



# Μέθοδοι και εργαλεία προβολής των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στα δασικά οικοσυστήματα



*ΝΜ Φύλλας, Μ Αριανούτσου,  
ΠΓ Δημητρακόπουλος, ΑΙ Τρούμπης  
nfyllas@gmail.com*

*Τομέας Οικολογίας & Ταξινομικής  
Τμήμα Βιολογίας, ΕΚΠΑ  
&  
Εργαστήριο Διαχείρισης Βιοποικιλότητας  
Τμήμα Περιβάλλοντος, Παν Αιγαίου*



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ  
*επένδυση στην κοινωνία της γνώσης*

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ



ΕΣΠΑ  
2007-2013  
πρόγραμμα για την ανάπτυξη  
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

# Μέθοδοι και εργαλεία προβολής των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στα δασικά οικοσυστήματα

---

*1. Εισαγωγή*

*2. Μέθοδοι & Εργαλεία*

*3. Προβλέψεις*

# Μέθοδοι και εργαλεία προβολής των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στα δασικά οικοσυστήματα

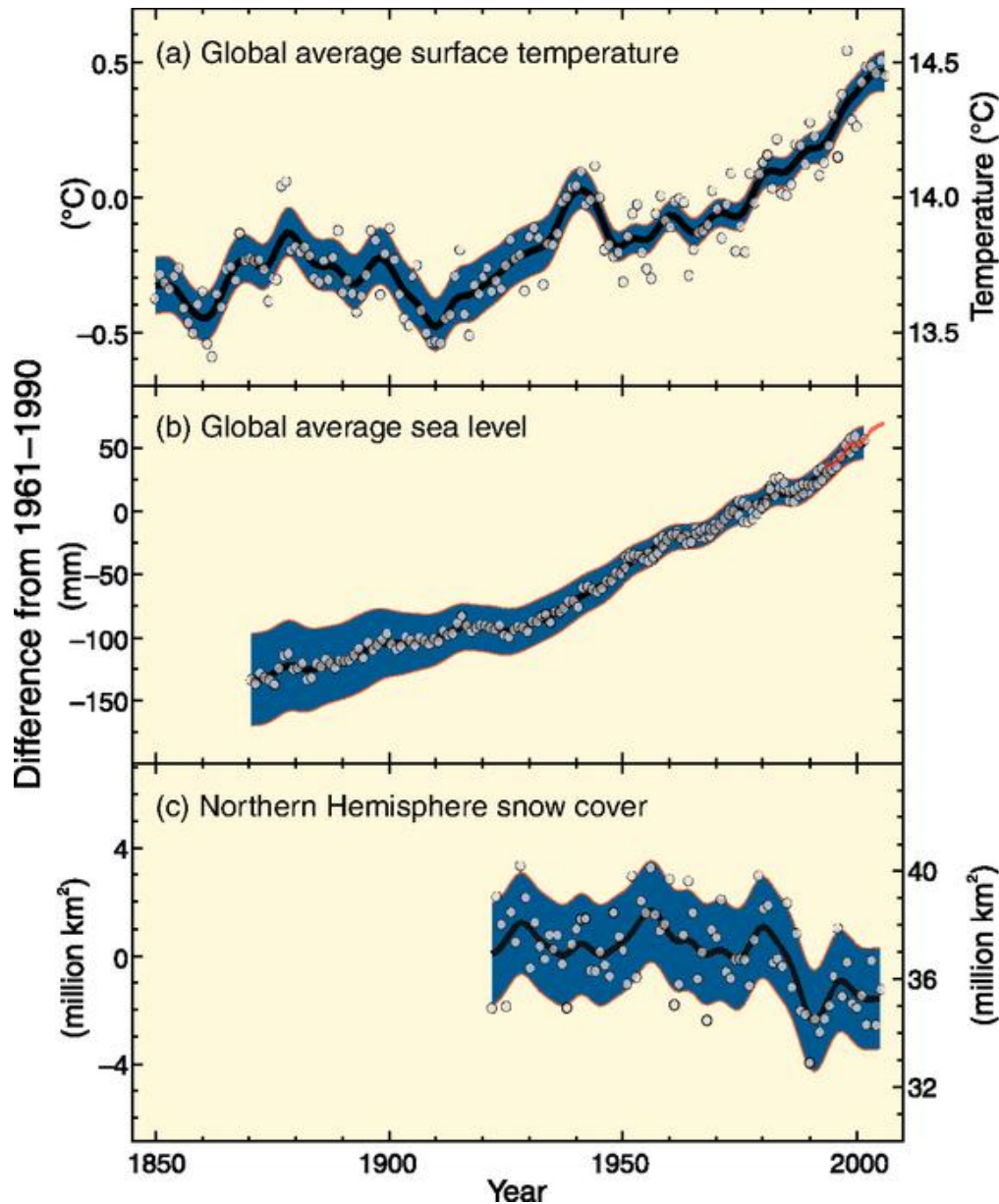
---

*1. Εισαγωγή*

*2. Μέθοδοι & Εργαλεία*

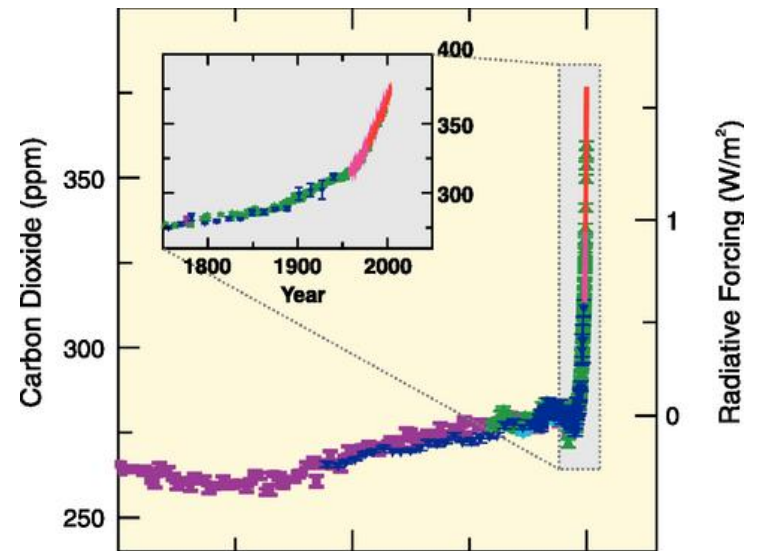
*3. Προβλέψεις*

# Κλιματική Αλλαγή : Τα τελευταία 150 χρόνια

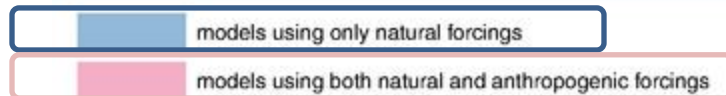
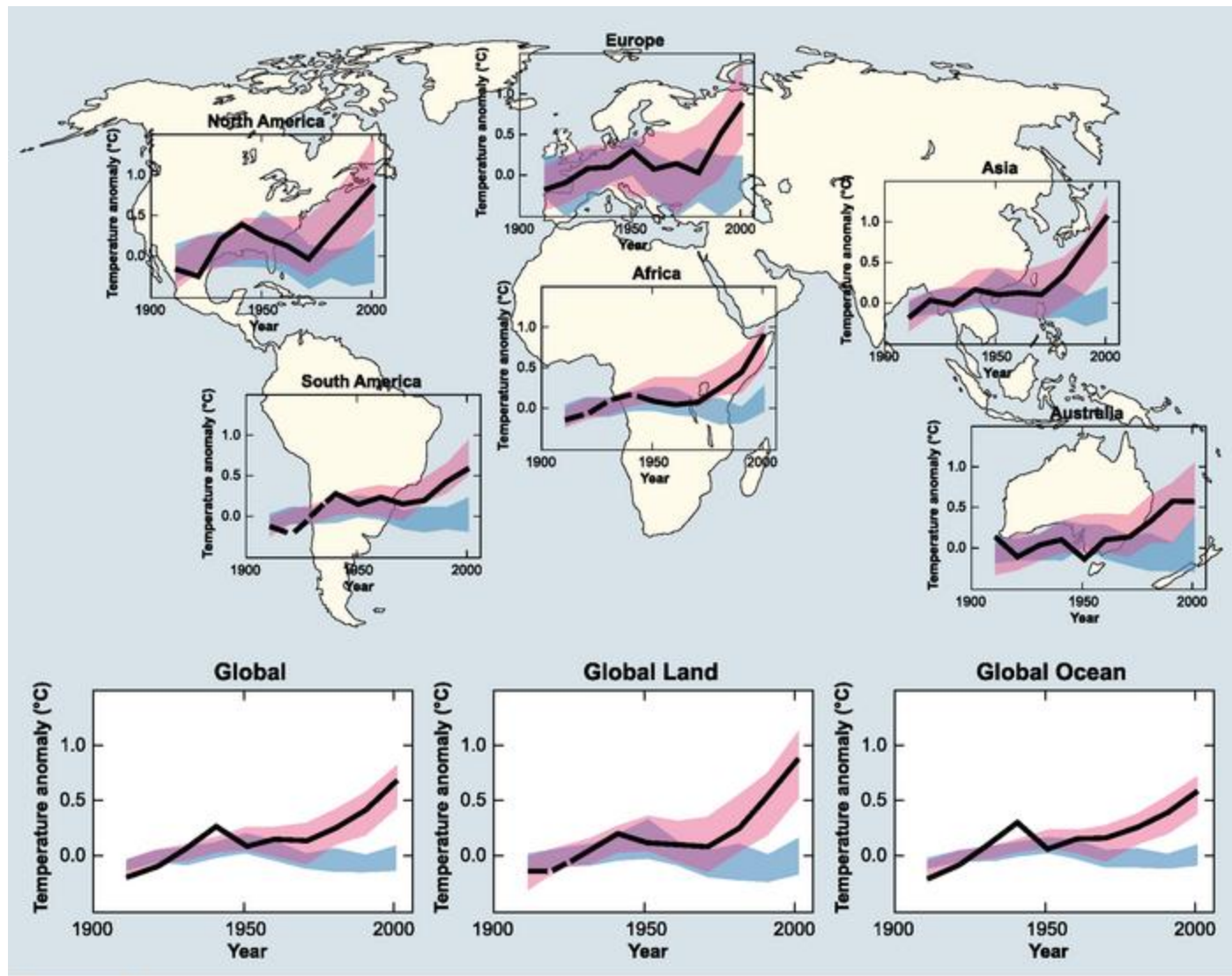


