

Κύκλος διαλέξεων στις επιστήμες του περιβάλλοντος

# Μοντέλα ακτινοβολίας Εργαλείο κατανόησης κλιματικής αλλαγής

Χρήστος Ματσούκας  
Τμήμα Περιβάλλοντος

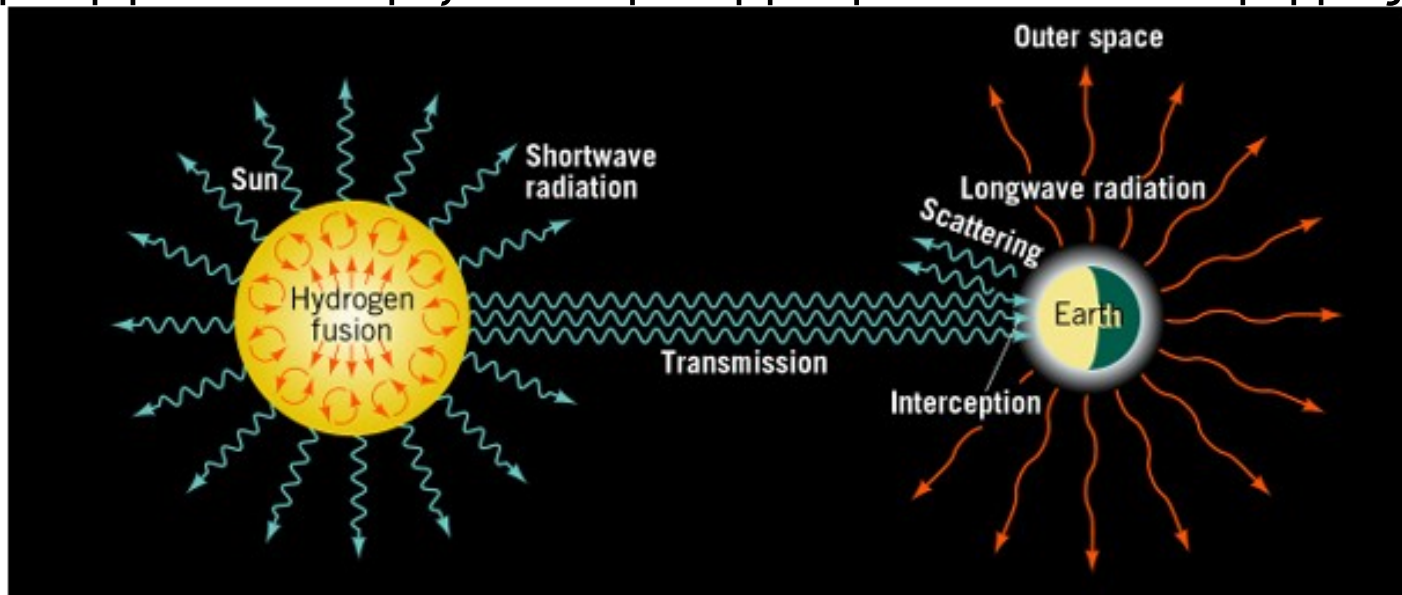
# Τι σχέση έχει η ακτινοβολία με το κλίμα;

Ο Ήλιος μας στέλνει ακτινοβολία (φως) στο υπεριώδες, ορατό και υπέρυθρο

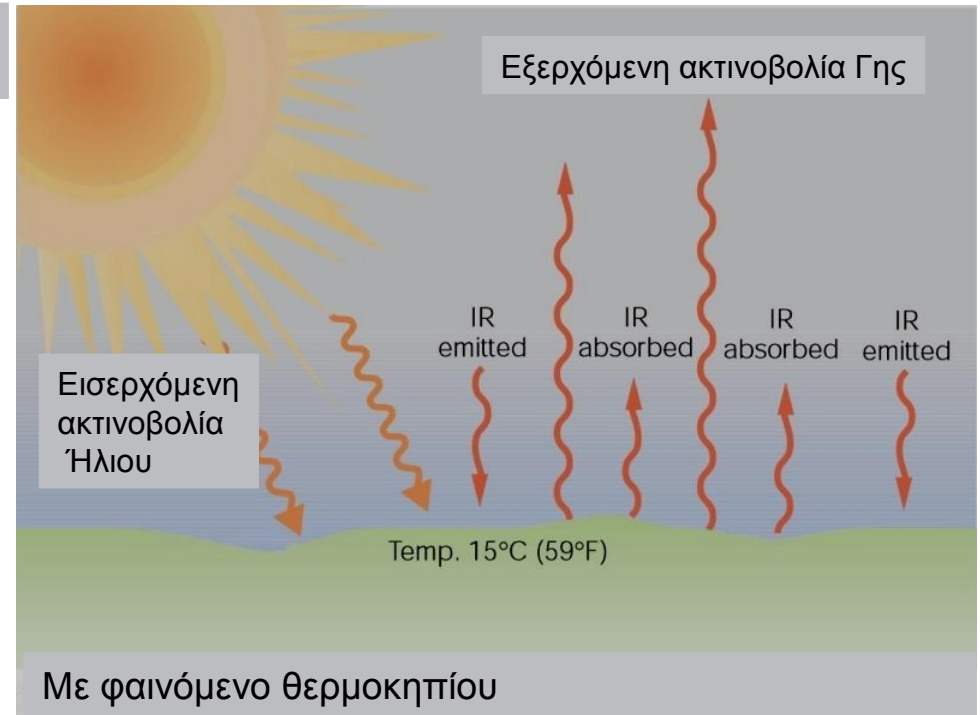
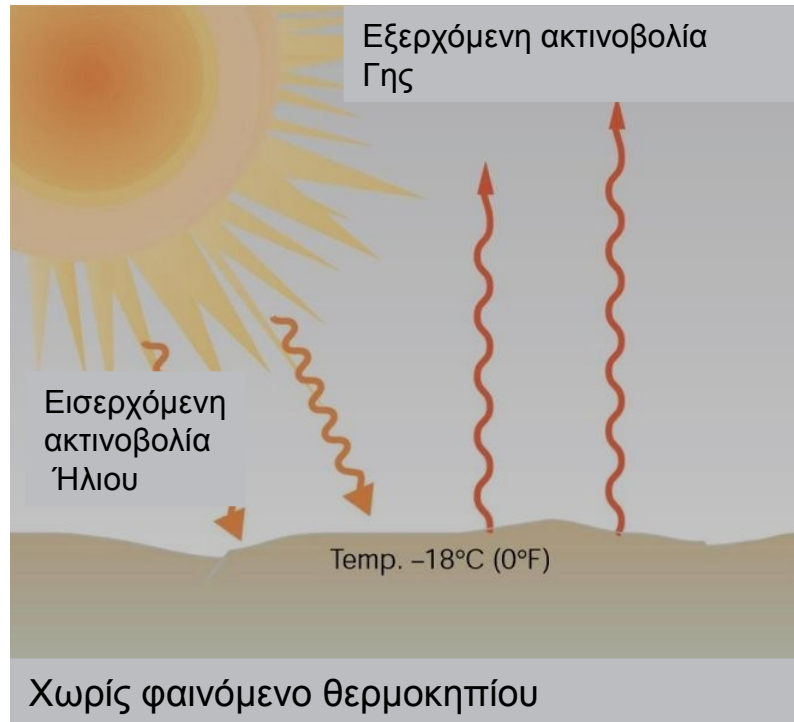
Το μεγαλύτερο μέρος της το κρατάμε (απορρόφηση), ενώ ένα μικρό μέρος της το ανακλούμε

Το απορροφώμενο μέρος τελικά πρέπει να ξαναφύγει από τον πλανήτη, οπότε, μετασχηματίζεται σε υπέρυθρη ακτινοβολία και επανεκπέμπεται

Αυτή η διεργασία καθορίζει και την θερμοκρασία του πλανήτη μας



# Τι σχέση έχει η ακτινοβολία με το κλίμα;



Χωρίς ατμόσφαιρα και χωρίς φαινόμενο θερμοκηπίου θα είχαμε παγώσει ( $-18^{\circ}\text{C}$ )

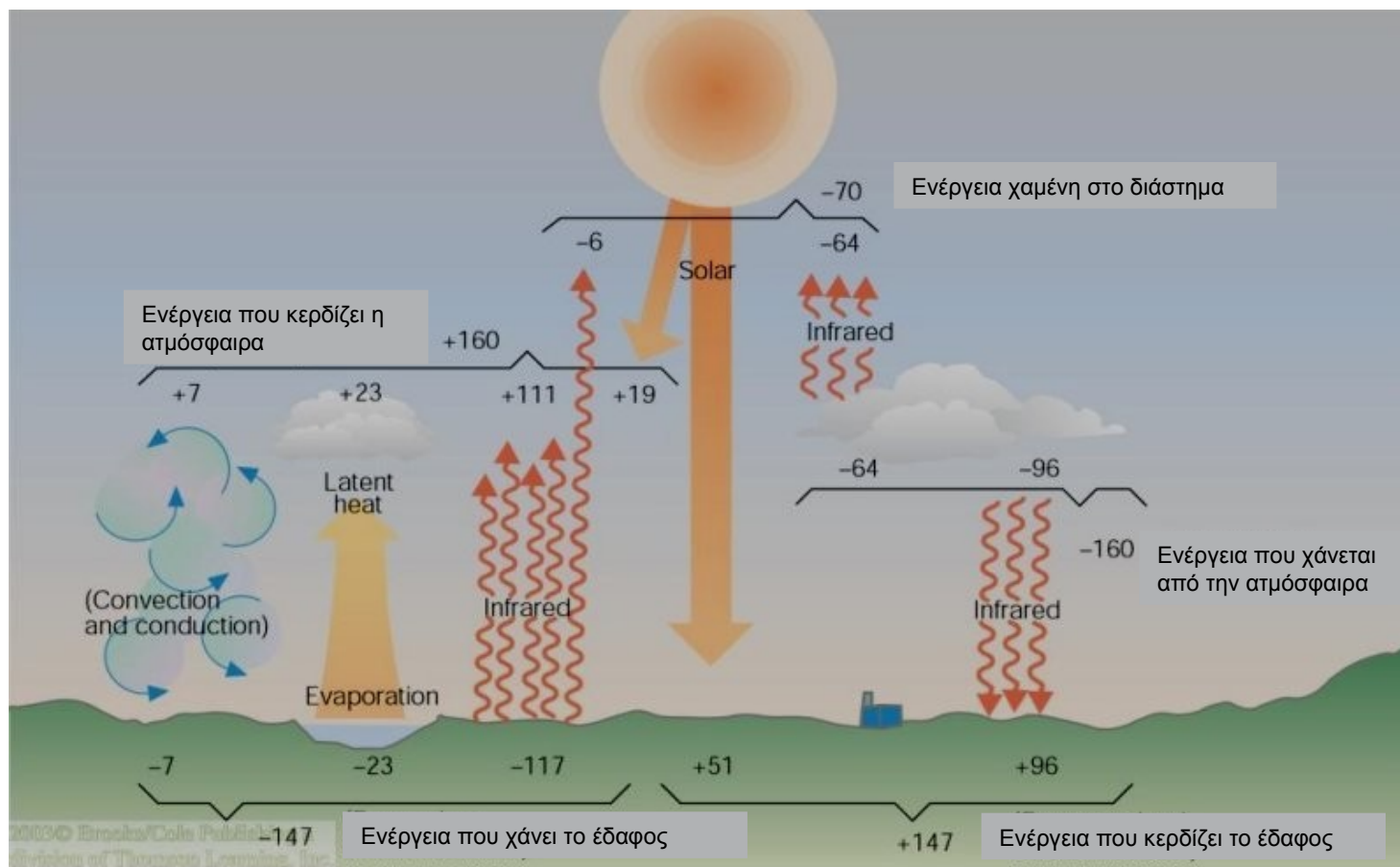
Επειδή υπάρχει το φαινόμενο, η θερμοκρασία της Γης έχει ρυθμιστεί σε μια βολική τιμή για μας ( $15^{\circ}\text{C}$ )

Εξακολουθεί να υπάρχει ισορροπία, αλλά η επιφάνεια δέχεται ενέργεια από τον ήλιο αλλά και από την ατμόσφαιρα

# Γιατί χρειαζόμαστε μοντέλα;

Ενδεικτική κατανομή της ηλιακής ενέργειας στο κλιματικό σύστημα

Για να υπολογισθούν τα ποσοστά της εικόνας και να μελετηθούν αποκλίσεις από την “φυσιολογική” τιμή τους, απαιτούνται κλιματικά μοντέλα!



