



*Seminarios sectoriales del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático*  
**“Adaptación al cambio climático en bosques”**

# **Observación sistemática del balance de C en bosques**

*A. Carrara, J.V. Chordá*



*Instituto Universitario Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo*

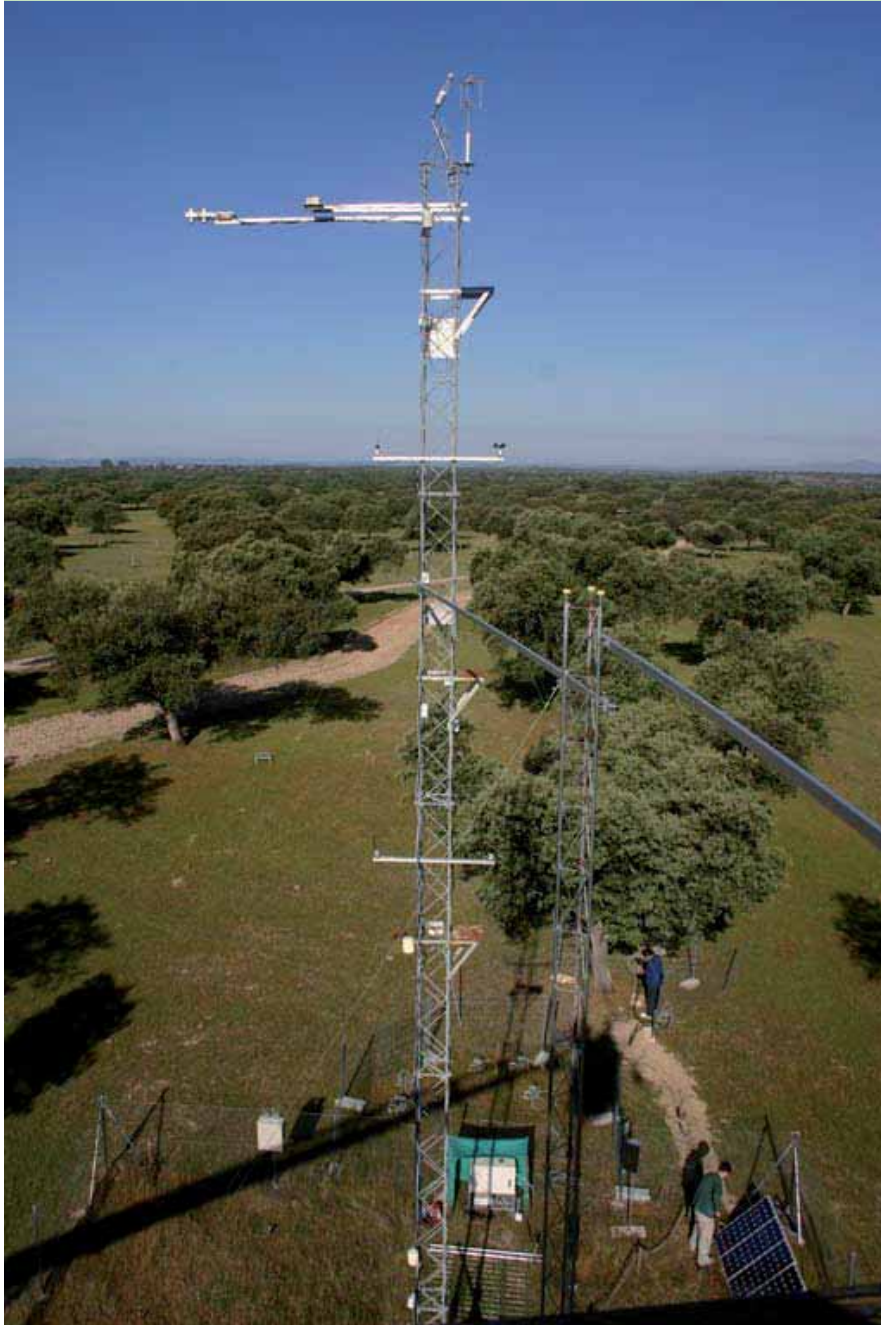
# **Plan de la presentación sobre “Observación sistemática del balance de C en ecosistemas terrestres”**

**(1) “Torres de flujos”: Metodología, aplicaciones y  
relevancia**

(2) Observaciones existentes (redes de torres de flujos) a  
nivel internacional y nacional

(3) Resultados (ejemplos)

# ¿Que es una Torre de flujos?

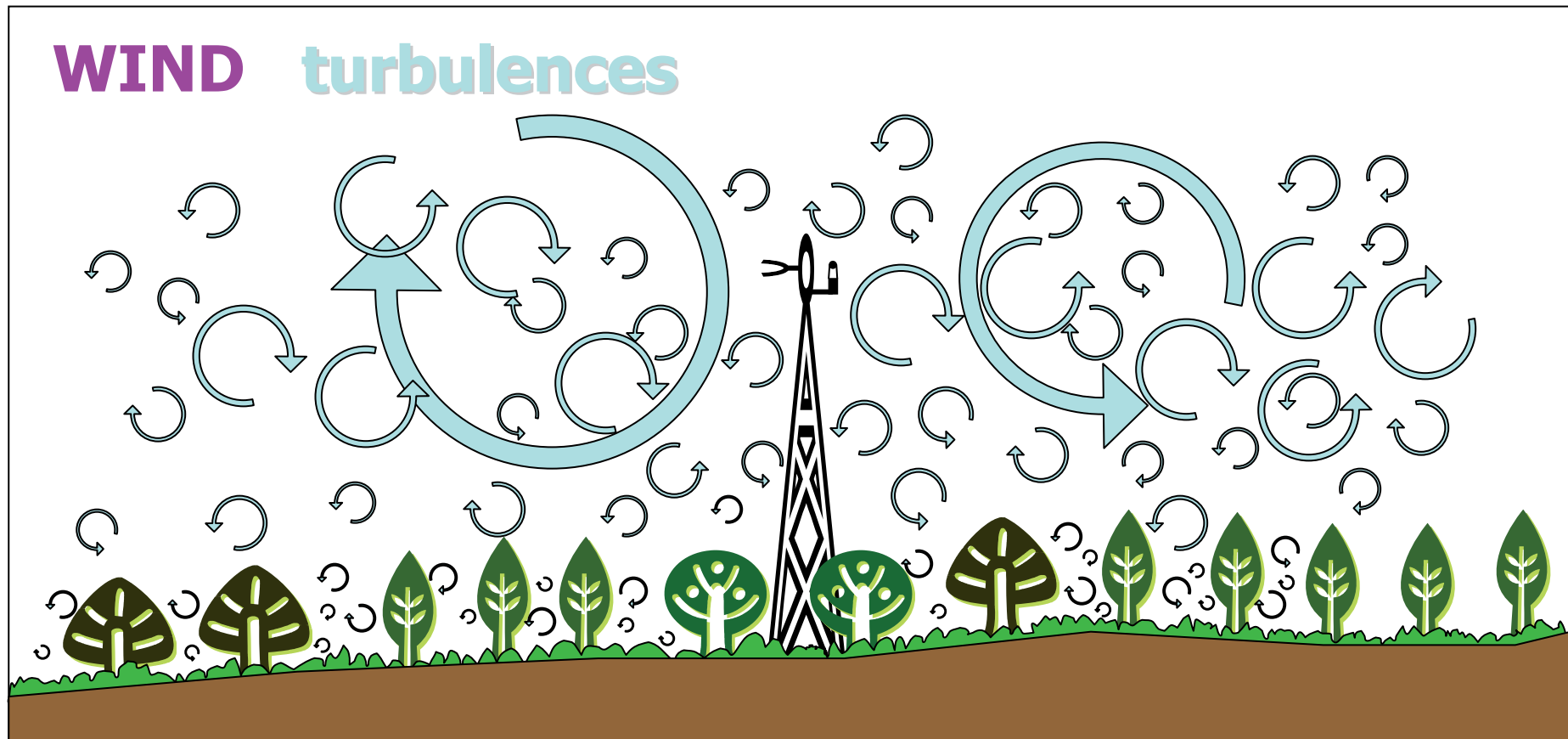


## ***Infraestructura para la observación del ciclo de Carbono a nivel de ecosistema***

Torre instrumentada (2-60m) para la medida en continuo (time step = 30 min) de:

- **intercambio (flujo) neto de CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O y calor sensible por el método micro-meteorológico de “eddy covariance”.**
- variables ambientales (radiación, viento, temperatura, humedad, precipitaciones, reflectancia espectral, flujo de calor en el suelo, temperatura del suelo, humedad del suelo, etc.)
- + Medidas complementarias relevantes (flujo de CO<sub>2</sub> del suelo, dendrómetros, flujo de sabia, LAI, fenología, biomasa, contenido en C del suelo, deposición de N, suelo [CO<sub>2</sub>], etc.)

# Métodología de eddy covariance para medición de flujos

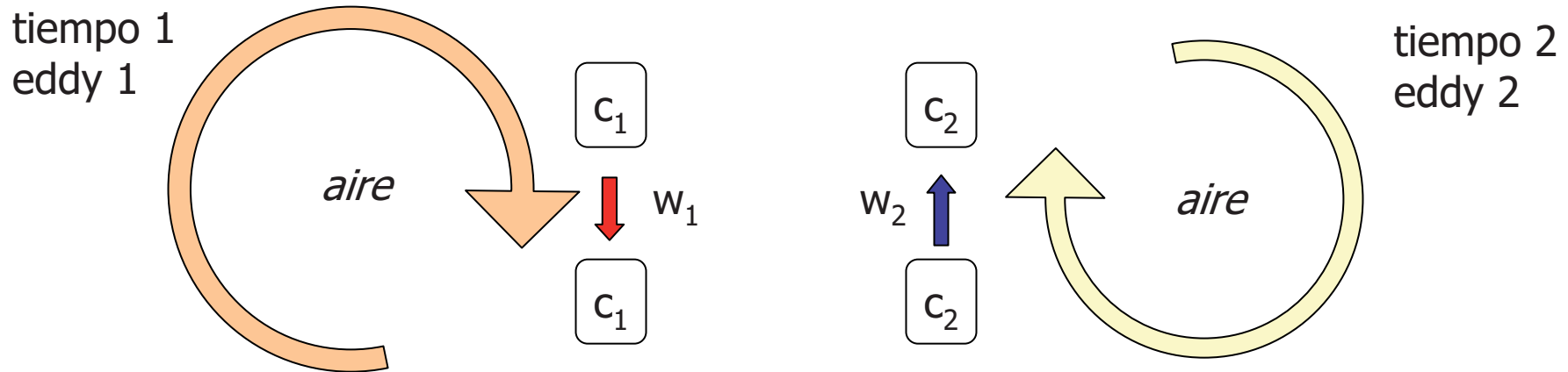


- El flujo de aire se puede asemejar a un flujo horizontal de numerosos remolinos rotatorios
- Cada remolino tiene componentes 3D, incluyendo la componente vertical del viento
- El diagrama parece caótico, pero estos componentes pueden ser medidos desde una torre.



## Método “eddy covariance” : en 1 punto fijo (de una torre)

Eddy 1 moves parcel of air  $c_1$  down with the speed  $w_1$   
then Eddy 2 moves parcel  $c_2$  up with the speed  $w_2$



### Teoría:

El flujo vertical puede ser considerado como la covarianza entre la velocidad vertical y la concentración del compuesto estudiado (T, H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, ...etc)

### Reto a nivel de instrumentación:

Las fluctuaciones turbulentas ocurren muy rápidamente, las medidas de velocidad verticales como las de las concentraciones deben de ser muy rápidas (10 Hz o más). Limita la aplicación de esta técnica a algunos gases (H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, O<sub>3</sub>, NH<sub>3</sub>, ...)



# EC Method: Derivation

In turbulent flow, vertical flux can be presented as:  
( $s = \rho_d / \rho_a$  is a mixing ratio of substance 'c' in the air)

$$F = \overline{\rho_a w s}$$

Reynolds decomposition is used then to break into means and deviations:

$$F = \overline{(\overline{\rho_a} + \rho'_a)(\overline{w} + w')(\overline{s} + s')}$$

$$F = (\overline{\rho_a w s} + \overline{\rho_a w s'} + \overline{\rho_a w' s} + \overline{\rho_a w' s'} + \overline{\rho'_a w s} + \overline{\rho'_a w s'} + \overline{\rho'_a w' s} + \overline{\rho'_a w' s'})$$

Averaged deviation from the average is zero

$$F = (\overline{\rho_a w s} + \overline{\rho_a w' s'} + \overline{w \rho'_a s'} + \overline{s \rho'_a w'} + \overline{\rho'_a w' s'})$$

Important **assumptions** are made: density fluctuations are assumed negligible, mean vertical flow is assumed negligible for horizontal homogeneous terrain (no divergence/convergence):

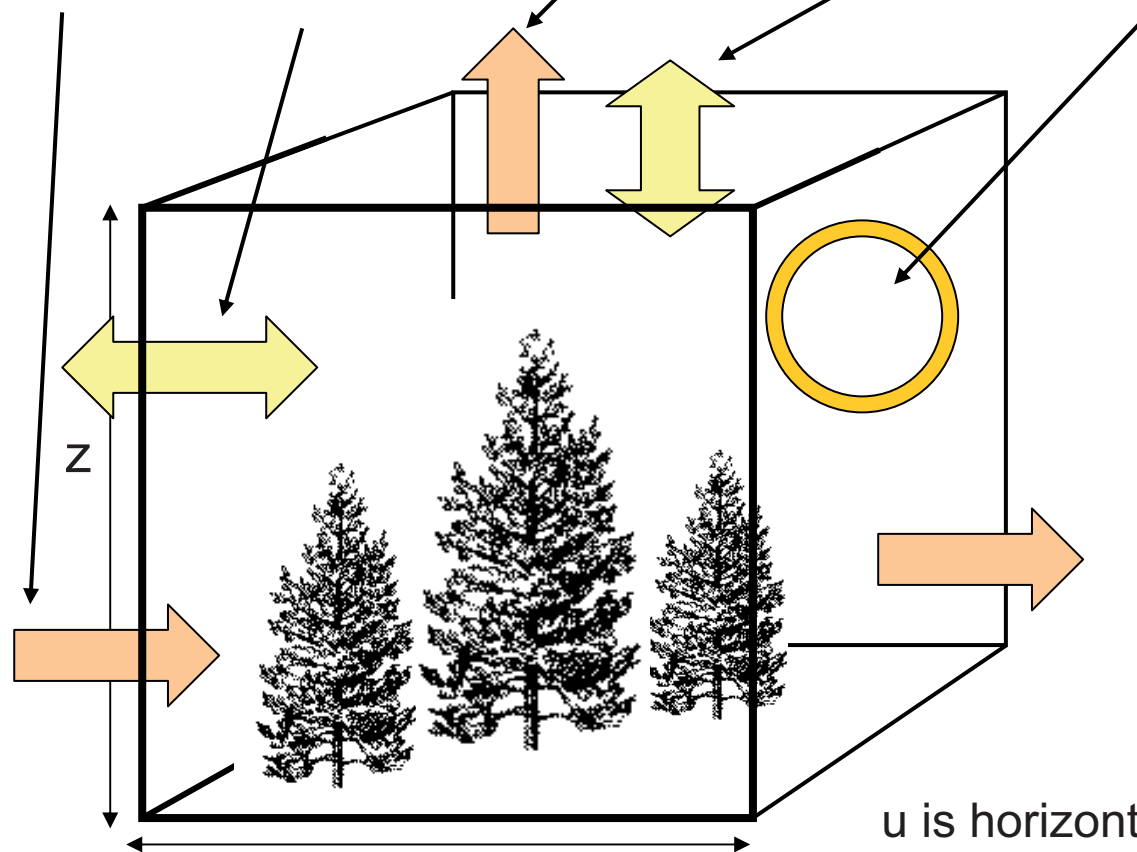
$$F = (\overline{\rho_a w s} + \overline{\rho_a w' s'} + \overline{w \rho'_a s'} + \overline{s \rho'_a w'} + \overline{\rho'_a w' s'}) = \overline{\rho_a w s} + \overline{\rho_a w' s'}$$

'Eddy flux'

$$F \approx \overline{\rho_a w' s'}$$

# Método “eddy covariance” : ecuación de conservación

$$\overline{F_c} = \overline{u} \frac{\partial \overline{c}}{\partial x} + \overline{\frac{\partial u'c'}{\partial x}} + \overline{w} \frac{\partial \overline{c}}{\partial z} + \overline{\frac{\partial w'c'}{\partial z}} + \frac{\partial \overline{c}}{\partial t}$$



