

Este trabajo tiene licencia bajo CC BY-NC-SA 4.0. Para ver una copia de esta licencia, visite:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Para materiales traducidos, le sugerimos dar crédito al autor(es) original y a (los) traductor(es).



# CURSO DE FLUJO

Junio de 2023

## ¿Por qué estás (todavía) aquí?



[www.fluxcourse.org](http://www.fluxcourse.org)



# ¡Reglas de la ciencia de Fluxcourse!

Regla 1: Sea un científico: realizar mediciones no lo convierte en un "empirista"; usar modelos no lo convierte en un "modelador"

Regla 2: Conoce bien tu disciplina

Regla 3: Respeta otras disciplinas: no esperes que los demás conozcan tu disciplina con tanto detalle como tú.

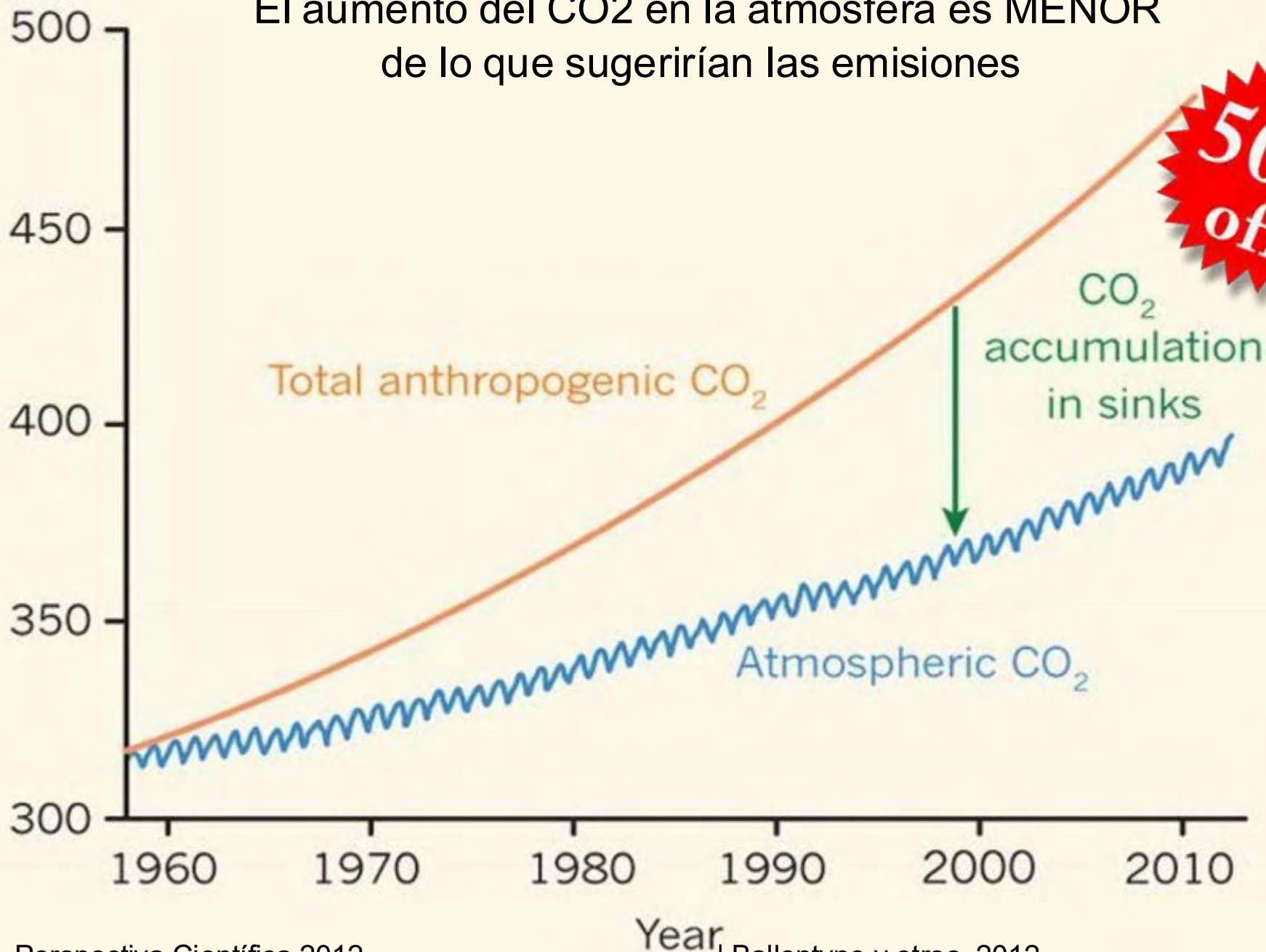
Regla 4: Explícate

Regla 5: Escucha atentamente

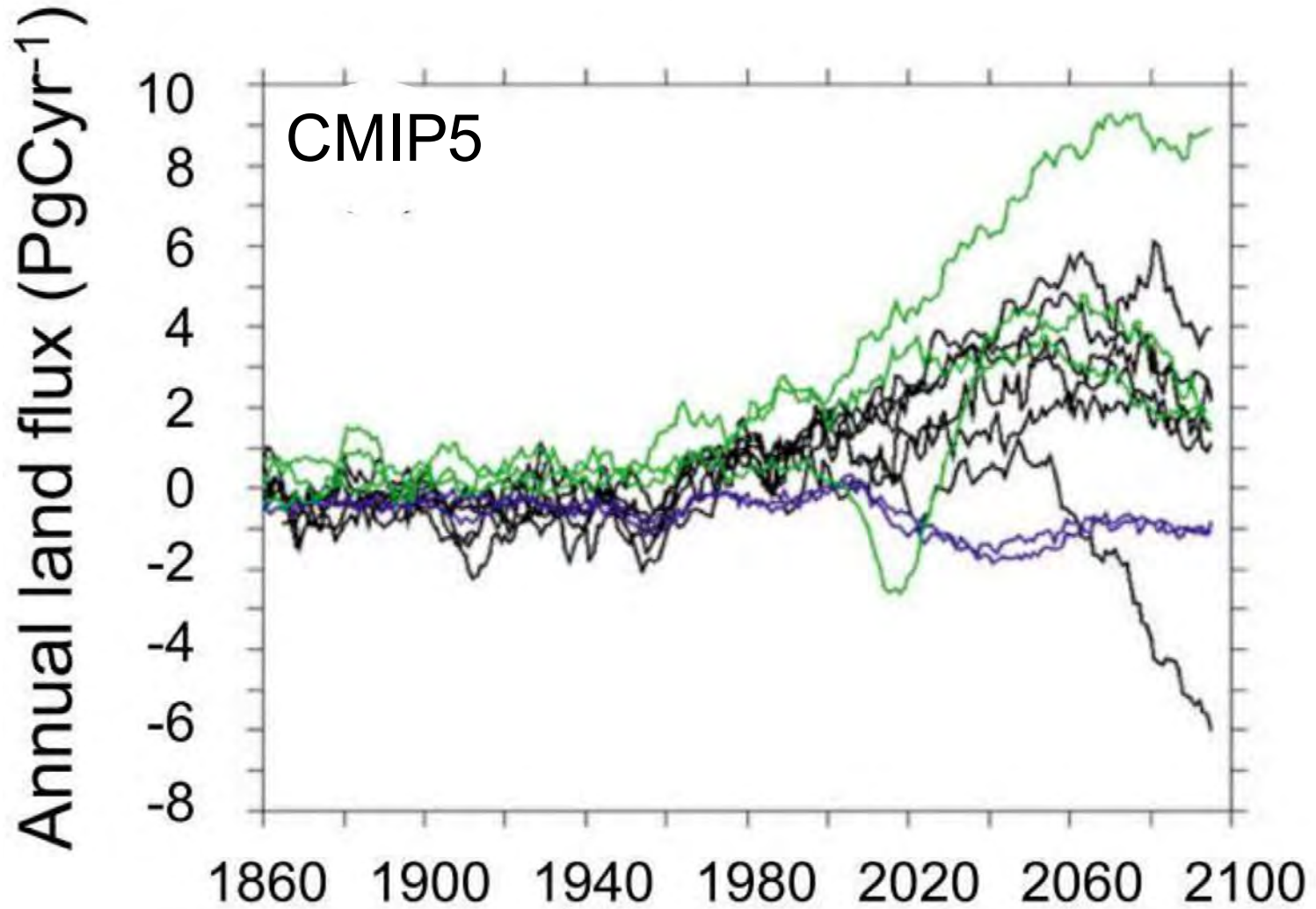
Regla 6: Trabajen juntos para resolver problemas

El aumento del CO<sub>2</sub> en la atmósfera es MENOR de lo que sugerirían las emisiones

50% off

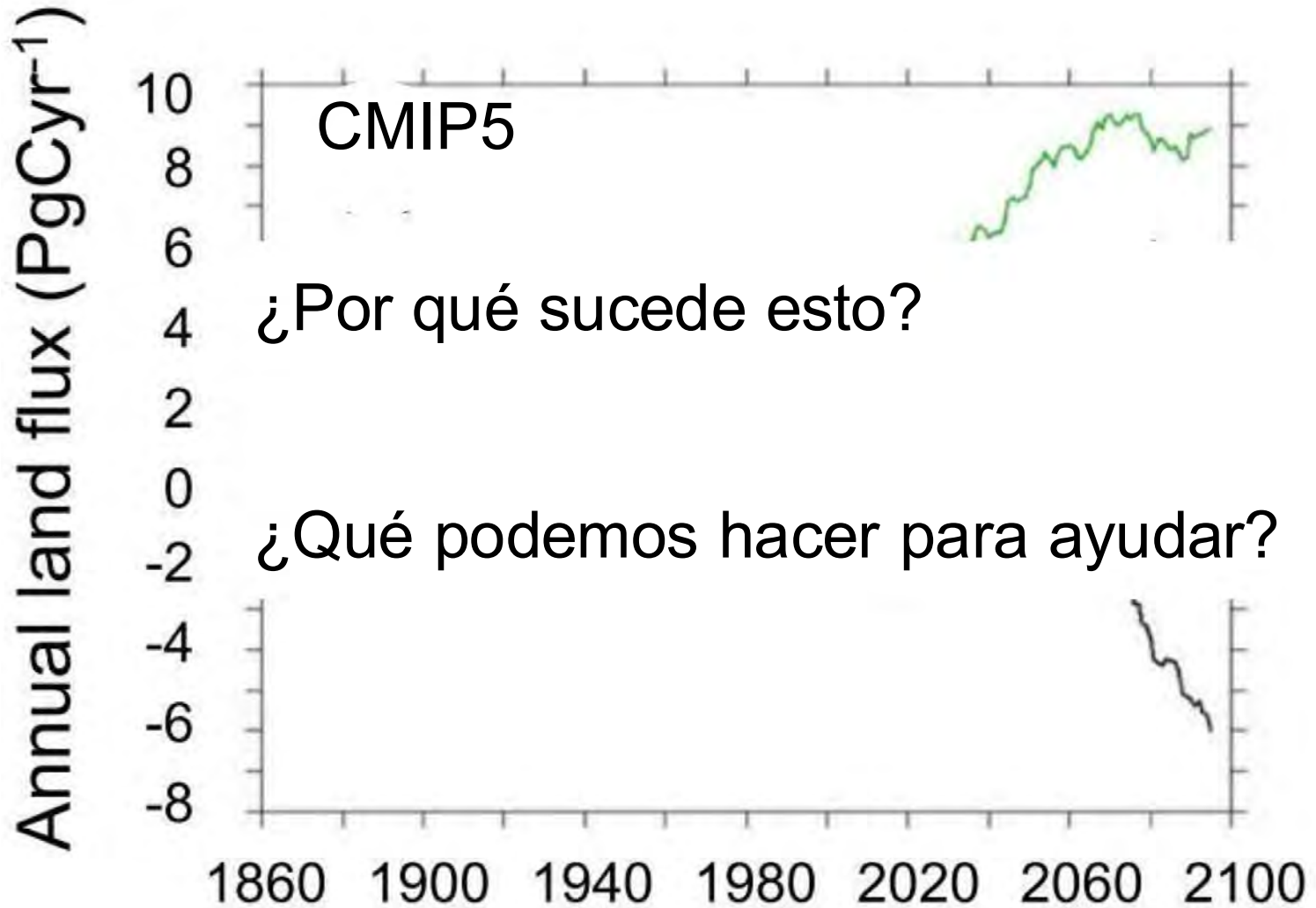


# La era del espagueti al carbono\*



\*Juego de palabras cortesía de la Dra. Sarah Ivory

# La era del espagueti al carbono\*



# Para predecir cómo funcionarán los ecosistemas en el futuro necesitamos:

- 1) Observar ecosistemas en diferentes condiciones.
- 2) Comprender cómo cambian los ecosistemas en respuesta a la variación ambiental.
- 3) Integrar estas respuestas de manera sensata utilizando modelos estadísticos o basados en procesos.

