

vii. Medidas Micrometeorológicas

Andrew S. Kowalski
Catedrático de Universidad
Departamento de Física Aplicada
Universidad de Granada
andyk@ugr.es

Bibliografía micrometeorológica

- Stull; Capítulo 10. (Measurement and Simulation Techniques)

Esquema

- Motivación – intercambios superficie/atmósfera
- Medidas Directas de Flujos (“eddy covariance”)
 - Interpretación
 - Sitios de medidas
 - Instrumentos
- Inferencia de flujos por otras medidas
 - Gradientes y la Razón de Bowen
 - Eddy Accumulation
 - Scintillometry
- Otras Medidas en la Capa Limite
 - Wind Profiler
 - LIDAR
 - SODAR

Esquema

- Motivación – intercambios superficie/atmósfera
- Medidas Directas de Flujos (“eddy covariance”)
 - Interpretación
 - Sitios de medidas
 - Instrumentos
- Inferencia de flujos por otras medidas
 - Gradientes y la Razón de Bowen
 - Eddy Accumulation
 - Scintillometry
- Otras Medidas en la Capa Limite
 - Wind Profiler
 - LIDAR
 - SODAR

Intercambios entre superficie y atmósfera

- Se pueden medir
 - Cambios en la superficie

Direct Evaporation Measurements

- Evaporation Pans



Source: [new mexico climate center](http://www.nmcc.org)

Measuring Evapotranspiration



Rietholzbach Research catchment: Swiss Federal Institute of Technology (ETH)



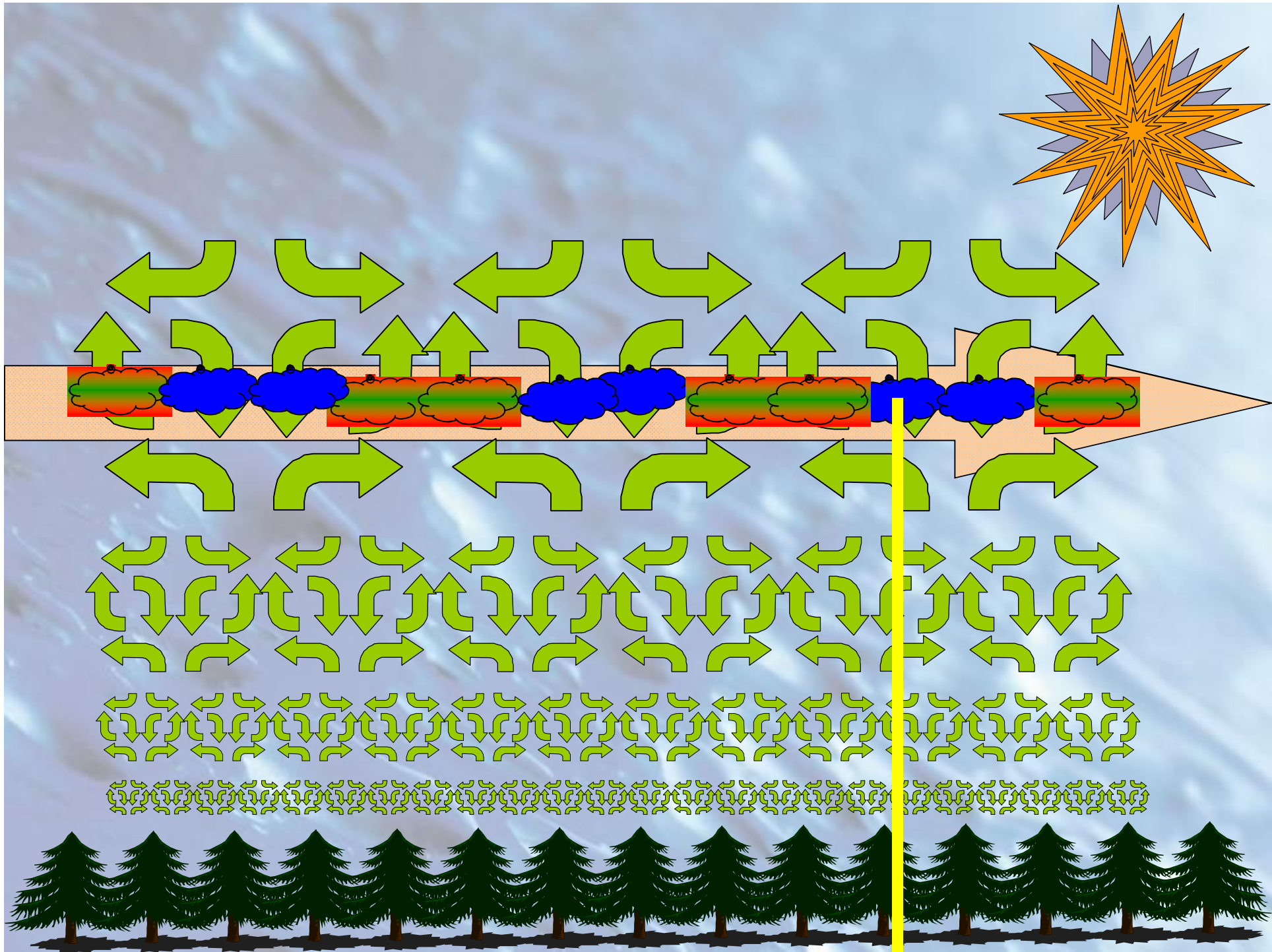
Under the Lysimeter

Intercambios entre superficie y atmósfera

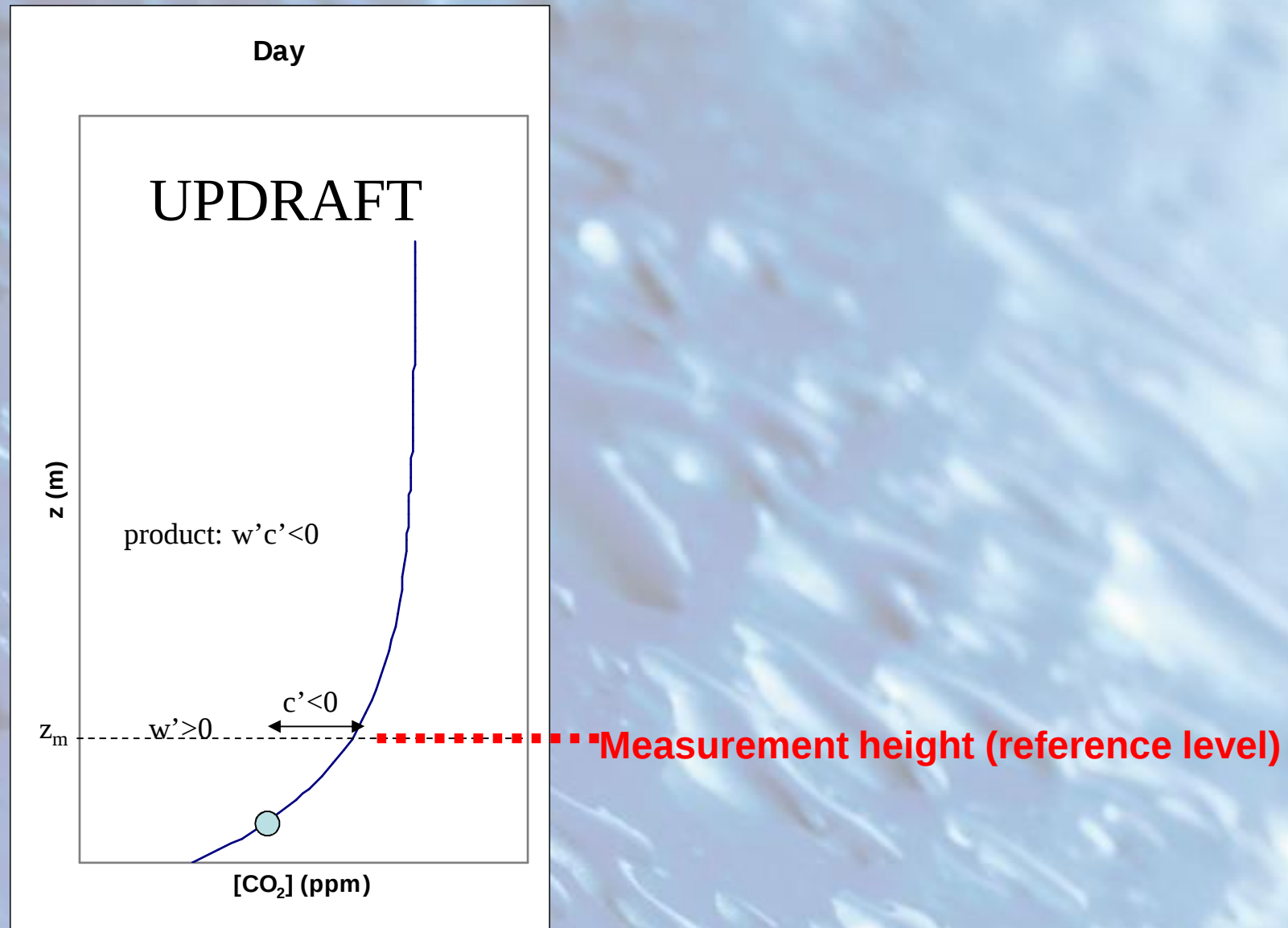
- Se pueden medir
 - Cambios en la superficie
 - A veces es útil
 - En general, los cambios son tan sutiles que los errores no se pueden aceptar
 - Almacenamiento de C
 - Velocidad de la tierra (!)
 - Cambios en el aire
 - Con cámaras, pero...
 - Midiendo en la capa límite