Overbar signifies time average,  
primes deviations from mean

u is horizontal wind,  
w is vertical wind

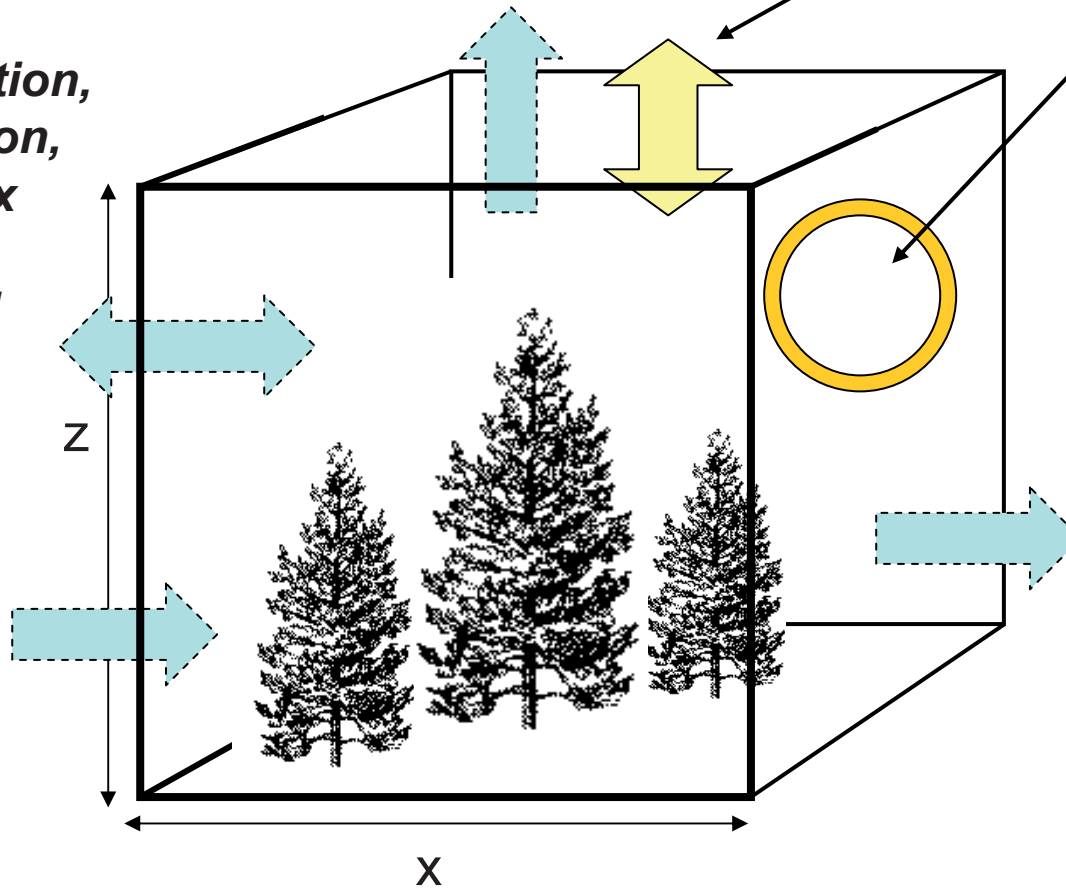


Hipotesis de base:

$$F = \text{eddy flux} + \Delta \text{storage}$$

$$\bar{F}_c = \left[ \text{teal box} \right] \frac{\overline{\partial w' c'}}{\partial z} + \frac{\partial \bar{c}}{\partial t}$$

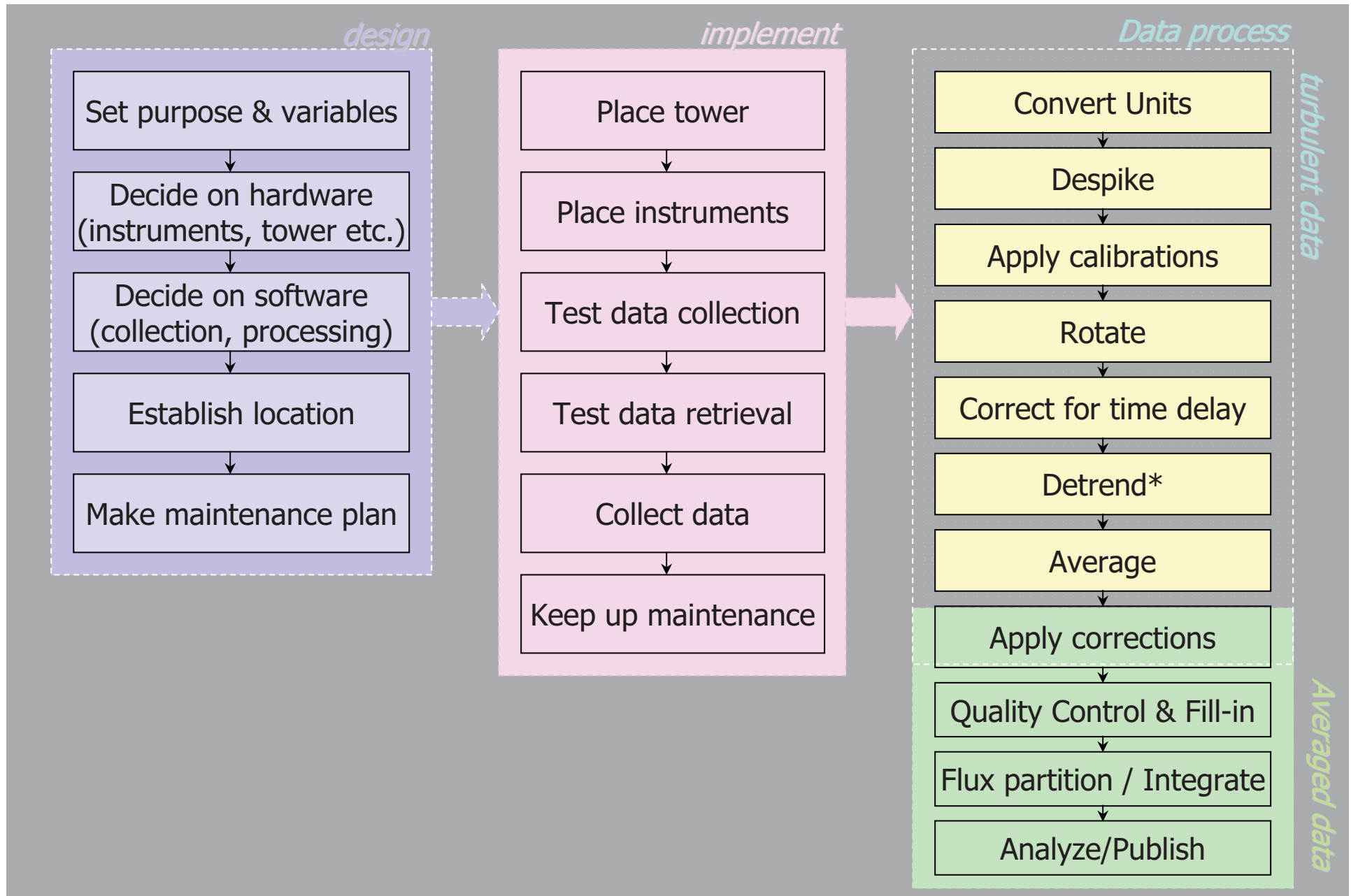
*horizontal advection,  
vertical advection,  
horizontal flux  
divergence  
are assumed  
negligible*







# Eddy Covariance: Typical Workflow Example



# **Método “eddy covariance”**

## **Puntos fuertes:**

**Un método directo de medida, no intrusiva, del intercambio neto a nivel de ecosistema.**

## **Puntos debiles:**

**Un metodología tecnicamente compleja**

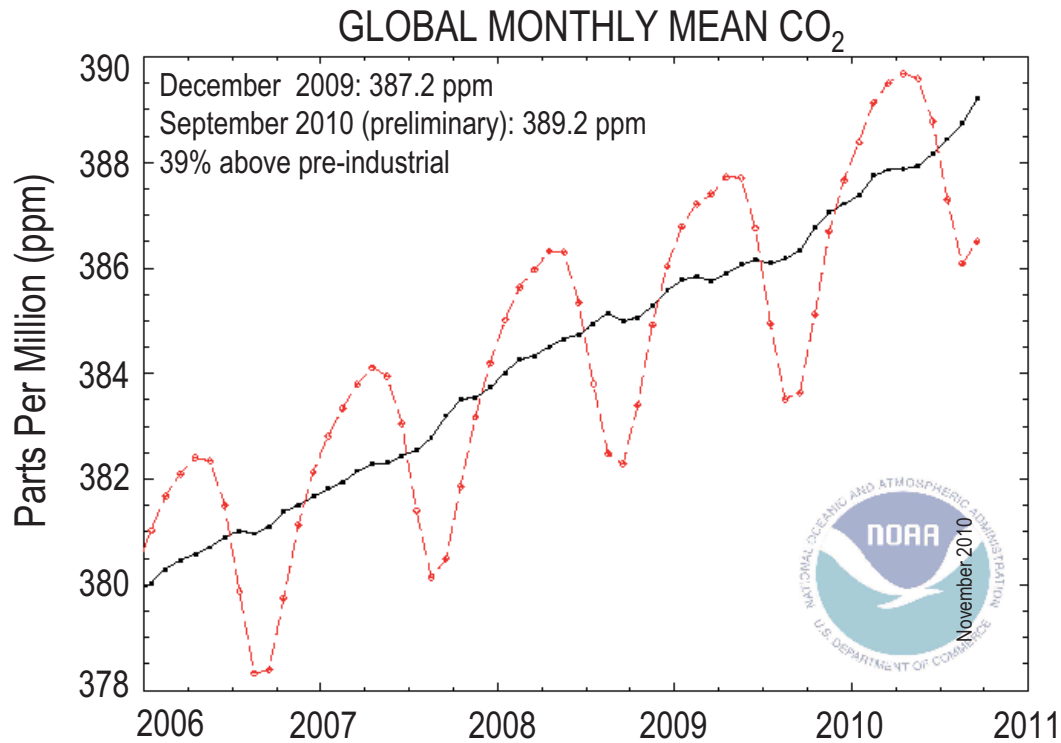
**Un método de aplicabilidad limitada en termino de:**

- especies de gases (limitación instrumental)**
- sitios (homogeneidad, fetch)**
- condiciones atmosfericas (stationarity, nighttime)**

# Observación Sistemática del Ciclo de Carbono por Torres de “eddy covariance” o Torres de flujos: Aplicaciones

- **Cuantificación del balance de C (varias escalas temporales)**
  - Balance horaria / diaria / anual
  - Dinámica estacional ( > 1 año de datos)
  - Variabilidad inter-anual ( > 5 años de datos)
  - Sensibilidad a cambio climático ( > 10 años de datos)
  - Resiliencia: Sensibilidad a perturbaciones (manejo, plagas, sequías, fuego, ...)
- **Estudios de procesos**
  - Fotosíntesis =  $f$  (radiación, temperatura, disponibilidad de agua...)
  - Respiración =  $f$  (temperatura, humedad del suelo, producción primaria bruta, ...)
  - Interacciones ciclo de C y del ciclo del agua (WUE, ...)
- **Otros usos y aplicaciones**
  - Validación / calibración de modelos biogeoquímicos y productos de teledetección. Factores de emisiones de GEIs.
  - CCDAS

# Atmospheric CO<sub>2</sub> Concentration



1970 – 1979: 1.3 ppm y<sup>-1</sup>  
1980 – 1989: 1.6 ppm y<sup>-1</sup>  
1990 – 1999: 1.5 ppm y<sup>-1</sup>  
**2000 - 2009: 1.9 ppm y<sup>-1</sup>**

Annual Mean	Growth Rate (ppm y <sup>-1</sup> )
<b>2009</b>	<b>1.62</b>
2008	1.80
2007	2.14
2006	1.84
2005	2.39
2004	1.60
2003	2.19
2002	2.40
2001	1.89
2000	1.22