$T \sim +0.75^{\circ}\text{C}$

11/12 έτη (1995-2005) θερμότερα

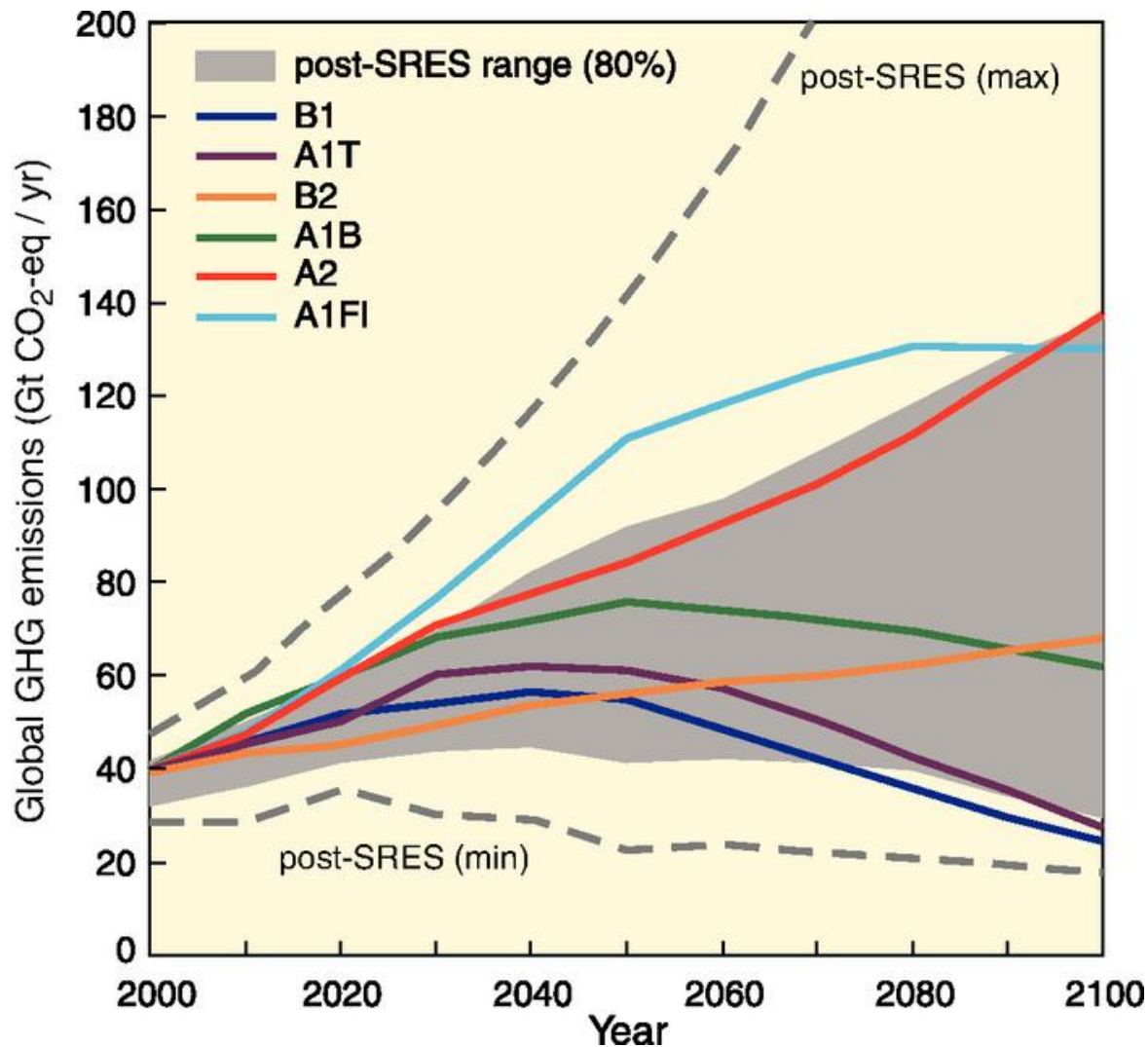


# Κλιματική Αλλαγή : Τα τελευταία 150 χρόνια



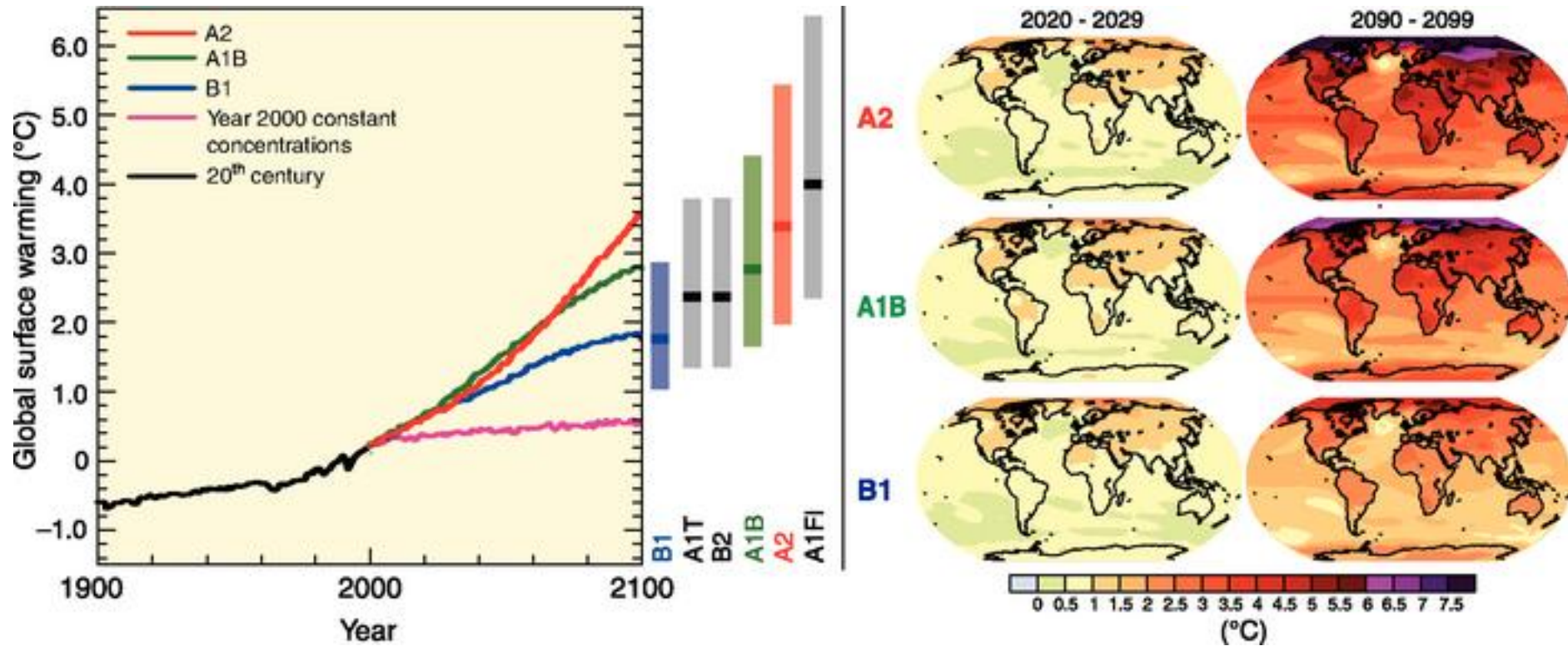
— observations

# Προβολές Αλλαγής Κλίματος για τον 21<sup>ο</sup> Αιώνα



Βάσει προβλέψεων  
πληθυσμού,  
παγκόσμιας οικονομίας,  
τεχνολογίας  
κτλ

# Προβολές Αλλαγής Κλίματος για τον 21<sup>ο</sup> Αιώνα



# Επιδράσεις στα Οικοσυστήματα & Υπηρεσίες

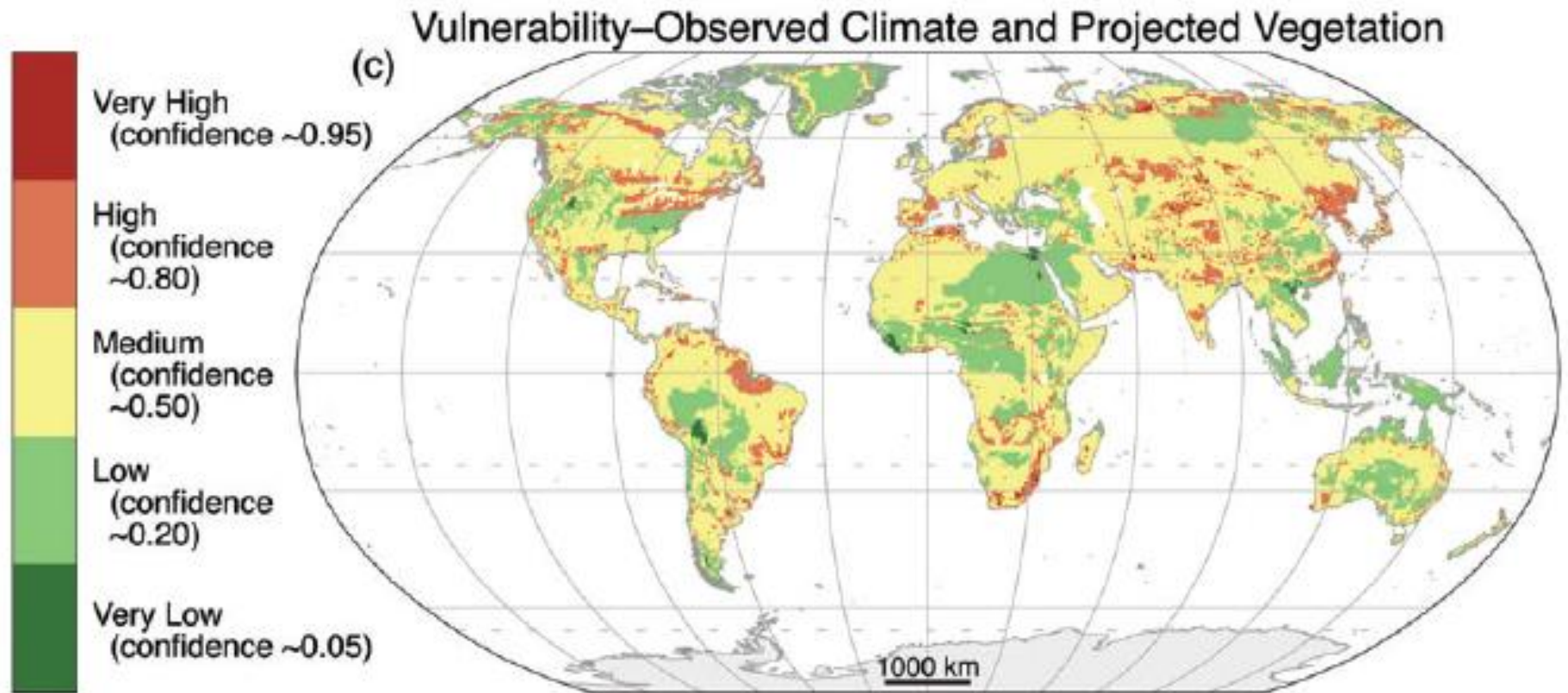
---

- Επίδραση σε επίπεδο **προσαρμογής** / βραχύβια είδη (Hughes 2000).
- Επίδραση σε επίπεδο **φαινολογίας** / λειτουργίες F(κλιματικά σήματα) (Bradley et al. 1999, Menzel et al. 2001, Cramer 2005).
- Επίδραση σε επίπεδο **οικοφυσιολογίας** / μεταβολικός και αυξητικός ρυθμός, λόγω αλλαγών στην ατμοσφαιρική συγκέντρωση του CO<sub>2</sub> ή στα πρότυπα της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης (Phillips 1996, Briffa 1998, Brown 2001).
- Επίδραση σε επίπεδο **κατανομής** των ειδών.  
 $\Delta T_{mean} 3^{\circ}C \rightarrow$  ισοθερμικές αλλαγές 300-400 χιλιομέτρων σε γεωγραφικό πλάτος ή 500 μέτρων σε υψόμετρο / Μετακίνηση προς τους πόλους ή προς μεγαλύτερα υψόμετρα (Webb 1987, Webb 1992).
- **Σύνθετες** επιδράσεις / Αλλαγές στα αποτελέσματα των αλληλεπιδράσεων των παραπάνω (Walther et al. 2002)
- Η ανεξάρτητη ή συνεργιστική δράση των παραπάνω πιέσεων, οδηγεί σε κατακόρυφη αύξηση του βαθμού **αβεβαιότητας** οποιασδήποτε προσπάθειας πρόβλεψης της μελλοντικής δομής των οικοσυστημάτων του πλανήτη.