Cada uno de estos pasos requiere un conjunto de habilidades especializadas.



# Espera... ¿qué es un ecosistema?





# Ecología y ecosistemas.



# ¿Qué es un ecosistema?

- La estrecha interacción entre los componentes biológicos y físicos del espacio significa que deben considerarse en conjunto.

Arthur Tansley acuñó la frase (¿cuándo?) después de un extenso peregrinaje por el campo de Gran Bretaña e Irlanda y una buena dosis de envidia hacia los físicos.



# Ecosistema

Un ecosistema está formado por organismos (plantas, microbios y animales, incluidas las personas) y los componentes físicos (atmósfera, suelo, agua, etc.) con los que interactúan, así como las interacciones entre ellos.



# Fotosíntesis a nivel de hoja

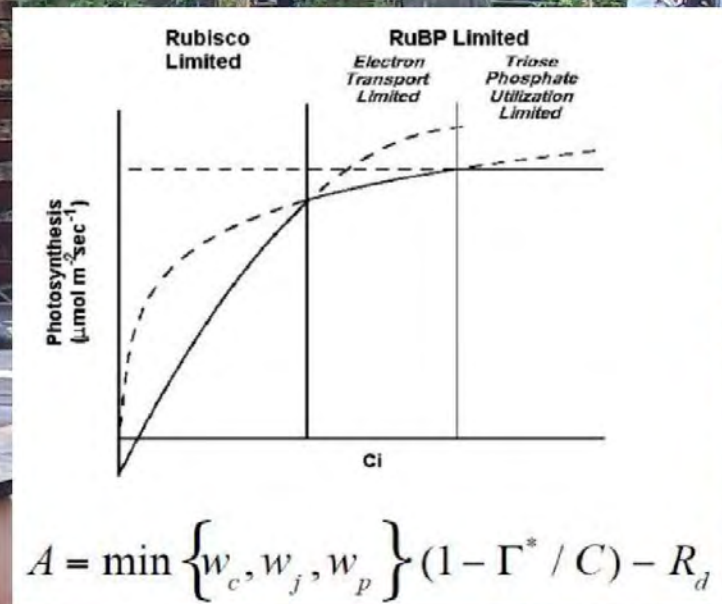
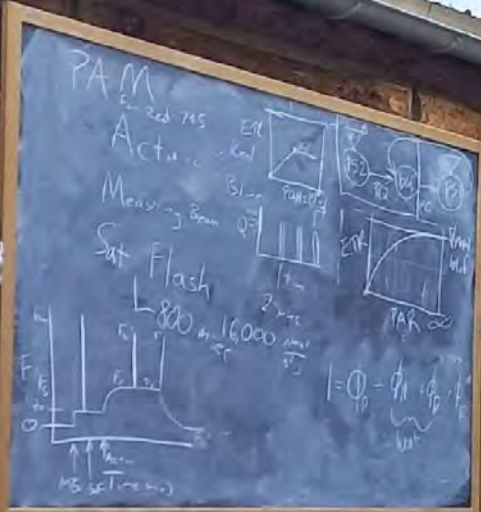




# Fotosíntesis a nivel de hoja

## Chloroplast- and Leaf-Level Flux Modeling

$$A = V_c - 0.5V_o - R_d$$





# Medición de flujos







Ed, Ben y compañía



¡Torres y datos de cerca!





Para los fluxers en  
movimiento... pruebe  
el nuevo

biometeorológico montado  
el sistema





Ed demonstrates the new rapid oral deployment feature for the open path flux system



# Ed Swiatek demostrando el Prototipo de “Hogwarts” CS-Hog1000

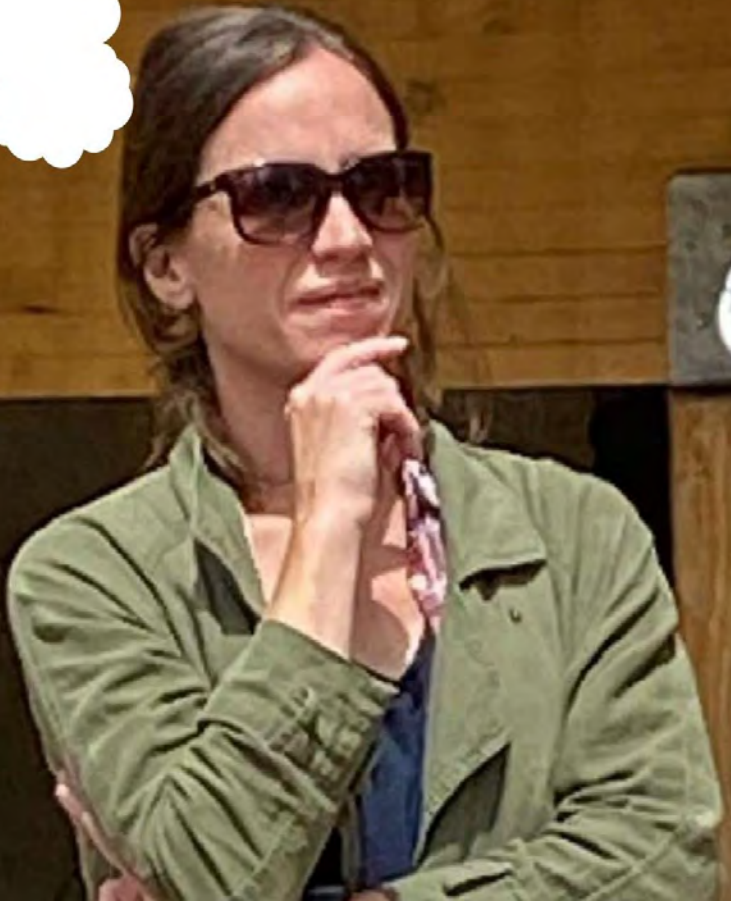
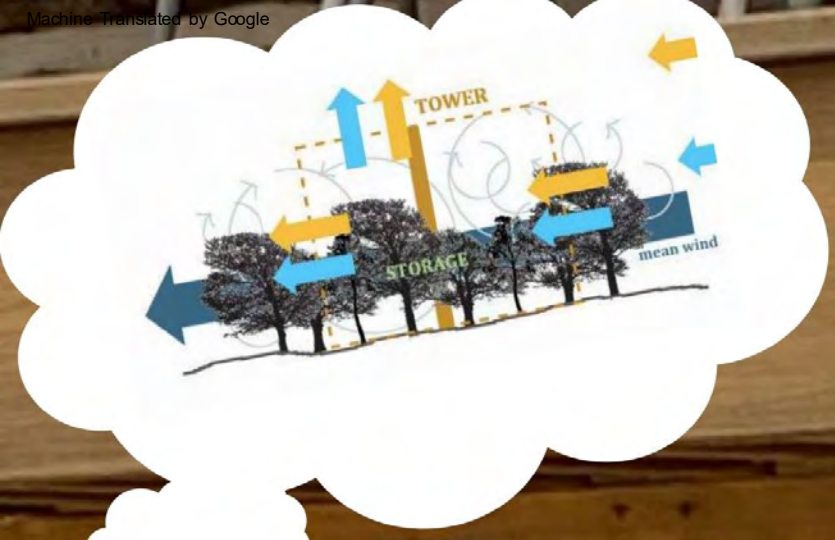


# Aplicación de las observaciones de flujo

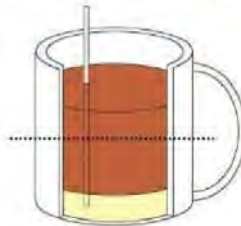
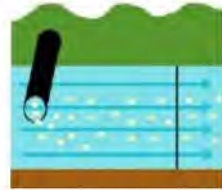
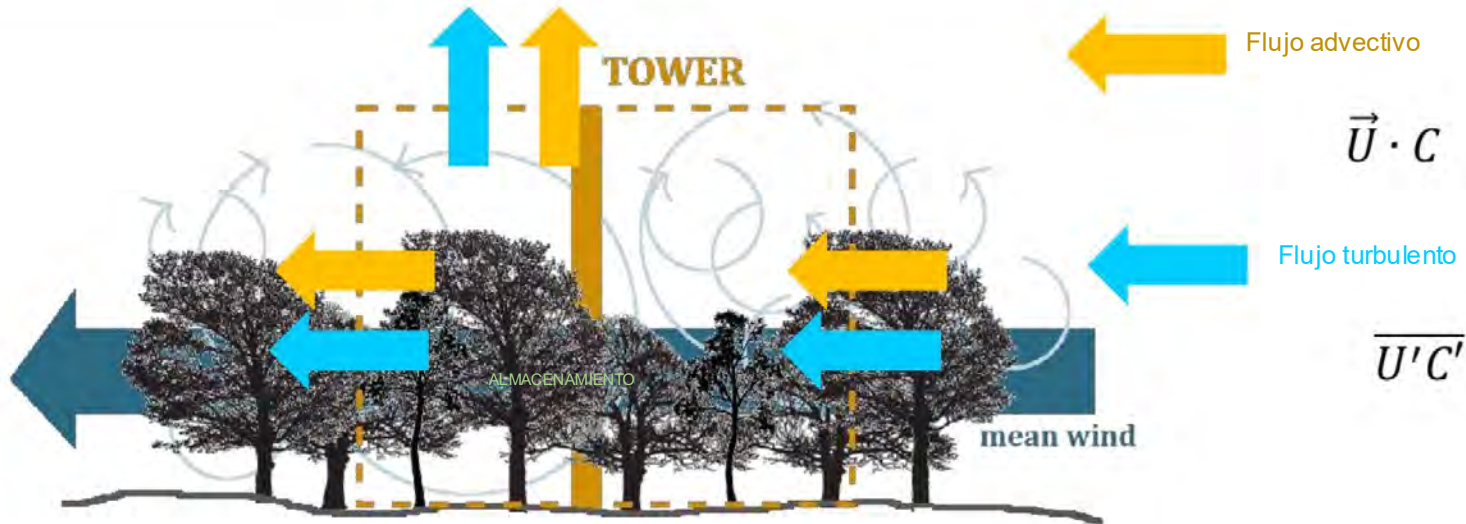


<http://ameriflux.lbl.gov>





# Supuestos fundamentales y limitaciones



$$NEE = \int_0^z \frac{\partial \overline{uc}}{\partial x} dz + \int_0^z \frac{\partial \overline{vc}}{\partial y} dz + \int_0^z \frac{\partial \overline{wc}}{\partial z} dz + \int_0^z \frac{\partial \overline{u'c'}}{\partial x} dz + \int_0^z \frac{\partial \overline{v'c'}}{\partial y} dz + \int_0^z \frac{\partial \overline{w'c'}}{\partial z} dz + \int_0^z \frac{\partial \overline{c}}{\partial t} dz$$

Flujos advectivos en 3 direcciones  
direcciones

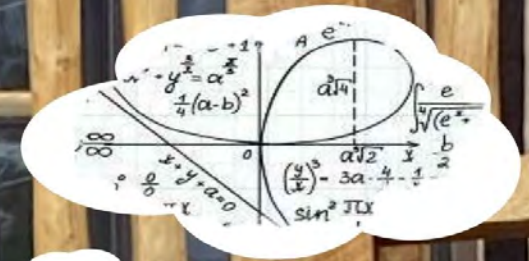
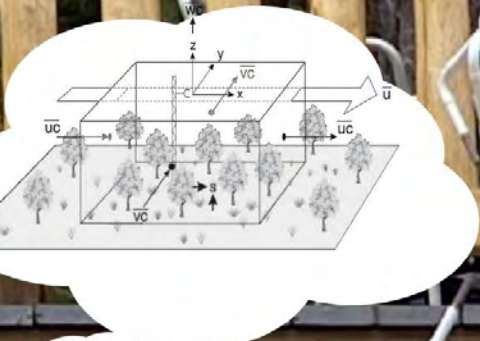
Flujos turbulentos en 3

