

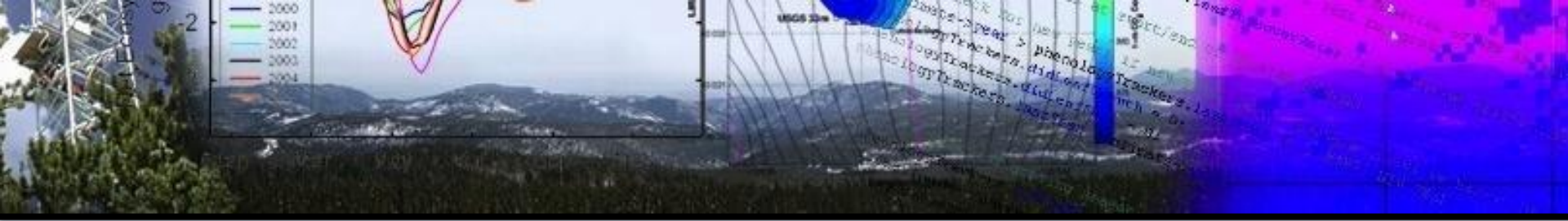
Este trabajo tiene licencia bajo CC BY-NC-SA 4.0.

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).





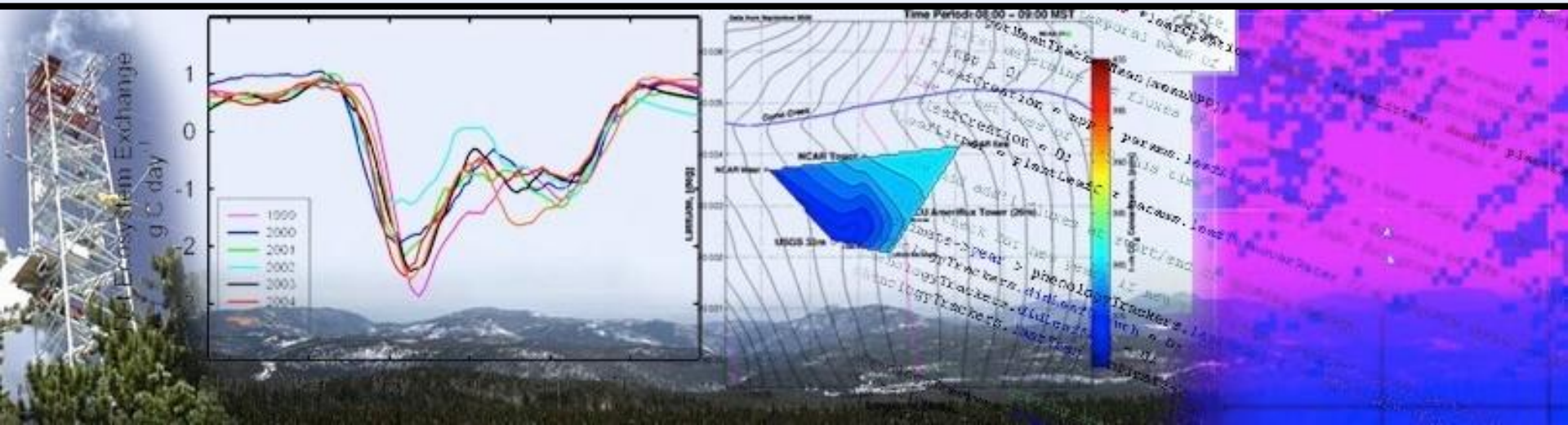
Asimilación de datos de ecosistemas vegetales

Dave Moore Julio de 2022

Universidad de Arizona, Escuela de Recursos Naturales y Medio Ambiente

davidjpmoore@email.arizona.edu

Traducido por Tyler Roman (usando DeepL Translate), Ana Maria Restrepo Acevedo, y Jorge Perez-Quezada (tyler.roman@fs-ip.us, anarestrepo@utexas.edu, jorgepq@uchile.cl)



Muy brevemente

CÓMO HACER UN SISTEMA DE ASIMILACIÓN DE DATOS



Necesitarás...

- **Un modelo** (hoy podemos utilizar SIPNET)
 - El modelo debe estimar el tipo de datos que desea asimilar.
 - También debe ser adecuado para el sistema
- **Los datos** (¡estima la INCERTIDUMBRE!)
 - Los datos pueden ser cualesquiera (hoy nos ceñiremos sobre todo a los datos de flujo)
- **Un estimador** (alguna función iterativa de "costo")
 - Una forma de encontrar el "conjunto óptimo de parámetros"



Un par de ejemplos de aplicación de la asimilación de datos que ilustran algunos escollos para abordar algunas cuestiones científicas

1. Optimización de los flujos
2. Estimación inversa de parámetros
3. Utilización de un modelo optimizado para probar la estructura del modelo (grandes hipótesis)



Modelos de
ecosistemas

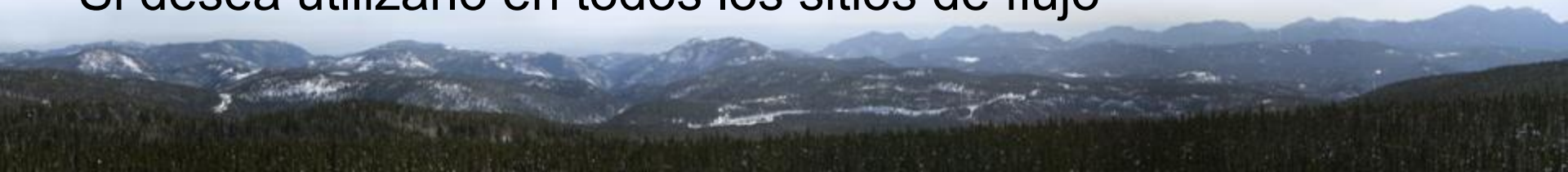
Todos los modelos son
erróneos
(pero algunos son útiles)



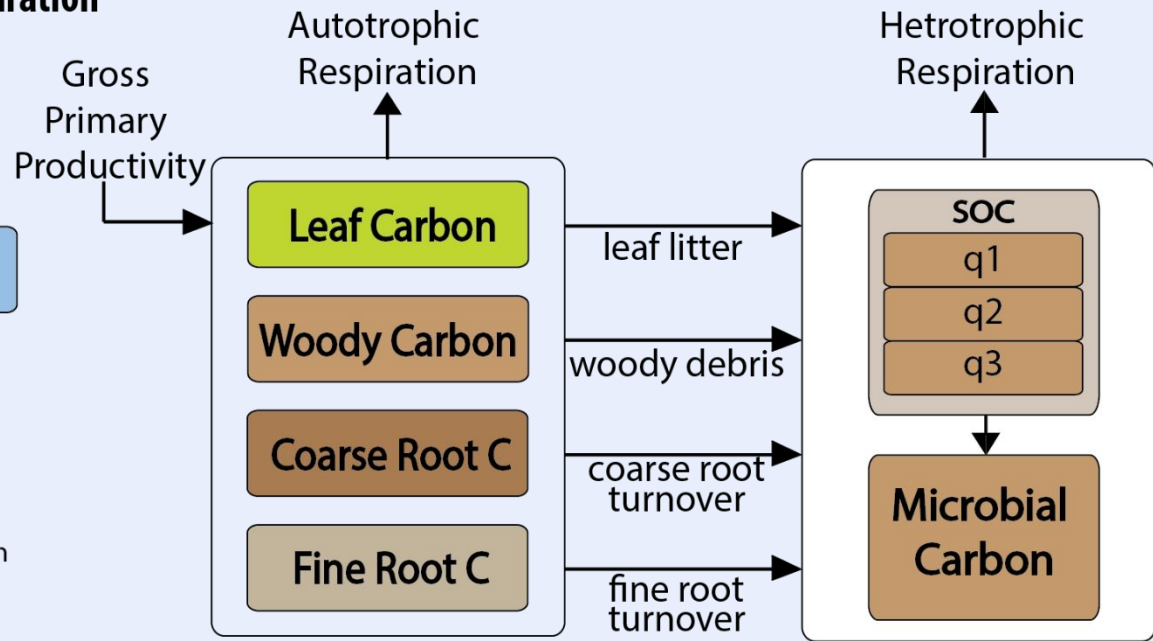
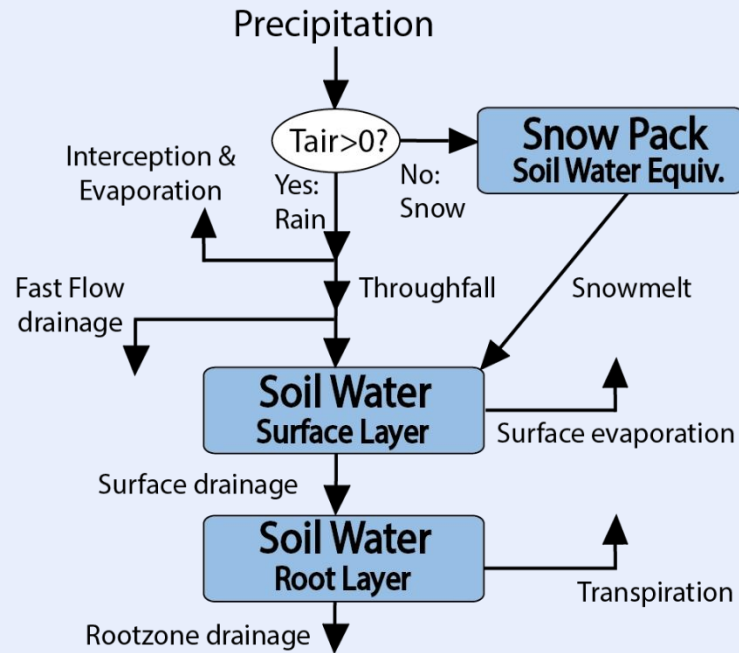
¿Qué tipo de modelo sería útil?

- Me gusta que el modelo se base en procesos
 - Así podemos aprender del fracaso e intentar predecir
- Debe ser sencillo para evitar un ajuste excesivo
 - Pocos parámetros
 - También corre rápido!
- Necesita calcular los datos que desea asimilar
 - Así podemos comparar directamente los datos con los resultados del modelo
- Debe basarse en variables climáticas fáciles de medir.

Si desea utilizarlo en todos los sitios de flujo



The Simplified Photosynthesis and EvapoTranspiration (SIPNET) data assimilation system



- Paso de tiempo dos veces al día (día y noche)

- Objetivo: simplificar al máximo el modelo

Fotosíntesis

$f(C \text{ de la hoja}; T_{air}, VPD, PAR, \text{ humedad del suelo})$

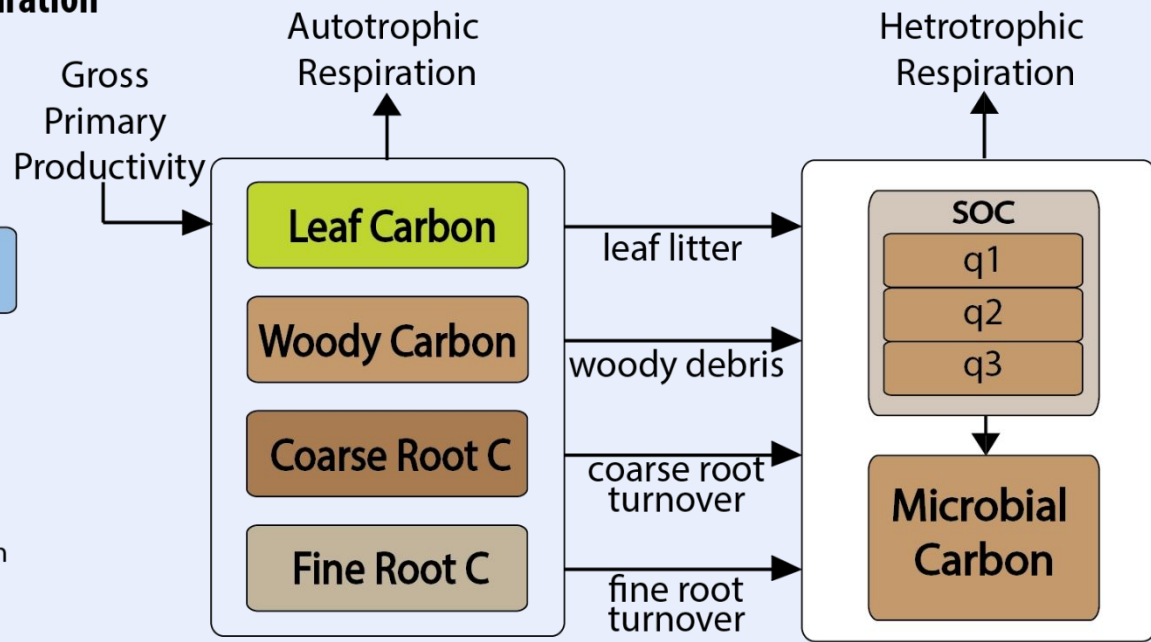
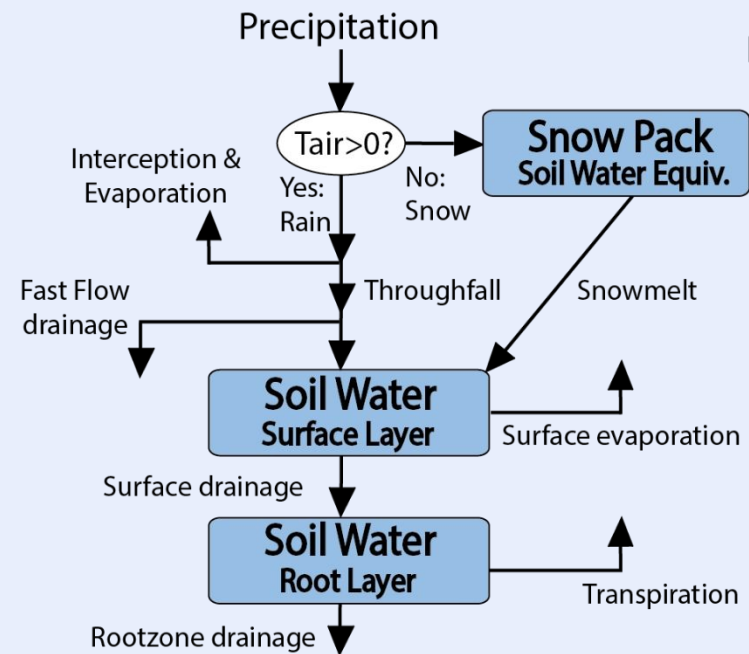
Respiración autótrofa:

$f(\text{Planta } C, T)_{air}$

Respiración heterótrofa:

$f(C \text{ del suelo}, T_{soil}, \text{ Humedad del suelo})$

The Simplified Photosynthesis and EvapoTranspiration (SIPNET) data assimilation system



Impulsado por 8 variables climáticas

- (1) temperatura media del aire
- (2) temperatura media del suelo
- (3) Precipitación
- (4) Radiación PAR

- (5) presión atmosférica de vapor
- (6) déficit de presión de vapor atmosférico
- (7) déficit de presión de vapor entre el suelo y la atmósfera
- (8) velocidad del viento

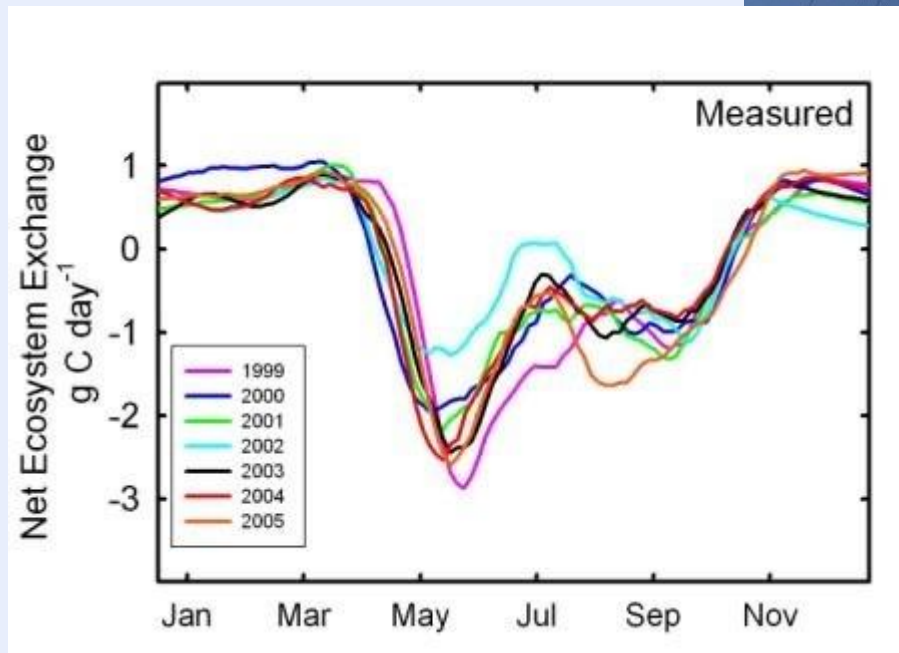
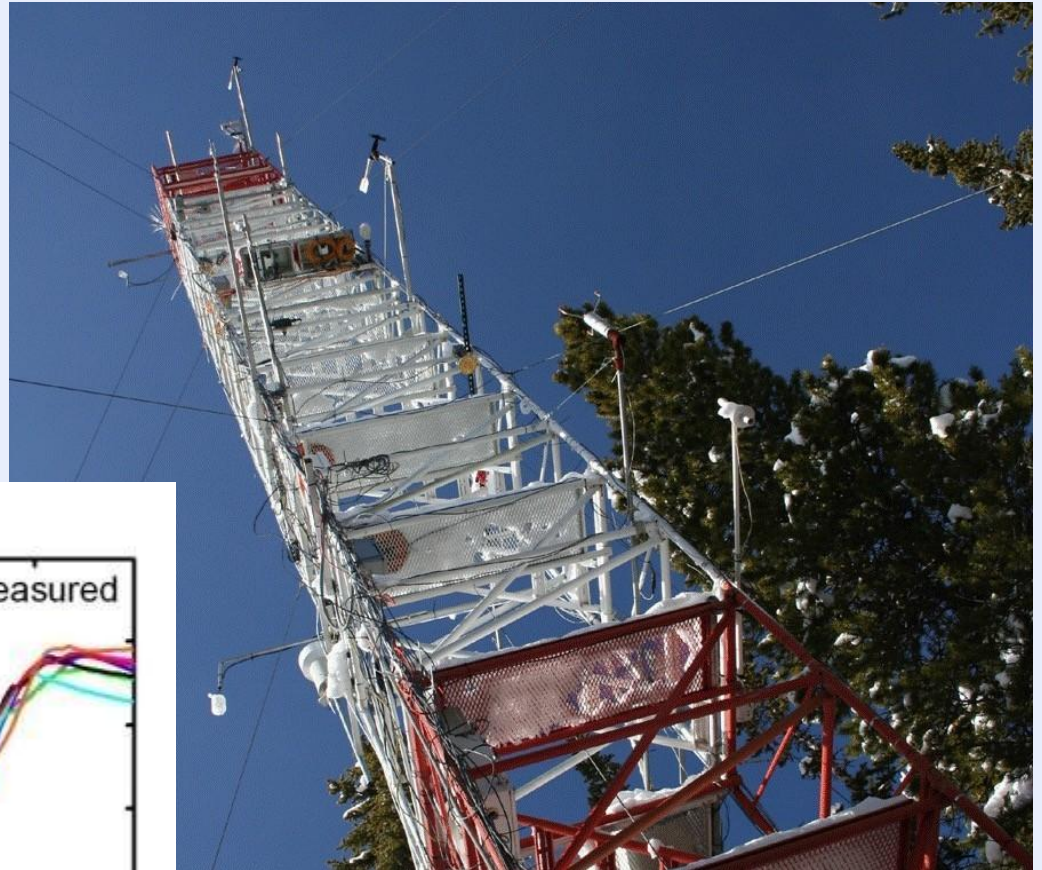


Sección 1

OPTIMIZACIÓN DE FLUJOS



Niwot Ridge, CO



Parametrización*

- Parámetros de primera estimación
 - Trabajo de campo diligente
 - Largas horas de trabajo de campo
 - ~~Adivina~~
 - Sabiduría extraída de una larga experiencia de trabajo en un sitio

