

**UIMP**  
Universidad Internacional  
de la Rioja

**CSIC**

Master en Cambio Global  
Programa Oficial de Graduación adaptado al EHEE  
Curso académico 2008-2009

## Tema 2. Sumideros de carbono terrestres. Descripción. Stocks

Fernando Valladares



MASTER en Cambio Global UIMP – CSIC  
1.02. Sumideros de Carbono en la Biosfera



**UIMP**  
Universidad Internacional  
de la Rioja

**CSIC**

Master en Cambio Global  
Programa Oficial de Graduación adaptado al EHEE  
Curso académico 2008-2009

## Tema 3. Dinámica de acumulación-liberación de carbono en sumideros terrestres. Procesos.

Fernando Valladares

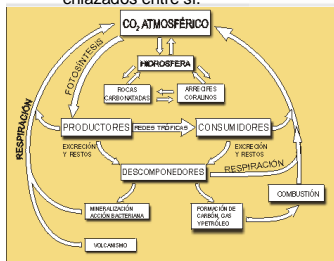


MASTER en Cambio Global UIMP – CSIC  
1.02. Sumideros de Carbono en la Biosfera



### El ciclo del carbono

El carbono es el elemento básico en la formación de las moléculas de carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos; pues todas las moléculas orgánicas están formadas por cadenas de carbonos enlazados entre sí.



La reserva fundamental de carbono, en moléculas de CO<sub>2</sub> que los seres vivos puedan asimilar, es la **atmósfera** y la **hidrosfera**. Este gas está en la atmósfera en una concentración de más del 0,03% y cada año aproximadamente un 5% de estas reservas de CO<sub>2</sub> se consumen en los procesos de fotosíntesis, es decir que **todo el anhídrido carbónico se renueva en la atmósfera cada 20 años**.

### Ciclo del carbono, alteraciones con repercusión global

- El ciclo global del carbono consta de tres principales reservas de carbono: la atmosférica, la oceánica y la terrestre.
- Los océanos son grandes depósitos de CO<sub>2</sub> (38.000 Pg) conteniendo unas 50 veces más que la atmósfera (590 Pg) y unas 20 veces más que la tierra (2300 Pg). En el ciclo natural los flujos son muy pequeños. El océano capta 0.4 PgC/año mientras que esa misma cantidad es emitida por respiración por la vegetación terrestre.

**El ciclo del carbono**



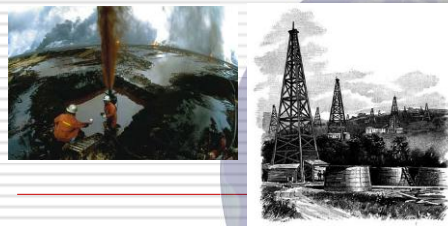
La vuelta de CO<sub>2</sub> a la atmósfera se hace cuando en la **respiración** los seres vivos oxidan los alimentos produciendo CO<sub>2</sub>. En el conjunto de la biosfera la mayor parte de la respiración la hacen **las raíces de las plantas y los organismos del suelo** y no, como podría parecer, los animales más visibles.

Los **seres vivos acuáticos toman el CO<sub>2</sub> del agua**. La **solubilidad** de este gas en el agua es muy superior a la de otros gases, como el O<sub>2</sub> o el N<sub>2</sub>, porque reacciona con el agua formando ácido carbónico. En los ecosistemas marinos algunos organismos convierten parte del CO<sub>2</sub> que toman en **CaCO<sub>3</sub>** que necesitan para formar sus conchas, caparazones o masas rocosas en el caso de los arrecifes.

Cuando estos organismos mueren sus caparazones se depositan en el fondo formando **rocas sedimentarias calizas** en el que el C queda retirado del ciclo durante miles y millones de años. Este carbono volverá lentamente al ciclo cuando se van disolviendo las rocas.

**El ciclo del carbono**

El petróleo, carbón y la materia orgánica acumulados en el suelo son resultado de épocas en las que se ha devuelto **menos CO<sub>2</sub> a la atmósfera del que se tomaba**. **Así apareció el O<sub>2</sub> en la atmósfera**. Si hoy consumiéramos todos los combustibles fósiles almacenados, el O<sub>2</sub> desaparecería de la atmósfera. El ritmo creciente al que estamos devolviendo CO<sub>2</sub> a la atmósfera, por la actividad humana, es motivo para que protejamos al planeta.



**El ciclo del carbono**

La explotación de **combustibles fósiles** para sustentar las actividades industriales y de transporte (junto con la **deforestación**) es hoy día una de las mayores agresiones que sufre el planeta, el cambio climático (por el efecto invernadero).



**El ciclo del carbono**

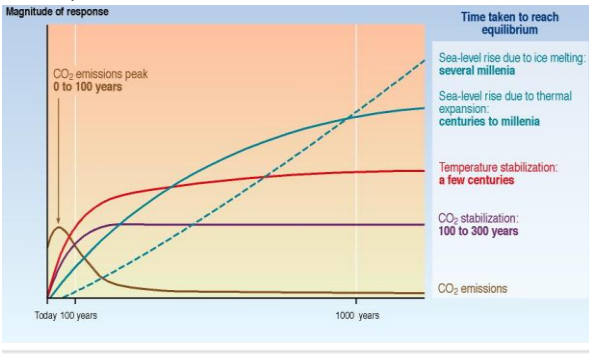
Resolver en los próximos 50 años el incremento del CO<sub>2</sub> atmosférico y el cambio climático con tecnologías actuales

(Pacala & Socolow 2004, Science 305, 968-972)

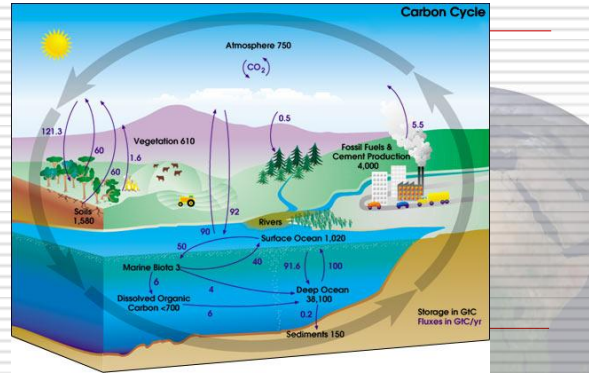
Estabilizando las emisiones de CO<sub>2</sub>

- La concentración preindustrial era ~ 280 ppm
- La concentración actual es ~ 375 ppm
- El objetivo es lograr que no suba más de 500 ± 50 ppm

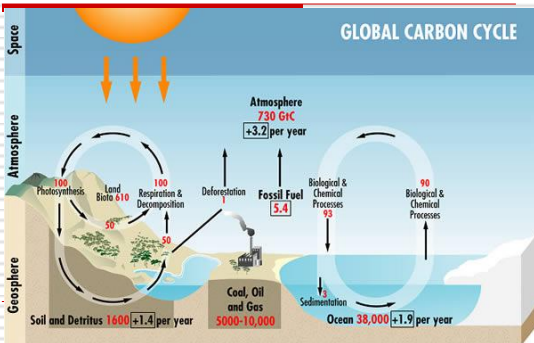
La concentración de CO<sub>2</sub>, la temperatura y el nivel del mar continuarán aumentando incluso bastante tiempo después de que la emisiones disminuyan



**El ciclo del carbono**

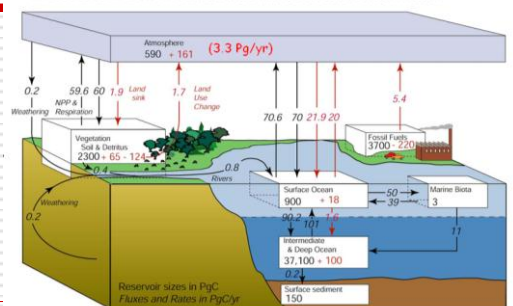


The global carbon cycle. This schematic representation shows the global carbon reservoirs in gigatonnes of carbon (1GtC = 1012 kg) and the annual fluxes and accumulation rates in GtC/year, calculated over the period 1990 to 1999. The values shown are approximate and considerable uncertainties exist as to some of the flow values.



**Ciclo del carbono,**

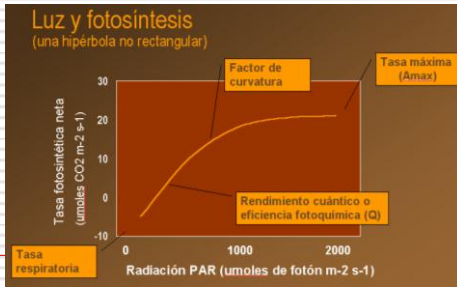
**THE GLOBAL CARBON CYCLE AND ITS ANTHROPOGENIC PERTURBATION**



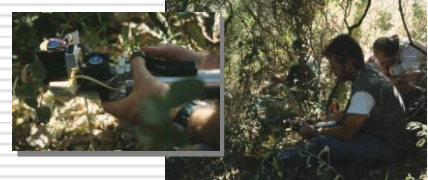
Sarmiento & Gruber (2002)

### Introducción

Los estudios de fisiología en condiciones de laboratorio han permitido una comprensión precisa de los mecanismos implicados en muchos procesos del desarrollo vegetal, incluyendo la respuesta fotosintética a la luz.



Sin embargo, la facilidad con la que los factores ambientales pueden ser controlados ha llevado a una miríada de trabajos con frecuencia redundantes o confirmatorios, mientras que los estudios de campo, por su dificultad logística intrínseca, han merecido menos atención...



... a pesar de que son las condiciones naturales y sus rangos reales de variación e interacción los que han determinado la evolución vegetal

Sólo con un marco realista respecto a los factores ambientales podremos interpretar y llegar a predecir la respuesta vegetal al cambio global



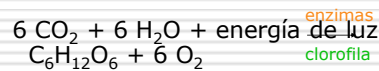
## EL PROCESO de la FOTOSÍNTESIS

## Las condiciones necesarias para la fotosíntesis

- La mayoría de los autótrofos fabrican su propio alimento utilizando la energía luminosa.
- La energía de luz se convierte en la energía química que se almacena en la glucosa.
- El proceso mediante el cual los autótrofos fabrican su propio alimento se llama fotosíntesis.
- La mayoría de los seres vivos dependen directa o indirectamente de la luz para conseguir su alimento



La fotosíntesis es un proceso complejo. Sin embargo, la reacción general se puede resumir de esta manera:



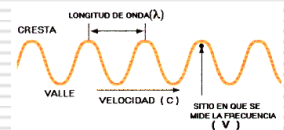
La fotosíntesis, ¿es una reacción exergónica o endergónica?

## EN LA FOTOSÍNTESIS:

- La luz solar es la fuente de energía que atrapa la clorofila, un pigmento verde en las células que los autótrofos utilizan para la fotosíntesis.
- El dióxido de carbono y el agua son las materias primas.
- Las enzimas y las coenzimas controlan la síntesis de glucosa, a partir de las materias primas.

