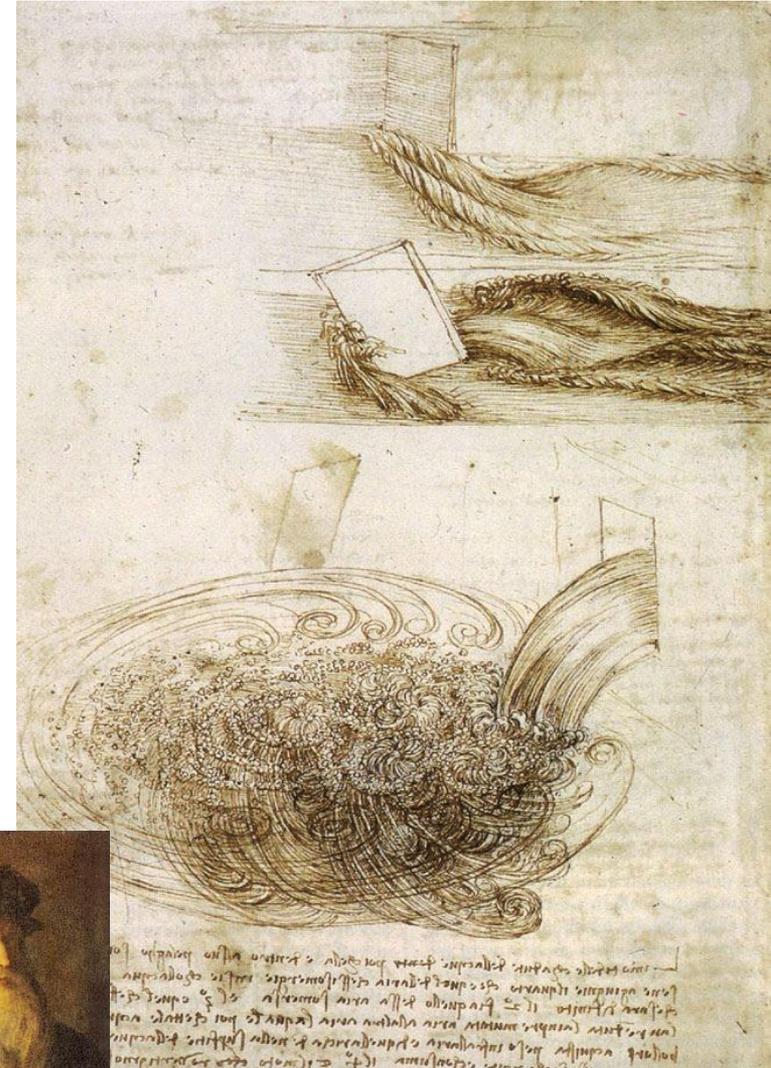
¿Qué es la turbulencia?

Turbulencia..movimientos del aire a pequeña escala...caracterizados por vientos irregulares....torbellinos

Importante porque mezcla y redistribuye energía, momentum,

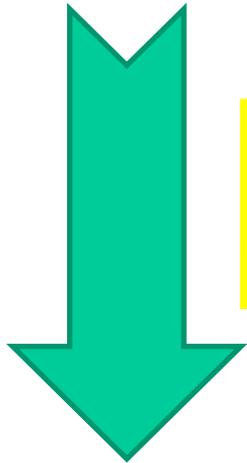
¿Cuánto es pequeña escala?

LGK 20



...cómo aparece la turbulencia...