Gráfico de salida SIPNET por defecto más flujos observados

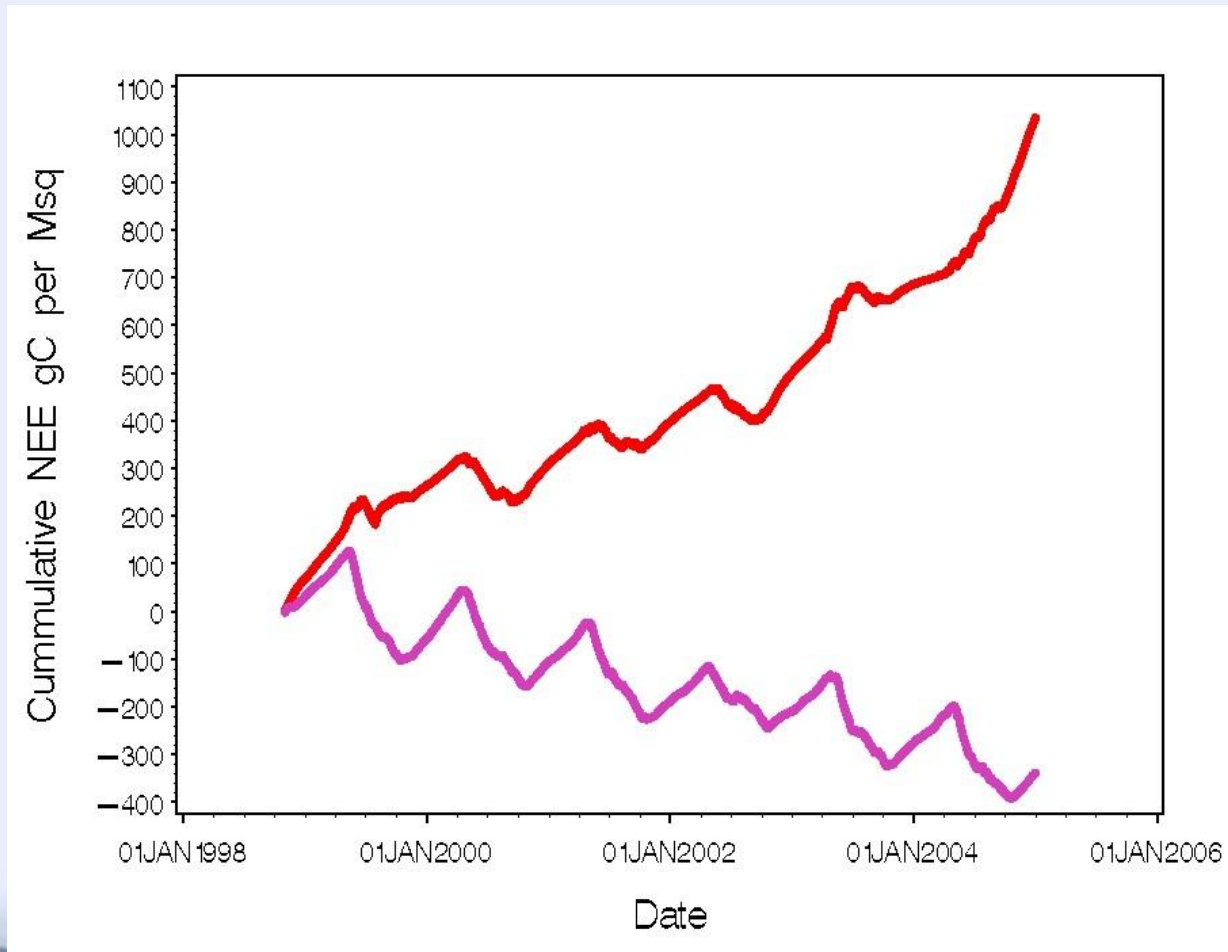
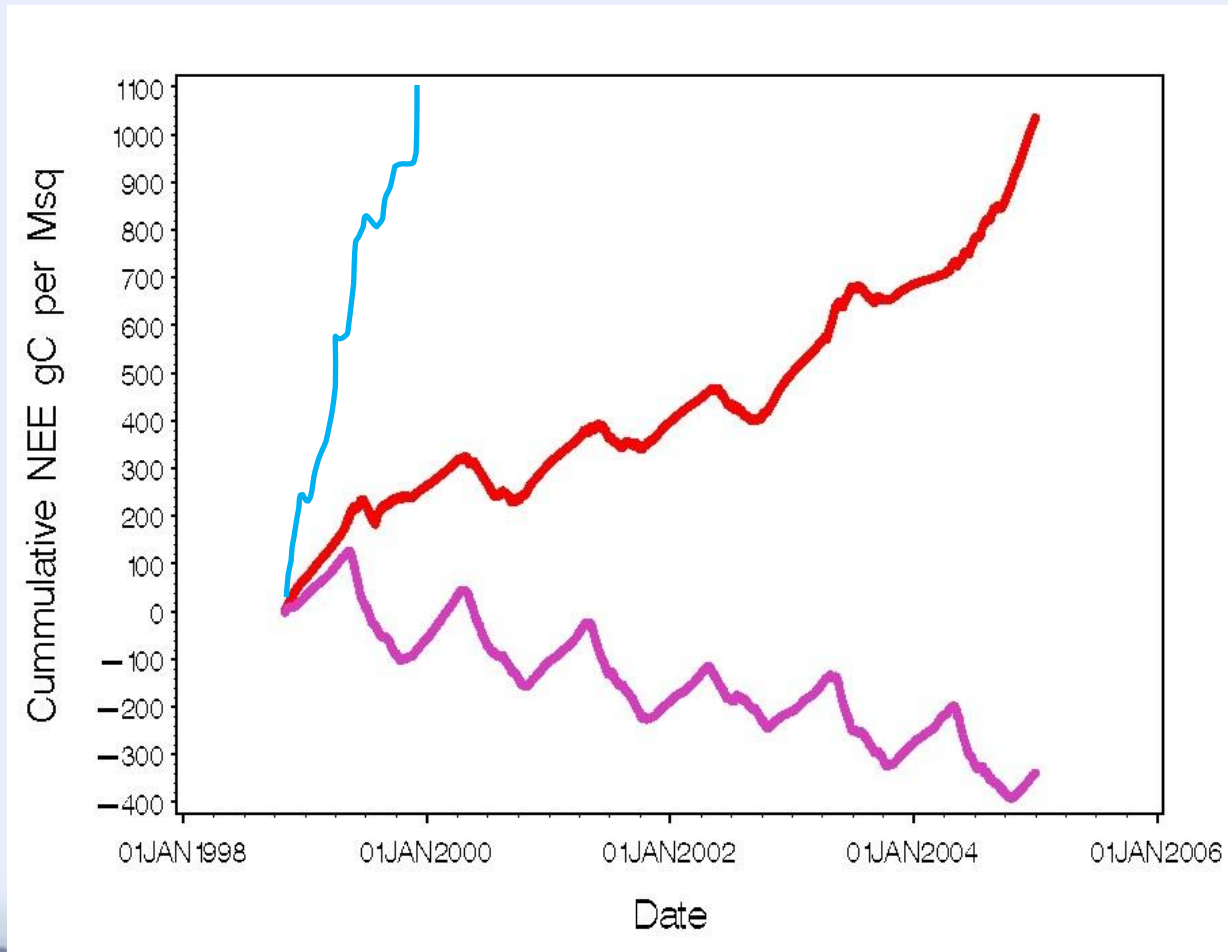


Gráfico de salida SIPNET por defecto más flujos observados



SIPNET en Niwot Ridge

¿QUÉ OCURRE CUANDO ASIMILAMOS ESTIMACIONES DE NEE DE LA TORRE?



El error datos-de-modelos se define en términos de verosimilitud (L), y minimizar este error es como maximizar la verosimilitud:

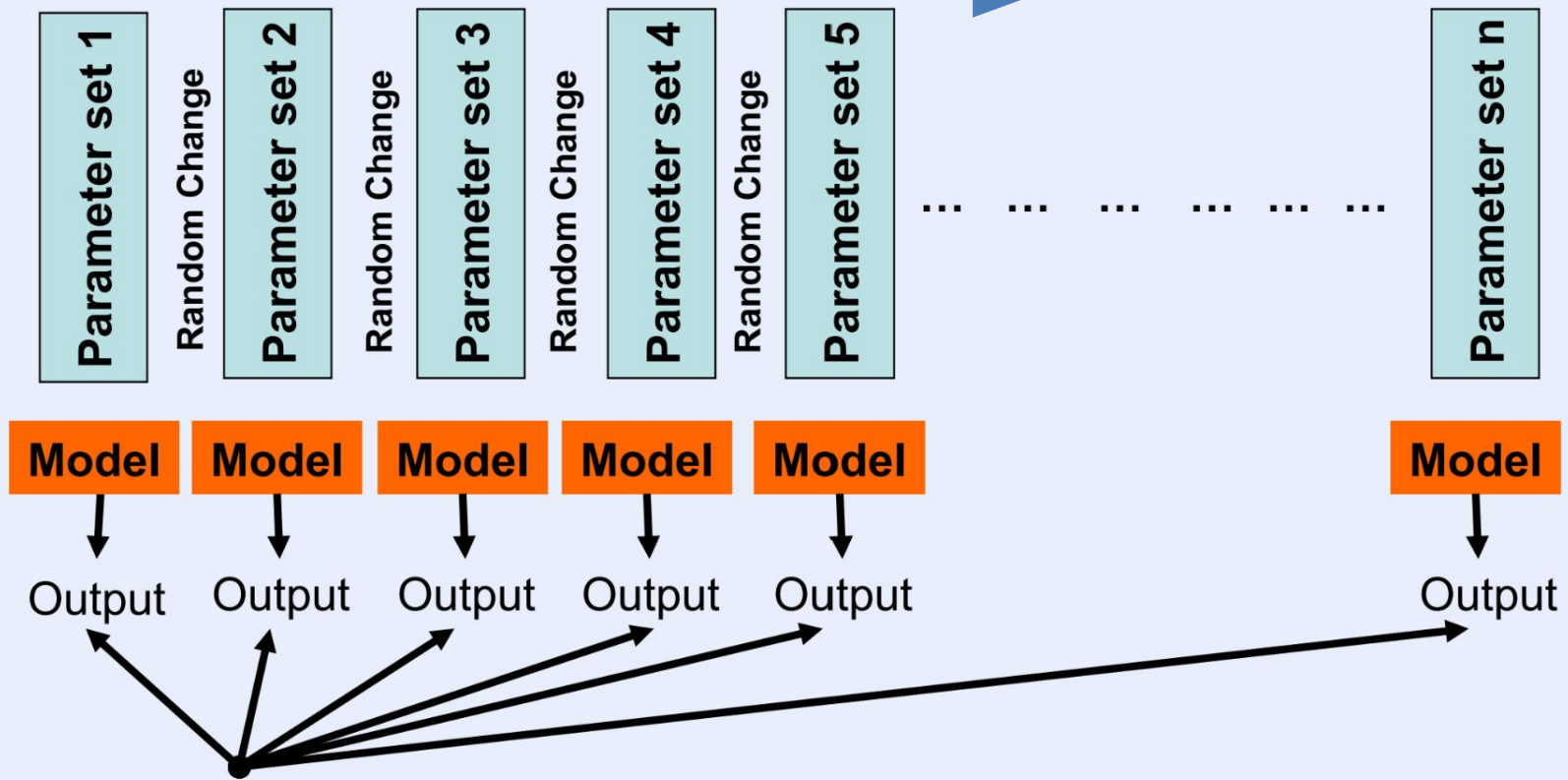
$$L = \prod_{i=1}^n \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{(x_i - \mu_i)^2}{2\sigma^2}}$$

donde n es el número de puntos de datos y σ es la desviación típica de cada punto de datos.

—
Cuanto menor sea el residuo del modelo, mejor.
Cuanto mayor sea el número de puntos, mejor



Aumento de la verosimilitud

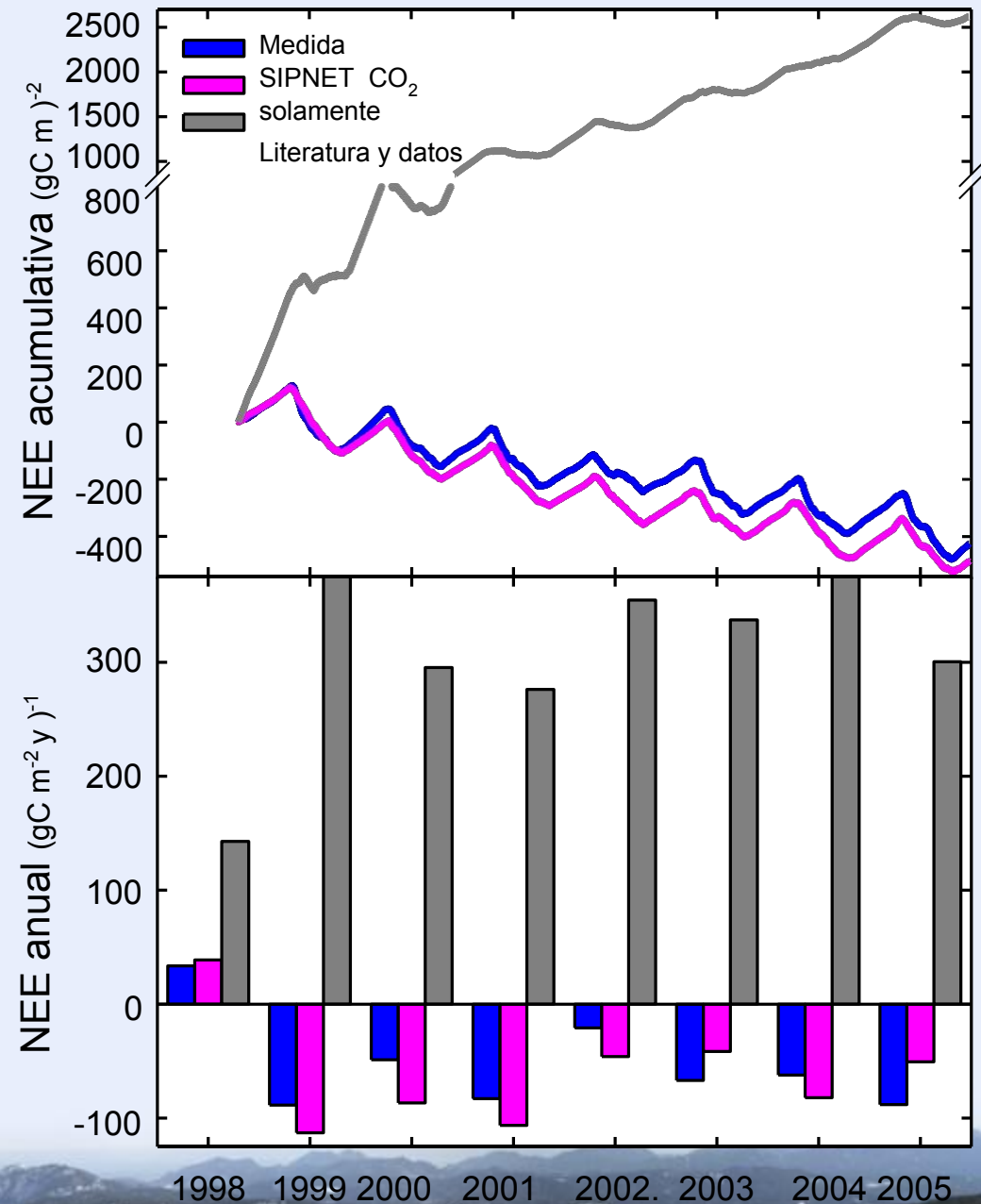


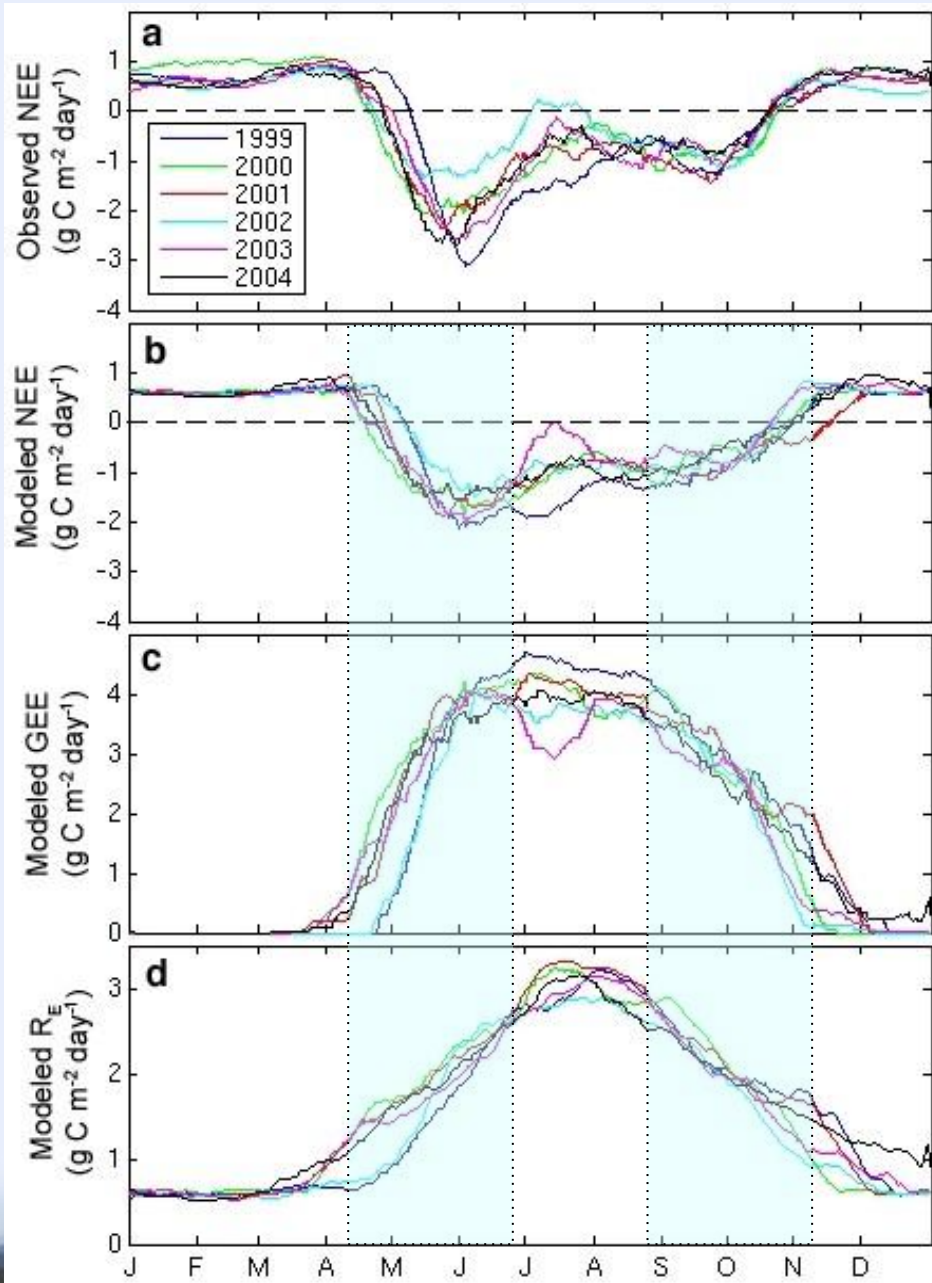
Flux data

El resultado del modelo se compara con los datos de flujo medidos después de cada iteración. Entonces se cambia un parámetro en una cantidad incremental, el modelo se ejecuta de nuevo y si el nuevo resultado se ajusta mejor, se guarda el conjunto de parámetros... después de muchos miles de iteraciones, se alcanza un conjunto de parámetros óptimo.



Gran mejora de la capacidad del modelo para representar los flujos medidos





NEE y componentes de NEE observados y modelados para el periodo de observación de seis años

La NEE observada se tomó del registro de flujo de remolinos de Niwot Ridge.

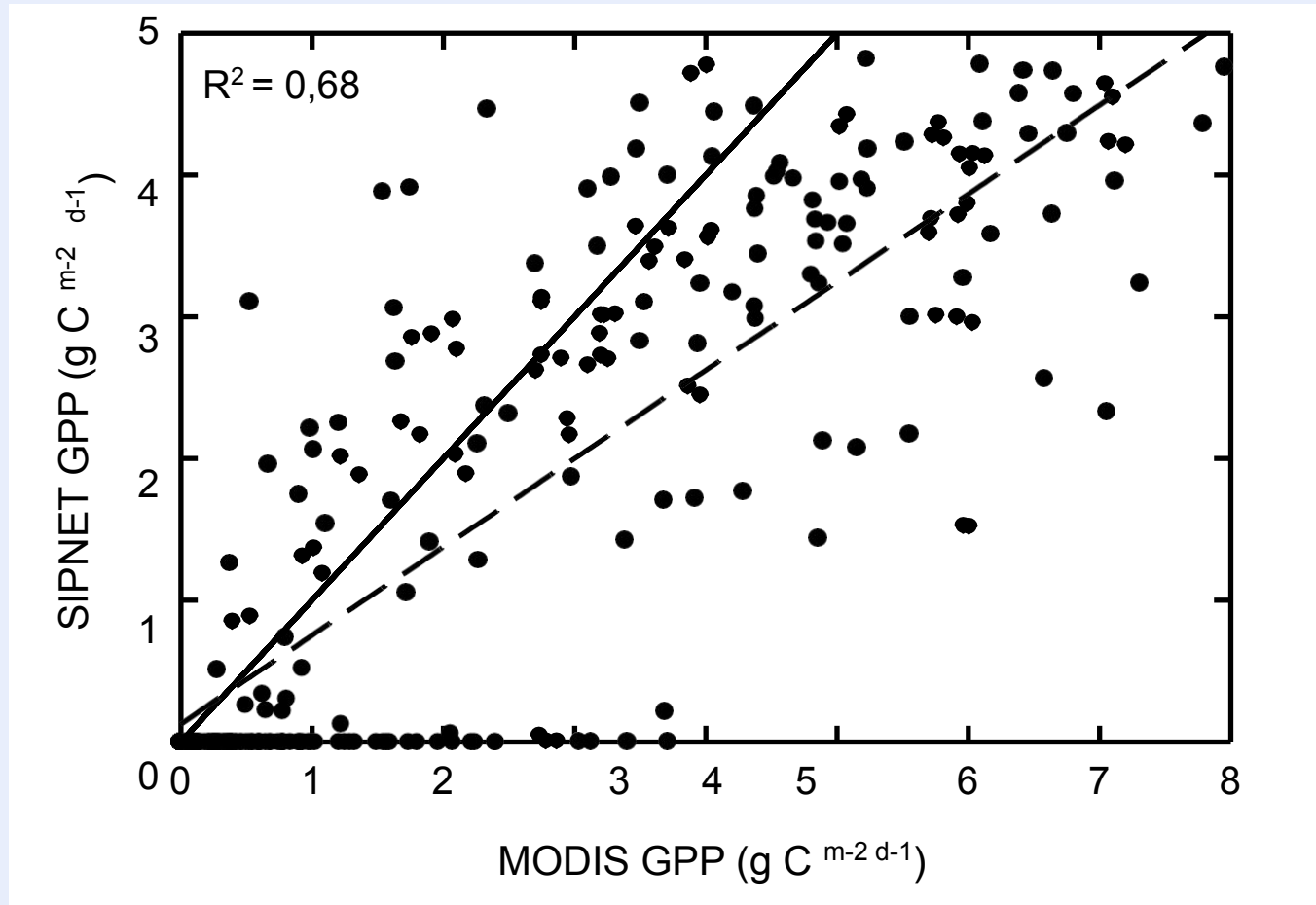
Los modelos NEE, GEE y R_E se obtuvieron a partir del modelo SIPNET condicionado al registro completo de seis años de los flujos de los remolinos (de Sacks et al. 2007)

MODIS en Niwot Ridge

ESCALAR LOS PROCESOS DE LOS ECOSISTEMAS CON SATÉLITES



GPP estimado a partir del modelo SIPNET condicionado a los flujos de torre y GPP estimado utilizando MODIS



MODIS (Espectrorradiómetro de imágenes de resolución moderada) Subconjunto de píxeles para Niwot Ridge, CO