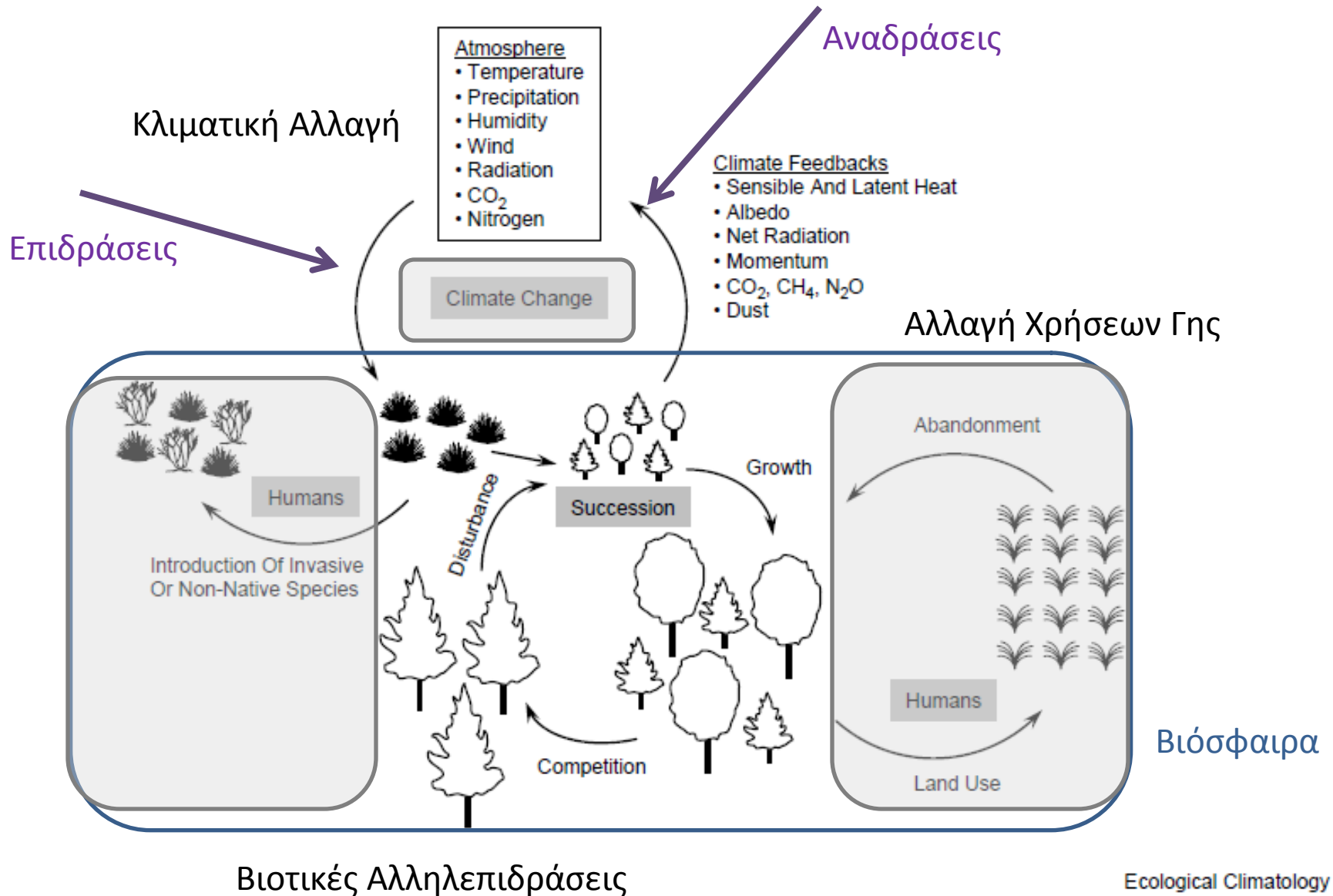


# Επιδράσεις στα Οικοσυστήματα & Υπηρεσίες

## Αβεβαιότητα στις προβλέψεις Τρωτότητας



# Πλανητική Αλλαγή: Ατμόσφαιρα & Βιόσφαιρα



# Πλανητική Αλλαγή: Ατμόσφαιρα & Βιόσφαιρα

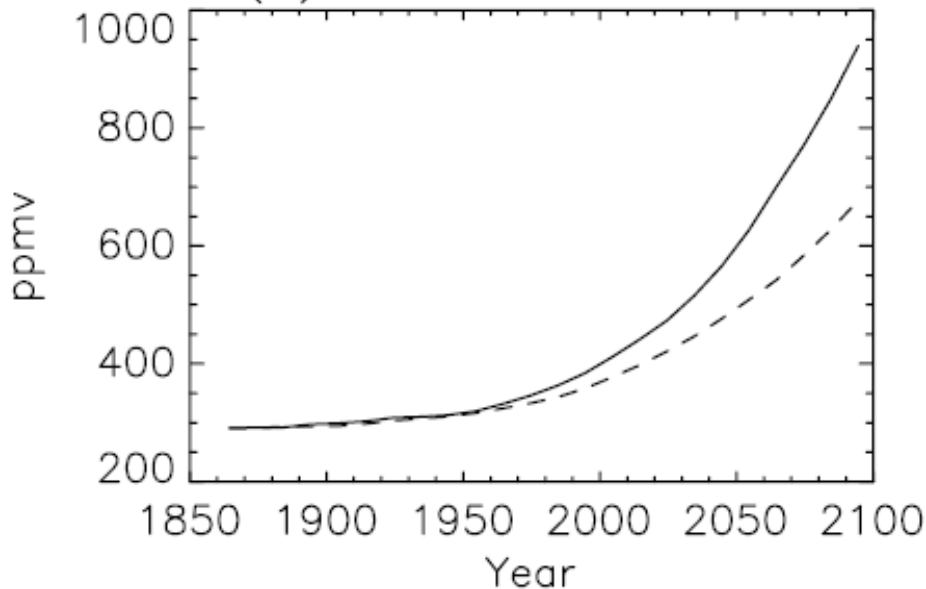
## letters to nature

### Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model

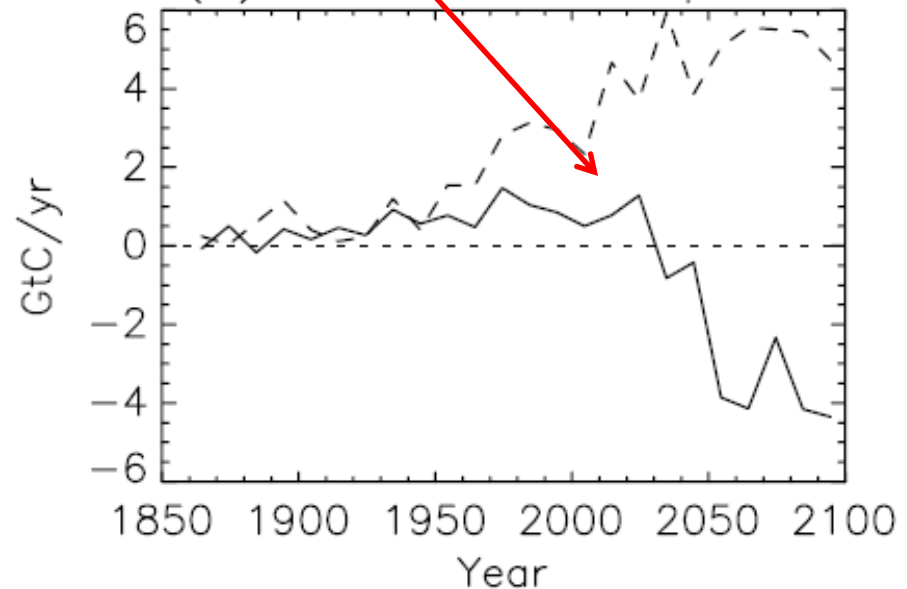
Peter M. Cox\*, Richard A. Betts\*, Chris D. Jones\*, Steven A. Spall\* & Ian J. Totterdell†

----- “στατική βλάστηση”  
————— “δυναμική βλάστηση”

Ατμοσφαιρική Συγκέντρωση CO<sub>2</sub>

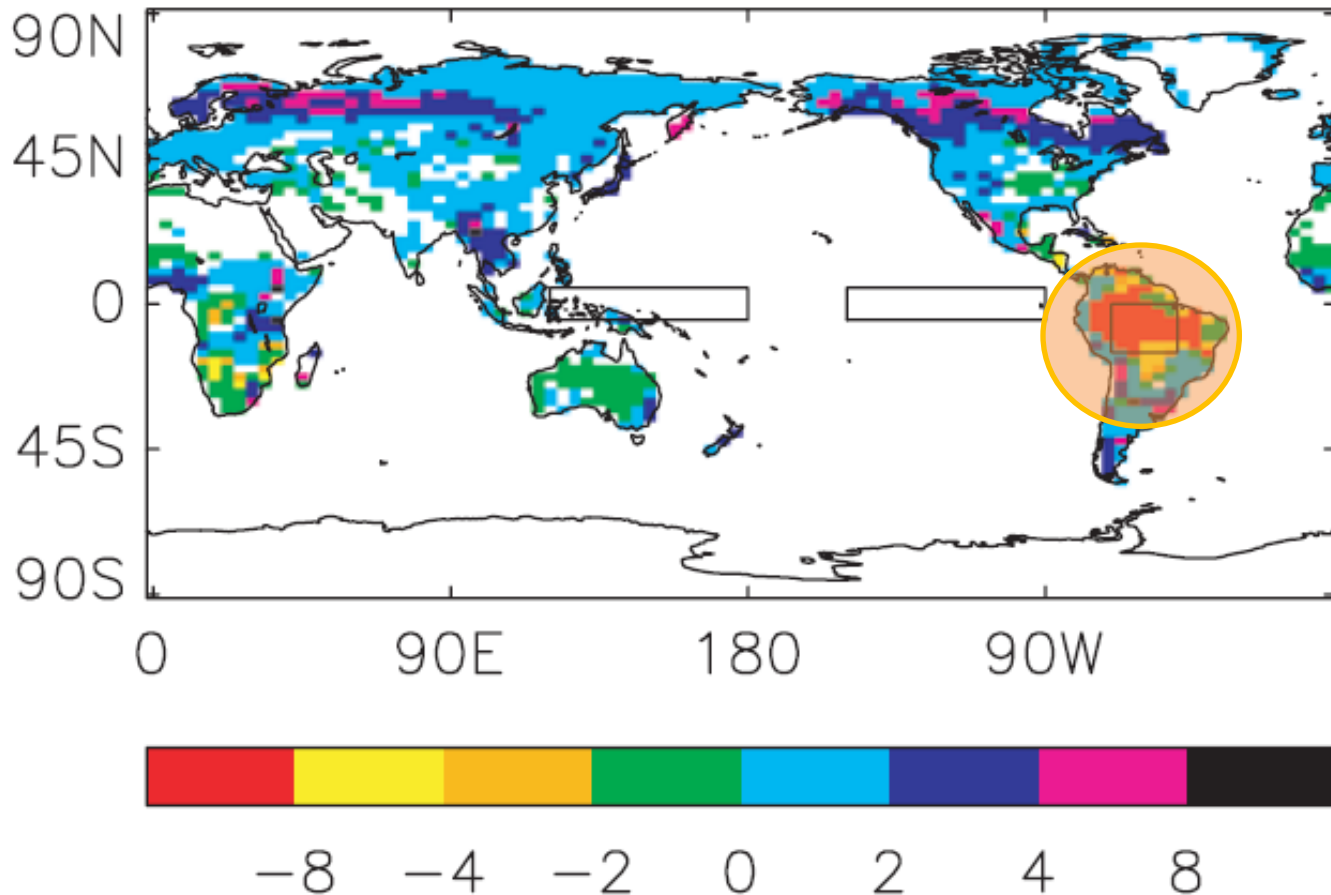


Πρωτογενής Παραγωγικότητα Πλανήτη



# Πλανητική Αλλαγή: Ατμόσφαιρα & Βιόσφαιρα

Πρόβλεψη Βιομάζας για το έτος 2100 ( $\text{kg C m}^{-2}$ )



# *Δυναμική Μεσογειακών Δασών Υπό Συνθήκες Κλιματικής Αλλαγής*

---

*1. Εισαγωγή*

*2. Μέθοδοι & Εργαλεία*

*3. Προβλέψεις*

# Μέθοδοι & Εργαλεία

## Οικολογικά Μοντέλα και Μοντέλα Δυναμικής Δασών

- Σύνθεση παρούσας γνώσης και πληροφορίας
- Διερεύνηση θεωριών και υποθέσεων
- Διερεύνηση σεναρίων / ποσοτικοποίηση αβεβαιότητας
- Για μακρόβια οικοσυστήματα (π.χ. δάση) προβολές αλλαγών δυνατές σε “ανθρώπινο” χρόνο

### Στατικά/ Στατιστικά

Ευκολία ανάπτυξης και εφαρμογής  
Απλότητα – Διαύγεια

--

Συνήθως υποσύνολο  
λειτουργιών μηχανισμών  
Αυξημένη αβεβαιότητα εφαρμογής  
υπό συνθήκες κλιματικής αλλαγής

### Δυναμικά / Μηχανιστικά

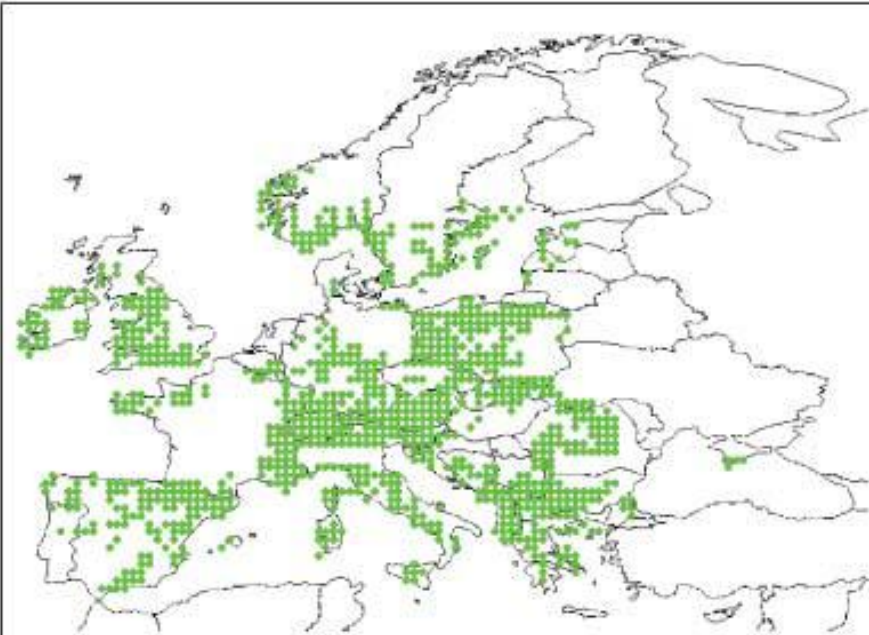
Μεγάλο εύρος  
λειτουργιών μηχανισμών

--

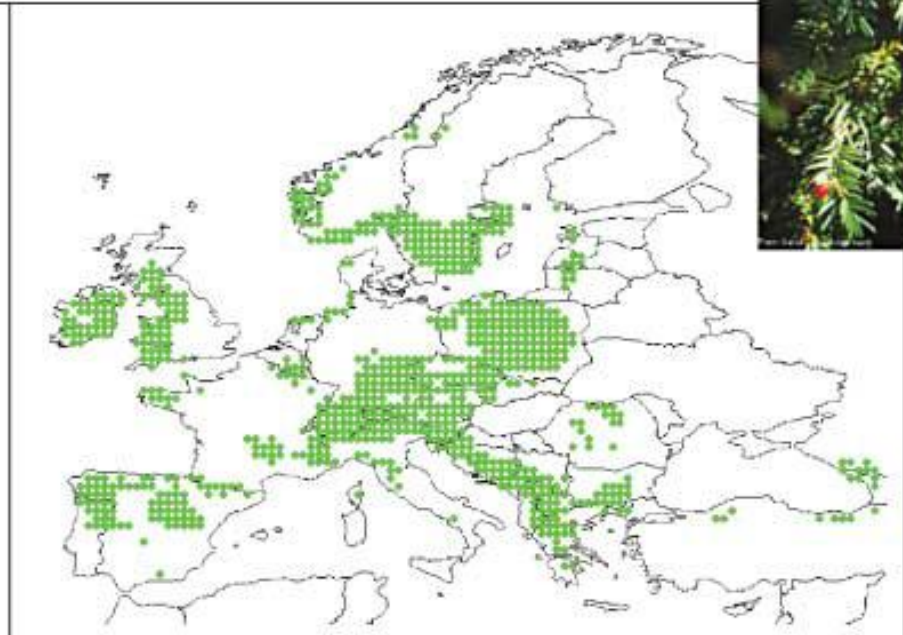
Πιο δύσκολη ανάπτυξη & εφαρμογή  
Πολυπλοκότητα – “black box”

# Επιφάνειες Οικολογικής Απόκρισης

- Στατικά (*Niche-Based Models of Species Climatic Envelops*)



Observed distribution  
(Jalas and Suominen, 1973)



Simulated distribution

1. Μοντελοποίηση του βιοκλιματικού χώρου των ειδών:  $\text{Dist} = f(T, P, \text{PET}, \text{soil type}, \dots)$

2. Χρήση προβολών αλλαγής κλίματος

3. Νέοι χάρτες εξάπλωσης

# Δυναμικά Μοντέλα Μικρής Κλίμακας

## GRAFOS (GREEk FOrest Species)

- Ατομο-κεντρικά Μοντέλα Δυναμικής Δασών
- Προσομοίωση της ζωής του κάθε ατόμου-δένδρου
- Απεικόνιση βασικών πόρων και διεργασιών ανταγωνισμού
- Επαλήθευση σε 8 περιοχές της Ελλάδας