# Fate of Anthropogenic CO<sub>2</sub> Emissions (2000-2009)

1.1±0.7 PgC y<sup>-1</sup>



7.7±0.5 PgC y<sup>-1</sup>

+



4.1±0.1 PgC y<sup>-1</sup>

47%



2.4 PgC y<sup>-1</sup>

27%

Calculated as the residual of  
all other flux components



26%

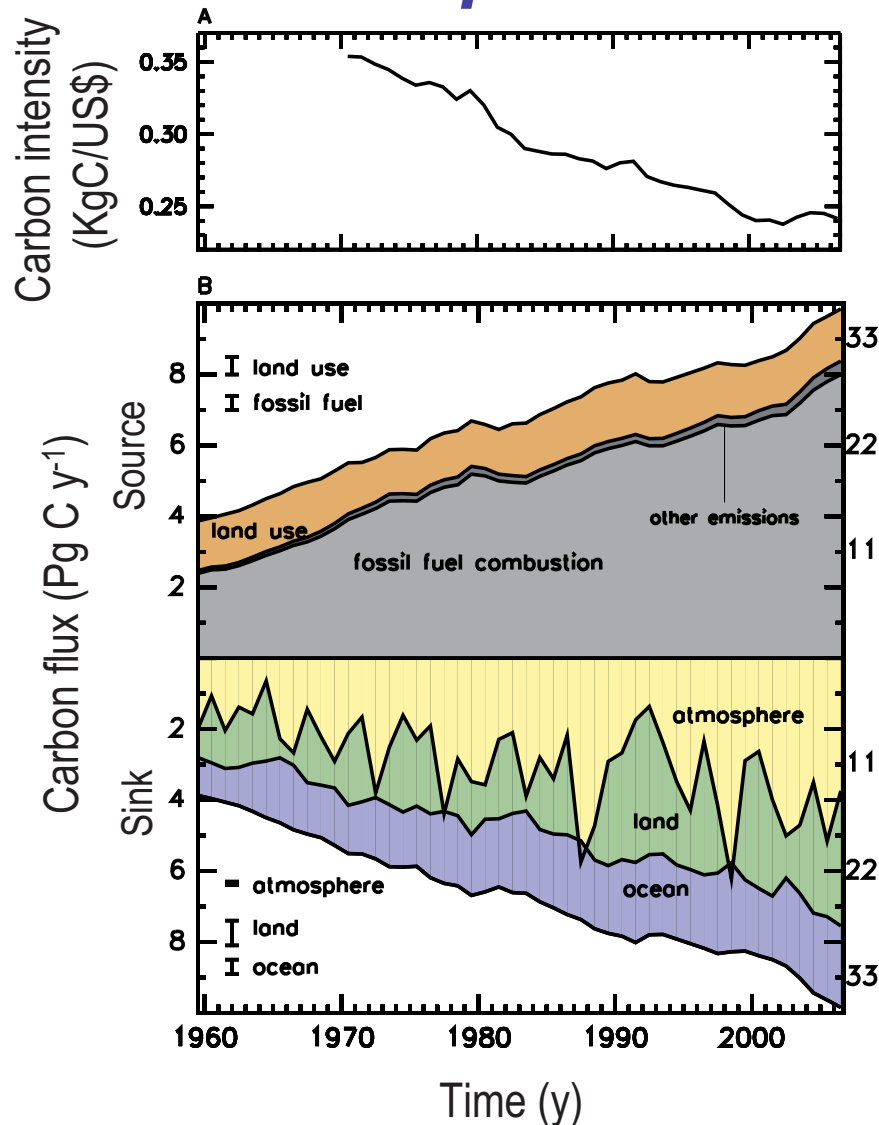
2.3±0.4 PgC y<sup>-1</sup>

Average of 5 models

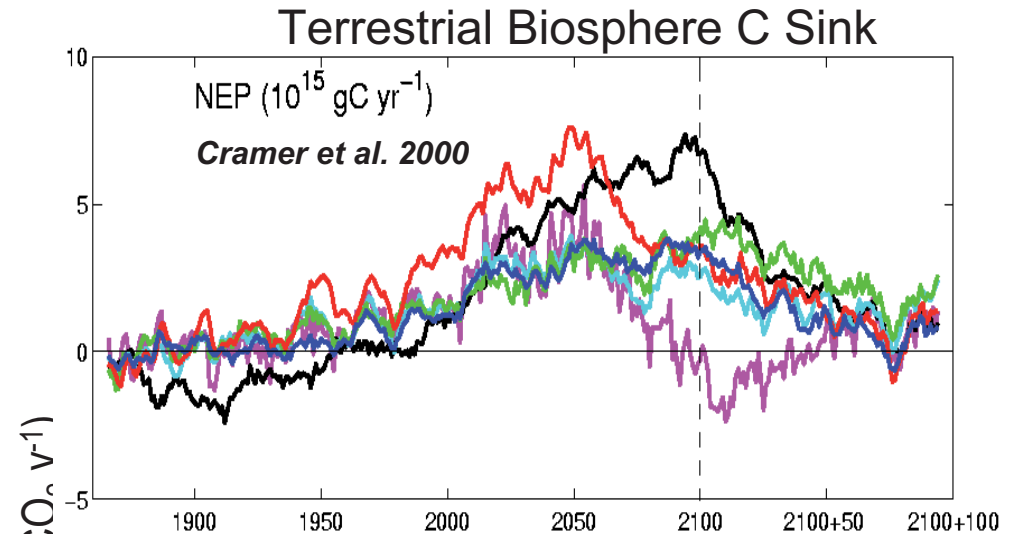


# Papel de los ecosistemas terrestres en el ciclo global del C

## En el pasado



## En el futuro ???

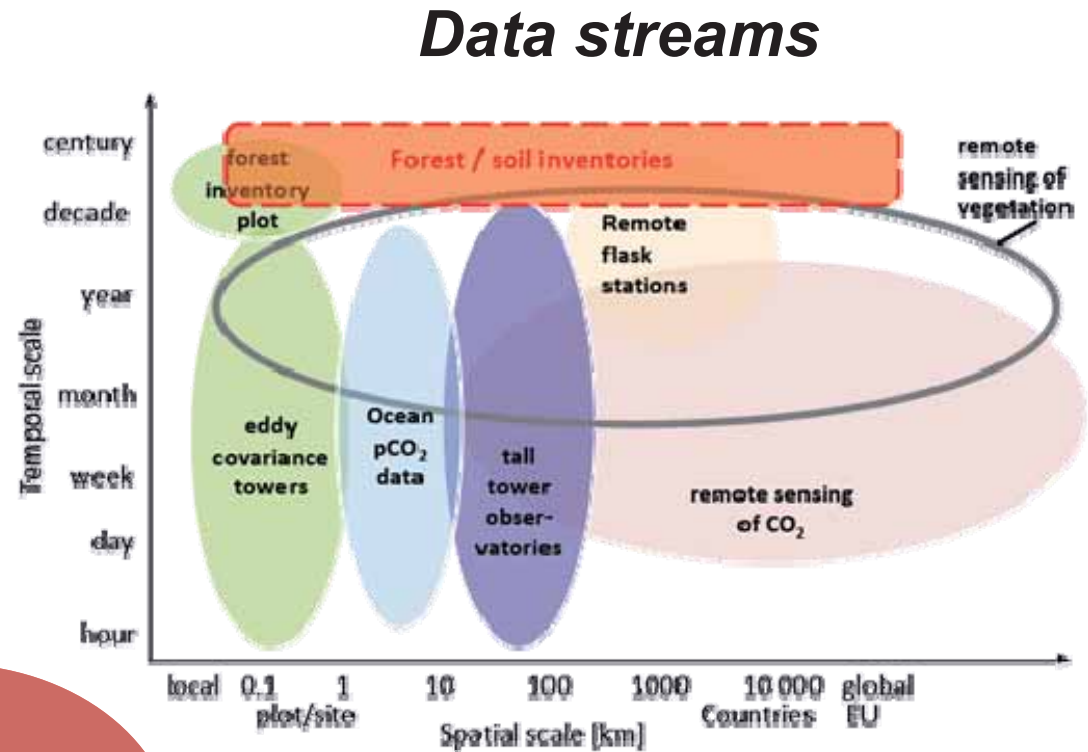
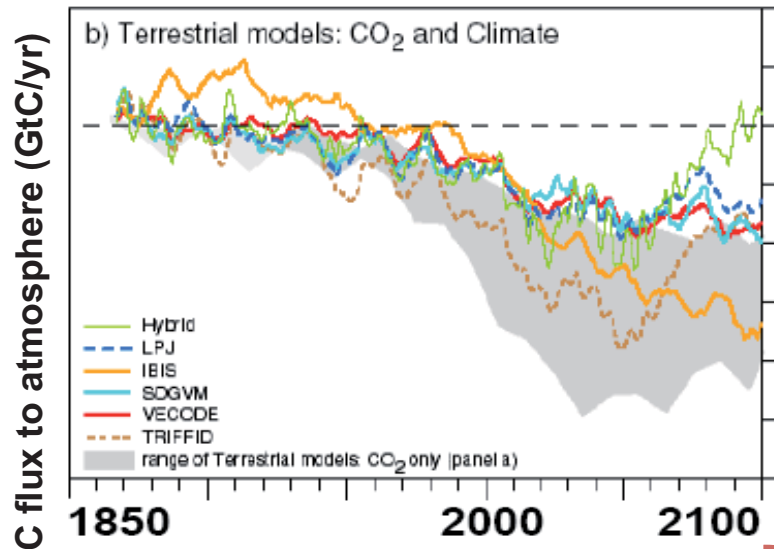


**Existe una incertidumbre muy grande sobre las tendencias a medio y largo plazo de este sumidero de C.**

**Es muy relevante mejorar el conocimiento del ciclo de carbono en ecosistemas terrestres (y su dependencia a factores climáticos y antropogénicos) para permitir mejorar tanto la mitigación del cambio climático como la adaptación al cambio climático.**

# Need for a Carbon-Cycle Data Assimilation System

Large uncertainty from land to predict C-balance (C4MIP)

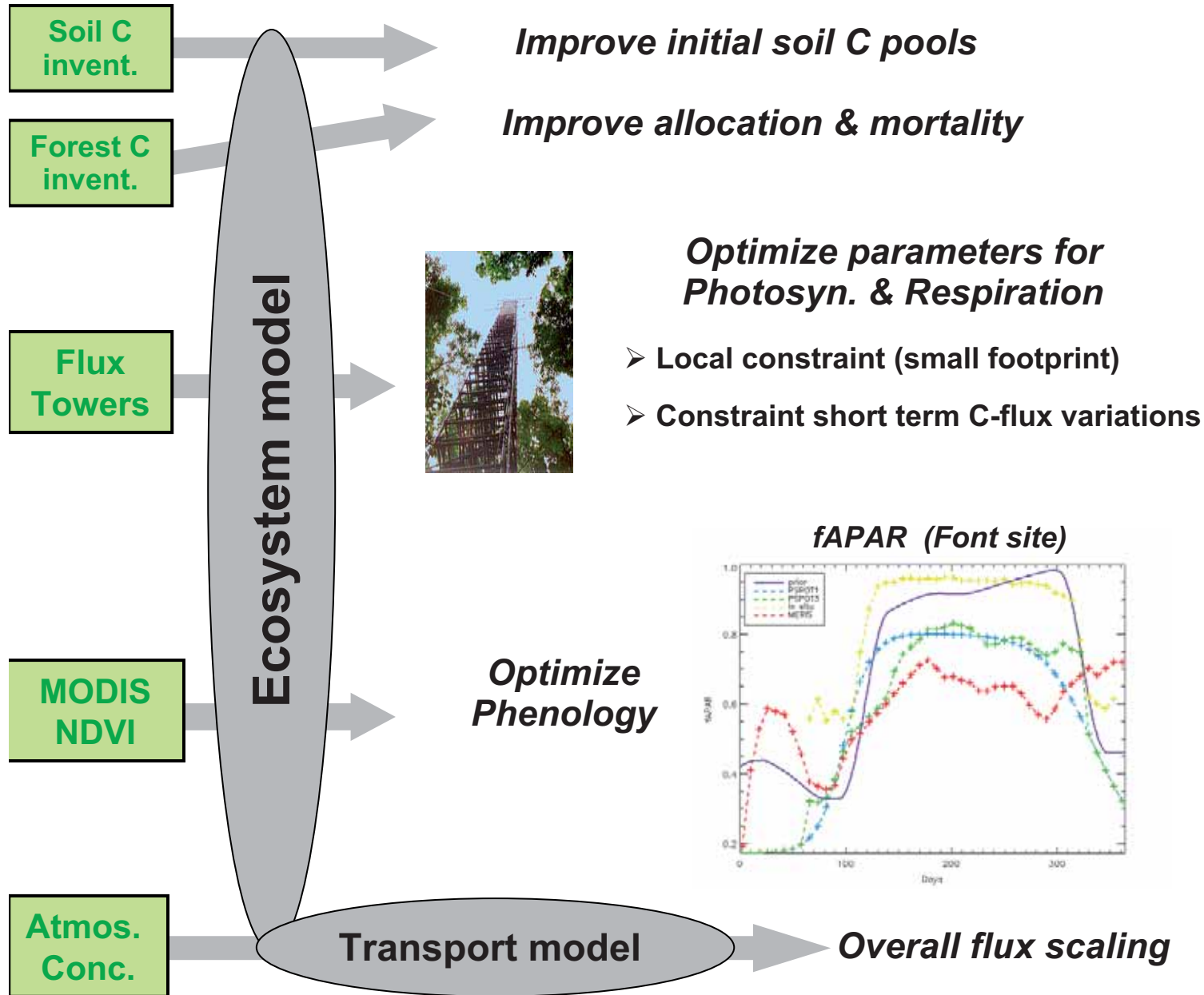


Optimized ecosystem models  
→ reduce the uncertainty ?

Data Assimilation



# Land CCDAS components



**Simultaneous optimization  
(in progress)**

# **Plan de la presentación sobre “Observación sistemática del balance de C en ecosistemas terrestres”**

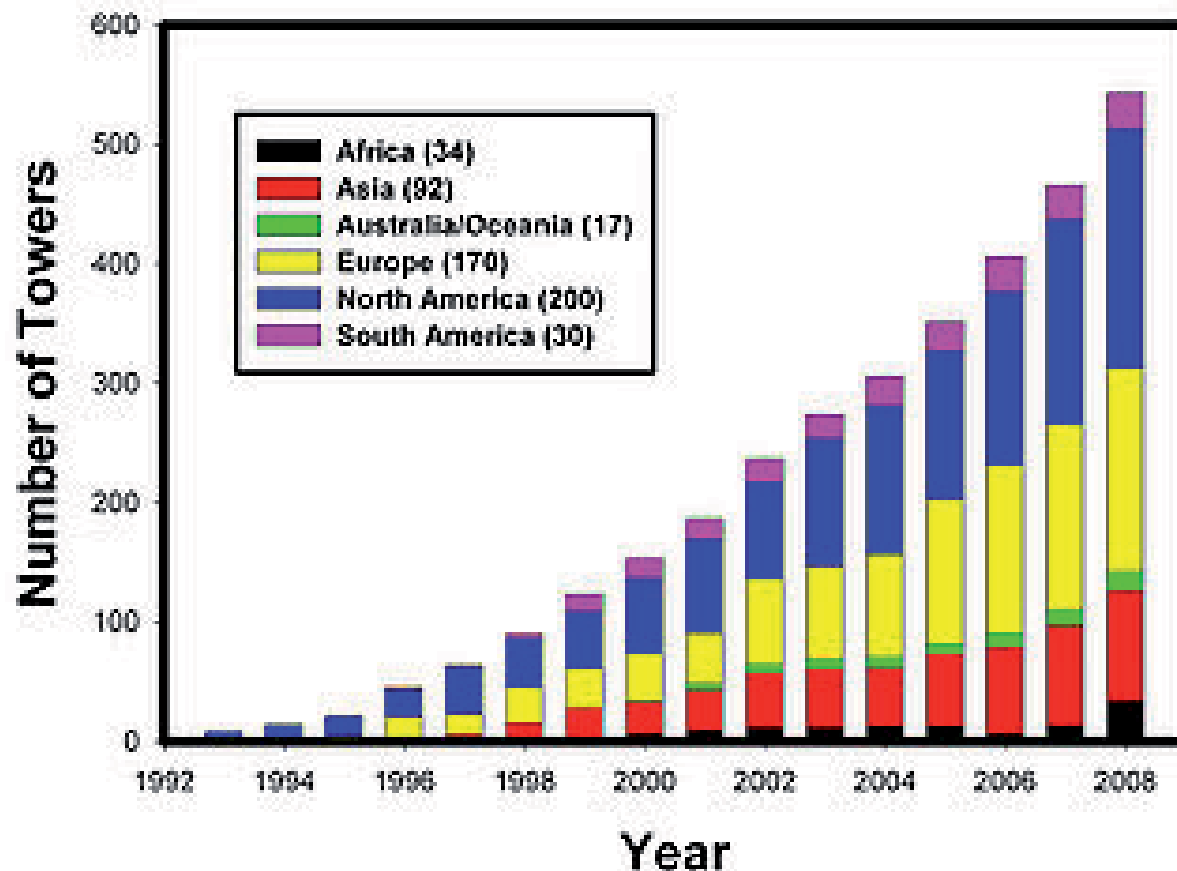
(1) “Torres de flujos”: Metodología, aplicaciones y relevancia

**(2) Observaciones existentes (redes de torres de flujos) a nivel internacional y nacional**

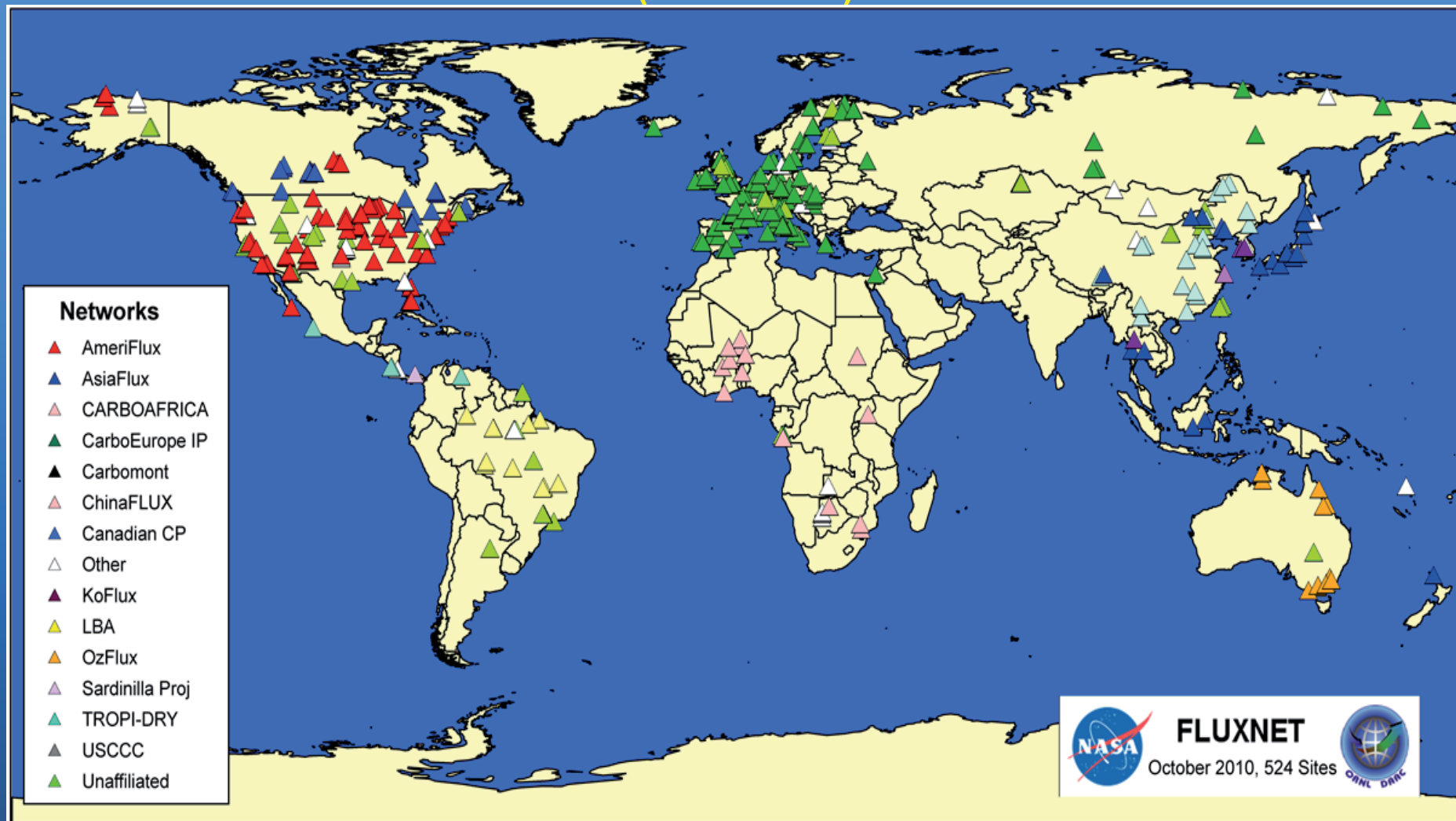
(3) Resultados (ejemplos)

