

BOSQUES EN CAMBIO: PASADO Y FUTURO

24 a 26 de octubre de 2011

Universidad de Huelva



**Cambio climático: efecto sobre los
vegetales, estrategias de adaptación de
las especies y recomendaciones para la
gestión y la reforestación**



Manuel Fernández Martínez
Universidad de Huelva
Dpto. Ciencias Agroforestales
manuel.fernandez@dcaf.uhu.es

CAMBIO CLIMÁTICO Y ESPECIES VEGETALES

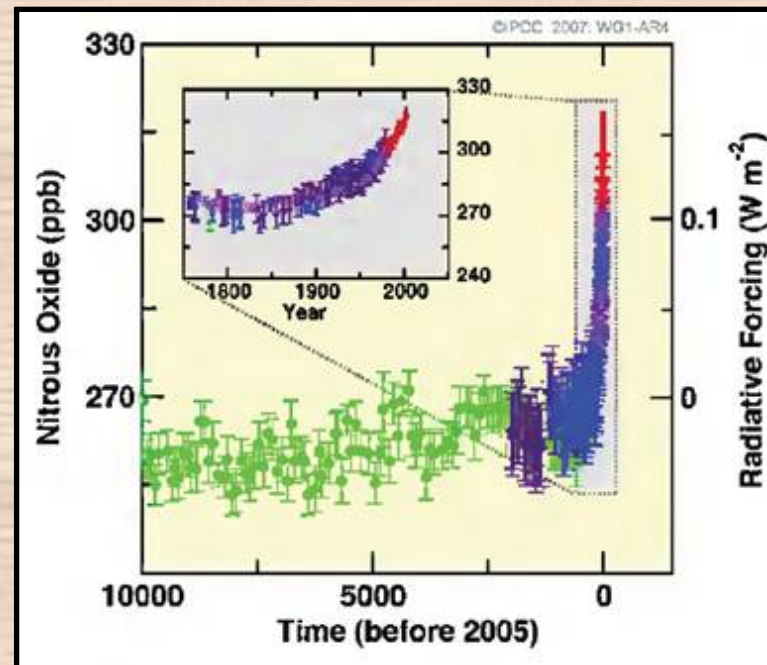
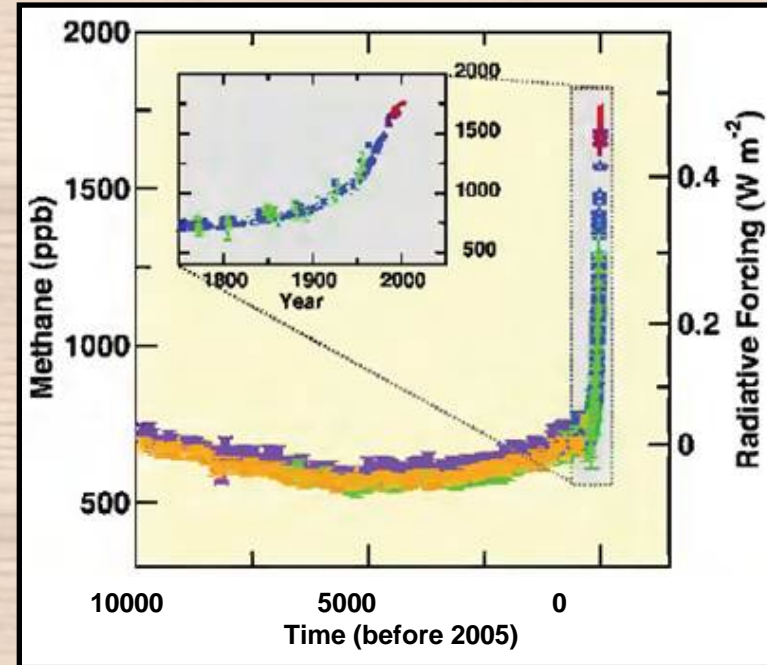
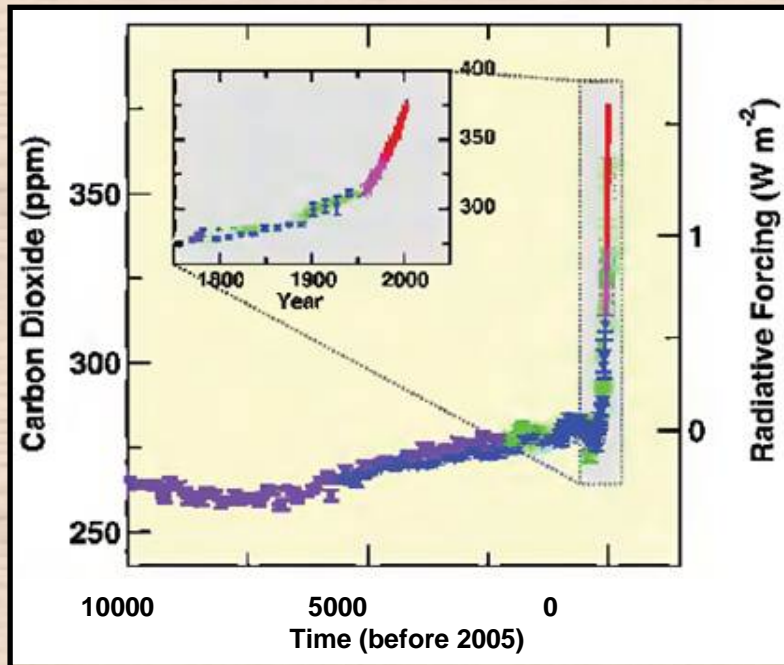
ESPECIAL REFERENCIA A LA ESPAÑA MEDITERRÁNEA

Clima:

- Generalización del tiempo atmosférico.
- Aplicado a un lugar concreto.
- Cálculo estadístico de un largo período de tiempo.
- El clima es cambiante.

Evolución del clima en la Tierra:

- Alternancia de períodos fríos y cálidos (glaciaciones).
- Enfriamiento desde hace 7.000 años (hacia glaciación).
- Inversión del proceso desde 1850 (0,1-0,2°C por década; 0,74°C en los últimos 100 años)
- Emisiones de gases efecto invernadero (CO₂, CH₄, N₂O, SF₆, CFC, HFC, PFC, O₃,...) por la actividad humana.
- Se atribuye al hombre este cambio climático con una certidumbre superior al 90%.



Concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O) en los últimos 10 000 años (gráficas grandes) y desde 1750 (gráficas pequeñas), medidos en diversos estudios en muestras de hielo y de aire (IPCC 2007).

Se puede apreciar el incremento brusco ocurrido desde la revolución industrial.

Principales gases efecto invernadero (GEI) en la atmósfera terrestre

Sustancia	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CFC, HF C, PFC	SF ₆	O ₃
Concentración actual	380 ppm	1.774 ppb	319 ppb	0.005-0,50 ppb	--	20-100 ppb
Conc. pre-industrial	280 ppm	715 ppb	270 ppb	0 ppb	--	10 ppb
Vida media en atmósfera (años)	50-200	10	120-150	0-400	3.200	horas a días
Potencial calentamiento respecto a CO ₂	1	21	310	3.700 a 11.700	23.900	depende de altitud
Contribución al efecto invernadero* (%)	60	15	5	12	--	8

* No se ha tenido en cuenta el vapor de agua, porque su concentración (1-20 %) está condicionada fundamentalmente por las condiciones atmosféricas. Su contribución como GEI sería de 35-70 % de la contribución total de los GEI.