Almacenamiento  
o

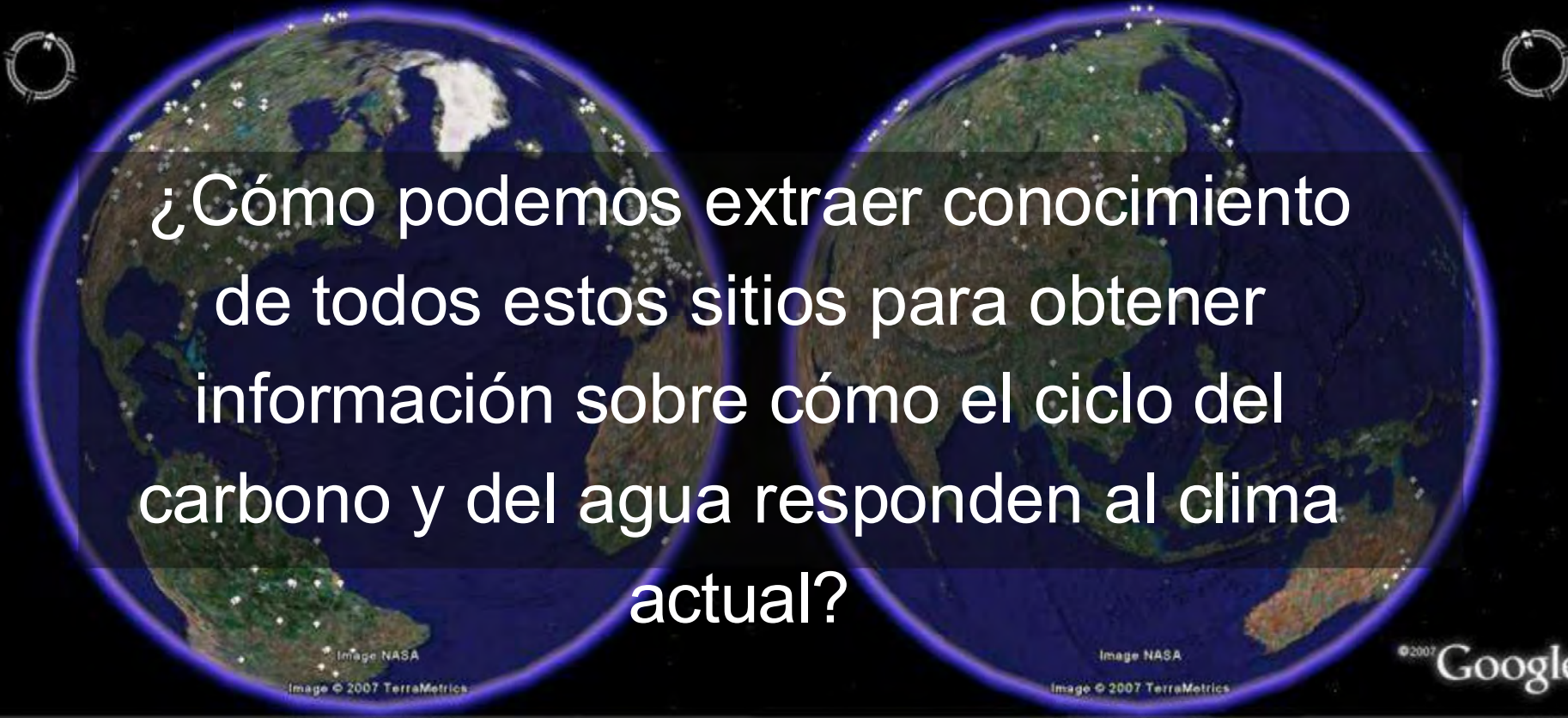












¿Cómo podemos extraer conocimiento de todos estos sitios para obtener información sobre cómo el ciclo del carbono y del agua responden al clima actual?

Image NASA  
Image © 2007 TerraMetrics

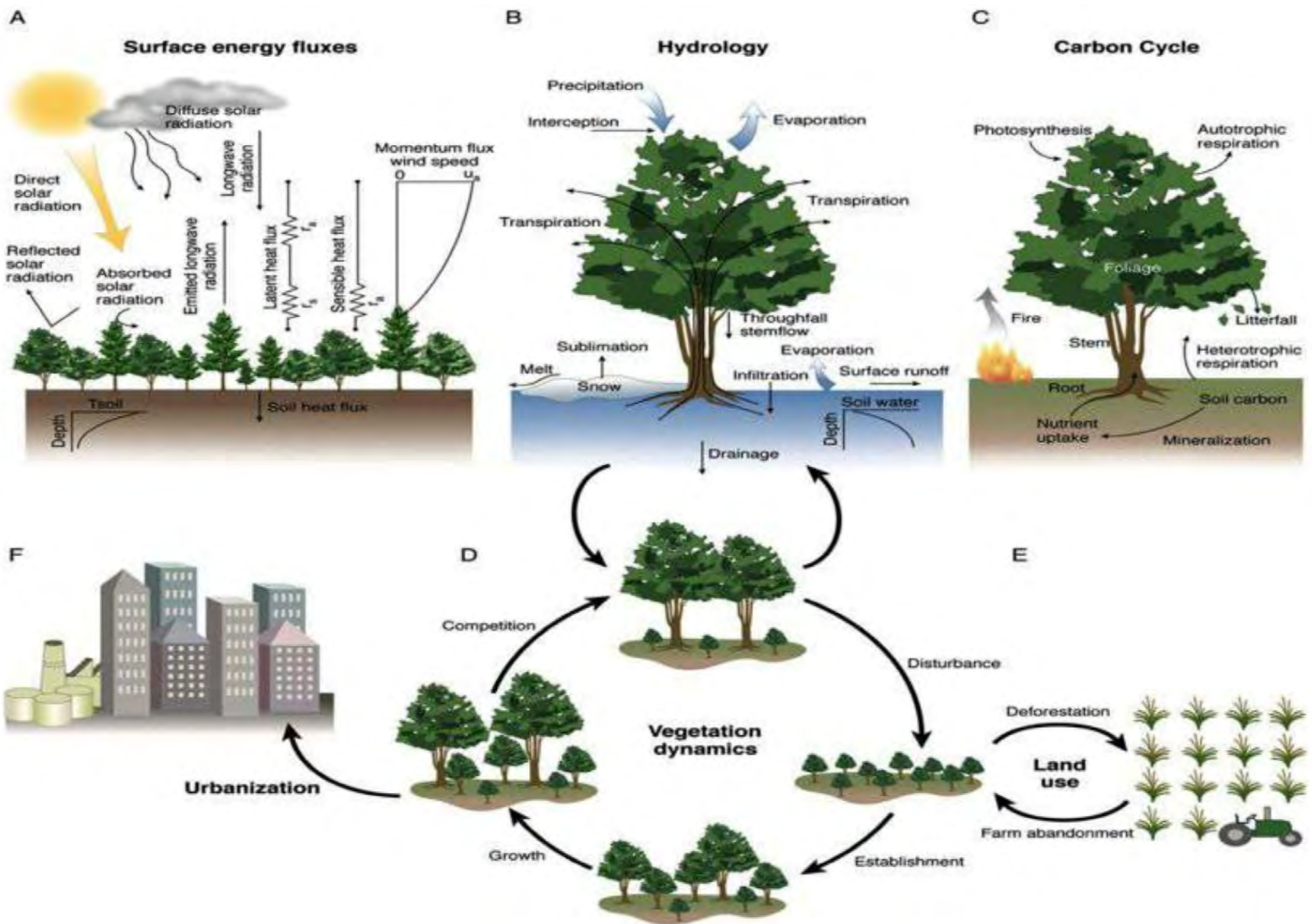
Streaming ||||| 100%

Image NASA  
Image © 2007 TerraMetrics

Streaming ||||| 100%

©2007 Google™

10497.64 m



¡Tu modelo está  
completamente  
equivocado!



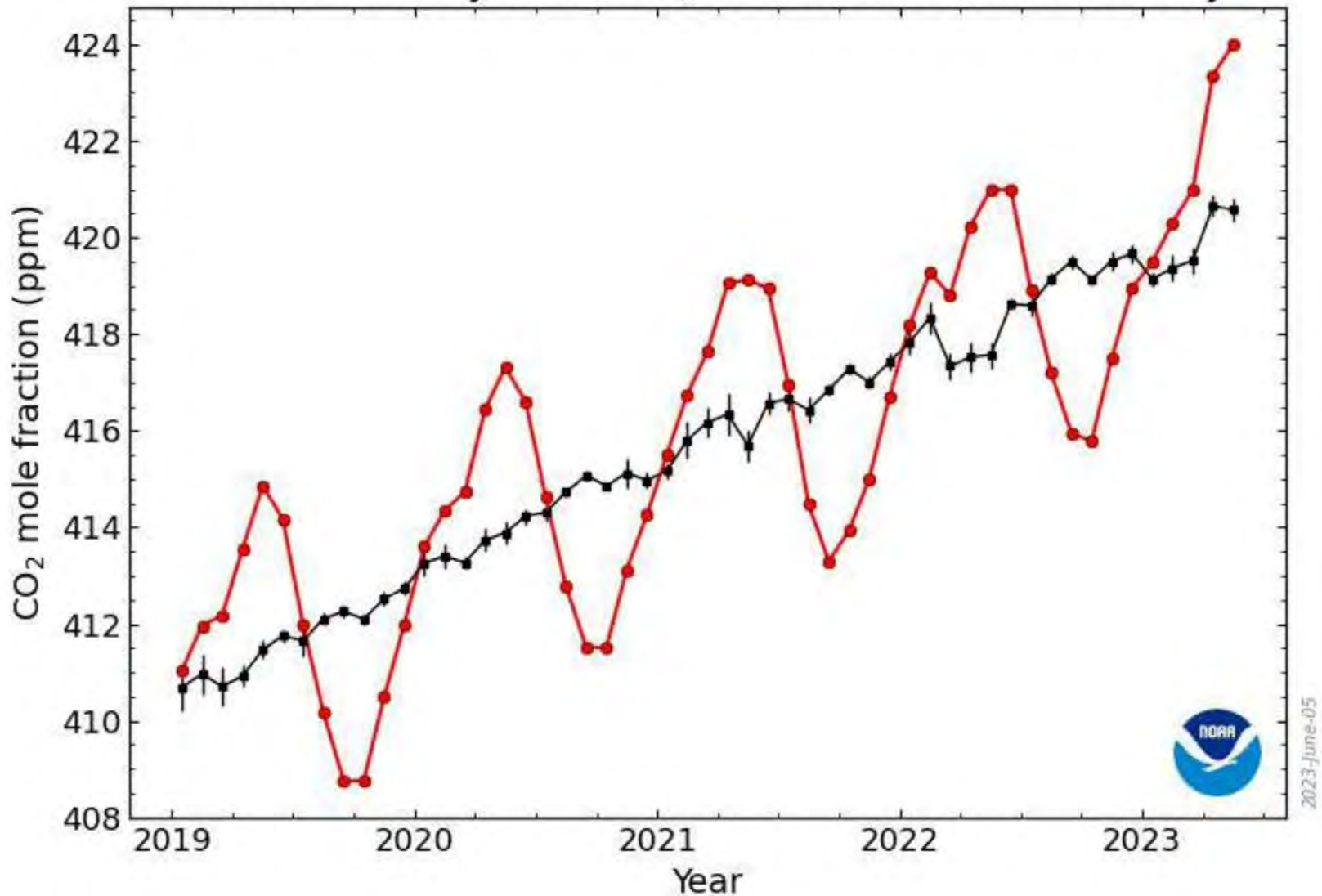
¡Pero tu ni siquiera  
estás midiendo las  
cosas correctas!



# ¿Qué representan los flujos?



## Recent Monthly Mean CO<sub>2</sub> at Mauna Loa Observatory



<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>

# ¿Qué representan los flujos?

¿Cuáles son los procesos ecosistémicos más importantes que debemos considerar si queremos hacer predicciones sobre el equilibrio de carbono, agua y energía del ecosistema?



# Para cada uno de estos procesos...

¿Cuáles son las partes biológicas del ecosistema que influyen en el proceso?

¿Cuáles son las partes no biológicas del ecosistema que influyen en el proceso?

Si necesitaras calcular este proceso en términos de carbono, agua y/o energía, ¿cómo podrías calcularlo?

¿Qué información necesitarías?