© 2007 Europa Technologies
Image © 2007 TerraMetrics

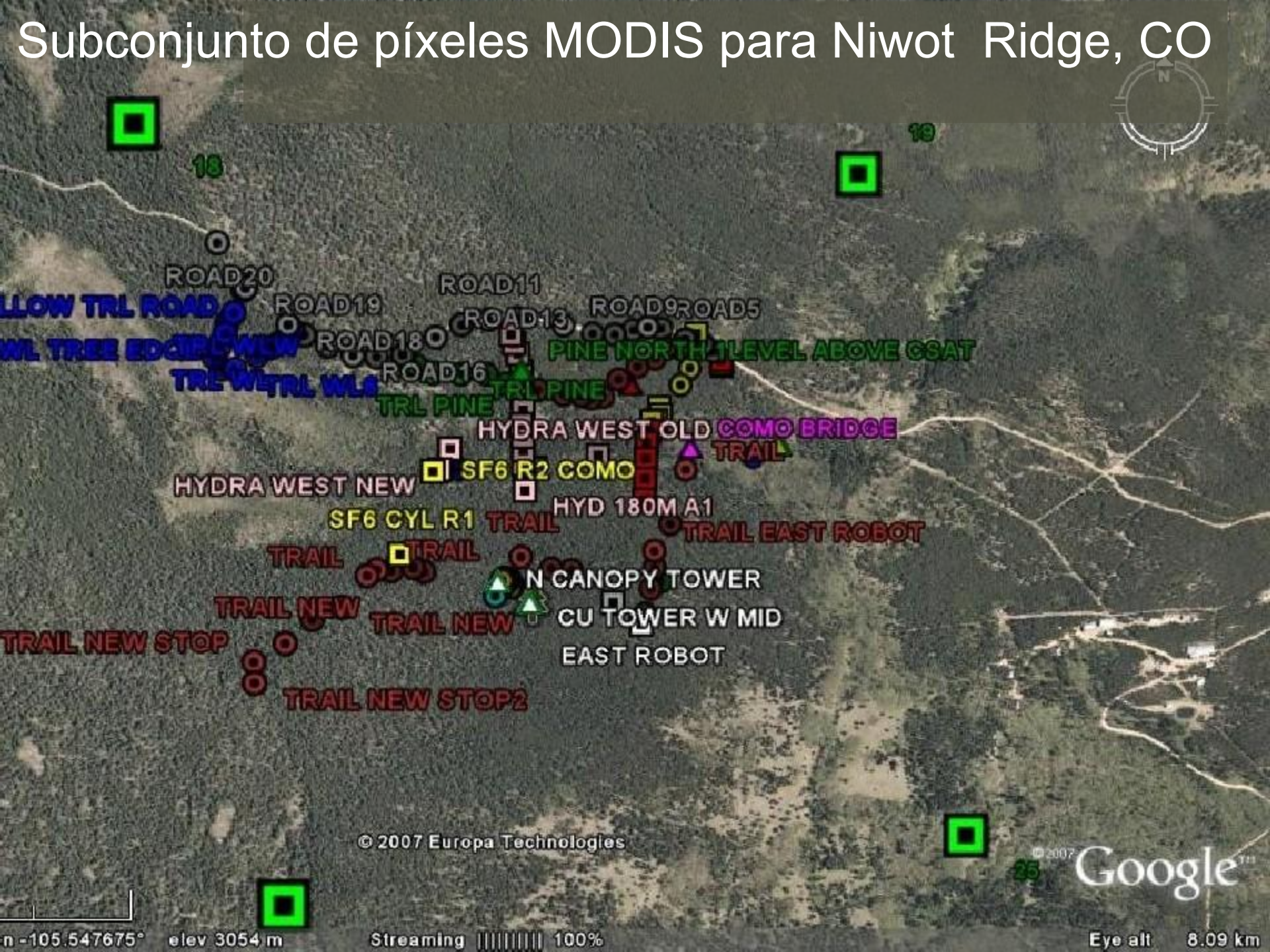
© 2007 Google

lon -105.547675° elev 3057 m

Streaming ||||| 100%

Eye alt 30.22

Subconjunto de píxeles MODIS para Niwot Ridge, CO



LOW TRL ROAD
W. TREE EDGES NEW
TR. W. TRL WLS
ROAD20
ROAD19
ROAD18
ROAD16
ROAD11
ROAD13
ROAD9
ROAD5
PINE NORTH 1 LEVEL ABOVE GSAT
TRL PINE
HYDRA WEST OLD COMO BRIDGE
HYDRA WEST NEW
SF6 R2 COMO
SF6 CYL R1 TRAIL
HYD 180M A1
TRAIL EAST ROBOT
TRAIL
N CANOPY TOWER
CU TOWER W MID
EAST ROBOT
TRAIL NEW STOP
TRAIL NEW STOP2

© 2007 Europa Technologies

© 2007 Google™

n -105.547675°

elev 3054 m

Streaming | 100%

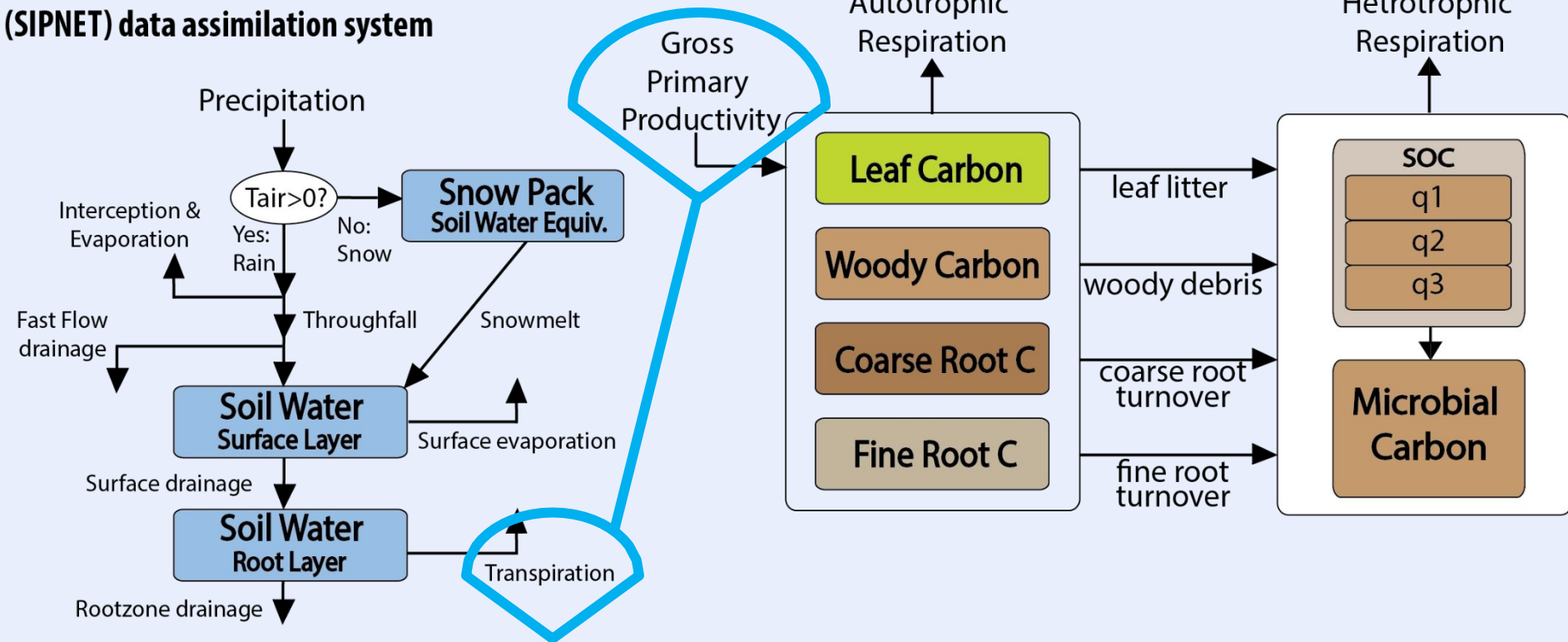
Eye alt 8.09 km

SIPNET en Niwot Ridge

¿QUÉ PASA CUANDO ASIMILAMOS ESTIMACIONES DE NEE Y ET DE LA TORRE?



The Simplified Photosynthesis and EvapoTranspiration (SIPNET) data assimilation system



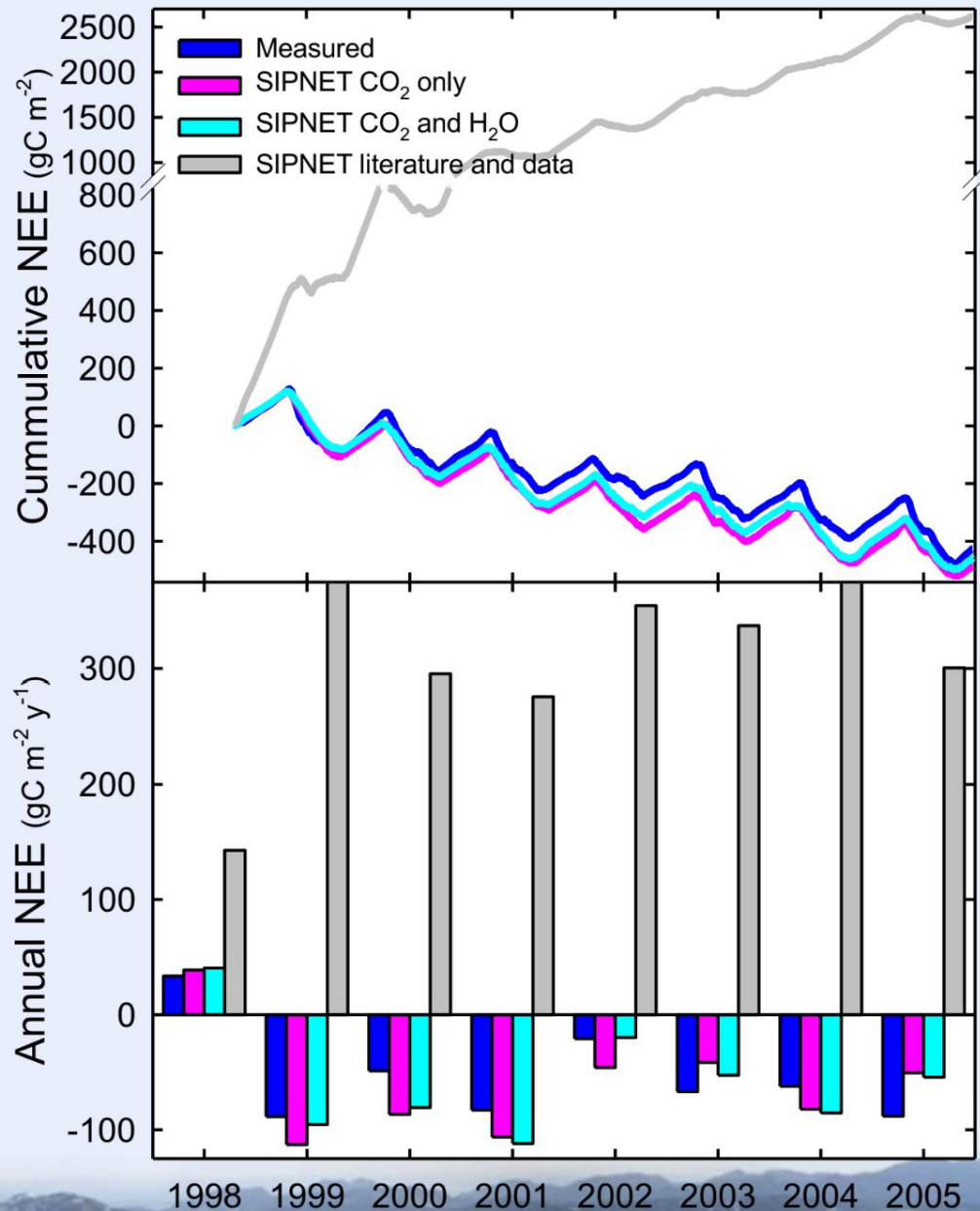
Impulsado por 8 variables climáticas

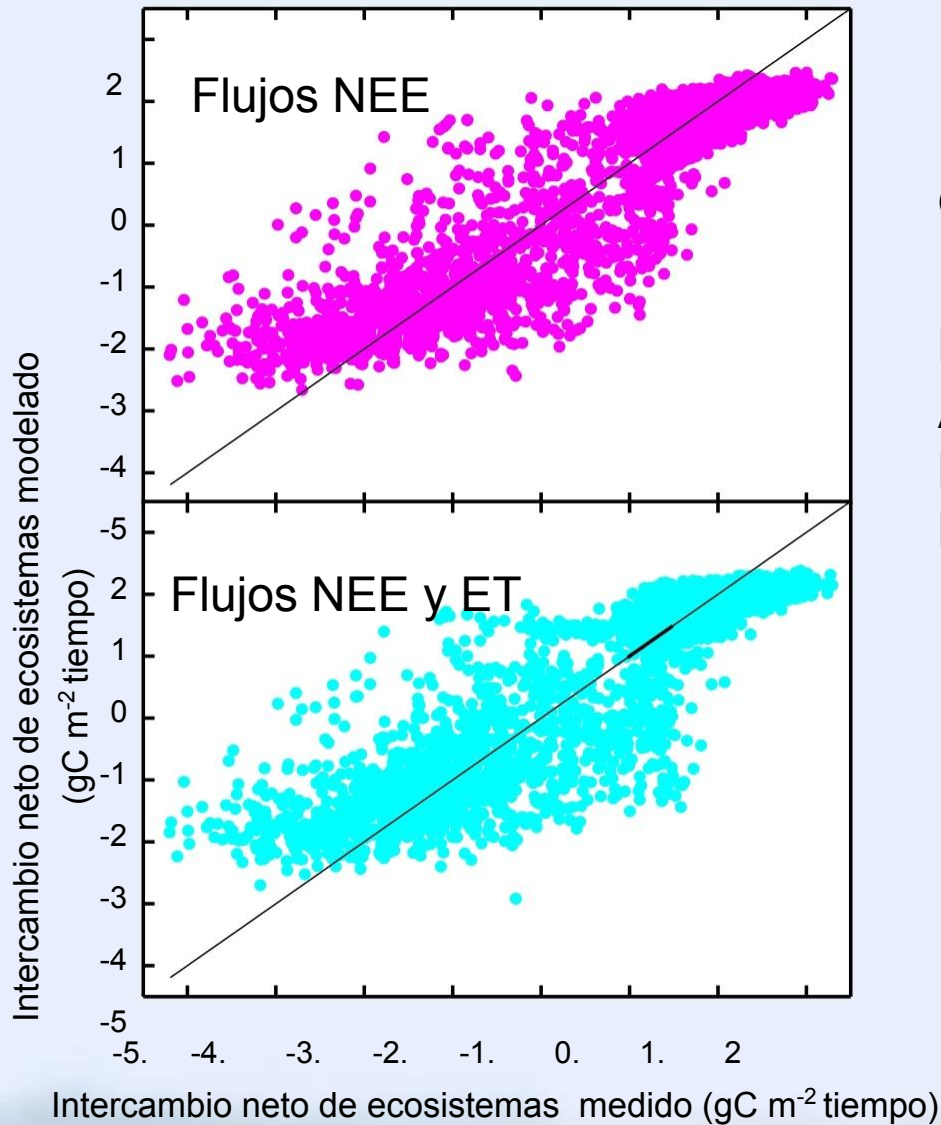
- (1) temperatura media del aire,
- (2) temperatura media del suelo
- (3) Precipitación
- (4) PAR

- (5) presión atmosférica de vapor
- (6) déficit de presión de vapor atmosférico
- (7) déficit de presión de vapor entre el suelo y la atmósfera
- (8) velocidad del viento

SIPNET, impulsado por datos climáticos, puede reproducir los flujos NEE medidos

- La estimación de los parámetros a partir de valores bibliográficos da lugar a estimaciones deficientes de la NEE
- El uso de la asimilación de datos para estimar los parámetros del modelo da lugar a estimaciones de NEE que se ajustan estrechamente a los flujos medidos

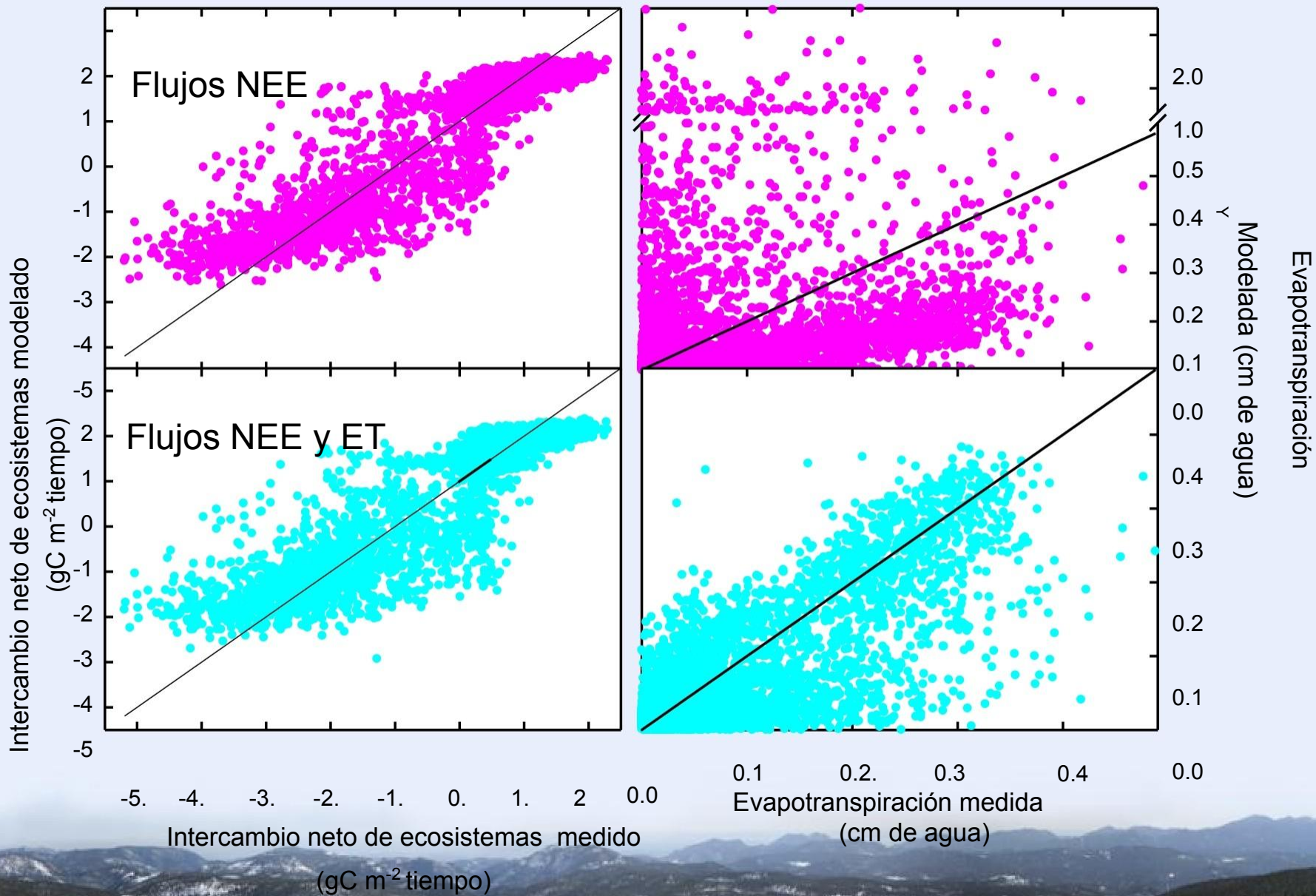




Los flujos modelados caen a lo largo de la línea 1:1

La asimilación conjunta de CO₂ y ET no parece influir en el flujo NEE.

Ambos conjuntos de parámetros dan lugar a dispersión y ambos fallan en los extremos





Debemos tener cuidado

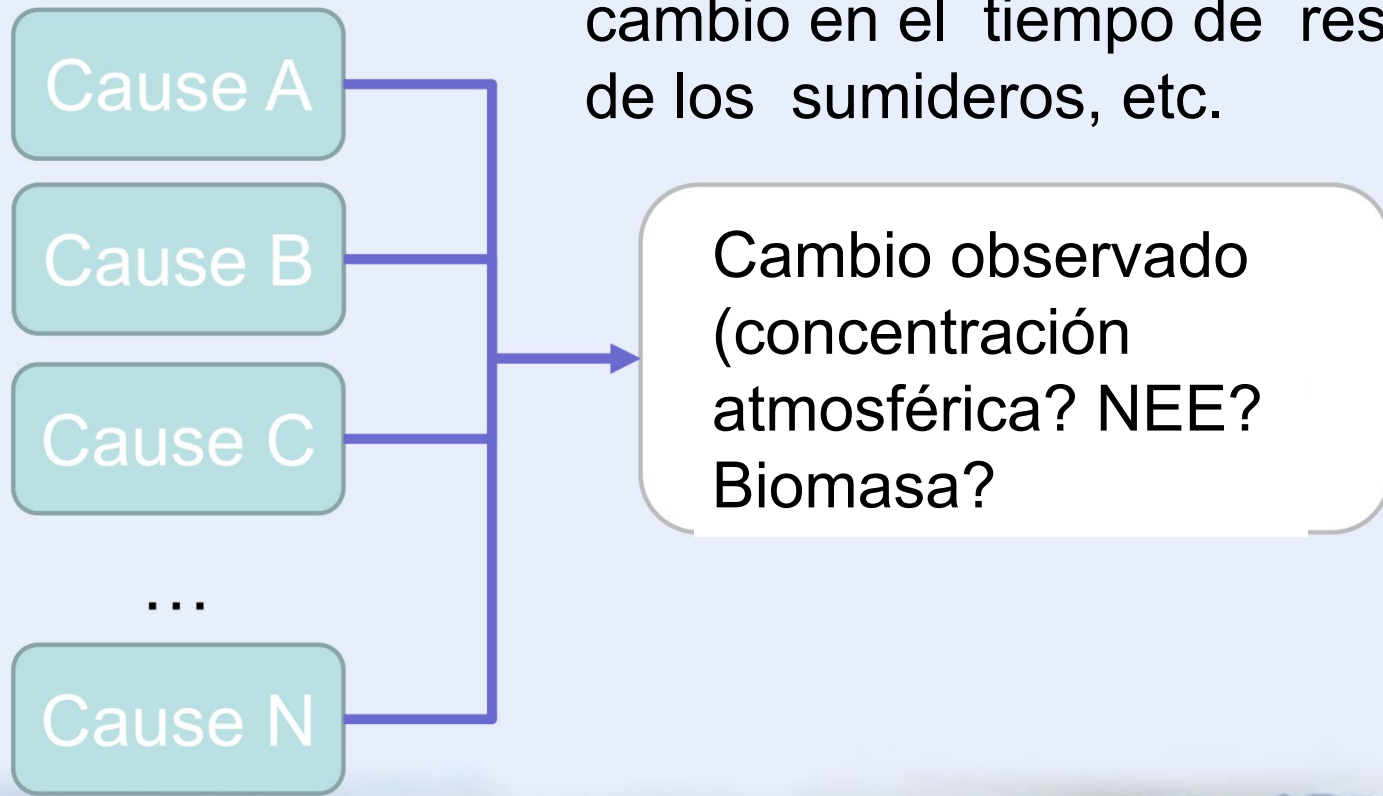
Si 'forzamos' el modelo a veces provocamos que otra parte del modelo se comporte de forma incorrecta

- Elija cuidadosamente los procesos que le interesan
- Elija cuidadosamente los parámetros que puede limitar
- Realice mediciones muy cuidadosas (basura entrante = basura saliente)



Equifinalidad

Hay muchas maneras de explicar un cambio en el flujo: aumento de la absorción, reducción de la liberación, cambio en la distribución de los sumideros, cambio en el tiempo de residencia de los sumideros, etc.



SIPNET en Niwot Ridge

**¿CÓMO PODEMOS
COMPROBAR SI
NUESTROS MODELOS DE
ASIMILACIÓN SON UNA
BUENA
REPRESENTACIÓN?**



Confiar... pero verificar

Los datos utilizados para
ajustar un modelo no
pueden utilizarse para
validar el mismo modelo.