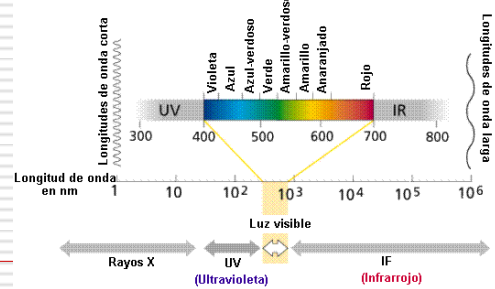
## LA LUZ Y LOS PIGMENTOS

- La luz es una forma de energía radiante.
- La energía radiante es energía que se propaga en ondas.
- Hay varias formas de energía radiante (ondas de radio, infrarrojas, ultravioletas, rayos X, etc.).
- Para sintetizar alimento, se usan únicamente las ondas de luz.



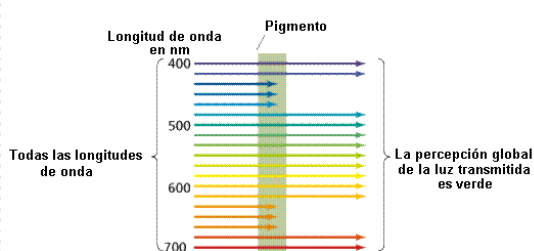
- Cuando la luz choca con la materia, parte de la energía de la luz se absorbe y se convierte en otras formas de energía.
- Cuando en una célula la luz del sol choca con las moléculas de clorofila, la clorofila absorbe alguna de la energía de luz que, eventualmente, se convierte en energía química y se almacena en las moléculas de glucosa que se producen.

Cuando un rayo de luz pasa a través de un prisma, se rompe en colores. Los colores constituyen el espectro visible.



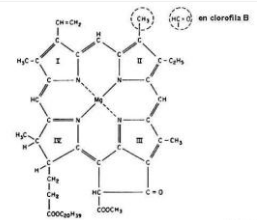
Los colores del espectro que el pigmento clorofila absorbe mejor son el violeta, el azul y el rojo.

¿Por qué la clorofila es verde?

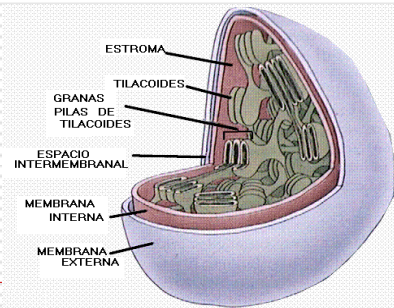


## CLASES DE CLOROFILA

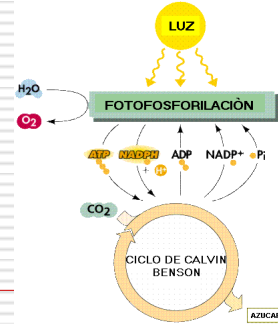
- Hay varias clases de clorofila, las cuales, generalmente se designan como a, b, c y d.
- Algunas bacterias poseen una clase de clorofila que no está en las plantas ni en las algas.
- Sin embargo, todas las moléculas de clorofila contienen el elemento magnesio (Mg).



## CLOROPLASTOS



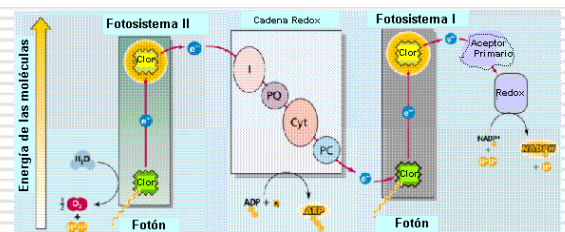
## Fases de la fotosíntesis



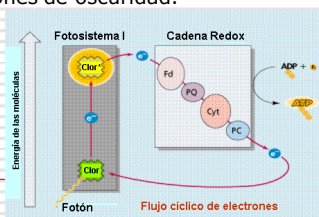
## 1. Reacciones dependientes de luz

Ocurren en las granas de los cloroplastos:

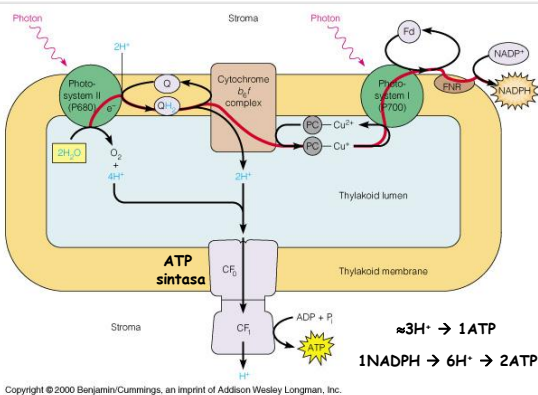
1. La clorofila y otras moléculas de pigmento presentes en las granas del cloroplasto absorben la energía de luz.
2. Esto aumenta la energía de ciertos electrones en las moléculas de los pigmentos activándolos. Esto los lleva a un nivel de energía más alto. A medida que los electrones de los pigmentos llegan a un nivel de energía más bajo, liberan energía.



3. Los electrones regresan a un nivel de energía más bajo al pasar por una cadena de transporte de electrones, en forma muy parecida a lo que ocurre en la respiración celular. En el proceso de liberación de energía de los electrones, se produce ATP. La energía de los electrones se convierte en energía utilizable en los cloroplastos. El ATP que se produce en las reacciones dependientes de luz se utiliza en las reacciones de oscuridad.



**Síntesis de ATP: ATP sintasa**

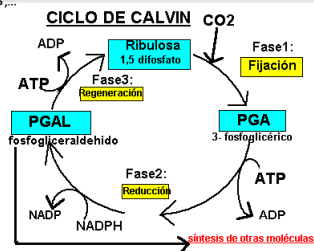


Copyright © 2000 Benjamin Cummings, an imprint of Addison Wesley Longman, Inc.

**Fase oscura de la fotosíntesis: ciclo de Calvin**

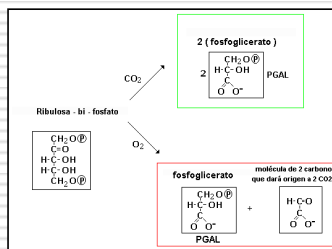
La fijación del CO<sub>2</sub> se produce en tres fases:

1. **Carboxilativa:** se fija el CO<sub>2</sub> a una molécula de 5C.
2. **Reductiva:** PGA se reduce a PGAL utilizando ATP y NADPH.
3. **Regenerativa/Sintética:** de cada seis moléculas PGAL formadas 5 se utilizan para regenerar la Ribulosa 1,5BP y una será empleada para poder sintetizar moléculas de glucosa (vía de las hexosas), ácidos grasos, aminoácidos,...



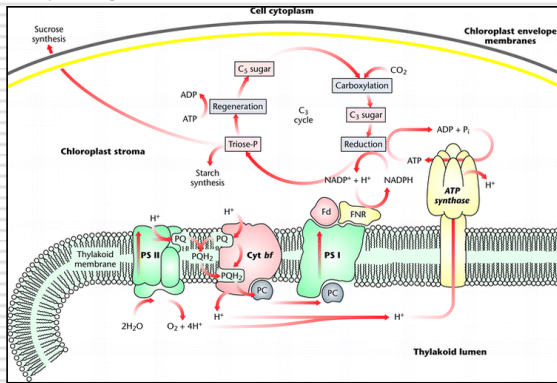
**RUBISCO:**

1. Función **CARBOXILASA:** fijar el carbono del CO<sub>2</sub>.
2. Función **OXIGENASA:** oxidación de la ribulosa 1,5 bifosfato a fosfoglicolato. Se produce CO<sub>2</sub>.





## Esquema global de la fotosíntesis



## Balance energético de la fotosíntesis

Reacción neta:



$$\Delta G^{\circ} = +114 \text{ KCal/mol}$$



$$8 \text{ fotones} \rightarrow 318 \text{ KCal}$$

Rendimiento energético es del 30%

## Importancia biológica de la fotosíntesis

La fotosíntesis es seguramente el proceso bioquímico más importante de la Biosfera por varios motivos:

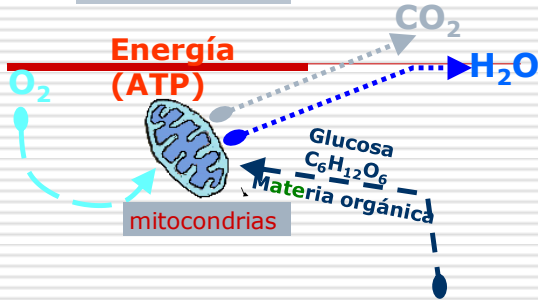
1. La **síntesis de materia orgánica** a partir de la inorgánica se realiza fundamentalmente mediante la fotosíntesis. Posteriormente irá pasando de unos seres vivos a otros mediante las cadenas tróficas, para ser finalmente transformada en materia propia por los diferentes seres vivos.
2. Produce la **transformación de la energía luminosa en energía química**, necesaria y utilizada por los seres vivos.
3. En la fotosíntesis se **libera oxígeno** que será utilizado en la respiración aerobia como oxidante.
4. La fotosíntesis causó el **cambio producido en la atmósfera primitiva**, que era anaerobia y reductora.
5. De la fotosíntesis depende también la **energía almacenada en combustibles fósiles** como carbón, petróleo y gas natural.
6. El **equilibrio** necesario entre seres **autótrofos y heterótrofos** no sería posible sin la fotosíntesis.

**LA FOTOSÍNTESIS MANTIENE LA VIDA EN LA TIERRA.**

La VIDA en la Tierra depende actualmente de 2 procesos: Uno, de creación de materia orgánica, la FOTOSÍNTESIS. Y otro que utiliza esa misma materia orgánica, quemándola, para obtener energía, la RESPIRACIÓN.

No obstante, algunos ecosistemas se basan en la QUIMIOSÍNTESIS, y también algunos seres vivos obtienen energía en ausencia de O<sub>2</sub> mediante FERMENTACIÓN.

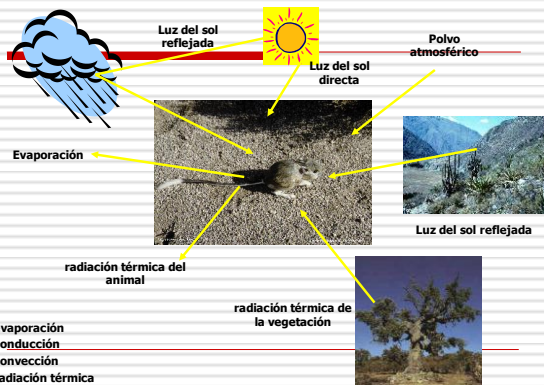
## RESPIRACIÓN



Combustión de materia orgánica para obtener energía (en forma de ATP). Para quemar la materia orgánica se utiliza oxígeno, desprendiéndose CO<sub>2</sub> y obteniéndose H<sub>2</sub>O. La realizan todos los seres vivos (vegetales y animales) para poder llevar a cabo sus funciones vitales.