Evolución de la concentración de CO₂ en la atmósfera terrestre

ÉPOCA	[CO ₂] atmosférico (μbar)
Hace 420 millones de años	¿5.700? [O ₂] = 2-10 % (CO ₂ /O ₂ =0,3-0,06)
Hace 100 millones de años	3.000
Hace 50 millones de años	1.000
Desde 160.000 años hasta siglo XIX	190-300
Actualidad	380 [O ₂] = 21 % (CO ₂ /O ₂ =0,002)
Valor previsto para 2050	700

Efecto de los GEI: El clima está cambiando hacia un aumento de las temperaturas (1,0-4,5 °C en 2100) y una mayor irregularidad y escasez de precipitaciones en el área mediterránea.

Consecuencias: a) Migración de especies hacia el norte (100 km/°C) o hacia mayor altitud. b) Tasas de variación del clima demasiado rápidas como para que las especies se adapten. Un incremento de 1,5-2,5°C pondrá en riesgo al 20-30% de las especies animales y vegetales. c) Cada grado de aumento de la temperatura puede hacer perder el 6-7 % del C del suelo.

Evidencias del calentamiento global

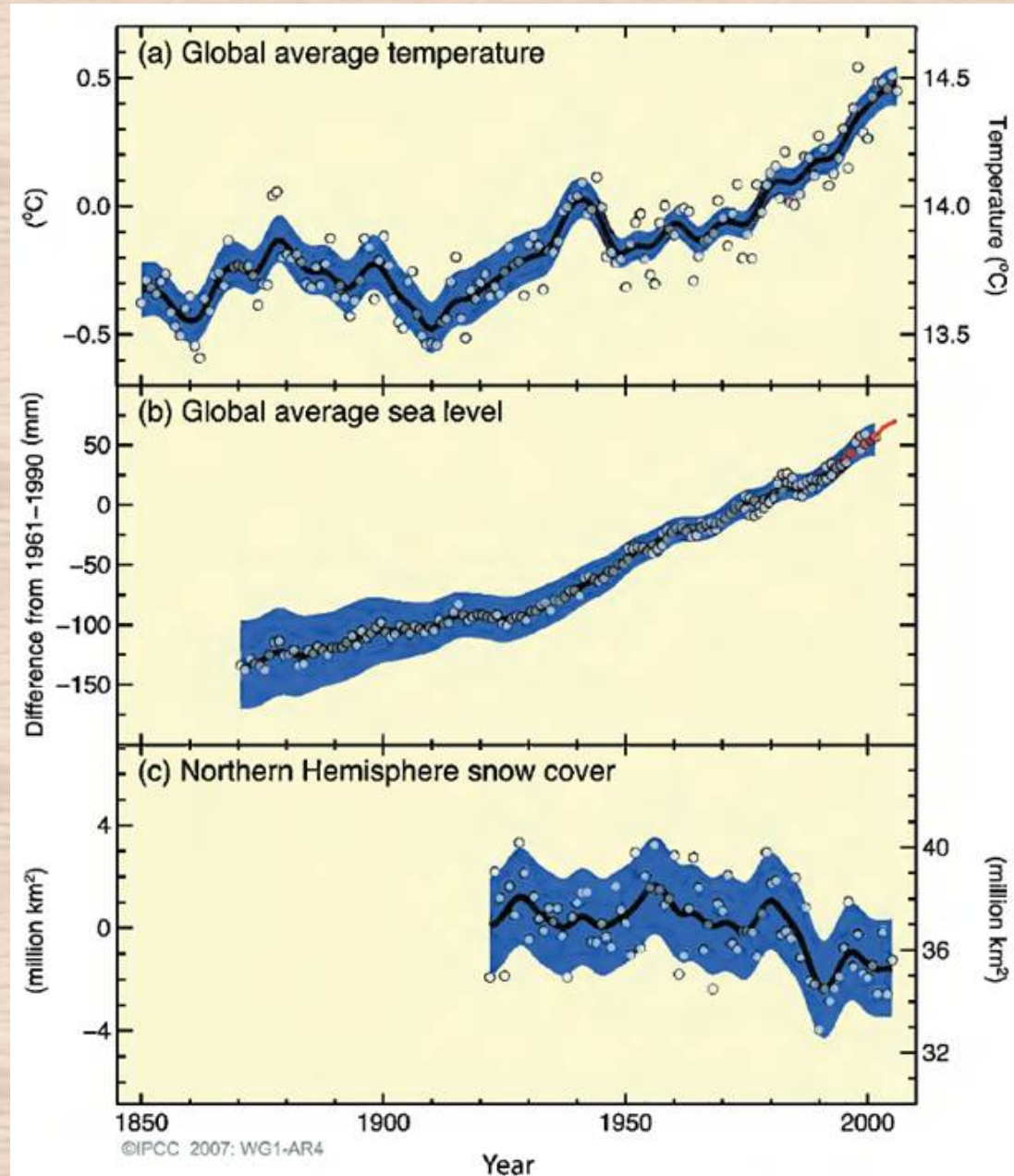
Cambios observados en:

a) T^a de la superficie terrestre.