Esquema

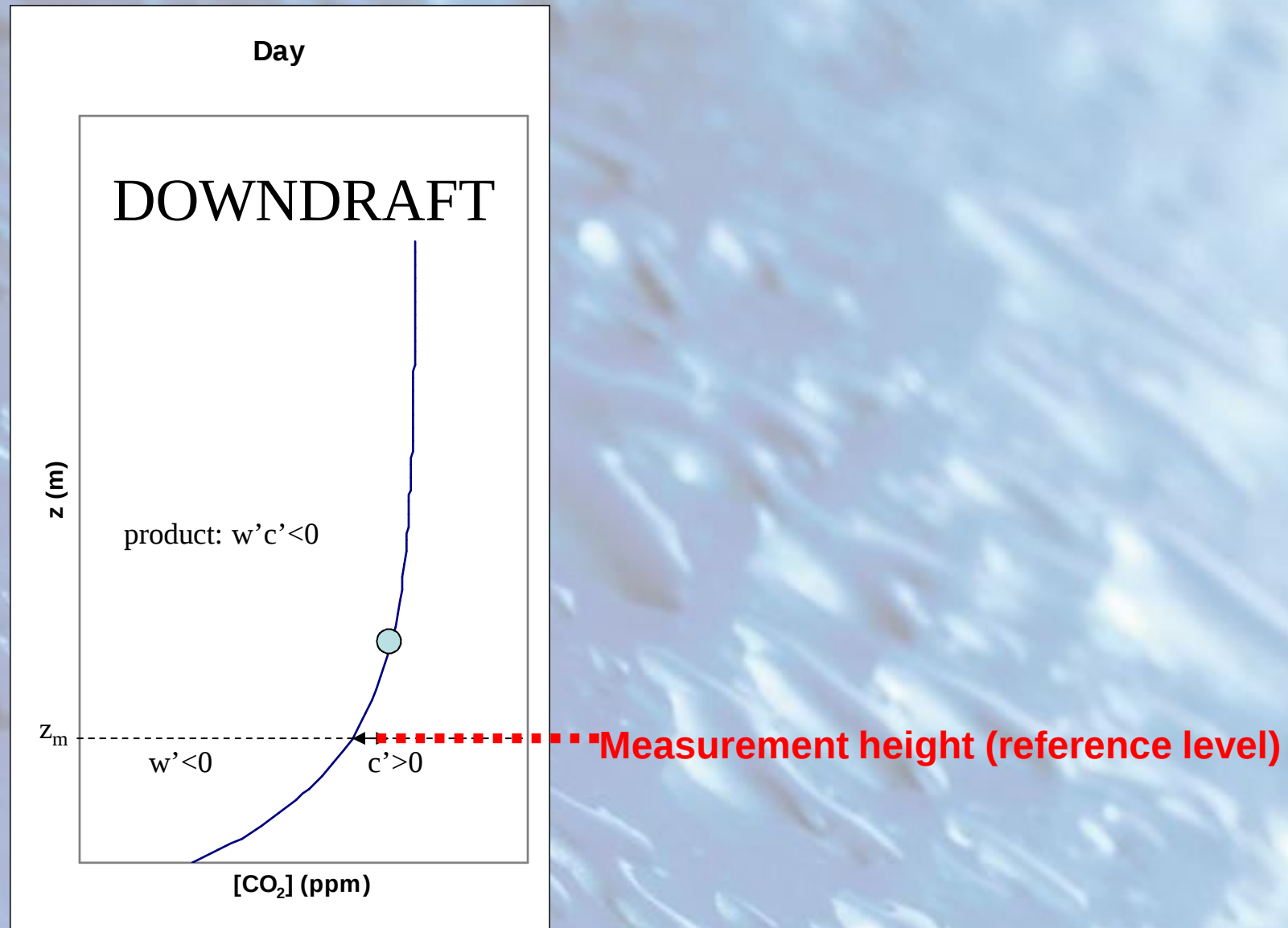
- Motivación – intercambios superficie/atmósfera
- Medidas Directas de Flujos (“eddy covariance”
 - Interpretación
 - Sitios de medidas
 - Instrumentos
- Inferencia de flujos por otras medidas
 - Gradientes y la Razón de Bowen
 - Eddy Accumulation
 - Scintillometry
- Otras Medidas en la Capa Limite
 - Wind Profiler
 - LIDAR
 - SODAR



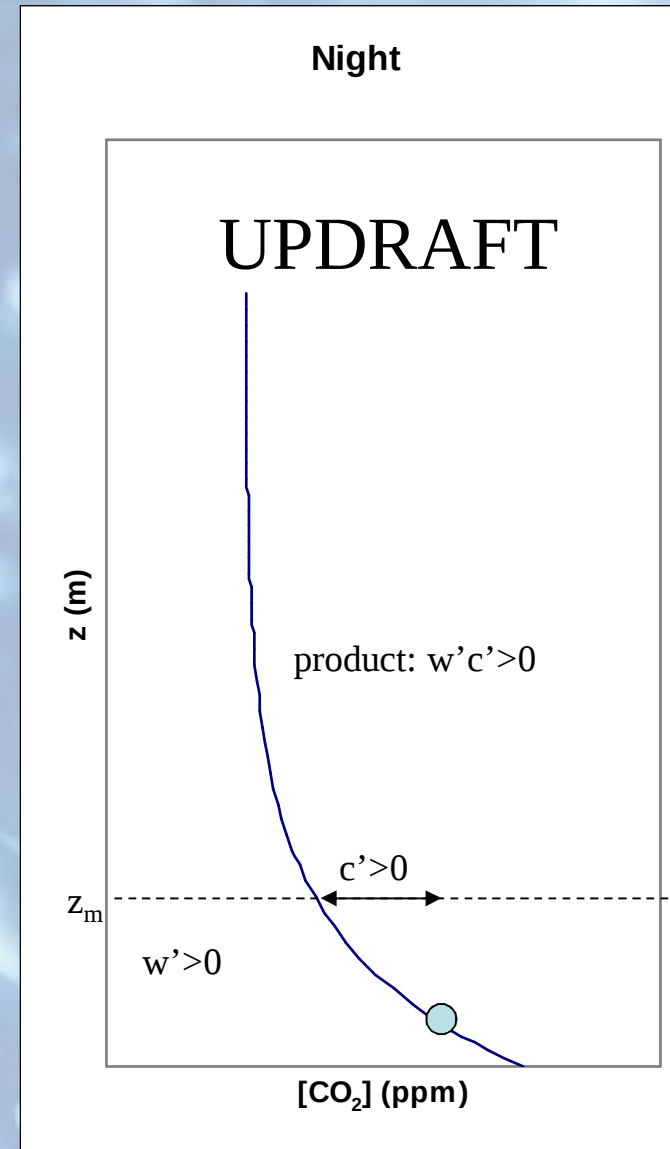
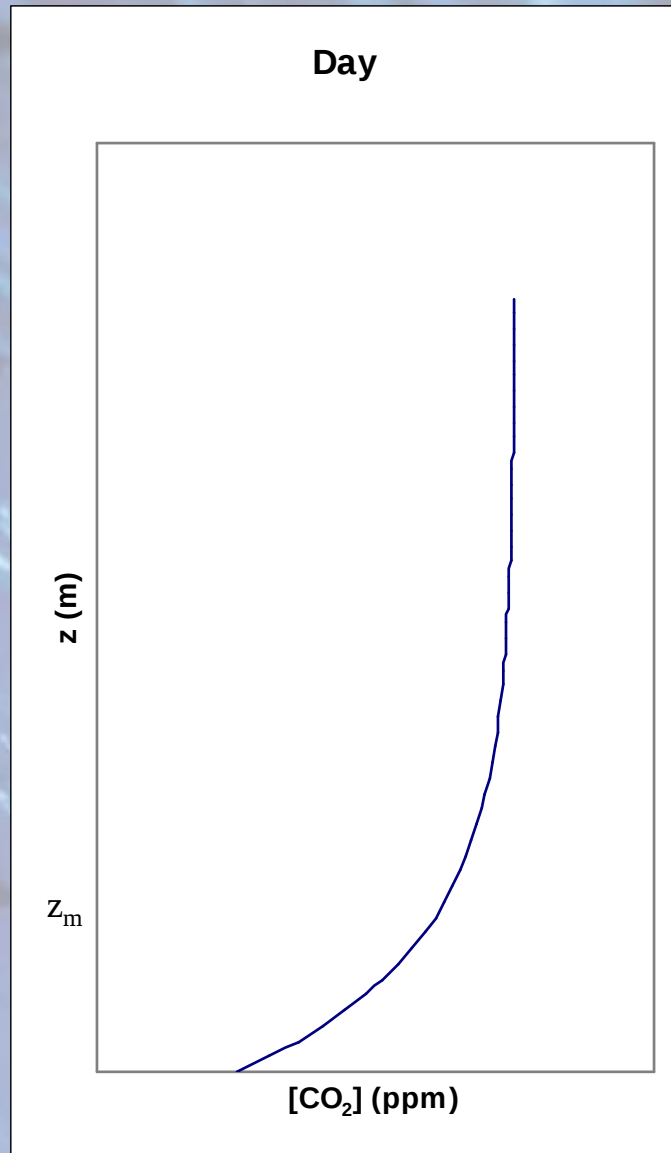
Updrafts and Downdrafts



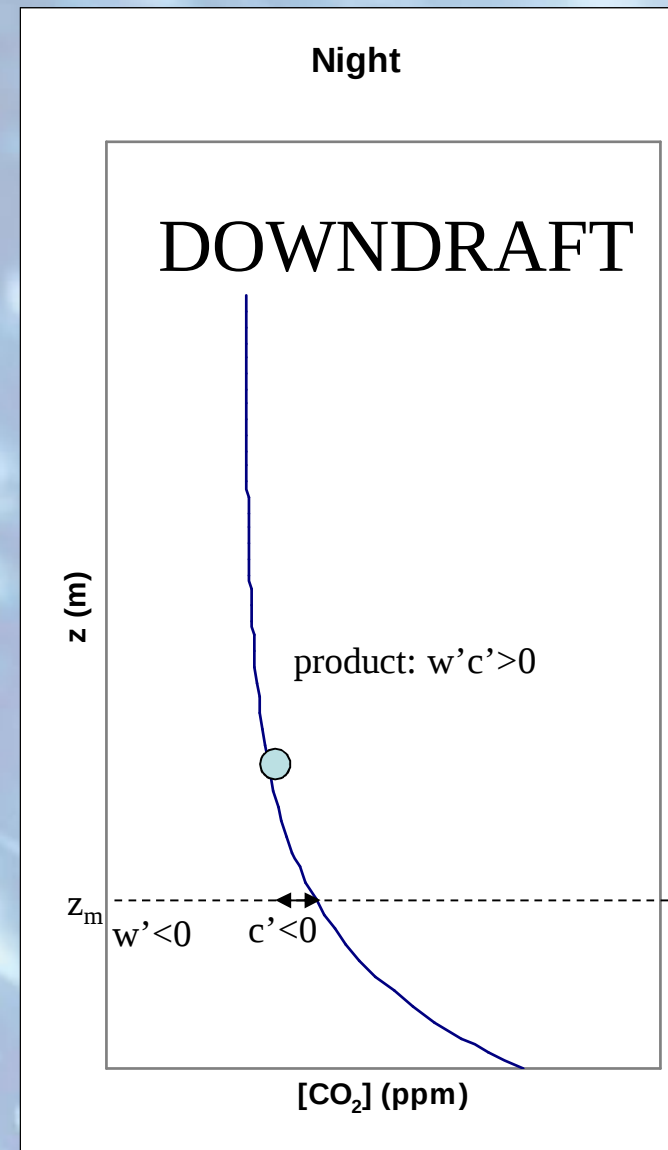
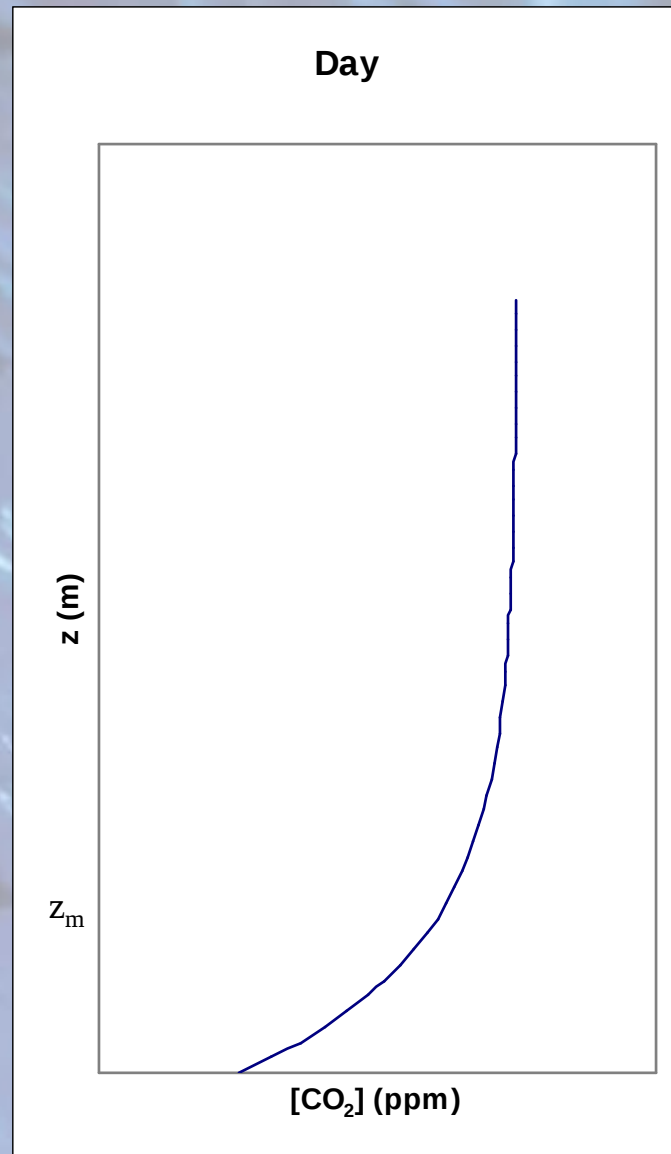
Updrafts and Downdrafts