## Influencia de la temperatura

Todos los organismos viven en un ambiente térmico, en un constante intercambio de energía con el medio



- ☉ evaporación
- ☉ conducción
- ☉ convección
- ☉ radiación térmica



Las plantas experimentan un **amplio rango de temperaturas** desde su raíz hasta la copa, y además cada una de sus partes está expuesta a una temperatura distinta a lo largo del día

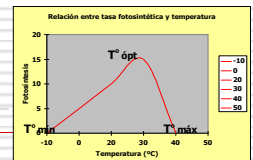
La **temperatura interna** de una planta está influida por la absorción del calor ambiental y por su pérdida hacia el medio

Una parte de la radiación absorbida se utiliza en la **fotosíntesis**, el resto calienta las **hojas** de las plantas y el aire circundante

La cantidad de energía que absorbe una planta depende:

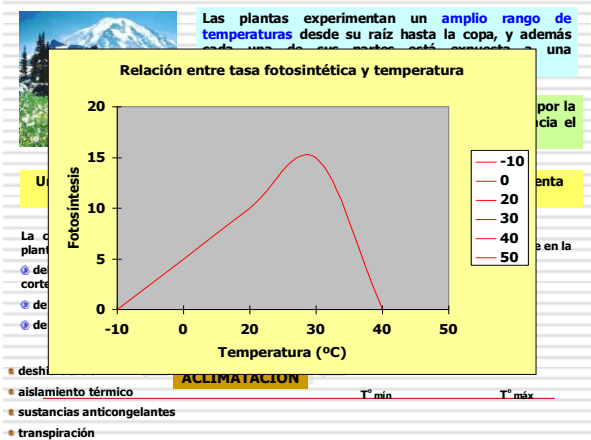
- del índice de reflexión de las hojas y la corteza,
- de la orientación de sus hojas,
- de la forma y tamaño de las mismas

La temperatura de las hojas influye en la actividad fotosintética



- deshidratación
- aislamiento térmico
- sustancias anticongelantes
- transpiración

### ACLIMATACIÓN



## Temperatura y respiración (Q10)

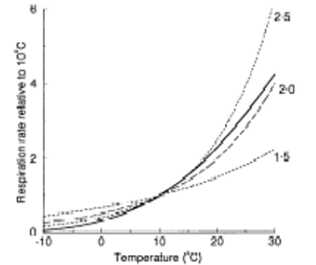


Fig. 7. The relationship between respiration rate and leaf temperature for  $Q_{10}$  of 1.5, 2.0 and 3.0 and (solid line) the relationship given in equation 12.

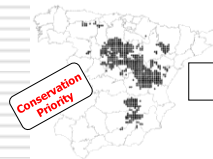
## Not all species are threatened

- Climate change is not a threat for certain species (at least in the short-term)
- The case of the Spanish juniper



## The Spanish Juniper

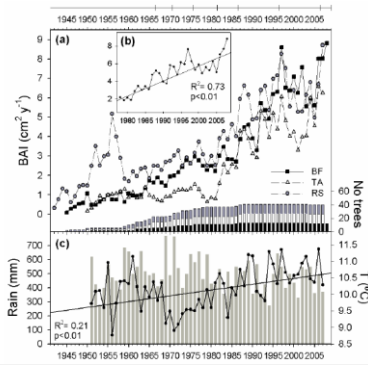
- Relict distribution.
- Dioecious, wind-pollinated and animal dispersed (small mammals and thurds).
- Cold and dry climate.
- Shallow, poorly developed soils (either acidic or calcareous).



- Low competitive ability: it establishes only where no other species does.
- Strong bottlenecks to establishment: germination and survival.
- Unfavoured by abandonment of traditional uses.
- It is found in 1000-1500 m plateaus so it cannot migrate!

Gastón & Soriano 2006; Montesinos *et al.* 2006, 2007.

## Warming temperatures, increased growth



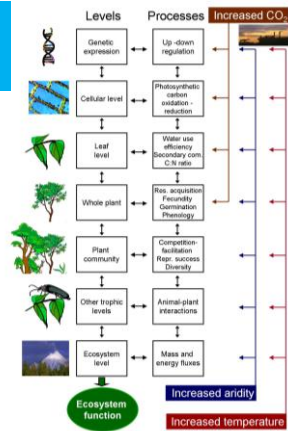
Gimeno, Valladares et al 2010

## ... LOS PROBLEMAS VENDRAN CON LA SEQUÍA

Cambio climático

## RESPUESTAS FOTOSINTESIS & RESPIRACION

### Responses at different scales



Valladares 2008

## La vegetación responde al clima

### □ ... pero el clima responde a la vegetación...

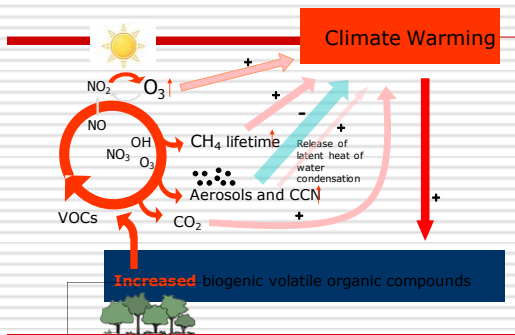
- Bien conocido con las nubes de evolución diurna, las tormentas de verano
- En zonas de lluvias convectivas (costa Mediterraneo, Amazonas), el bosque genera lluvias, la deforestación genera sequía

## La vegetación responde al clima

### □ ... pero el clima responde a la vegetación...

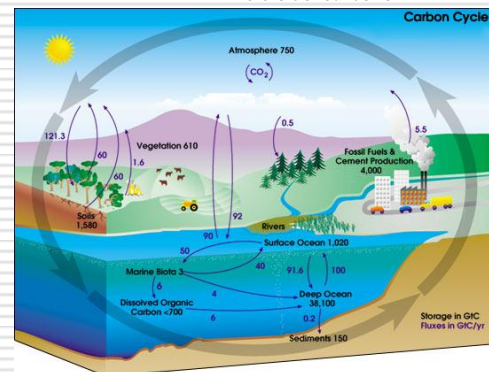
- Ciclos autocalíticos o retroalimentación positivos: en zonas con nieve, fusión de la nieve por calor, disminuye el albedo que genera mas calor
- El calor genera crecimiento de vegetación que absorbe mas calor

### Effects of increased BVOCs on atmospheric chemistry and climate

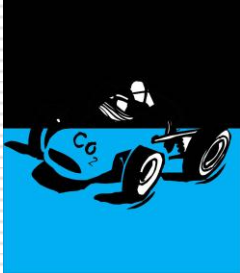


Courtesy of J. Peñuelas

### El ciclo del carbono



## El Carbono acelerado



## El destino de las emisiones de CO<sub>2</sub> (2000-2005)

48% of all CO<sub>2</sub> emissions accumulated in the atmosphere



### The Airborne Fraction

The fraction of the annual anthropogenic emissions that remains in the atmosphere

52% were removed by natural sinks

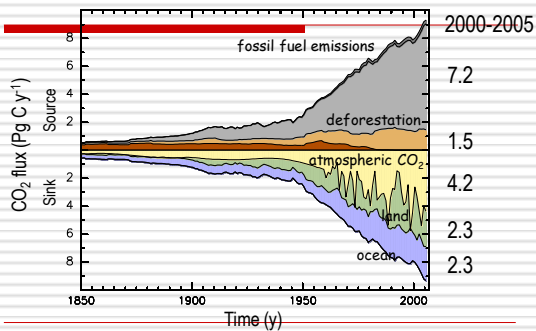
Oceans remove – 26%

Land removes – 26%



Canadell et al. 2007, PNAS, in review

## Balance de carbono global (1850-2005)



Canadell et al. 2007, PNAS, in review

## Beneficios de los sumideros de CO<sub>2</sub>

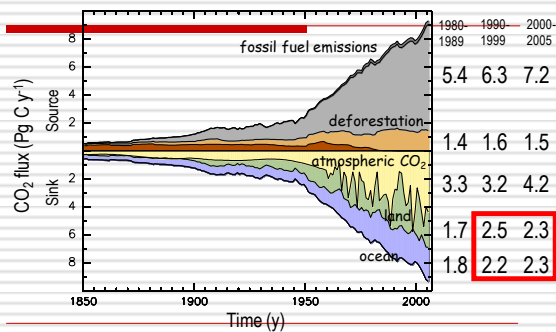
- Los sumideros naturales de CO<sub>2</sub> son un servicio planetario que constituyen una **reducción de emisiones del 52%**, equivalente a **US\$ 300 Billones anuales** si tuvieramos que crearlos a través de medidas de mitigación (asumiendo \$20/ton CO<sub>2</sub>-equivalentes).
- Si no tuviéramos los sumideros naturales, la [CO<sub>2</sub>] estaría creciendo a 4 ppm y<sup>-1</sup> (en vez de 2 ppm y<sup>-1</sup>).

**Factores que influyen en la fracción atmosférica**

1. Tasa de emisiones de CO<sub>2</sub>.
2. La tasa de absorción de CO<sub>2</sub> y la cantidad total de C que puede almacenarse en los sistemas terrestres y Océanos:
  - Terrestre: alto CO<sub>2</sub>, respiración del suelo, fertilización de deposición de N, regeneración de los bosques, etc ...
  - Océanos: solubilidad del CO<sub>2</sub> (temperatura, salinidad), corrientes oceánicas, estratificación, vientos, fertilización de CO<sub>2</sub>, acidificación, ...

Canadell et al. 2007, Springer; Gruber et al. 2004, Island Press

**Balance de carbono global (1850-2005)**



IPCC 2001; Canadell et al. 2007, PNAS, in review; IPCC WGI 2007, unpublished comparison

**Aceleración concentración de CO<sub>2</sub> (2000-2005)**

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 - 2005: 2.0 ppm y <sup>-1</sup>

- 83% - Increased activity of the global economy
- 9% - Deterioration of the carbon intensity of the global economy
- 8% - Decreased efficiency of natural sinks

Canadell et al. 2007, PNAS, in review

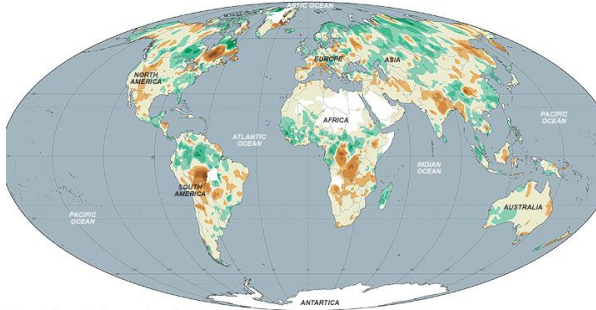
**Disminución del sumidero oceánico**



- Southern Ocean is a net carbon sink of 0.3±0.2 Pg y<sup>-1</sup>
- The net sink has decreased by 0.03 PgC y<sup>-10</sup> between 1981 and 2004 (a reduction of up to 30%).
- The decrease is attributed to the strengthening of the winds around Antarctica which enhances ventilation of natural carbon-rich deep waters.
- The strengthening of the winds is attributed to global warming.