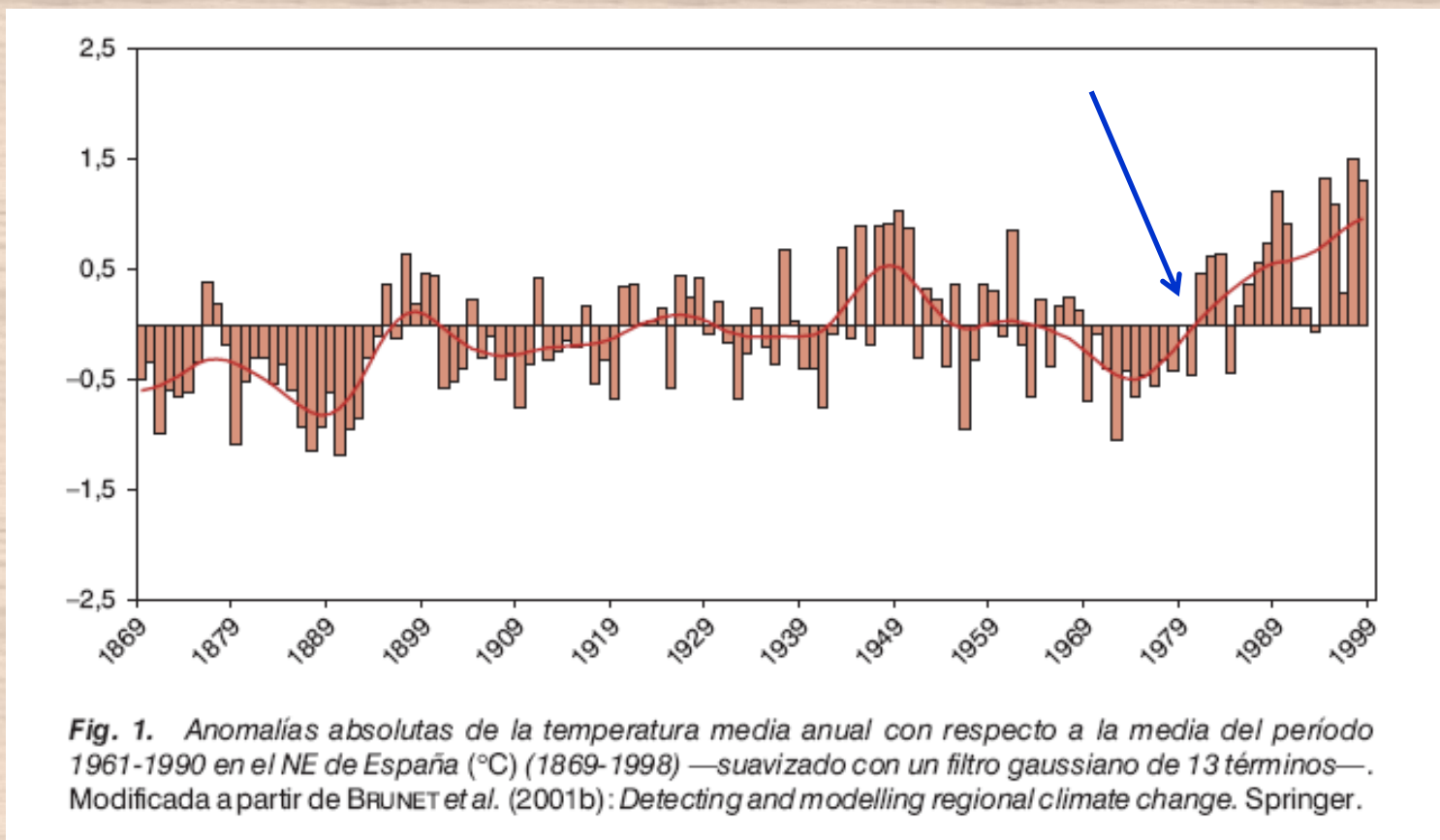
b) Nivel del mar.

c) Cobertura de nieve en el Hemisferio Norte en marzo y abril.

Todos los cambios son calculados respecto a los niveles del período 1961-1990.



Evolución de las temperaturas respecto a la media del período 1961-1990



Evidencias del
calentamiento
global

Evolución de las precipitaciones respecto a la media del período 1961-1990

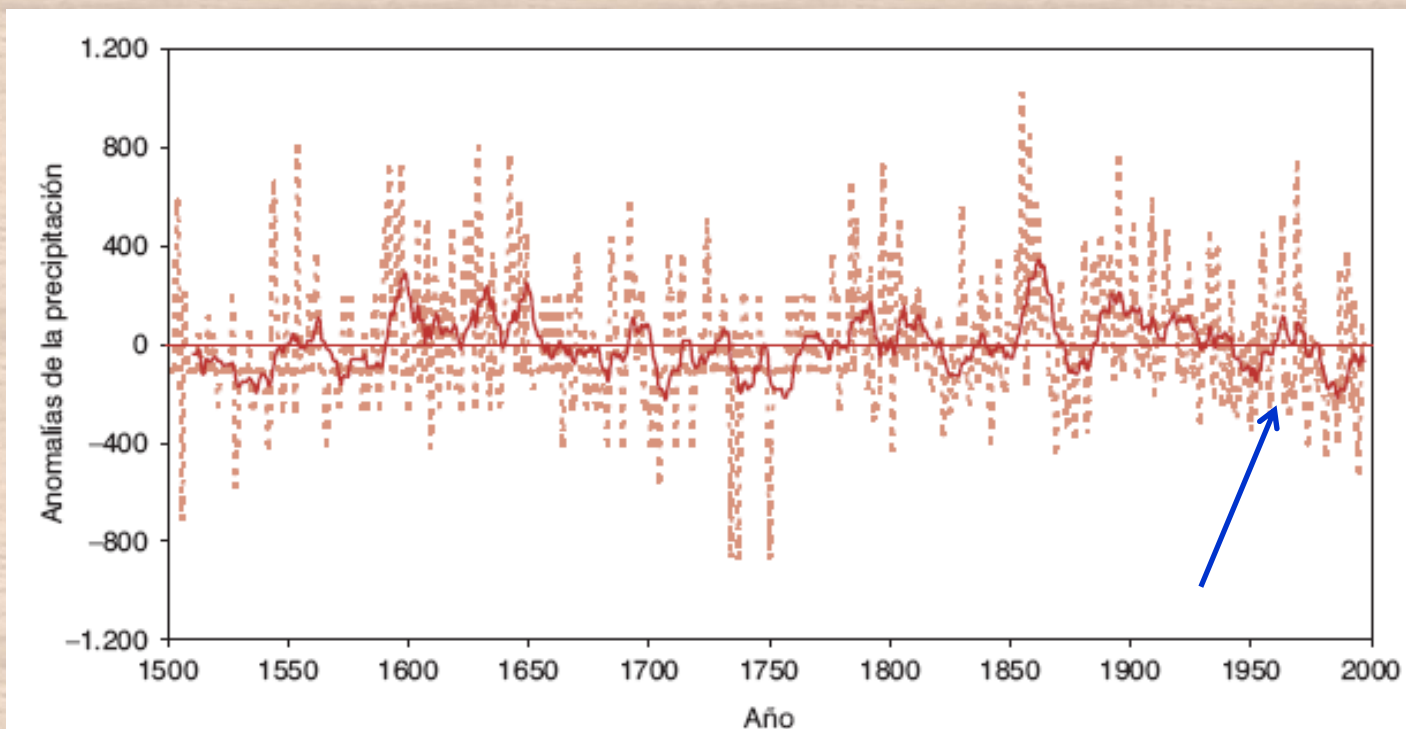
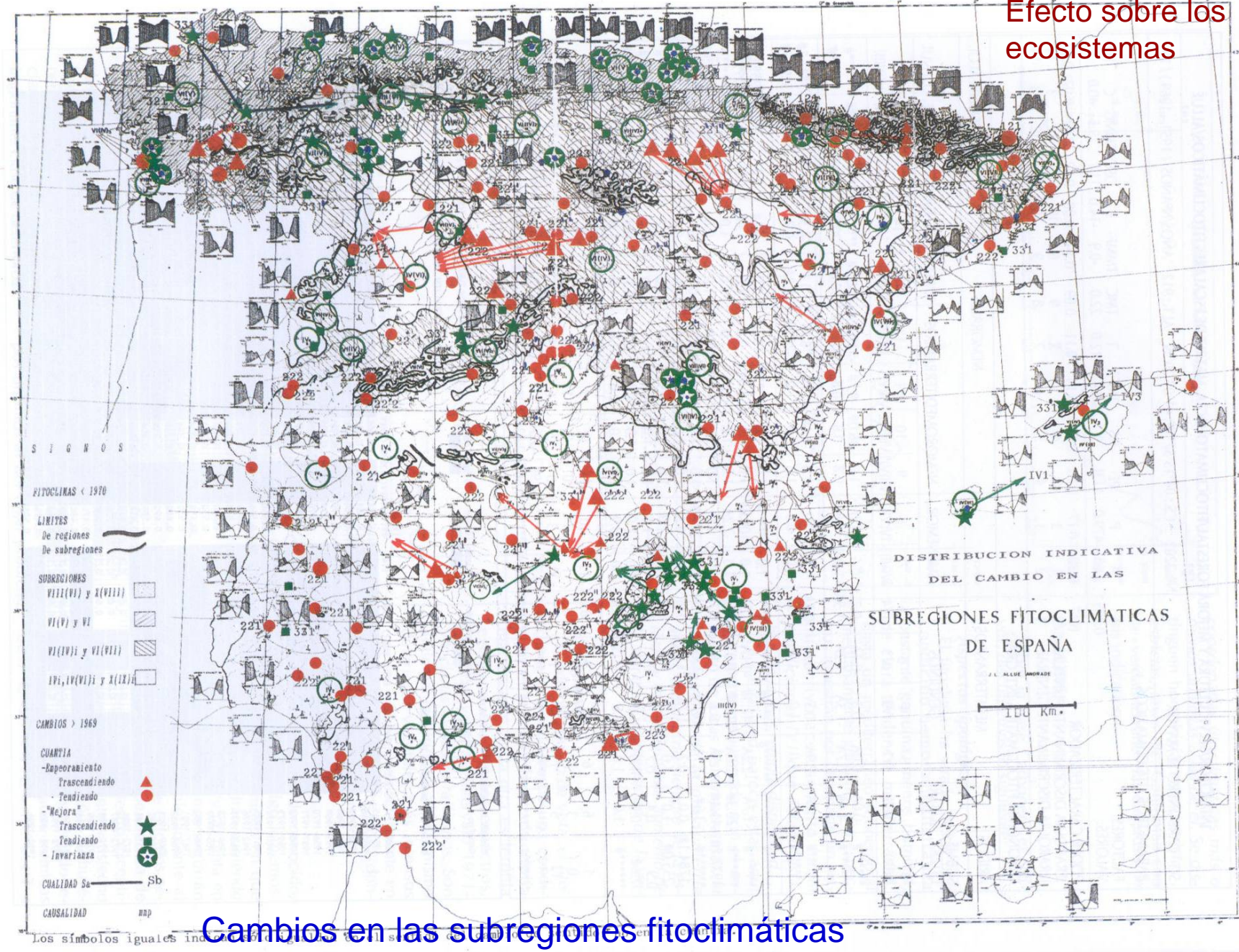