# Δομή του μοντέλου

Υπεριώδες και Ορατό

Φασματική περιοχή: 0.2  $\mu\text{m}$  – 0.85  $\mu\text{m}$

Το μοντέλο εξετάζει ξεχωριστά 115 μήκη κύματος στην φασματική περιοχή

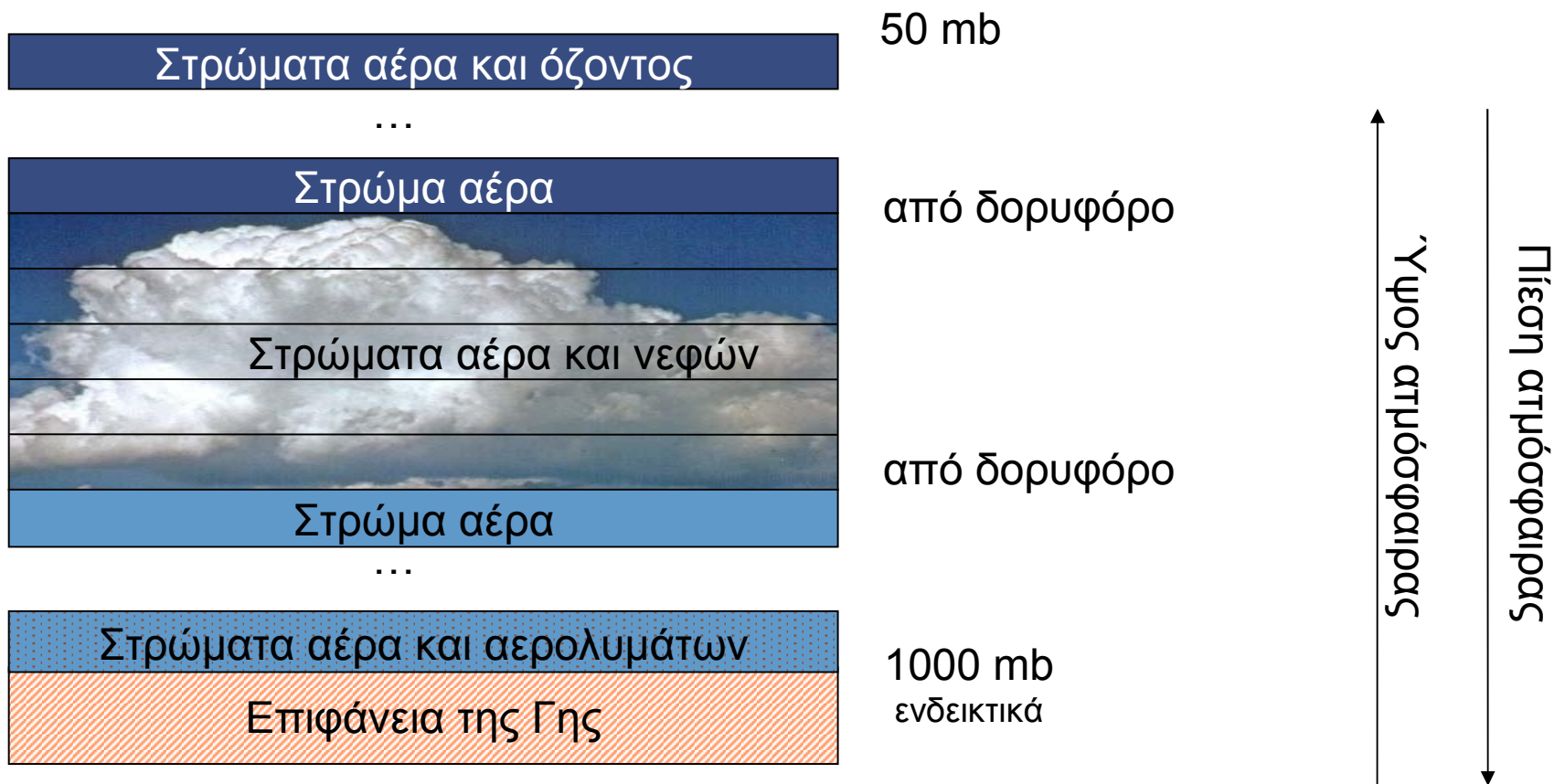


# Δομή του μοντέλου

Κοντινό Υπέρυθρο

Φασματική περιοχή: 0.85  $\mu\text{m}$  – 8.0  $\mu\text{m}$

Το μοντέλο εξετάζει ξεχωριστά 13 μπάντες απορρόφησης στην φασματική περιοχή

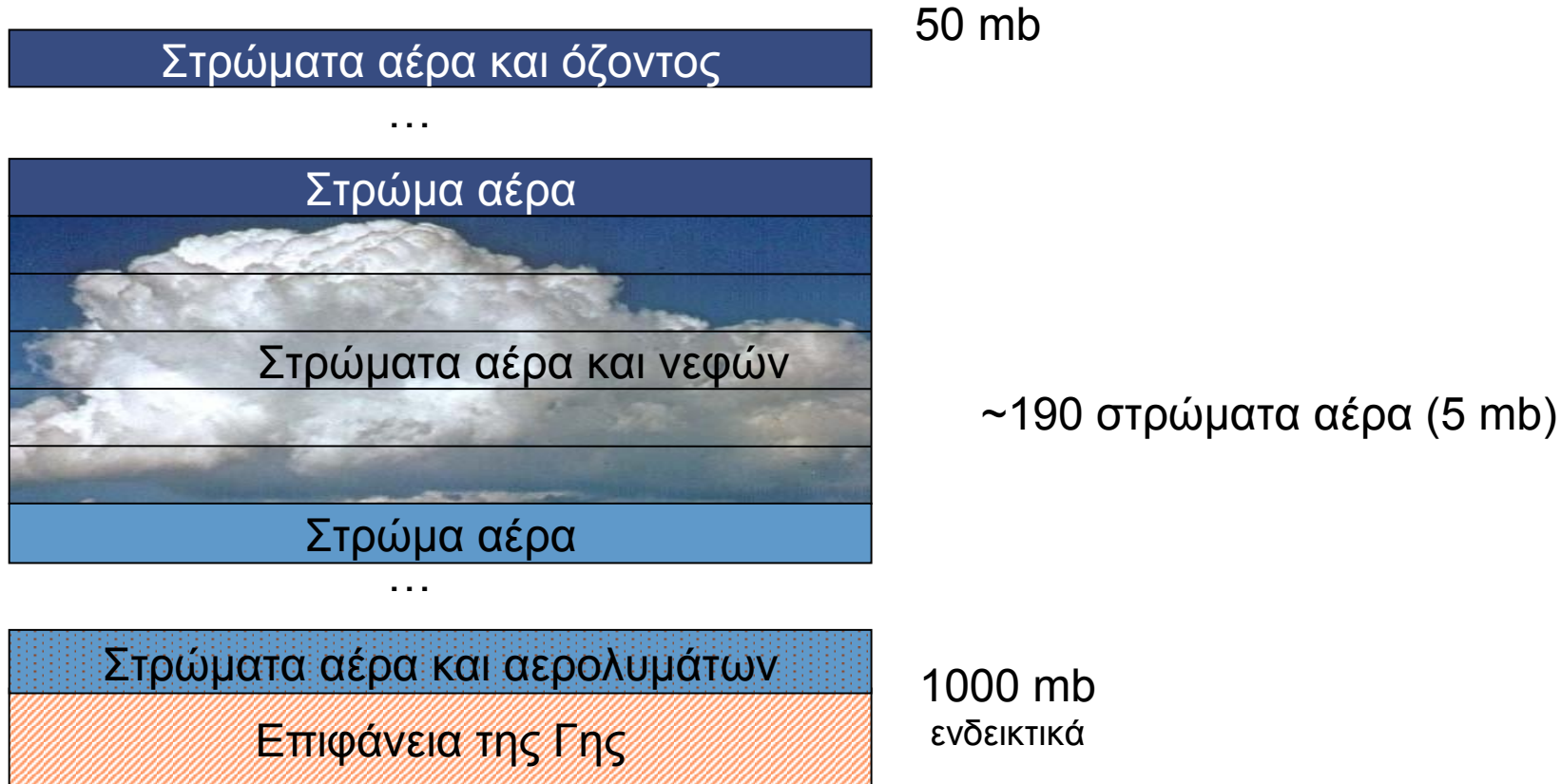


# Δομή του μοντέλου

Θερμικό Υπέρυθρο (Γήινη ακτινοβολία)