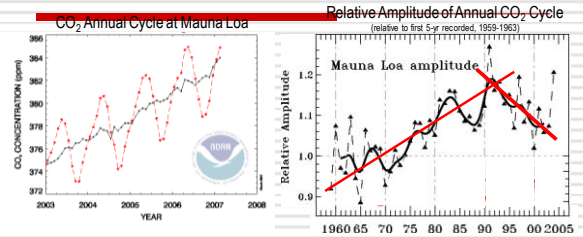
Lequere et al 2007, Science

### National Geographic mapas Oct 2007



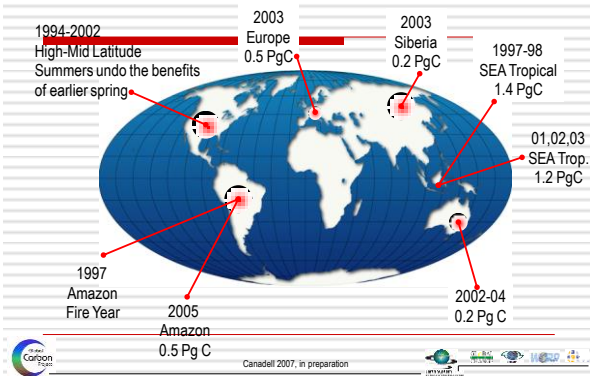
Percent Change in Average Annual Precipitation, 1976-2005

### Cambios en la amplitud anual del ciclo del CO2



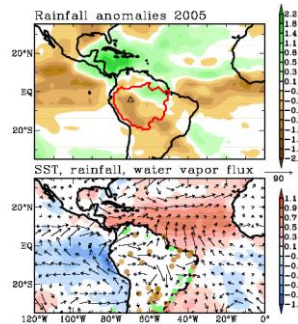
Buermann et al. 2007, PNAS

### Emisiones de carbono por sequia (1994-2005)



Canadell 2007, in preparation

### La sequía del Amazonas en 2005

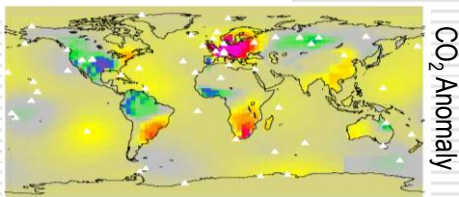
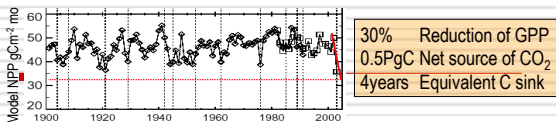


- Probably the worst drought ever outside of an El Niño year.
- The lowest river stage in the 25 year data period for the upper Amazon
- 0.5 Pg C released (equivalent to the sink of the world's tropics)

Ning et al. 2007, submitted; Nepsted et al. 2007, in preparation

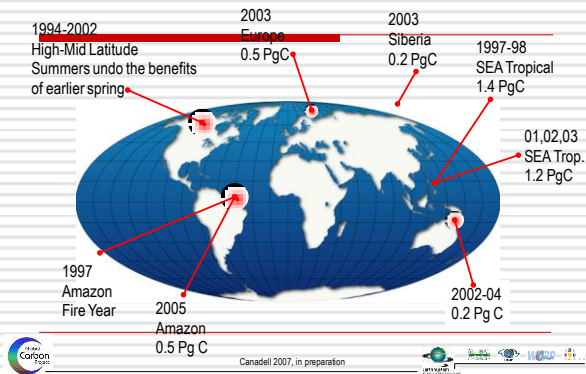


### La ola de calor de 2003: la mayor crisis de productividad planetaria de los últimos 100 años



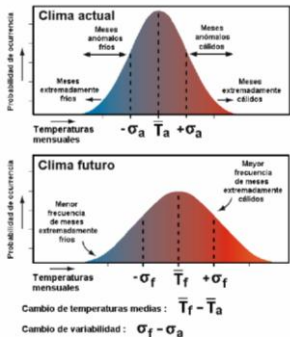
Ciais et al. 2005, Nature, Peylin et al., unpublished

### Emisiones de carbono por sequía (1994-2005)



Canadell 2007, in preparation

### Otros cambios climáticos: amplitud y variación



### Libros de ciencia ficción muy actuales

Da la casualidad de que pasé el verano de 2003 en el suroeste de Francia, y lo encontré perfectamente soportable, aunque resulta evidente que para algunos fue difícil. Es costumbre en Francia



... mundo más...  
 ... más frío pero más...  
 ... la alternativa del calentamiento global...  
 ... el Consejo...  
 ... el verano de 2003...  
 ... 15.000 personas...  
 ... el verano de Francia...  
 ... el verano de Francia...  
 ... el verano de Francia...

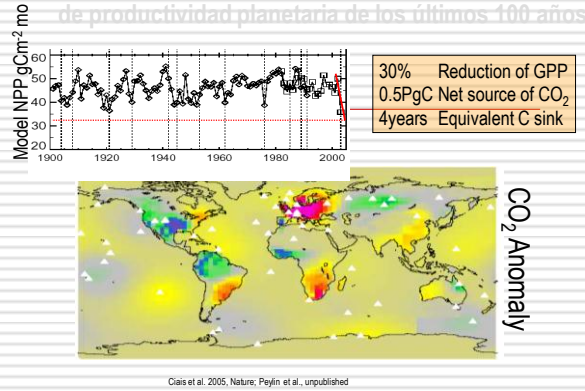
“Una mirada fría sobre el calentamiento global”  
 Nigel Lawson.



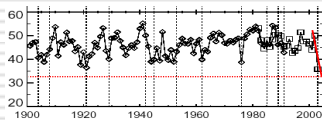
## El verano de 2003... en datos

1. Un artículo en Nature demuestra su conexión con el cambio climático a pesar de ser un evento aislado
2. Mató a más de 35.000 europeos, a pesar de la dificultad de atribuir causas últimas a la mortandad humana
3. Fue la mayor crisis de productividad planetaria en el último siglo de datos y estimas

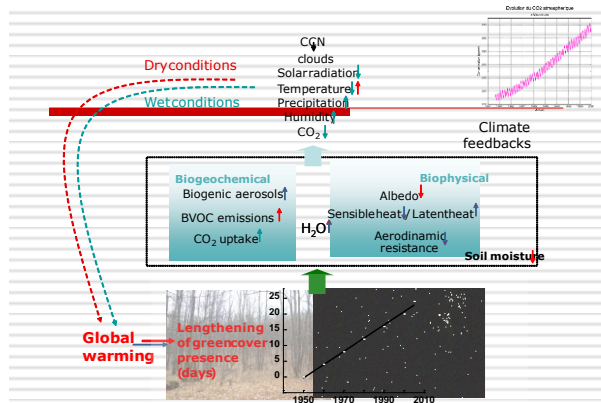
## La ola de calor de 2003: la mayor crisis de productividad planetaria de los últimos 100 años



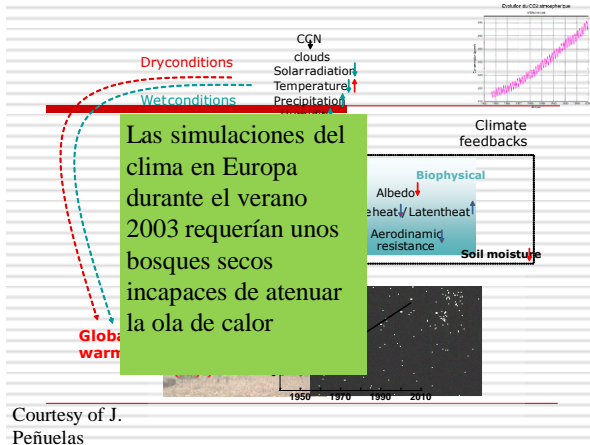
Ciais et al. 2005, Nature; Peylin et al., unpublished