Updrafts and Downdrafts



Updrafts and Downdrafts



¿Qué/cómo medir? (flujo cinemático = covarianza)

- En función del flujo de interés:
 - Calor sensible (H) : w , T sonic anemometer
 - Evaporación/Calor Latente (E/LE):
 - Open-path IRGA: w , ρ_v
 - Closed-path IRGA: w , r
 - F_c (NEE):
 - Open-path IRGA: w , ρ_c
 - Closed-path IRGA: w , c
- Rápidamente (cómo*: normalmente $>5\text{Hz}$)
- Hay que montar los instrumentos:
 - Sin perturbar el viento
 - Para muestrear los mismos remolinos (separación)*

Open-path vs. closed-path:
más tarde

*depends on tower height

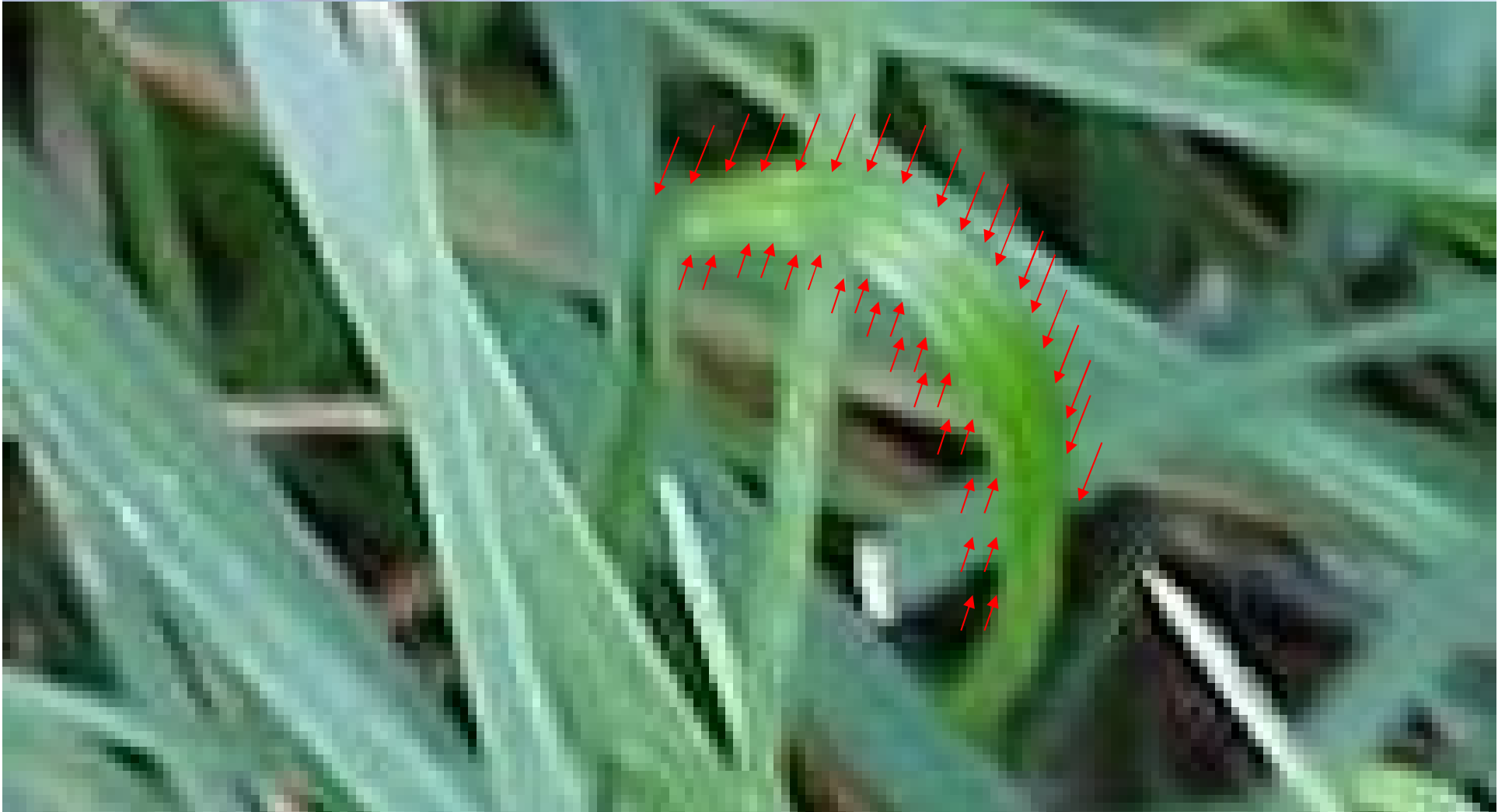
Esquema

- Motivación – intercambios superficie/atmósfera
- Medidas Directas de Flujos (“eddy covariance”)
 - Interpretación
 - Sitios de medidas
 - Instrumentos
- Inferencia de flujos por otras medidas
 - Gradientes y la Razón de Bowen
 - Eddy Accumulation
 - Scintillometry
- Otras Medidas en la Capa Limite
 - Wind Profiler
 - LIDAR
 - SODAR

Motivación: FAQs

- ¿Dónde puedo montar una torre?
- ¿Hasta qué altura?
- Las escalas de intercambio entre superficie y atmósfera

Micro-escala difusión (molecular) de CO_2 a $z=0.3\text{mm}$



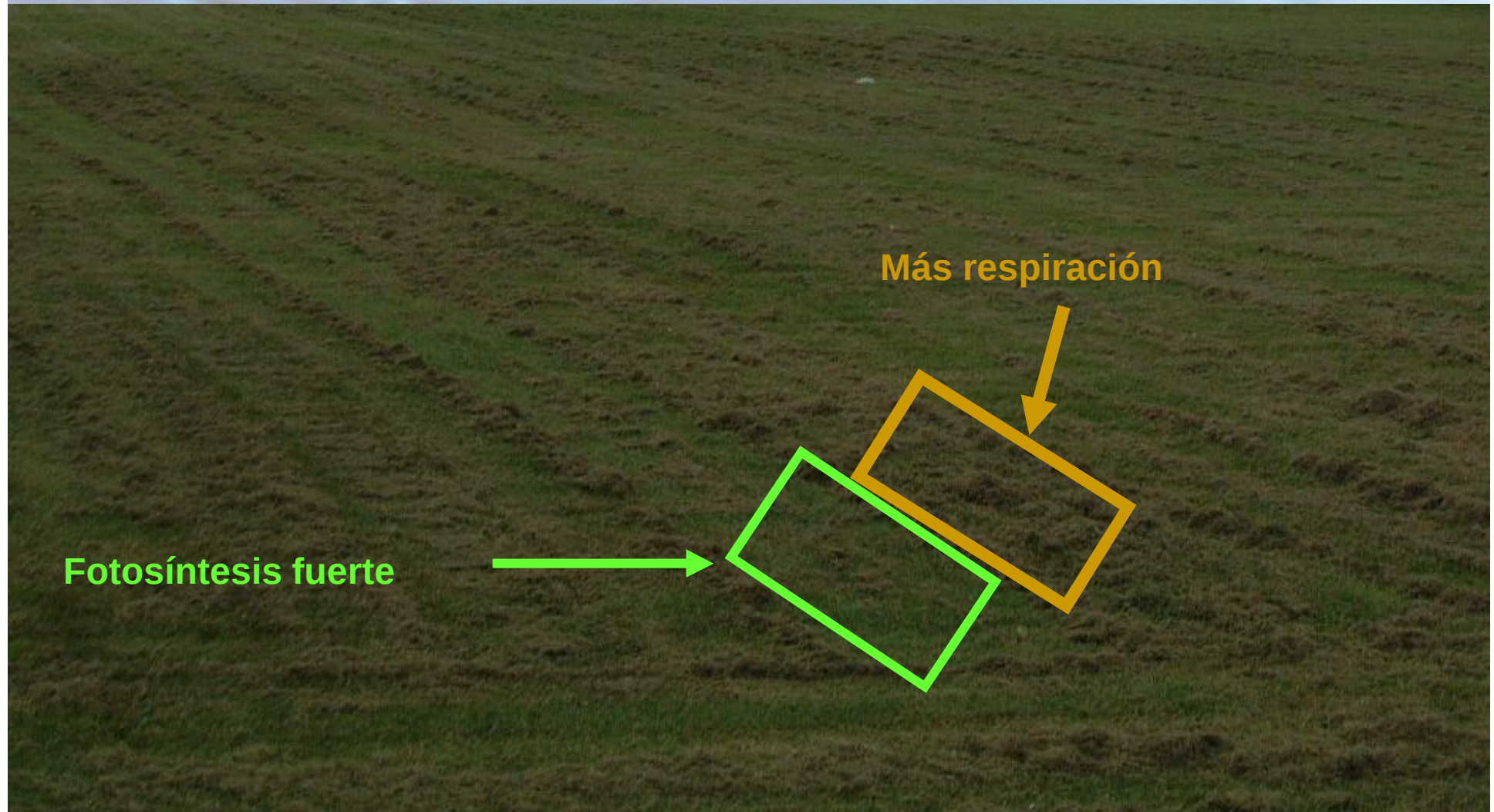
Difusión turbulenta y molecular (combinada) a $z=3\text{cm}$



Difusión turbulenta a $z=3\text{m}$:



¿Un ecosistema homogéneo?