# Red mundial de torres de flujos “FLUXNET”, incremento del numero de torres

## Growth of Fluxnet 543 Towers as of March 30, 2008



# Red global de estaciones de medidas de flujos a nivel de ecosistema (FLUXNET)



Global distribution of Fluxnet sites

# Concepto general

**Objetivo:** Construir, a nivel europeo, una red de observación sistemática de los principales GEIs (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, ...) de:

- larga duración de vida (> 20 años)
- nivel de calidad y standardización muy alto

**-Elementos de la infraestructura:**

**Red de estaciones de medidas (3 componentes):**

- *atmosférica: "Tall towers", "aircraft", "flask sampling"*
- *ecosistemas: "Flux towers"*
- *oceánica: "Fixed stations", "VOS lines"*

**Instalaciones centrales:**

***Oficina de Coordinación***

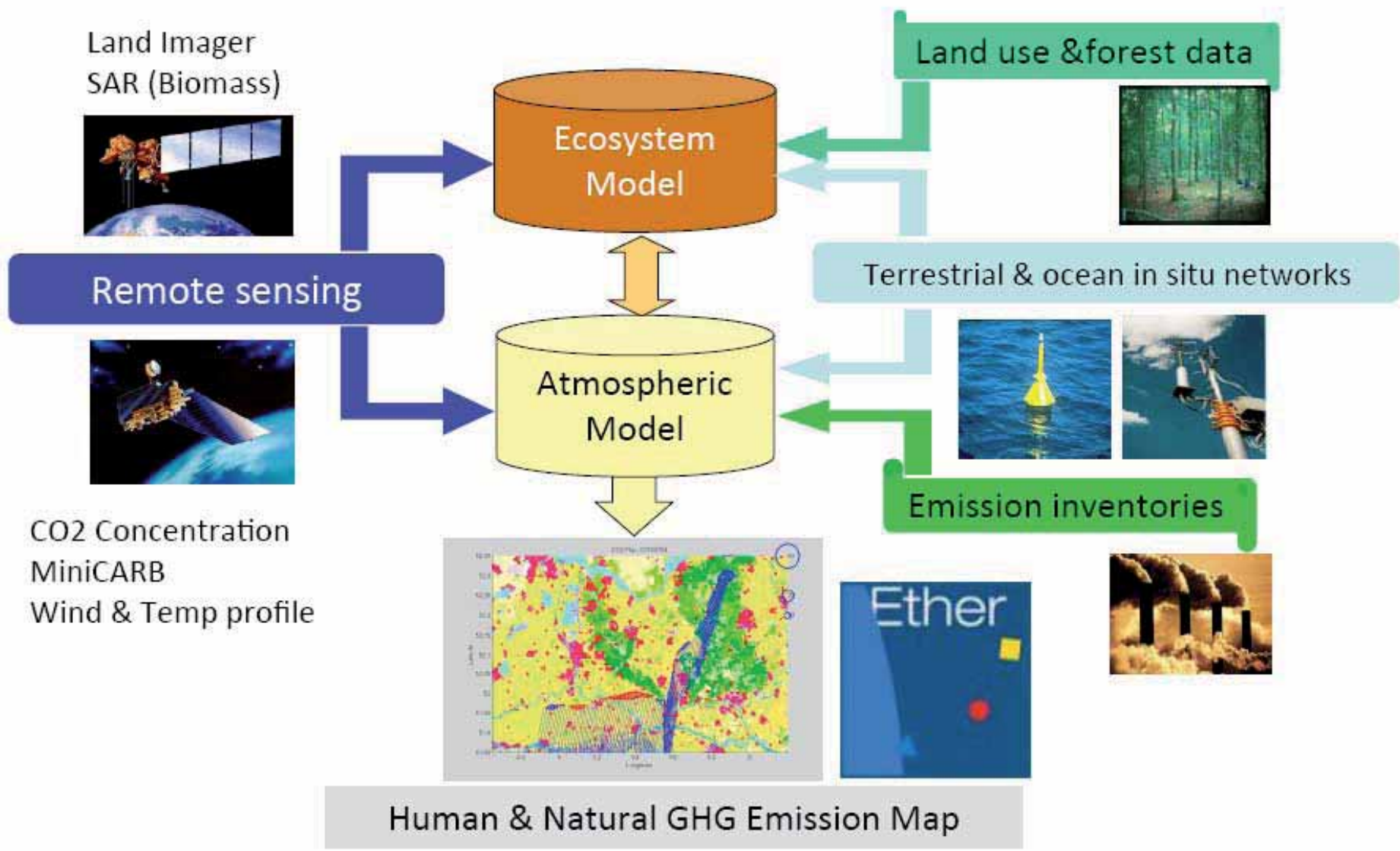
***Centros Temáticos***

- Centro Temático Atmosférico
- Centro Temático de Ecosistemas
- Centro Temático Oceánico

***Laboratorios Centrales***

- Laboratorio de calibración y estándares
- Laboratorio de muestras de aire
- Laboratorio de Radiocarbono

# Concepto general







# ICOS en el marco internacional







R&D, design studies  
2000-2008

European projects:  
CarboEurope-IP  
CarboOcean  
Geomon, IMECC, ...

Preparatory Phase  
2008-2013

Construction Phase  
2012-2016

Operational Phase  
> 2014



European project "ICOS-Preparatory Phase"  
<http://www.icos-infrastructure.eu/>  
4.3 M€, 13 countries, 16 partners  
CEAM is National Focal Point for Spain

**Consorcio ICOS-Spain (formado en 2010)**



Fundación Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo, CEAM



Universidad de Granada



Centro de Investigación del Fuego, Universidad de Castilla la Mancha



Estación Experimental de Zonas Áridas, EZZA- CSIC



Instituto de Ciencias Marinas de Andalucía, CSIC



Instituto de Investigaciones Marinas, CSIC



Unidad Tecnología Marina, CSIC



Centro de Investigación Atmosférica de Izaña (AEMET)

Universidad de las Palmas de Gran Canaria, Facultad de CC del Mar (QUIMA)



Institut Català de Ciències del Clima (IC3)



# Construyendo la ciencia del siglo XXI

Estrategia española para la participación en infraestructuras científicas y organismos internacionales

*Results from this ESFRI projects Spanish prioritization can be found in a book "Building the Science of the 21st Century". Please go to MICINN Website (<http://www.micinn.es/portal/site/MICINN/>) and use the link associated to this image*





## Sistema Integrado de Observación del Carbono

# ICOS

### Descripción

El Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) ha establecido que el aumento global de temperatura observado se debe, probablemente, al aumento de la emisión de gases de efecto invernadero en la atmósfera, tales como dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) y óxido nítrico ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Para mejorar el conocimiento de las causas del cambio climático y prever su evolución es imprescindible una correcta cuantificación de las emisiones y de los sumideros de gases de efecto invernadero (llamados GEIs). Los patrones temporales y espaciales de los GEIs pueden ser evaluados por observaciones sistemáticas de alta precisión.

Desde los años 90 se vienen desarrollando diversos programas internacionales para la monitorización y observación sistemáticas de la concentración de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera y de los flujos de carbono entre los ecosistemas terrestres y la atmósfera, así como entre el océano y la atmósfera, con el objetivo de cuantificar los componentes del ciclo de carbono a distintas escalas (de lo local a lo global). Estos programas de investigación han permitido comprender que estas observaciones a largo plazo del ciclo del carbono (y de los principales gases de efecto invernadero) son la base fundamental para el conocimiento de sus ciclos bio-geoquímicos. Dichas observaciones debían ser estandarizadas para aumentar su calidad y ser consolidadas más allá de la vida de un proyecto de investigación. Tal es el objetivo del proyecto europeo ICOS (Integrated Carbon Observation System), que ha sido identificado como una infraestructura de investigación estratégica en la Hoja de Ruta de ESFRI. Hasta el momento, 15 países europeos han expresado su interés en ICOS, entre los cuales se encuentra España.

El objetivo fundamental de ICOS es el establecimiento de una red de observación sistemática a largo plazo, diseñada alrededor de unas instalaciones centrales, constituida por estaciones de medidas de alta precisión dedicadas a la monitorización de los flujos de los GEIs, de los ecosistemas terrestres y su concentración en la atmósfera, así como de los intercambios de  $\text{CO}_2$  entre la atmósfera y los océanos. Las observaciones proporcionadas permitirán a los investigadores conseguir una plena comprensión de los intercambios de los GEIs sobre el continente europeo, así como de sus causas.

ICOS permitirá a Europa jugar un papel clave en el proceso global de las observaciones *in situ* de los GEIs, tanto en el procesamiento de datos y la producción de productos de flujos (estimaciones de emisiones y sumideros), como en el acceso a datos para la calibración y la validación de productos de teledetección o de modelización, evaluaciones científicas y asimilación de información.

### Objetivos

La aplicación científica de mayor relevancia consiste en la cuantificación a nivel regional de los flujos de los GEIs con una resolución potencial de 10 km. Esta cuantificación será posible gracias a la combinación de las observaciones (atmosféricas, oceánicas y de ecosistemas) realizadas por la red ICOS, utilizando modelos de transporte de alta resolución y observaciones de satélites. Esta aplicación permitirá supervisar, evaluar y orientar las estrategias de mitigación al nivel de los ecosistemas terrestres.

Además, las observaciones proporcionadas por ICOS representarán un gran potencial de aplicaciones científicas de varios tipos, entre las que cabe destacar: la calibración, validación y desarrollo de varios tipos de modelos (biogeoquímicos SWAT (Soil Vegetation Atmosphere Transfer), de transporte atmosférico, de química de la atmósfera, de intercambios entre océanos y atmósfera...), los estudios de las interacciones *feedback* entre ciclos biogeoquímicos y cambio climático, las investigaciones de procesos a nivel de ecosistemas y del océano, así como la calibración y validación de productos de teledetección.

ICOS permitirá obtener información contrastada sobre la capacidad de secuestro de carbono de los ecosistemas terrestres y de qué manera puede verse ésta perturbada por las anomalías climáticas.

En el ámbito marino, la aplicación científica de ICOS cobra especial relevancia si se considera que los océanos juegan un papel fundamental en la regulación del clima terrestre y, por tanto, en el cambio global. Por una parte, la gran capacidad de absorber calor que posee el océano contribuye significativamente a mitigar el incremento global de temperatura. Por otra, los océanos limitan significativamente el aumento en los niveles atmosféricos de este gas. Sin embargo, la absorción de  $\text{CO}_2$  por parte de la superficie del océano no resulta benigna para el propio sistema oceánico. Entre los efectos derivados de esta captación, destaca el fenómeno de la acidificación oceánica, que afecta a la práctica totalidad de los equilibrios químicos con consecuencias drásticas sobre la vida marina y los ciclos biogeoquímicos a escala planetaria.

### Retos tecnológicos

El principal reto al que se enfrenta ICOS consiste en el diseño tecnológico de la red, lo que requiere diversos avances especializados para conseguir las características técnicas necesarias de un diseño adecuado, tanto de las instalaciones centrales como de las estaciones de medida.

### Estaciones de medida

Las estaciones de medida de ICOS comparten una serie de características esenciales: una alta estandarización de los métodos y del equipamiento de medida, la modularidad, el funcionamiento automático, el control local y remoto, la actualización tecnológica dinámica y los costes reducidos, entre otros. Los diferentes tipos de estaciones son:

- Estaciones atmosféricas (ICOS-AS): se dedicarán a la medición sistemática de concentraciones de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{C}$ ,  $^{222}\text{Rn}$ ,  $\text{O}_3/\text{N}_2\text{O}_5/\text{SF}_6$ , la estructura de la capa límite atmosférica y las condiciones meteorológicas básicas.
- Estaciones de ecosistemas (ICOS-ES): harán una medida sistemática en continuo de flujos de calor sensible,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ , y de condiciones ambientales. Además, llevarán a cabo la medición periódica de las características de los ecosistemas.
- Estaciones marinas (ICOS-MS): llevarán a cabo la medición sistemática de la presión parcial de  $\text{CO}_2$ , salinidad, temperatura del agua, pH, etc. Incluirán dos tipos distintos de estaciones: las estaciones fijas (boyas instrumentadas), que proporcionarán series de medidas temporales en un punto, y las estaciones VOS line, que proporcionarán series espacio-temporales para una cobertura adecuada de la superficie de los océanos.

### Instalaciones centrales

Constarán de varias partes:

- La oficina de coordinación: se dedicará a la organización del programa de recolección de datos y de la gene-

ración de productos de flujos rutinarios por los institutos de investigación participantes, la divulgación y la difusión de los productos de ICOS a través del Carbon Portal, que es un servidor que proporcionará un acceso libre a los datos y sus productos.

- El Centro Temático Atmosférico (ICOS-ATC): desempeñará las siguientes funciones: apoyo técnico y recolección *on line* de datos de las estaciones atmosféricas, procesamiento y control de calidad de los datos, gestión de la base de datos, desarrollo y evaluación de la nueva instrumentación.
- El Centro Temático de Ecosistemas (ICOS-ETC): se dedicará al apoyo técnico y recolección *on line* de datos de las estaciones de ecosistemas, procesamiento y control de calidad de los datos, gestión de la base de datos, estandarización de la información y los parámetros complementarios en ecosistemas, desarrollo y evaluación de la instrumentación y de nuevos métodos de medida.
- El Centro Temático Oceánico (ICOS-OTC): apoyo técnico y recolección *on line* de datos de las estaciones marinas, procesamiento y control de calidad de los datos, gestión de la base de datos, desarrollo y evaluación de nueva instrumentación y nuevos métodos de medida.
- Los laboratorios analíticos centrales: se trata del Laboratorio Central de Muestras de Aire (ICOS-CFL), el Laboratorio Central de Calibración y Estándares (ICOS-CAL) y el Laboratorio Central de Radiocarbono (ICOS-CRL).

### Participación española

España ha expresado interés por participar en ICOS a través de distintas instituciones nacionales y universidades. Dada la naturaleza de la infraestructura, las instituciones que controlarán las estaciones de medida tendrán responsabilidades similares, que consistirán en la instalación, la operación y el mantenimiento de las estaciones de la red de las cuales sean responsables.

Entre las instituciones interesadas, cabe destacar que la Fundación CEAM (Centro de Estudios Ambientales



Las observaciones proporcionadas por ICOS representarán un gran potencial de aplicaciones científicas.

del Mediterráneo) tiene la responsabilidad de la coordinación de la contribución española en la fase de preparación de ICOS, ya que participa como *National Focal Point* en el proyecto preparatorio. Por otra parte, el CSIC, a través de distintos institutos, está implicado en la fase de preparación y de diseño del centro temático oceánico (ICOS-OTC).

La parte española de la red de observación ICOS permitirá mejorar de forma muy notable la información disponible para el estudio del cambio global a nivel nacional, principalmente para el análisis de las interacciones entre el cambio climático y los ciclos biogeoquímicos de los principales GEIs.