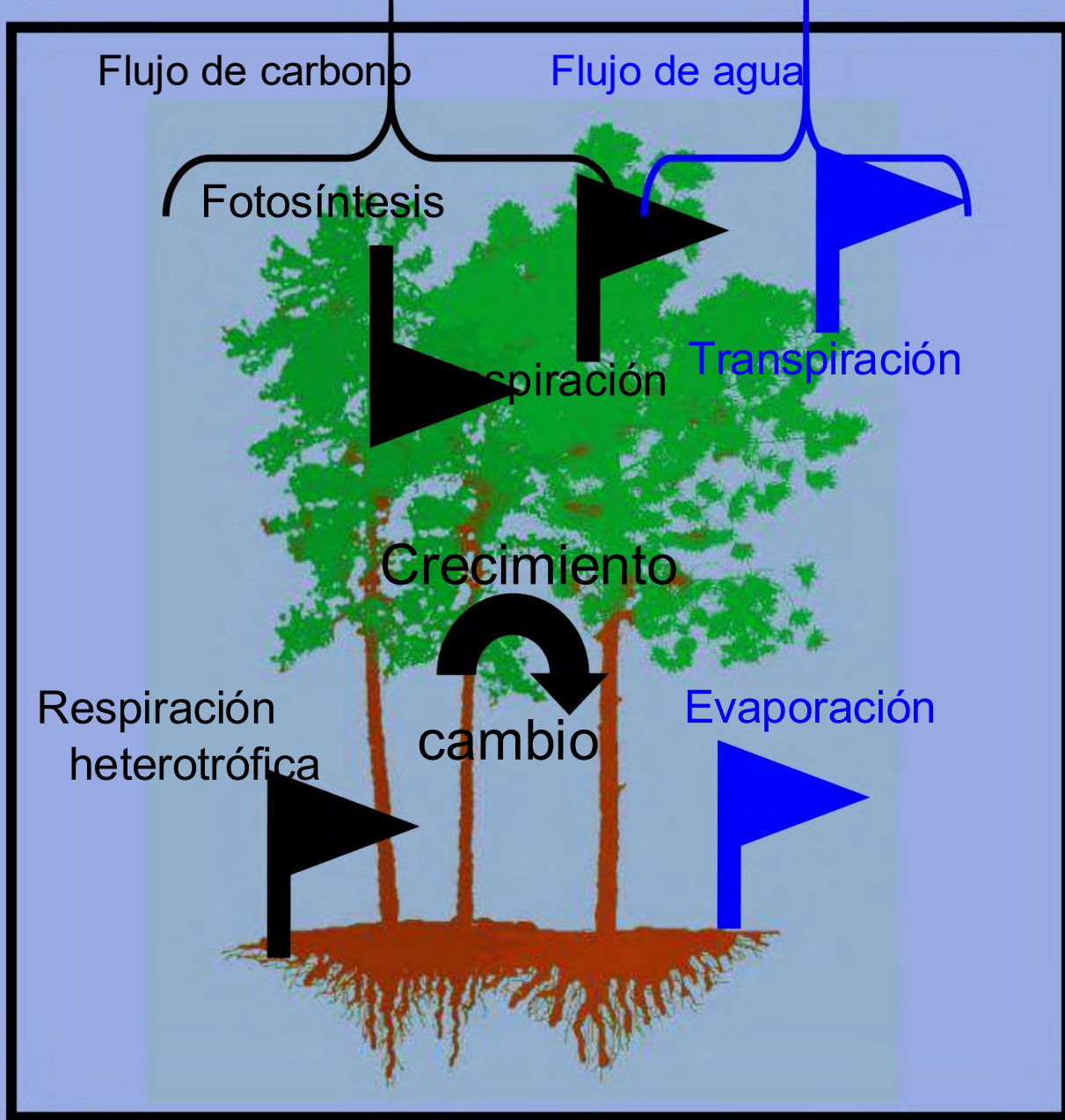
# ¡Estirar!



Las plantas median el intercambio de carbono y agua entre la biosfera y la atmósfera.

Las mediciones se centran en:

1. Crecimiento y rotación
2. Medición de flujo directo



# Net Ecosystem Exchange (NEE)

Lo medimos!



Necesitamos algún modelo para descomponer los flujos.

# Medición de los componentes del intercambio neto de ecosistemas: flujos y reservas terrestres

- Incremento del crecimiento (¿bandas de dendrómetro? Recorte para biomasa inc.)
- Caída de basura
- Flujo de CO<sub>2</sub> del suelo (medidas puntuales automatizadas/manuales, muestreo espacial)
- Respiración de los componentes del ecosistema (evolución de CO<sub>2</sub> o captación de O<sub>2</sub>, cámaras pequeñas)
- Capacidad fotosintética (mediciones IRGA, respuesta A/Ci, respuesta A/Q a nivel de la hoja)
- Capacidad fotosintética (mediciones IRGA, respuesta A/Ci, respuesta A/Q a nivel de la hoja)

# ¿Por qué utilizamos modelos matemáticos?



# ¿Por qué utilizamos modelos matemáticos?

- Para codificar nuestro conocimiento de cómo funciona el mundo.
- Predecir y comprender cómo el cambio ambiental impacta los ecosistemas...
- ¡ Para simplificar y comprender procesos complejos e interactuantes!
- El aumento del CO<sub>2</sub> puede conducir a una mayor fotosíntesis, pero menor conductancia, menor inversión en RUBISCO pero mayor área foliar... ¿Qué pasa si aumenta la disponibilidad de agua y cambia la disponibilidad de nitrógeno?



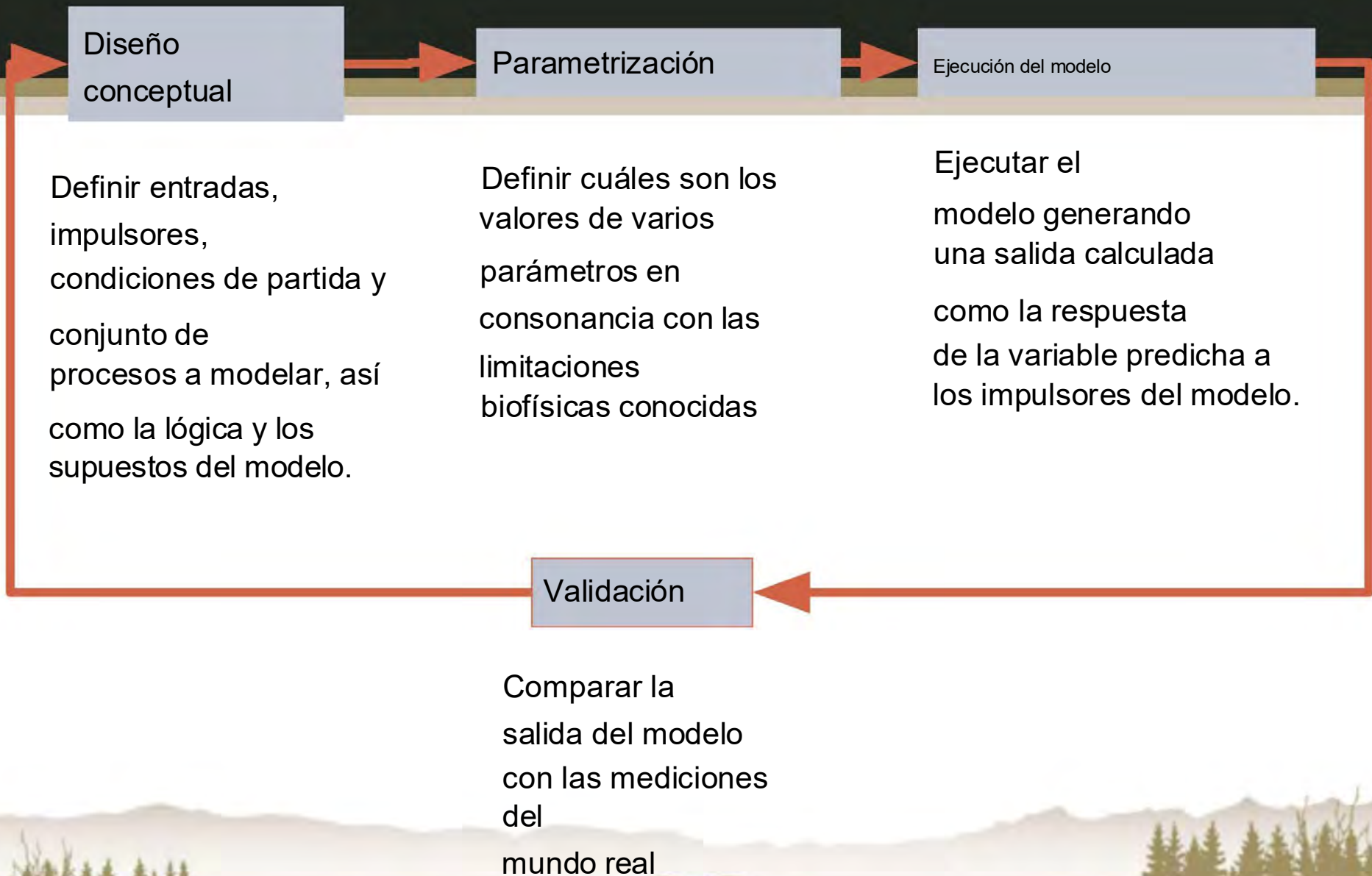


# Amplias clases de modelos

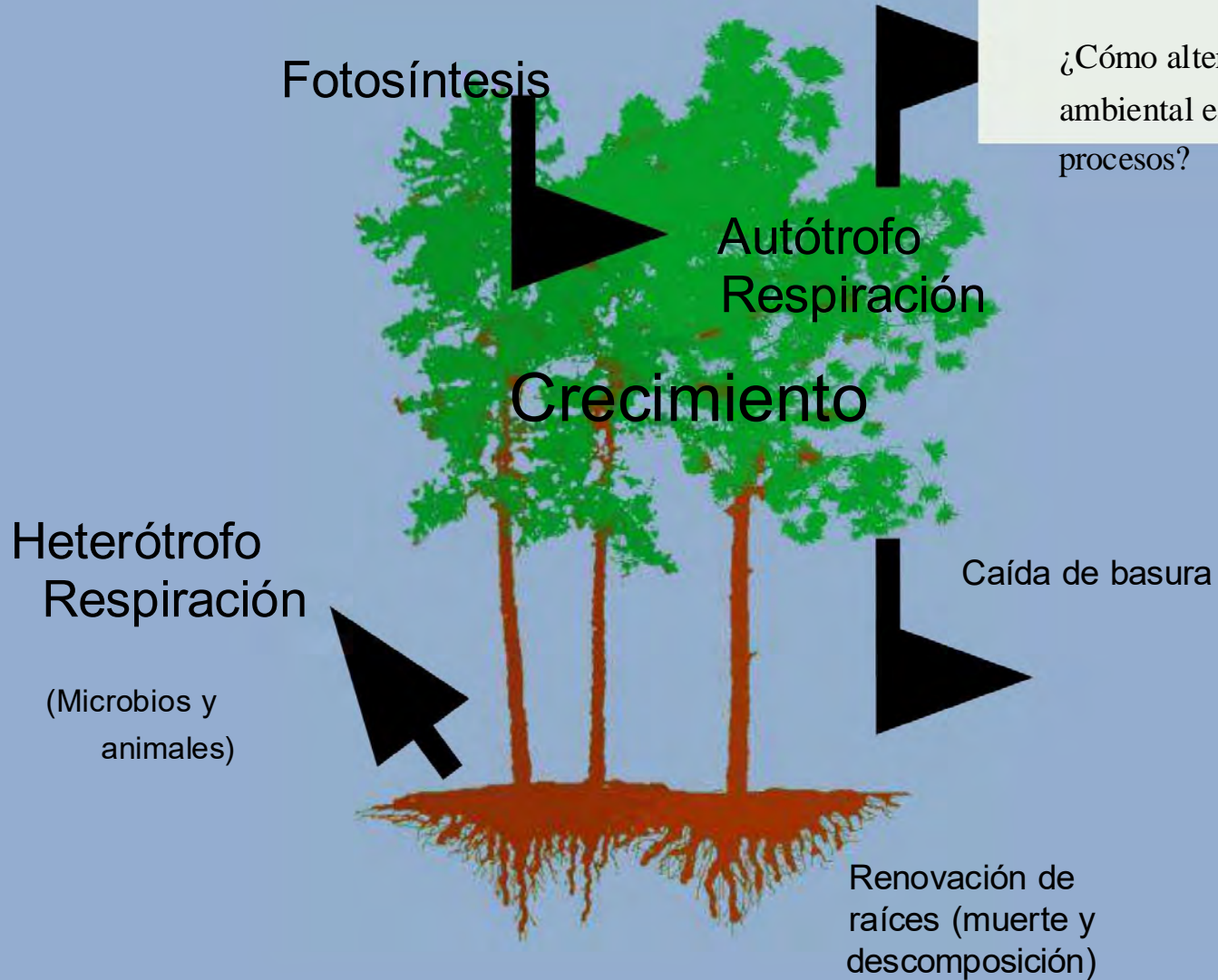


# Amplias clases de modelos

- Modelos conceptuales
- Modelos empíricos (proceso = relación estadística)
  - Relaciones estadísticas entre el resultado y el factor impulsor
  - Grandes incertidumbres si extrapolamos más allá de los datos utilizados para definir las relaciones
  - Muy simple pero rápido de ejecutar en computadoras.
- Modelos basados en procesos
  - Los procesos físicos, químicos o biofísicos establecidos se modelan explícitamente
  - Útil en pruebas de hipótesis