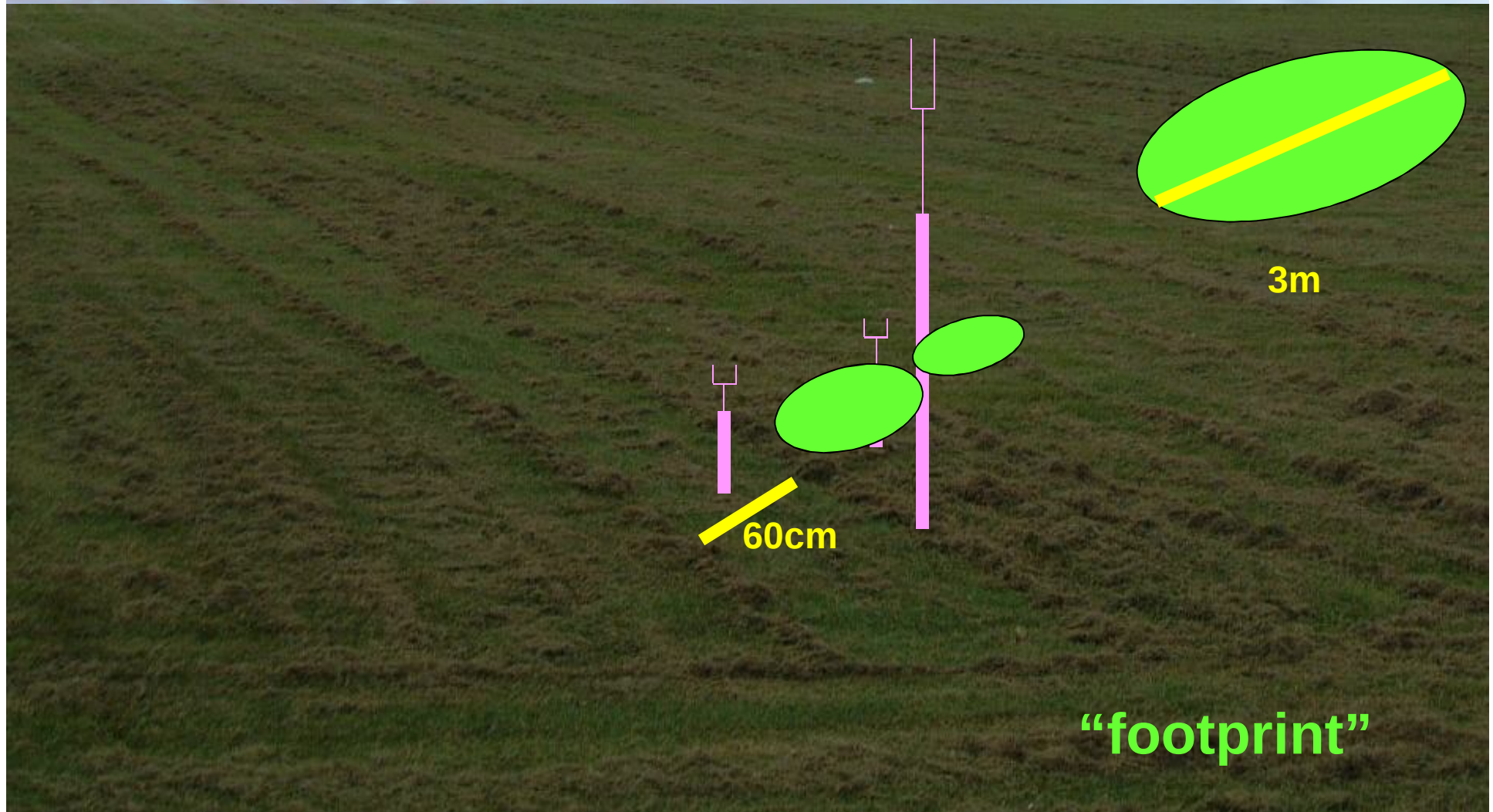
La escala de heterogeneidad



60cm

Determina la necesidad para la
posición/altura de la torre

La heterogeneidad a escala de 60cm
sugiere una heterogeneidad en el
flujo hasta una altura similar



“Fetch”

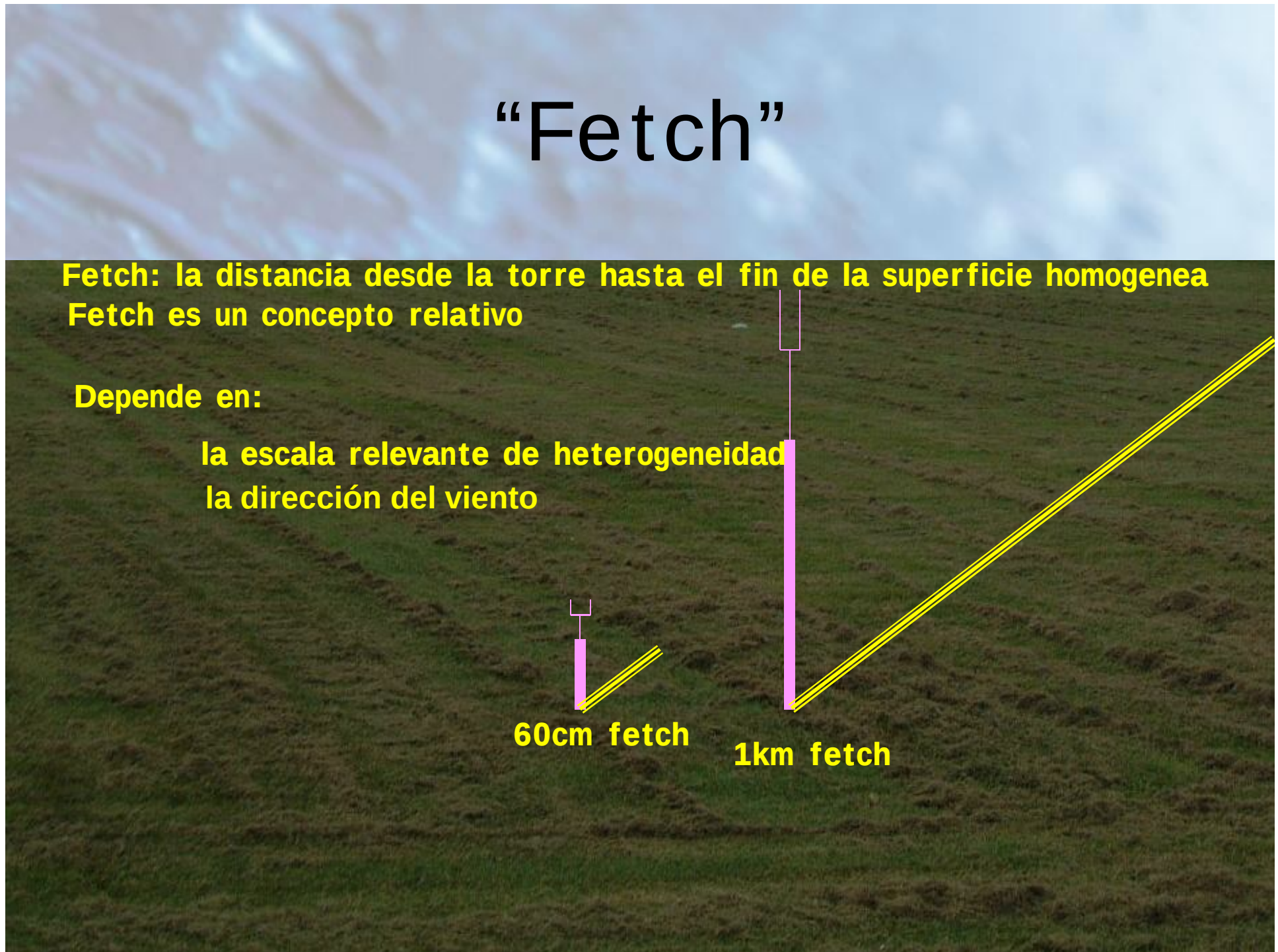
Fetch: la distancia desde la torre hasta el fin de la superficie homogénea
Fetch es un concepto relativo

Depende en:

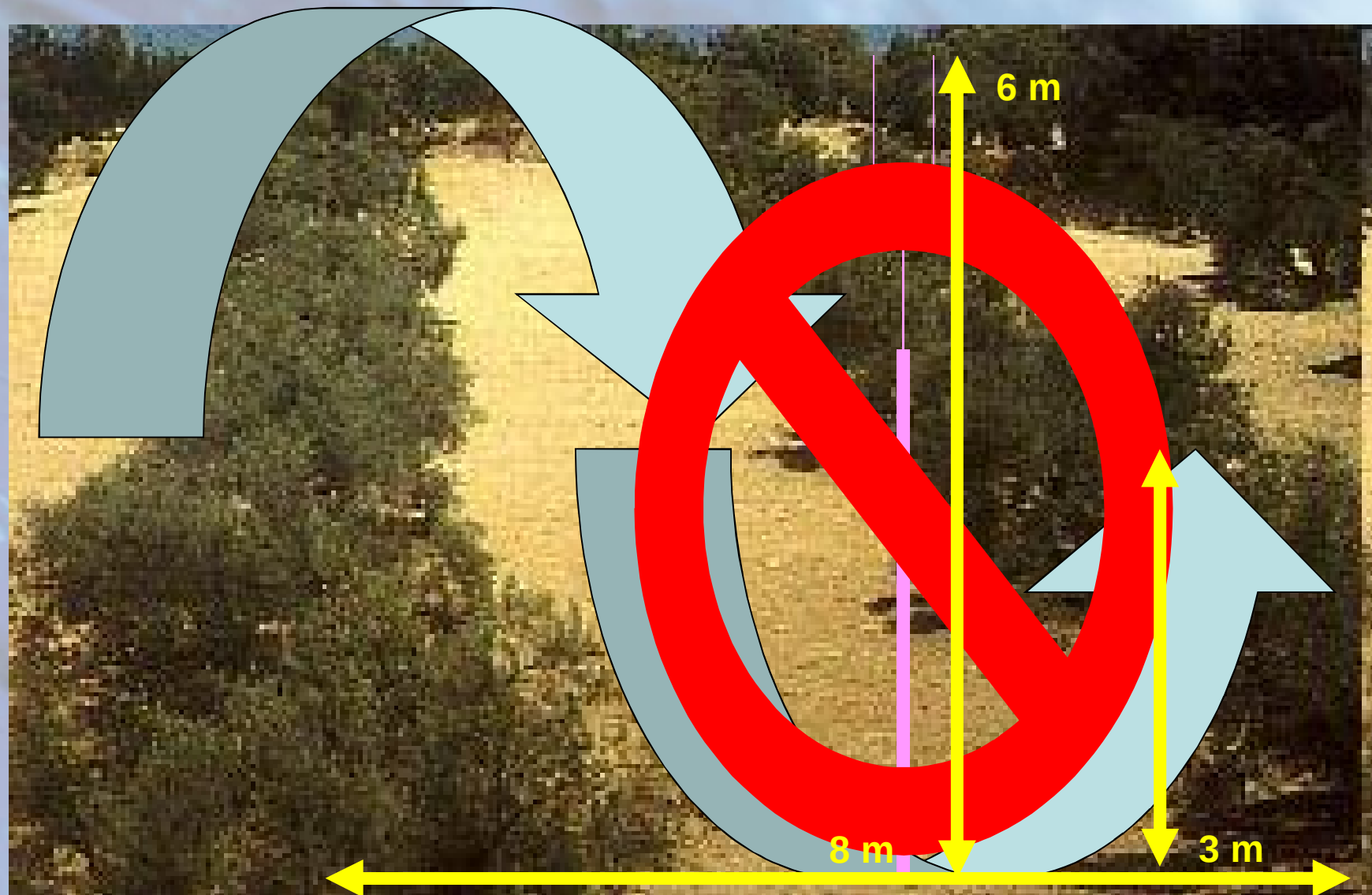
la escala relevante de heterogeneidad
la dirección del viento