Fig. 2. Anomalías absolutas de la precipitación anual en Andalucía (mm) (1500-2000) —suavizado con medias móviles de 10 años—. RODRIGO et al. (1999, 2000): *Int. J. Climatol.* 19: 1233-1253 y 20: 721-732.

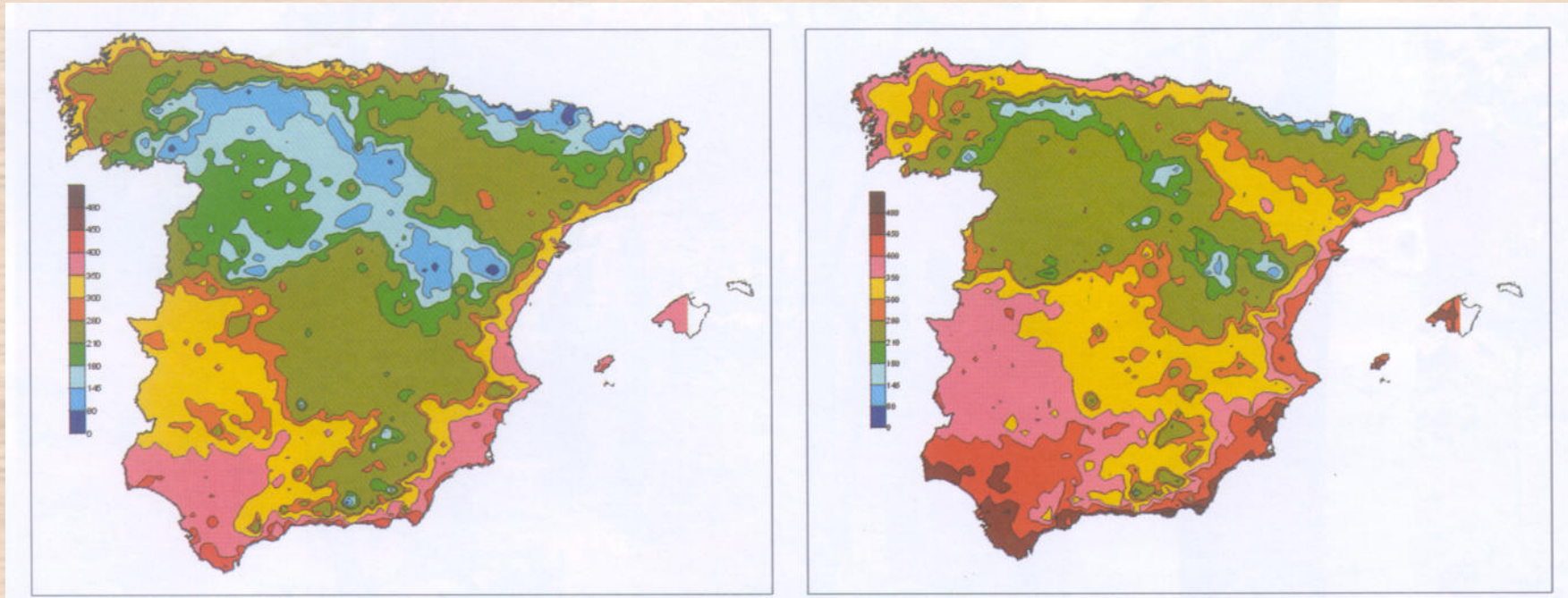
Evidencias del
calentamiento
global

Efecto sobre los ecosistemas



Cambios en las subregiones fitoclimáticas

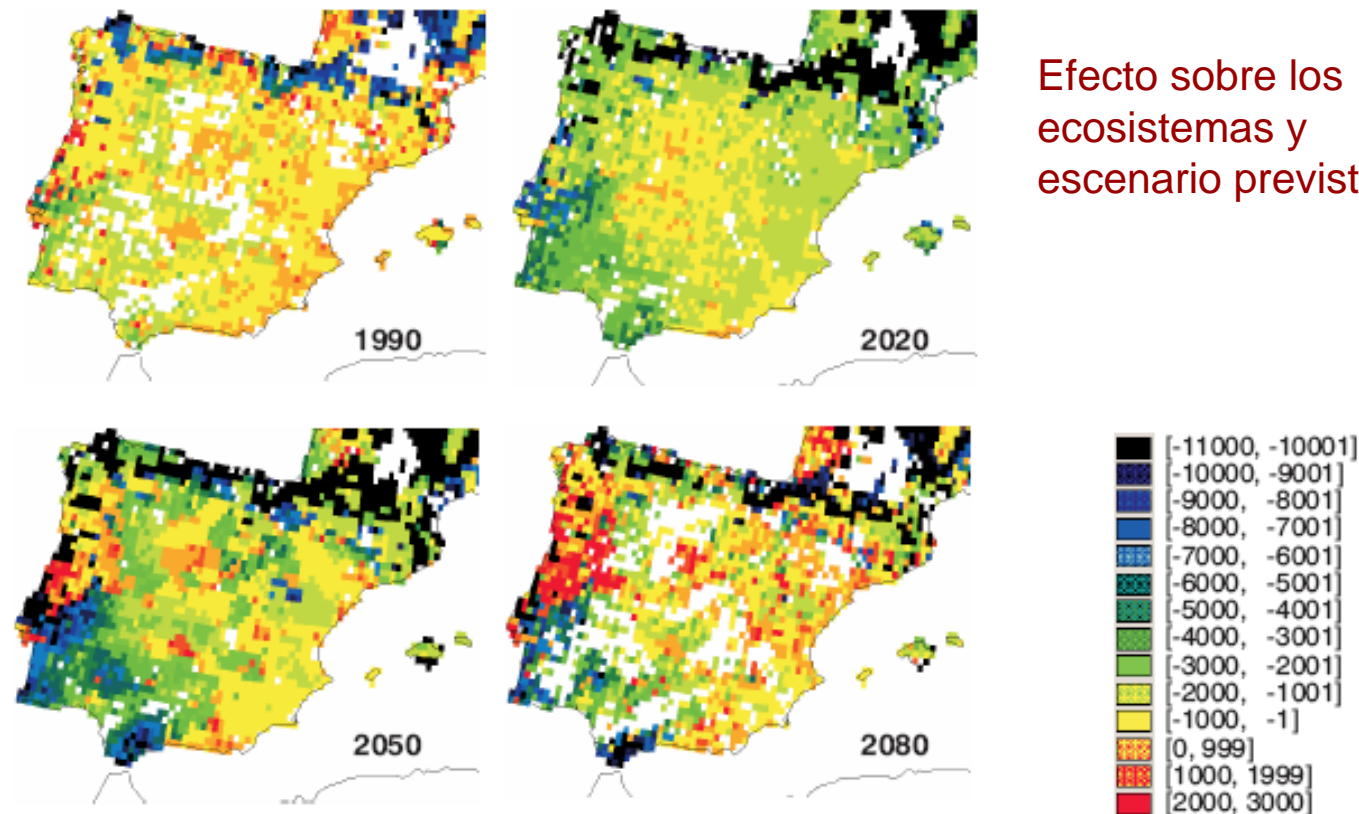
Escenarios previstos y efecto sobre los ecosistemas



Rangos de valores actuales para el **Índice de Termicidad** establecido por Rivas Martínez en 1987 (izda.) y escenario previsto en el caso