Φασματική περιοχή: 0.85  $\mu\text{m}$  – 8.0  $\mu\text{m}$

Το μοντέλο εξετάζει ξεχωριστά 28 μπάντες



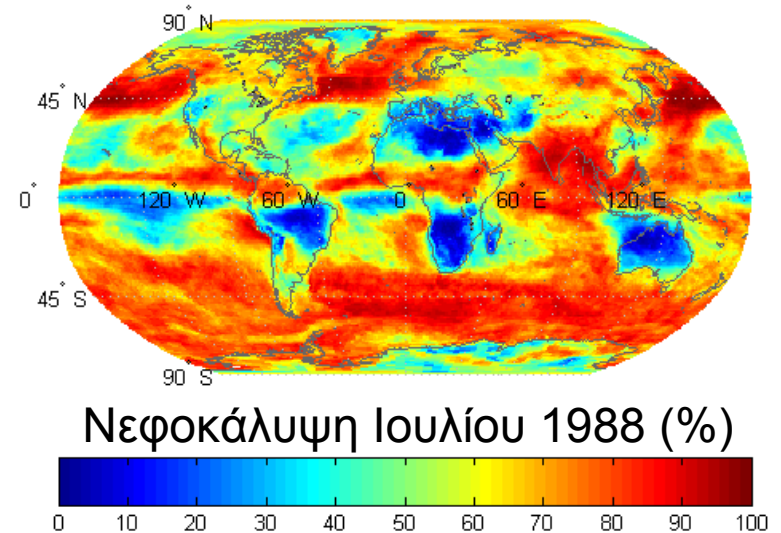
# Δεδομένα εισόδου

## Νέφη

- Νεφοκάλυψη
- Θερμοκρασία νεφών
- Συντελεστής εκπομπής

1°×1° βάση δεδομένων από  
NASA Langley

- Ύψη νεφών
- Οπτικά βάθη



## Ατμόσφαιρα

Κατακόρυφα προφίλ θερμοκρασίας, υγρασίας  
Όζον



# Δεδομένα εισόδου

## Επιφάνεια Γης

- Ανακλαστικότητα
- Τοπογραφία
- Θερμοκρασία
- Συντελεστής εκπομπής

## Αερολύματα

Οπτικό βάθος

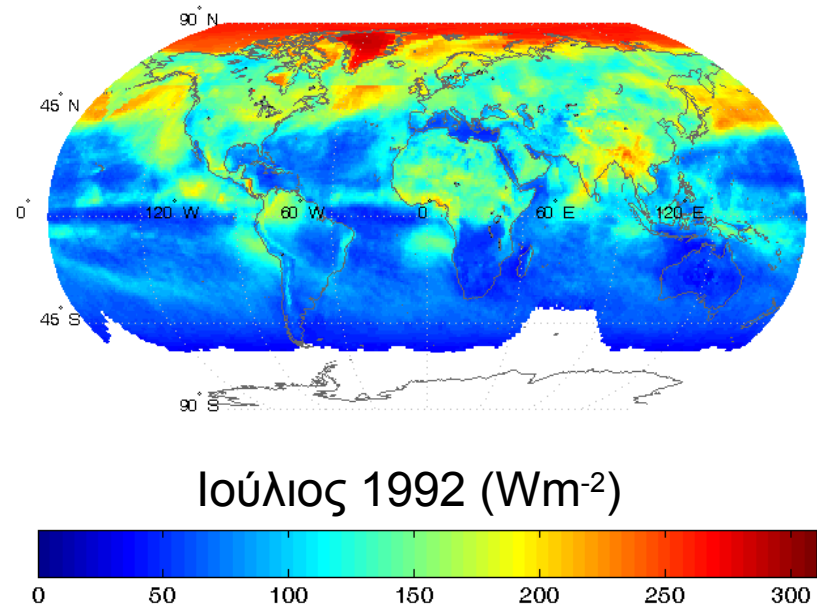
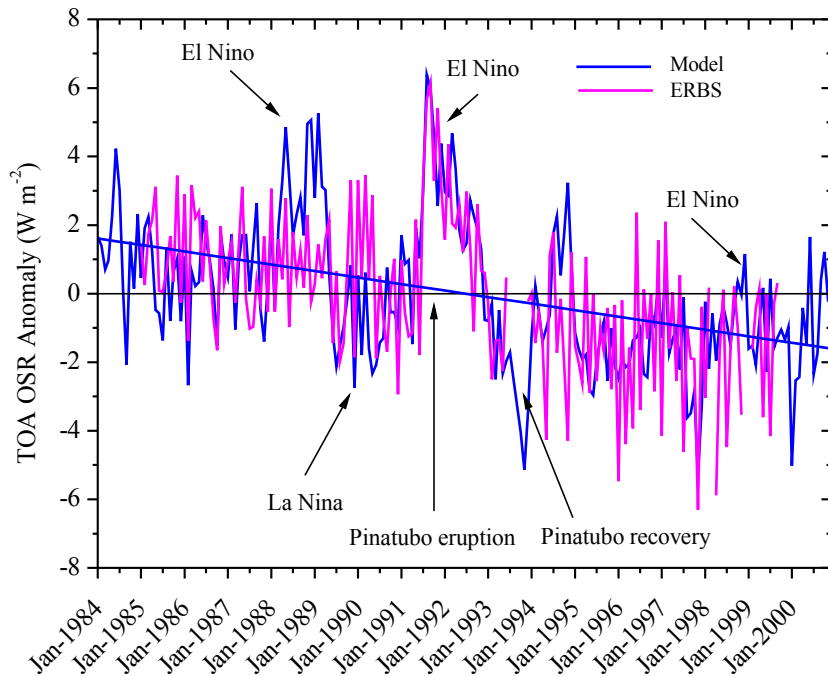
Παράγοντας ασυμμετρίας

Ανακλαστικότητα απλής σκέδασης

Πολλά δεδομένα, ευτυχώς που υπάρχουν και οι δορυφόροι!!

# Έξοδος μοντέλου

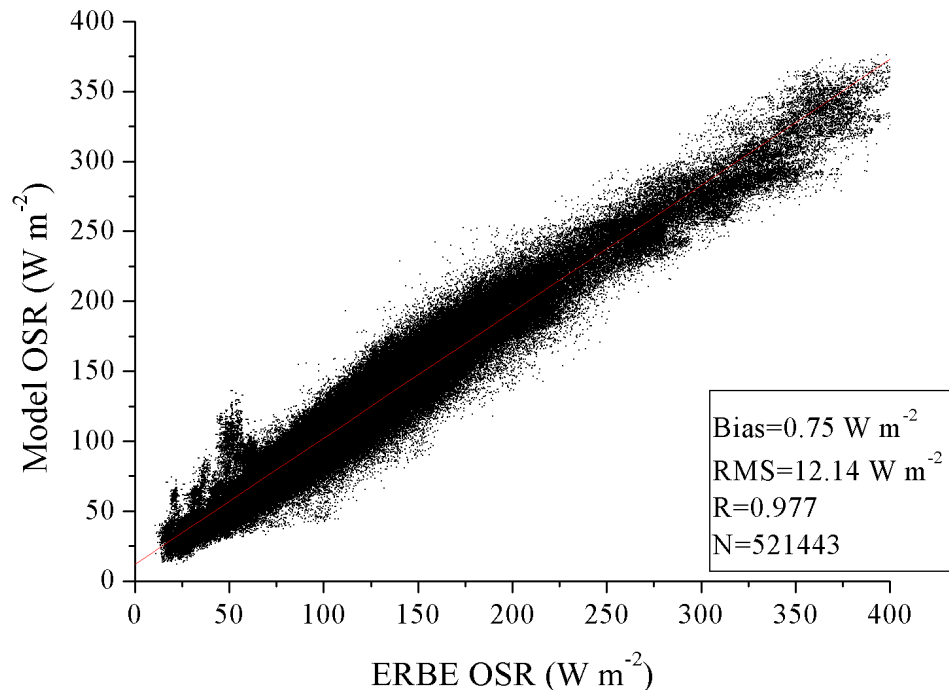
Ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία στην κορυφή της ατμόσφαιρας



Τάση 1984 – 2000 από **μοντέλο**  
και **παρατηρήσεις**

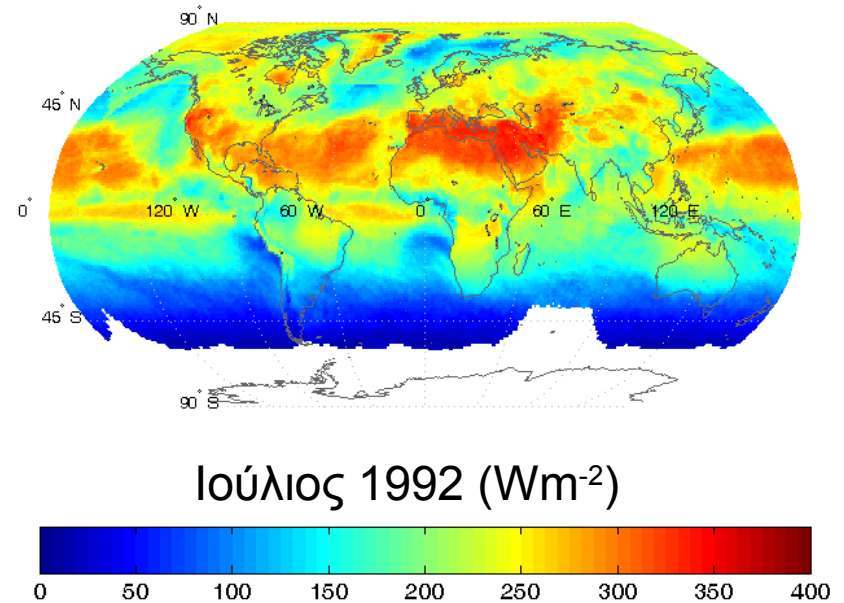
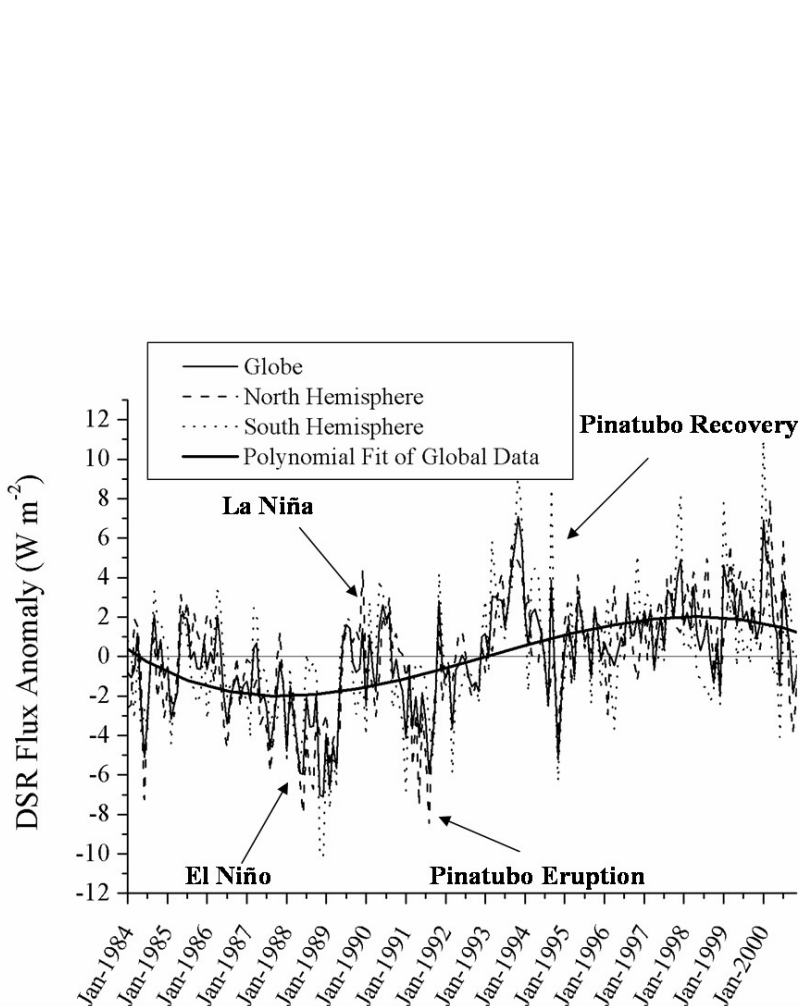
# Έξοδος μοντέλου

Σύγκριση της ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας μοντέλου - παρατηρήσεων



# Έξοδος μοντέλου

Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια

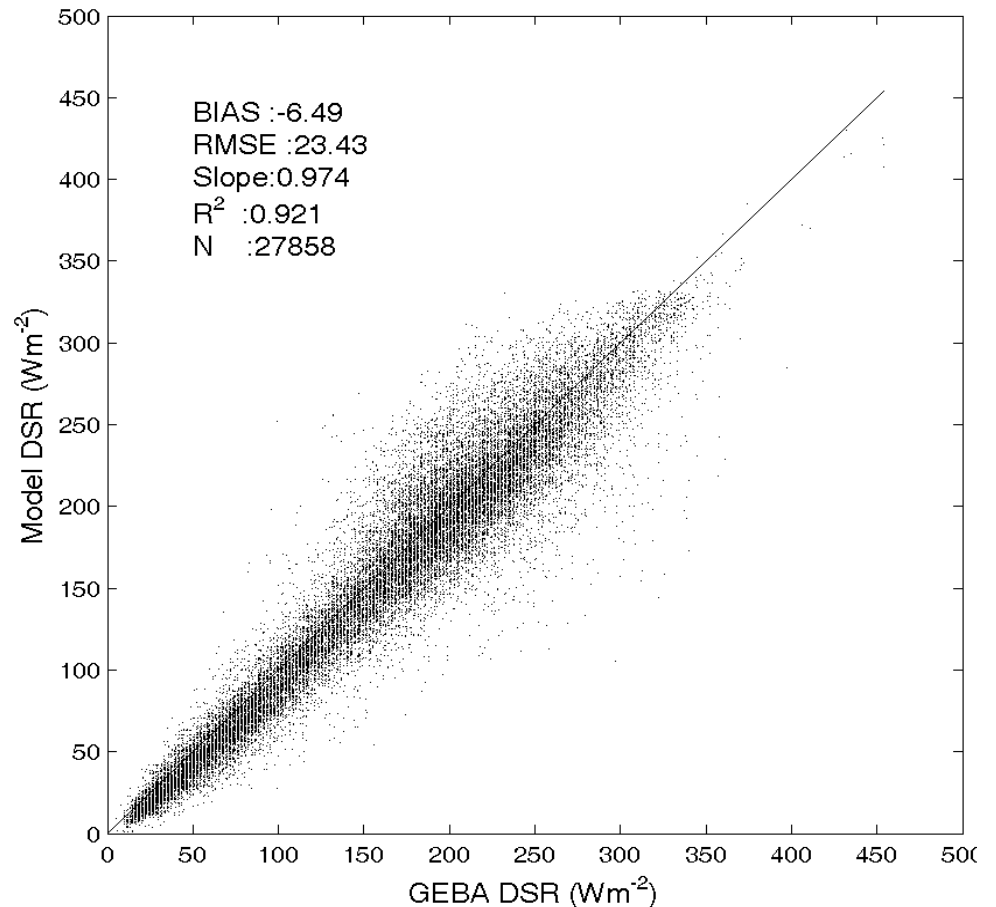
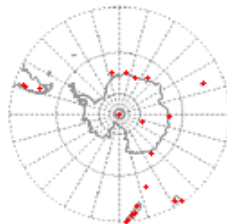
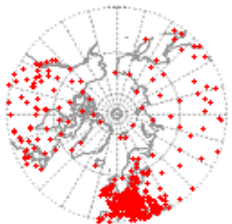
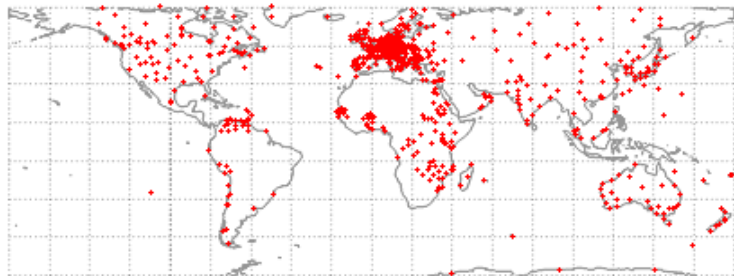