Caída de
hojarasca

Flujo de
savia

LAI

Respiración
de suelo

Diámetro
para
biomasa

También deberíamos poder
extraer información de estos
datos

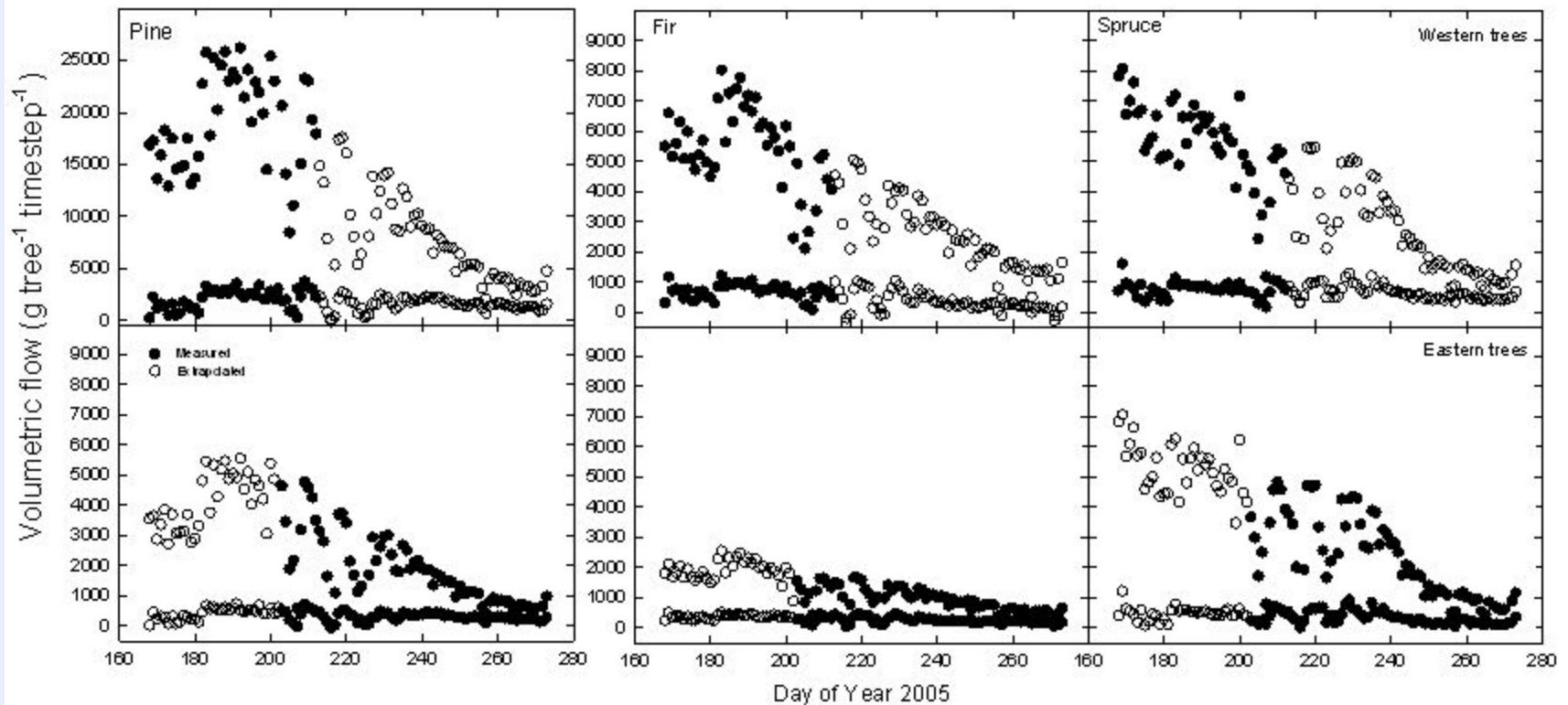
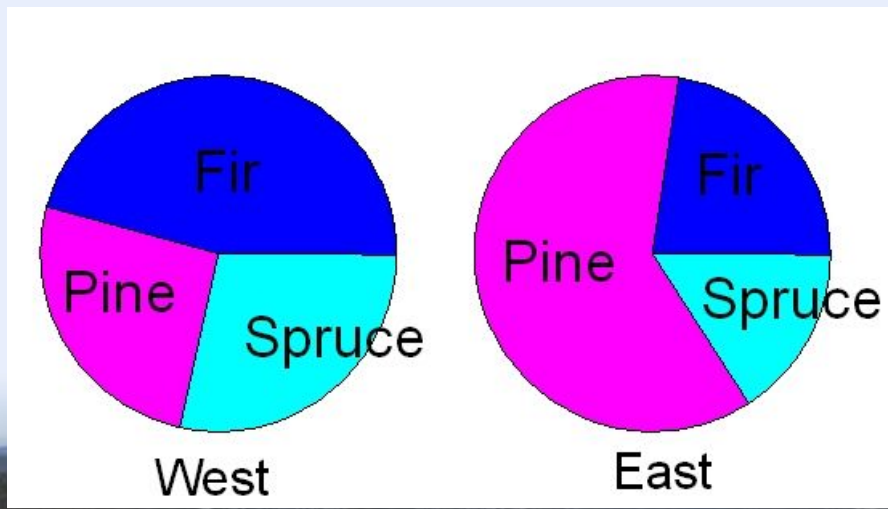
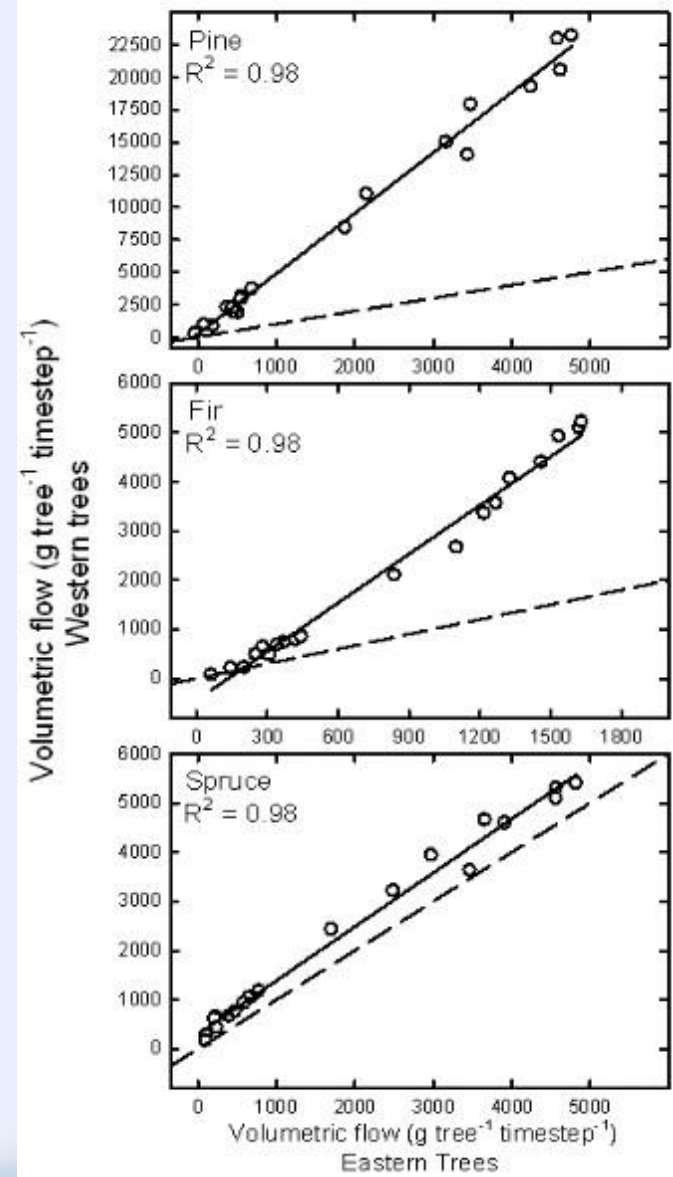
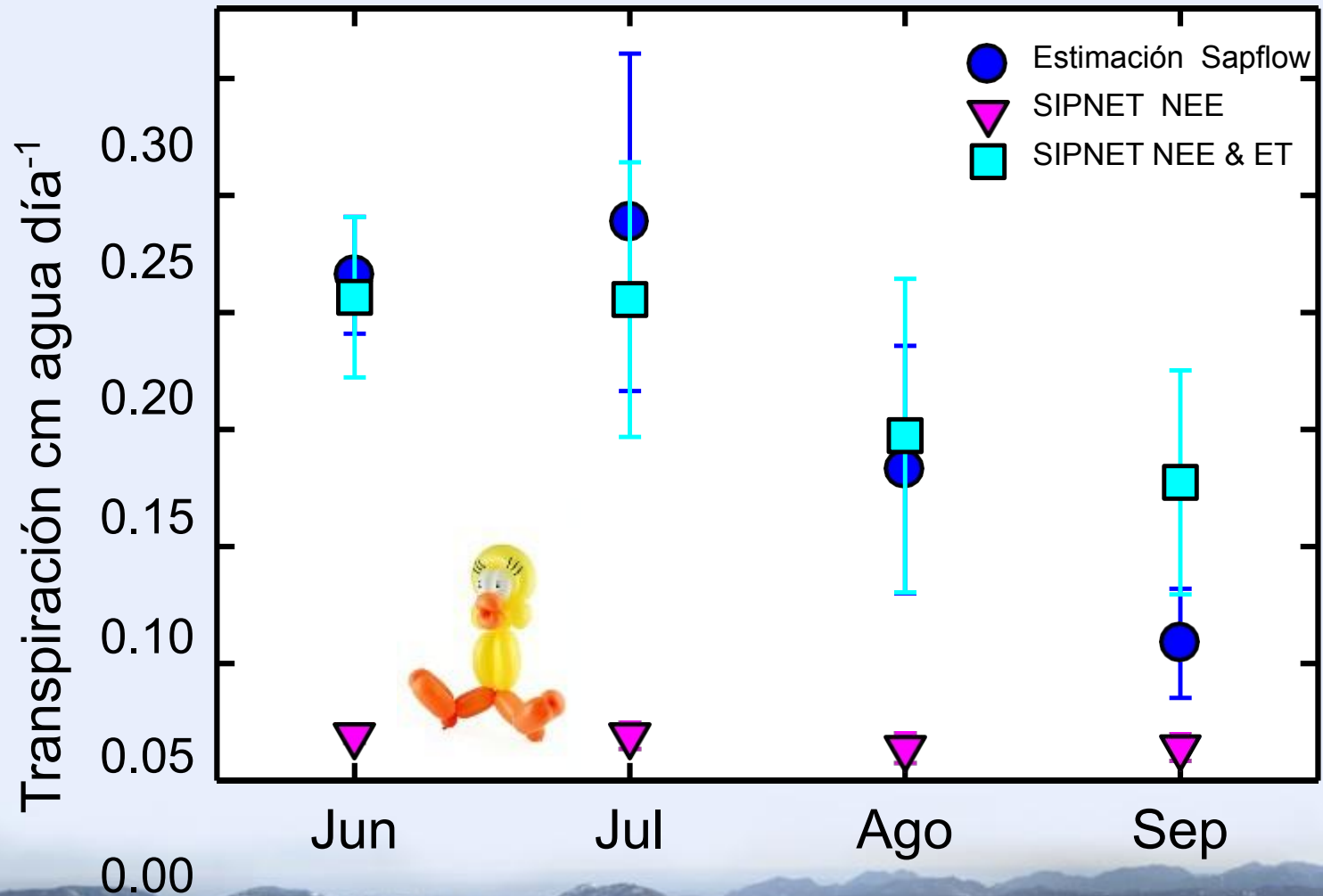


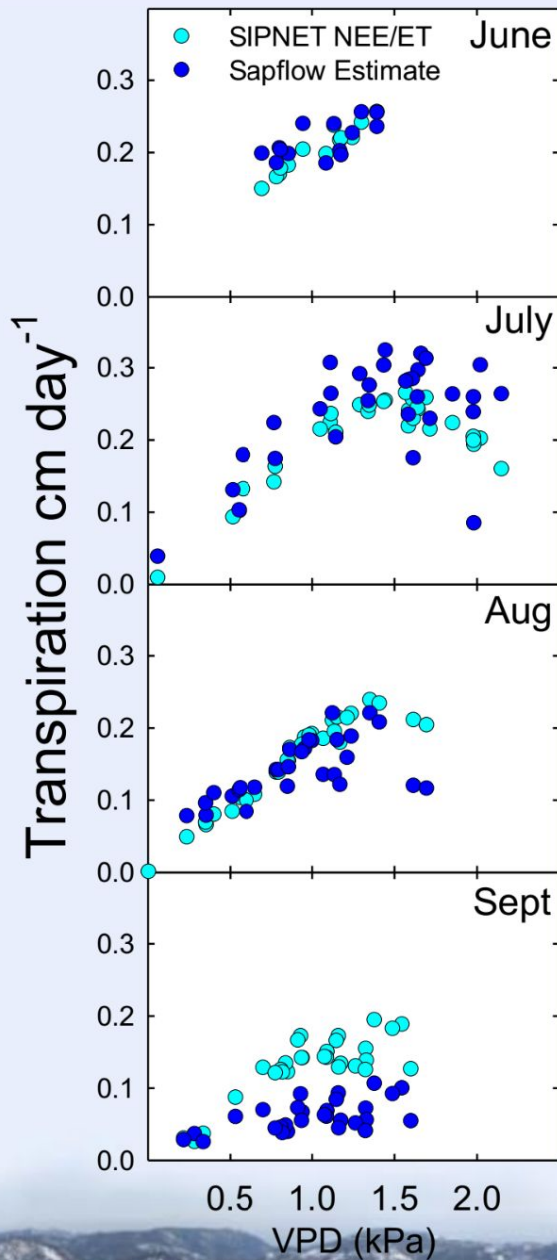
Fig: Flujo volumétrico de savia de pinos, abetos y píceas en las partes occidental (paneles superiores) y oriental (paneles inferiores) del bosque experimental de Niwot Ridge. Los valores de flujo de savia se separan en nocturno y diurno para permitir la comparación con los resultados del modelo SIPNET. Los puntos de la base de cada gráfico representan la transpiración nocturna. Los símbolos cerrados representan el flujo volumétrico total medio para el paso de tiempo, los símbolos abiertos representan los datos calculados a partir de las regresiones lineales anteriores. Nótese que los pinos del oeste están en una escala diferente.

*Flujo volumétrico de savia sumado por unidad de tiempo (día y noche) en las porciones oriental y occidental del bosque experimental de Niwot Ridge. Las líneas continuas representan los valores predichos basados en la regresión lineal de los flujos occidentales frente a los orientales para cada especie. Las líneas discontinuas muestran la relación 1:1. **Obsérvese que los pinos del oeste están en una escala diferente.***

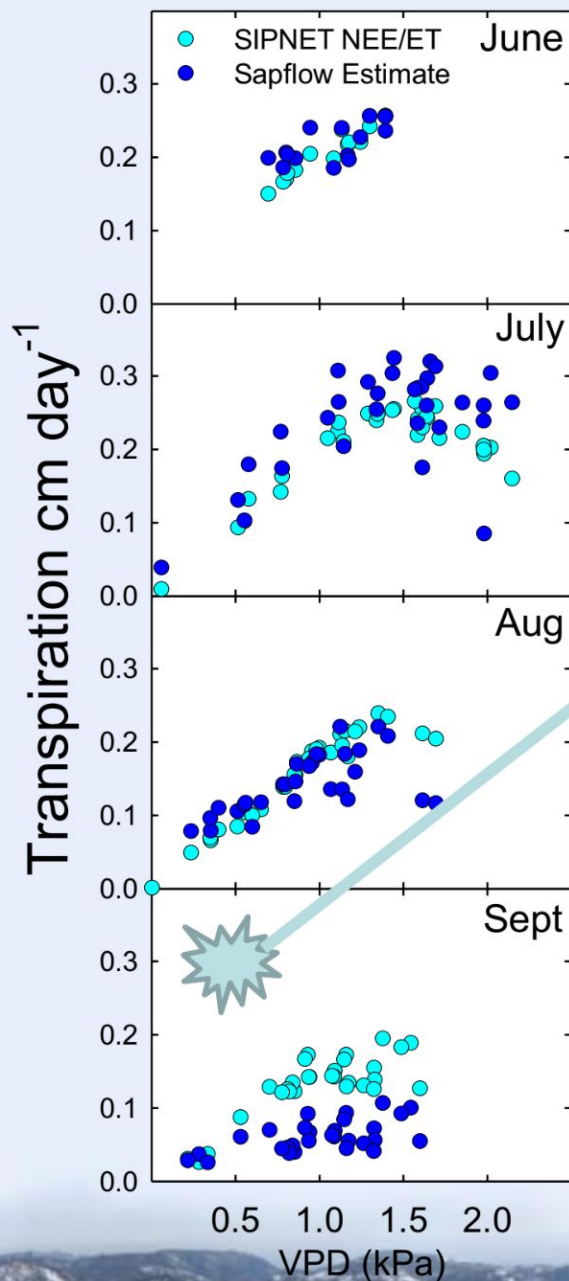


Utilizando sólo la NEE para parametrizar el modelo da estimaciones MUY pobres de la Transpiración





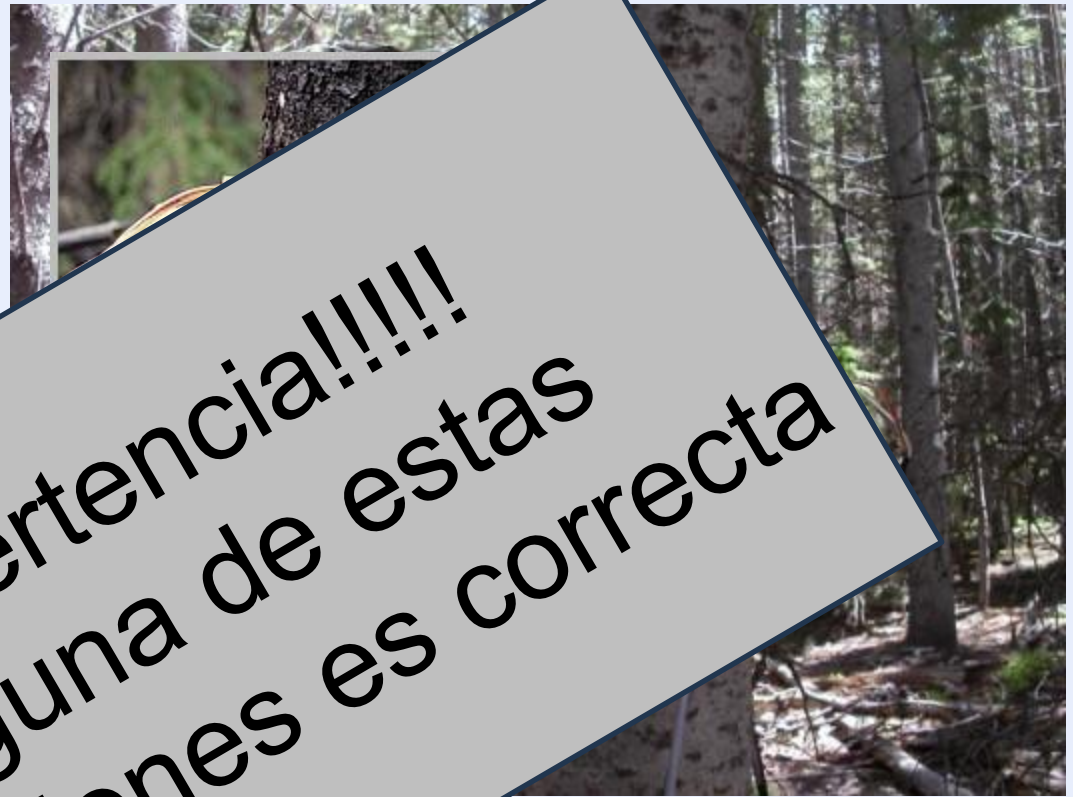
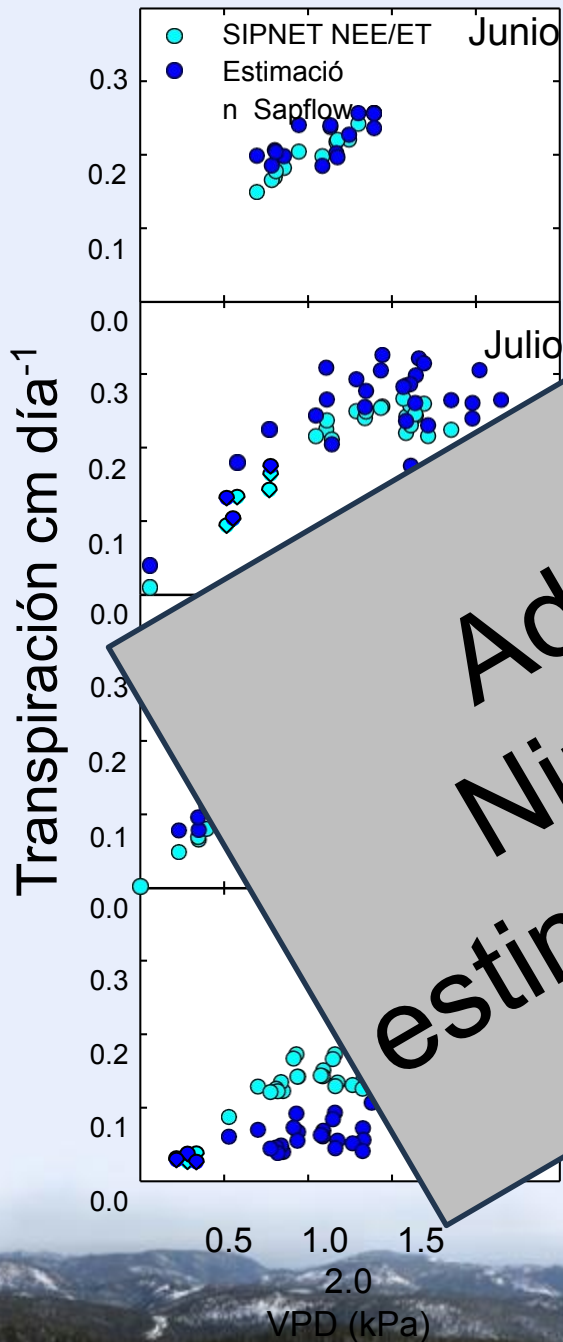
El modelo optimizado reproduce la transpiración medida
 Esto podría utilizarse para predecir el uso del agua en diferentes regímenes de temperatura y precipitaciones.



Creemos que este desajuste se debe a que el modelo NO SABE que las temperaturas frías (en septiembre) inhiben el flujo de savia.