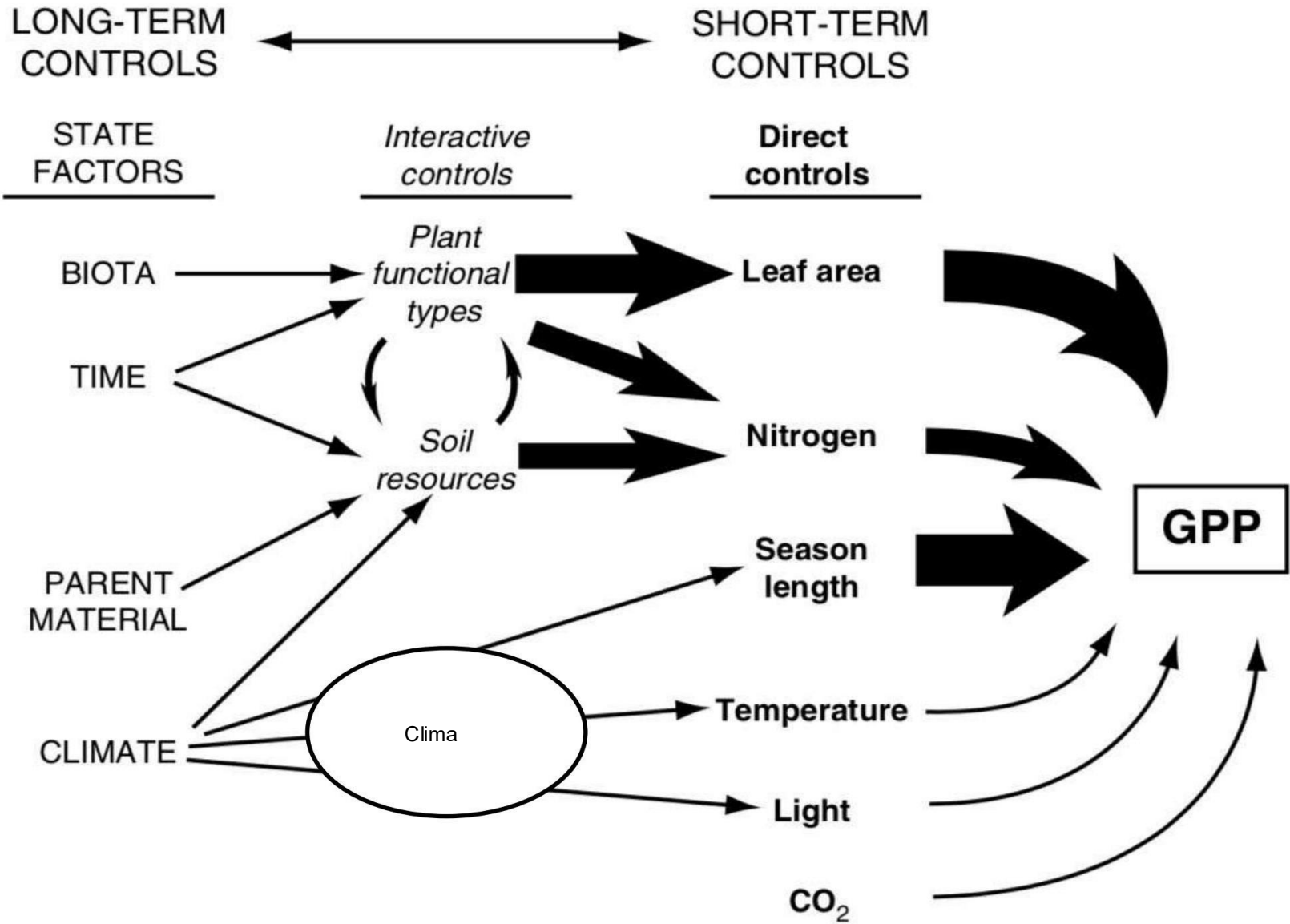


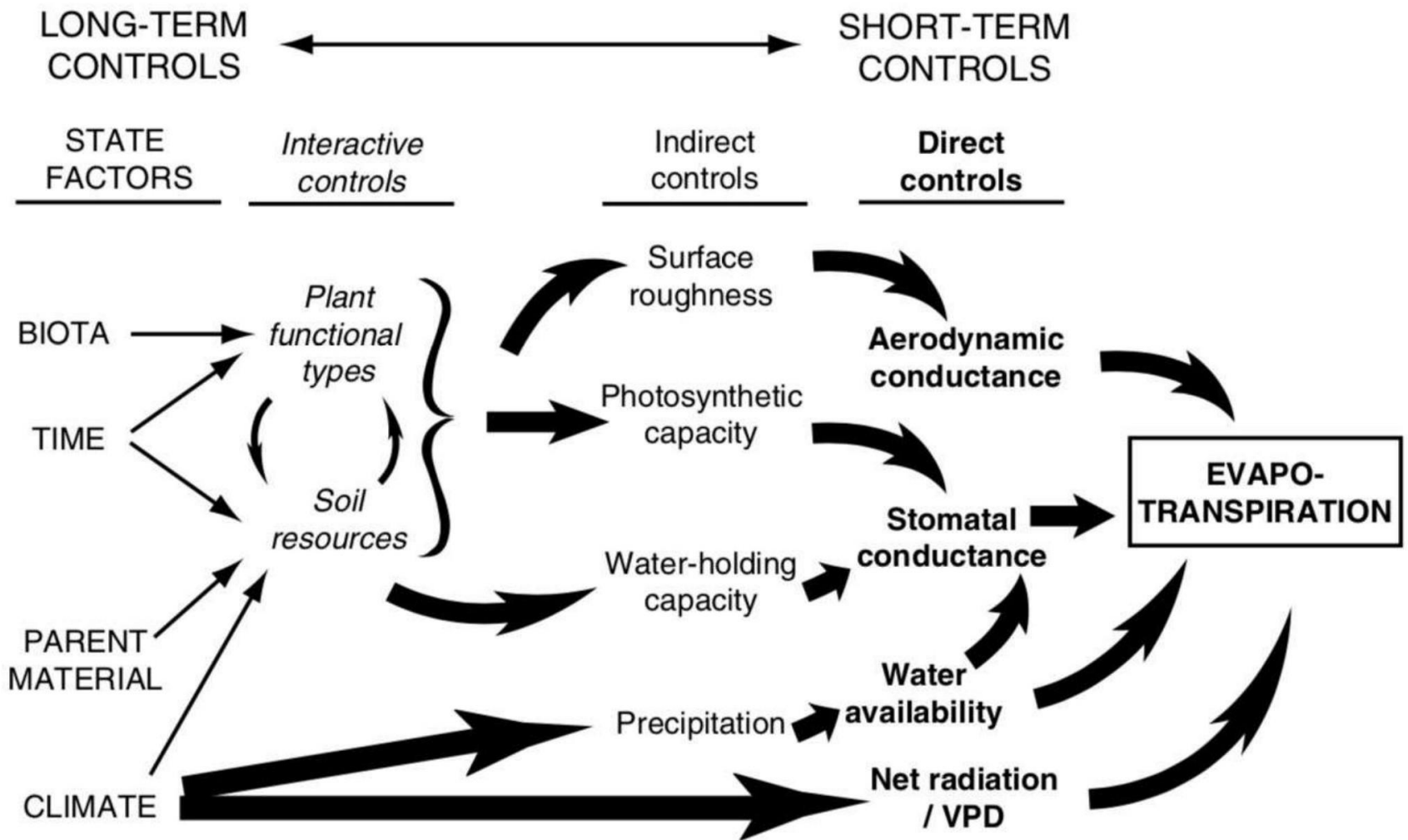
# Modelo conceptual simple de un ecosistema



¿Qué procesos debemos controlar?

¿Cómo altera el cambio ambiental esos procesos?







# Aclaraciones

Basados en Procesos vs. empíricos

Impulsores vs. parámetros

Estados vs. Tasas

Predicción vs. Proyección

Evaluación comparativa vs. Asimilación

Escala de sitio vs. Cuadrícula

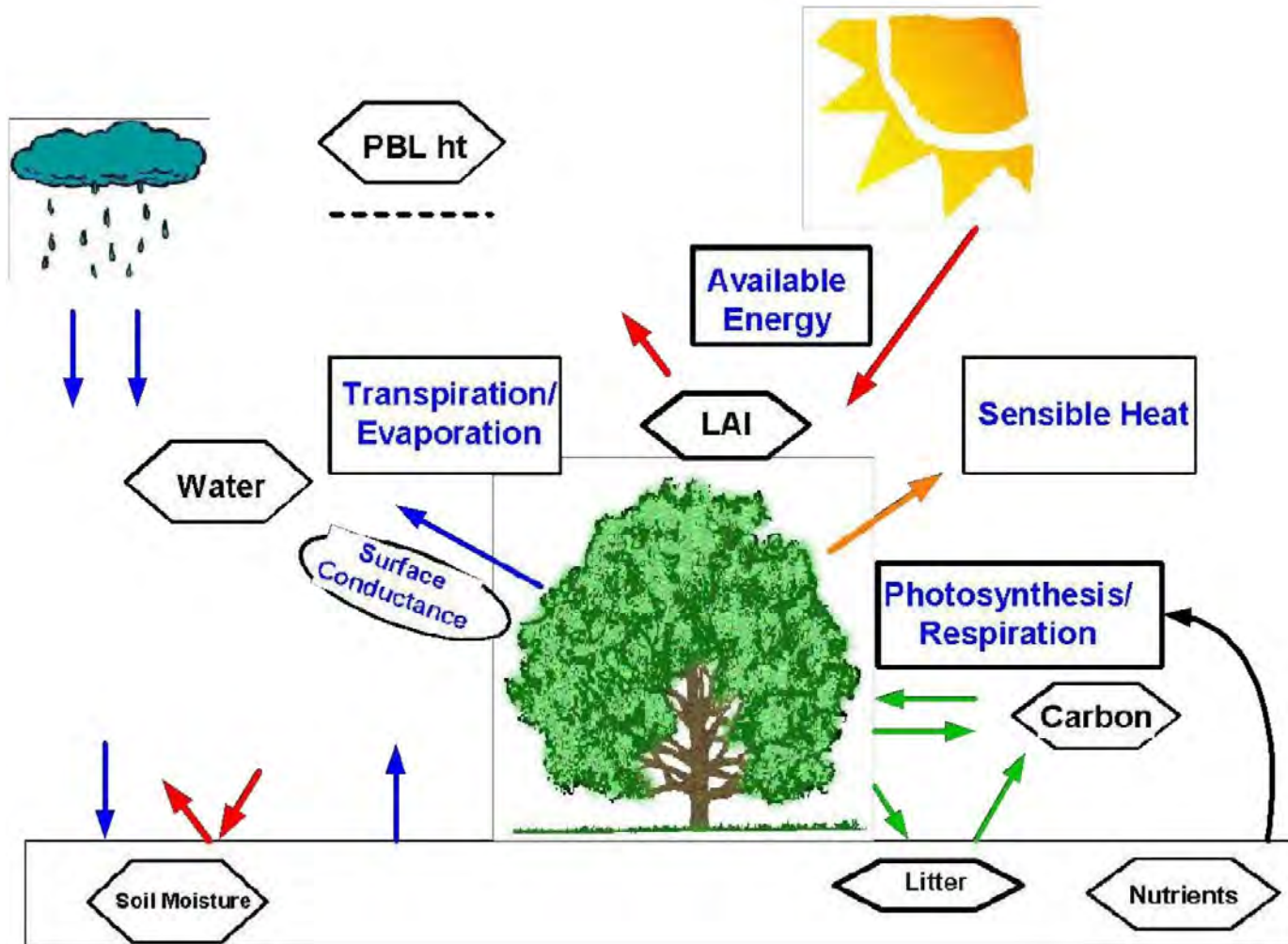
Abstracción vs. realidad

Conjuntos y MIP Rasgos

funcionales de las plantas vs. tipos funcionales de plantas (versus especies)