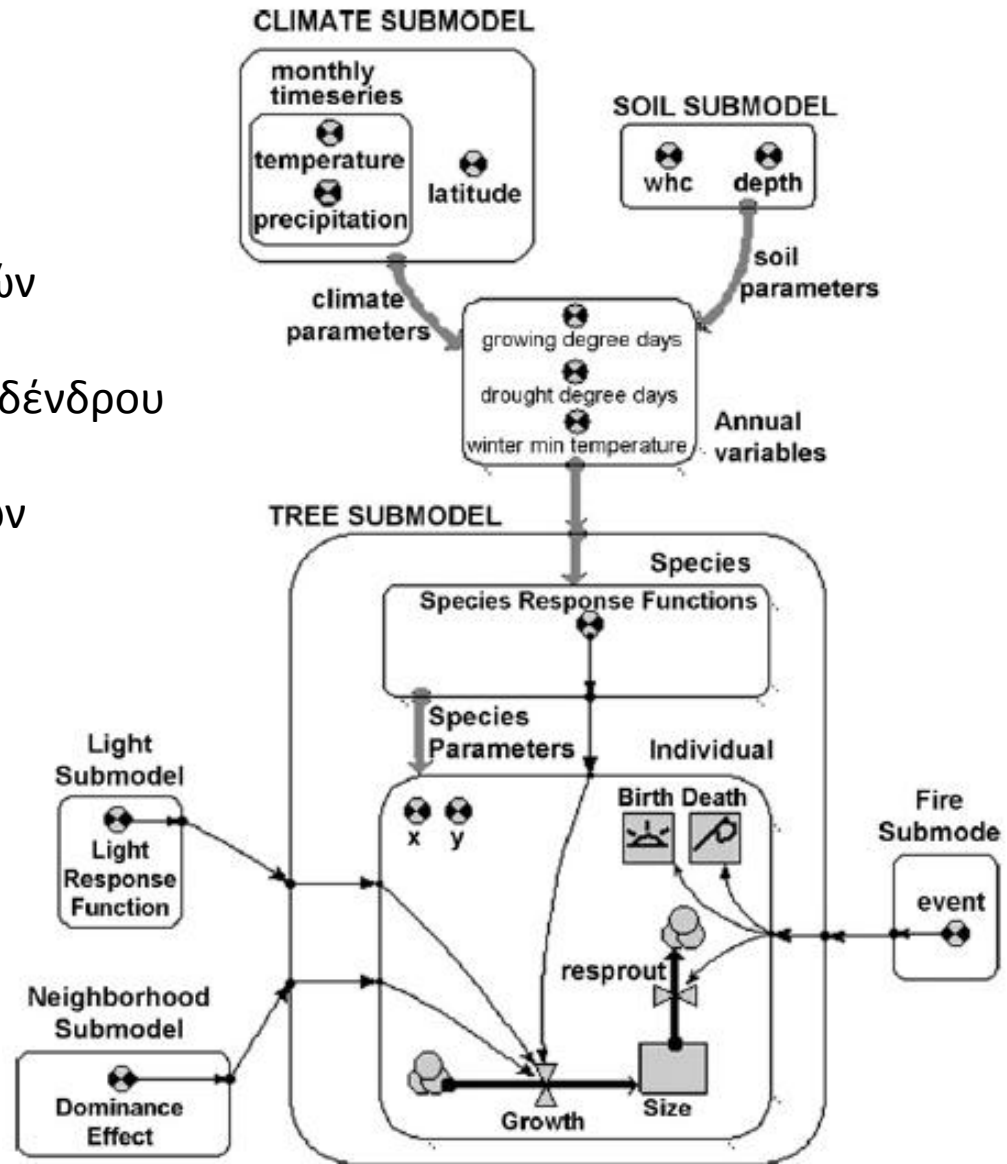
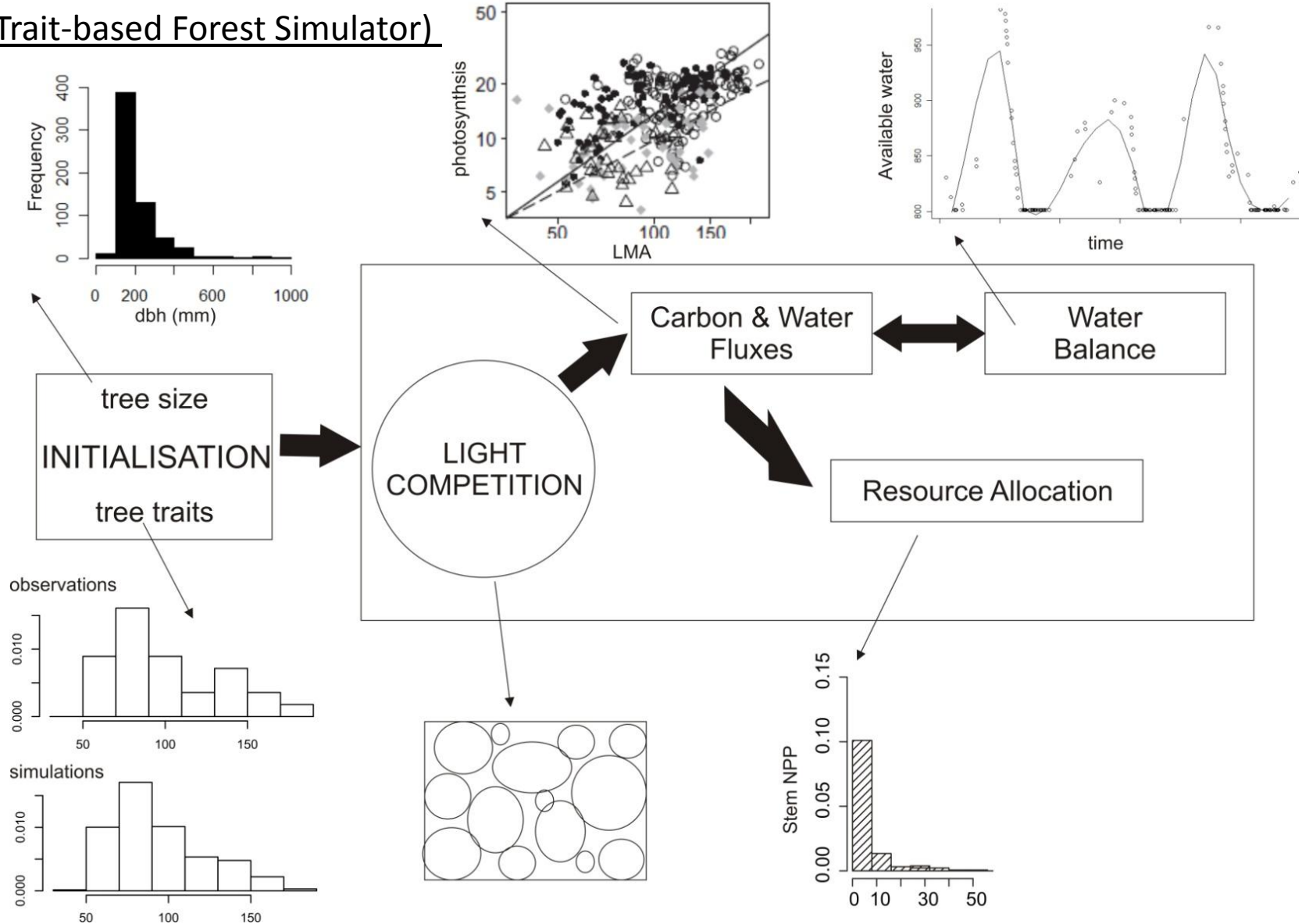


Fig. 1 - Overview of the GREFOS structure.



# Δυναμικά Μοντέλα Μέσης Κλίμακας

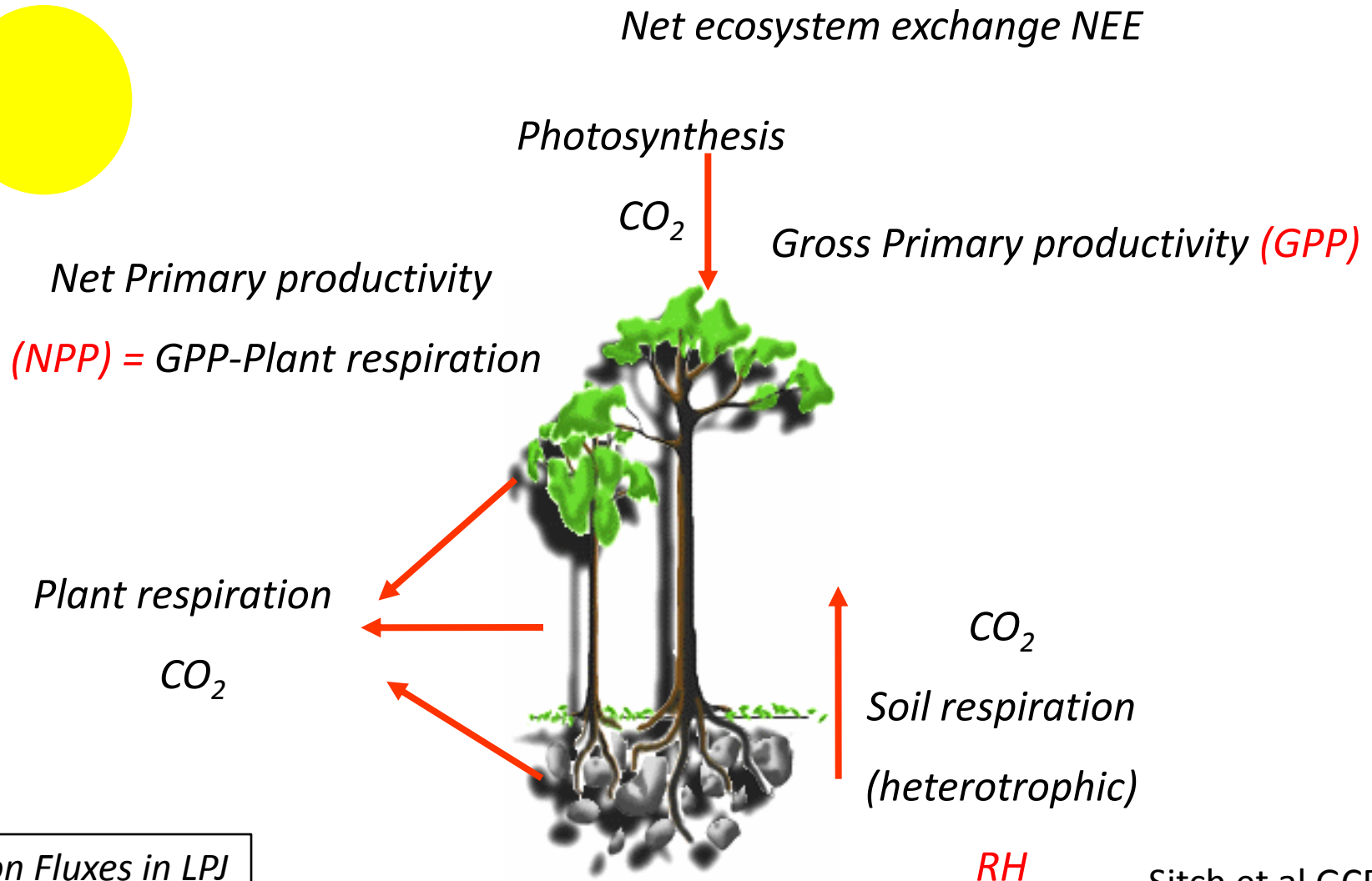
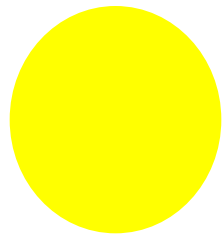
## TFS (Trait-based Forest Simulator)





# Μοντέλα Παγκόσμιας Βλάστησης

- Δυναμικά (*Dynamic Global Vegetation Models – DGVMs*)



# Μέθοδοι & Εργαλεία

---

Νέα φάση στη δημιουργία και εφαρμογή δυναμικών μοντέλων:

- A) Έμφαση στη σύνδεση με εργασίες πεδίου & πειραματικούς σχεδιασμούς  
*(pursue of highly data constrained models)*
  
- B) Έμφαση στη δημιουργία μεθοδολογιών και διαδικασιών επαλήθευσης  
*(benchmarking and validation procedures)*

# Σύνδεση Εργαστηρίου/Πεδίου με Δυναμικά Μοντέλα





# Μικρής Κλίμακας Εργασίες Πεδίου & Βραχυπρόθεσμες Αποκρίσεις

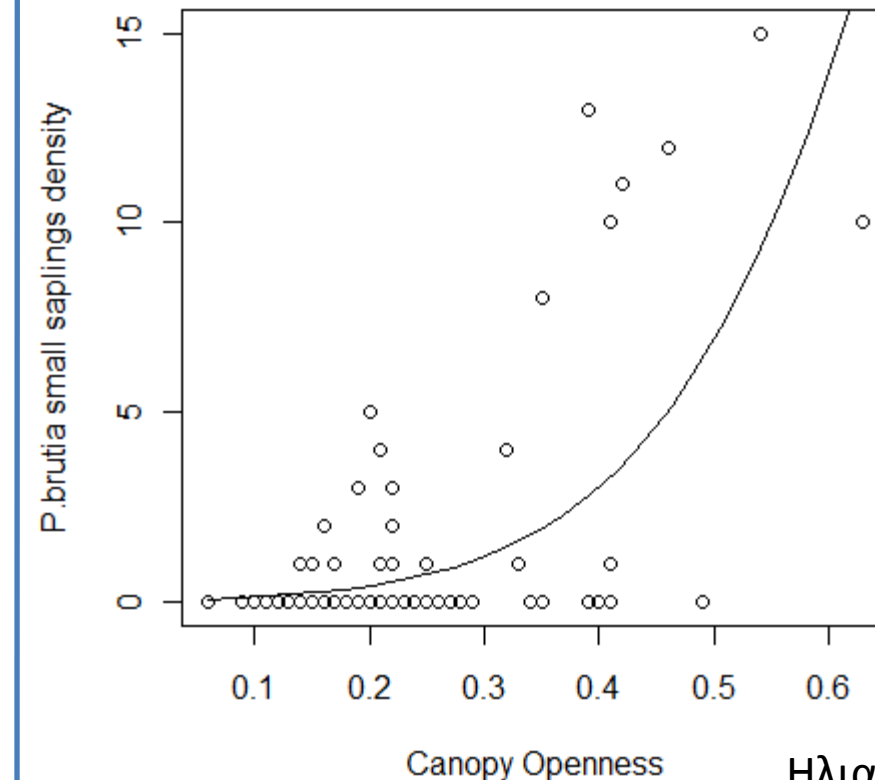
---

- Καταγραφή προτύπων αναγέννησης
- Καταγραφή προτύπων θνησιμότητας
- Καταγραφή προτύπων φωτοσύνθεσης και αναπνοής ( $A_{max}$ ,  $R_L$ ,  $R_D$ )
- Καταγραφή λειτουργικών χαρακτήρων (π.χ.  $H_{max}$ ,  $WD$ ,  $LMA$ ,  $N$ ,  $P$ , ...)
- ...