Τάση 1984 – 2000 για την  
προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία  
στην επιφάνεια

# Έξοδος μοντέλου

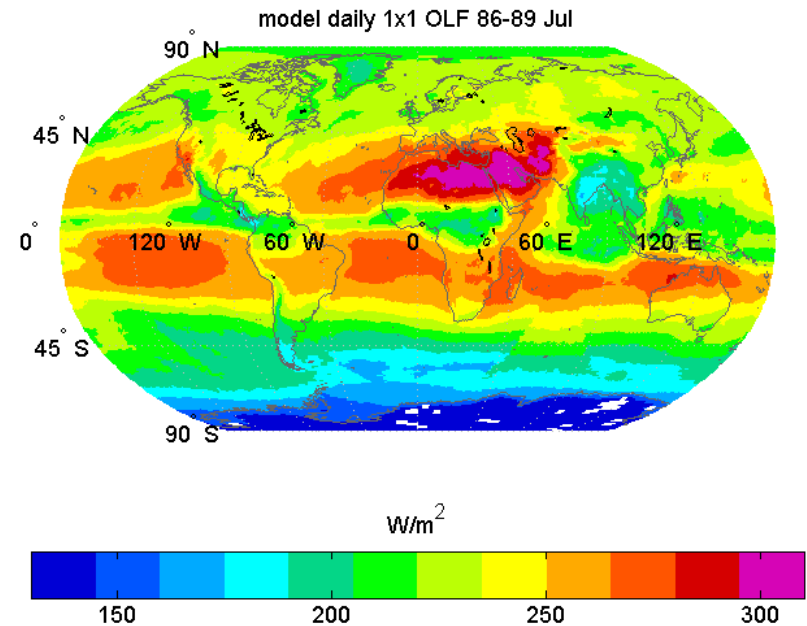
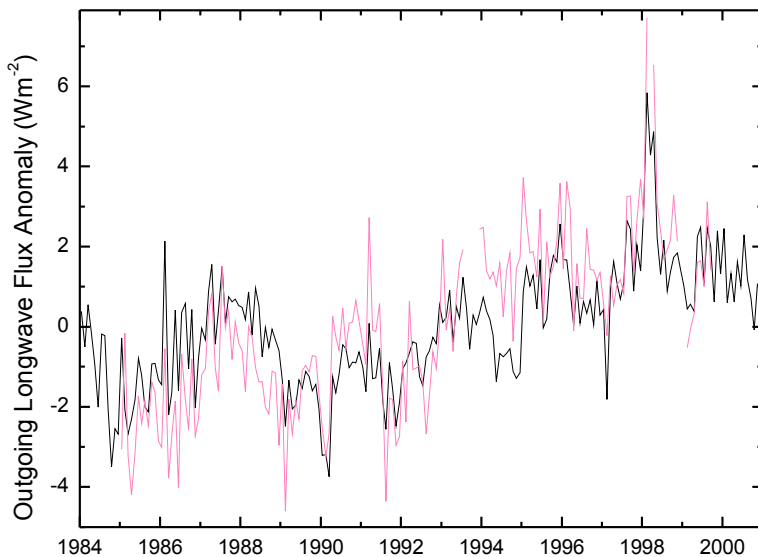
Σύγκριση τιμών προσπίπτουσας ακτινοβολίας μοντέλου με τιμές επίγειων σταθμών σε μηνιαία βάση

## Global Energy Balance Archive (GEBA)



# Έξοδος μοντέλου

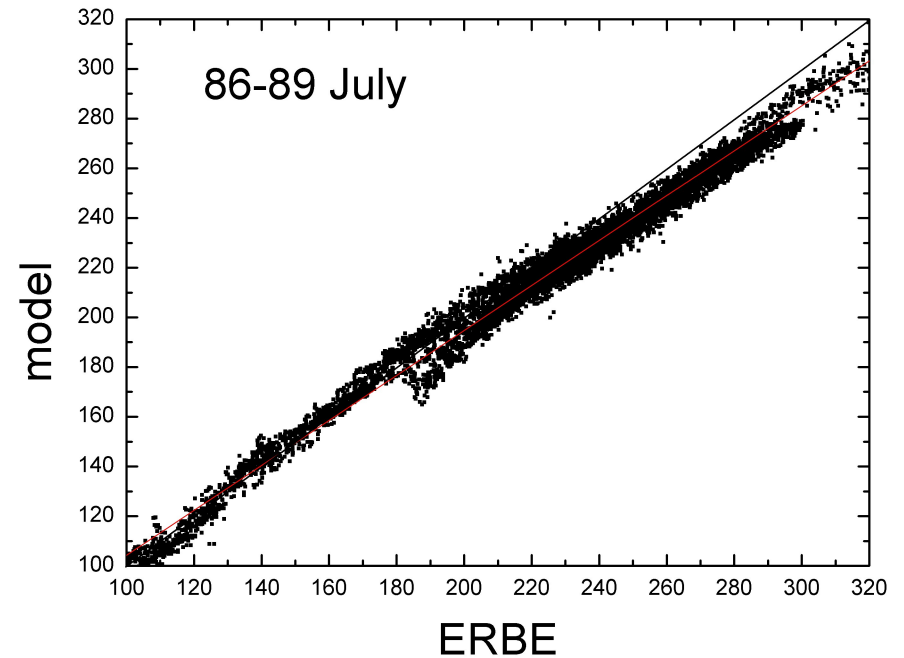
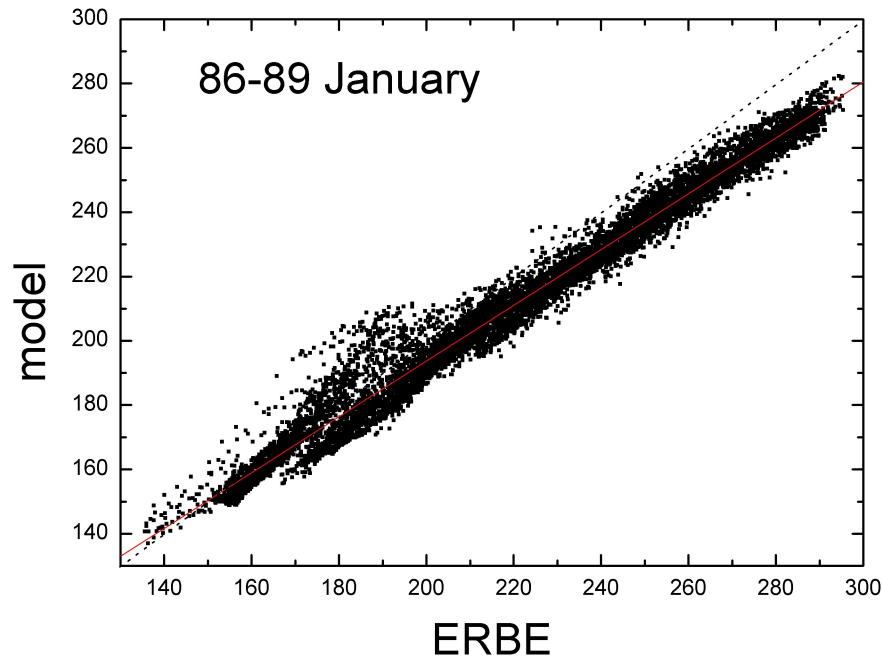
Εξερχόμενη θερμική ακτινοβολία στην κορυφή της ατμόσφαιρας



Τάση 1984 – 2000 από **μοντέλο**  
και **παρατηρήσεις**

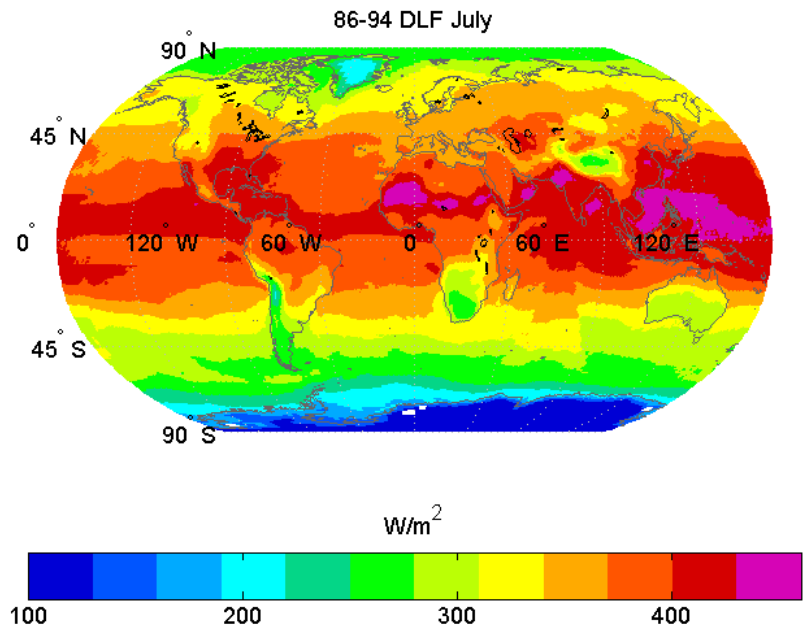
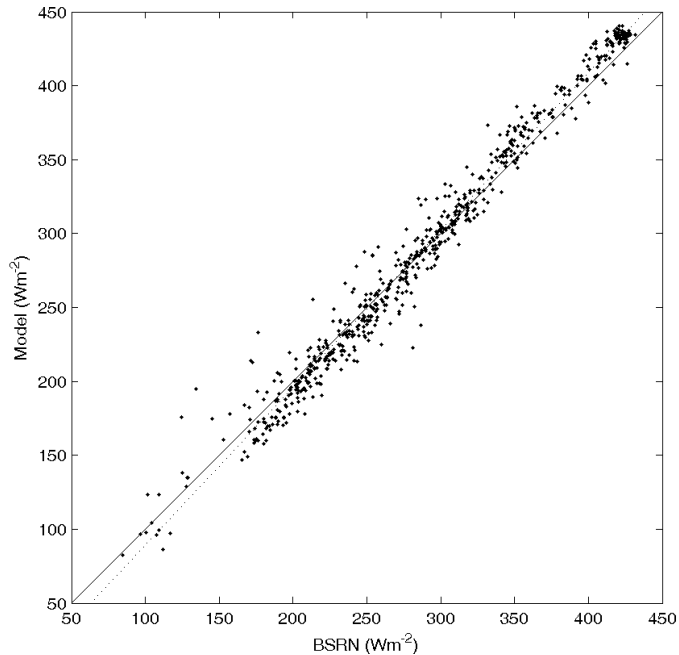
# Έξοδος μοντέλου