60cm fetch

1km fetch



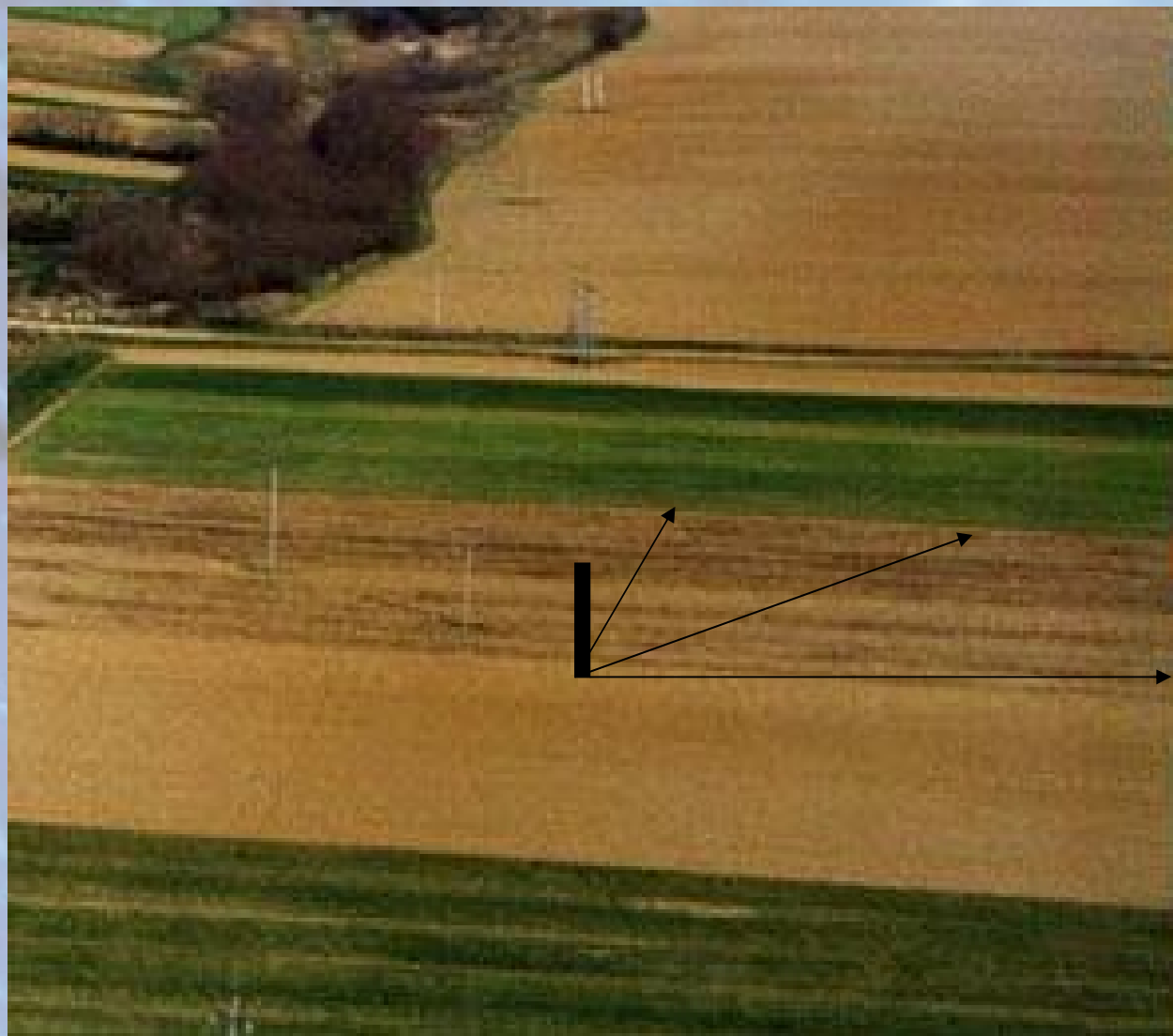
¿Cómo de alta?



Torre demasiado alta



Cómo medir



Una (antigua) ley general

- Para unas medidas **ideales**
 - Altura torre/medidas = z_m
 - Altura cubierto (vegetación) = z_v
 - Fetch necesario = $100 (z_m - z_v)$
- Tamaño ecosistema **Ideal**: superficie = $\pi(z_m - z_v)^2$
 - Bosque: torre 40m y arboles 20m – 1200 ha
 - Olivar: torre 15m y arboles 3m – 450 ha
 - Matorral: torre 3m tower y arbustos 0.5m – 23 ha

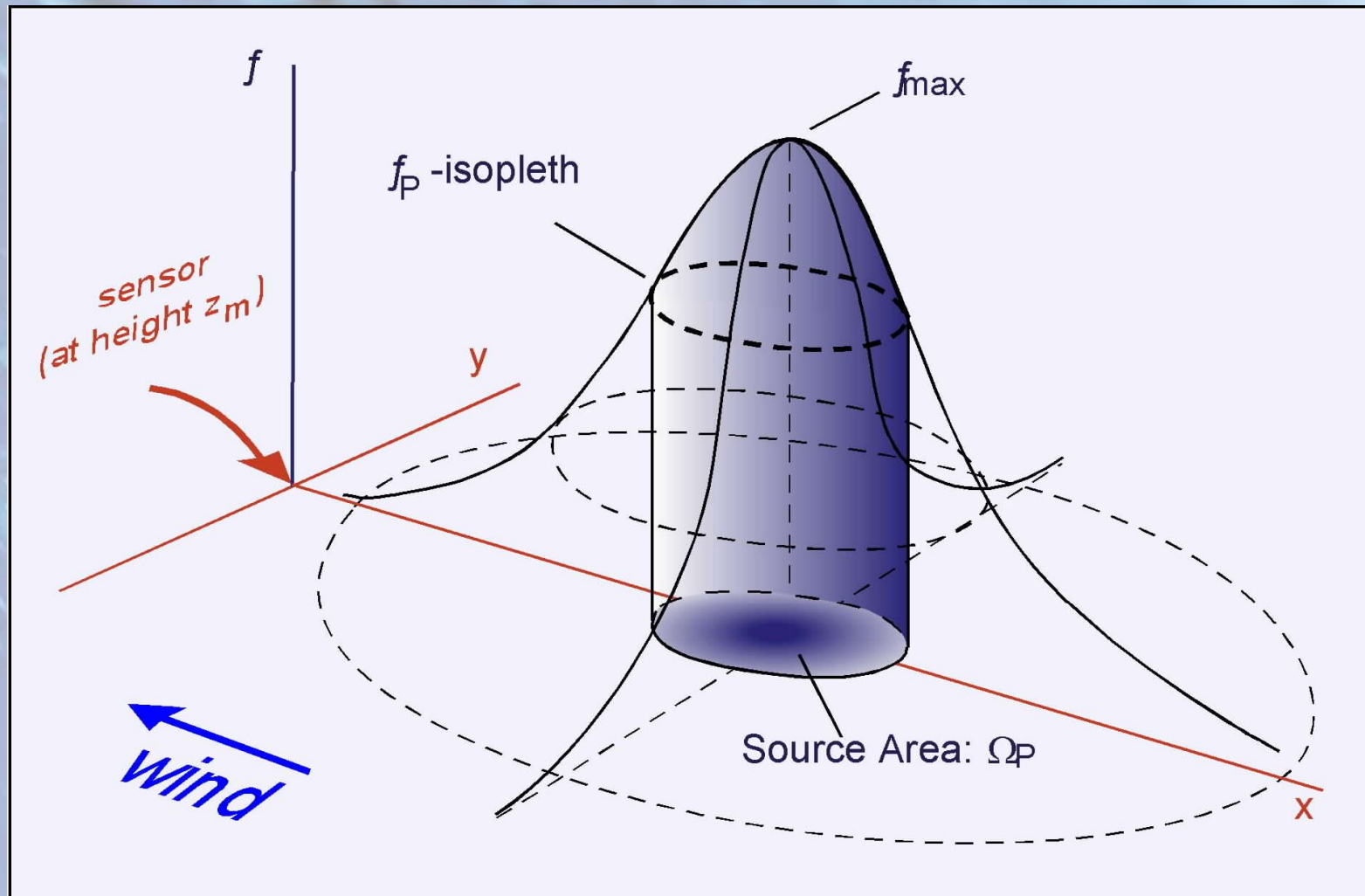
En realidad

- El ideal no existe
- Reducimos el requerimiento y
- Rechazamos las medidas con poco fetch
 - En función de la dirección del viento
 - En función de la estabilidad (perdida de datos nocturnos)
 - Con unos modelos del “Footprint”
- No existe una ley general, pero:
 - Tamaño ecosistema = $f(z_m, z_v)$
 - $z_m = f(z_v, \text{heterogeneidad, espacio entre plantas})$
 - Requiere experiencia para tomar decisiones

La noción del “Footprint”

- 
- ¿De donde viene el flujo?
 - Imposible a medir
 - Con unas hipótesis, se puede modelizar:
 - La turbulencia es homogénea
 - Los movimientos son aleatorios
 - *No son validos en bosques*
 - ¿Cómo se verifica?
 - Problema: las hipótesis para el footprint son los mismos que las para el método de eddy covariance

Footprint Models



Esquema

- Motivación – intercambios superficie/atmósfera
- Medidas Directas de Flujos (“eddy covariance”
 - Interpretación
 - Sitios de medidas
 - Instrumentos
- Inferencia de flujos por otras medidas
 - Gradientes y la Razón de Bowen
 - Eddy Accumulation
 - Scintillometry
- Otras Medidas en la Capa Limite
 - Wind Profiler
 - LIDAR
 - SODAR

El Anemómetro Sónico

- *La herramienta del micrometeorólogo*
 - Medidas in situ y a escala turbulenta de
 - Vientos
 - Temperaturas
 - Determinación directa de flujos de
 - Inercia (estrés)
 - Calor

Unos Anemómetros



ATI

Gill Solent R3



CSAT-3

RM Young 81000



Model 81000 (c) 2001 R. M. Young Company

Otros Anemómetros

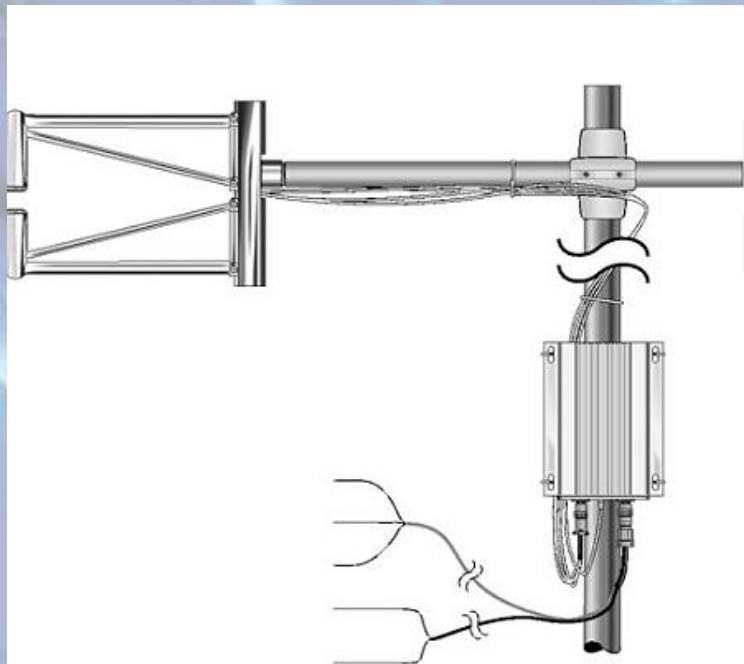


IRGAs

- Para medir los gases más importantes
 - CO_2
 - H_2O
- Otros están surgiendo...
 - Específico (N_2O , CH_4 , ...)
 - A la selección del usuario: TDL
- En general, dos tipos de diseño...