# Μικρής Κλίμακας Εργασίες Πεδίου & Βραχυπρόθεσμες Αποκρίσεις

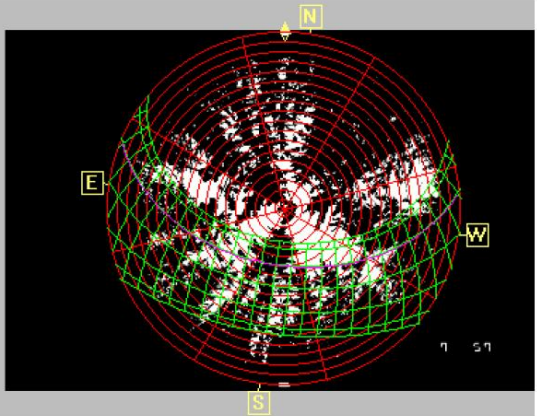
## Επίπεδο ατόμου- πληθυσμού

Πυκνότητα Αναγέννησης



Ηλιακή Ακτινοβολία

Fyllas et al. FEM 2008





# Μακροπρόθεσμες Εργασίες Πεδίου

---

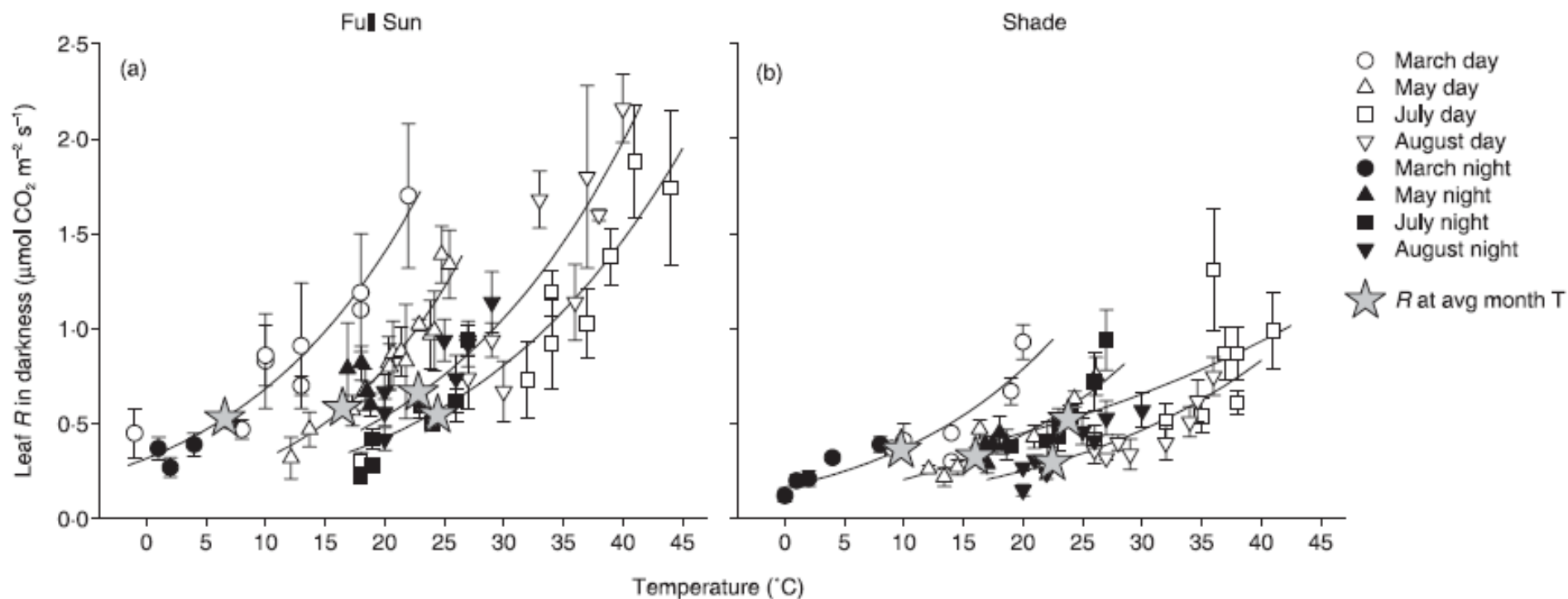
- Παρακολούθηση προτύπων αναγέννησης
- Παρακολούθηση προτύπων ανάπτυξης
- Παρακολούθηση προτύπων θνησιμότητας
- Παρακολούθηση ροών-κυκλών C, H<sub>2</sub>O και θρεπτικών



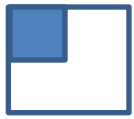
# Μακροπρόθεσμες Εργασίες Πεδίου

## Επίπεδο οργάνου –ατόμου

### Ρυθμός Αναπνοής





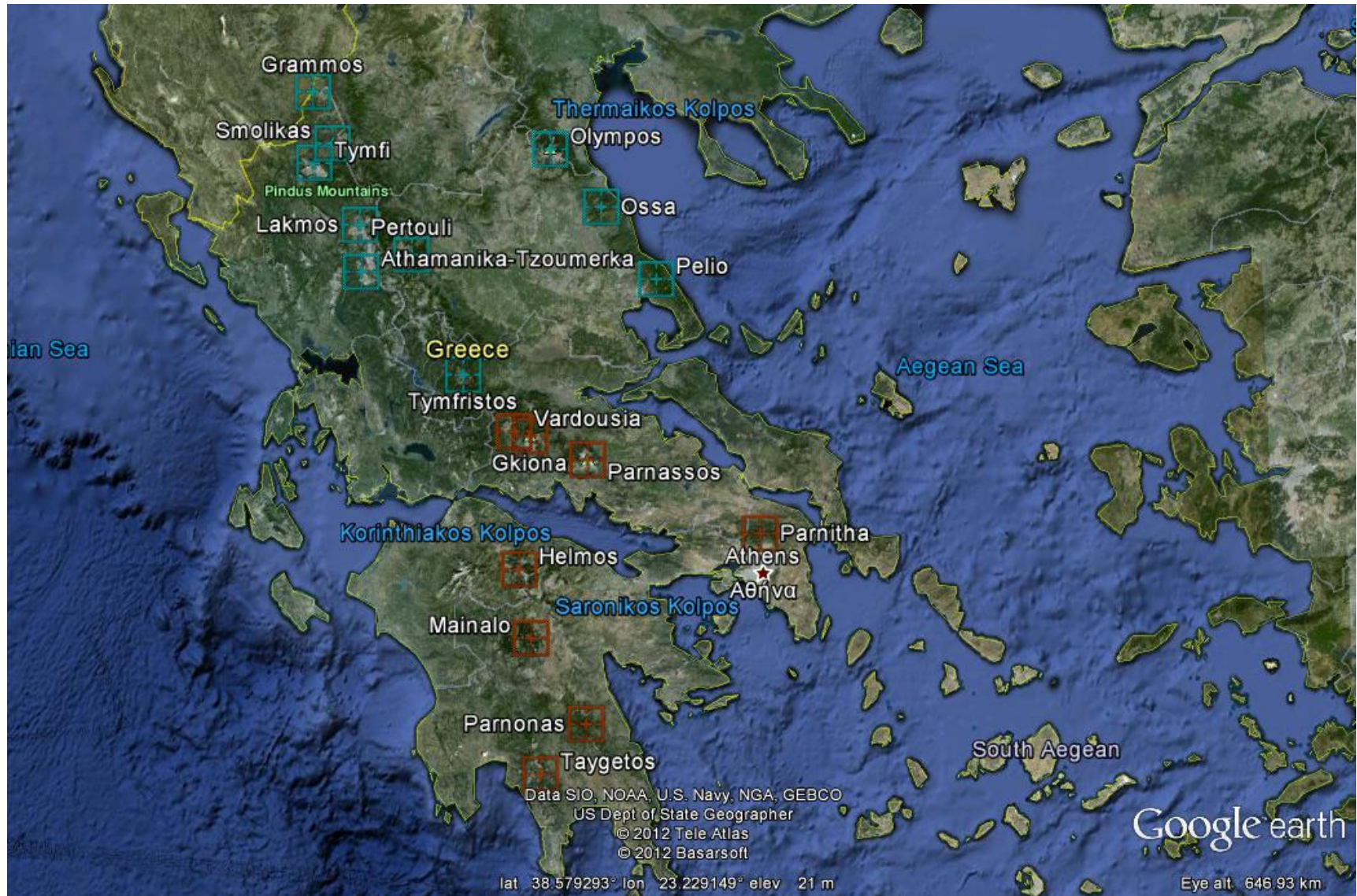


# *Μεγάλης Κλίμακας Εργασίες Πεδίου & Βάσ. Δεδομενων*

---

- *Βάσεις Δεδομένων Δακτυλίων Αύξησης*
- *Βάσεις Δεδομένων Λειτουργικών Χαρακτήρων*
- ...

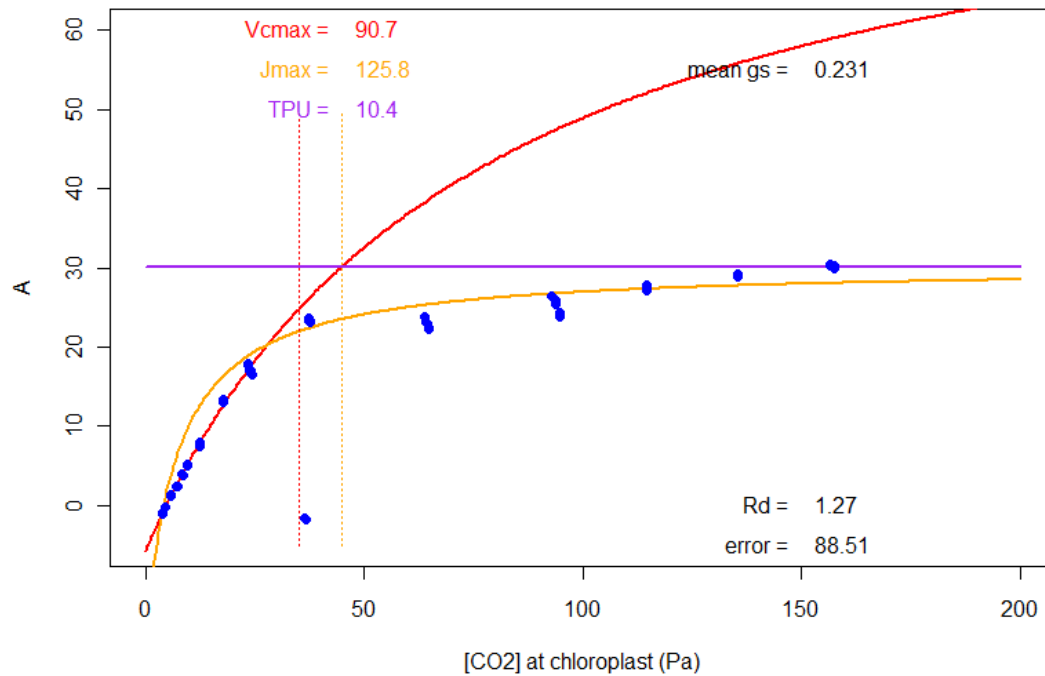
# MEDIT: Mediterranean Forests in Transition