Σύγκριση της εξερχόμενης θερμικής ακτινοβολίας μοντέλου - παρατηρήσεων



# Έξοδος μοντέλου

## Προσπίπτουσα θερμική ακτινοβολία στην επιφάνεια

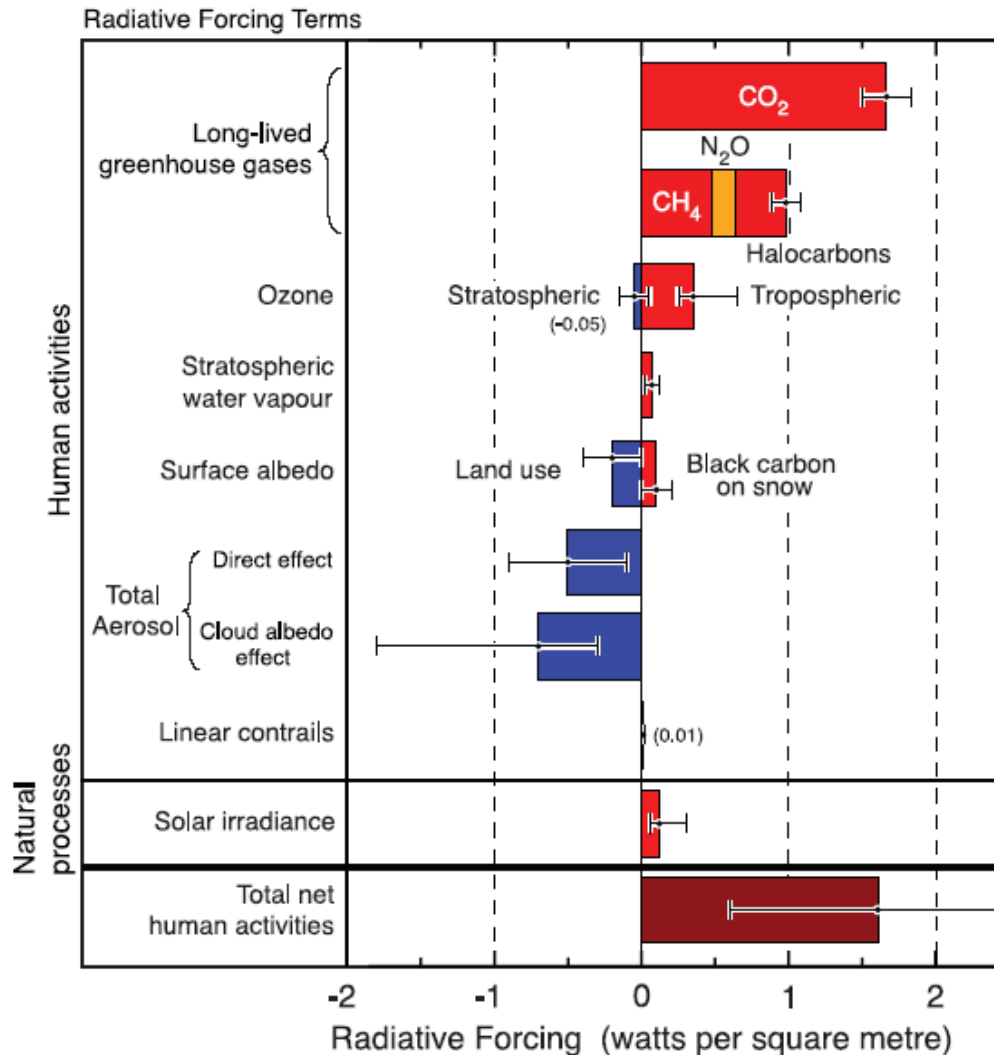


Σύγκριση τιμών μοντέλου με τιμές επίγειων σταθμών σε μηνιαία βάση



# Αερολύματα, ο μεγάλος άγνωστος στην κλιματική αλλαγή

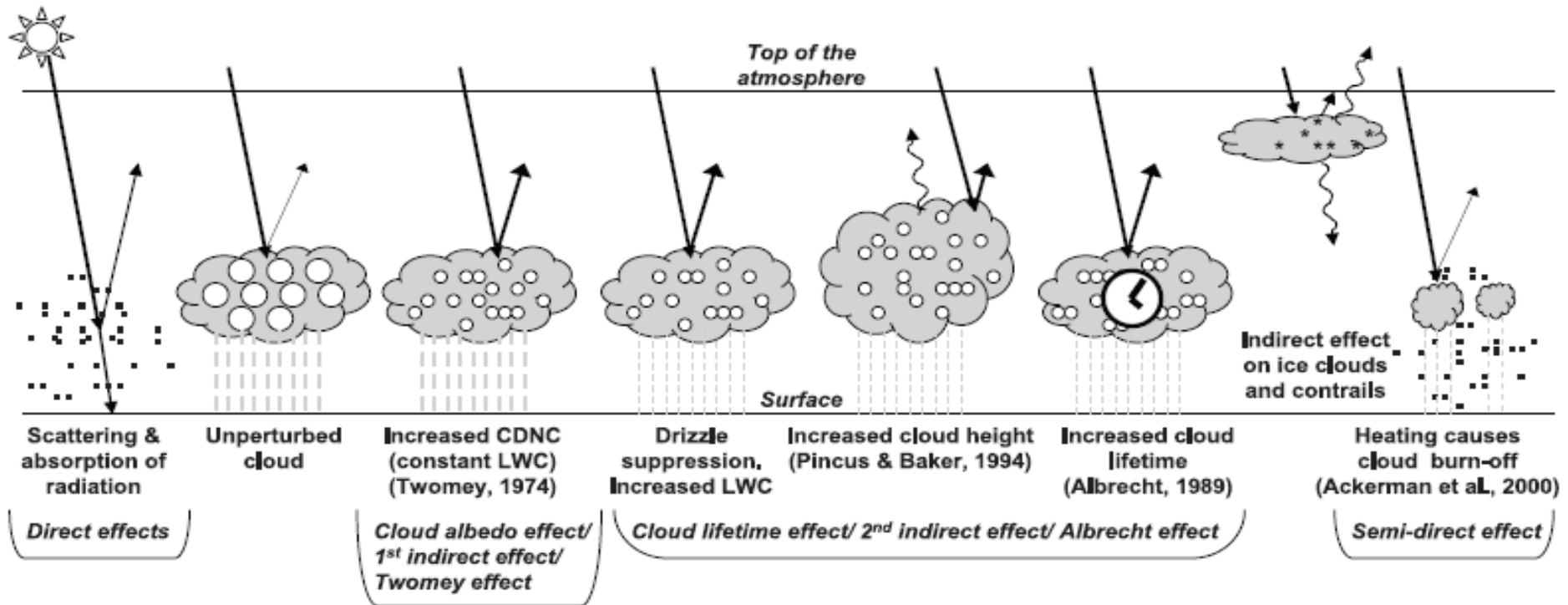
Radiative forcing of climate between 1750 and 2005



From Intergovernmental Panel on Climate Change Scientific Assessment

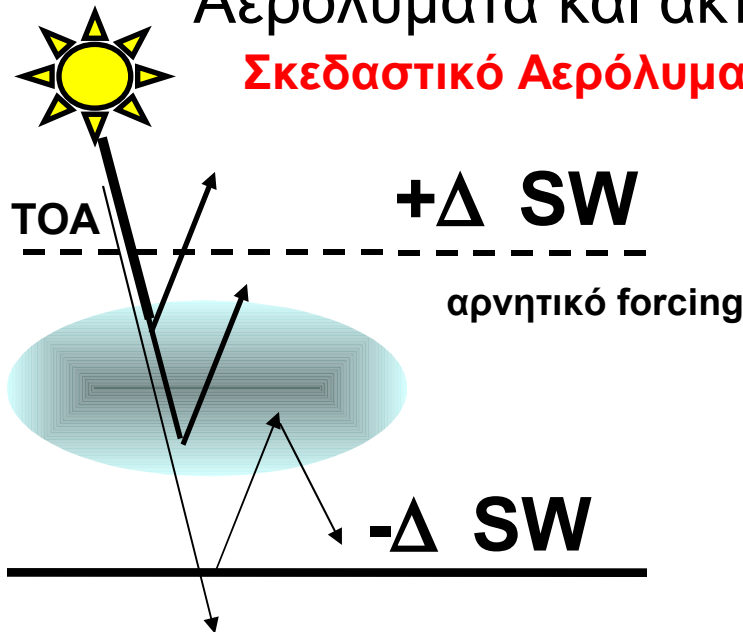
# Κλιματικές επιδράσεις αερολυμάτων

- Νεφροσταγονίδια  
ακτινοβολία
- Ηλιακή



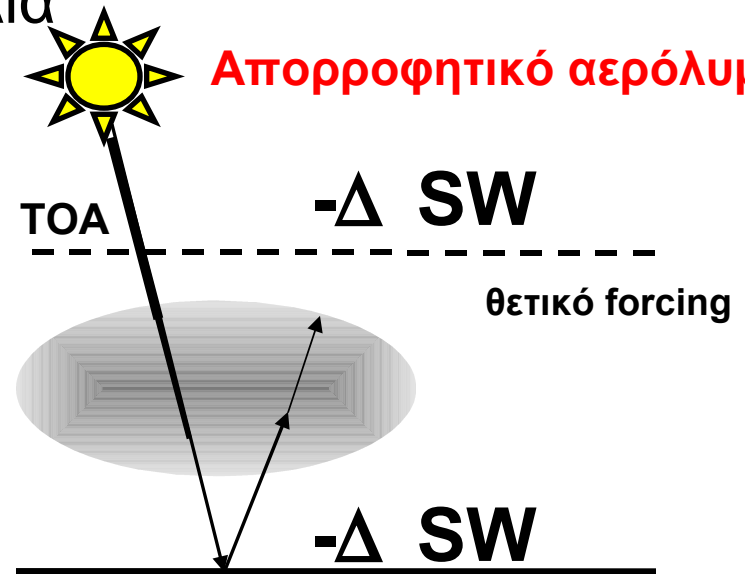
# Αερολύματα και ακτινοβολία

## Σκεδαστικό Αερόλυμα



- Η επιφάνεια και η ατμόσφαιρα ψύχονται

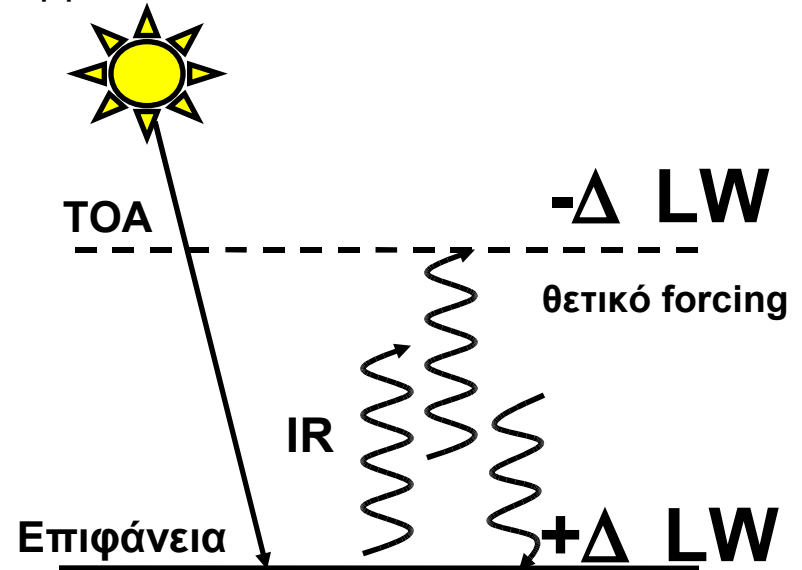
## Απορροφητικό αερόλυμα



- Η επιφάνεια ψύχεται, η ατμόσφαιρα θερμαίνεται

## Αέριο θερμοκηπίου

- Η κατώτερη ατμόσφαιρα και η επιφάνεια θερμαίνεται
- Η ανώτερη ατμόσφαιρα ψύχεται



# Επίδραση αερολυμάτων στην προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στο έδαφος

Αρνητικές τιμές σημαίνουν μείωση της ηλιακής προσπίπτουσας ακτινοβολίας στο έδαφος