### Información adicional

**Presupuesto estimado de construcción:**

130 M€ (2009)

**Año previsto de puesta en funcionamiento:**

2012-2013

**Web:** <http://www.icos-infrastructure.eu>



# ICOS componente terrestre (ecosistemas)

## Network of ecosystem stations (▽ ▽)

Foreseen ICOS network



Measurements
CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, Sensible heat fluxes
High precision CO <sub>2</sub> vertical profile
Global, Net, Reflected, Diffused radiation
Air and soil temperature profiles
Wind speed profile
Soil Water Content profile
Precipitation, Snow height, Troughfall
Soil Heat fluxes
Soil carbon content
Biomass
Management and disturbances
CH <sub>4</sub> Fluxes
N <sub>2</sub> O Fluxes
Canopy temperature
Spectral reflectance
Below canopy Photosynthetic Active Radia
Groundwater level
Sap flow
Soil respiration, Plant respiration
Phenology camera
N deposition
Leaves and soil water N content
Litter fall
C and N import and export (management)





**En España, la Fundación CEAM es pionero en este tipo de medidas y opera actualmente 4 torres de flujos en España (iniciadas en 1999 / 2002 / 2003 / 2004 / 2009)**

Sueca (arrozal)



Alinya, pastizal de montaña



Las Majadas (dehesa)



Muela de Cortes (matorral)



# Alinya, Lérida (Pasto de montaña, 1770 m)



## Measurements:

Flujos de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , calor sensible

Patm, Precipitación, RH, Tair, Tsoil

Radiación: net, PAR, SW/LW in/out, diffuse

Wind speed/direction

SWC, soil heat flux

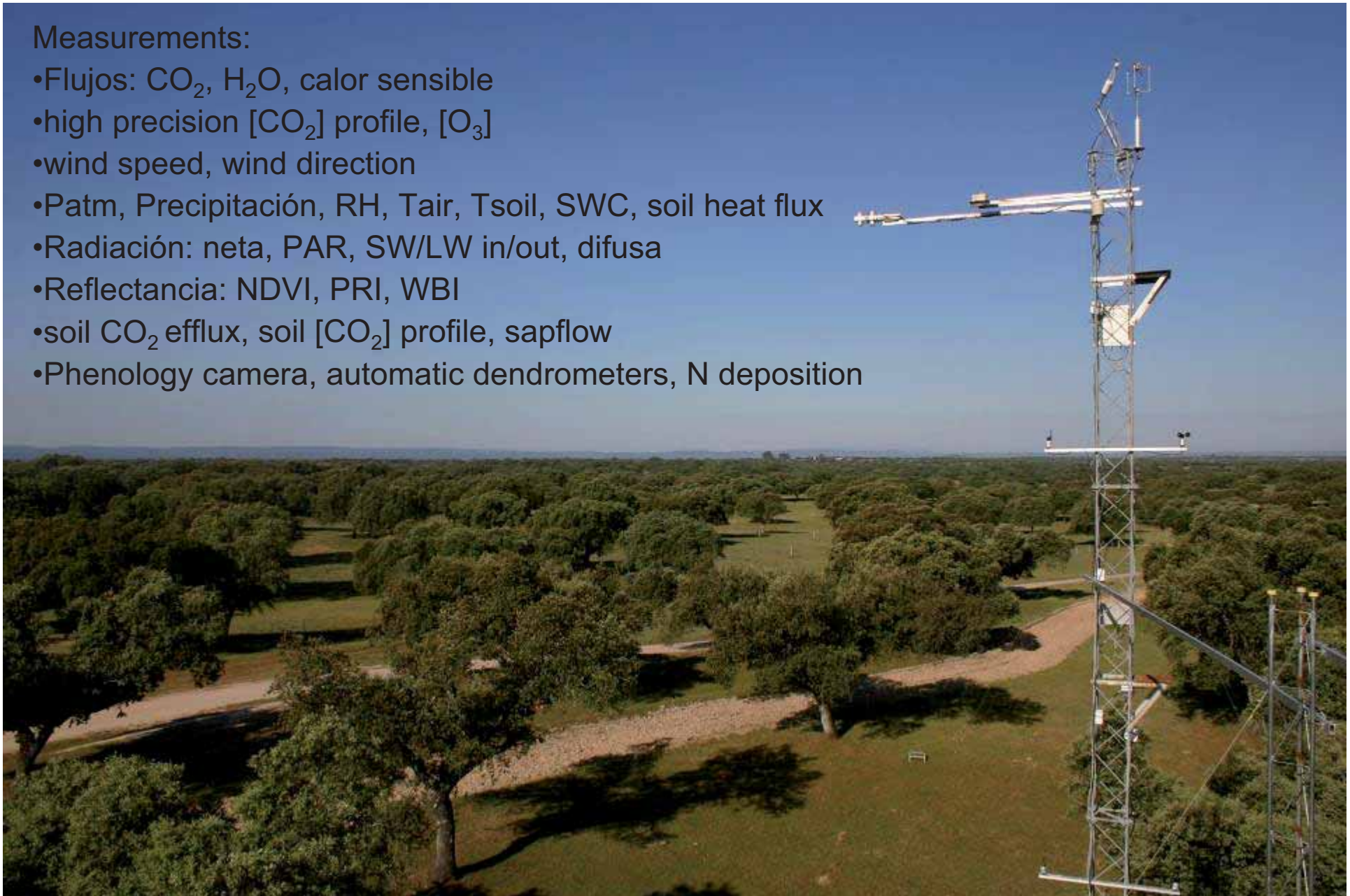
NDVI, N deposition,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  &  $\text{CH}_4$  flux (manual chambers)



# Las Majadas, Cáceres (Dehesa)

## Measurements:

- Flujos:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , calor sensible
- high precision  $[\text{CO}_2]$  profile,  $[\text{O}_3]$
- wind speed, wind direction
- $P_{\text{atm}}$ , Precipitación, RH,  $T_{\text{air}}$ ,  $T_{\text{soil}}$ , SWC, soil heat flux
- Radiación: neta, PAR, SW/LW in/out, difusa
- Reflectancia: NDVI, PRI, WBI
- soil  $\text{CO}_2$  efflux, soil  $[\text{CO}_2]$  profile, sapflow
- Phenology camera, automatic dendrometers, N deposition





# Sueca, Valencia (Arrozal)



## **Medidas:**

**Flujos de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , calor sensible**

**Patm, Precipitación, RH, Tair, Tsoil**

**Radiación: net, PAR, SW/LW in/out, difusa**

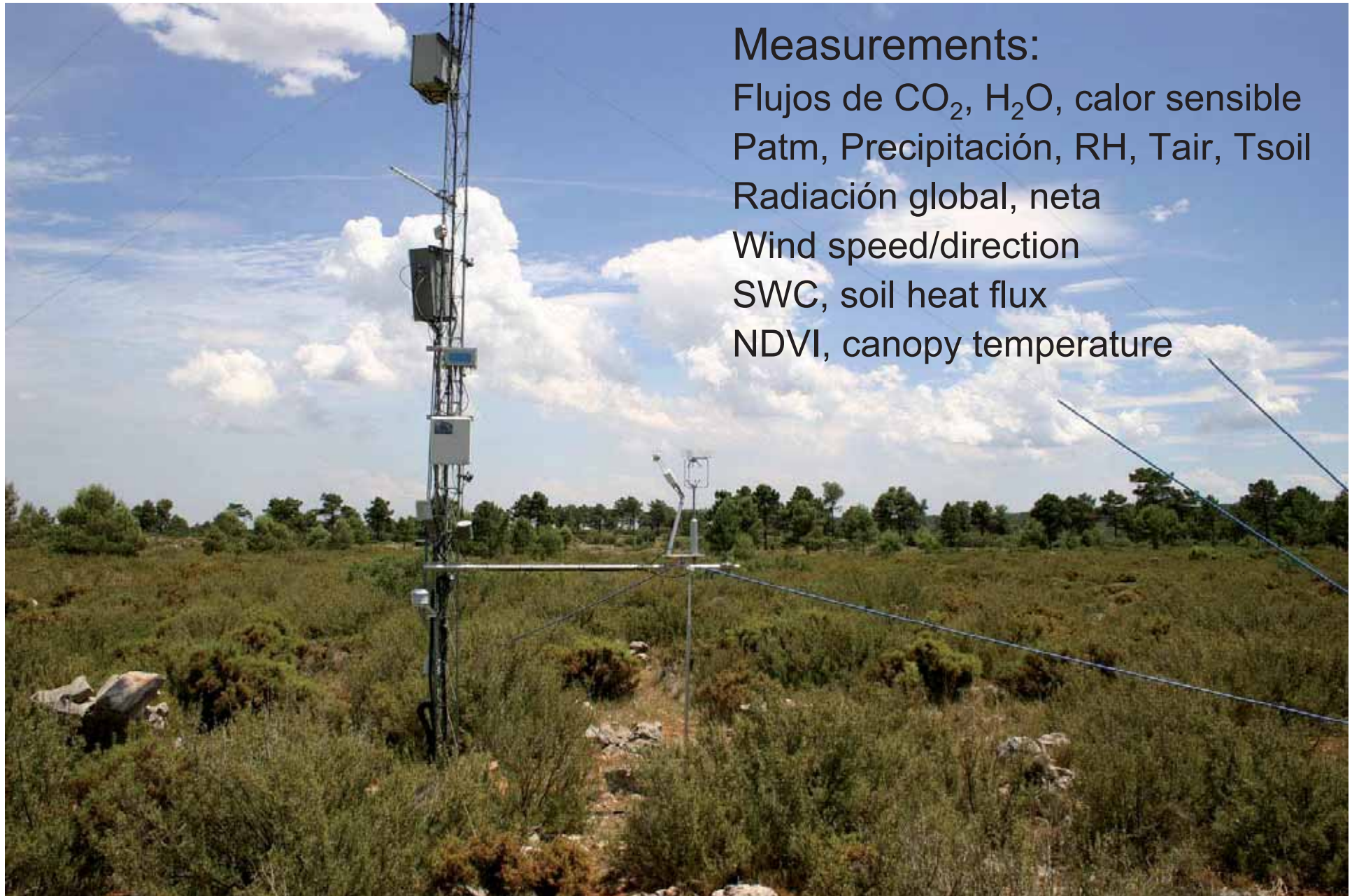
**Velocidad del viento/dirección**

**SWC, soil heat flux**

**NDVI,  $\text{N}_2\text{O}$  &  $\text{CH}_4$  flux (cámaras manuales)**



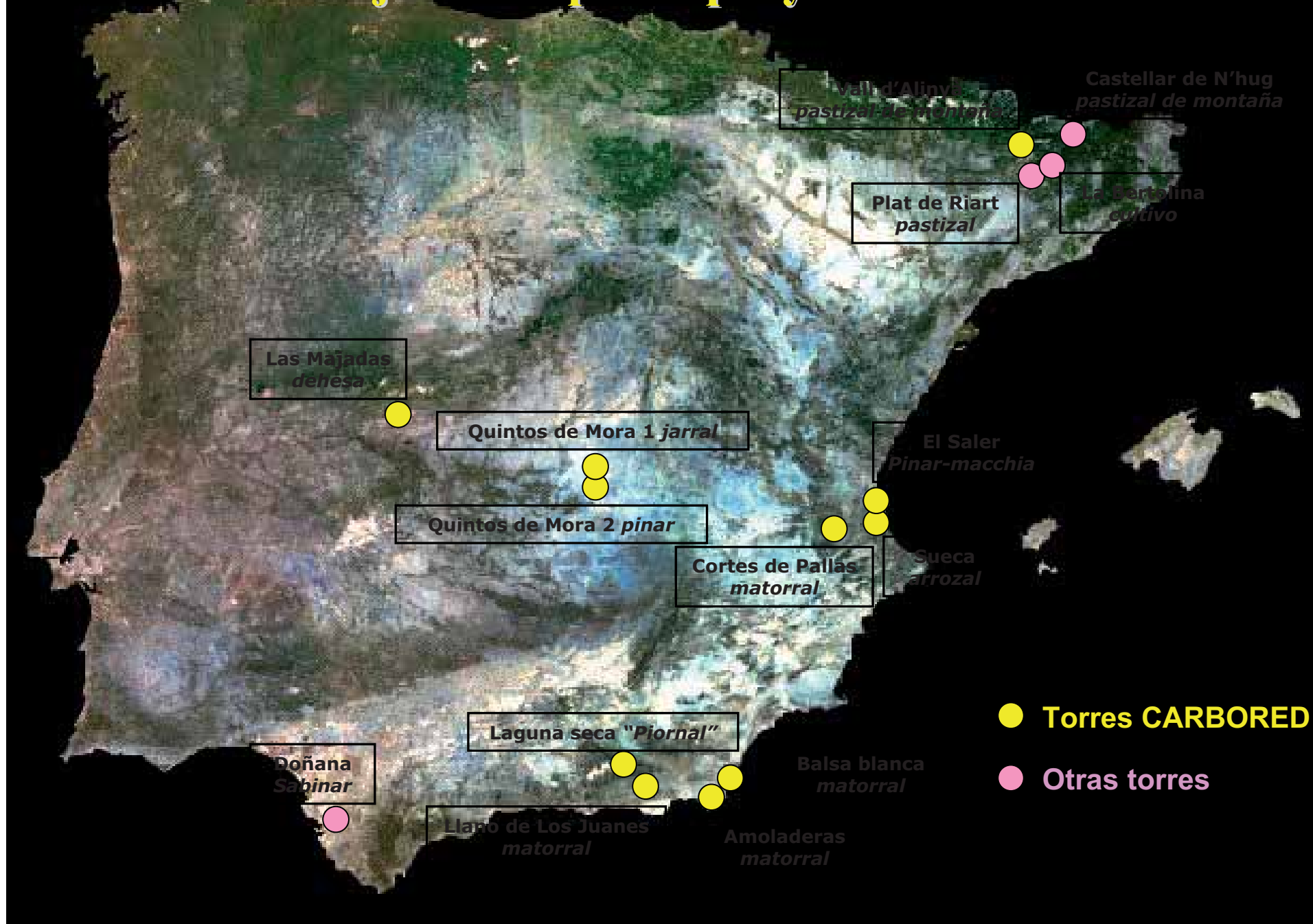
# Cortes de Pallas, Valencia (Matorral)



## Measurements:

Flujos de CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, calor sensible  
Patm, Precipitación, RH, Tair, Tsoil  
Radiación global, neta  
Wind speed/direction  
SWC, soil heat flux  
NDVI, canopy temperature

# Torres de flujos en España: proyecto "CARBORED"





## Las Majadas del Tietar (39°56'29" N, 5°46'24" W), Extremadura, Spain



Ecosystem: **dehesa Mediterranean Holm Oak open woodland (Savanna)**

Mediterranean Climate: annual T = 16.7 °C, annual Prec = 550 mm LAI = 0.4 (trees) + 1-1.5 (grass)

Soil: Stagnic Alisols, depth > 2m. Texture: sandy loam. soil C is 8.5 g/kg and soil N is 0.82 g/kg (0-20cm layer).

Tree canopy: 98% *Quercus ilex*; 25 tree/ha; mean DBH = 45cm; canopy height = 7-10 m; canopy fraction = 20%

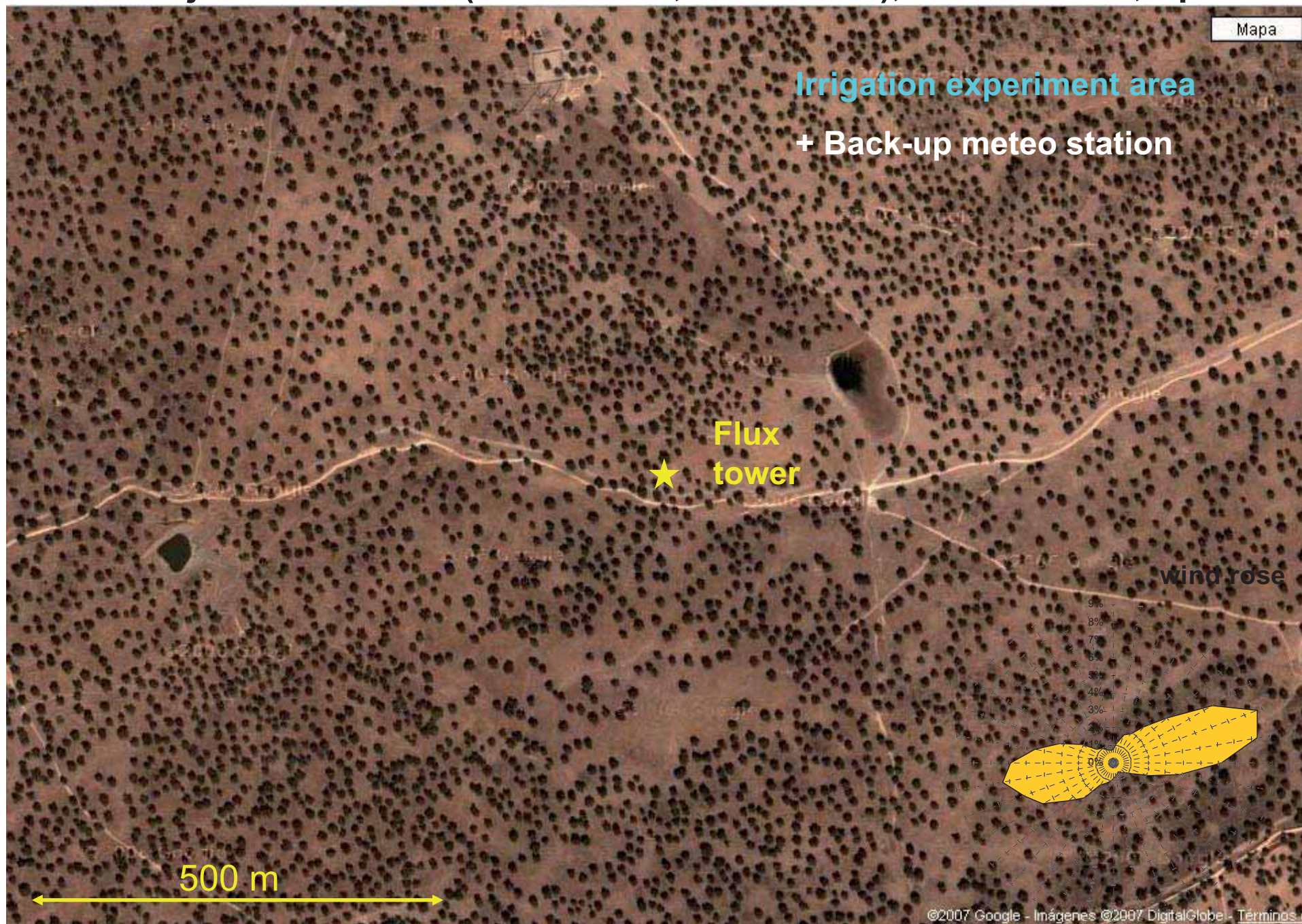
Management: tree pruning every 25 years to optimize acorn production