# Complejidad del sistema: Interconexión de procesos clave de los ecosistemas



# Procesos típicos incluidos en los modelos de ecosistemas

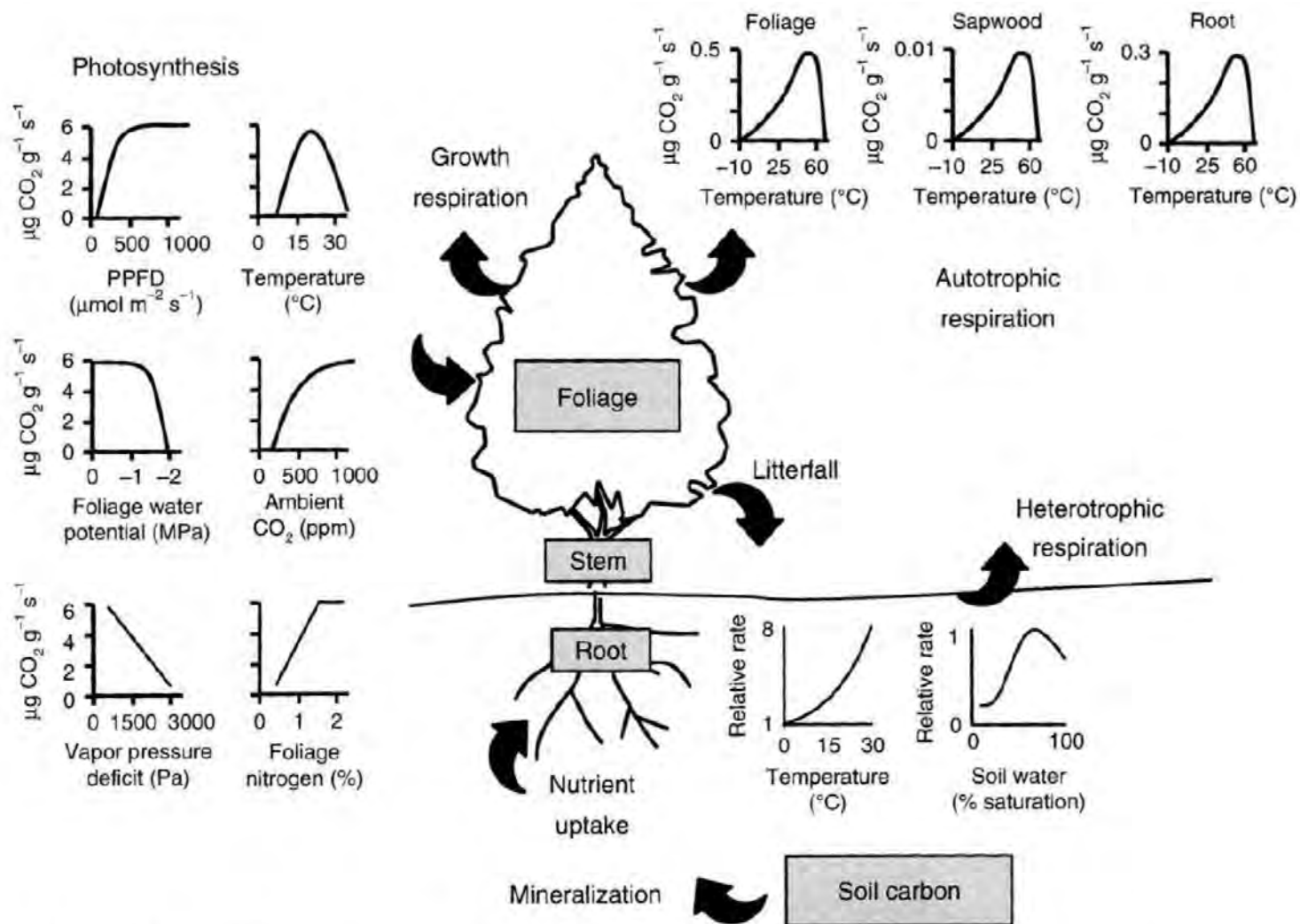
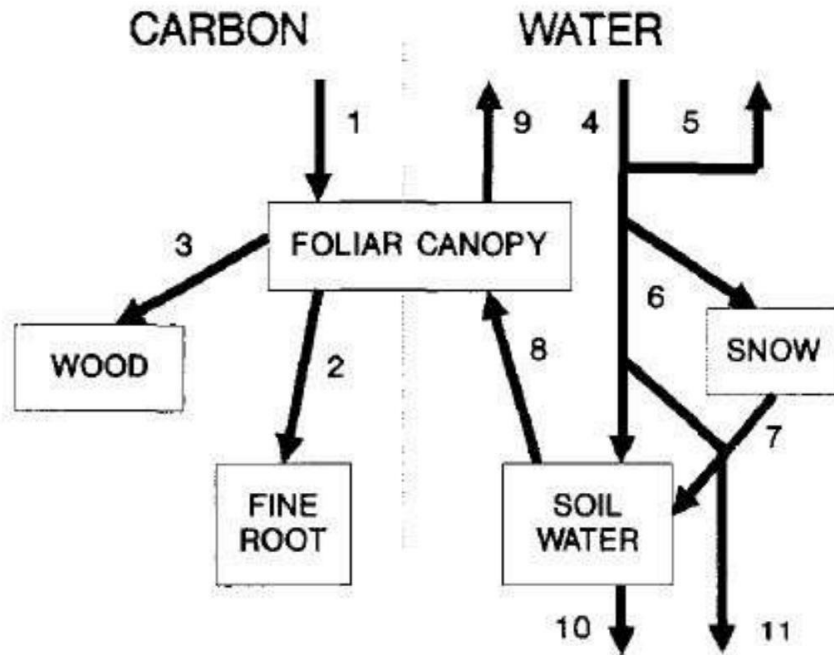


FIGURE 24.18. Processes typically included in ecosystem models. Shown are the ecosystem carbon balance, environmental controls of photosynthesis and respiration, and internal carbon and nutrient cycling.



- |                         |                               |
|-------------------------|-------------------------------|
| 1. NET PHOTOSYNTHESIS   | f(LIGHT, TEMP, WATER, N, LAI) |
| 2. FINE ROOT ALLOCATION | f(FOLIAGE PRODUCTION)         |
| 3. WOODY ALLOCATION     | BY DIFFERENCE                 |
| 4. PRECIPITATION        | INPUT                         |
| 5. INTERCEPTION         | CONSTANT FRACTION             |
| 6. SNOW-RAIN DIVISION   | f(TEMP)                       |
| 7. SNOW MELT            | f(TEMP)                       |
| 8. UPTAKE               | -EVAPOTRANSPIRATION           |
| 9. EVAPOTRANSPIRATION   | f(NET PHOTOSYNTHESIS, VPD)    |
| 10. LEACHING            | f(SOIL WATER, WHC)            |
| 11. FAST FLOW           | f(PRECIP, SNOWMELT)           |

Lea el libro de Aber y Federer de 1992  
 Ecología (1992) 92:463-474  
 Documento sobre PnET para tener una idea de  
 cómo funciona un modelo de ecosistema simple

**Fig. 1.** Compartments, flow paths, and controlling variables within the PnET model

# Existen numerosos modelos de ecosistemas

**Table 1**  
Acronyms, full names and references for the 16 models reviewed in this paper

Acronym	Full name	Reference
EXPECT-FORSOL	FORest SOiL module EXPLoring the Environmental Consequences for Tomorrow	Braat et al., 1991
FIWALD	FICHtenWALD (Spruce stand)	Schall, 1991
FORGRO	FORest GROWth model	Mohren, 1987
ForM-S	FORest Model Series	Arp and Oja, 1992
FORSUM	FORest SUccession Model	Kräuchi and Kienast, 1993
MAGIC	Model of Acidification of Groundwater In Catchments	Cosby et al., 1985
NAP	Nutrient Availability and Productivity	Van Oene, 1992
NICCCE	NITrogen Isotopes and Carbon Cycling in coniferous Ecosystems	Van Dam and Van Breemen, 1995
NUCSAM	NUtrient Cycling and Soil Acidification Model	Kros et al., 1993
PnET-CN-CHESS	Photosynthesis and EvapoTranspiration-Carbon and Nitrogen Interactions	Aber and Federer, 1992
PROFILE		Warfvinge et al., 1993
SOIL-SOILN	SOIL model	Jansson and Halldin, 1979
	SOIL Nitrogen model	Johnson et al., 1987
SOILVEG	SOIL VEGetation model	Berdowski et al., 1991
SWIF	Soil Water In Forested Ecosystems	Tiktak and Bouten, 1992
TREGRO	TREe GROWth model	Weinstein et al., 1991
WATERSTOF	WATER en STOF transport	Wesselink and Van Grinsven, 1991



- Unidimensional

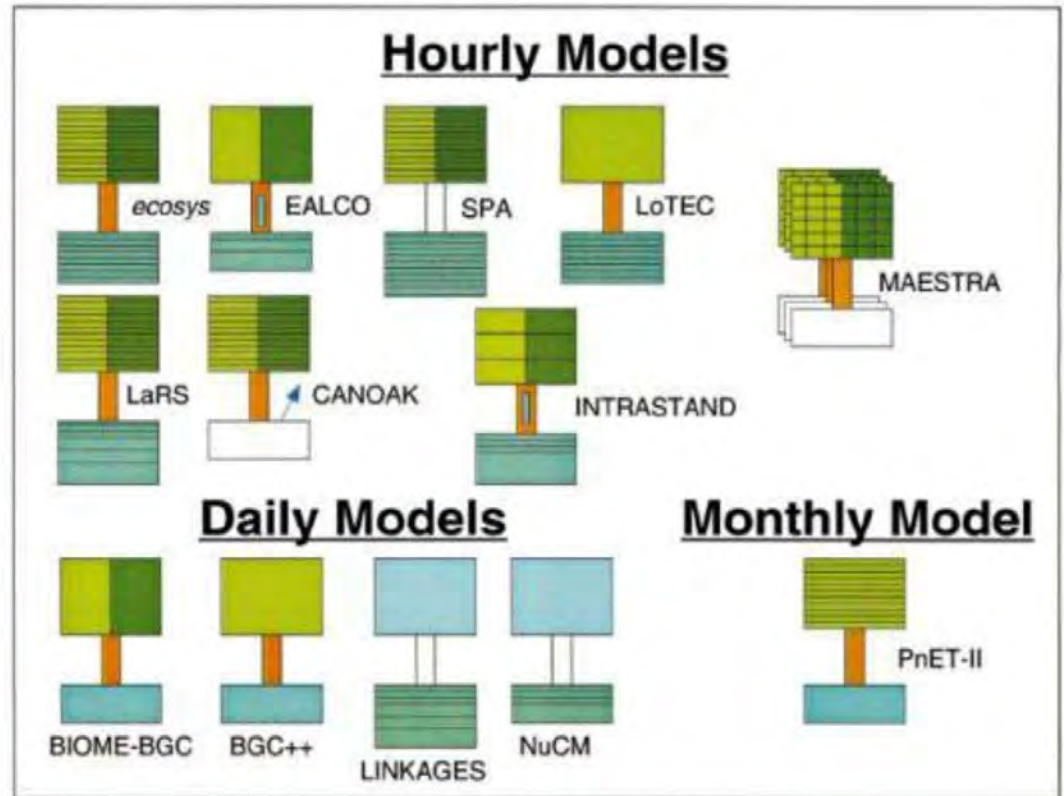
- Hoja grande
- Doble fuente (sol y sombra)
- 2 capas
- Vegetación y suelo.
- Multicapa

- Bidimensional •

- Fuente dual
- Iluminado por el sol y con sombra
- Suelo desnudo y con vegetación