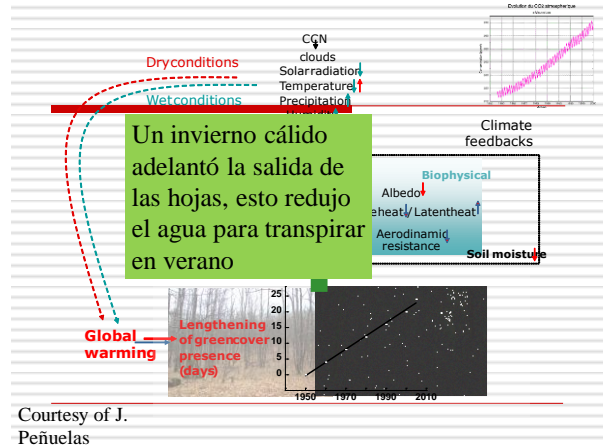
**9 AÑOS DESPUES ENTENDEMOS UN POCO LO QUE PASO EN 2003...**



Courtesy of J. Peñuelas

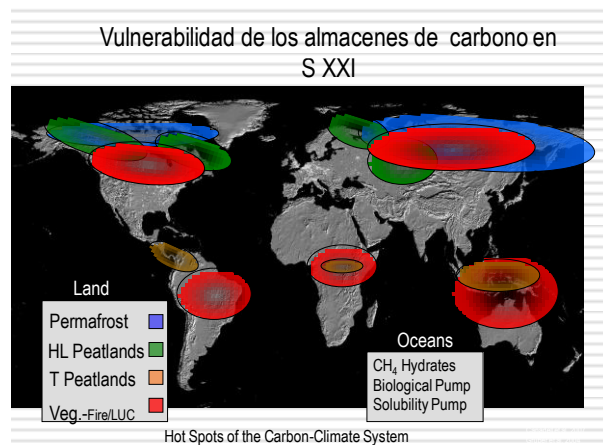


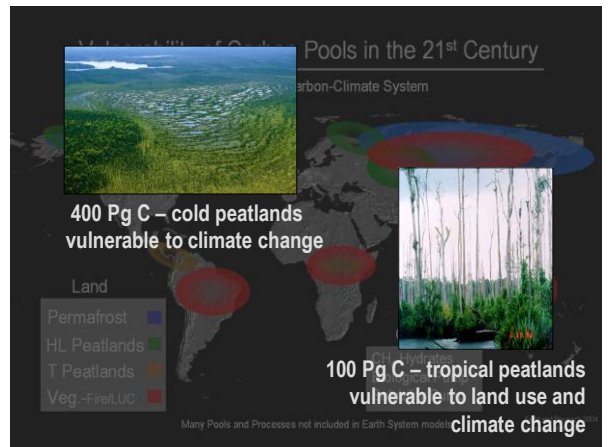
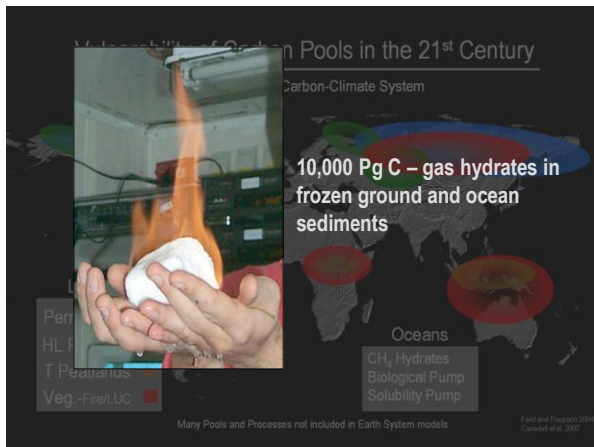
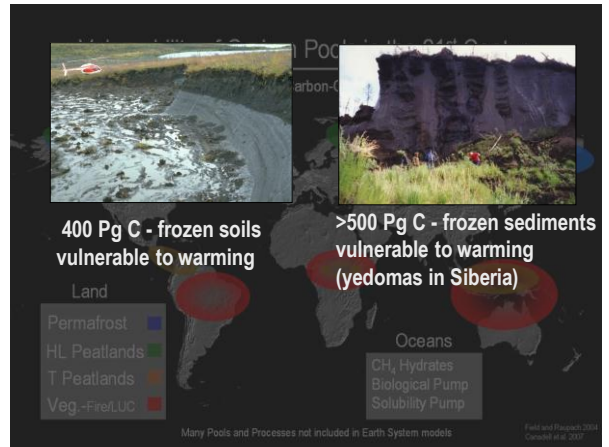
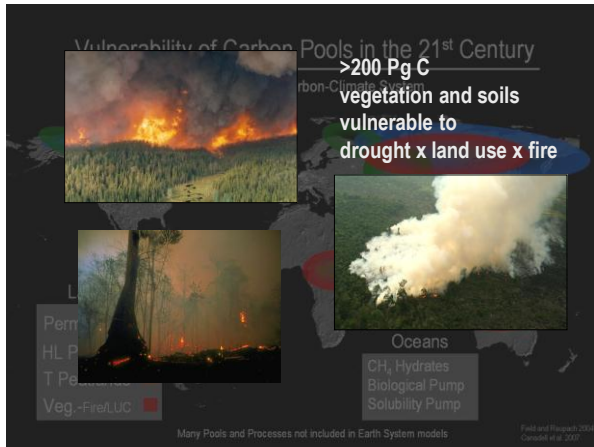
Courtesy of J. Peñuelas



Courtesy of J. Peñuelas

# ALMACENES (STOCKS)





### Conclusiones sobre sumideros I

- ❑ Desde 2000, el crecimiento de las emisiones antropogénicas se ha triplicado (comparado al 1990s).
- ❑ Desde 2000, la concentración de CO<sub>2</sub> esta creciendo a 2 ppm por año (comparado a 1.5 ppm durante los previos 30 años).
- ❑ Desde 2000, la intensidad de carbono de la economía mundial ha empezado a incrementar (después de 30 años de decrecer).
- ❑ El resultado es que las emisiones actuales estan siguiendo las trayectorias mas intensas de C del IPCC, moviéndonos mas alla de los escenarios de estabilización de 550 ppm.



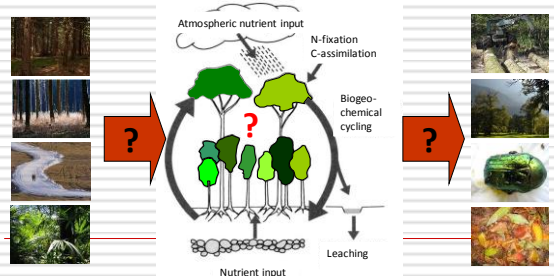
### Conclusiones sobre sumideros II

- ❑ Durante los últimos 50 años, la eficiencia de los sumideros naturales que absorben CO<sub>2</sub> antropogénico ha decrecido, una característica no reproducida en muchos de los modelos climáticos.
- ❑ Durante los últimos 6 años, ni el sumidero oceánico ni el terrestre han crecido como se esperaba. Causas: vientos mas fuertes en el Océano Sur y sequía en ecosistemas terrestres.
- ❑ Todos estos cambios caracterizan un ciclo de carbono que esta generando un forzamiento climático mas fuerte y rápido de lo esperado.



## BOSQUES (ALMACENES Y SUMIDEROS)

- What are the impacts of global changes for forest biodiversity and ecosystem functioning?
- What is the functional role of biodiversity in forests?
- What are the consequences for ecosystem services?



## Bosques como almacenes (stocks) y sumideros (sinks)

- NPP (Net Primary Production)
- NEE (Net Ecosystem Exchange)
- GPP (Gross Primary Production)
- Ra (Autotrophic Respiration)
- Rh (Heterotrophic Respiration)



## Balances

- $NPP = GPP - Ra$
- $NEE = GPP - Ra - Rh = NPP - Rh$

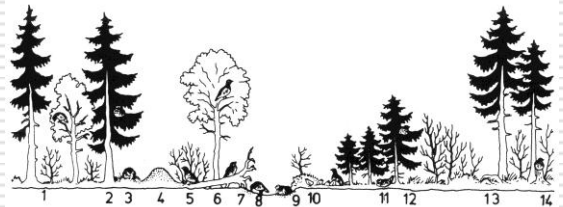


Fases de un bosque -plantación



## Rotación, corta, plantación

- Acumulación de biomasa en suelo
  - Raíces y parte viva del suelo
  - Madera muerta, carbono orgánico



## Una gran duda...

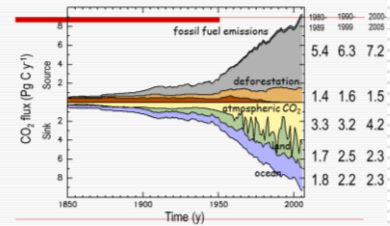
- ¿ Por qué los bosques incluso los que están en equilibrio desde hace mucho tiempo siguen siendo sumideros de carbono?

- $NEE > 0$



## ¿No es una contradicción?

Balance de carbono global (1850-2005)

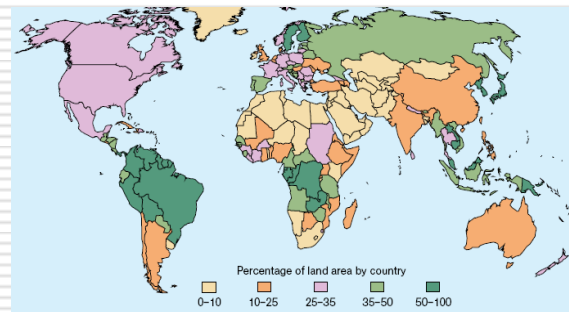


## Perturbaciones + exportación

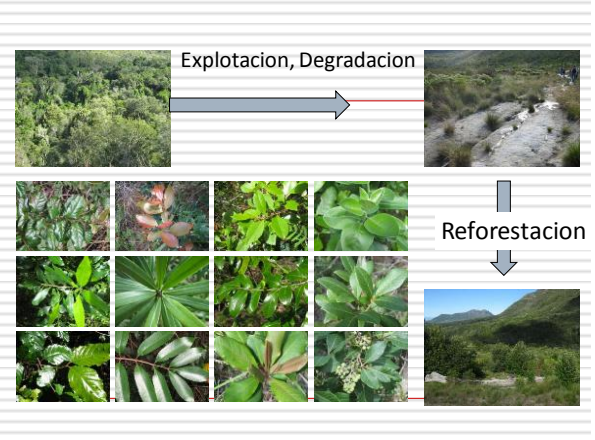
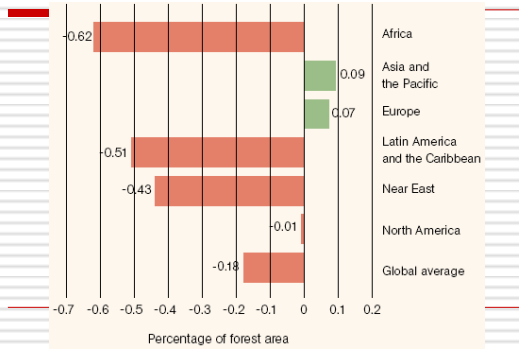
- Naturales y artificiales
- Afectan a parte aérea y subterránea



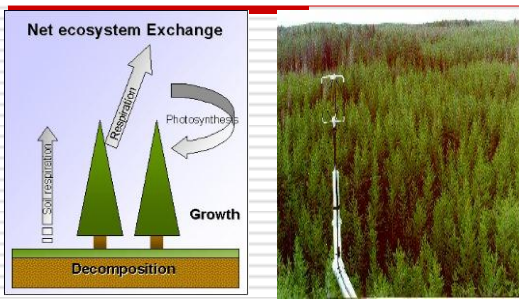
## Area forestal



### Cambio neto anual (%) 2000-2005

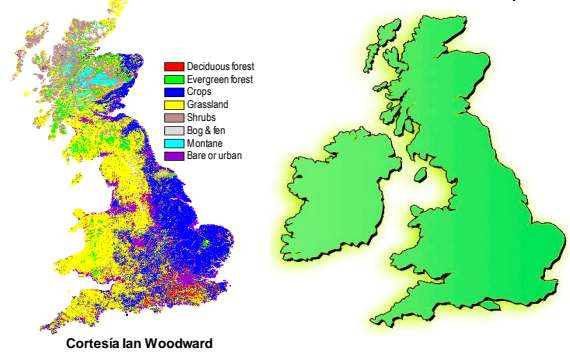


### Gestionar los flujos naturales de CO<sub>2</sub>



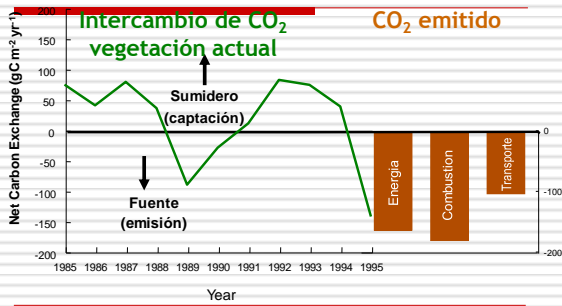
### Plantar árboles para captar el CO<sub>2</sub> de la atmósfera

Cubrir el Reino Unido con bosques



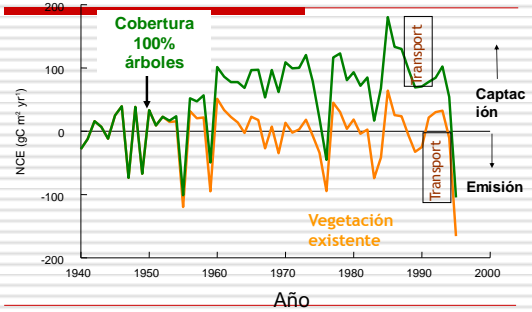


## Balace de carbono en el Reino Unido



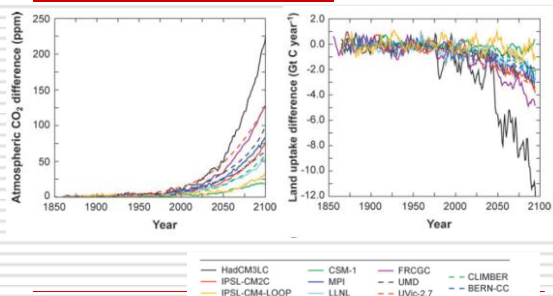
Cortesía Ian Woodward

## Efecto de plantar todo el Reino Unido con árboles



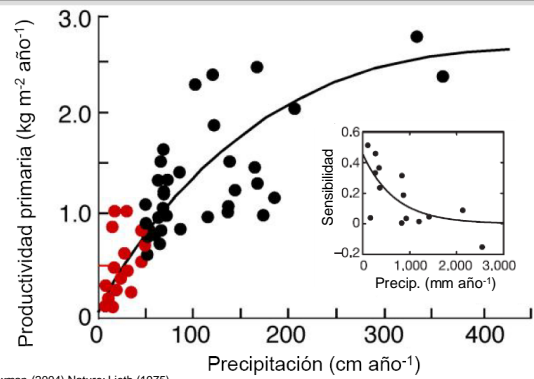
Cortesía Ian Woodward

## Incertidumbres en la respuesta de los ecosistemas al cambio climático



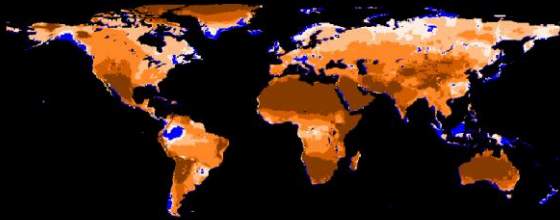
Luo (2007) Ann. Rev. Ecol. Evol. Syst.