de que **aumente 2 °C la temperatura** media anual y se mantengan las precipitaciones (dcha.).

Los pisos de vegetación se desplazan hacia zonas septentrionales o de mayor altitud. Termomediterráneo = rojo y rosa, Mesomediterráneo = amarillo, naranja y verde claro, Supramediterráneo = verde oscuro y azules, Oromediterráneo = morado. Dentro de la Región Eurosiberiana los colores azules corresponden al piso montano, los verdes y el naranja al piso colino, y el amarillo y rosa al termocolino.

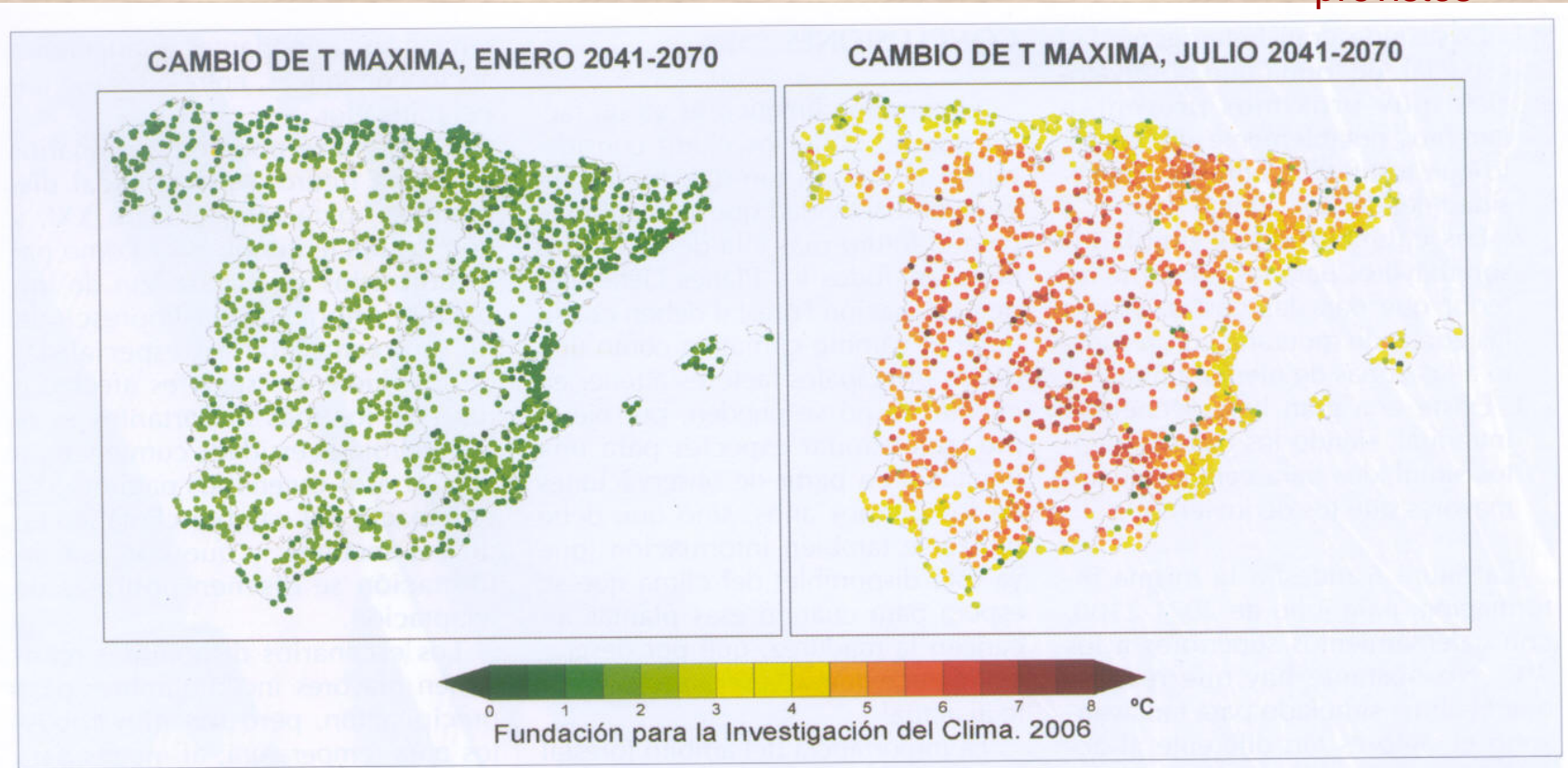
Efecto sobre los
ecosistemas y
escenario previsto