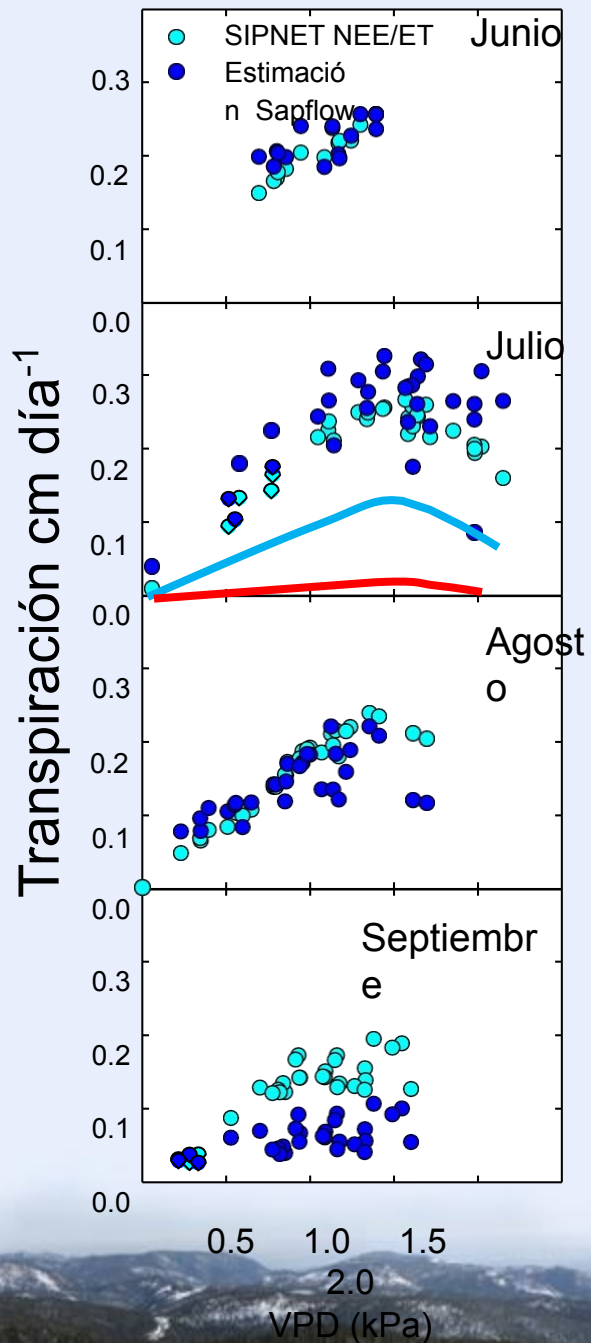
El modelo optimizado reproduce la transpiración medida.

Esto podría utilizarse para predecir el uso del agua en diferentes regímenes de temperatura y precipitaciones.



Advertencia!!!!
Ninguna de estas
estimaciones es correcta

optimizado reproduce la transpiración medida
 esto podría utilizarse para predecir el uso del agua en diferentes regímenes de temperatura y precipitaciones.



El modelo optimizado reproduce la transpiración medida
 Esto podría utilizarse para predecir el uso del agua en diferentes regímenes de temperatura y precipitaciones.

Ray Leunning siempre decía
que un científico de flujos
debe "Conocer su sitio"

Por la misma razón
"Conoce tu modelo"

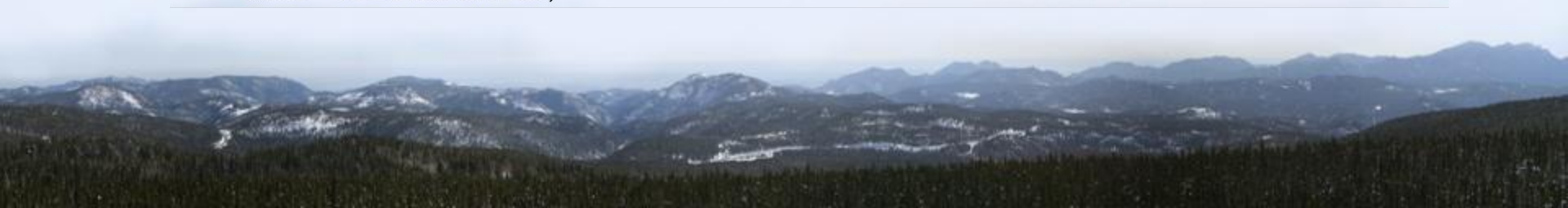


¿Cómo se relacionan los ciclos del carbono y del agua en SIPNET?

```
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;
```



¿Cómo se relacionan los ciclos del carbono y del agua en SIPNET?

La eficiencia en el uso del agua se calcula utilizando una constante estimada modificada por el Déficit de Presión de Vapor

$$wue = \text{params.wueConst}/vpd$$

$$\text{potTrans} = \text{potGrossPsn}/wue$$

$$dWater = \text{Trans}/\text{potTrans}$$

$$*gpp = \text{potGrossPsn} * dWater;$$



¿Cómo se relacionan los ciclos del carbono y del agua en SIPNET?

$$wue = \text{params.wueConst}/vpd$$

$$\text{potTrans} = \text{potGrossPsn}/wue$$

$$dWater = \text{Trans}/\text{potTrans}$$

$$*gpp = \text{pot}$$

La transpiración potencial se calcula como la relación entre la fotosíntesis bruta potencial y la eficiencia en el uso del agua



¿Cómo se relacionan los ciclos del carbono y del agua en SIPNET?

Si hay suficiente agua, la transpiración es igual a la transpiración potencial... si el agua es limitante, la transpiración se reduce en consecuencia, el ratio dAgua es una medida de esta reducción.

$$\text{potTrans} = \text{potGrossPsn}/\text{wue}$$

$$\text{dWater} = \text{Trans}/\text{potTrans}$$

$$*\text{gpp} = \text{potGrossPsn} * \text{dWater};$$



¿Cómo se relacionan los ciclos del carbono y del agua en SIPNET?

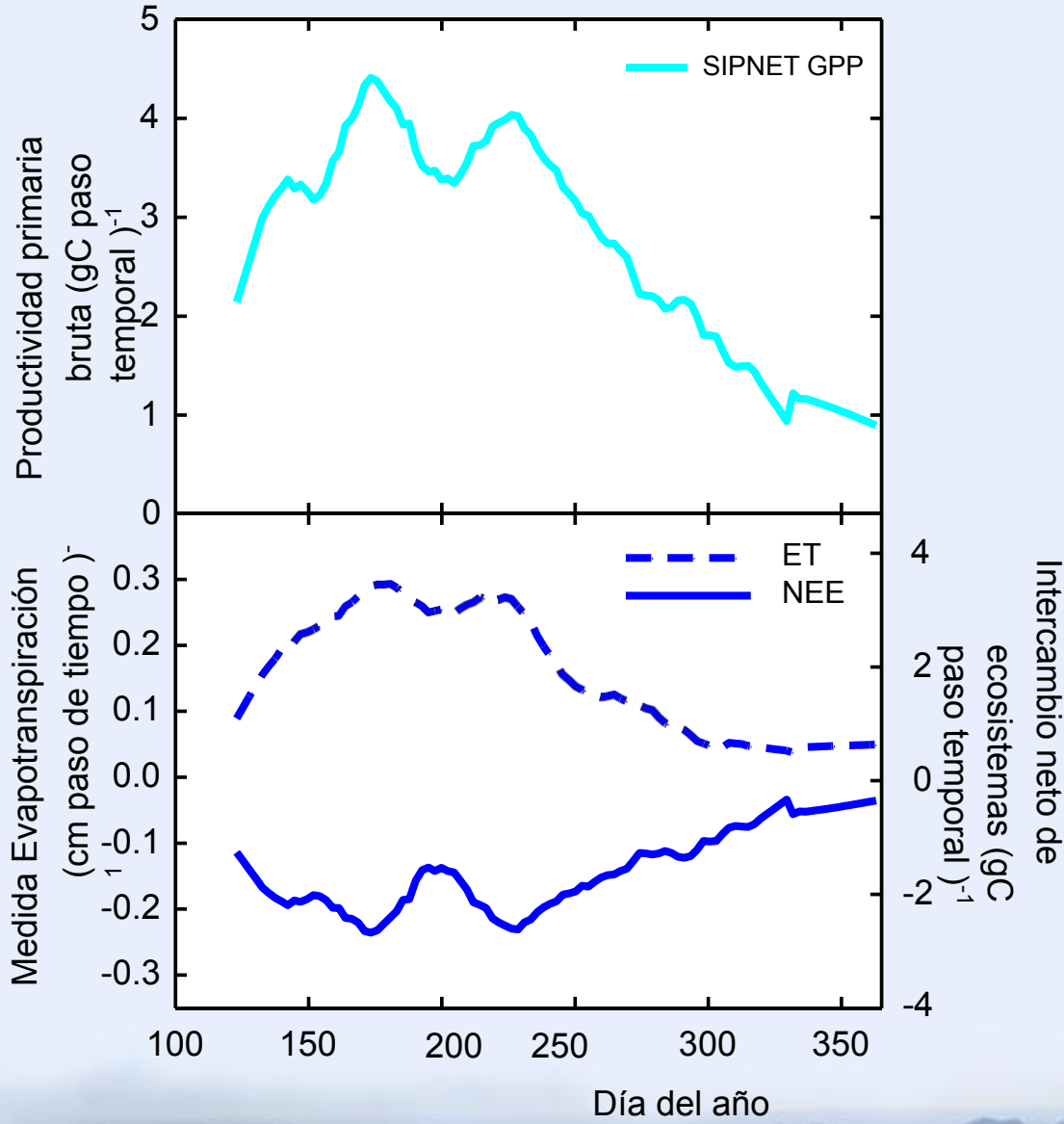
$$wue = \text{params.wueConst}/vpd$$

$$\text{potTrans} = \text{potGrossPsn}/wue$$

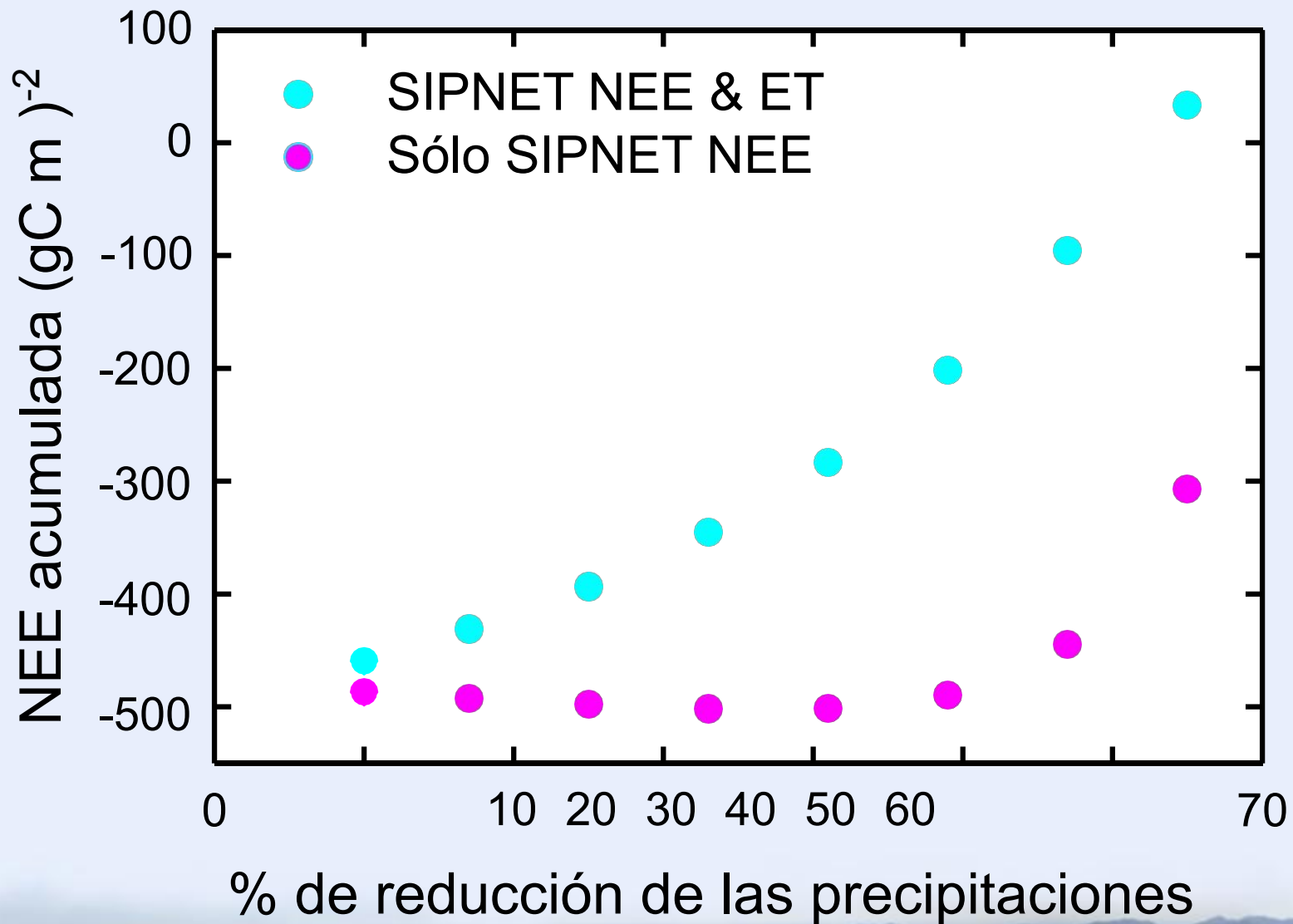
$$dWater = \text{Trans}/\text{potTrans}$$

$$*gpp = \text{potGrossPsn} * dWater;$$

La GPP se calcula como la fotosíntesis bruta potencial modificada por la relación entre la transpiración potencial y la transpiración real (es decir, la GPP se reduce si no hay suficiente agua en el suelo).



La optimización altera los parámetros relativos a la eficiencia en el uso del agua y la resistencia del dosel para aumentar su estimación de la transpiración a expensas de la evapotranspiración para reflejar la GPP.



Conclusión

- ~~• Utilizando NEE y ET obtengo una estimación correcta de la Transpiración~~
- Hay INFORMACIÓN en los datos de ET que puede decirnos algo sobre la transpiración.



Sección 2

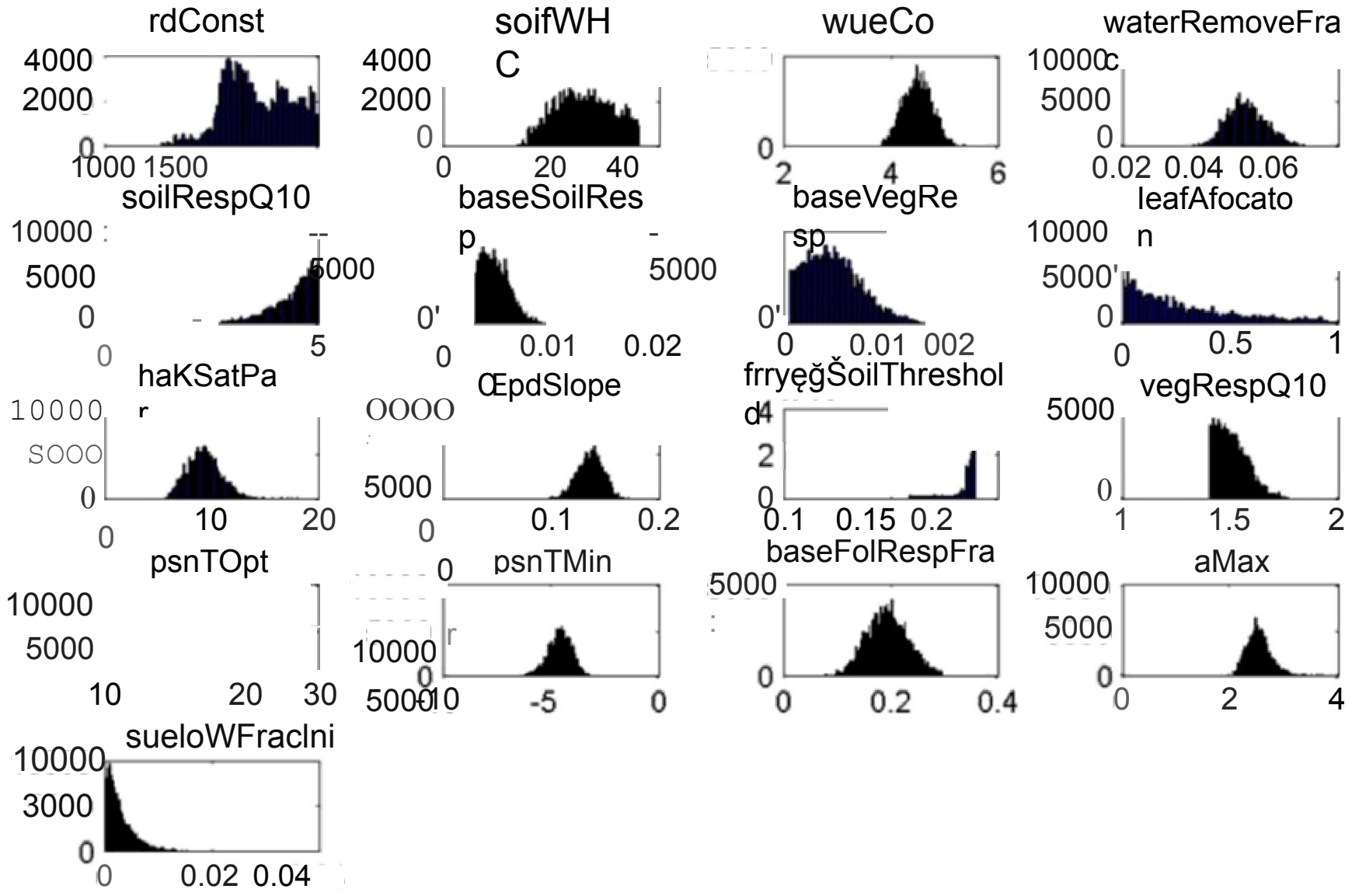
ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS Y ESTADOS INICIALES



Tabla 1: Parámetros de S&NET y condiciones iniciales que se permiten variar en la optimización, y sus rangos permitidos. Los rangos asumen una distribución a priori uniforme.

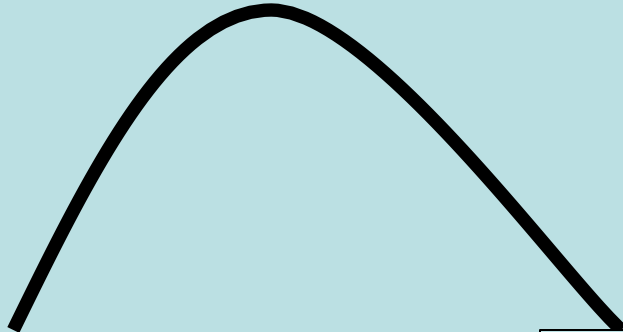
Symbol	Definition	Range
<i>Initial Pool Values:</i>		
$W_{S,0}$	Initial soil moisture content (fraction of $W_{S,c}$)	0 – 1
<i>Photosynthesis/Respiration Parameters:</i>		
A_{\max}	Maximum net CO ₂ assimilation rate (nmol CO ₂ g ⁻¹ (leaf biomass) s ⁻¹)	0 – 34
K_F	Foliar maintenance respiration as fraction of A_{\max} (no units)	0.05 – 0.30
T_{\min}	Minimum temperature for photosynthesis (°C)	-8 – 8
T_{opt}	Optimum temperature for photosynthesis (°C)	5 – 30
Q_{10V}	Vegetation respiration Q_{10} (no units)	1.4 – 2.6
T_s	Soil temperature at which photosynthesis and foliar respiration are shut down (°C)	-5 – 5
K_{VPD}	Slope of VPD-photosynthesis relationship (kPa ⁻¹)	0.01 – 0.25
$\text{PPFD}_{1/2}$	Half saturation point of PPFD-photosynthesis relationship (mol m ⁻² day ⁻¹)	4 – 27
NPP_L	Fraction of NPP allocated to leaf growth (no units)	0 – 1
K_A	Wood respiration rate at 0°C (g C g ⁻¹ C yr ⁻¹)	0.0006 – 0.06
K_H	Soil respiration rate at 0°C and moisture-saturated soil (g C g ⁻¹ C yr ⁻¹)	0.003 – 0.6
Q_{10S}	Soil respiration Q_{10} (no units)	1.4 – 5
<i>Moisture Parameters:</i>		
f	Fraction of soil water removable in one day (no units)	0.001 – 0.16
K_{WUE}	VPD-water use efficiency relationship (mg CO ₂ kPa g ⁻¹ H ₂ O)	0.01 – 109
$W_{S,c}$	Soil water holding capacity (cm (precipitation equivalent))	0.1 – 36
R_d	Scalar relating aerodynamic resistance to wind speed (no units) ^a	1 – 1500

Símbolo	Descripción	Unidades	Parámetro optimizado.		Rango permitido	
			CO	CW	bajo	upp
		Fracción de				
soilWFracInit	Contenido inicial de humedad del suelo	Contenido de agua del suelo	0.39	0.80	0	1
aMax	Tasa máxima de asimilación neta de CO2	nmol CO ₂ g ⁻¹ biomasa foliar s ⁻¹	4.74	4.94	0	34
	Respiración foliar de mantenimiento como					
baseFolRespFrac	fracción de A_{-max}		0.10	0.13	0.05	0.3
psnTMin	Temperatura mínima para la fotosíntesis	oC	-2.91	-3.64	-8	8
psnTOpt	Temperatura óptima para la fotosíntesis	oC	14.59	18.75	5	30
vegRespQ10	Respiración Vegetal Q ₋₁₀		1.45	1.41	1.4	2.6
frozenSoilThreshold	Temperatura del suelo en la que la fotosíntesis y la respiración foliar se apagan	oC	0.02	0.02	-5	5
dVpdSlope	Relación PAR a la que la fotosíntesis es la mitad A_{max}		0.12	0.15	0.01	0.25
halfSatPar	Fracción de NPP media asignada a hojas	$\frac{kPa}{E_{rh-2} d^{-1}}$	7.34	8.17	4	27
leafAllocation	Pendiente de VPD-fotosíntesis	-	0.42	0.52	0	1
baseVegResp	Tasa de respiración de la madera a 0°	CgC g ⁻¹ PlantC d ⁻¹	0.03	0.03	0.0006	0.06
baseSoilResp	Tasa de respiración de la madera a sin estrés hídrico	gC g ⁻¹ suelo C d ⁻¹	0.01	0.00	0.003	0.6
soilRespQ10	Respiración del suelo Q ₋₁₀		5.00	4.69	1.4	5
waterRemoveFrac	Fracción de agua extraíble en un paso del tiempo	-	0.04	0.05	0.001	0.16
wueConst	Relación VPD-eficiencia en el uso del agua	(mg CO ₂ kPa g ⁻¹ H ₂ O)	85	8	0.01	109
sueloWHC	Capacidad de retención de agua del suelo	cm equivalente de agua	4.19	17.90	0.1	36
rdConst	Escala que relaciona la resistencia aerodinámica con la velocidad del	-	37.17	1467	1	1500

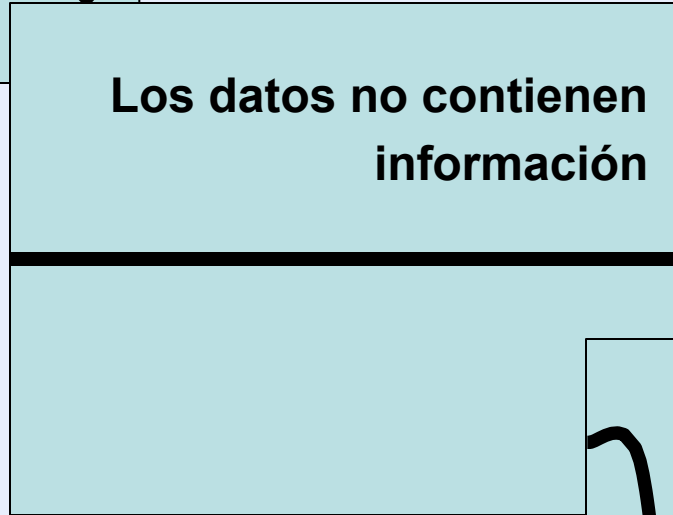


Valor de las distribuciones posteriores

Bien limitado



Los datos no contienen información



**Aciertos en los bordes
- probable error
de estructura
del
modelo**



SIPNET en Niwot

USO DE UN MODELO OPTIMIZADO PARA PROBAR LA ESTRUCTURA DEL MODELO



¿Cómo sabemos que hay un problema?