Herbaceous layer: high biodiversity (easy to find > 20 species within 4 m<sup>2</sup>); ≠ composition below tree / open;

Management: continuous grazing (~ 0.3 cow /hectare)



# Las Majadas del Tietar (39°56'29" N, 5°46'24" W), Extremadura, Spain





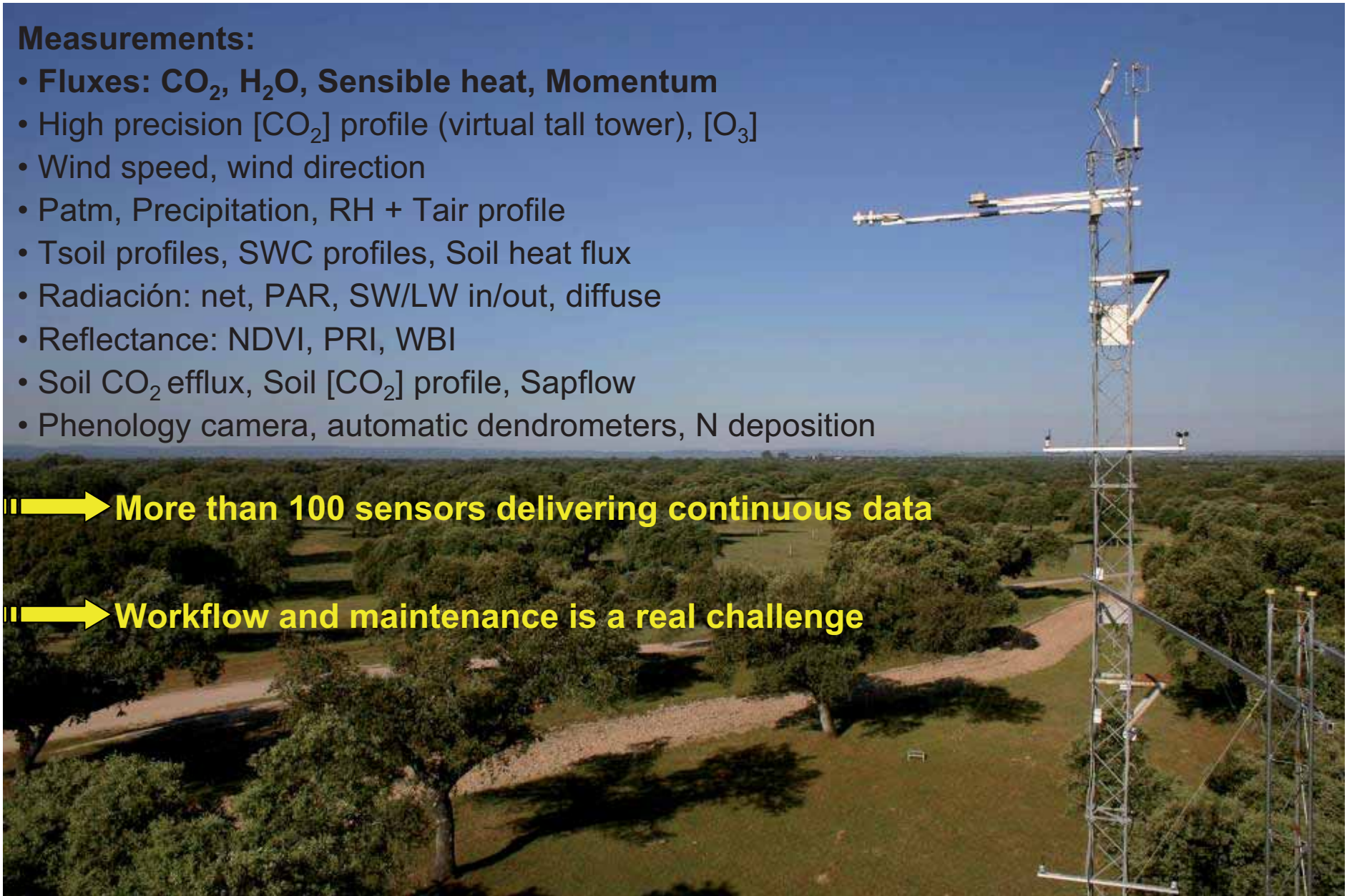
# Continuous measurements (flux tower)

## Measurements:

- Fluxes: CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, Sensible heat, Momentum
- High precision [CO<sub>2</sub>] profile (virtual tall tower), [O<sub>3</sub>]
- Wind speed, wind direction
- Patm, Precipitation, RH + Tair profile
- Tsoil profiles, SWC profiles, Soil heat flux
- Radiación: net, PAR, SW/LW in/out, diffuse
- Reflectance: NDVI, PRI, WBI
- Soil CO<sub>2</sub> efflux, Soil [CO<sub>2</sub>] profile, Sapflow
- Phenology camera, automatic dendrometers, N deposition

➔ More than 100 sensors delivering continuous data

➔ Workflow and maintenance is a real challenge





# Non-continuous monitoring

## Periodic measurements (typically monthly measurements):

- Soil CO<sub>2</sub> efflux (2007), Soil N<sub>2</sub>O / CH<sub>4</sub> soil fluxes (2009)
- N deposition (2003)
- Herbaceous layer: biomass, LAI, green fraction (monthly since nov 2007)
- Litterfall (2003), DBH (2005)
- Leaf water potential (2003-2005, 2008 - ongoing)

## Discontinuous measurements (1 time or more):

- Soil C/N content, Labil C and microbial biomass
- herbaceous layer roots biomass
- herbaceous layer composition
- tree canopy C/N content
- tree canopy SLA / chlorophyll content/ LAI
- tree canopy photosynthesis parameters (V<sub>cmax</sub>, J<sub>max</sub>)
- grazing quantification



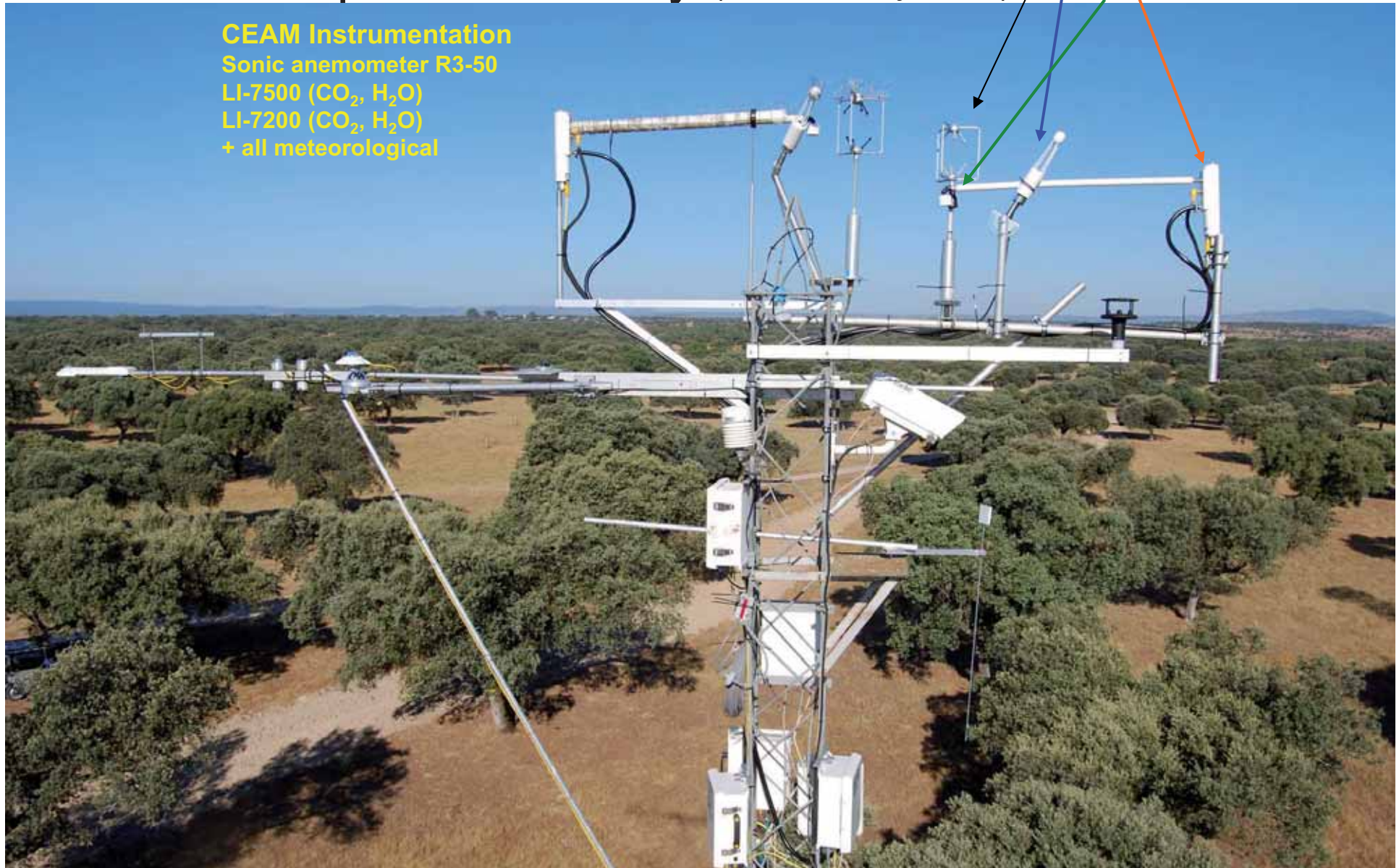


# ICOS Demonstration Experiment (2011)

QC intercomparison activity (6<sup>th</sup>- 26<sup>th</sup> July 2011)

MPI Instrumentation:  
Sonic anemometer R3-50  
LI-7500 (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O)  
LI-7200 (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O)  
inlet of LI-7000 (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O)

CEAM Instrumentation  
Sonic anemometer R3-50  
LI-7500 (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O)  
LI-7200 (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O)  
+ all meteorological

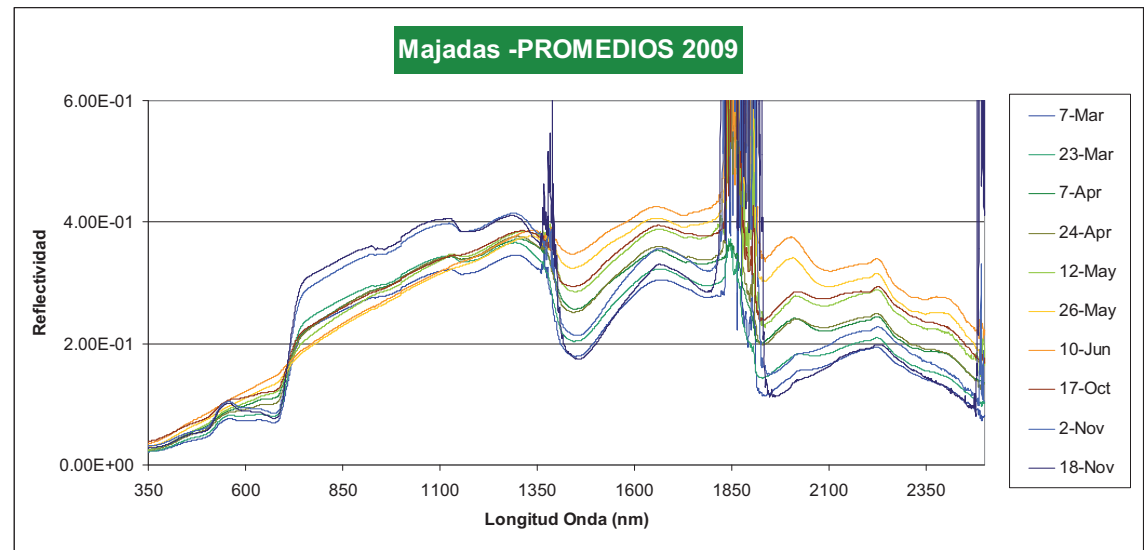




# Remote sensing pilot study **BIOSPEC** Spanish project (Pilar Martín, CCHS-CSIC)



“Linking spectral information at different spatial scales with biophysical parameters of Mediterranean vegetation in the context of global change”





# Funding of Monitoring activities of "Las Majadas" flux station

➡ Construction (2003) FP6 EU-project

➡ Upgrading and Operating (2004 - 2011)

- EU FP6 & FP7 projects:

- National projects: *BALANGEIS* +

- Institutional support:

➡ Future (2012 - ): ???





**Tabla 2 Contribución nacional a la composición atmosférica**  
**Fuentes: AEMET, CEAM, INTA**

Redes contribuyentes especificadas en el Plan de Implementación del GCOS	ECVs <sup>1</sup>	Número de estaciones o plataformas actualmente en funcionamiento	Número de estaciones o plataformas operando de acuerdo con los GCMPs <sup>2</sup>	Número esperado de estaciones o plataformas operativas para 2010	Número de estaciones o plataformas que proporcionan datos a centros de datos internacionales	Número de estaciones o plataformas con registro histórico completo disponible en centros de datos internacionales
Red mundial de monitorización del CO <sub>2</sub> y CH <sub>4</sub> atmosférico del la Organización Meteorológica Mundial/ Vigilancia Mundial de la Atmósfera (WMO/GAW)	Dióxido carbono	1(AEMET) 4 (CEAM)	4 (CEAM)	5 (CEAM)	1(AEMET) 4 (CEAM)	1(AEMET) 4 (CEAM)
	Metano	1(AEMET)			1(AEMET)	1(AEMET)
	Otros gases de efecto invernadero	14(AEMET)	13(AEMET)	13(AEMET)	14(AEMET)	
Red de sondeo de ozono <sup>a</sup> WMO/GAW	Ozono	2(AEMET) 3 (*)	2(AEMET) 3 (*)	2(AEMET) 3 (*)	2(AEMET) 3 (*)	
Red de columna de ozono <sup>b</sup> WMO/GAW	Ozono	7(AEMET) 2(INTA)	7(AEMET) 2(INTA)	7(AEMET) 2(INTA)	7(AEMET) 2(INTA)	
Red de Aerosoles WMO/GAW	Profundidad óptica del aerosol	8 (AEMET) 1(INTA)	1(INTA)	1(INTA)	3 (AEMET) 1(INTA)	
	Otras propiedades del aerosol	2(AEMET) 1(INTA)	1(INTA)	1(INTA)	1(INTA)	

a Incluyendo SHADOZ, NDACC, sensores remotos y sondas de ozono

b Incluyendo filtros, Dobson y estaciones Brewer

(\*) INTA: Base antártica Belgrano en colaboración con Instituto Antártico Argentino, Ushuaia en colaboración con AEMET, Keflavik en colaboración con el Instituto Meteorológico Islandés

Quinta Comunicación Nacional de España



Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático

Dentro de las observaciones de flujos de CO<sub>2</sub> España tiene en funcionamiento cuatro estaciones pertenecientes a la red del FLUXNET. Están situadas en El Saler (Valencia), Sueca (Valencia), Alinyà (Lleida) y Las Majadas del Tiétar (Cáceres).