Producción neta del ecosistema

Fig. 12. Estimación de la producción neta del ecosistema en los bosques de la Península Ibérica. Los mapas representan la situación en los años 1990, 2020, 2050 y 2080. Se ha utilizado el modelo GOTILWA + para simular el crecimiento de los bosques europeos bajo diferentes escenarios socio-económicos de cambio climático definidos por el IPCC. El clima de cada pixel corresponde al estimado por el modelo HadCM3 utilizando el escenario socio-económico A2 (IPCC 2001. Third Assessment Report). Los valores negativos indican que el territorio se comporta como un sumidero neto de carbono, desde moderado (tonos amarillos y verdes) a fuerte (tonos azules y negros). Los valores positivos indican que el territorio se comporta como una fuente neta de carbono (tonos anaranjados y rojos). Los resultados ponen de manifiesto que, en la Península Ibérica, los bosques pueden aumentar transitoriamente su efecto sumidero durante algunas décadas, pero hacia la segunda mitad del presente siglo invertirán su papel de sumideros para transformarse en emisores netos de carbono a la atmósfera. De GRACIA et al. (datos no publicados).

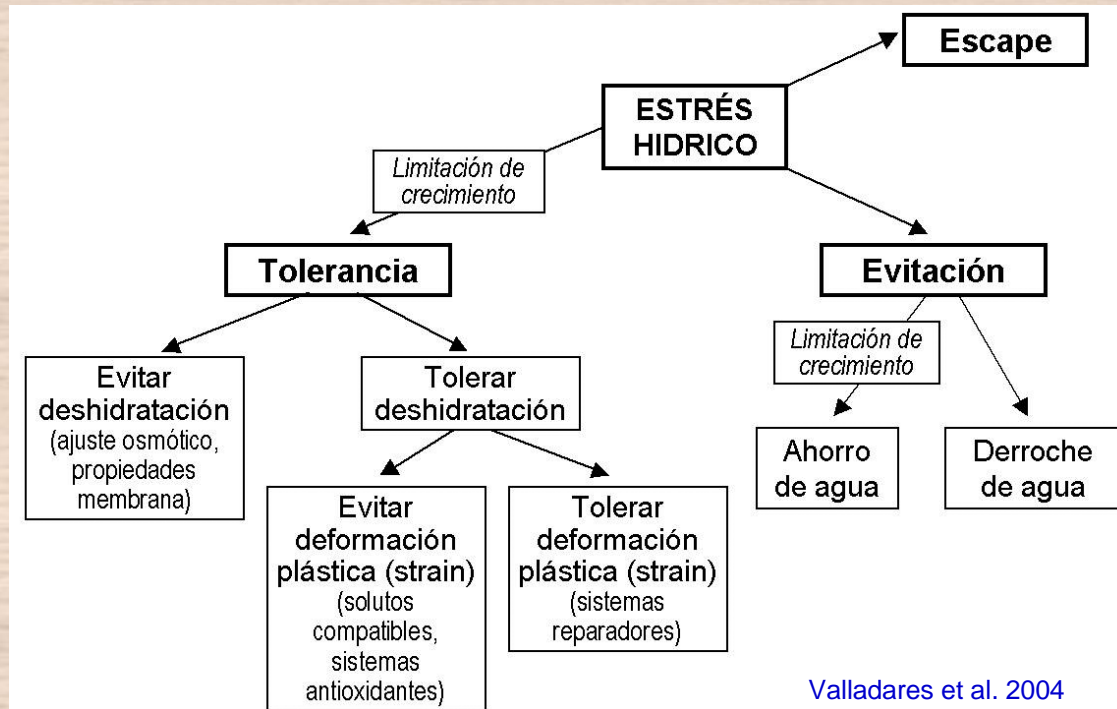
Escenarios previstos



Escenario previsto para el período 2041-2070, MCG canadiense CGCM2 para el escenario A2 (esto es, sin apenas cambios en las emisiones actuales), para la temperatura máxima de enero y julio (respecto al período 1961-1990).

Un aumento de 2-4° C conllevaría un incremento de evapotranspiración de 200-300 mm que, unido a una menor precipitación y a un patrón de distribución estacional más irregular, agravarán los efectos de la sequía.

Estrategias de las plantas frente a la sequía (estrés hídrico)



ESCAPE

- Letargo de semillas, órganos subterráneos.
- Migración.

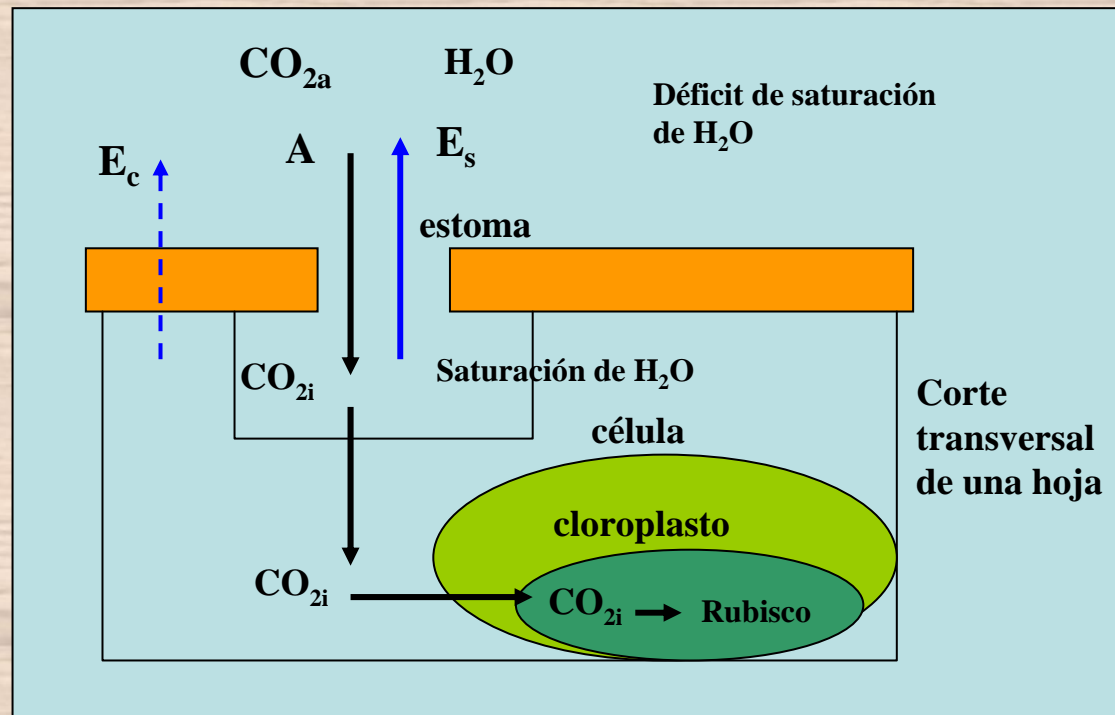
EVITACIÓN

- Cierre estomático.
- Abscisión foliar.
- Baja SLA.
- Reducción de superficie foliar.
- Alta resistencia cuticular.
- Raíces profundas y ramificadas.
- Alta conductividad hidráulica.
- Alta relación parte aérea/raíz.
- ...