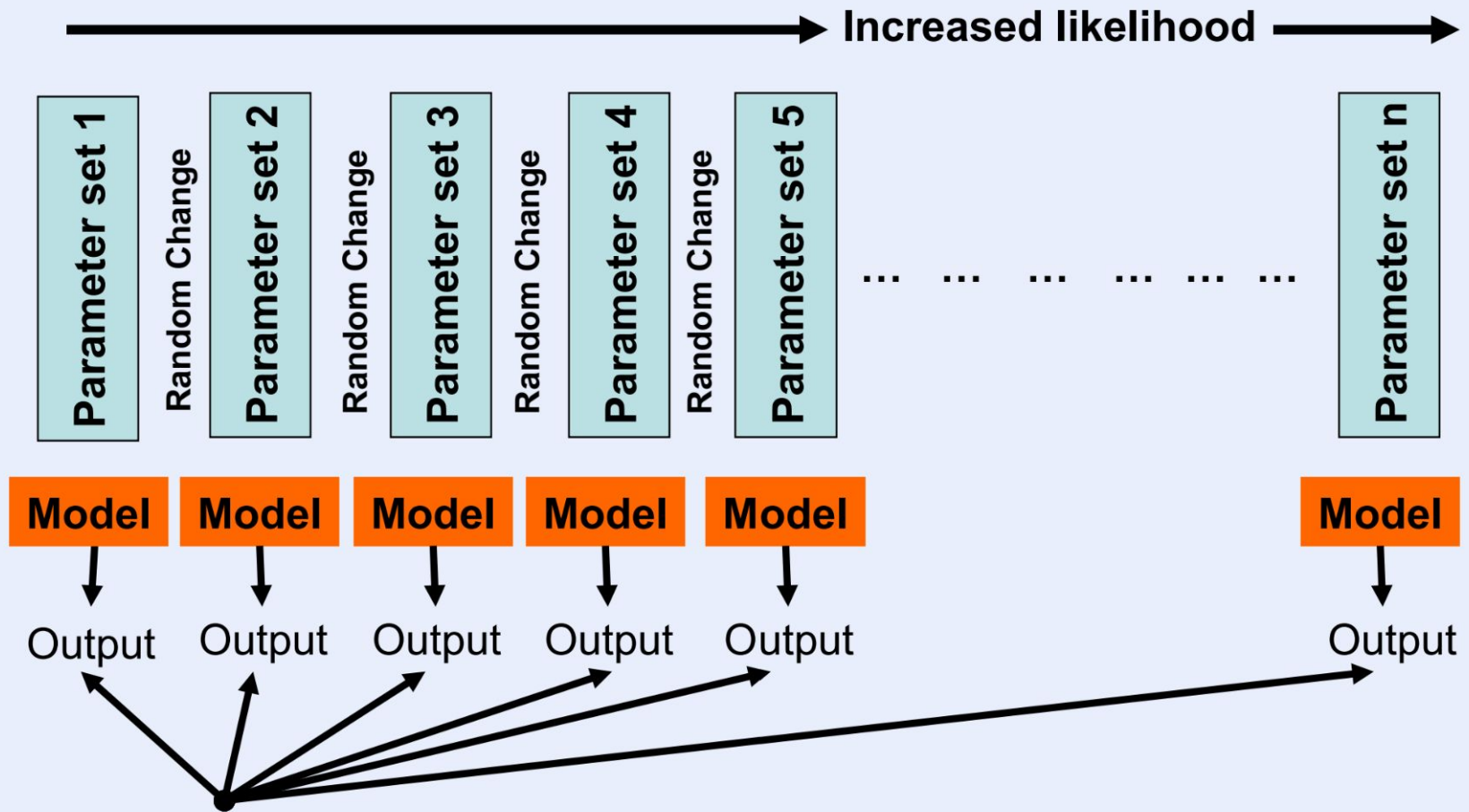
- Los parámetros no pueden optimizarse eficazmente (parámetros con acierto en los bordes)
- Patrón de desajuste entre el modelo y los datos.
 - ¿El patrón de residuos se parece a otro proceso?



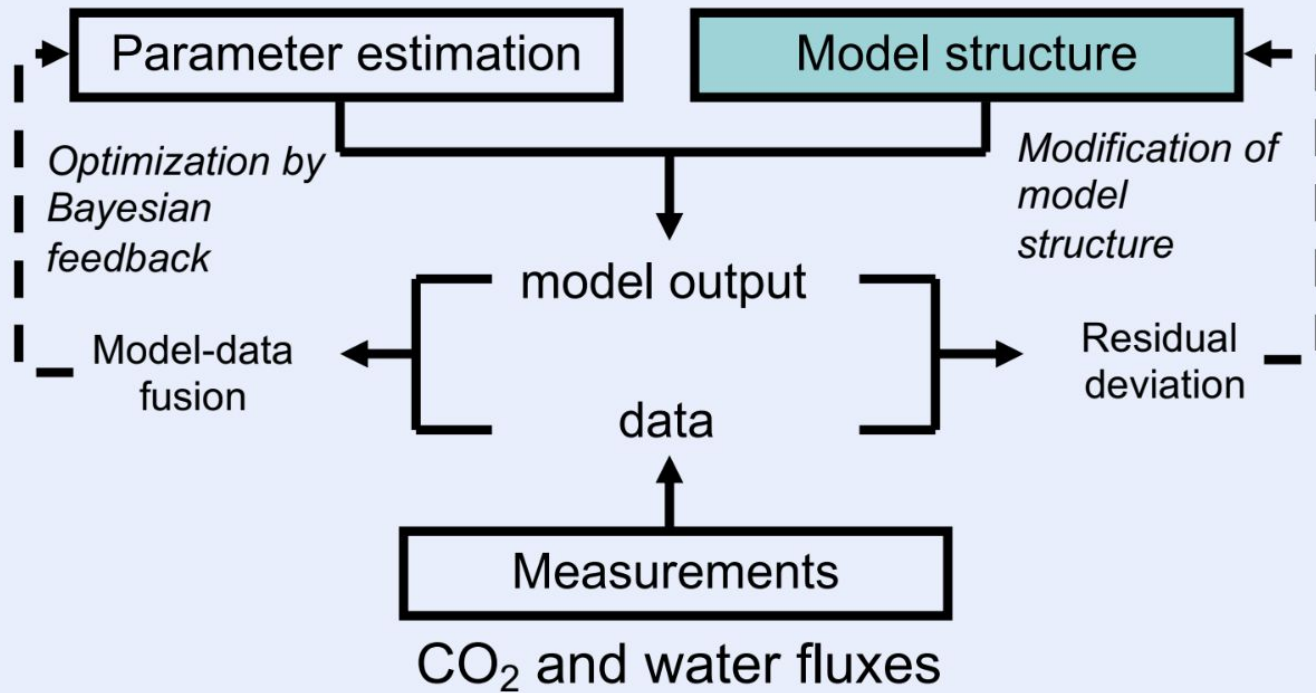
Variación de la estructura del modelo

- ¿Cuál es la mejor manera de modelizar un proceso o un conjunto de procesos?
- **Métodos fenológicos** (Bosque de Harvard Braswell et al 2005 - Richardson et al varios)
- **Variaciones en la modelización de la respiración**
(Niwot Ridge, Sacks 2006, 2007)
- **Ciclo del carbono subterráneo** (Niwot Ridge, Zobitz et al 2008)



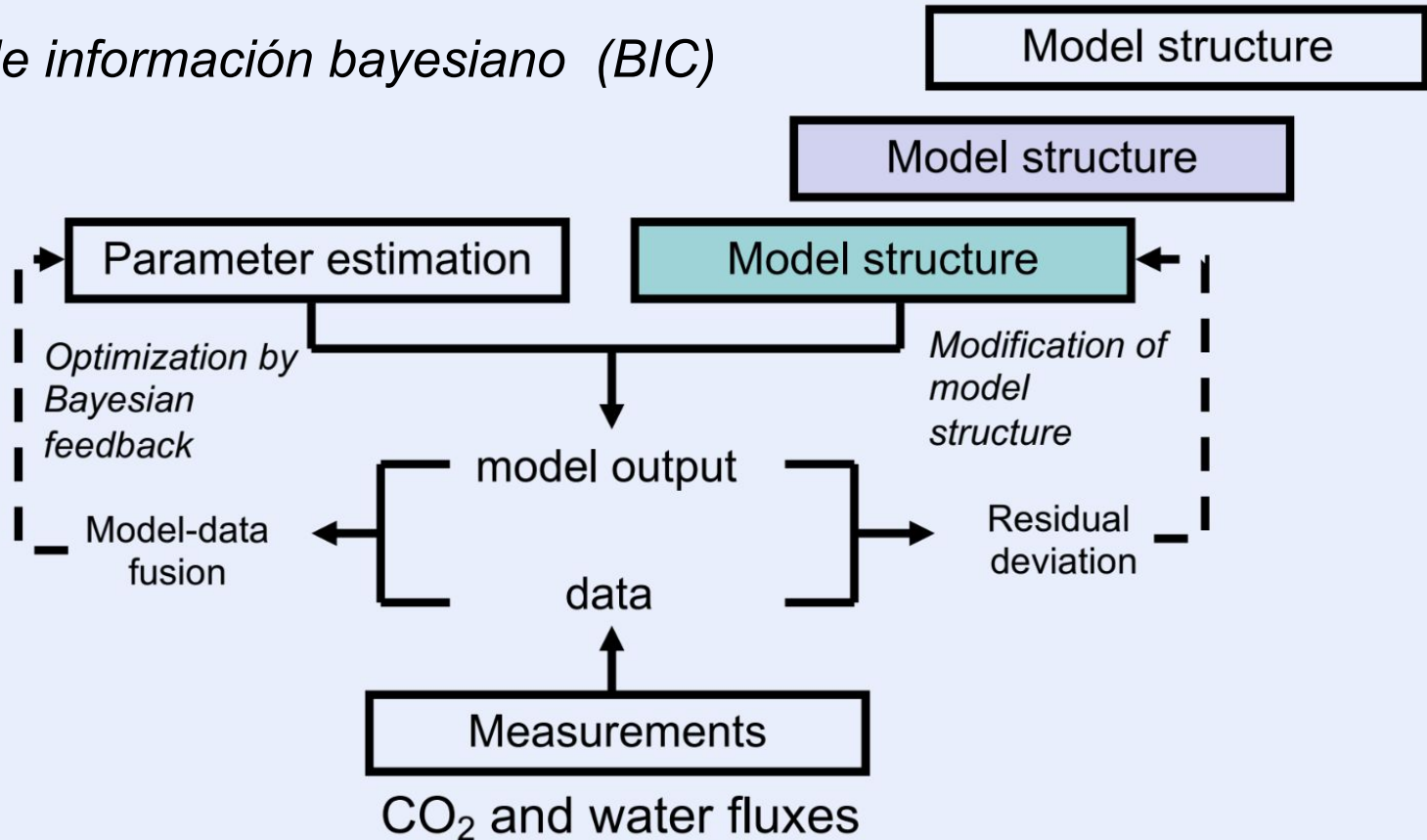


La salida del modelo es comparada con los datos de flujos medidos después de cada iteración. Entonces se cambia un parámetro en una unidad incremental, el modelo corre nuevamente y si la nueva salida se ajusta mejor se guarda el parámetro... Después de varios miles de iteraciones un set de parámetros óptimos se alcanza.



Compara utilizando el criterio de información.

Criterio de información bayesiano (BIC)



BIC (criterio de información bayesiano) = $-2 \cdot LL + K \cdot \ln(n)$, donde LL es el logaritmo de verosimilitud, K es el número de parámetros libres y n es el número de puntos de datos utilizados en la optimización.

BIC (Criterio de Información Bayesiano) =

$$-2 \cdot LL + K \cdot \ln(n)$$

donde LL es la logverosimilitud, K es el número de parámetros libres y n es el número de puntos de datos utilizados en la optimización

Cuanto más pequeño, mejor!

Un menor número de parámetros

(libres) **es mejor**

Menos puntos es

mejor

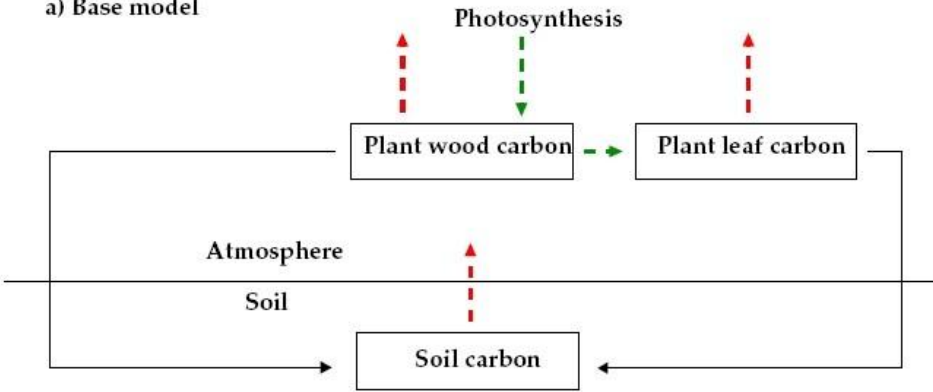
	Modelo base	No hay alto de ftss en invierno, resp. foliar	Estacional R_H	Pool de hojarasca adicional	Humedad-Rh independiente
Mejor probabilidad log ^a	-2404.2	-2614.7	-2374.0	-2407.6	-2415.7
Error RMS ^b	0.555	0.597	0.550	0.556	0.558
#parámetros libres	32	31	35	35	32
BIC ^c	5063.4	5476.5	5027.0	5094.1	5086.4

Estadísticas de comparación entre modelos y datos obtenidas al ejecutar cinco versiones de SIPNET utilizando el mejor conjunto de parámetros obtenido de la optimización de cada modelo. Véase el texto para la descripción de las variaciones del modelo.

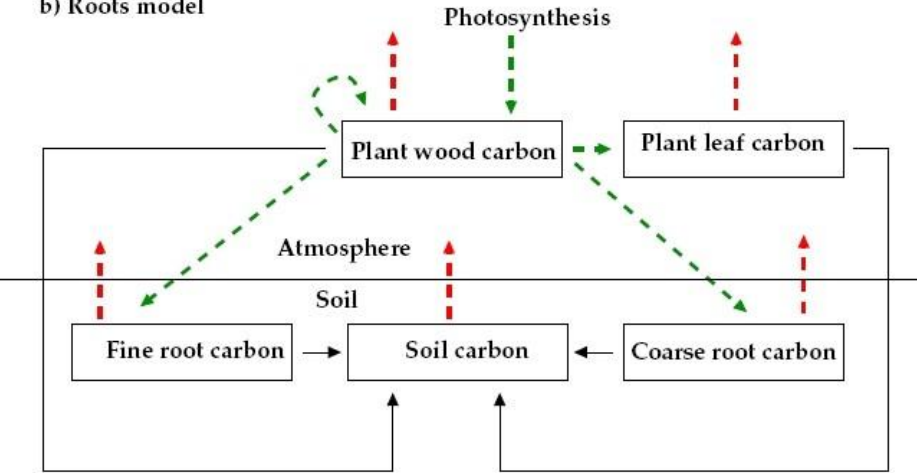
- (a) Los números más grandes (es decir, más cercanos a cero) significan mayor probabilidad.
- (b) Error cuadrático medio en g C m⁻² en un único paso temporal.
- (c) BIC (Criterio de Información Bayesiano) = $-2 \cdot LL + K \cdot \ln(n)$, donde LL es la logverosimilitud, K es el número de parámetros libres y n es el número de puntos de datos utilizados en la optimización (2894). Un BIC más bajo indica un modelo con mayor apoyo de los datos.

Tres estructuras de modelos para lidiar con el ciclo del C subterráneo

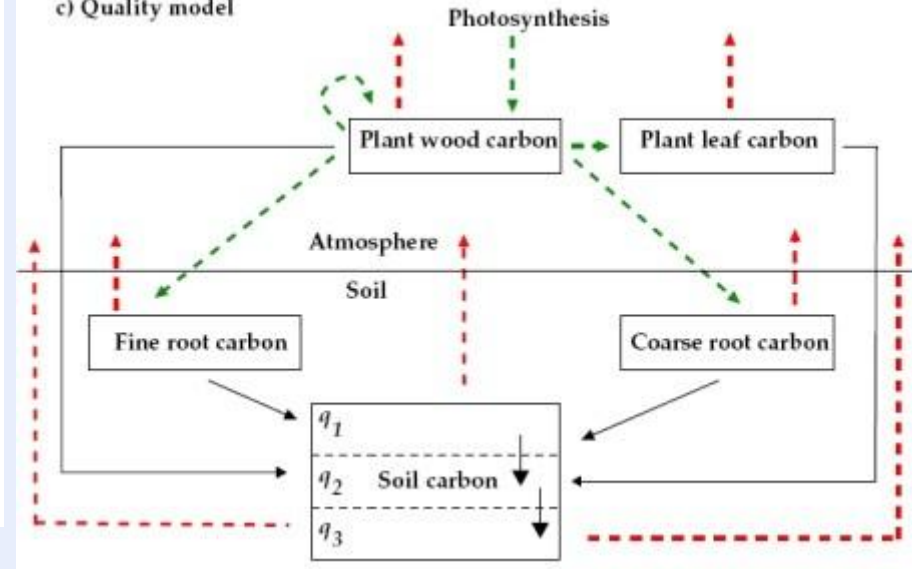
a) Base model



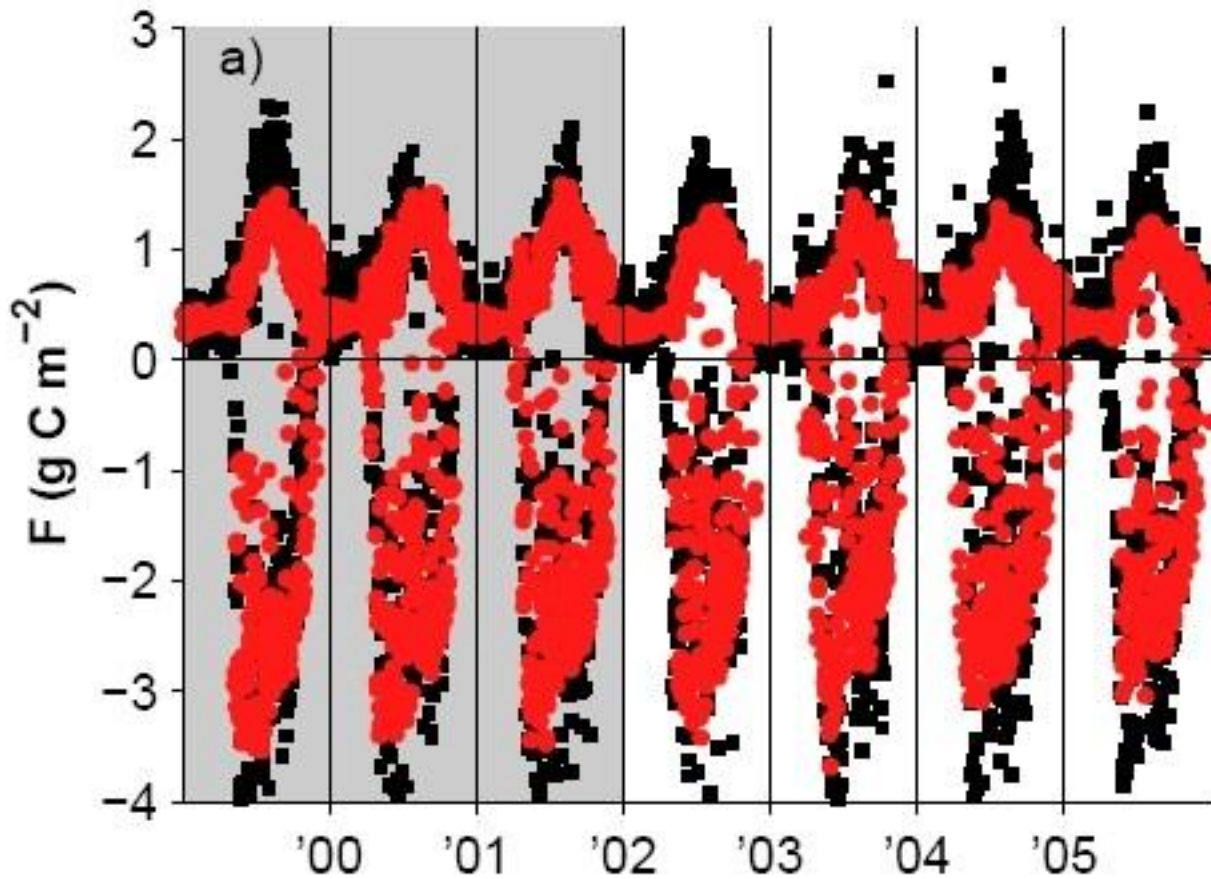
b) Roots model



c) Quality model



El modelo se optimiza a partir de los datos de los tres primeros años y se utilizan para predecir los años restantes.



Cuadro 4: Comparación de modelos utilizando el conjunto de parámetros optimizados obtenidos de cada modelo correr.

Modelo:	Base	Raíces	Calidad	Microbios
Probabilidad logarítmica (LL):	-1462.5	-1437.8	-1423.7	-1634.7
Raíz del Error cuadrático medio:	0.45	0.44	0.45	0.48
Número de puntos de datos (n):	4463	4463	4463	4463
Número de parámetros (*):	17	23	23	24
BIC :	3068	304	8069	3471

Para calcular estos valores se utilizaron datos de validación. El error cuadrático medio se calcula a partir de la diferencia al cuadrado entre la diferencia medida y la modelada para F y ET

* El criterio de información bayesiano (BIC) es igual a $-2 LL + M \ln(n)$. Un BIC más bajo indica un modelo con mayor apoyo de los datos.