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



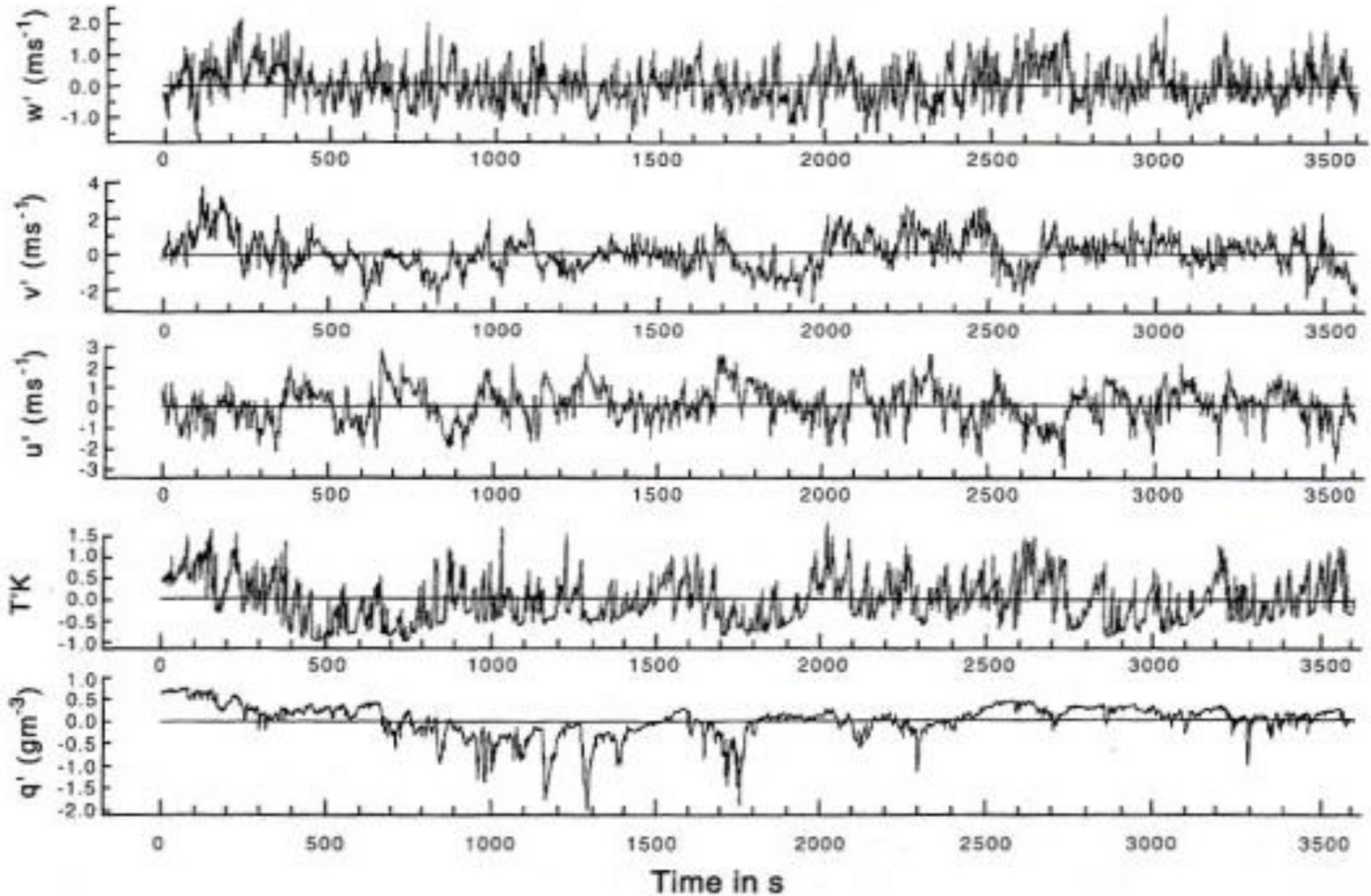
$$\psi = \langle \psi \rangle + \psi'$$
$$\langle \psi \rangle \equiv \bar{\psi} \equiv \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} \psi dt$$

$$\frac{\partial \bar{c}}{\partial t} = -\bar{w} \frac{\partial \bar{c}}{\partial z} - \langle w' \frac{\partial c'}{\partial z} \rangle$$