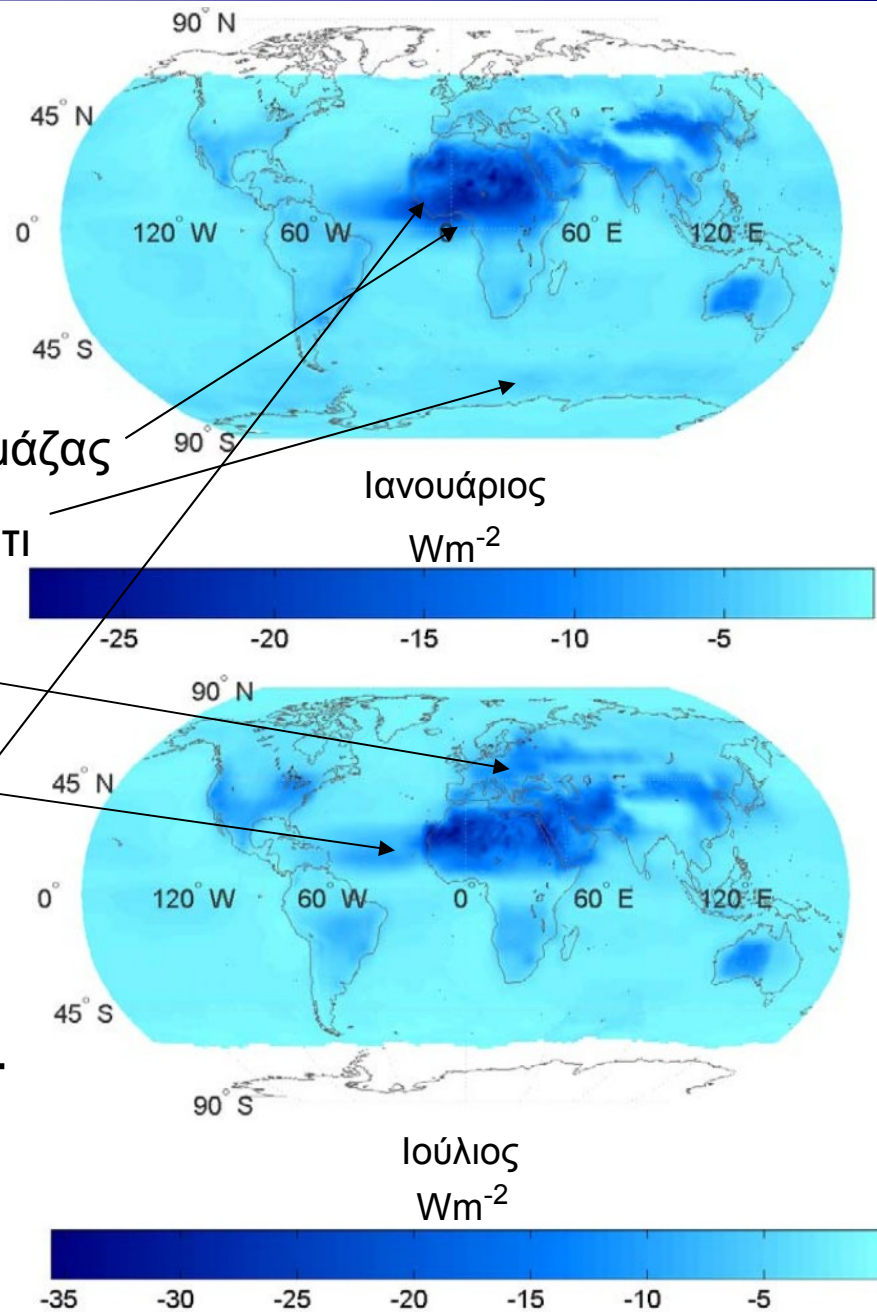
Καύση βιομάζας

Αλάτι

Βιομηχανικά αερολύματα

Σκόνη Σαχάρας

Μείωση ακτινοβολίας σε βιομηχανικές περιοχές, ερήμους



|                   | Ιανουάριος | Ιούλιος |
|-------------------|------------|---------|
| Πλανητική κλίμακα | - 3.13     | - 3.30  |
| Β. Ημισφαίριο     | - 3.95     | - 4.74  |
| Ν. Ημισφαίριο     | - 2.31     | - 1.86  |

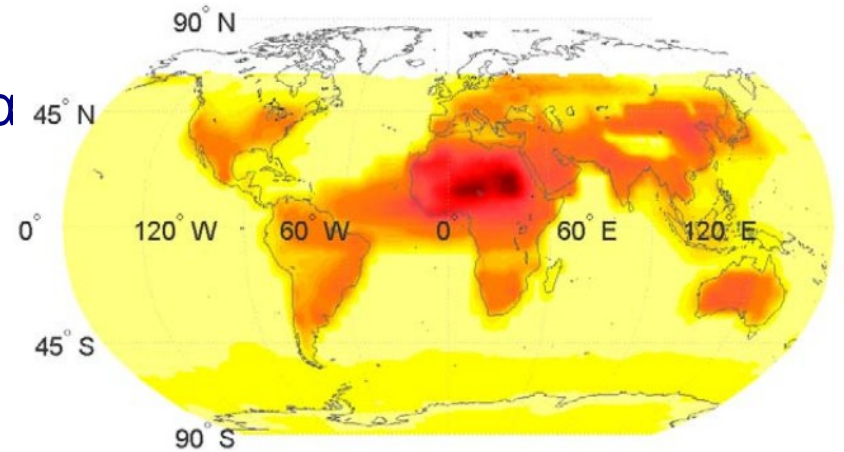
# Επίδραση αερολυμάτων στην απορροφώμενη ηλιακή ακτινοβολία στην ατμόσφαιρα

Θετικές τιμές σημαίνουν αύξηση της ατμοσφαιρικής απορρόφησης λόγω αερολυμάτων

Τα αερολύματα θερμαίνουν την ατμόσφαιρα!

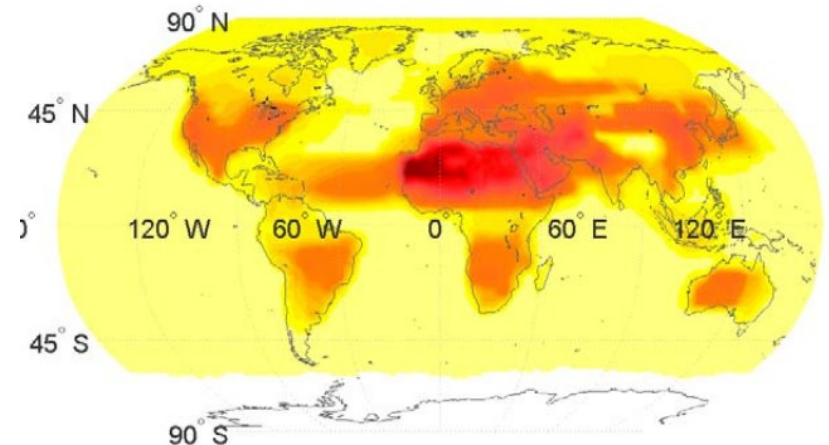
Μέγιστες τιμές όταν έχουμε απορροφητικά αερολύματα πάνω από ανακλαστικές περιοχές, π.χ. ερήμους

|                   | Ιανουάριος | Ιούλιος |
|-------------------|------------|---------|
| Πλανητική κλίμακα | 1.41       | 1.79    |
| Β. Ημισφαίριο     | 2.16       | 3.09    |
| Ν. Ημισφαίριο     | 0.65       | 0.49    |



Ιανουάριος

$Wm^{-2}$



Ιούλιος

$Wm^{-2}$



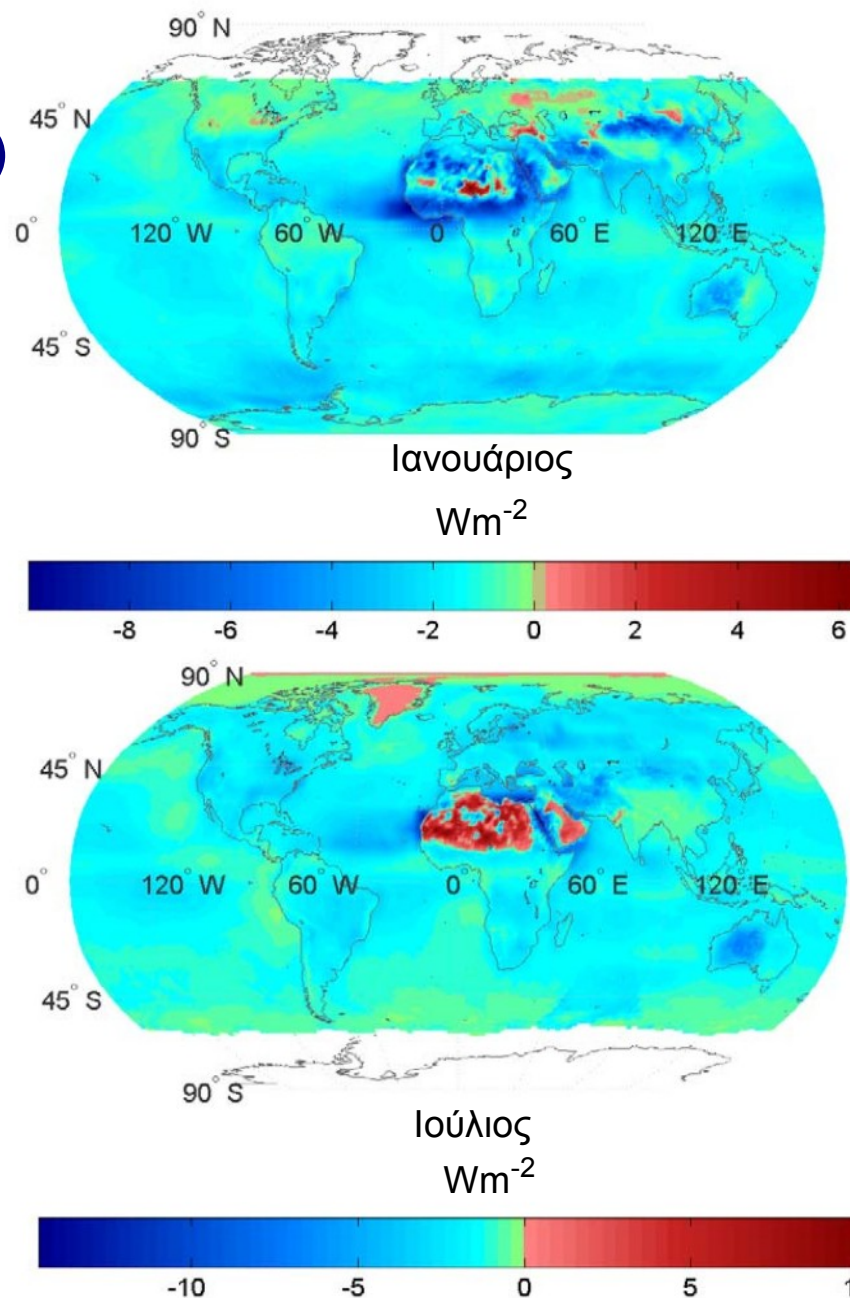
## Επίδραση αερολυμάτων στην απορροφώμενη ακτινοβολία στο σύστημα (ατμόσφαιρα + επιφάνεια)

Θέρμανση του συστήματος πάνω από χιονισμένες επιφάνειες, π.χ. Γροιλανδία, β. Ευρασία, β. Αμερική

Θέρμανση του συστήματος πάνω από ανακλαστικές επιφάνειες με απορροφητικά αερολύματα, π.χ. Σαχάρα