El contraste entre el día (ftss) y la noche (sin ftss) permite la separación

Separación del NEE en GPP y Re

Respuestas de la NEE a los cambios en las precipitaciones

La coordinación estacional de la GPP y la ET (obs) permite extraer una respuesta razonable

Los procesos aéreos y subterráneos se confunden en las mediciones basadas en torres

Los datos de flujo por sí solos no limitan bien los procesos subterráneos

La NEE no limita los procesos a largo plazo

Biomasa, Resp del suelo, LAI, hojarasca pueden utilizarse para restringir diferentes parámetros del modelo

Caída de
hojarasca

Flujo de
savia

LAI

Respiración
de suelo

Diámetro
para
biomasa

También deberíamos poder
extraer información de estos
datos

Bosque de Howland

LAI

NOTA: Calibración / validación

Caída de hojarasca

Biomasa leñosa

NEE

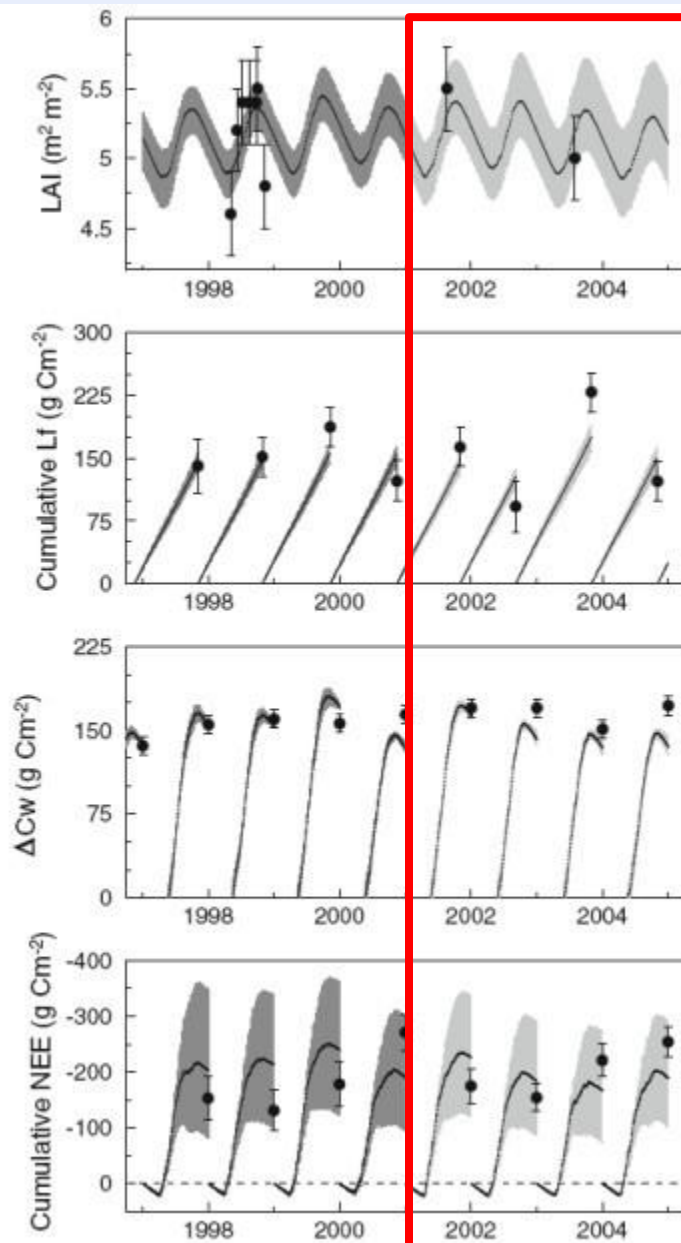
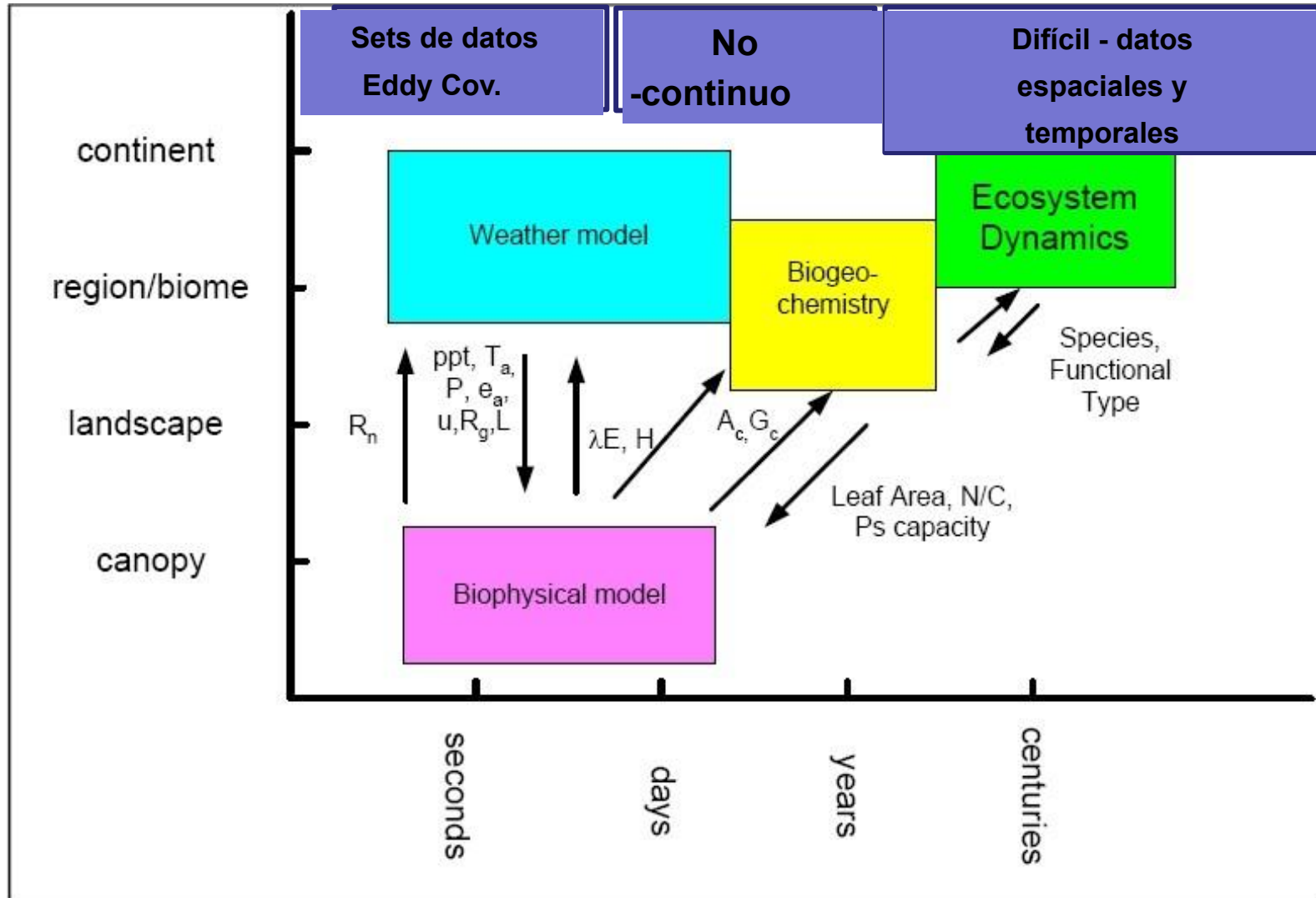


Fig. 4 Time series. Modeled leaf area index, LAI ; litterfall, L_f (cumulative since last collection); annual woody biomass increment, ΔC_w ; and annual cumulative net ecosystem exchange, (NEE) of carbon, with uncertainties (90% confidence interval), for the Howland Forest. Modeling was conducted with the DALEC model, constrained (calibration period 1997–2000; validation period 2001–2004) with a variety of different data streams (Run 8 in Table 2); actual measurements are indicated by *filled circles*, with *error bars* indicating estimated measurement uncertainties. For observed cumulative NEE , the annual sum was estimated by gap-filling the 30-min eddy covariance record using a standard empirical model

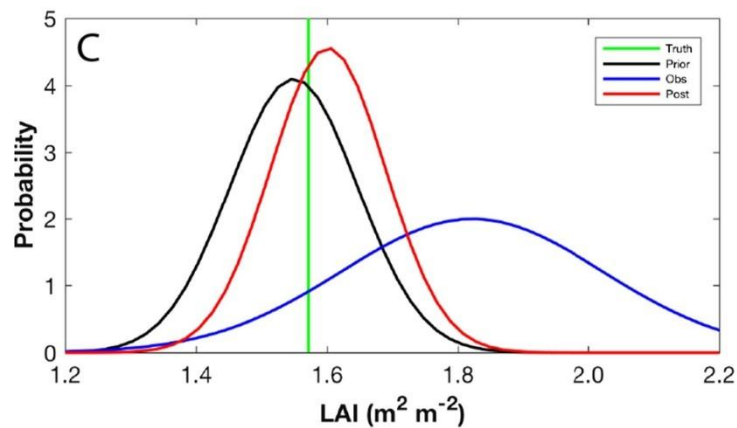
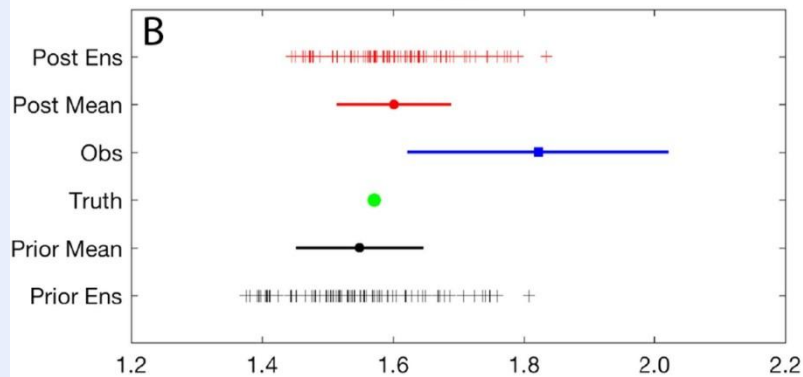
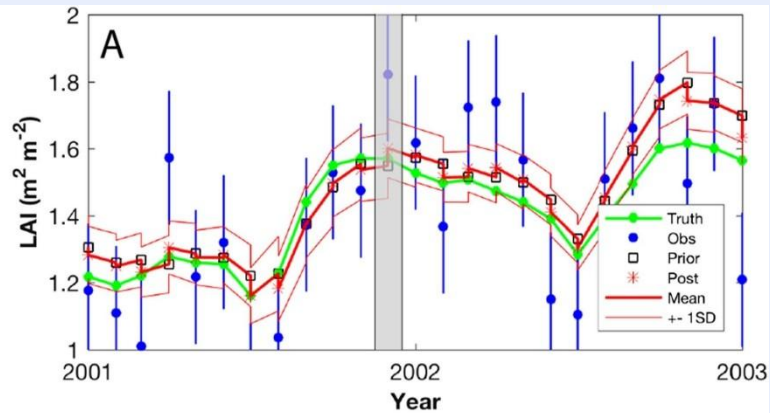
Podemos evaluar modelos en múltiples escalas temporales y utilizando múltiples conjuntos de datos



ASIMILACIÓN DE DATOS CON UN MODELO DE SUPERFICIE TERRESTRE

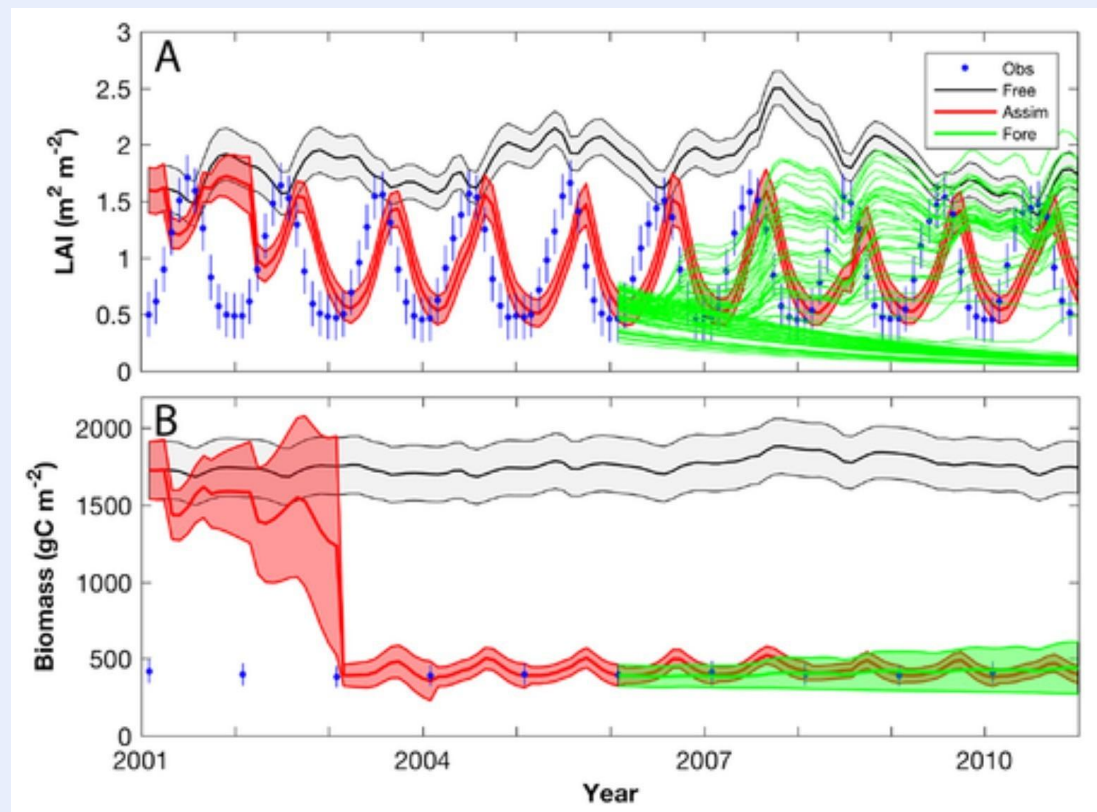
Fox, A. M., Hoar, T. J., Anderson, J. L., Arellano, A. F., Smith, W. K., Litvak, M. E., ... & Moore, D. J. (2018). Evaluación de un sistema de asimilación de datos para modelos de superficie terrestre utilizando CLM4. 5. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 10(10), 2471-2494.





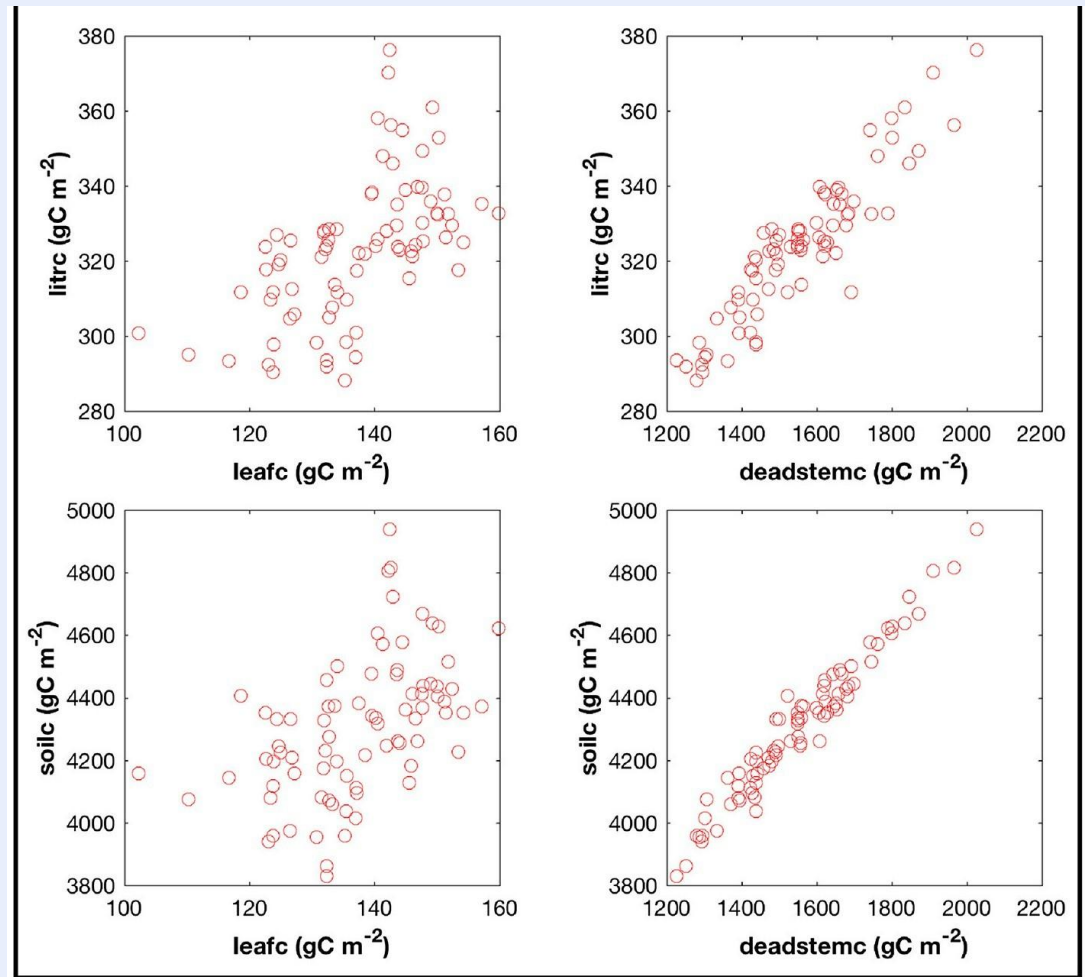
Hemos asimilado el LAI de MODIS en CLM para uno de los sitios de Marcy en Nuevo México.

- La asimilación de LAI y BIOMASA muestra que el modelo está bastante sesgado (en comparación con las observaciones)
- La asimilación elimina ese sesgo
- A continuación, podemos examinar qué debía hacer el modelo para que coincidiera con la BIOMASA y el LAI



- La asimilación de las observaciones del área foliar obtenidas por satélite nos permite estimar cantidades que NO observamos

- Aquí mostramos el carbono de la hojarasca y del suelo que el modelo infiere basándose en la correlación entre el LAI (leafC) y la Biomasa (deadstem)



¡¡¡¡ve en grande o ve a casa!!!!

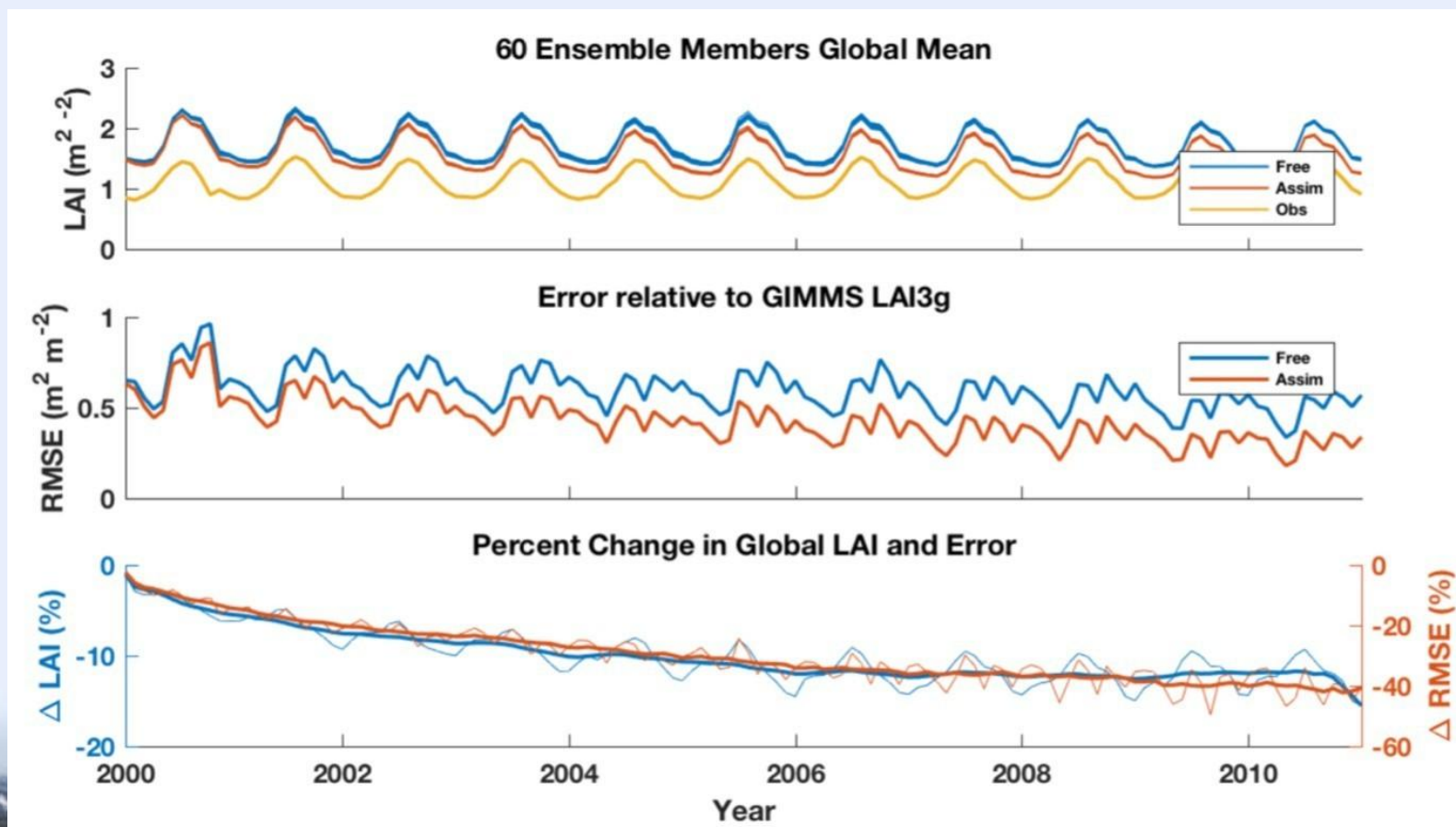
ASIMILACIÓN DE DATOS CON UN MODELO DE SUPERFICIE TERRESTRE PARA EL PLANETA

Fox, A. M., Huo, X., Hoar, T. J., Dashti, H., Smith, W. K., MacBean, N., ... & Moore, D. J. (2022) Assimilation of global satellite leaf area estimates reduces modeled global carbon uptake and energy loss by terrestrial ecosystems. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, e2022JG006830.