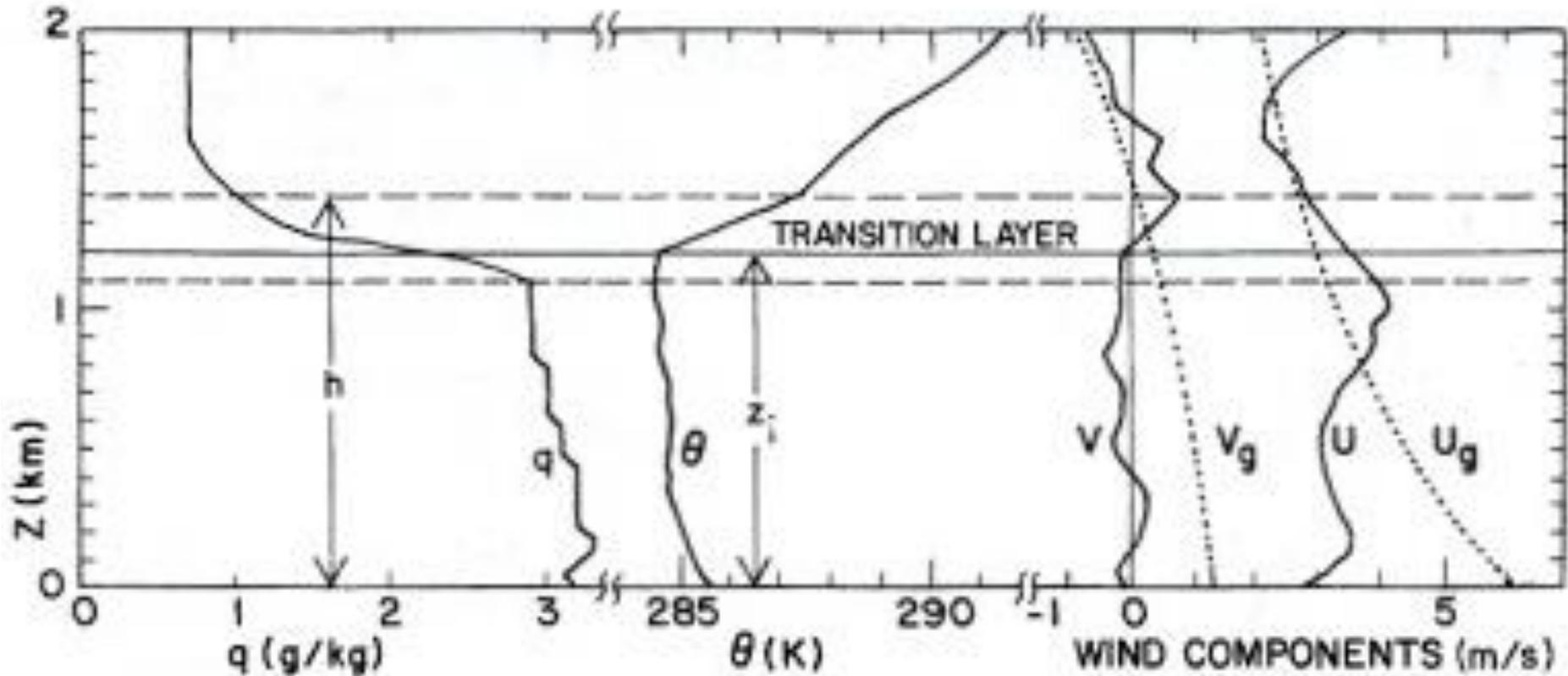
Como no se conocen las variables completamente aparecen términos extras que tienen que ver con las co-fluctuaciones

¡ τ es arbitrario!...según el instrumento

Turbulencia en la vida real



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)