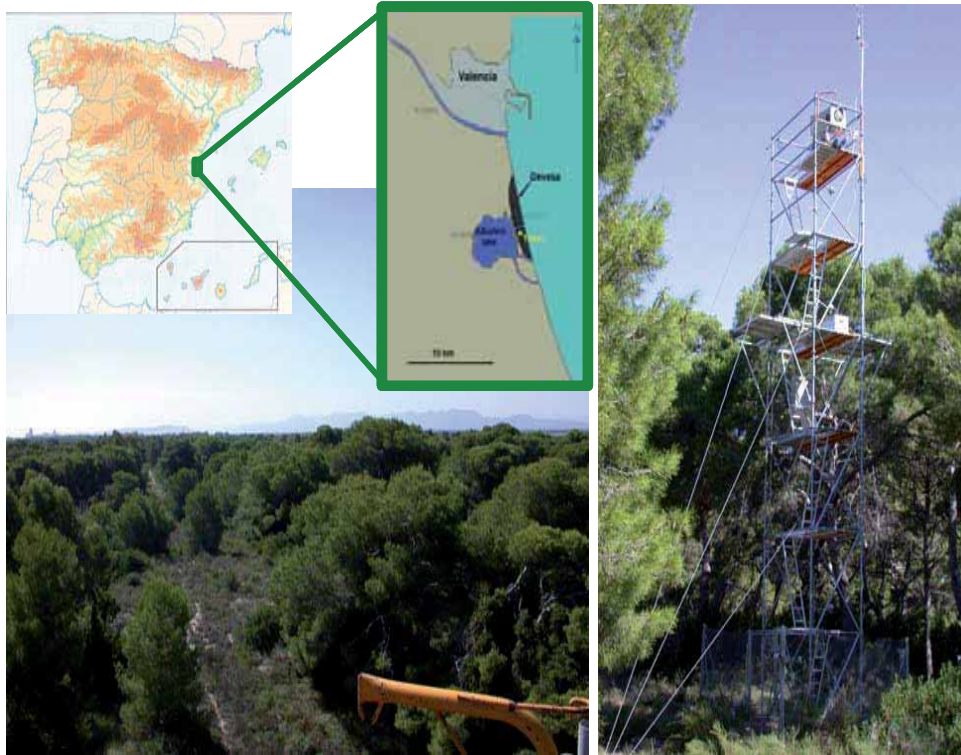
# **Plan de la presentación sobre “Observación sistemática del balance de C en ecosistemas terrestres”**

(1) “Torres de flujos”: Metodología, aplicaciones y relevancia

(2) Observaciones existentes (redes de torres de flujos) a nivel internacional y nacional

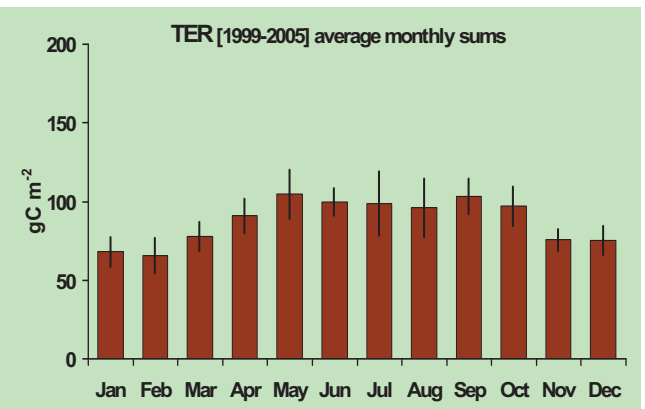
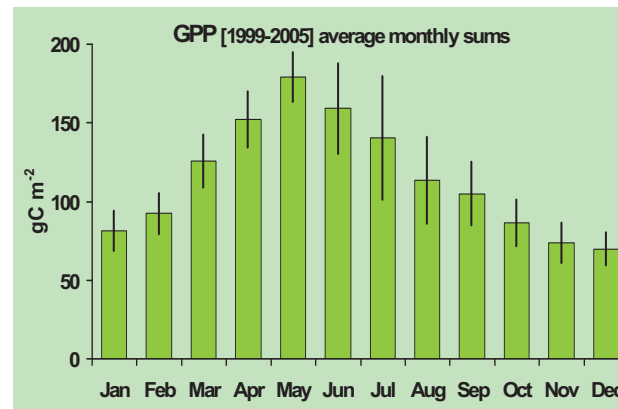
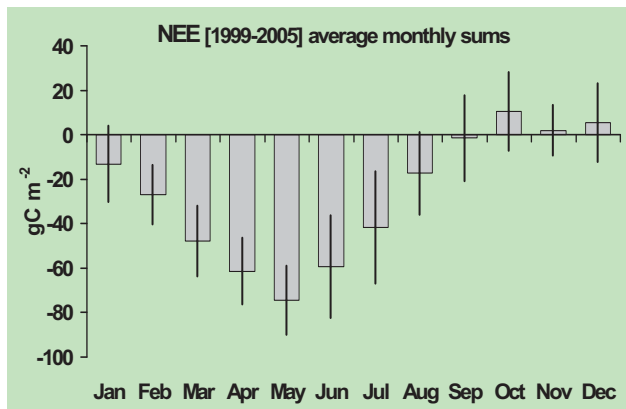
**(3) Resultados (ejemplos)**

# Ejemplo : devesa de El Saler (Pinus halepensis + Macchia)



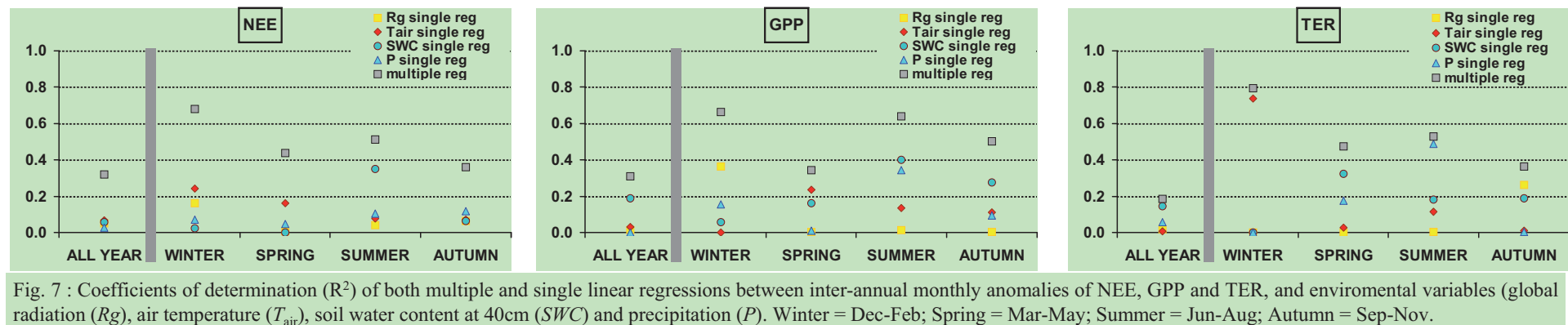
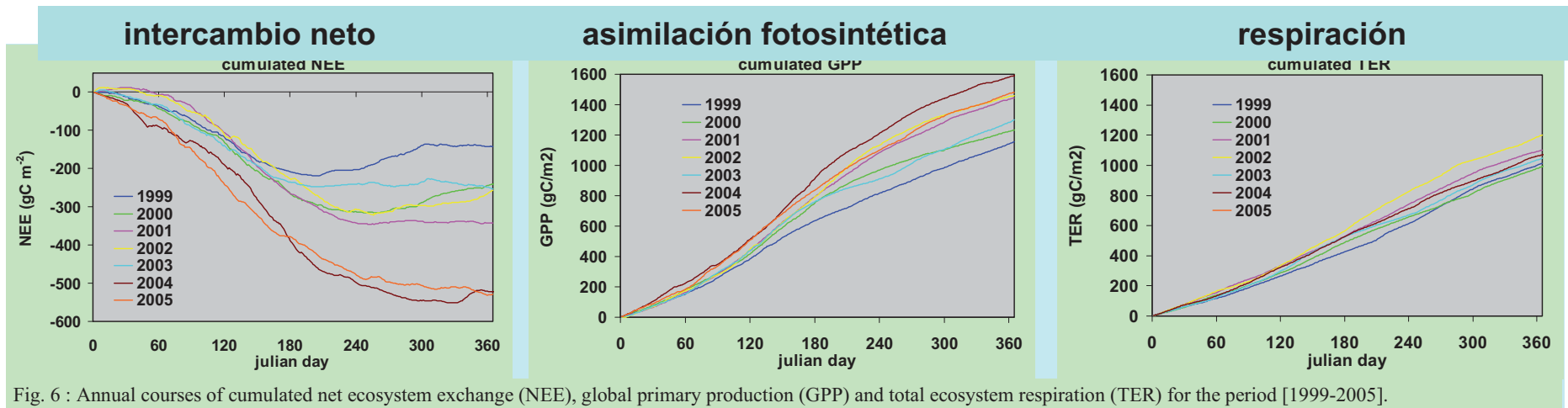
**Balance de carbono  
anual: El ecosistema se  
comporta como un pozo de  
carbono, con un promedio  
anual de NEE de 327 gC m<sup>-2</sup>  
durante el periodo de estudio  
[1999-2005].**

## Variación estacional del balance de Carbono (promedio 1999-2005)



# Ejemplo : devesa de El Saler (Pinus halepensis + Macchia)

## Variación interanual del balance de Carbono



- El análisis estadística de las anomalías interanuales muestra que los factores climáticos que afectan la variabilidad interanual del intercambio de carbono dependen de las estaciones consideradas
  - En Invierno: la temperatura es el factor principal para la respiración y la radiación para la asimilación fotosintética
  - En Verano: la disponibilidad de agua es el factor principal para TER, GPP, NEE.



## ***Ejemplo de aplicaciones :***

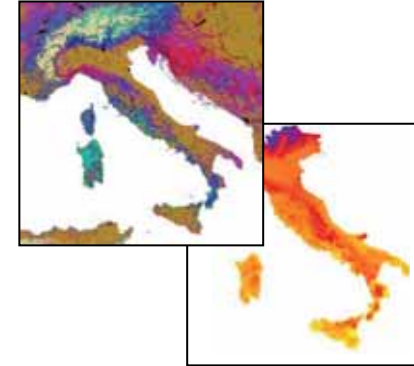
Integración de medidas por satélites y de las observaciones de las torres de flujos en modelos para estimaciones de flujos de carbono a escala regional