## Limitaciones hídricas a la productividad terrestre



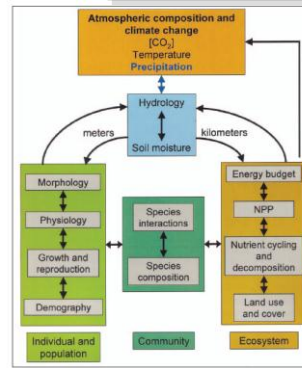
Huxman (2004) Nature; Lieth (1975)

### Limitaciones hídricas en ecosistemas terrestres



Número de meses con Precipitación < Evapotranspiración Potencial  
 Azul = Nunca  
 Naranja más oscuro = Mayor número de meses (1-12)  
 Datos de Ahn y Tateishi 1994; Cramer in prep.

### Efectos de la precipitación

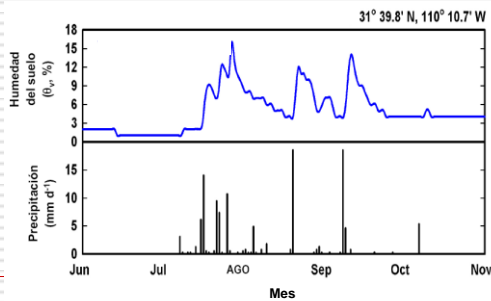


El balance hídrico como integrador de cambios ecológicos y climáticos

Weltzin (2003) BioScience

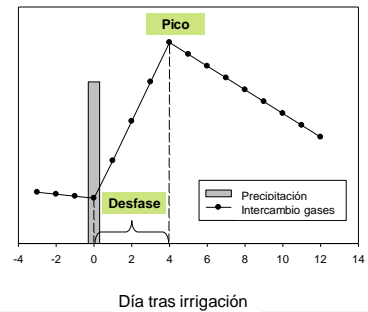
### Disponibilidades hídricas en sistemas semiáridos

1.- "Pulsos" discretos de precipitación



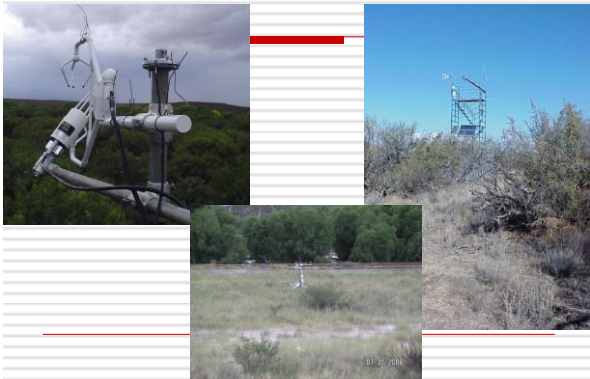
### ¿Qué determina la respuesta del intercambio gaseoso a pulsos de lluvia?

**Hipótesis:** gran control de condiciones antecedentes sobre la "respuesta al pulso"

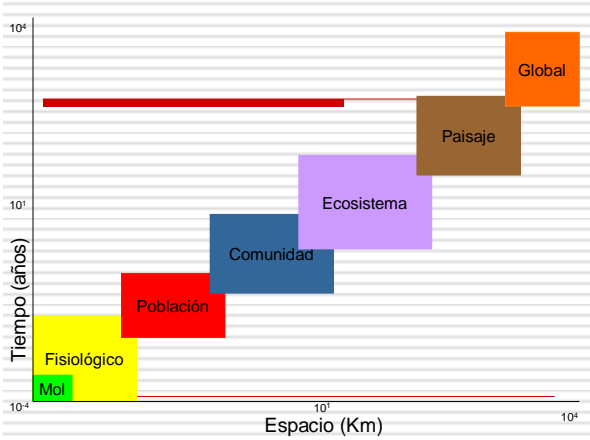
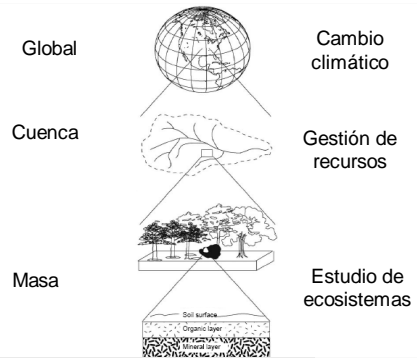


Huxman 2004 Oecologia  
 Ogle 2004 Oecologia  
 Reynolds 2004 Oecologia  
 Schwinning 2004 Oecologia

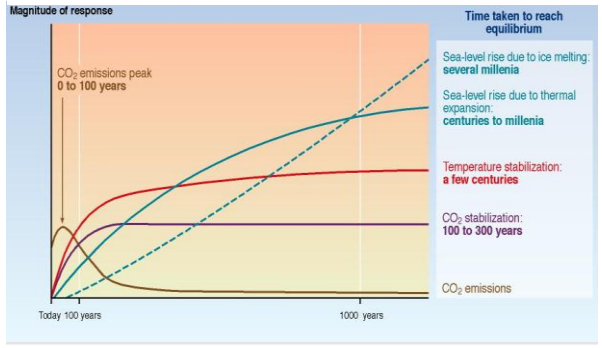
### Mediciones de flujos a escala de ecosistema



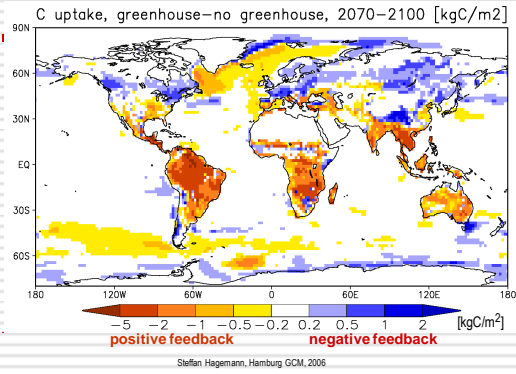
### Marco de implicaciones



La concentración de CO<sub>2</sub>, la temperatura y el nivel del mar continuarán aumentando incluso bastante tiempo después de que la emisiones disminuyan

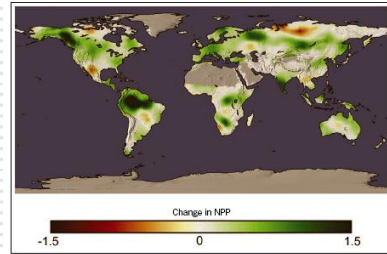


Space Representation of the Carbon-Climate Feedback



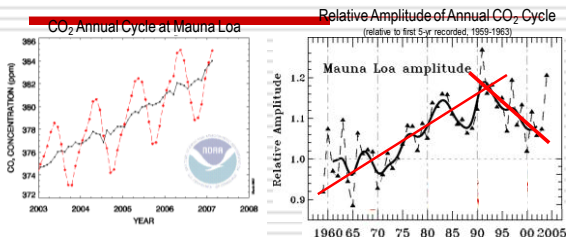
Trend in Net Primary Productivity Anomalies

NDVI Anomaly 1981-1999  
[Normalized Difference Vegetation Index]



Running et al. 2004, Bioscience

Changes in the Amplitude of the Annual CO<sub>2</sub> Cycle



¿Por qué el latido anual de CO<sub>2</sub>?

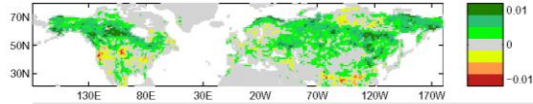
□ ¿por qué la Tierra tiene un máximo y un mínimo anuales de CO<sub>2</sub>?



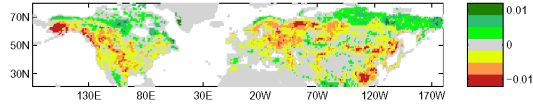
### Drought Effects on the Mid-Latitude Carbon Sink

NDVI Anomaly 1982-2004  
[Normalized Difference Vegetation Index]

Summer 1982-1991



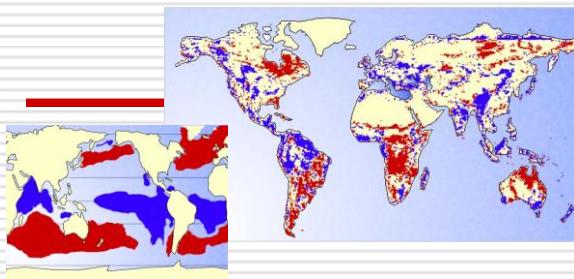
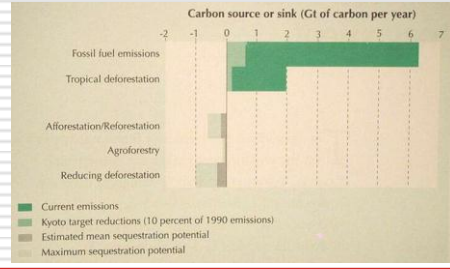
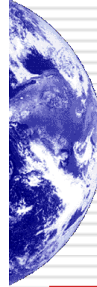
Summer 1994-2002/04



Angert et al. 2005, PNAS; Buermann et al. 2007, PNAS

### ¿Fuente o sumidero?

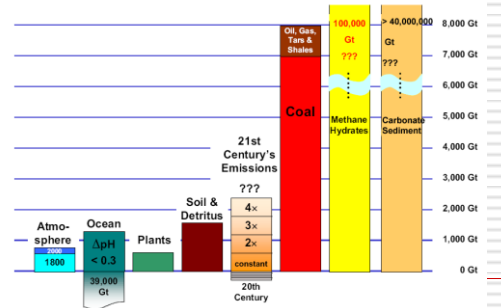
... el compromiso de Kyoto



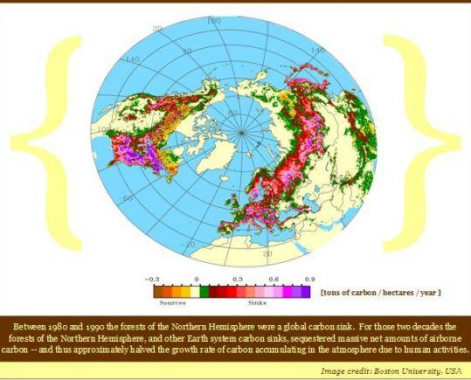
En el año 2001, regiones que fueron fuente de CO2 hacia la atmósfera (en azul) y regiones que fueron sumideros de CO2 (en rojo), según estimaciones de la NASA a partir de estudios satelitarios sobre la actividad vegetativa. Es interesante anotar que la cuenca del Amazonas ("pulmón del Planeta" según el tópico) consumió más oxígeno (por respiración y oxidación del carbono orgánico) del que produjo (por fotosíntesis).