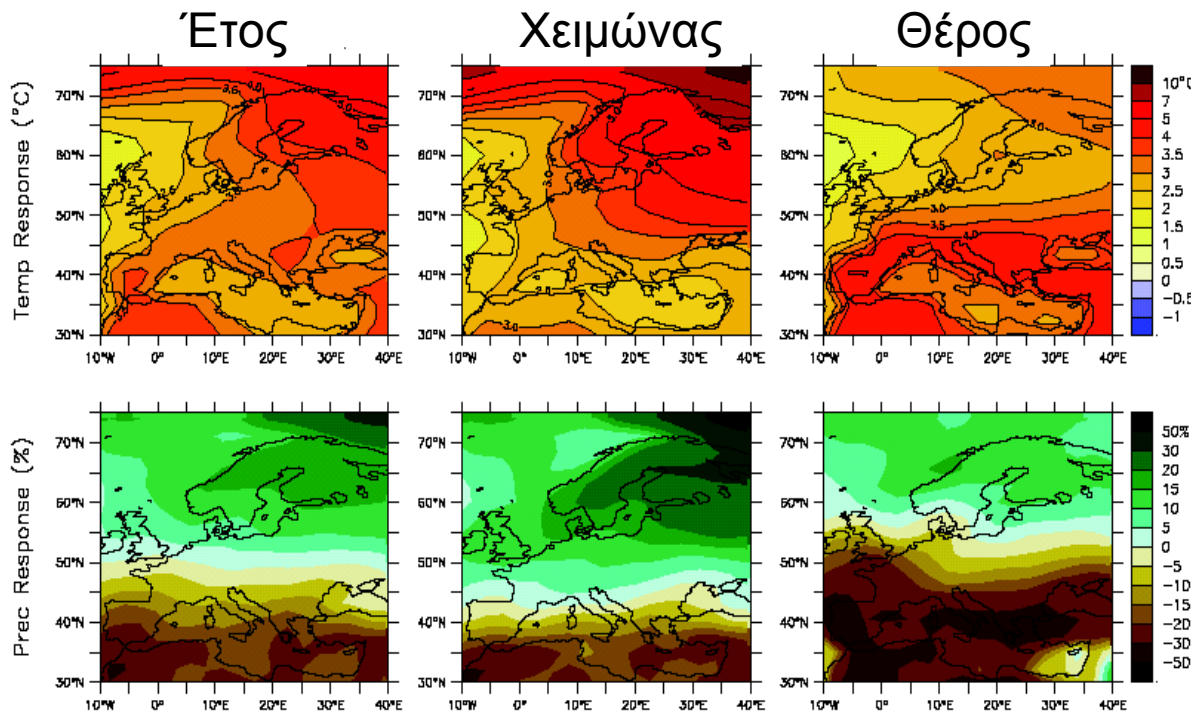
Ψύξη του συστήματος από σκεδαστικά αερολύματα στο Σαχέλ, ερήμους, Νότιο ωκεανό

|                   | Ιανουάριος | Ιούλιος |
|-------------------|------------|---------|
| Πλανητική κλίμακα | - 1.72     | - 1.51  |
| Β. Ημισφαίριο     | - 1.79     | - 1.65  |
| Ν. Ημισφαίριο     | - 1.66     | - 1.37  |



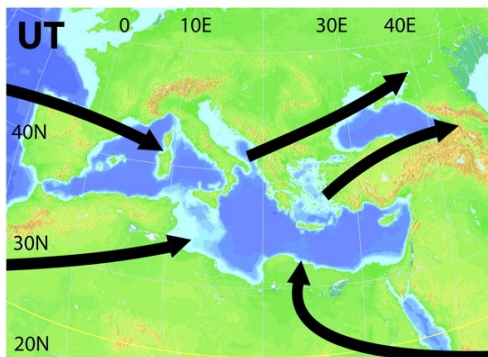
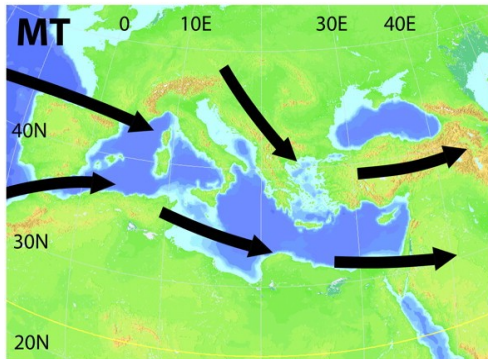
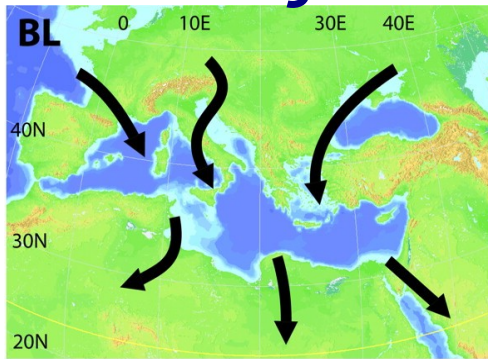
# Ας εστιάσουμε στη Μεσόγειο

- Η Μεσόγειος είναι μια κλιματικά ευαίσθητη περιοχή



**Σενάριο A1B:**  
αύξηση του CO<sub>2</sub>  
στα 850 ppm

# Ας εστιάσουμε στη Μεσόγειο



- Η Μεσόγειος είναι τόπος συνύπαρξης διαφόρων τύπων αερολυμάτων:

- ✓ Αερολύματα Σκόνης

- ✓ Αερολύματα Θαλάσσιας προέλευσης

- ✓ Ανθρωπογενή & Βιομηχανικά Αερολύματα

- ✓ Αιθάλη από Καύση Βιομάζας

Μεγάλου μεγέθους σωματίδια

Λεπτά ή Μικρού μεγέθους σωματίδια

- Μετρήσεις & εκτιμήσεις μοντέλων συμφωνούν ότι η επίδραση των αερολυμάτων στο ισοζύγιο ακτινοβολίας στην περιοχή της Μεσογείου είναι σημαντική



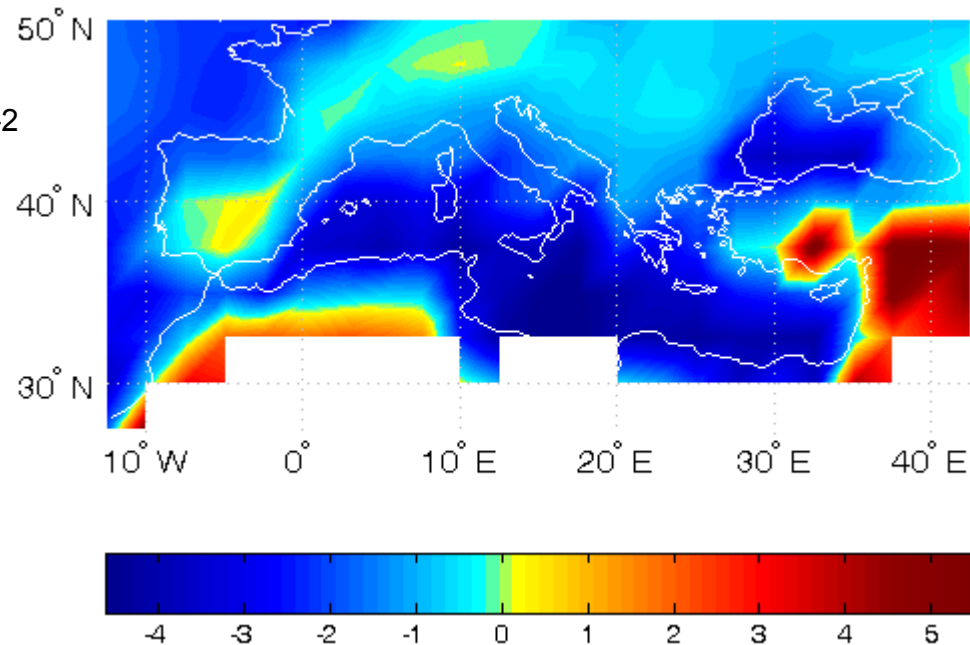
# Εντάξει, αλλά τι γίνεται με τα ανθρωπογενή αερολύματα;

Τα τελευταία χρόνια δορυφορικές μετρήσεις δίνουν και ποσοστό των λεπτών, ανθρωπογενών σωματιδίων

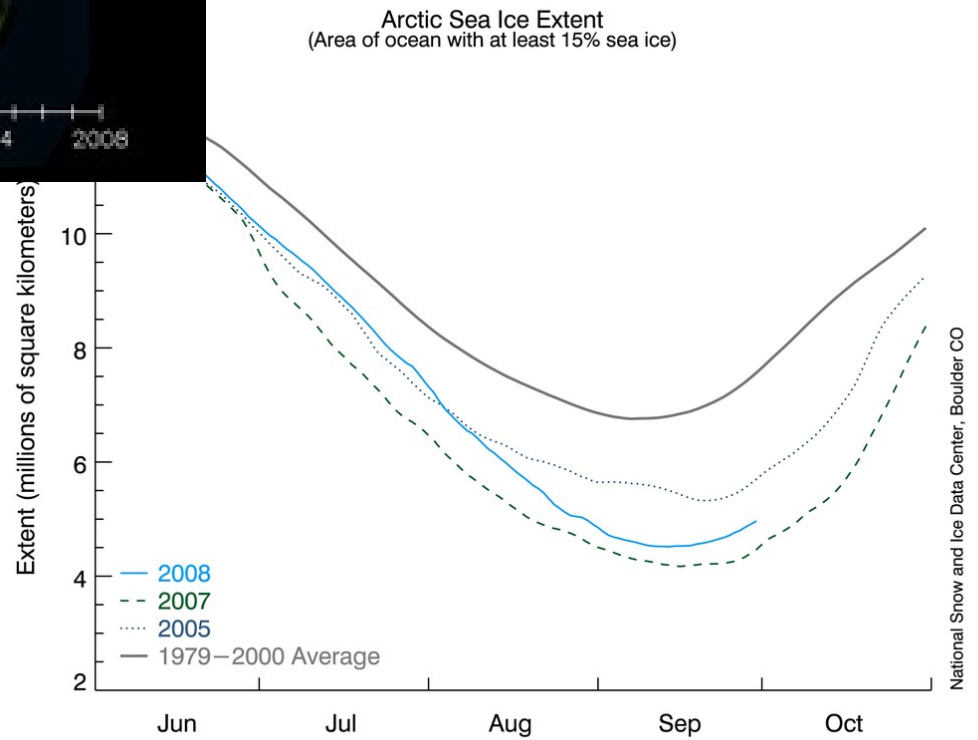
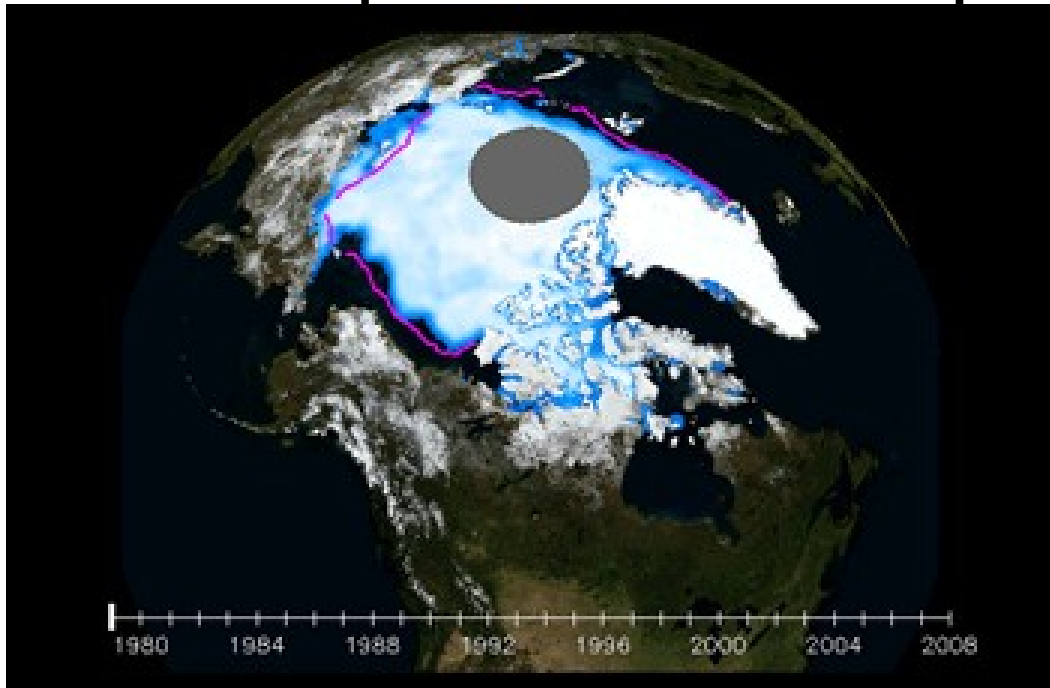
Έτσι μπορούμε να ξεχωρίσουμε τις συνέπειες των ανθρώπινων πηγών από τις συνέπειες της φυσικών αερολυμάτων