Otras Variables (“Open Path”)

Krypton Hygrometer



Model KH20 © 2003 Campbell Scientific, Inc.

LI-COR LI7500



Open-path

- Ventajas:
 - In-situ
 - Rápido
 - Menos consumo de potencia (W)
- Desventajas:
 - Susceptible a los elementos
 - Calibración difícil
 - Correcciones “Webb”
 - Hay que medir bien el $\bar{c}$
 - Hay que medir H, LE



Un sistema integral



Otras Variables (“Closed Path”)

LI-COR LI6262



Anemometer & Inlet

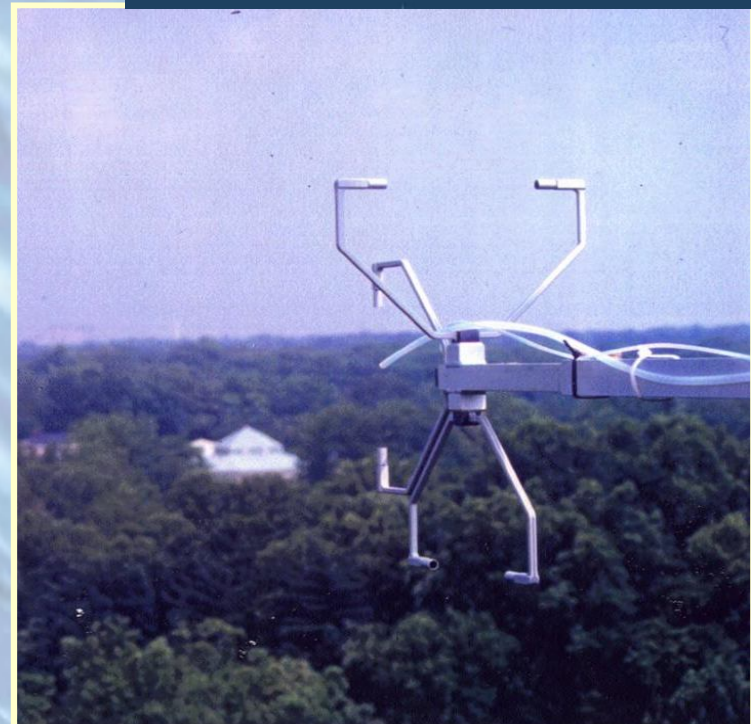


Tunable Diode Laser



Closed-path

- Ventajas:
 - Protegido de los elementos
 - Fácil a mantener
- Desventajas:
 - Consume watio (bomba)
 - Más mantenimiento
 - Bombas
 - Filtros
 - Perdida a alta frecuencia
 - Hay que corregir
 - ¿Cómo saber lo que has perdido?



Un sistema integral



Correcciones “Webb”: Otra manera de verlo

- Un instrumento “open-path” mide ρ_c
- En el caso que no hay sumidero/fuente de CO_2 , las variaciones de ρ_c aún se pueden producir en función de ρ
 - Variaciones de T
 - Variaciones de humedad
 - ~~– Variaciones de presión~~ → **despreciadas**
- Esto hay que corregirlo
 - No es muy difícil, pero
 - Se ha producido mucha confusión sobre el tema

Otras Correcciones

- Un sistema “closed-path” no mide in situ
- La tubería introduce
 - Un retraso (“time lag”)
 - Una pérdida de información a altas frecuencias
- Varios tipos de correcciones existen
 - Similitud espectral
 - Determinación efecto similar (f_{cut}) en H

Esquema

- Motivación – intercambios superficie/atmósfera
- Medidas Directas de Flujos (“eddy covariance”)
 - Interpretación
 - Sitios de medidas
 - Instrumentos
- Inferencia de flujos por otras medidas
 - Gradientes y la Razón de Bowen
 - Eddy Accumulation
 - Scintillometry
- Otras Medidas en la Capa Limite
 - Wind Profiler
 - LIDAR
 - SODAR

Motivación para la determinación de los flujos por inferencia

- No siempre existe un instrumento (IRGA) de respuesta rápida para lo que queremos medir
 - NH_3
 - VOC
 - $^{13}\text{CO}_2$
- Se apaña con uno(s) instrumento(s) lento(s)

Flux Gradient Method

$$F_c = -K_c \frac{\partial c}{\partial z} \approx -K_c \frac{c_2 - c_1}{z_2 - z_1}$$

- K_c depende de:
 - u_{*0}
 - $z, g/\theta_v$
 - $(\overline{w'\theta_v'})_s$
- (Similarity Theory)
- Desventaja: hay que medir u^* , H
- Ventaja: un IRGA con varios tubos

Bowen Ratio Method

La Razón de Bowen $B = H/\lambda E$

$$B \equiv \frac{H}{\lambda E} = k \frac{T_s - T_a}{e_s - e_a}$$

T_s es la temperatura de la superficie

T_a es la del aire a alguna altura de medida

e_s es la presión (p) de vapor de agua en la superficie

e_a es la p de vapor de agua a alguna altura de medida.

Bowen ratio

- Desventaja: no es sencillo medir la temperatura de la superficie

$$B \equiv \frac{H}{\lambda E} = k \frac{T_2 - T_1}{e_2 - e_1}$$

donde 1 y 2 significan alturas en la capa de superficie

Estimaciones de Evaporación

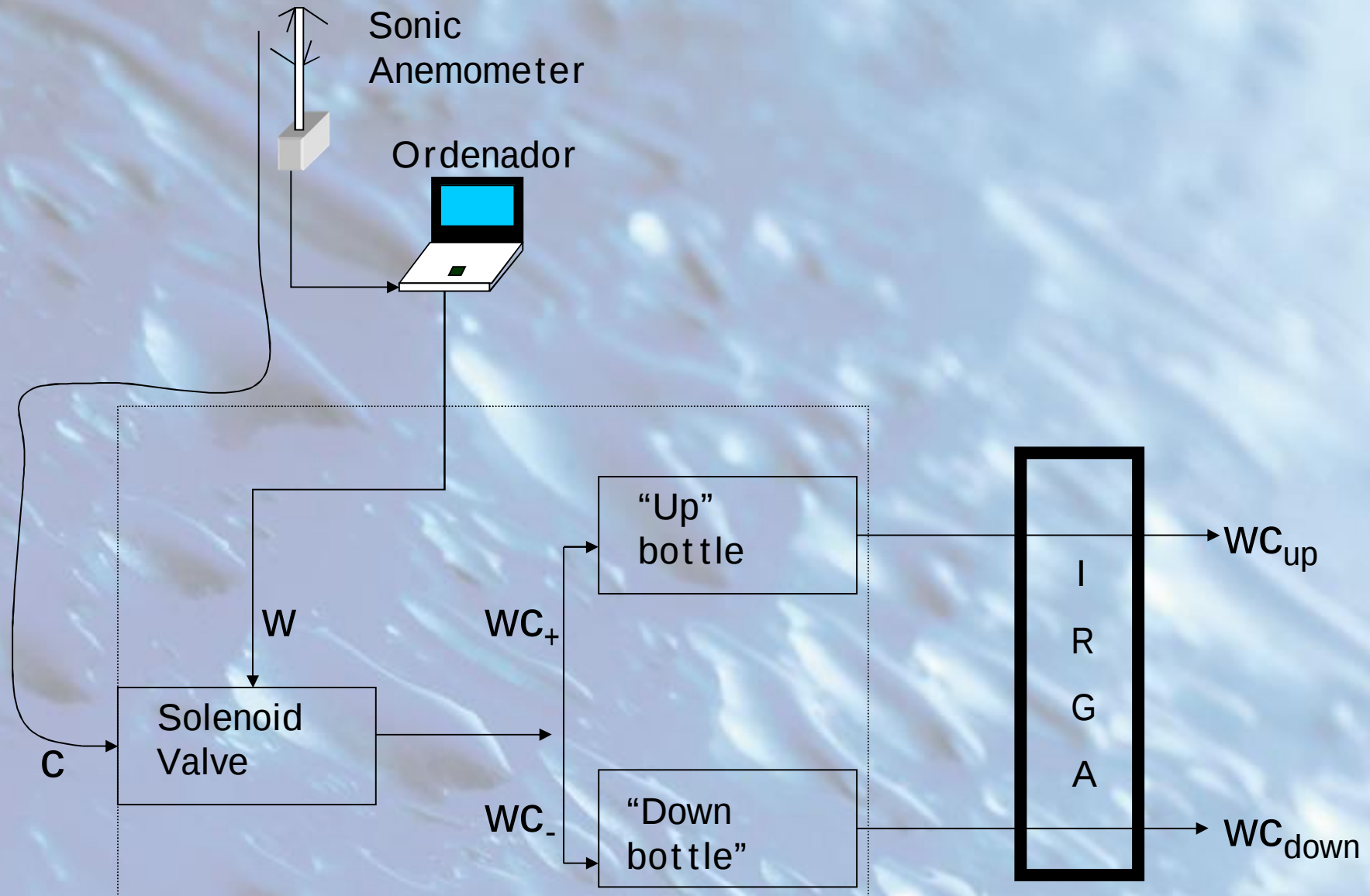
$$\lambda E + H = \lambda E(1 + B) = R_n - G$$

$$\lambda E = \frac{R_n - G}{1 + B}$$

Bowen ratio

- Otra desventaja: B puede cambiar en función de
 - las estomas de las plantas
 - La humedad de la superficie