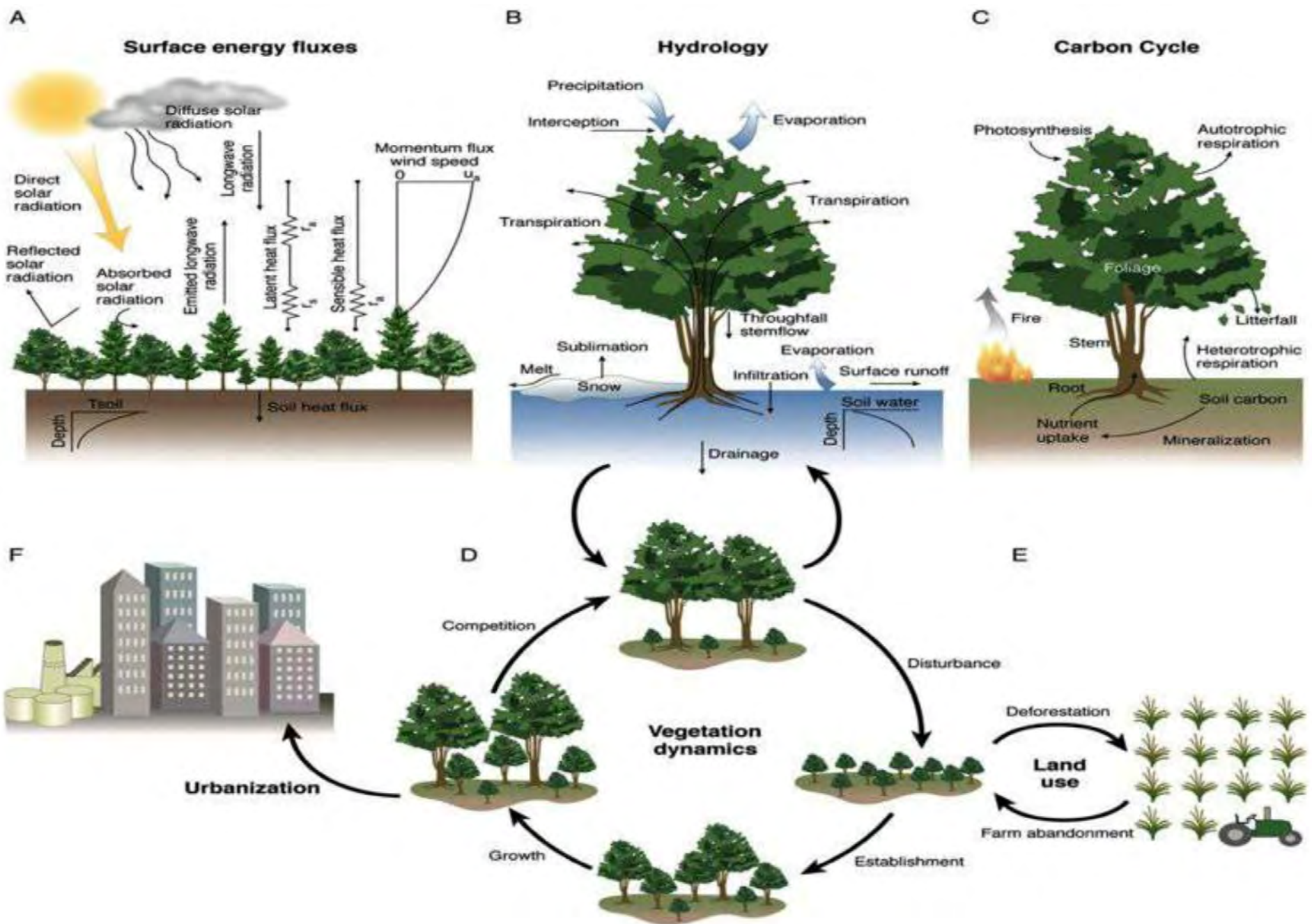
- Tridimensional •

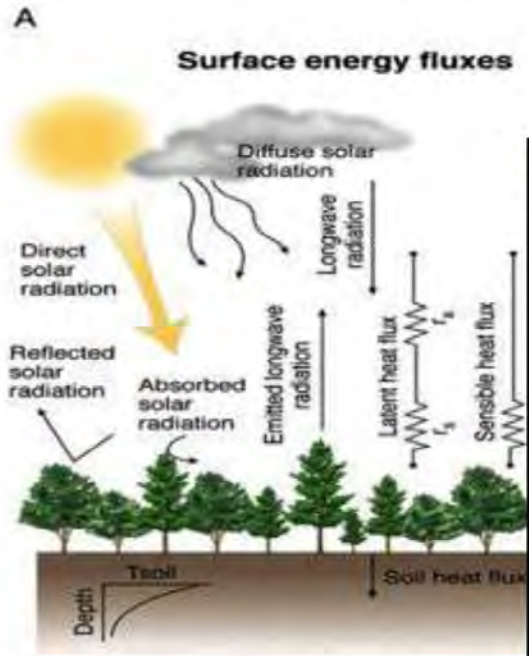
- Plantas y árboles individuales



Generalmente, cuanto más complejo sea un modelo, más parámetros necesitará conocer antes de ejecutarlo.







### B Hydrology

Precipitation

```

// calculate transpiration (cm H2O * day^-1)
// and dWater (factor between 0 and 1)
void moisture(double *trans, double *dWater, double potGrossPsn, double vpd, double soilWater) {
    double potTrans; // potential transpiration in the absence of plant water stress (cm H2O * day^-1)
    double removableWater;
    double wue; // water use efficiency, in mg CO2 fixed * g^-1 H2O transpired

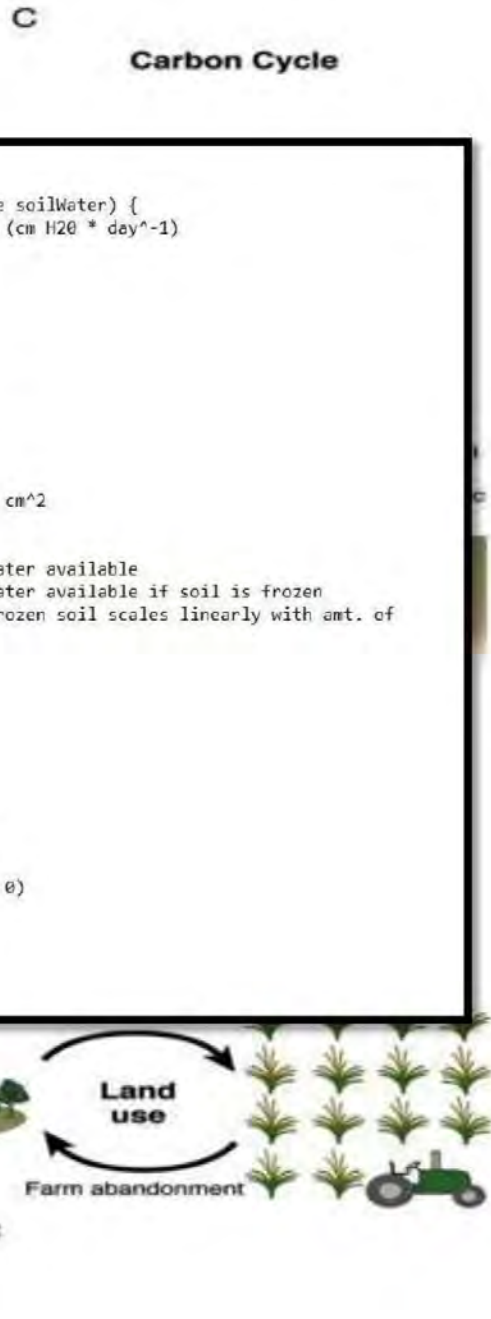
    if (potGrossPsn < TINY) { // avoid divide by 0
        *trans = 0.0; // no photosynthesis -> no transpiration
        *dWater = 1; // dWater doesn't matter, since we don't have any photosynthesis
    }
    else {
        wue = params.wueConst/vpd;
        potTrans = potGrossPsn/wue * 1000.0 * (44.0/12.0) * (1.0/10000.0);
        // 1000 converts g to mg; 44/12 converts g C to g CO2, 1/10000 converts m^2 to cm^2

        removableWater = soilWater * params.waterRemoveFrac;
        if (climate->tsoil < params.frozenSoilThreshold) // frozen soil - less or no water available
            removableWater *= params.frozenSoilEff; /* frozen soil effect: fraction of water available if soil is frozen
            (assume amt. of water avail. w/ frozen soil scales linearly with amt. of
            water avail. in thawed soil) */

        if (removableWater >= potTrans)
            *trans = potTrans;
        else
            *trans = removableWater;

        #if WATER_PSN // we're modeling water stress
            *dWater = *trans/potTrans; // from PnET: equivalent to setting DWATER_MAX = 1
        #else // WATER_PSN = 0
            if (climate->tsoil < params.frozenSoilThreshold && params.frozenSoilEff == 0)
                // (note: can't have partial shutdown of psn with frozen soil if WATER_PSN = 0)
                *dWater = 0; // still allow total shut down of psn. if soil is frozen
            else // either soil is thawed, or frozenSoilEff > 0
                *dWater = 1; // no water stress, even if *trans/potTrans < 1
        #endif // WATER_PSN
    }
}

```



# Complejidad y parámetros

## Modelo Farquhar CanOAK

- Los modelos a escala local tienden a tener parámetros para diferentes especies, capas de hojas, compartimentos del suelo, etc.
- Los modelos a mayor escala tratan todas las especies de un individuo determinado tipo funcional exactamente el mismo

Por ejemplo, árboles de hoja ancha caduca, árboles de hoja acicular caduca, Árboles de hoja ancha de hoja perenne, árboles de hoja acicular de hoja perenne, arbustos, gramíneas C3, gramíneas C4, etc.

Producto MODIS GPP

Modelos de superficie terrestre



## Producto GPP/PSN (conferencia de Quaife)

- Inherits errors from the LAI/fAPAR product
- Driven by climate data
- Uses a very simple model for efficiency
  - Linear ramps for VPD and temperature
- Driven by a generalised look-up table

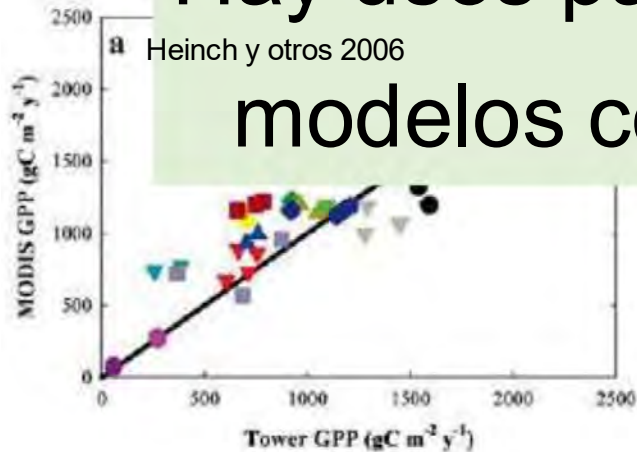
Los modelos simples pueden ser útiles para

algunas preguntas.

Producto MODIS GPP

Hay usos para AMBOS

modelos complejos y simples

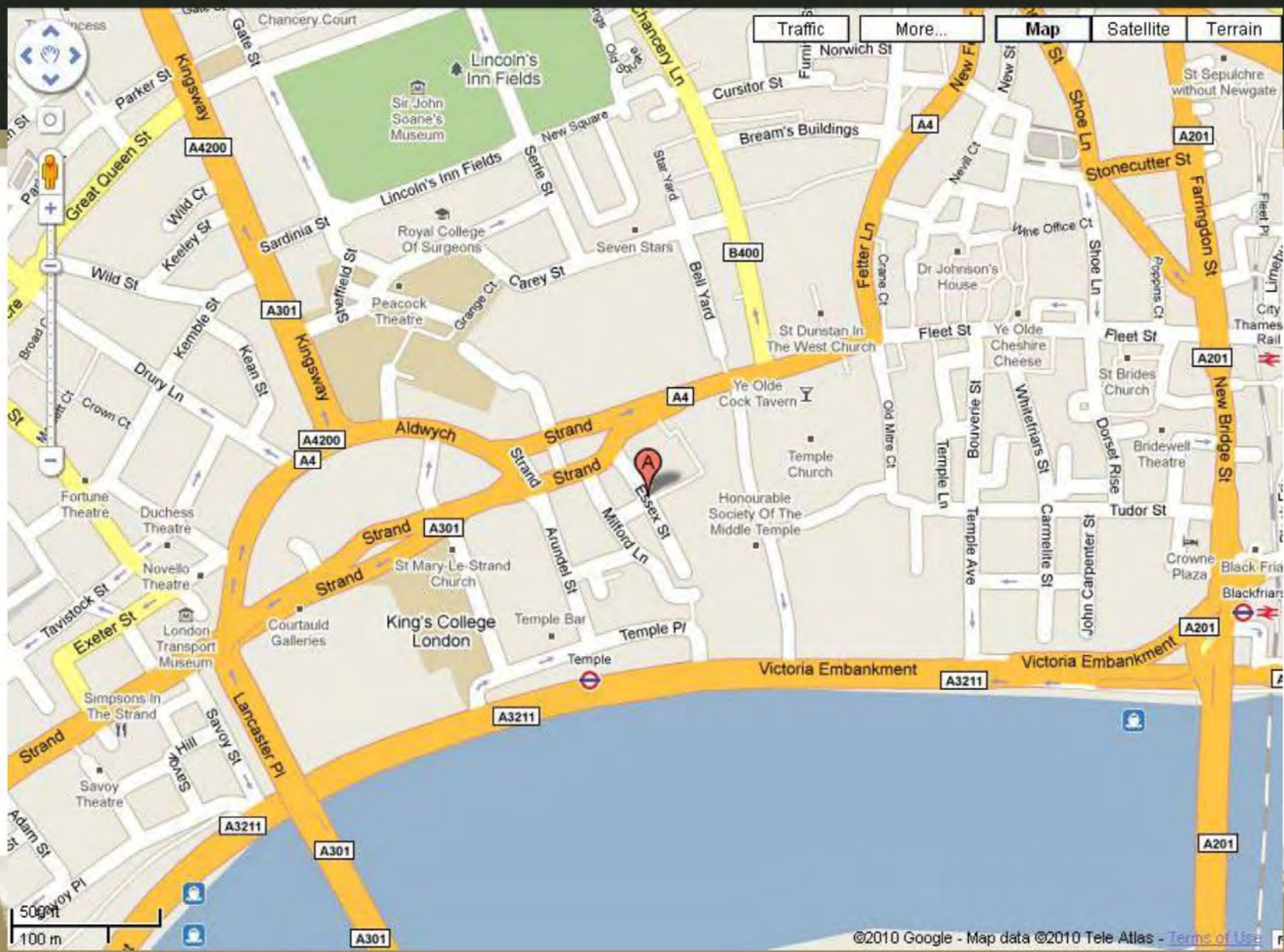


IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING, VOL. 44, NO. 7, JULY 2006