Σύμφωνα με αδημοσίευτα ακόμη αποτελέσματά μας έχουμε ψύξη του συστήματος κατά  $-1.30 \text{ Wm}^{-2}$  πάνω από την περιοχή της Μεσογείου την περίοδο 2000-2007, από τα αερολύματα

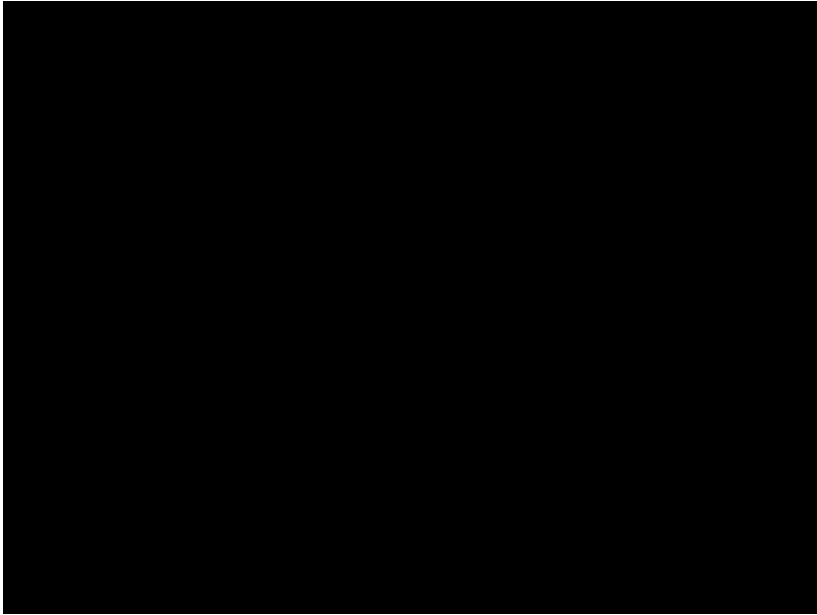
Θερμοκήπιο:  $+2.4 \text{ Wm}^{-2}$



# Έκταση θαλάσσιου πάγου



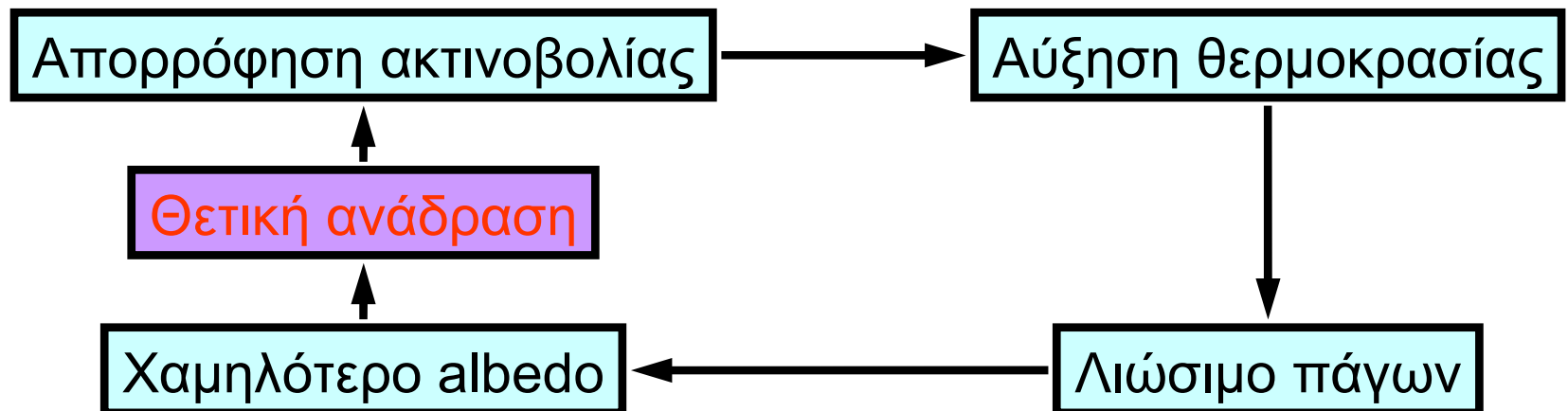
# Ανάδραση πάγου - albedo



Το λιώσιμο αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση του albedo γιατί ο ωκεανός που εμφανίζεται κάτω από τον πάγο έχει μικρότερο albedo

Η μείωση του albedo οδηγεί σε μεγαλύτερη απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας

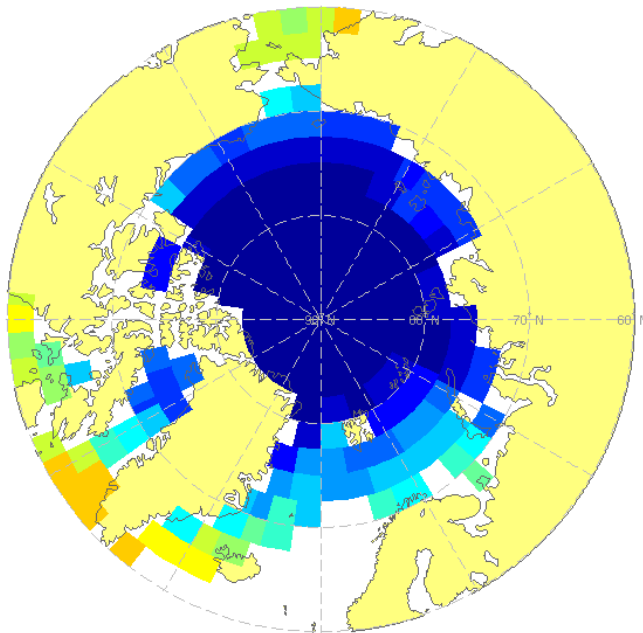
Η απορρόφηση ηλ. ακτινοβολίας συντελεί στην περαιτέρω θέρμανση κ.ο.κ.



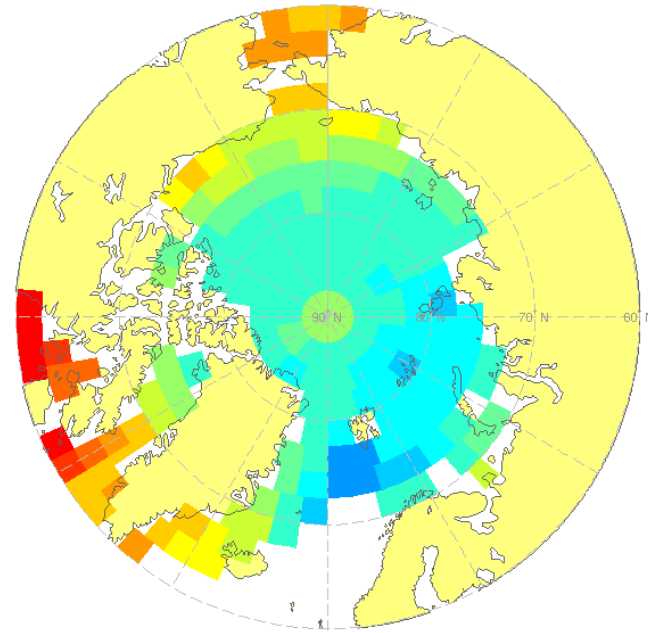
# Απορρόφηση ακτινοβολίας στην Αρκτική

Μέσες ετήσιες τιμές

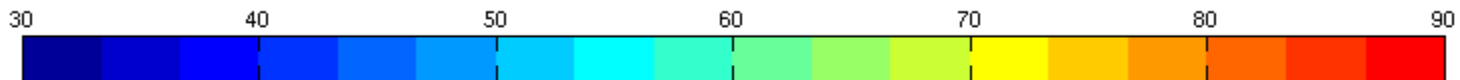
Με θαλάσσιο πάγο



Χωρίς θαλάσσιο πάγο



$Wm^{-2}$



# Απορρόφηση ακτινοβολίας στην Αρκτική

**The effect of Arctic sea-ice extent on the absorbed (net) solar flux at the surface, based on ISCCP-D2 cloud data for 1983–2007**

C. Matsoukas<sup>1</sup>, N. Hatzianastassiou<sup>2</sup>, A. Fotiadi<sup>2</sup>, K. G. Pavlakis<sup>3</sup>, and I. Vardavas<sup>4</sup>

| Average | Clear-sky | All-sky | Overcast-sky |
|---------|-----------|---------|--------------|
| Global  | 0.97      | 0.55    | 0.28         |
| Arctic  | 34.9      | 19.7    | 10.2         |

Global: Επίπτωση γενικά στον πλανήτη αν εξαφανιστεί ο πάγος της Αρκτικής

Arctic: Επίπτωση ειδικά στον Αρκτικό ωκεανό αν εξαφανιστεί ο πάγος της Αρκτικής

Η επίπτωση από το φαινόμενο θερμοκηπίου είναι  $2.4 \text{ Wm}^{-2}$

Οι επιπτώσεις από το λιώσιμο των αρκτικών πάγων είναι συγκρίσιμες με το φαινόμενο θερμοκηπίου

# Συμπεράσματα

- Το Φασματικό μοντέλο διάδοσης της ακτινοβολίας αποτελεί ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο στον προσδιορισμό επίδρασης διαφόρων κλιματικών παραγόντων (π.χ. αερολύματα, θαλάσσιοι πάγοι) σε πλανητική κλίμακα, αλλά και σε τοπική, όπου αυτή μπορεί να γίνει εξαιρετικά σημαντική
- Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του μοντέλου, σε πλανητική κλίμακα και μέση ετήσια βάση, παρουσία των αερολυμάτων (φυσικών & ανθρωπογενών) στην ατμόσφαιρα προκαλεί:
  - ψύξη στο σύστημα Γη-ατμόσφαιρα: **1.6 Wm<sup>-2</sup>**
  - θέρμανση της ατμόσφαιρας: **1.6 Wm<sup>-2</sup>**
  - ψύξη στην επιφάνεια της Γης: **3.2 Wm<sup>-2</sup>**
- Τα αερολύματα θερμαίνουν την ατμόσφαιρα, καθιστώντας την πιο ευσταθή. Παράλληλα ψύχουν την επιφάνεια, περιορίζοντας την εξάτμιση. Ο συνδυασμός μπορεί να έχει σημαντικές επιπτώσεις σε περιοχές που απειλούνται με ερημοποίηση όπως η Ανατολική Μεσόγειος

## Μέλλον ...

- Ολοκλήρωση της μελέτης του υπολογισμού της επίδρασης των αερολυμάτων στο ενεργειακό ισοζύγιο κατά τη διάρκεια επεισοδίων αερολυμάτων σκόνης & σωματιδίων μικρού μεγέθους στην Ανατολική Μεσόγειο (Κρήτη)
- Το μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να επικεντρωθούμε σε περιοχές με εξαιρετικό ενδιαφέρον π.χ. Περιοχές της Αφρικής που δέχονται την επίδραση αερολυμάτων σκόνης και αερολυμάτων προερχόμενων από καύση βιομάζας ή στις αναπτυσσόμενες χώρες (Ινδία, Κίνα) ή σε κλιματικά ευαίσθητες περιοχές όπως η Αρκτική
- Προσδιορισμός της επίδρασης αερολυμάτων χρησιμοποιώντας δεδομένα MODIS, τα οποία επιτρέπουν τον διαχωρισμό των μικρού και μεγάλου μεγέθους αερολυμάτων
- Μελέτη της διαχρονικής τάσης εξάτμισης σε πλανητική κλίμακα, η οποία επηρεάζεται από τη διαθέσιμη ενέργεια ακτινοβολίας