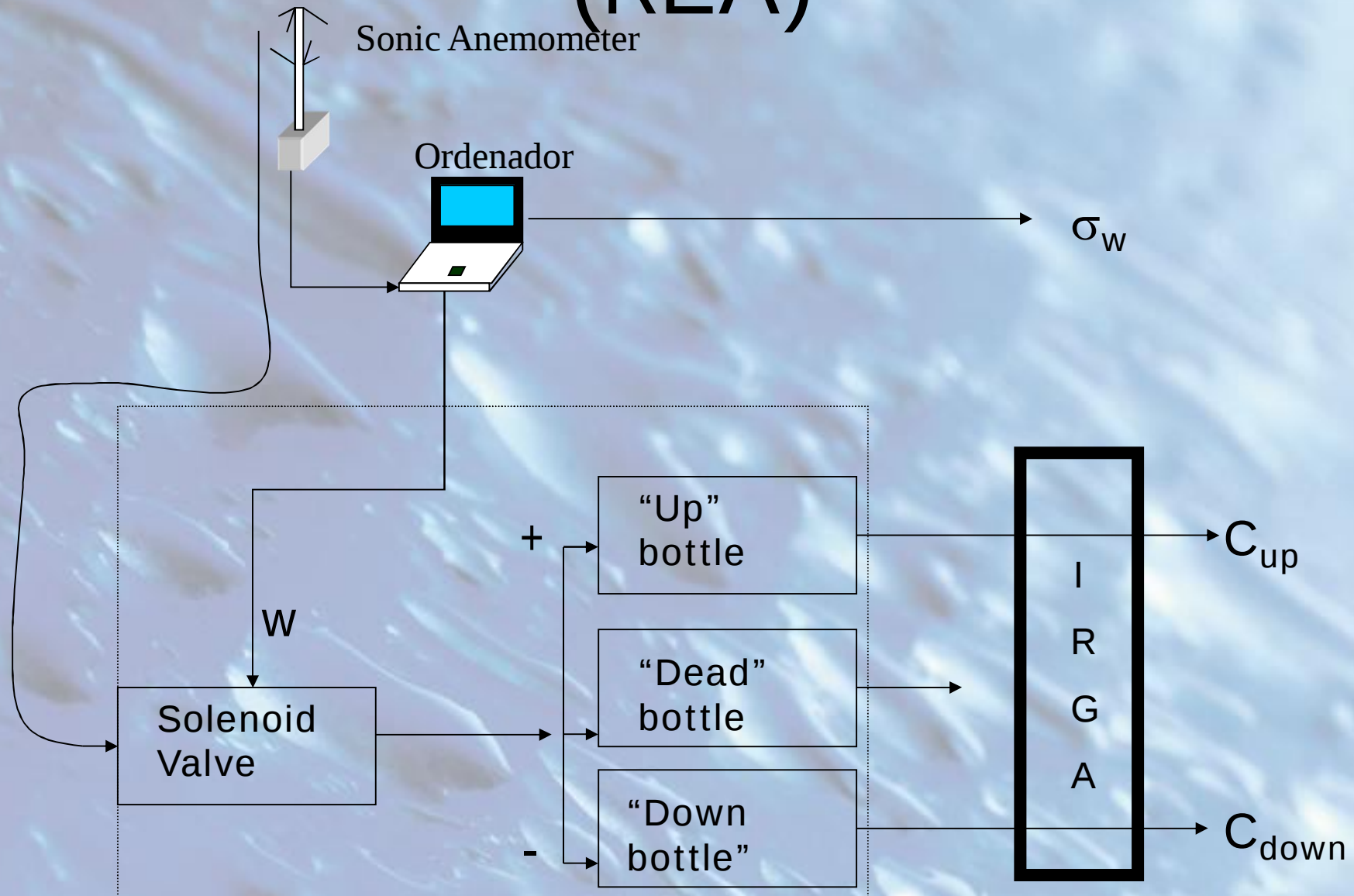
Eddy Accumulation



Eddy Accumulation

- El flujo de aire hacia la botella tiene que ser proporcional a w .
- Hay tiempo para analizar los gases después.
- Prácticamente: muy difícil controlar los flujos.

Relaxed Eddy Accumulation (REA)



Relaxed Eddy Accumulation (REA)

- Up: $w > w_T$
- Down: $w < -w_T$
- El flujo es:

$$F_c = \overline{w'c'} = b\sigma_w(\bar{c}_{up} - \bar{c}_{down})$$

- b se determina empíricamente, e.g.:

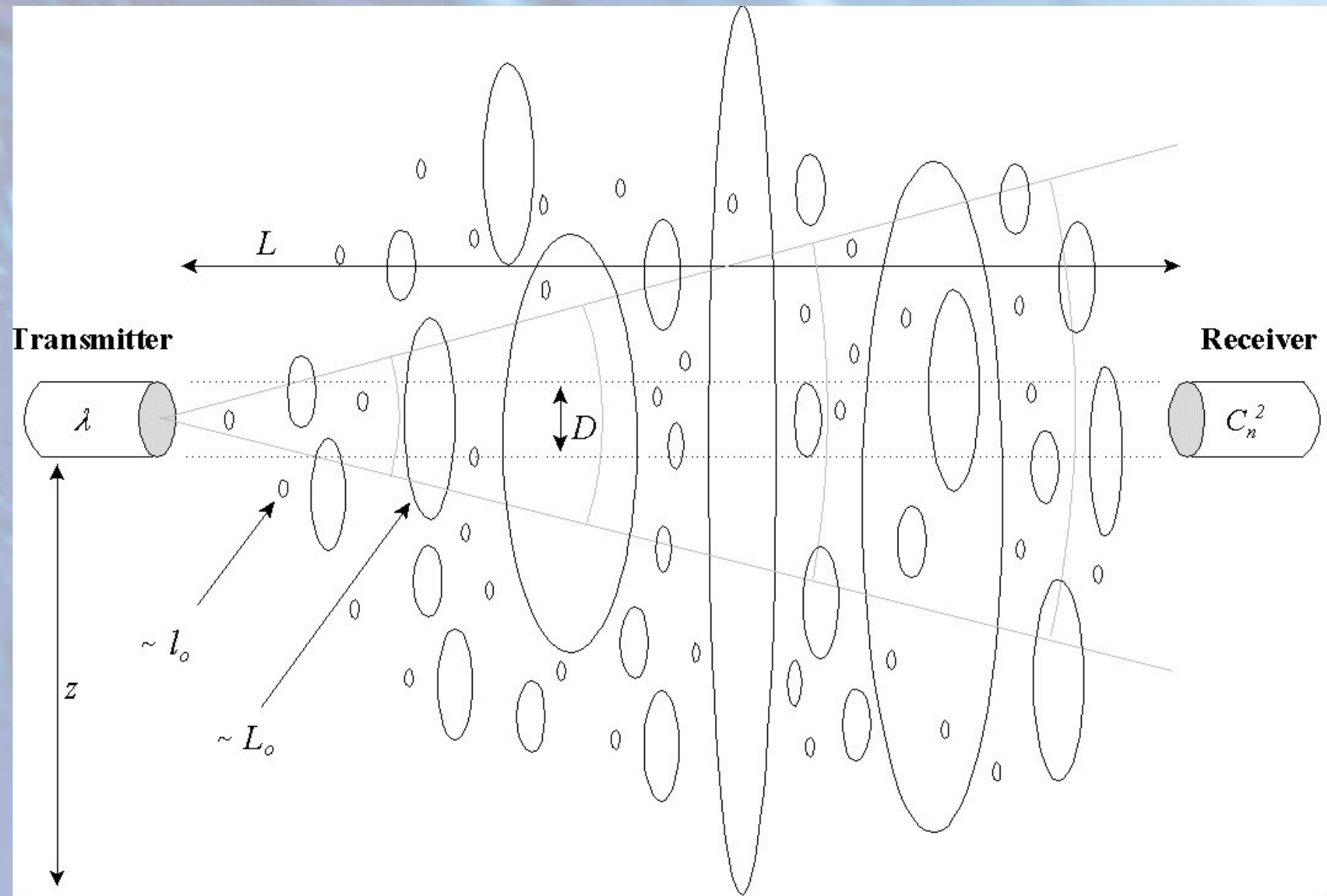
$$b = \frac{\overline{w'T'}}{\sigma_w(\bar{T}_{up} - \bar{T}_{down})}$$

- En general, $b \sim 0.58$ (0.56 – 0.60)

Scintillometry

- Scintillate = centellear
- Índice de refracción del aire (n)
 - función de T
 - también de q (menos)
 - cambia con la turbulencia
- Por eso parpadean las estrellas
- Se puede usar para estimar flujos de calor, vapor de agua, y inercia

Esquema de “Scintillometry”



Scintillometry

- Estimación de flujos en escalas hasta 10km (depende de la longitud de onda)
- Aplicación de “similarity theory”
 - Distribución espectral de los remolinos
 - Estructura de la turbulencia

Esquema

- Motivación – intercambios superficie/atmósfera
- Medidas Directas de Flujos (“eddy covariance”)
 - Interpretación
 - Sitios de medidas
 - Instrumentos
- Inferencia de flujos por otras medidas
 - Gradientes y la Razón de Bowen
 - Eddy Accumulation
 - Scintillometry
- Otras Medidas en la Capa Limite
 - Wind Profiler
 - LIDAR
 - SODAR

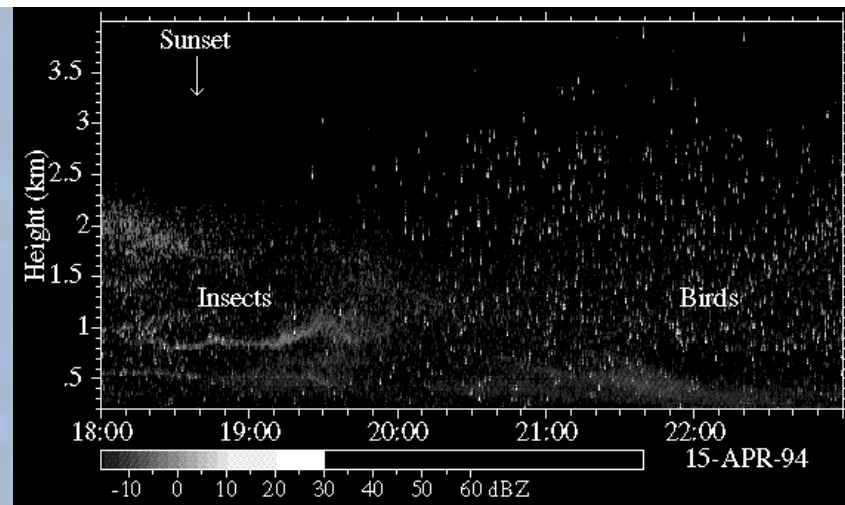
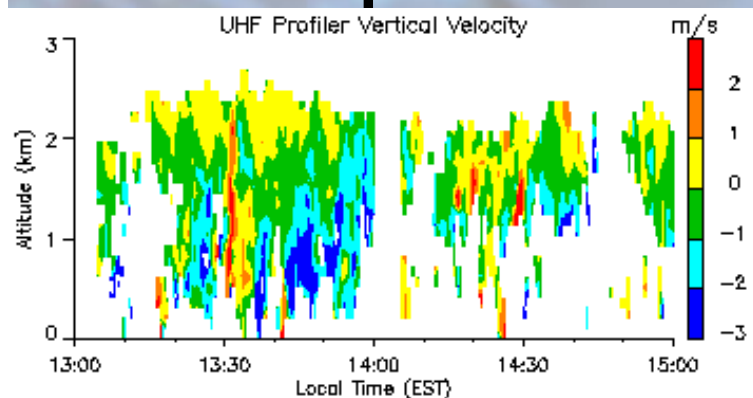
Wind profiler