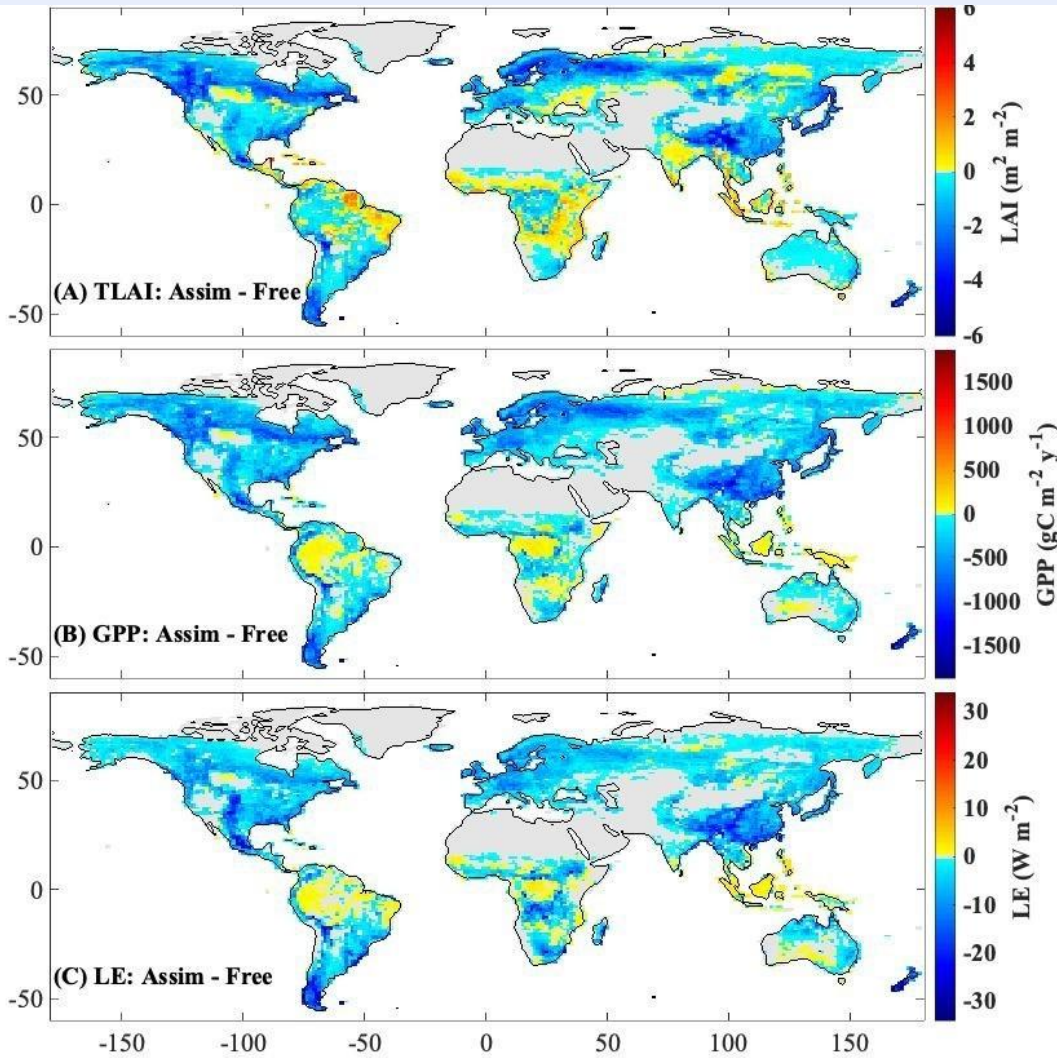
Asimilación de las estimaciones globales del LAI (LAI3g)

- También podemos asimilar el LAI para todo el globo y examinar las consecuencias para los flujos



Asimilación de las estimaciones globales del LAI

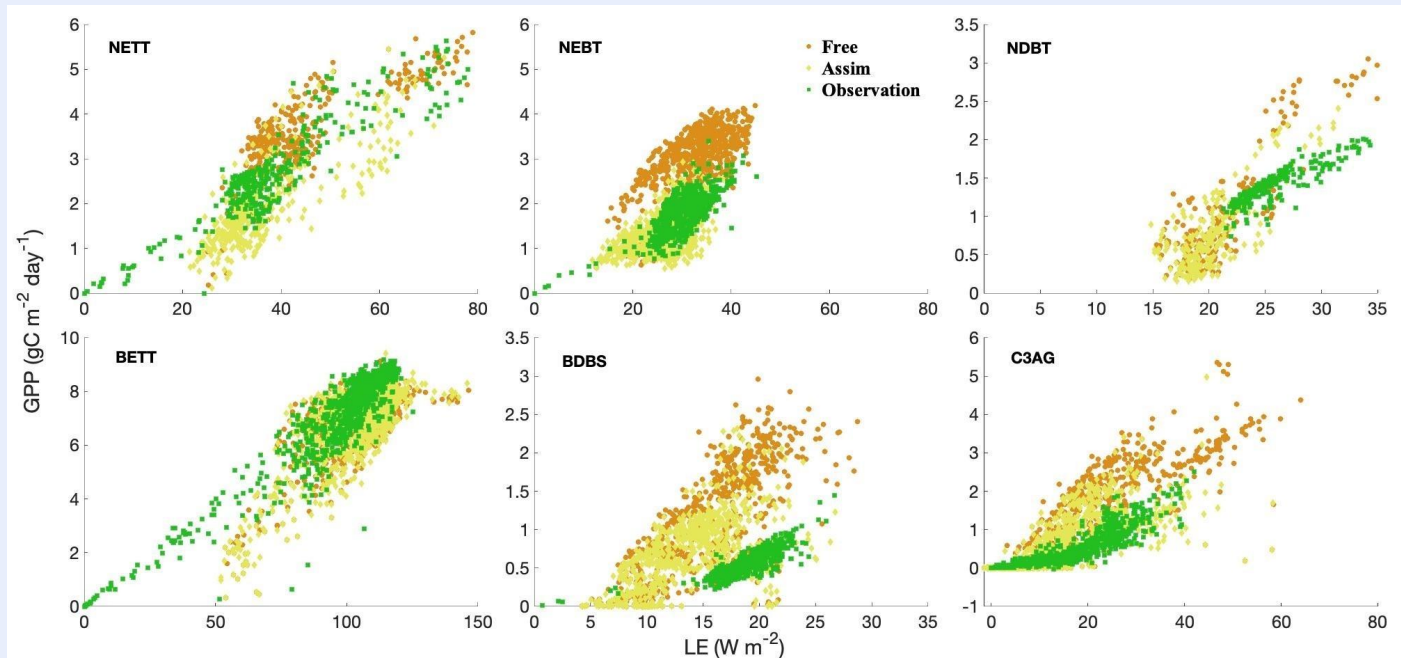
(LAI3g)



- **La** asimilación de las observaciones por satélite de la superficie foliar en Estimaciones del índice de área foliar (media reducida) **Community Land Model**

- Esto **redujo las estimaciones globales de producción primaria bruta en un 18% y el flujo de calor latente en un 6%**, mejorand el ajuste a conjuntos de datos independientes

Asimilación de las estimaciones globales del LAI (LAI3g)



Sugerencias de que el CLM por defecto ha parametrizado mal relaciones de GPP a LE para algunos tipos funcionales de plantas

Para comprobar la credibilidad de los resultados, comparamos los flujos en CLM con el producto FLUXCOM, lo que nos permite comparar los flujos a la escala correcta. Tal vez se trate de una circularidad.



¿Es el CLM demasiado sencillo?

**PODRÍAMOS SEGUIR AÑADIENDO
PROCESOS PARA SIEMPRE -
HACER MODELOS MÁS
COMPLEJOS Y MÁS DIFÍCILES DE
MANEJAR
PROBABLEMENTE NO SEA UNA
BUENA IDEA**



Existe la idea errónea de que los modelos se limitan a absorber datos y producir información.

Aunque esto ha ocurrido en el pasado, creemos que es mejor un enfoque más integrado

The Illusion:



¡A la antigua!

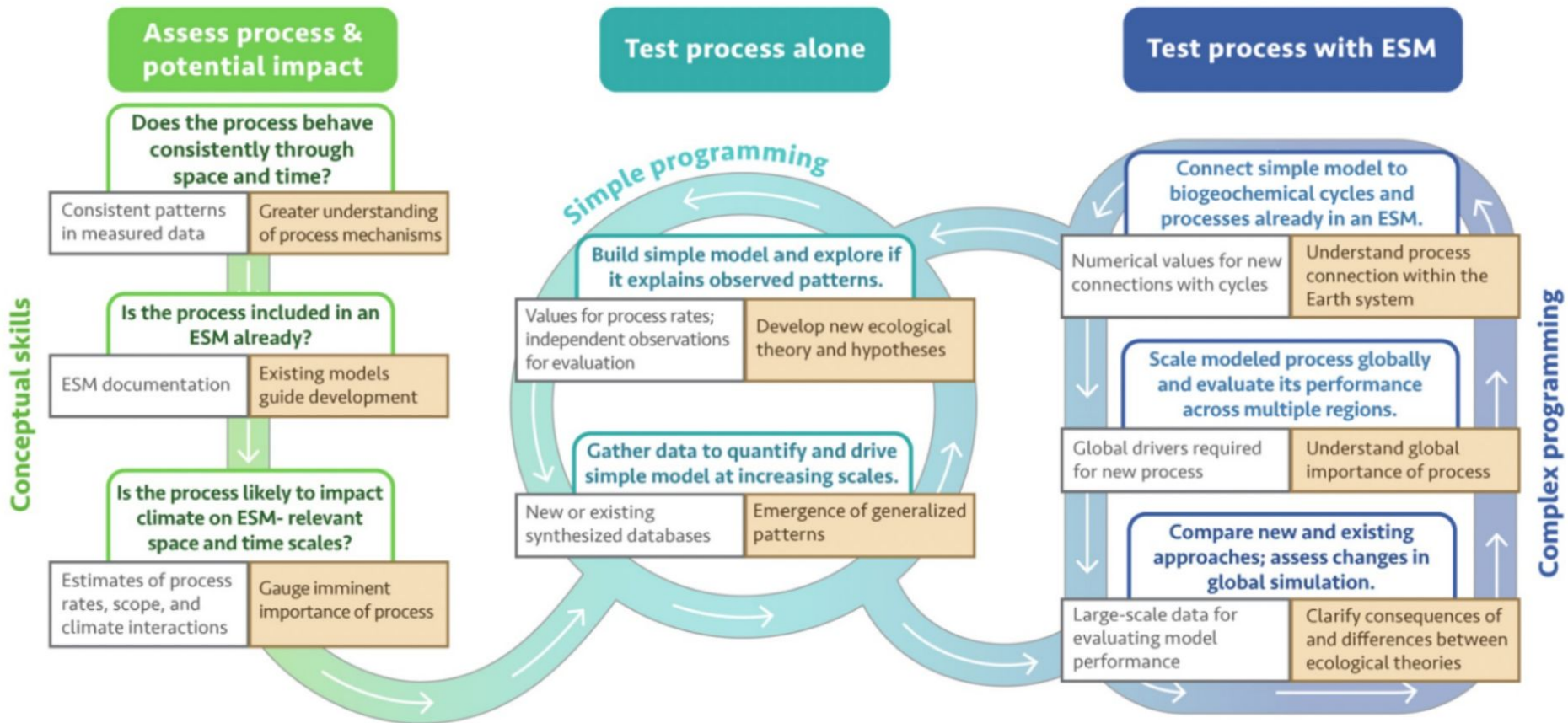
Kyker Snowman et al. 2021



La ilusión:



La realidad

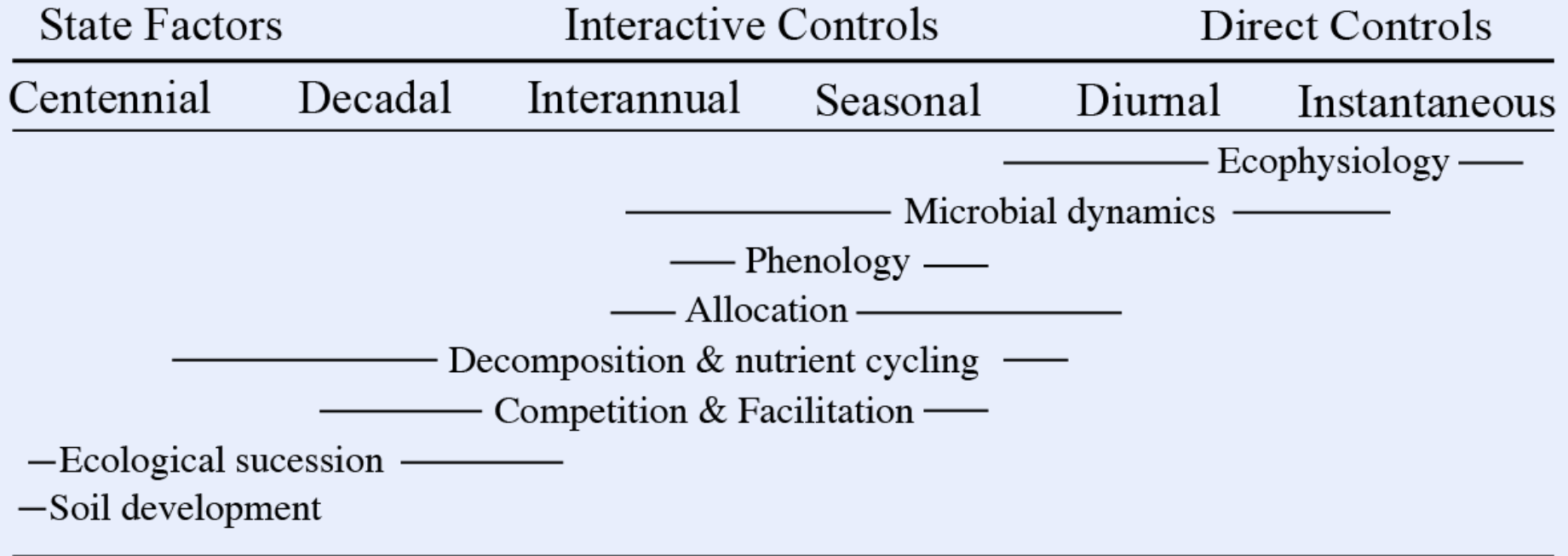


Criterios para añadir nuevos procesos a los modelos del Sistema Tierra

- 1) Los nuevos procesos ecológicos deben influir en el clima de la Tierra a gran escala o que el proceso debe provocar cambios en el equilibrio de carbono, agua o energía de los ecosistemas.
- 2) Cualquier proceso nuevo no puede requerir más del modelo de lo que el modelo puede proporcionar actualmente. Por ejemplo, la lixiviación de nutrientes no puede añadirse a un modelo sin un ciclo de nutrientes.
- 3) Debe haber suficiente comprensión del proceso y datos para probarlo globalmente; añadir una teoría mal establecida o que no pueda verificarse de forma independiente causará un sesgo potencialmente grave e incuantificable.
- 4) los nuevos procesos deben regirse por unas matemáticas que estén al alcance de nuestra capacidad de cálculo actual
- 5) debe haber una comunidad de investigadores dedicada a desarrollar, probar y mantener el proceso en el modelo.

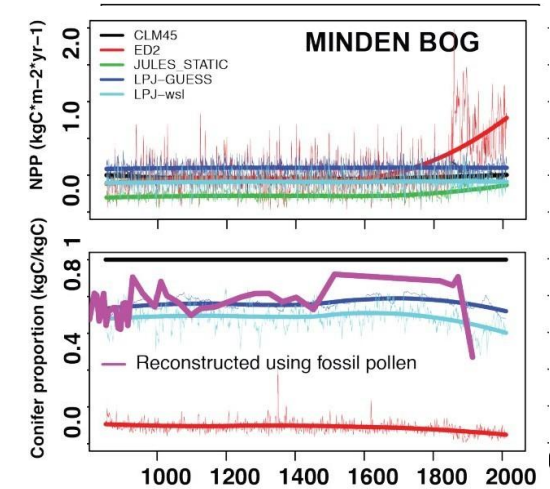
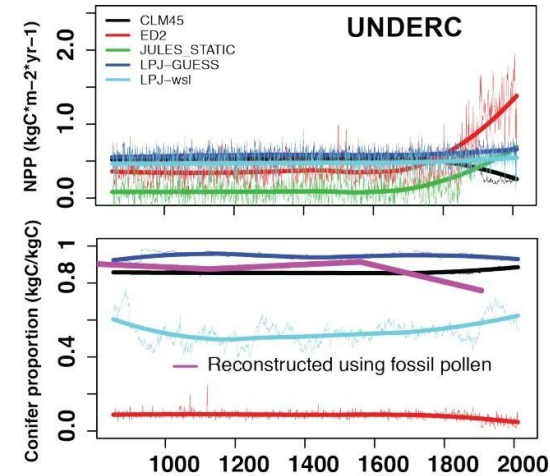
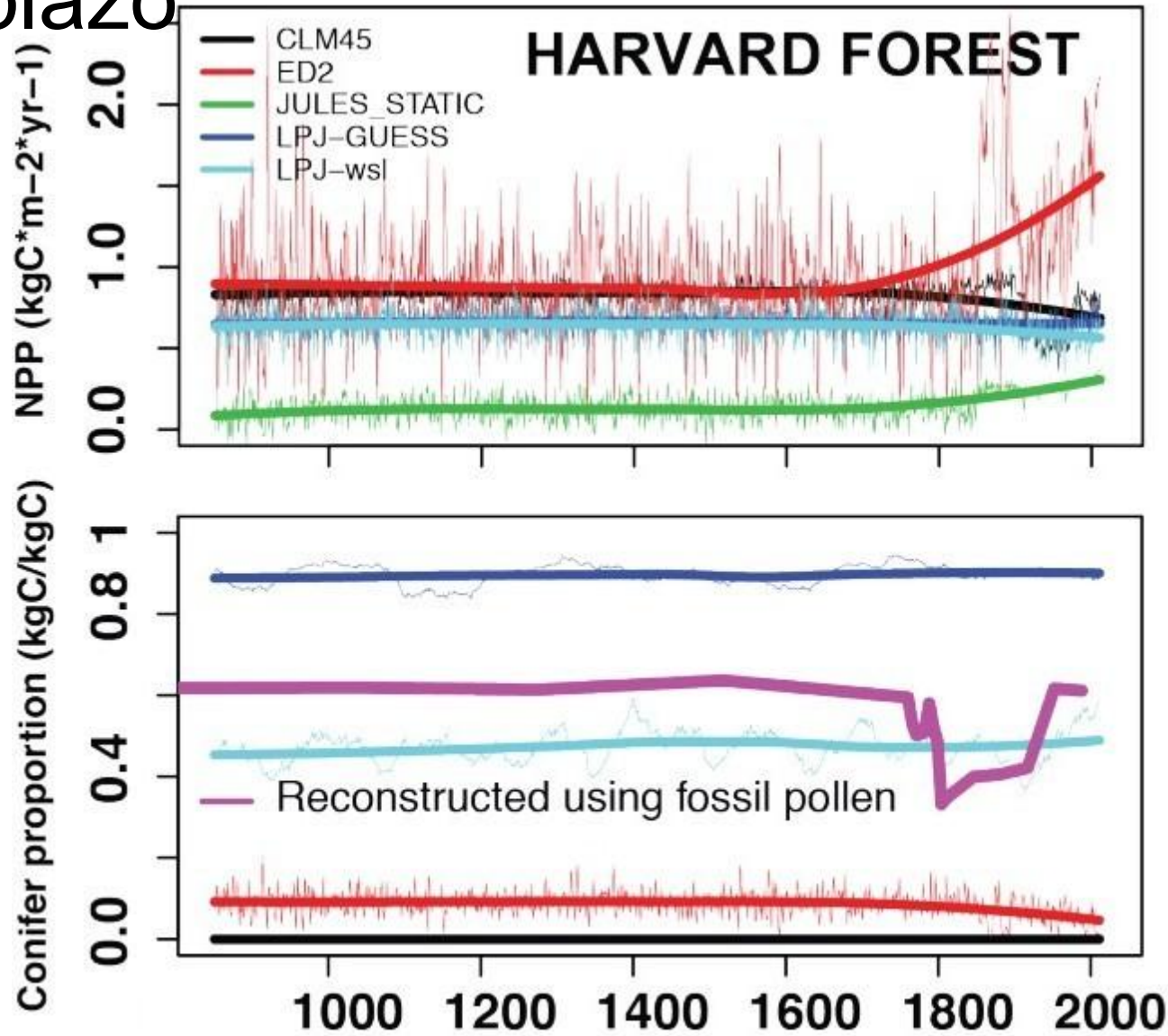


Algunos procesos candidatos a investigar del Modelo de Superficie Terrestre



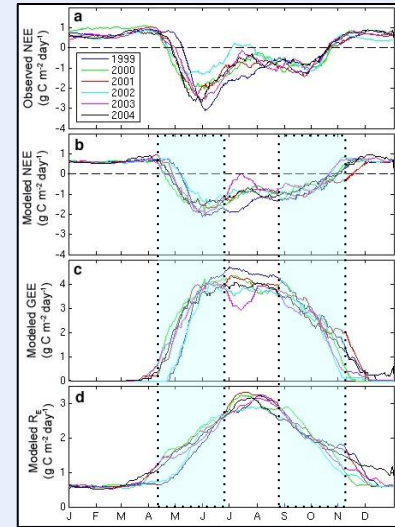
A la hora de estudiar los flujos, resulta muy útil la comprensión ecológica.

Dinámica de la vegetación a largo plazo



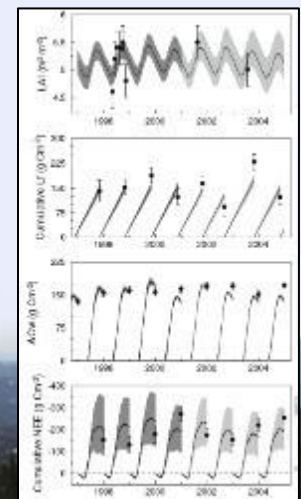
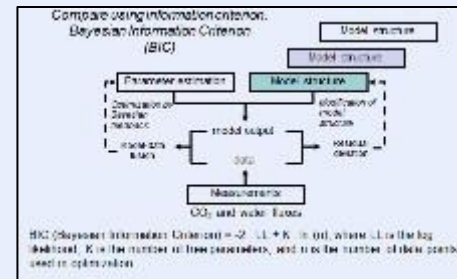
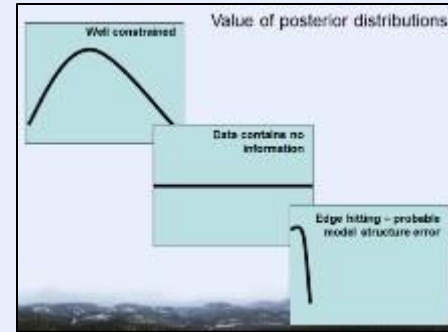
Algunos puntos a considerar

- A partir de NEE pueden extraerse estimaciones razonables de GPP y R_{tot} , aunque se pasan por alto algunos valores extremos (¿errores?).
- Podemos obtener la respuesta correcta por las razones equivocadas!
- Los conjuntos de datos individuales sólo pueden restringir algunos de los parámetros y pueden dar lugar a resultados espurios..



Algunos puntos a considerar

- Las distribuciones de parámetros recuperadas nos ayudan a comprender la calidad de nuestras restricciones
- Las estructuras de los modelos pueden comprobarse comparando el desajuste entre datos y modelos de los conjuntos de parámetros optimizados
- Se pueden utilizar múltiples conjuntos de datos para restringir cruzadamente parámetros y procesos.



Algunos puntos a considerar

- No todos los modelos NECESITAN ser complejos: debemos pensar detenidamente qué procesos necesitamos añadir.
- Podemos asimilar ESTADOS como el LAI y la biomasa y luego examinar cuál es el impacto sobre los flujos
- Podemos hacerlo a nivel de sitio, regional o global.