Satellite data help predict terrestrial carbon sinks, Potter et al., 2003, EOS, 84-46

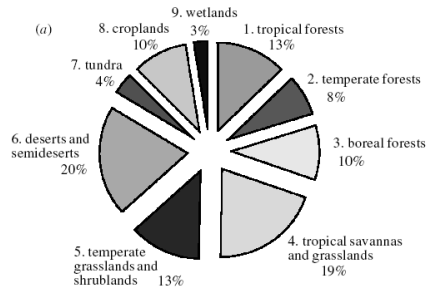
### Sumideros de carbono



### Carbon inventory changes within the Northern Hemisphere forest carbon pool from 1980 to 2000

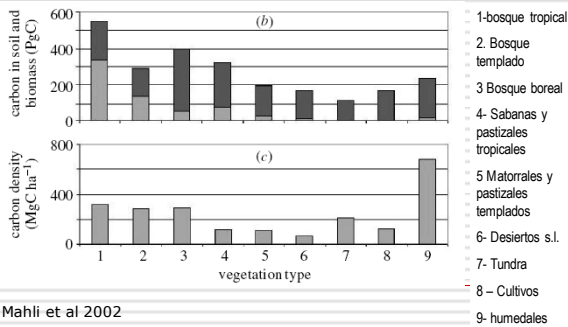


### Porcentaje en área de los tipos de vegetación



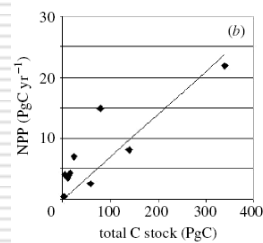
Mahli et al 2002

### Cantidad de carbono en suelos (oscuro) y vegetación (claro)



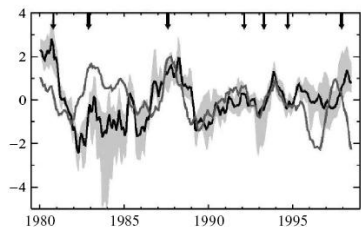
Mahli et al 2002

### La vegetación mas productiva almacena mas carbono



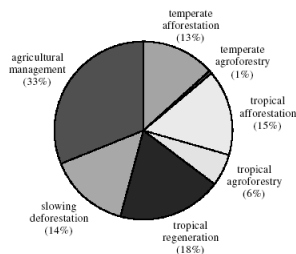
Mahli et al 2002

## Los trópicos, fuente de CO<sub>2</sub> en los eventos El Niño

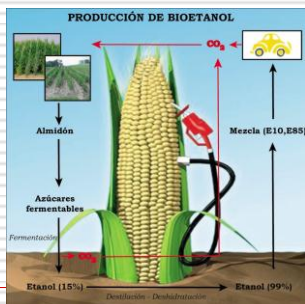


- Solid black line, time-series of the carbon balance of tropical land regions (20° N to 20° S), inferred from an inversion at global atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations with an estimate of uncertainty (grey shading). The dark-grey line shows the carbon balance inferred from a biogeochemical model, which does not include deforestation. The tropics tend to be a major source of carbon in El Niño years, which are indicated by arrows. Most of the interannual variation in the terrestrial carbon balance is localized in the tropics (from Bousquet *et al.* 2000).

## Contribución relativa como sumidero de actuaciones sobre ecosistemas terrestres (100 Pg C)



## La polémica de los biocombustibles



## Protocolo de Kyoto: emisiones, pero no stocks; y no incluye los mares

Because growing vegetation absorbs [carbon dioxide](#), the [Kyoto Protocol](#) allows countries that have large areas of forest (or other vegetation) to deduct a certain amount from their emissions, thus making it easier for them to achieve the desired net emission levels.

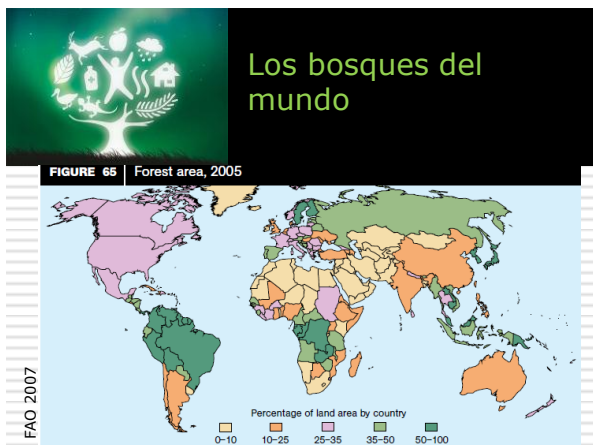
- Some countries seek to trade emission rights in carbon emission markets, purchasing the unused carbon emission allowances of other countries. If overall limits on greenhouse gas emission are put into place, [cap and trade](#) market mechanisms are purported to find cost-effective ways to reduce emissions.<sup>[1]</sup> There is as yet no [carbon audit regime](#) for all such markets globally, and none is specified in the Kyoto Protocol. National carbon emissions are self-declared.
- In the [Clean Development Mechanism](#), only [afforestation](#) and [reforestation](#) are eligible to produce [carbon audit regimes](#) (CERs) in the first commitment period of the Kyoto Protocol (2008–2012). Forest conservation activities or activities avoiding [deforestation](#), which would result in emission reduction through the conservation of existing carbon stocks, are not eligible at this time.<sup>[2]</sup> Also, agricultural carbon sequestration is not possible yet.<sup>[3]</sup>

## 2011: El Año Internacional de los Bosques

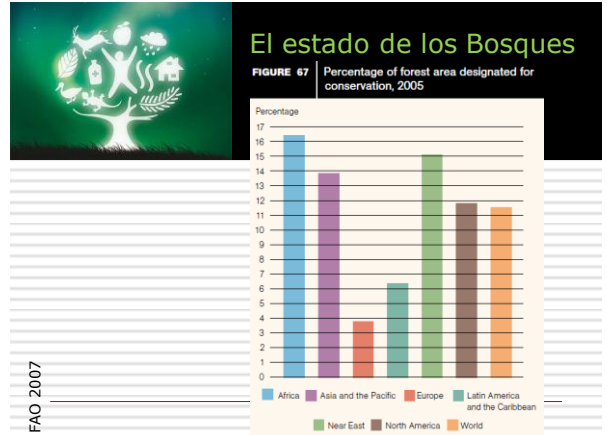
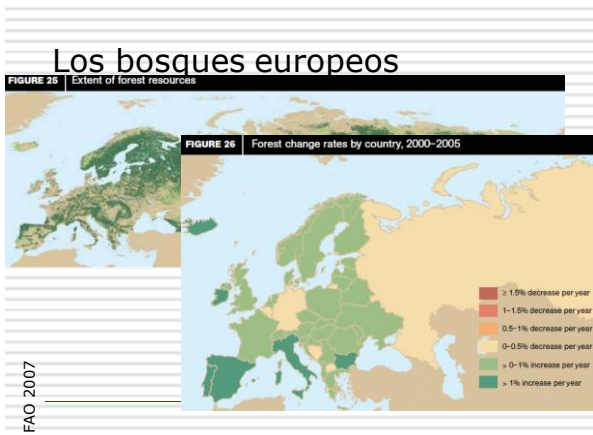
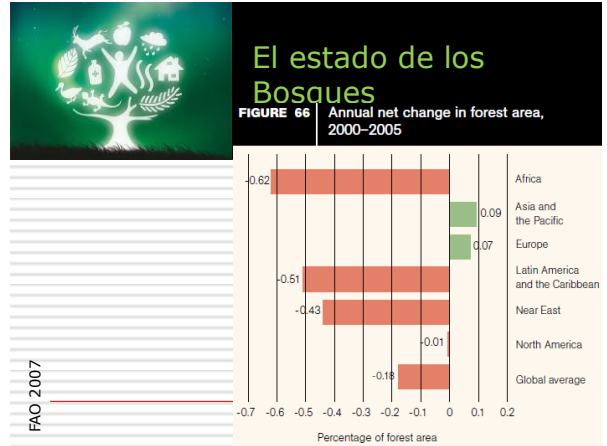
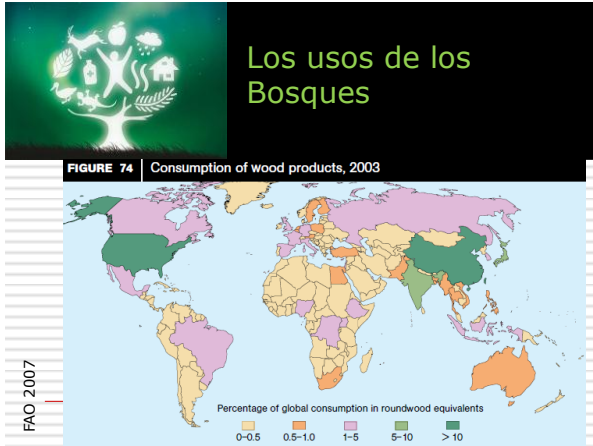
Declarado **Año Internacional de los Bosques** por las Naciones Unidas al reconocer que estos ecosistemas y su ordenación sostenible contribuyen al desarrollo, la erradicación de la pobreza y el logro de los objetivos de desarrollo del Milenio.



- ❑ Los bosques, que representan más del 30 por ciento del territorio y contienen el 80 por ciento de la biodiversidad del planeta, pierden anualmente trece millones de hectáreas, una superficie equivalente a la cuarta parte de la península ibérica.
- ❑ Las causas son: sobreexplotación y tala ilegal, la conversión a tierras agrícolas y ganaderas, recolección insostenible de madera, gestión inadecuada de la tierra, creación de asentamientos humanos, explotaciones mineras y petrolíferas o la construcción de embalses y carreteras, entre otras.
- ❑ Por ello, el lema elegido para la campaña es "**Los bosques, para las personas**", con el objetivo de resaltar el papel fundamental de los seres humanos en la protección de los bosques, hogar de 300 millones de personas en el mundo, especialmente pueblos indígenas que están también amenazados







## Los bosques en España

- España tiene 14,4 millones de hectáreas de bosques, el cuarto de Europa con mayores recursos forestales después de Suecia, Finlandia y Francia.
- El 88% de la superficie forestal de España tiene como función principal la protección contra la erosión del suelo y la **desertificación**, así como la regulación del ciclo hidrológico.
- Sólo el 12% son bosques productivos, que suministran gran parte de la madera que consume España.