Wind Profiler

- Una especie de radar
 - Medidas de alta resolución
 - Vista vertical de la atmósfera
 - Los blancos de dispersión (e.g., lluvia, nieve, o turbulencias) dependen de la longitud de ondas
- Estimaciones de
 - Vientos – por desplazamiento Doppler, con antenas orientadas in 3 (o más) direcciones
 - Intensidad y ubicación de la turbulencia

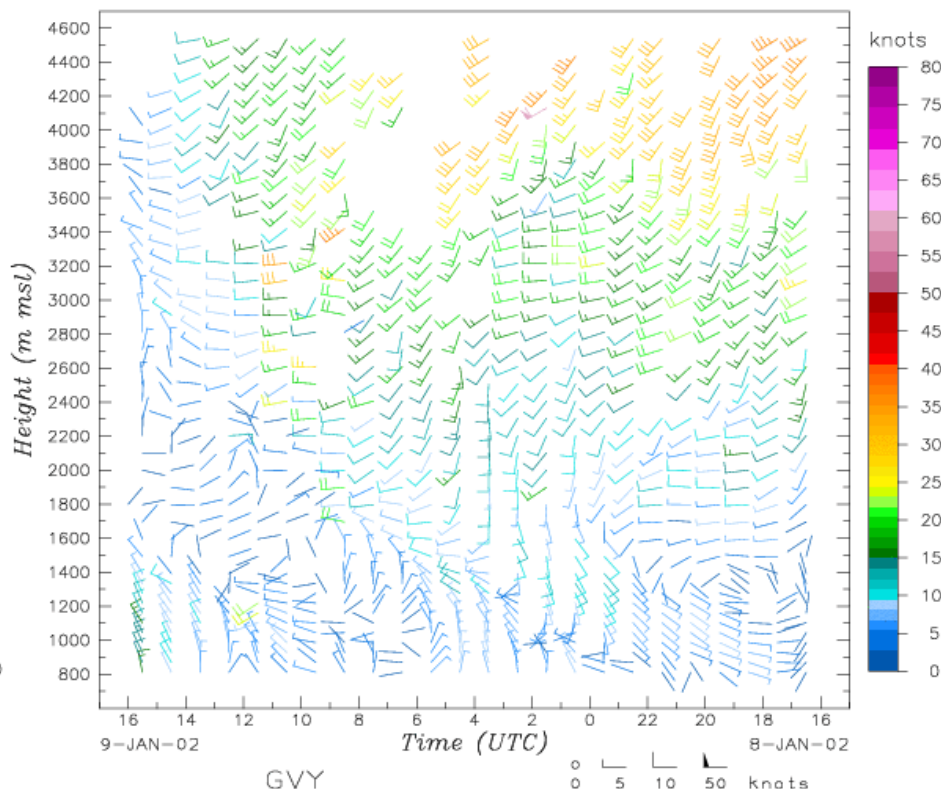
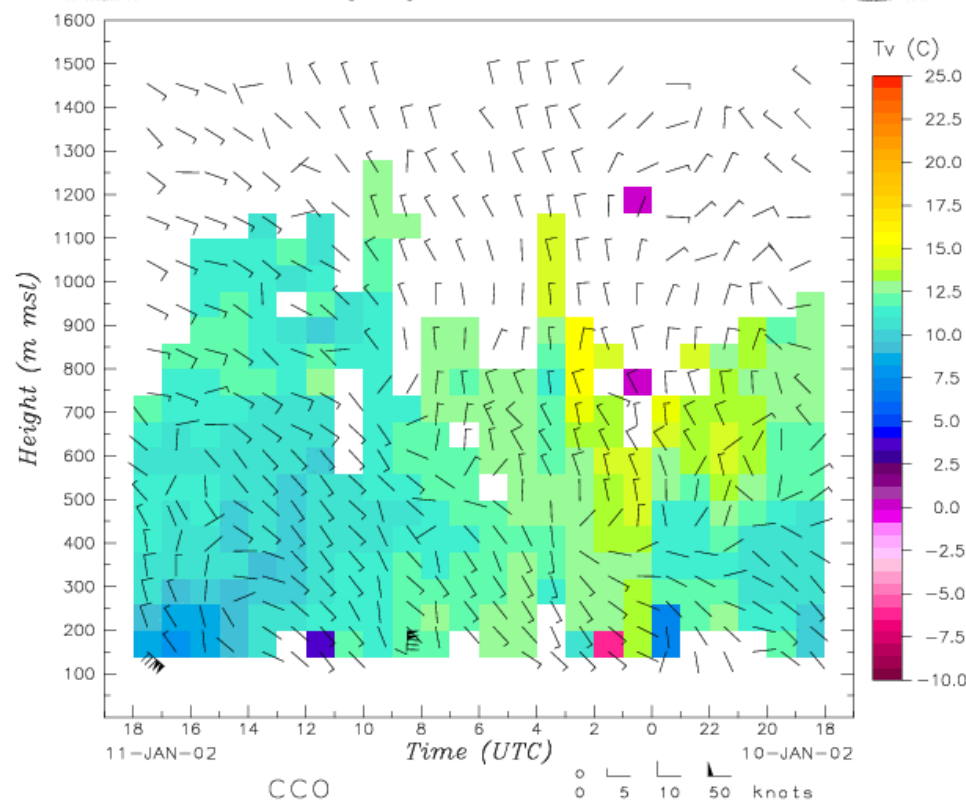
Wind profiler data



Environmental Technology Laboratory
Weather and Climate Applications Division
Boundary Layer Wind Profiler Studies



Environmental Technology Laboratory
Weather and Climate Applications Division
Boundary Layer Wind Profiler Studies



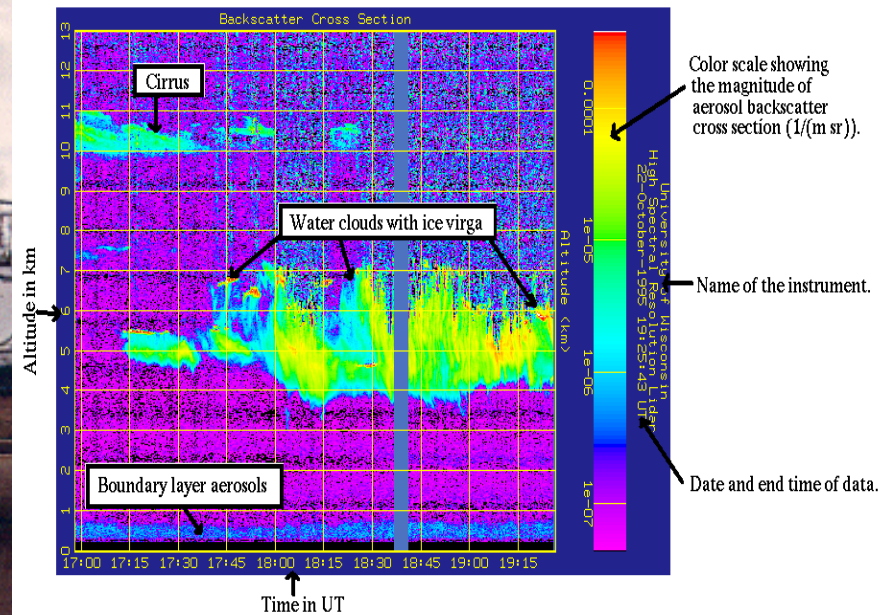
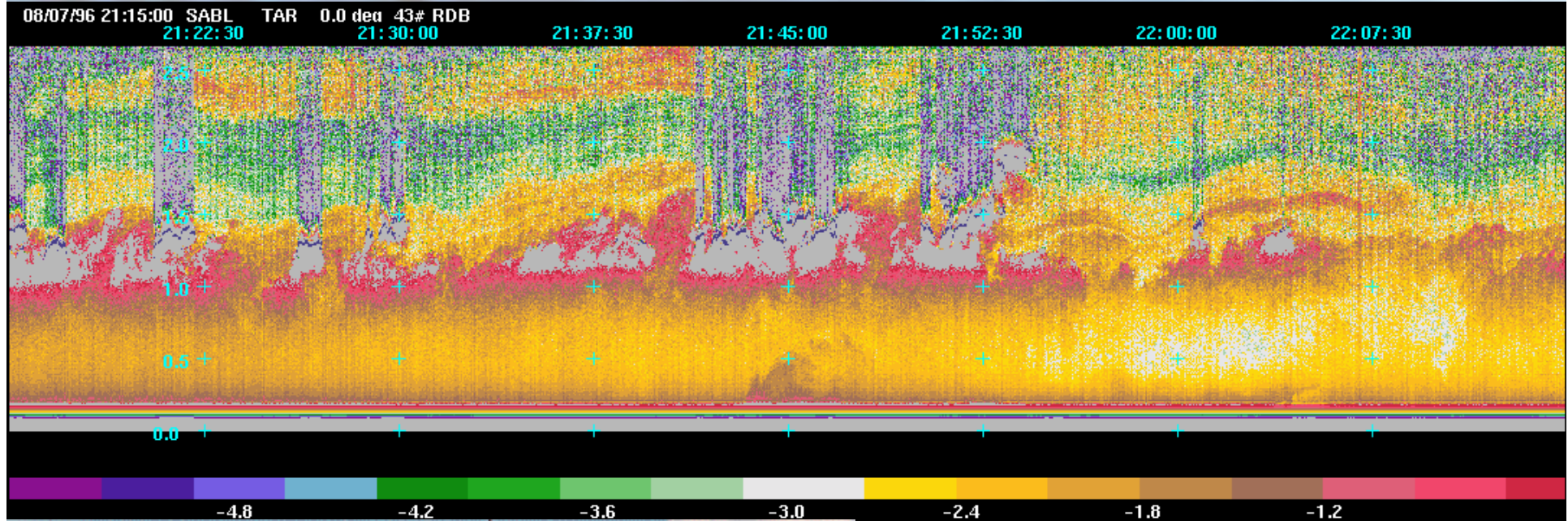
LIDAR

- Lidar (Light Detection And Ranging)
 - Es un RADAR
 - Longitudes de ondas 10,000 a 100,000 veces mas cortas que RADAR convencional
- Reflexión/Scattering de radiación
 - Retraso (time delay)
 - Intensidad

Tres Tipos de LIDAR (de interés en la capa límite)

1. “Range finder”: sencillo, mide la distancia hasta el blanco
2. “Differential Absorption Lidar (DIAL)”
 - Dos longitudes de onda
 - Una de referencia
 - Otra que tiene absorción por (O_3 , H_2O , lo que interese)
 - La diferencia de intensidad indica la concentración de la molécula
3. Doppler lidar – mide la velocidad del blanco

Lidar



Sodar



SODAR

- “Sounding Detection And Ranging”
- “acoustic sounder”
 - Transmisor
 - Receptor parabolico (atenuar ruido)
- Poco costoso, fácil a analizar datos
- Rango < 1Km
 - Muy útil por la noche, y la mañana cuando crece la capa mezclada (ML)

END