**MODIS INPUT DATA**

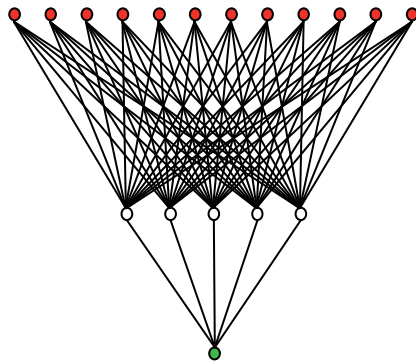


*GPP, FAPAR, PSNnet*

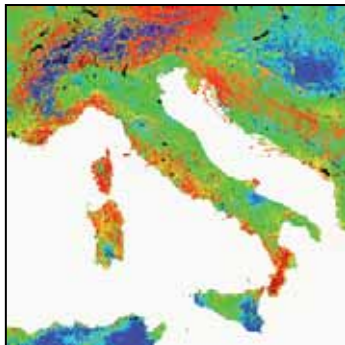
**OTHERS SPATIALIZED INPUT DATA**



*Land Cover, Soil map, climate inputs, ...*



**OUTPUT DATA**



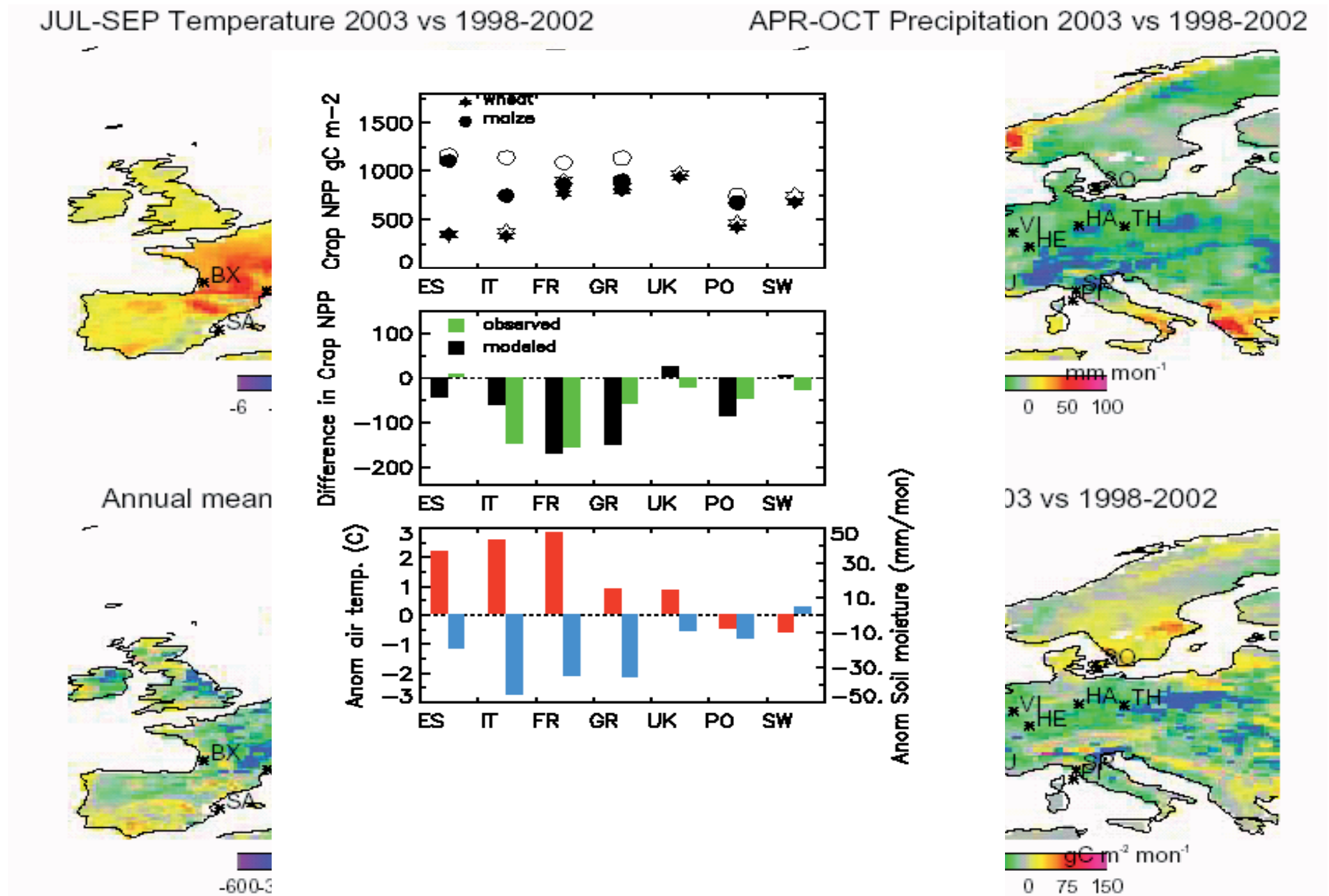
*NEP*

**EDDY FLUX DATA**



*Meteo and Fluxes*

# teledetección / modelo / flux tower analysis: ola de calor de 2003

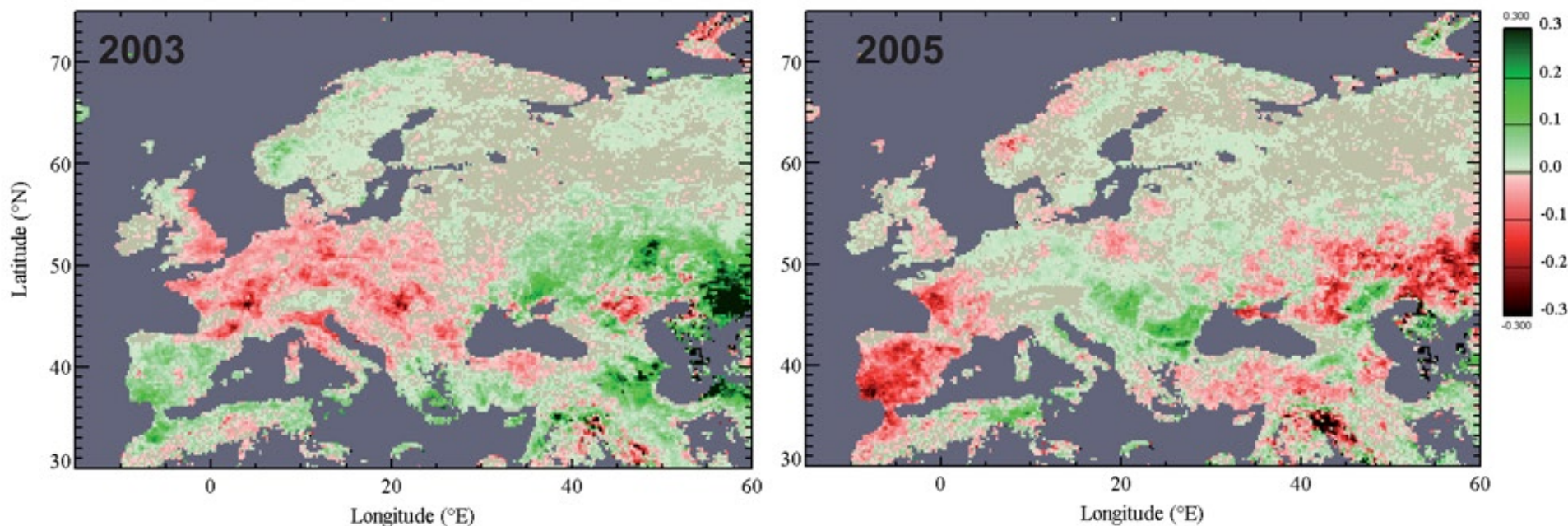


Ciais et al. (2005), Nature

análisis con teledetección / modelo / torres de flujos

*eventos extremos*

Ola de calor 2003 / Sequía 2005

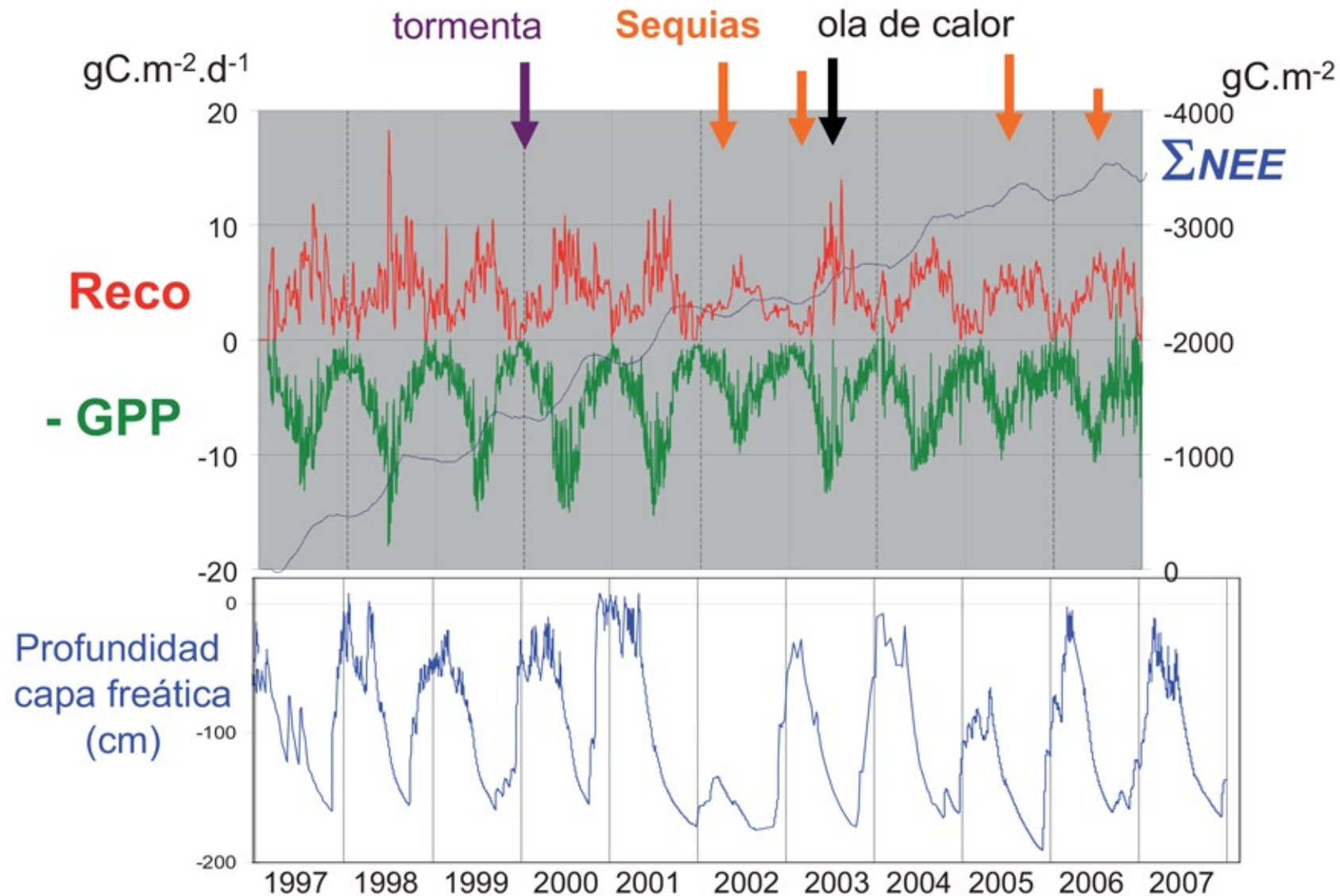


Jul-Sep anomalías en el fAPAR-(Julio-Septiembre) (satelite MODIS) respecto al periodo 2000-2005

Reichstein et al. (2005), BGC



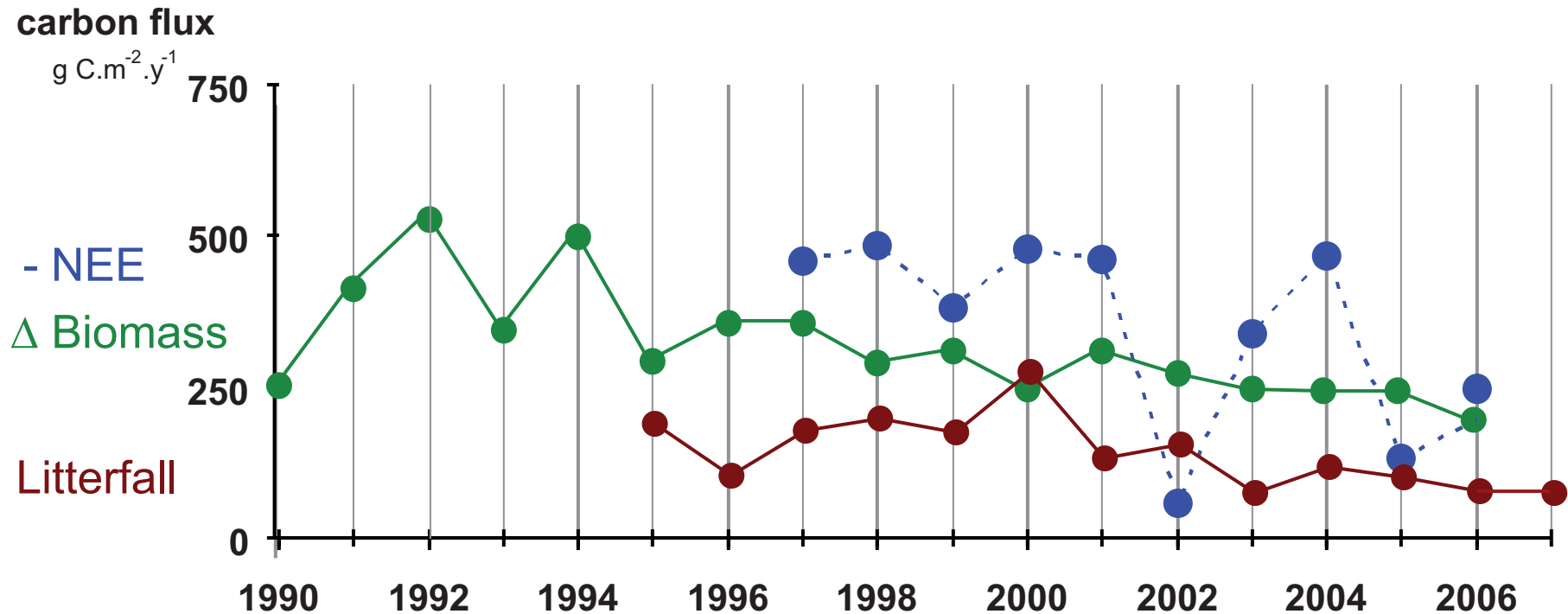
# Flujos de carbono en el pinar de "Le Bray" (Pinus Pinaster): Impactos de distintos eventos climáticos





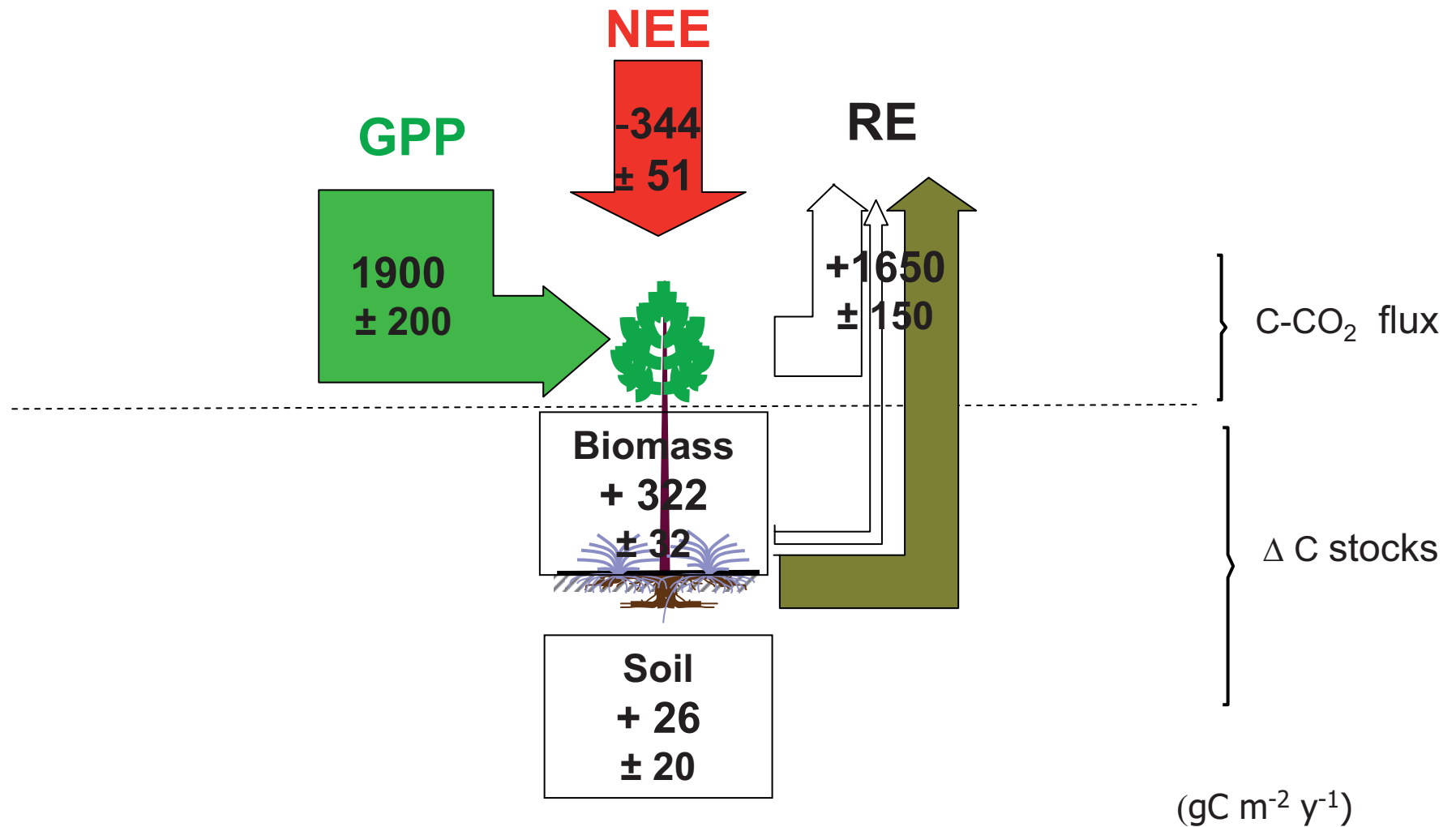
# Carbon fluxes at the Bray site for the last 10 years.

## 2) Inventories



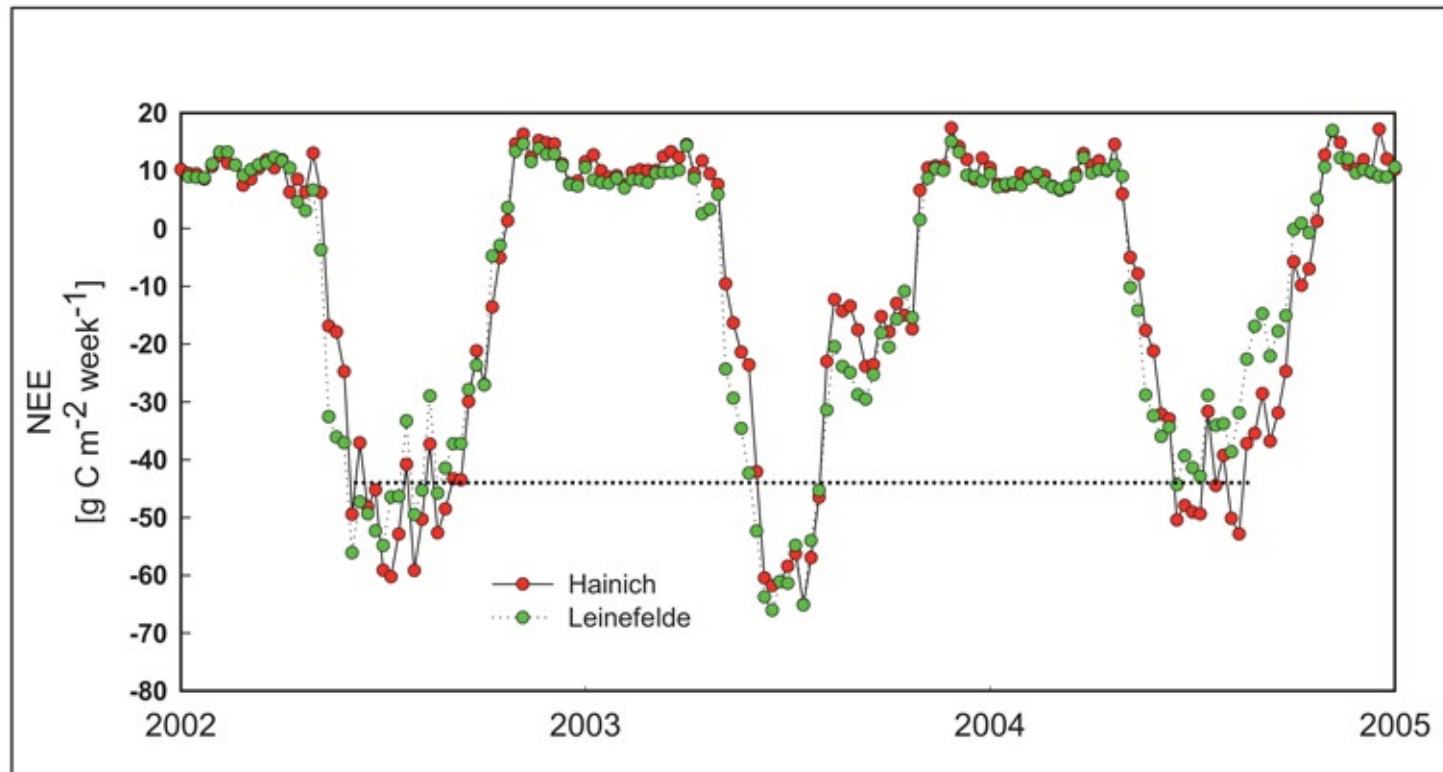
- Decreasing trend in biomass production: ageing + climate effects
- Windstorm and thinnings have larger effects on biomass change
- Drought have larger effects on annual CO<sub>2</sub> fluxes.
- $\sigma$  NEE >  $\sigma$  Δ Biomass

# Average values of C balance components at Le Bray, 1997-2006



# Perturbaciones

ola de calor de 2003: Efectos inmediatos y diferidos



Intercambio neto de C en 2 bosques de Alemania



## **Potencial de este tipo de observación sistemática en el ámbito mitigación-adaptación:**

### Un sistema de vigilancia para:

- Detectar y caracterizar el efecto del cambio climático sobre el funcionamiento de diversos ecosistemas clave en Europa y en España.
- Observar la respuesta de nuestros ecosistemas a las anomalías climáticas que ya se han comenzado a suceder y previsiblemente aumentarán.

### Un instrumento clave para generar conocimiento (I+D+i):

- Recoger una información enormemente valiosa para determinar su capacidad de resiliencia y de adaptación bajo distintos escenarios climáticos (incluyendo anomalías y fenómenos extremos) así como la vulnerabilidad de los servicios actualmente proporcionados por los distintos ecosistemas.

## **Prioridades de la observación sistemática del ciclo de carbono mediante torres de flujos**

- Armonización y estandarización de los protocolos de medida, de QA/QC, de formatos de datos, de metadatos (“open access” INSPIRE, inter-compatibles Netcdf)
- Integración de las estaciones de medidas en la redes existentes a nivel nacional e internacional.
- Mejorar la relevancia y la representatividad de las redes de estaciones (*Network design*). Actualmente en España los bosques y cultivos están infra representados.
  - Aumentar las sinergias con otros tipos de observación/ monitoreo (“remote sensing”, inventarios forestales/suelo, red ICP-Forest, biodiversidad, etc.)



Gracias