TOLERANCIA

- Ajuste osmótico.
- Ajuste elástico de paredes celulares.
- Sistemas antioxidantes.
- Estabilidad de pigmentos fotosintéticos.
- Resistencia a la cavitación.
- ...

EFEECTO SOBRE LAS PLANTAS EN INTERCAMBIO GASEOSO



$$EUA = A / E$$

A : Fotosíntesis neta.

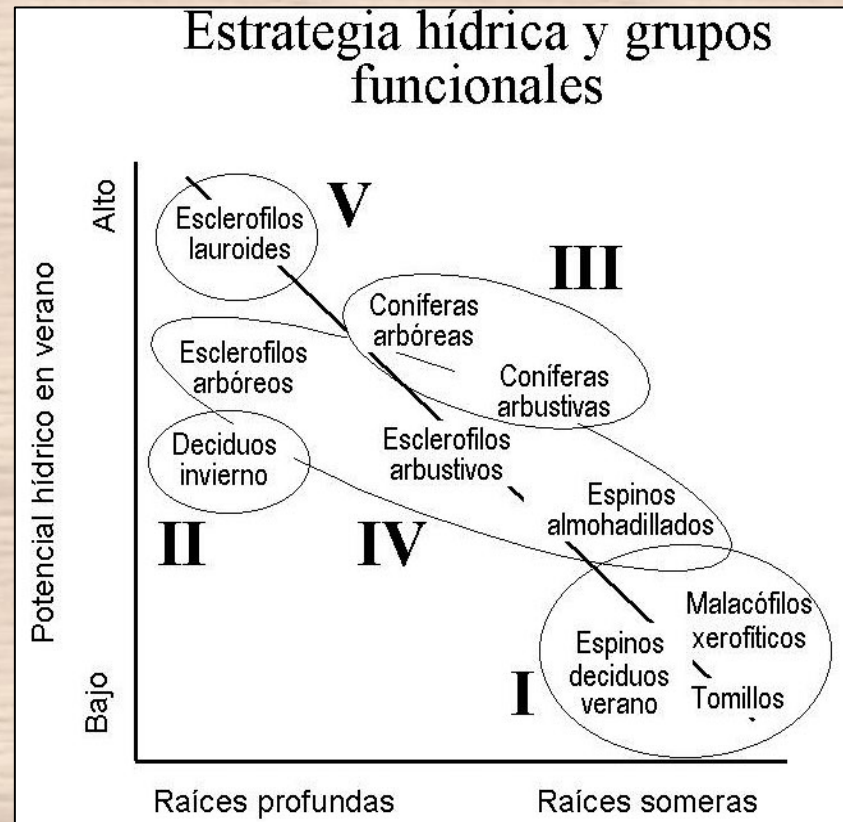
E : Transpiración.

EUA: eficiencia en el uso del agua.

El CO_2 tiene un papel primordial en el proceso fotosintético. Actúa como activador y como sustrato de la principal enzima carboxilante de los organismos fotoautótrofos, la ribulosa bifosfato carboxilasa-oxigenasa (Rubisco), y promueve el cierre estomático. Se aumentaría la eficiencia en el uso del agua.

EFFECTOS SOBRE LAS PLANTAS DEL INCREMENTO DE CO₂

- Actualmente, la **ratio CO₂/O₂** limita la capacidad fotosintética de la mayor parte de la vegetación hasta el 60-70 % de su capacidad máxima, debido a la limitación de la cinética de la enzima Rubisco.
- La Rubisco requiere concentraciones de CO₂ más altas que las presentes.
- La función de carboxilación es competitivamente inhibida por el O₂ (**fotorrespiración**). Del orden del 25% en plantas C₃.
- El aumento de CO₂ favorecerá la fotosíntesis y el crecimiento de las plantas C₃.
- Disminución de la conductancia estomática (30-60%) y de la densidad estomática, reduciendo la transpiración (25%), aumentando con ello la **EUA**.
- Aumento de la absorción de nutrientes, pero en menor medida que la fijación de C, por lo que aumentará la EUNut.
- No está claro cómo afectarán las variaciones de otros factores (T^a, P) a la fotosíntesis y el crecimiento, pero **se prevé un efecto negativo** en ambiente mediterráneo.

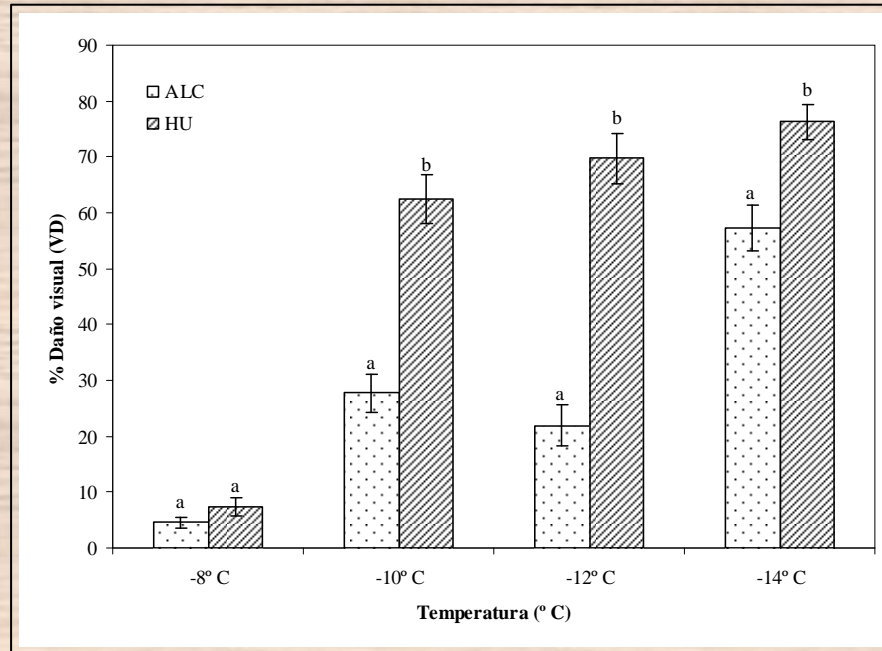


Estrategia hídrica de los principales grupos funcionales de plantas leñosas mediterráneas. La profundidad de la raíz y el mantenimiento del estado hídrico permiten distinguir cinco grupos principales: **I)** escape del estrés (letargo total o parcial durante la sequía, reducción del área foliar), **II)** evitación del estrés mediante el derroche de agua, **III)** evitación del estrés mediante ahorro de agua (cierre estomático), **IV)** tolerancia del estrés y tolerancia de la deshidratación, **V)** tolerancia del estrés con poca tolerancia de la deshidratación.