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

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

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

$$\frac{\partial z}{\partial z}$$

Número de Richardson



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

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





Tratamiento usual: parametrización à la Fick

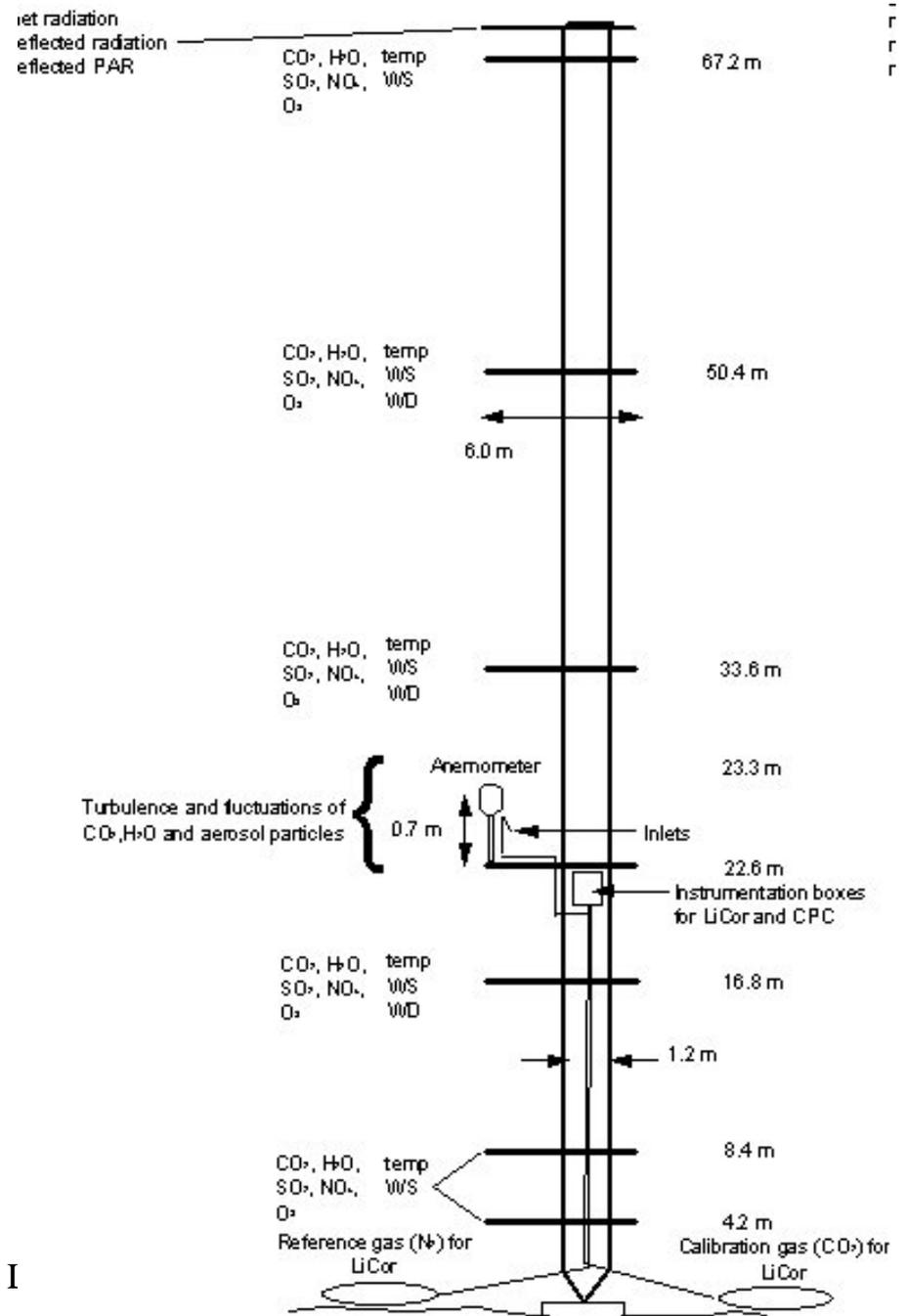
$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} (\langle c' w' \rangle) \approx - \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial c}{\partial z} \right)$$

- 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

Mediciones de flujos turbulentos



GF 3022 I



Una parametrización de K_{zz}

Holstag et al, 1995; Zilinkevich & Mironov, 1996

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

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

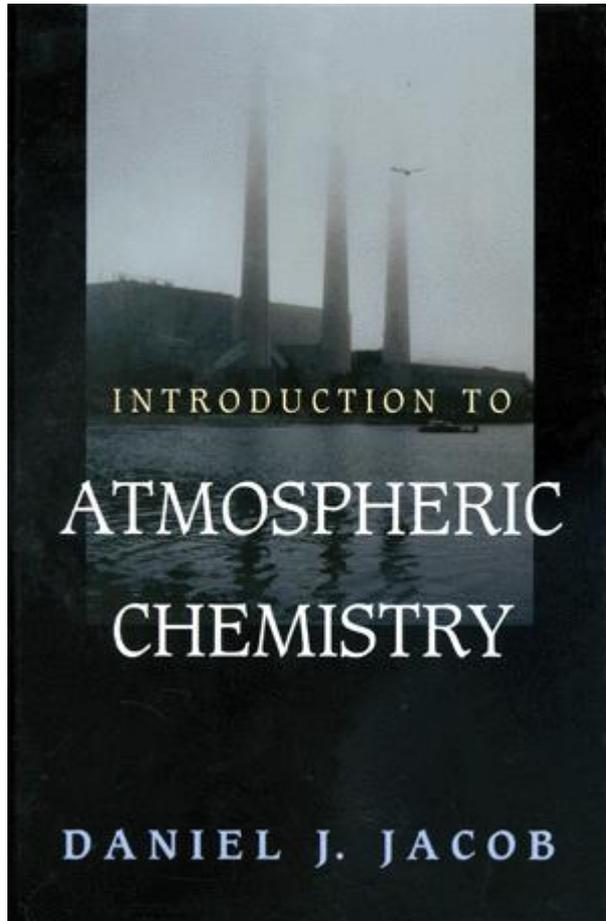
Condiciones neutras
o estables

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

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

Condiciones inestables

Lectura Obligatoria



- Capítulo 4.1 & 4.2:
Atmospheric transport
- <http://acmg.seas.harvard.edu/people/faculty/djj/book/index.html>