## Soils

- **Soils** represent a short to long-term carbon storage medium, and contains more carbon than all terrestrial vegetation and the atmosphere combined.<sup>[14]</sup> **Plant litter** and other **biomass** accumulates as **organic matter** in soils, and is degraded by **chemical weathering** and **biological degradation**. More recalcitrant **carbon polymers** such as **cellulose**, **hemicellulose**, **lignin**, aliphatic compounds, waxes and **terpenoids** are collectively retained as **humus**.<sup>[15]</sup> Organic matter tends to accumulate in litter and soils of colder regions such as the **boreal forests of North America** and the **Laja of Russia**. **Leaf litter** and **humus** is rapidly oxidized and poorly retained in **sub-tropical** and **tropical** climatic conditions due to high temperatures and extensive leaching by rainfall. Areas where **shifting cultivation** or **slash and burn** agriculture are practiced are generally only fertile for 2–3 years before they are abandoned. These tropical jungles are similar to coral reefs in that they are highly efficient at conserving and circulating necessary nutrients, which explains their lushness in a nutrient desert (**carbon sequestration**). The mass of **organic carbon** retained in many agricultural areas worldwide have been severely depleted due to intensive **farming practices**.
- **Grasslands** contribute to **soil organic matter**, mostly in the form of their extensive fibrous root mats. Due in part to the climatic conditions of these regions (e.g. cooler temperatures and semi-arid to arid conditions), these soils can accumulate significant quantities of organic matter. This can vary based on variances in rainfall, the length of the winter season, and the frequency of naturally occurring lightning-induced grass-fires. While these fires release carbon dioxide, they improve the quality of the grass-lands overall, in turn increasing the amount of carbon retained in the retained humic material. They also deposit carbon directly to the soil in the form of **char** that does not significantly degrade back to carbon dioxide.
- Forest fires release absorbed carbon back into the atmosphere, as does deforestation due to rapidly increased oxidation of soil organic matter. (**Carbon sequestration**)
- Organic matter in **peat** bogs undergo slow **anaerobic decomposition** below the surface of the bog. This process is slow enough that in many cases the bog grows rapidly and **traps** more carbon from the atmosphere than is released. Over time, the peat grows deeper. Peat bogs inter approximately one-quarter of the carbon stored in land plants and soils.<sup>[16]</sup>
- Under some conditions, forests and peat bogs may become sources of CO<sub>2</sub>, such as when a forest is flooded by the construction of a hydroelectric dam. Unless the forests and peat are harvested before flooding, the rotting vegetation is a source of CO<sub>2</sub> and **methane** comparable in magnitude to the amount of carbon released by a fossil-fuel powered plant of equivalent power.<sup>[17]</sup>

## Soils

- Since the 1850s, a large proportion of the world's grasslands have been tilled and converted to croplands, allowing the rapid oxidation of large quantities of soil organic carbon. However, in the United States in 2004 (the most recent year for which EPA statistics are available), agricultural soils including pasture land sequestered 0.8% (46 teragrams<sup>[18]</sup>) as much carbon as was released in the United States by the combustion of fossil fuels (5988 teragrams<sup>[19]</sup>). The annual amount of this sequestration has been gradually increasing since 1998<sup>[18]</sup>.
- Methods that significantly enhance carbon sequestration in soil include **no-till farming**, residue mulching, **cover cropping**, and **crop rotation**, all of which are more widely used in **organic farming** than in conventional farming.<sup>[26][29]</sup> Because only 5% of US farmland currently uses no-till and residue mulching, there is a large potential for carbon sequestration.<sup>[30]</sup> Conversion to pastureland, particularly with good management of grazing, can sequester even more carbon in the soil.
- **Terra preta**, an **anthropogenic**, high-carbon soil, is also being investigated as a sequestration mechanism. By **pyrolysing** biomass, about half of its carbon can be reduced to **charcoal**, which can persist in the soil for centuries, and makes a useful soil amendment, especially in tropical soils (**biochar** or **agrichar**).<sup>[31][32]</sup>

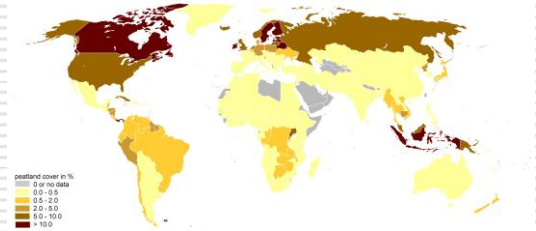
## Forests

- Forests are carbon stores, and they are carbon dioxide sinks when they are increasing in density or area. In Canada's **boreal forests** as much as 80% of the total carbon is stored in the soils as dead organic matter.<sup>[12]</sup> **Tropical rainforests** can mitigate global warming until all available land has been reforested with mature forests. However, the global cooling effect of carbon sequestration by forests is partially counterbalanced in that reforestation can decrease the reflection of sunlight (**albedo**). Mid-to-high latitude forests have a much lower **albedo** during **winter** seasons than flat ground, thus contributing to warming. Modeling that compares the effects of albedo differences between forests and grasslands suggests that reforestation of the land area of forests in temperate zones offers only a temporary cooling benefit.<sup>[13][14][15][16]</sup>
- In the United States in 2004 (the most recent year for which EPA statistics<sup>[17]</sup> are available), forests sequestered 10.6% (637 teragrams<sup>[11]</sup>) of the carbon dioxide released in the United States by the combustion of fossil fuels (coal, oil and natural gas; 5657 teragrams<sup>[11]</sup>). Urban trees sequestered another 1.3% (88 teragrams<sup>[13]</sup>). To further reduce U.S. carbon dioxide emissions by 7%, as stipulated by the **Sustainable Global Warming Program**, are planting millions of fast-growing trees per year to reforest tropical lands, for as little as \$0.10 per tree; over their typical 40-year lifetime, one million of these trees will fix 0.9 teragrams of carbon dioxide.<sup>[21]</sup> In Canada, reducing timber harvesting would have very little impact on carbon dioxide emissions because of the combination of harvest and forest carbon in manufactured wood products along with the regrowth of the harvested forests. Additionally, the amount of carbon released from harvesting is small compared to the amount of carbon lost each year to forest fires and other natural disturbances.<sup>[22]</sup>
- The **Intergovernmental Panel on Climate Change** concluded that "a sustainable forest management strategy aimed at maintaining or increasing forest carbon stocks, while producing an annual sustained yield of timber, fibre or energy from the forest, will generate the largest sustained mitigation benefit."<sup>[23]</sup>
- Life expectancy of forests varies throughout the world, influenced by tree species, site conditions and natural disturbance patterns. In some forests carbon may be stored for centuries, while in other forests carbon is released with frequent stand replacement fires. Forests that are harvested prior to stand-replacing events allow for the retention of carbon in manufactured forest products such as lumber. However, only a portion of the carbon removed from logged forests ends up as durable goods and buildings. The remainder ends up as sellable by-products such as pulp, paper and pallets, which often end with incineration (resulting in carbon release into the atmosphere) at the end of their lifecycle. For instance, of the 1,000 teragrams of carbon harvested from forests in Oregon and Washington (U.S) from 1900 to 1992, only 23% is in long-term storage in forest products.<sup>[24]</sup>

## Savanna

- Controlled burns on far north Australian savannas can result in an overall carbon sink. One working example is the West Arnhem Fire Management Agreement, started to bring "strategic fire management across 28,000 km<sup>2</sup> of Western Arnhem Land". Deliberately starting controlled burns early in the dry season results in a mosaic of burnt and unburnt country which reduces the area of burning compared with stronger, late dry season fires. In the early dry season there are higher moisture levels, cooler temperatures, and lighter wind than later in the dry season; fires tend to go out overnight. Early controlled burns also results in a smaller proportion of the grass and tree biomass being burnt. [33] Emission reductions of 256,000 tonnes of CO<sub>2</sub> have been made as of 2007. [34]

## Turberas



## Turberas, sumideros



- Los suelos de turba son inmensos almacenes de carbono, guardando cerca de 550Gt de carbono, una cantidad similar al disponible en las reservas de carbón de origen fósil (585 Gt), y dos veces la biomasa forestal global.

## Turberas, emisiones



- La degradación de las turberas es responsable de más de 3000 millones de toneladas de dióxido de carbono (MT/CO<sub>2</sub>) por año; cerca del 10% de todas las emisiones reportadas.
- Las turberas cubren solamente el 3% de la superficie global, pero están presentes en más de 170 países. Pese a que la mayoría de las emisiones (2000 MT/CO<sub>2</sub>) ocurren en el Sudeste Asiático, otras 1000 MT/CO<sub>2</sub> son emitidas en las turberas de otras partes del mundo.

Biome	Area (10 <sup>6</sup> ha)		Global Carbon Stocks (PgC) <sup>f</sup>						Carbon density (MgC/ha)			NPP (PgC/yr)		
	WBGU <sup>a</sup>	MRS <sup>b</sup>	WBGU <sup>a</sup>			MRS <sup>b</sup>			WBGU <sup>a</sup>	MRS <sup>b</sup>	IGBP <sup>c</sup>	Atjay <sup>a</sup>		
			Plants	Soil	Total	Plants	Soil	Total				Plants	MRS <sup>b</sup>	
Tropical forests	1.76	1.75	212	216	428	340	213	553	120	123	194	122	13.7	21.9
Temperate forests	1.04	1.04	59	100	159 <sup>e</sup>	139 <sup>e</sup>	153	292	57	96	134	147	6.5	8.1
Boreal forests	1.37	1.37	88 <sup>d</sup>	471	559	57	338	395	64	344	42	247	3.2	2.6
Tropical savannas & grasslands	2.25	2.76	66	264	330	79	247	326	29	117	29	90	17.7	14.9
Temperate grasslands & shrublands	1.25	1.78	9	295	304	23	176	199	7	236	13	99	5.3	7.0
Deserts and semi-deserts	4.55 <sup>h</sup>	2.77	8	191	199	10	159	169	2	42	4	57	1.4	3.5
Tundra	0.95	0.56	6	121	127	2	115	117	6	127	4	206	1.0	0.5
Croplands	1.60	1.35	3	128	131	4	165	169	2	80	3	122	6.8	4.1
Wetlands <sup>g</sup>	0.35	-	15	225	240	-	-	-	43	643	-	-	4.3	-
Total	15.12	14.93 <sup>h</sup>	466	2011	2477	654	1567	2221					59.9	62.6

## Terrestrial carbon stocks. IPCC