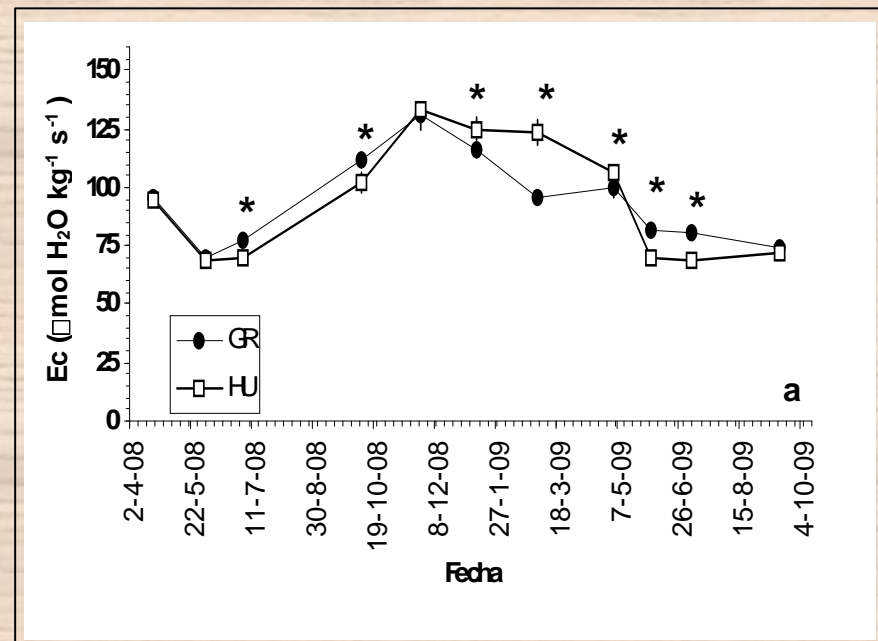
Distribución de estos grupos en función de las previsiones de cambio climático. Los esclerófilos lauroides (restos del Terciario) serían los primeros en desaparecer, mientras que los caméfitos como los tomillos y los arbustos malacófilos como las jaras (típicos de clima mediterráneo desde el Plioceno) serían los menos afectados. Si predominan inviernos muy fríos, los esclerófilos serían más sensibles que las coníferas y los árboles y arbustos deciduos.

Caracteres adaptativos de la especie a nivel de región de procedencia



Valor del daño visual ($\pm \sigma$) en función de la temperatura y la región de procedencia de encina. Diferentes letras muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) entre procedencias para cada temperatura (Andivia et al. 2011)

Evolución estacional (\pm E.T.) de la transpiración cuticular (E_c) de plantas de encina de dos procedencias (HU and GR) en parcela de campo. Los asteriscos indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre procedencias para cada fecha de medición (Andivia et al. 2011)



CAPACIDAD DE MIGRACIÓN DE LAS PLANTAS (aprendemos del pasado)

- El límite superior del bosque, el que se encuentra limitado por temperatura, ha avanzado en los períodos más favorables del Holoceno **0,1-1,0 m/año**. En las previsiones actuales se estima que la distribución de la vegetación se desplace hacia mayor altitud a un ritmo de **0,8-1,0 m/año**, por lo que algunas especies limitadas a las cumbres montañosas podrían extinguirse.
- El cambio climático previsto permitiría la expansión de especies termófilas, pero la disminución de las precipitaciones frenaría este avance, comprometería a las especies poco tolerantes a la sequía, y afectaría negativamente al límite inferior del bosque (limitado por disponibilidad hídrica).
- Las principales especies leñosas europeas migraron en latitud durante las glaciaciones con tasas de entre **50 y 500 m/año**, excepcionalmente hasta algo más de 1 km en anemócoras. Según estimaciones actuales las especies tendrían que migrar algo más de **3.000 m/año** para poder adaptarse al cambio climático.
- Las tasas de migración pasadas no serían eficaces en el actual escenario de cambio global, ya que por un lado el clima cambia demasiado **deprisa** y por otro lado el territorio se encuentra muy **fragmentado**.

Secuestro de carbono en los bosques: suelo y vuelo

	C en troncos (t/ha)	C en suelo (t/ha)	Δ de C en troncos (t/ha/año)
Pinares Mediterráneos	44	140	0,84
Abetares	98	114	4,40
Hayedos	118	144	3,43
Quercus perennifolios	9,3	116	0,39
....
Media bosques europeos	70	105	2,16

- En general, el C secuestrado en la madera de los troncos de los árboles (10-100 t/ha) es aproximadamente la mitad que el almacenado en el suelo (50-200 t/ha), pero los cambios que se producen en las cantidades de C en los árboles son entre **5 y 10 veces más rápidos que en el suelo.**
- El incremento neto de C en los bosques en Europa (suelo y vuelo) es del orden de 0,1-0,15 Gt/año, representando el 50 % del **sumidero terrestre europeo.**
- La contribución que puede llegar a suponer el aporte de N al incremento de la producción de biomasa (y por tanto fijación de C) es de 3,5-7,0 % del total.

Tiempo de permanencia del C fijado en los montes

Sumidero	Fracción	Ejemplos	Tiempo medio de permanencia
Biomasa	Leñosa	Fustes, ramas, ...	Décadas a siglos
	No leñosa	Biomasa foliar, ...	Meses a años
Suelo	Elementos finos (EF)	Hojarasca, ramillas, .	Meses a años
	MO activa	EF parcialmente descompuesto,...	Años a décadas
	MO estable	MO estabilizada por arcillas, turba,....	Siglos a milenios
Productos	Transformados de madera	Construcción, muebles,...	Décadas a siglos
	Papel, textil	Papel, fibras, ...	Meses a décadas
	Desecho	Madera vertedero	Meses a décadas
	Biocombustible	Leña, restos, ...	Semanas a meses

El tiempo de permanencia del C en cada tipo de sumidero es factor fundamental a tener en cuenta.

Resumiendo: cambio rápido hacia mayor aridez, territorio fragmentado, pérdidas de suelo, vulnerabilidad de la cubierta vegetal y variabilidad genética.

Medidas recomendables frente a los impactos del cambio climático:

- **Caracterización genética**, selección y establecimiento de plantaciones. Considerar el traslado de material genético hacia zonas de clima más frío y húmedo, así como el uso de genotipos más resistentes a sequía.
- Establecimiento de reservas forestales *in situ* y *ex situ* para asegurar la disponibilidad del banco genético.
- Conservación de **pasillos o corredores** para la conexión entre áreas naturales.
- La conservación de la alta y media montaña (desplazamientos altitudinales). Revisión de la delimitación de los espacios protegidos asegurando que cubran intervalos altitudinales completos, hasta las líneas de cumbres.
- Importancia como **enclaves** de refugio a las vertientes norte y las umbrías.
- Los **bosques mixtos** tendrán más posibilidades de mantener la continuidad forestal a lo largo de los avatares climáticos futuros. Unas especies protegen a otras.
- Las técnicas de **manejo forestal** especialmente sensibles a: erosión y pérdida de materia orgánica edáfica, incendios, regeneración de la cubierta forestal, carga ganadera y uso de especies no autóctonas.
- Inventariación y examen periódico.

GRACIAS POR SU ATENCIÓN