# MEDIT: Mediterranean Forests in Transition

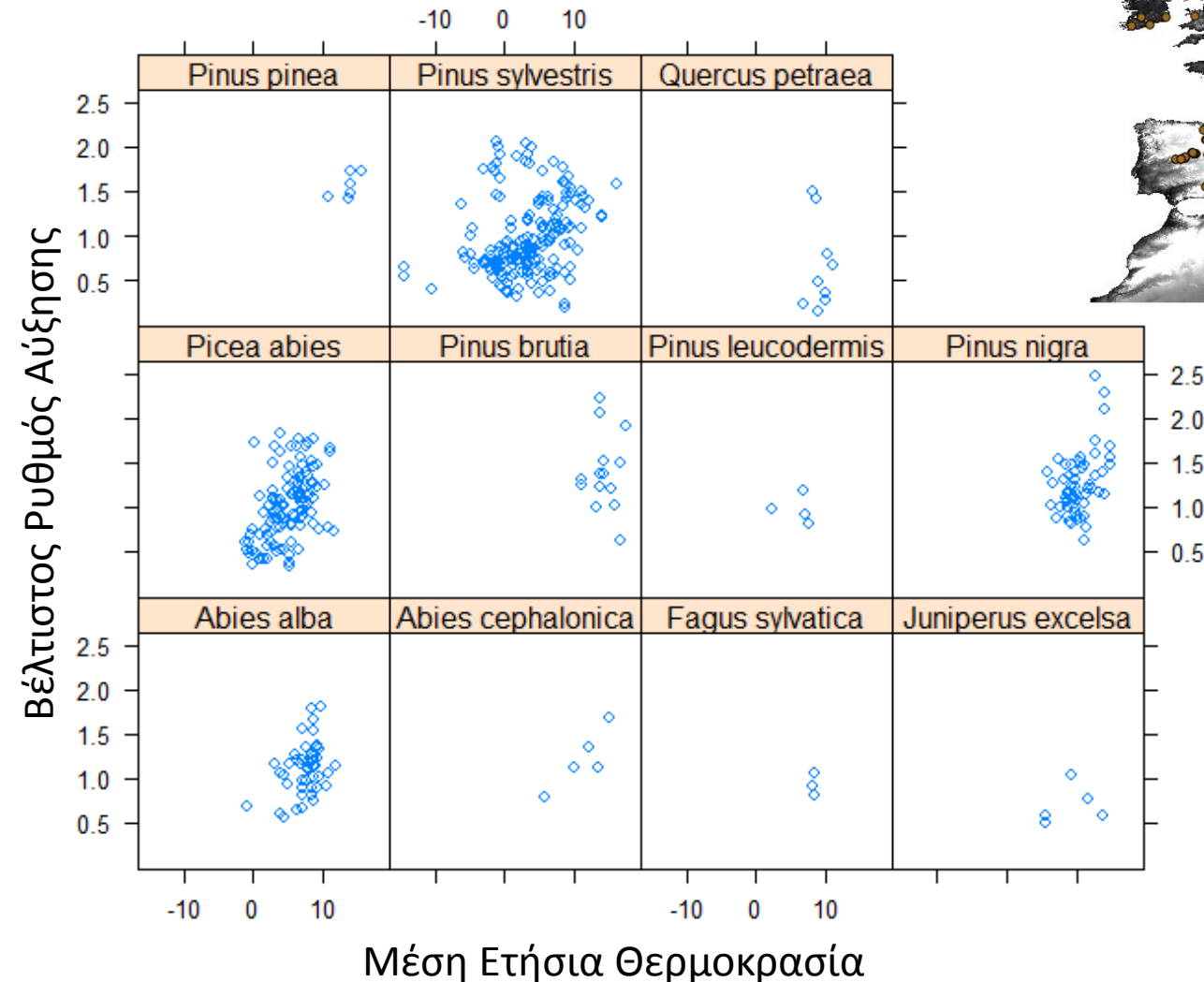
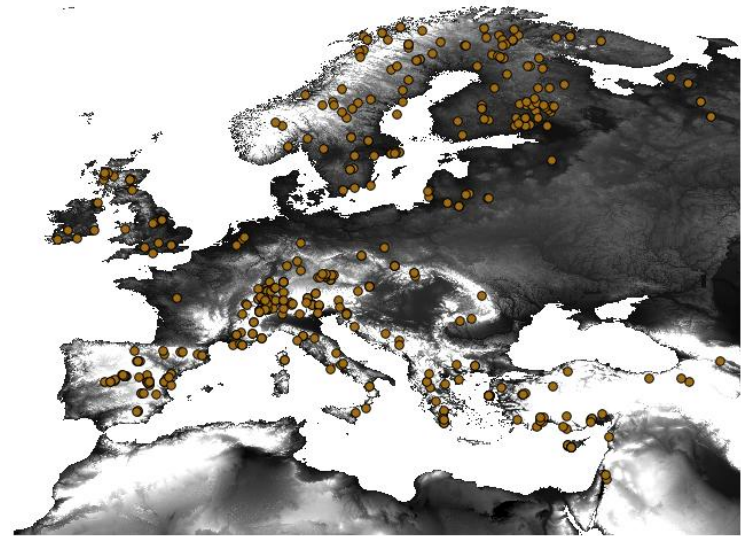


C:\Users\geonf\home\MEDIT\FieldWork\Licor\_Data\Doxa1\nf130512 doxa1 pnigra-rep1





# Μεγάλης Κλίμακας Εργασίες Πεδίου & Βάσ. Δεδομενων



# *Δυναμική Μεσογειακών Δασών Υπό Συνθήκες Κλιματικής Αλλαγής*

---

*1. Εισαγωγή*

*2. Μέθοδοι & Εργαλεία*

*3. Προβλέψεις (Προβολές)*

# Εφαρμογή ενός βιοκλιματικού μοντέλου στην Ιβηρική



present potential distribution

A2 2020



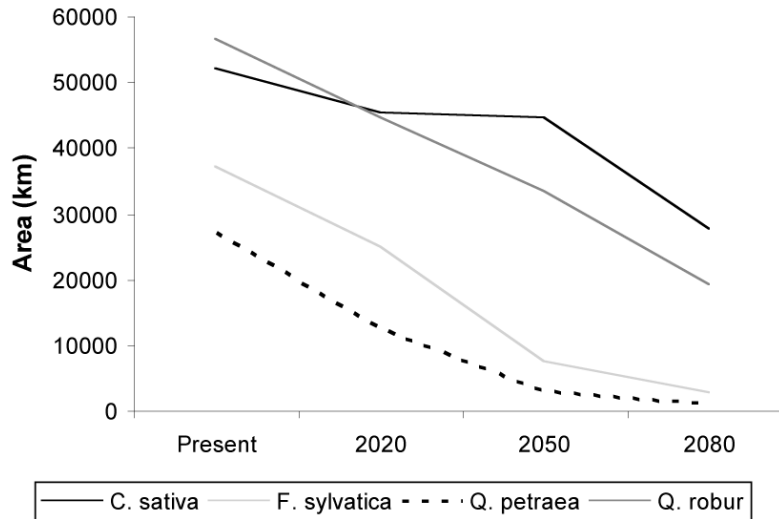
A2 2050

A2 2080

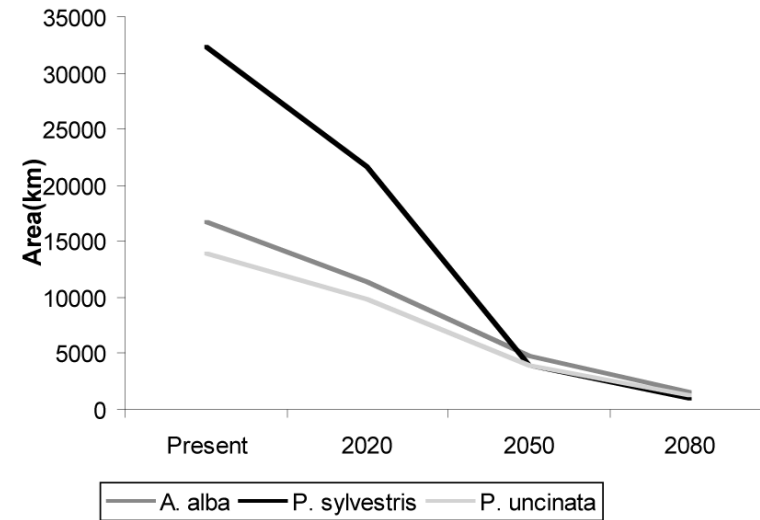
Potential distribution of *Quercus suber*

# Εφαρμογή ενός βιοκλιματικού μοντέλου στην Ιβηρική

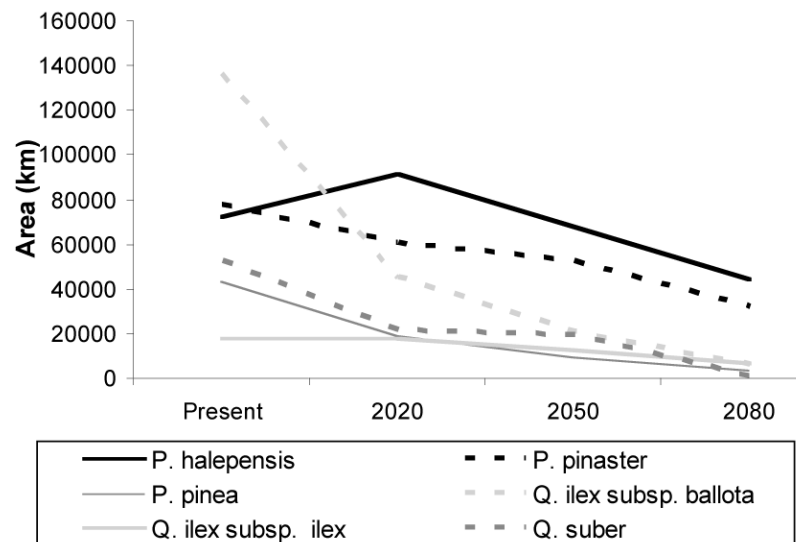
## North European forests



## Mountain conifer forests



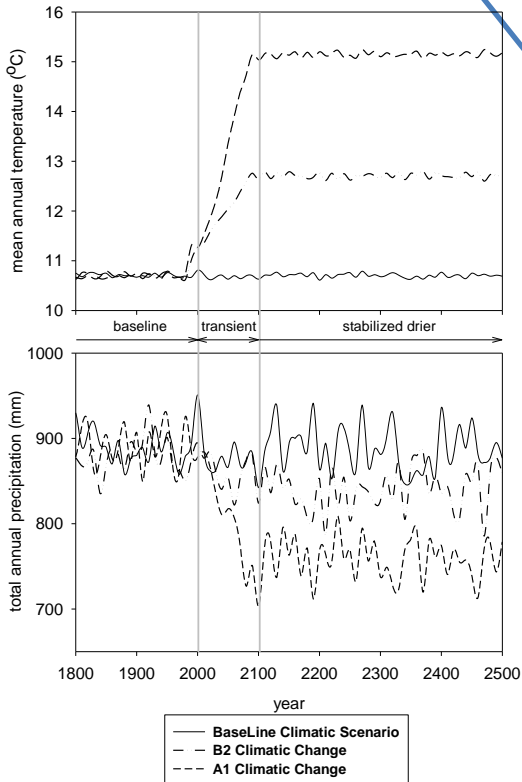
## Mediterranean forests





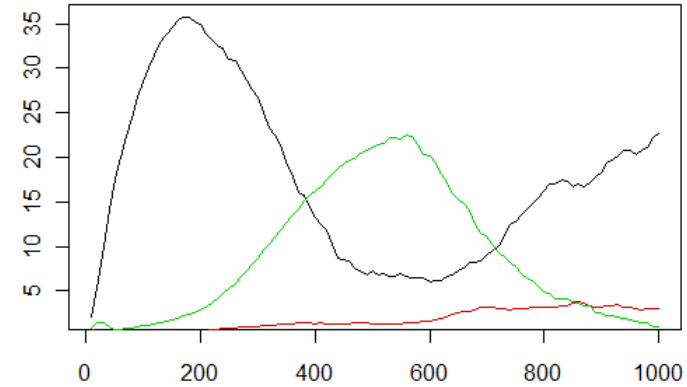
# GRAFOS v2: Εφαρμογή υπό σενάρια κλιματικής αλλαγής

Climate Change Scenarios

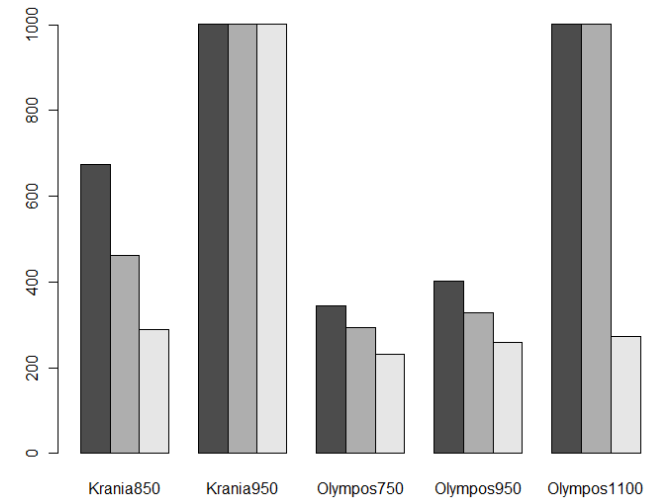


GRAFOS model

## Vegetation Shifts



## Fire Regimes







# Περιοχές Μελέτης

**Κρασιά, Γρεβενών**  
(39 51N, 21 11 E)  
800 - 1000m asl,  
**950m**  
mean T =  $9.8 \pm 1.4$  °C  
tot P =  $882 \pm 228$  mm  
Emberger Q=104.0

Είδη (ενδεικτικά):

*P.nigra*

*Q.frainetto*

*A.borisii-regis*

*O.carpinifolia*

*A. pseudoplatanus*

*P. tremula*

Αναφορές:

Vergos 1979

Απατσιδης 1977



**Όλυμπος**  
(40 00N, 22 30 E)  
600 - 1200m asl  
**1050m**  
mean T =  $8.9 \pm 1,8$  °C  
tot P =  $689 \pm 281$  mm  
Emberger Q=80.9

Είδη (ενδεικτικά):

*P.nigra*

*Q.pubescens*

*Q.cerris*

*Q.coccifera*

*A.borisii-regis*

*F.moesiaca*

*O.carpinifolia*

*A. platanooides*

Αναφορές:

Σμύρης κ.α. 1993



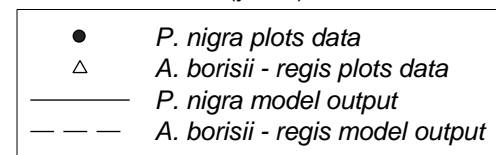
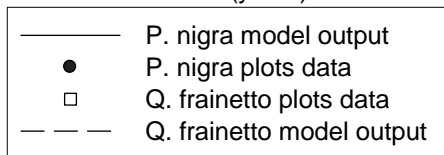
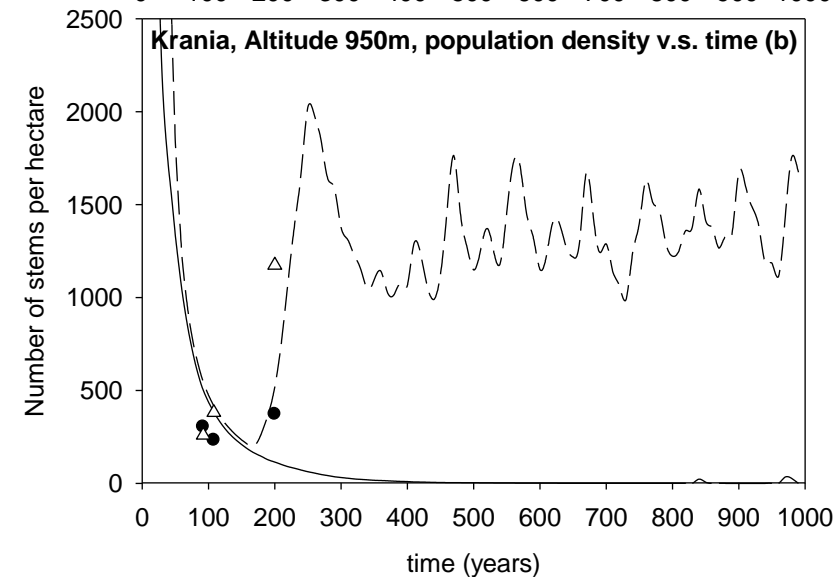
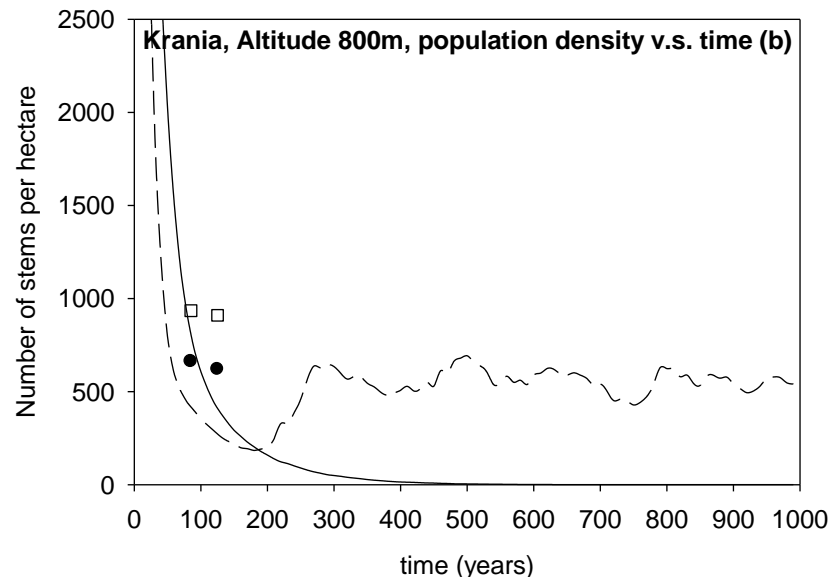
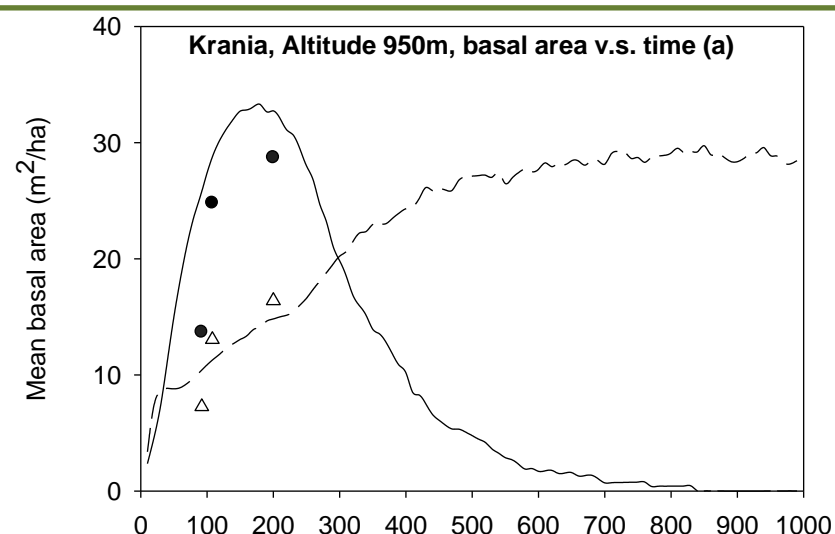
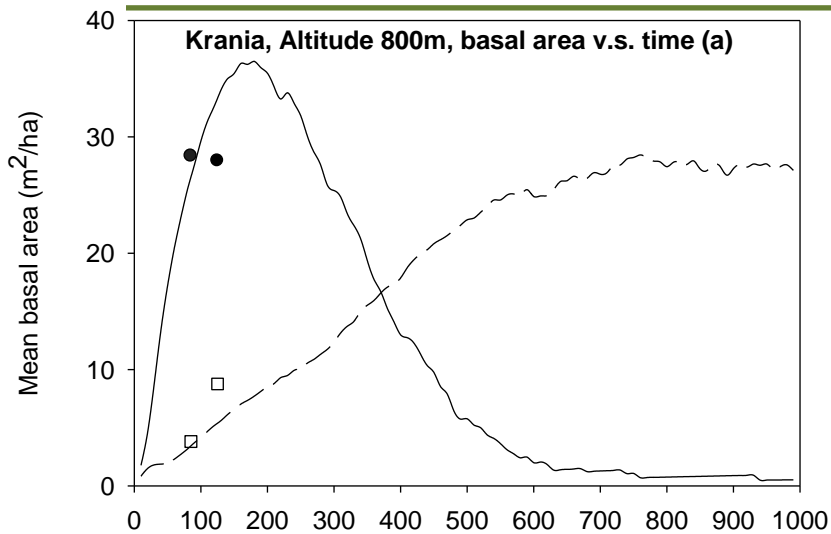
# Παραμετροποίηση Μοντέλου

## Species Pool Parameterisation

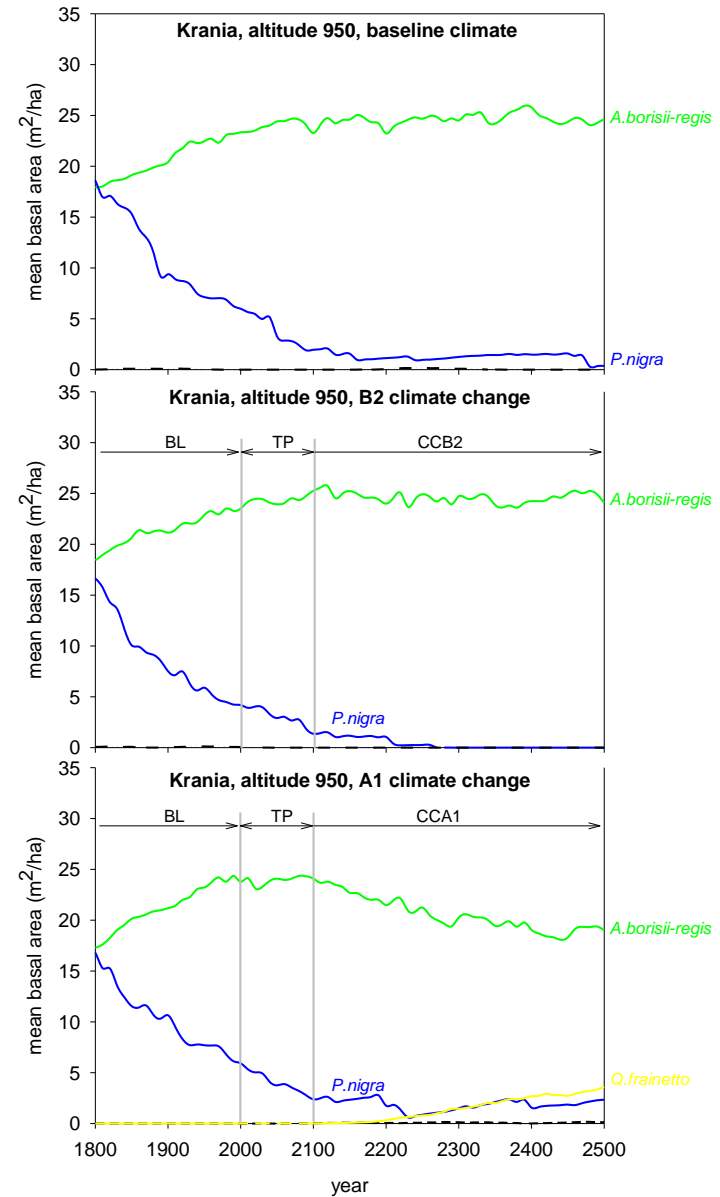
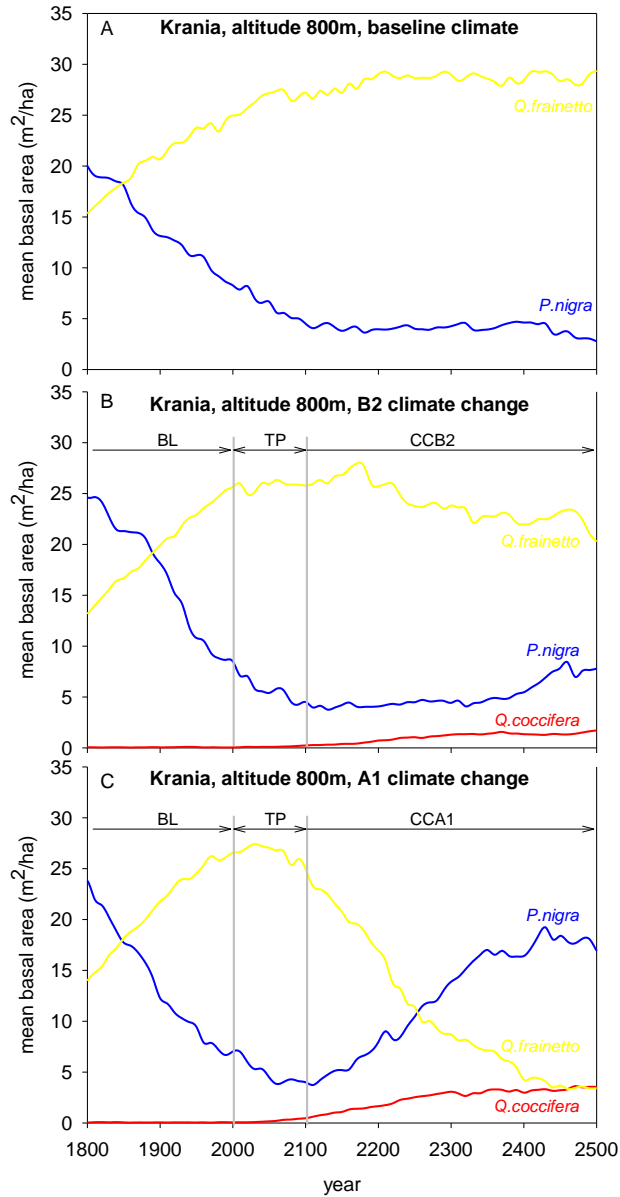
Table 1 Tree species parameters used in this study.

Species	Type <sup>1</sup>	Hmax <sup>2</sup> (cm)	Agemax <sup>2</sup> (years)	s <sup>3</sup>	Min. GDD <sup>4</sup>	Shy <sup>5</sup>	Sha <sup>5</sup>	Dr. tol. <sup>5</sup>	Frost temp. <sup>6</sup> (°C)	LHS <sup>7</sup>	FMC <sup>8</sup>
<i>Abies borisii-regis</i>	CO5	4500†	500†	53	680 <sup>c</sup>	4	5	3	-10	SED	1
<i>Acer platanoides</i>	DB3	2500†	250†	50	950 <sup>b</sup>	3	2	3	-15	FCR	1
<i>Carpinus orientalis</i>	DB2	1500†	180†	24	1200 <sup>b</sup>	3	3	4	-9	FCR	2
<i>Fagus moesiaca</i>	DB3	4000†	400†	60	590 <sup>c</sup>	4	5	3	-7	FCR	1
<i>Fraxinus ornus</i>	DB2	1500†	200†	41	1880 <sup>c</sup>	2	2	4	-9	FCR	2
<i>Juniperus oxycedrus</i>	CO4	1200*	500	23	2000 <sup>c</sup>	2	2	6	-10	OBR	3
<i>Ostrya carpinifolia</i>	DB2	1600*	150	51	1200 <sup>c</sup>	3	4	4	-10	FCR	2
<i>Pinus nigra</i>	CO4	4500†	400†	50	680 <sup>b</sup>	2	1	5	-17	SED	2
<i>Populus tremula</i>	DB1	3000†	140†	62	920 <sup>b</sup>	2	1	3	-	SED	1
<i>Quercus coccifera</i>	EB4	1200*	450	30	1650 <sup>b</sup>	2	2	6	-12	OBR	3
<i>Quercus cerris</i>	DB2	3500†	600†	69	900 <sup>c</sup>	4	3	4	-16	OBR	2
<i>Quercus frainetto</i>	DB2	3500†	500†	45	1200 <sup>c</sup>	3	3	4	-13	OBR	2
<i>Quercus pubescens</i>	DB2	2500†	500†	60	1050 <sup>a</sup>	3	2	5	-13	OBR	3