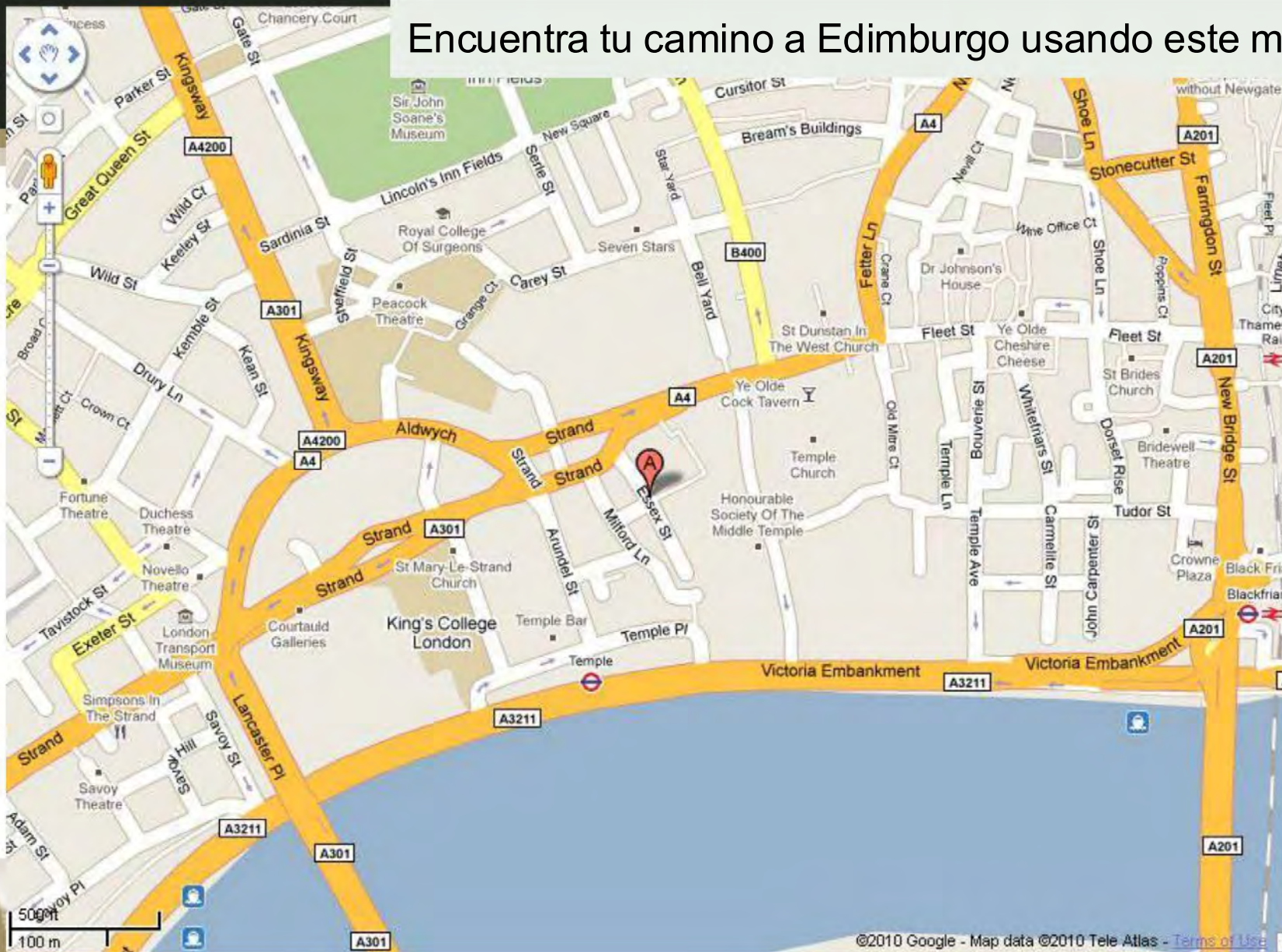








Encuentra tu camino a Edimburgo usando este mapa



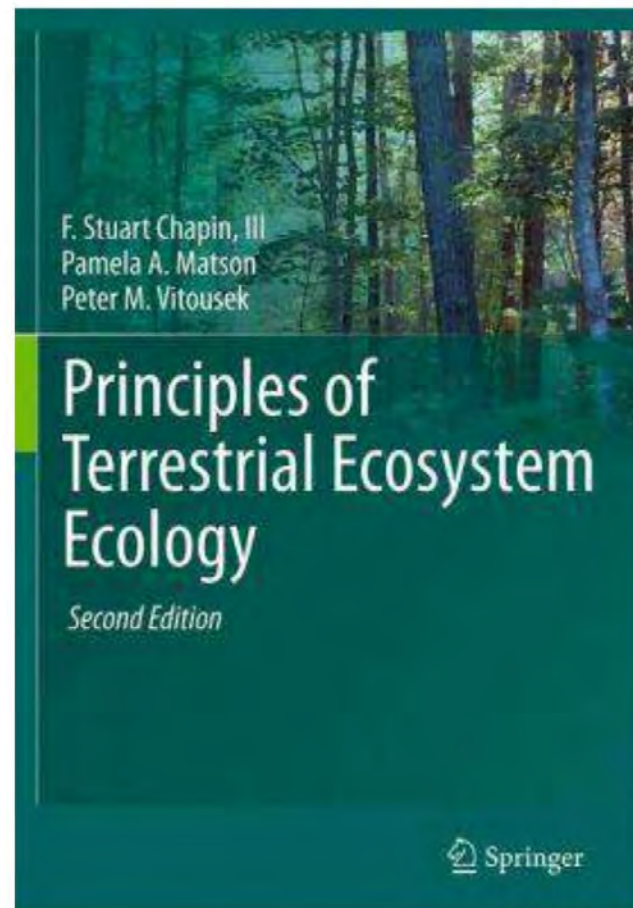
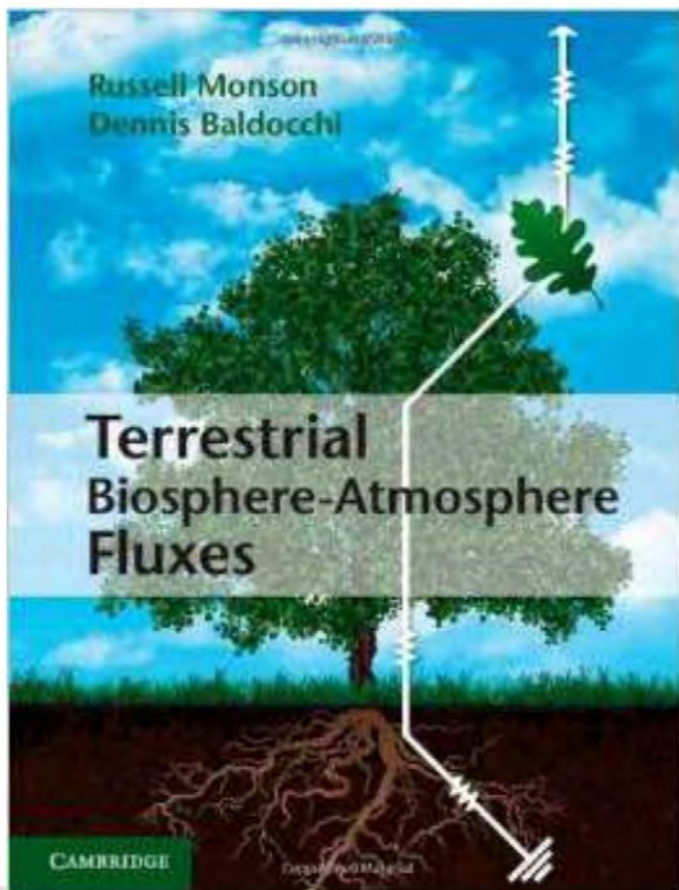


# Modelos de ecosistemas

Todos los modelos están equivocados  
(pero algunos de ellos son útiles)

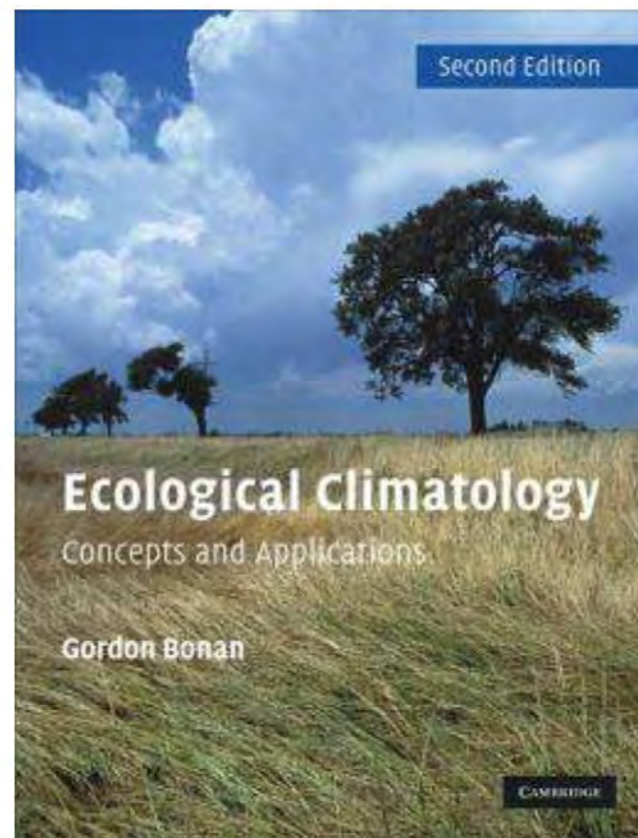
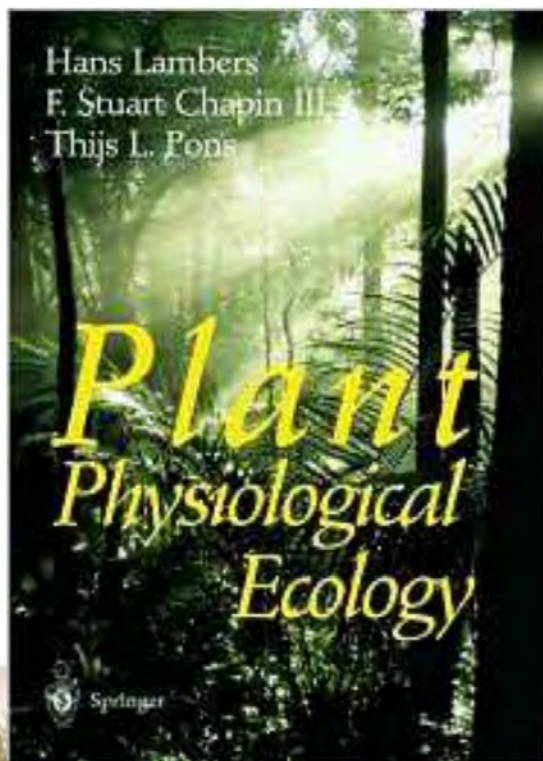


# Material de lectura general: ecología y modelado basado en procesos



# Material de lectura general: ecología y modelado basado en procesos

Bonan G. (2008) Climatología ecológica: conceptos y aplicaciones. Cambridge University Press, ISBN-10: 0521693195



Lambers, H, Chapin FS, Pons, TL (1998) Ecología fisiológica de las plantas. Springer-Verlag Nueva York. ISBN 0387983260



# La era del espagueti al carbono