# Επαλήθευση Μοντέλου – Προσομοιώσεις με παρόν κλίμα

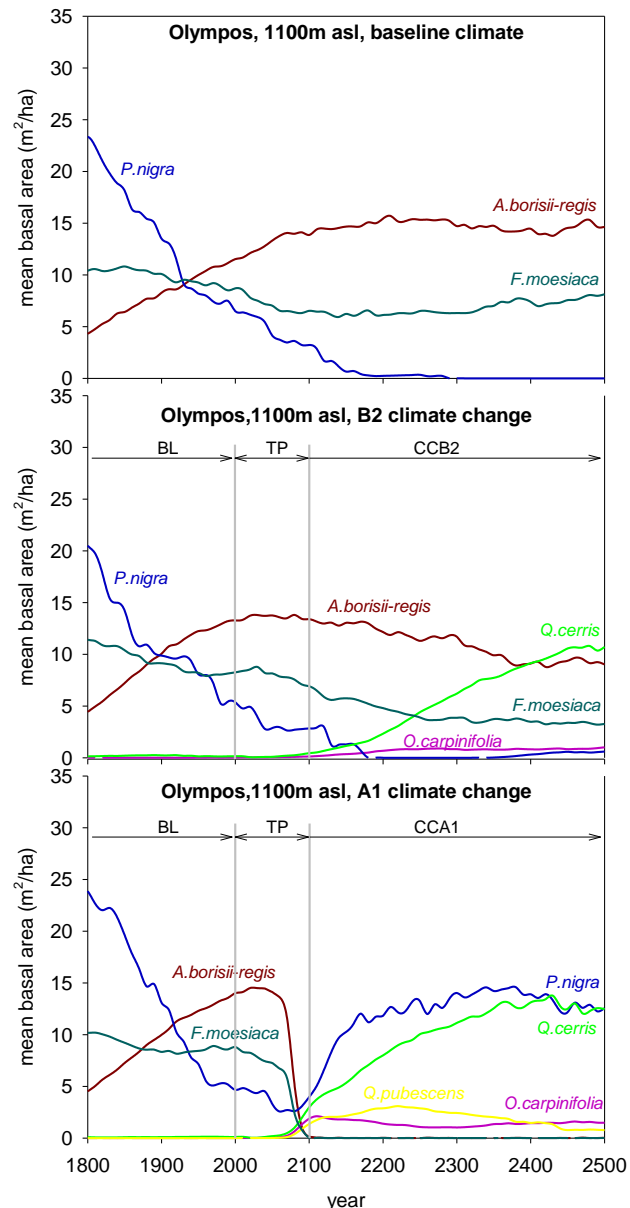
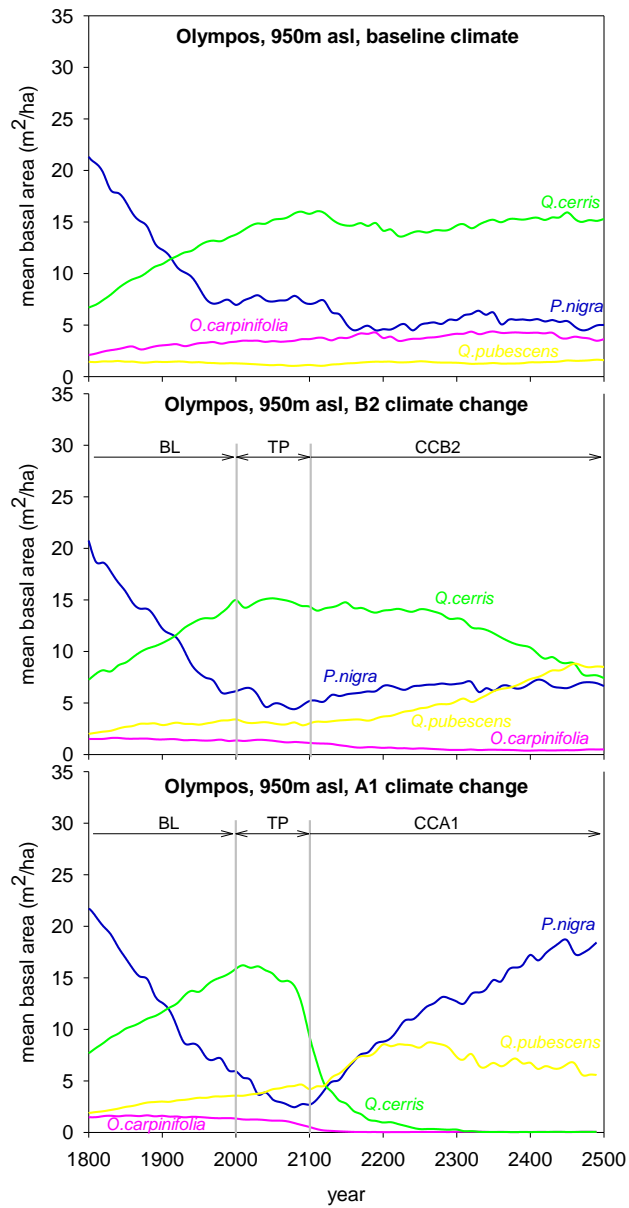
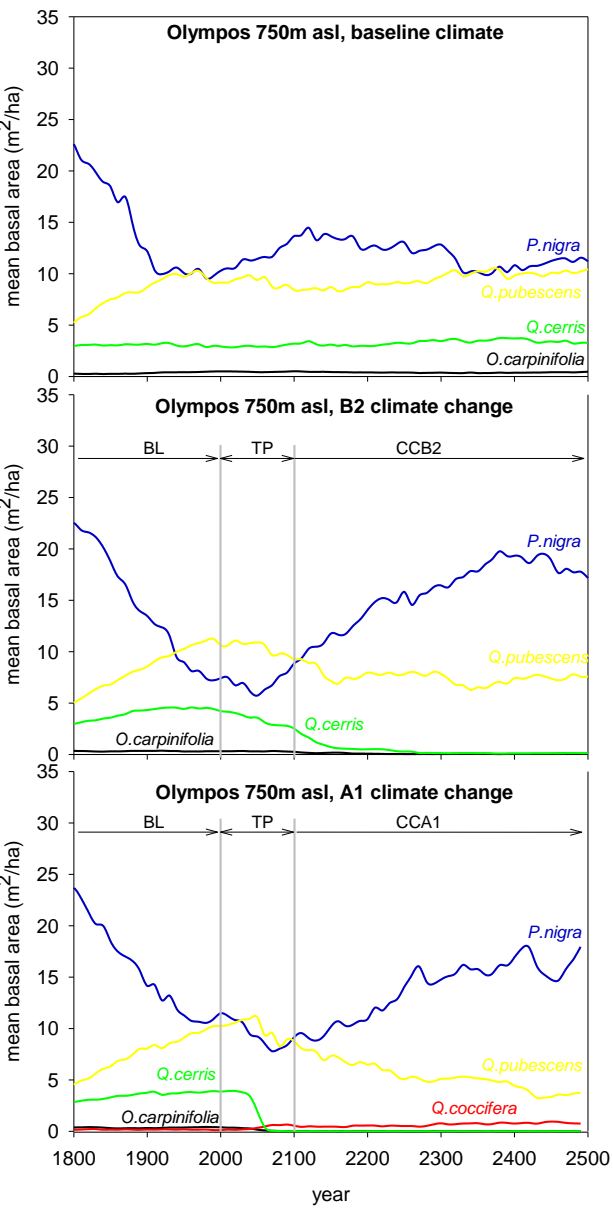


# Εφαρμογή υπό σενάρια κλιματικής αλλαγής



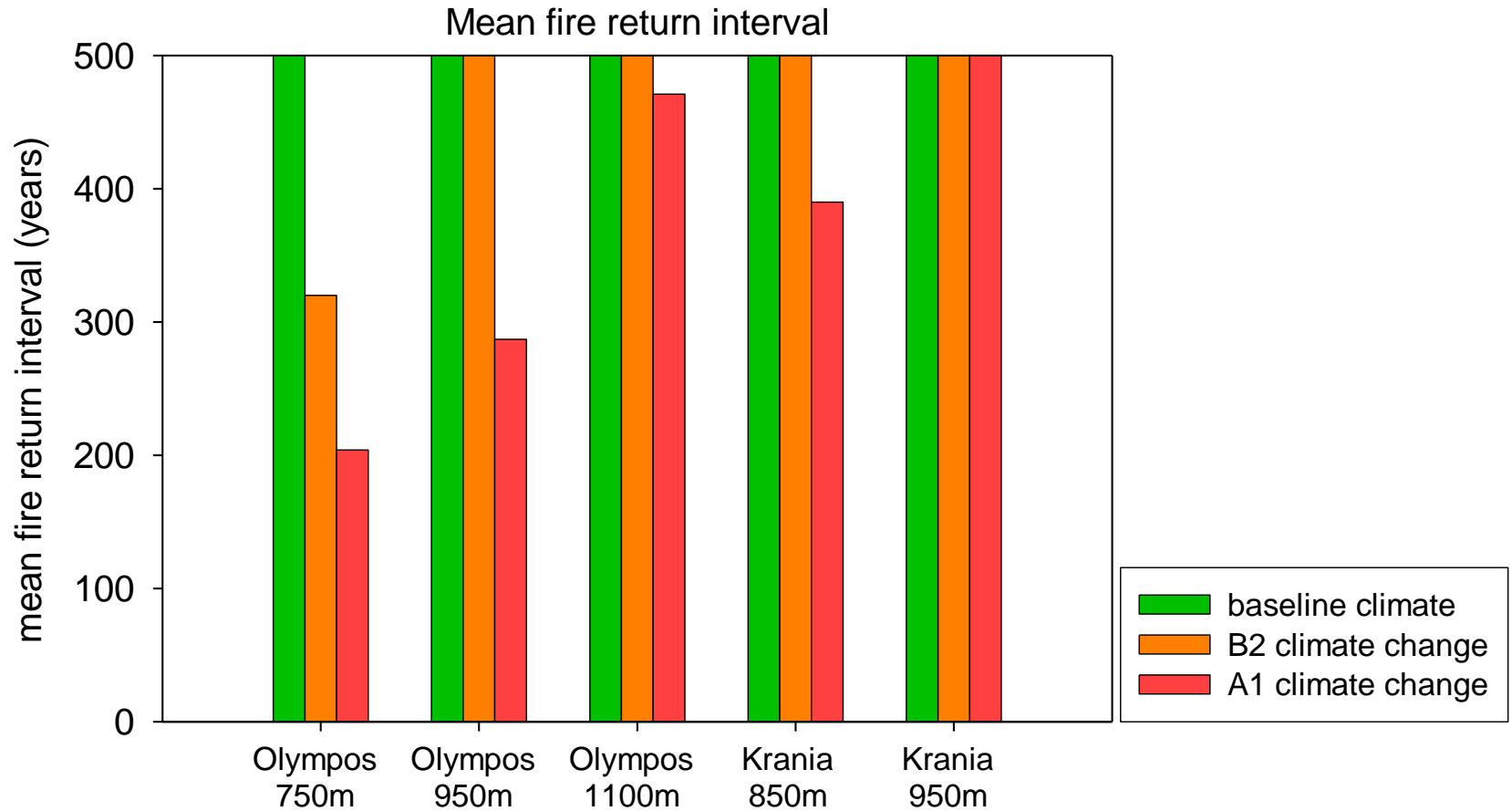


# Εφαρμογή υπό σενάρια κλιματικής αλλαγής





# Μέσος χρόνος επαναφοράς πυρκαγιάς



$$100(\text{iter}) \times 750\text{m}^2(\text{gap size}) = 75000\text{m}^2 = 7,5\text{ha}$$



# Αλληλεπίδραση Ξηρασίας - Πυρκαγιάς

$$PS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - y_i|}{\sum_{i=1}^n (x_i + y_i)}$$

which relates any two data sets. PS (range 0–1) identifies differences in the relative distribution of  $x_i$  and  $y_i$ , while values less than 0.85 indicate significant divergence between the abundance of species (Bugmann, 1997a).

**Table 4** Percentage similarity coefficients of the steady-state condition, under different climate scenarios and modes of fire occurrence at the study sites. Xf corresponds to a specific climatic scenario with enabled fire occurrence, while Xnf is a climatic scenario where the fire submodel has been disabled. Percentage similarity (PS) values of less than 0.85 indicate a significant difference in the community composition between the compared scenarios.

Comparing scenarios*	Krania, 800 m a.s.l.	Krania, 950 m a.s.l.	Olympus, 750 m a.s.l.	Olympus, 950 m a.s.l.	Olympus, 1100 m a.s.l.
BLf vs. B2f	0.86	0.87	0.80	0.82	0.91
BLf vs. A1f	0.80	0.82	0.78	0.80	0.84
BLf vs. BLnf	0.89	0.89	0.85	0.88	0.96
B2f vs. B2nf	0.86	0.87	0.81	0.84	0.95
A1f vs. A1nf	0.71	0.86	0.81	0.80	0.93

\*Baseline climate scenario modelled with fire (BLf); baseline climate scenario modelled without fire (BLnf); A1 climate change scenario modelled with fire (A1f); A1 climate change scenario modelled without fire (A1nf); B2 climate change scenario modelled with fire (B2f); B2 climate change scenario modelled without fire (B2nf).

# Δυναμική Δασών Υπό Συνθήκες Κλιματικής Αλλαγής

---

## Συμπεράσματα

- Μετατοπίσεις των ορίων εξάπλωσης των ειδών
- Εύκρατα Είδη & Ορεινά κωνοφόρα εμφανίζουν υψηλότερη τρωτότητα
- Αλλαγή στα πρότυπα εμφάνισης πυρκαγιών, με υψηλότερη συχνότητα εμφάνισης η οποία επηρεάζεται και από τις αλλαγές στη σύνθεση των ειδών
- Συνεργιστική δράση ξηρασίας-πυρκαγιάς στην αλλαγή σύνθεσης της κοινότητας





Ευχαριστώ

## Ευχαριστίες

*Η συγκεκριμένη εργασία πραγματοποιήθηκε με την υποστήριξη στον Δρ. Ν. Φύλλα του ερευνητικού προγράμματός MEDIT (Mediterranean Forests in Transition) στο πλαίσιο της Δράσης «Ενίσχυση Μεταδιδακτόρων Ερευνητών/τριών» της Γενικής Γραμματείας Έρευνας και Τεχνολογίας του ΥΠΔΒΜ και συγχρηματοδοτείται από το Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο (ΕΚΤ) και από Εθνικούς Πόρους.*