



# Κλιματική αλλαγή

Κλιματική Αλλαγή & κλιματική Μεταβλητότητα  
Τύποι φυσικής μεταβλητότητας του κλίματος

Επιμέλεια: Έφη Κωστοπούλου

## Περίγραμμα

### ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙΡΟΥ- ΚΛΙΜΑΤΟΣ – ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ

Τύποι φυσικής μεταβλητότητας

- Ηφαιστειακή δράση
- Μεταβλητότητα του κλίματος που συνδέεται με τα φαινόμενα El Niño & La Niña (ENSO)

### ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ & ΤΩΝ ΩΚΕΑΝΩΝ

1. Μεταβλητότητα του κλίματος που συνδέεται με επαναλαμβανόμενα **ατμοσφαιρικά** μοτίβα (Τηλεσυνδέσεις)
  - Ταλάντωση Β. Ειρηνικού (Pacific/ North American Pattern, PNA)
  - Ταλάντωση του Β. Ατλαντικού (North Atlantic Oscillation, NAO)
  - Αρκτική Ταλάντωση (Arctic Oscillation, AO)
2. Μεταβλητότητα του κλίματος που συνδέεται με επαναλαμβανόμενα **ωκεάνια** πρότυπα (δεκαετούς περιοδικότητας)
  - Atlantic Multi-Decadal Oscillation (AMO)
  - Pacific Decadal Oscillation (PDO)

## Τι είναι καιρός;

**Καιρός:** Βραχυπρόθεσμες (ωριαίες ή ημερήσιες) αλλαγές στη θερμοκρασία, υγρασία, υετό, άνεμο κ.λπ.

**Παραδείγματα:** Καταιγίδες, τυφώνες, ανεμοστρόβιλοι, ένα βραχυπρόθεσμο πλημμυρικό φαινόμενο, ψυχρά/θερμά μέτωπα, μια ηλιόλουστη ή βροχερή μέρα, κλπ.



## Κλίμα, κλιματική μεταβλητότητα

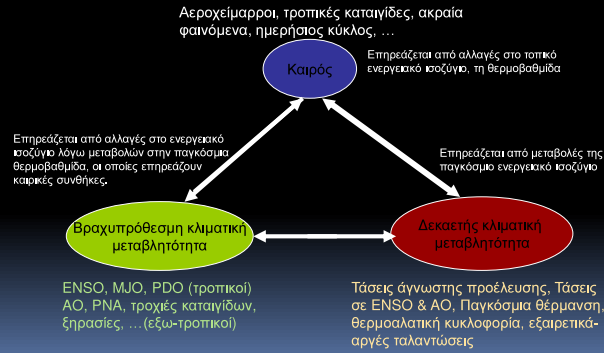
**Κλίμα:** Οι μέσοι όροι και οι μεταβαλλόμενες πτυχές του συστήματος ατμόσφαιρας-ωκεανού.

**Παραδείγματα:** Μέσες ετήσιες τιμές, οι τέσσερις εποχές, μουσώνες, η εποχή των τυφώνων, μέσες μεταβολές της θερμοκρασίας στη διάρκεια του έτους, 24ωρος κύκλος θερμοκρασίας, κ.λπ.

**Κλιματική μεταβλητότητα:** Διακυμάνσεις στη μέση κατάσταση του κλίματος που οφείλονται σε **φυσικές διεργασίες** (επαναλαμβανόμενα μοτίβα στη θερμοκρασία των ωκεανών, αεροχειμαρροί, κλπ.).



## Σύνδεση μεταξύ καιρού και κλίματος

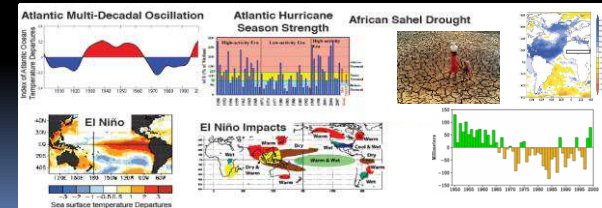


## Κλιματική μεταβλητότητα

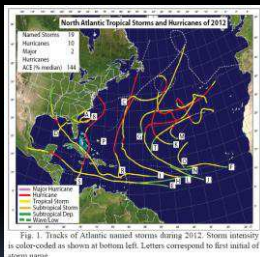
**Κλιματική Μεταβλητότητα** παρατηρείται σε μεγάλες κλίμακες (ηπειρώ, ημισφαιρίου, παγκόσμια), σε χρονικές κλίμακες που κυμαίνονται από εβδομάδες έως χρόνια ή έως δεκαετίες.

- Η Κλιματική μεταβλητότητα συνδέεται συχνά με τους αεροχέιμαρρους, τη θερμοκρασία των ωκεανών, και τα πρότυπα των βροχοπτώσεων στους τροπικούς, επαναλαμβανόμενα ατμοσφαιρικά μοτίβα (ηηλεαυδέσεις).
- Η Κλιματική μεταβλητότητα διαφοροποιείται ανά περιοχή και ανά εποχή.

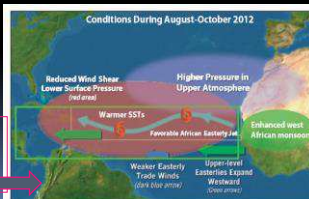
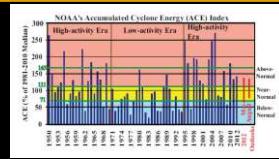
### Παραδείγματα:



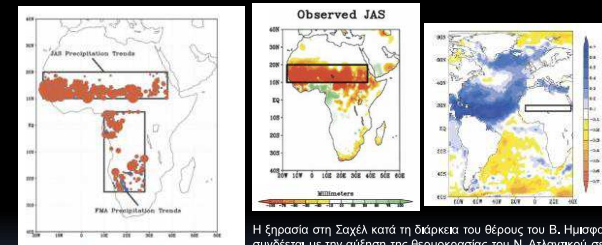
Bell, G., Goldenberg, S., Blake, E., Landsea, C., Schemm, J., Richard Pasch, Kimberlain, T.  
The 2012 North Atlantic Hurricane Season - A Climate Perspective



Σχηματική απεικόνιση των ατμοσφαιρικών και θαλάσσιων συνθηκών στη λεκάνη του Ατλαντικού κατά τη διάρκεια της Αυγ-Οκτ 2012. Το πράσινο περίγραμμα δείχνει τις περιοχές γένεσής τους. Το σύνολο αυτών των συνθηκών παρατηρείται από το 1995.



Hoerling, M. J., Hurrell, J., Eischeid, J., & Phillips, A.  
Detection and attribution of 20th century Northern and Southern African rainfall change. *Journal of Climate* 19, 3989–4008 (2006)



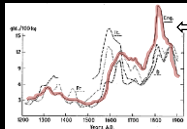
Παρατηρούμενες εποχιακές τάσεις των βροχοπτώσεων κατά την περίοδο 1950-1999. Θέσεις με έμφαση (μπλε) τάσεις σημειώνονται με κόκκινο (μπλε) χρώμα, ενώ η ένταση των τάσεων υποδεικνύεται από το μέγεθος ενός κύκλου.

Η ξηρασία στη Σαχέλ κατά τη διάρκεια του Β. Ημισφαιρίου, συνδέεται με την αύξηση της θερμοκρασίας του Ν. Ατλαντικού σε σχέση με τις SST του Β. Ατλαντικού και την επακόλουθη ενδο-ημισφαιρική αντίθεση στις SST που ευνοεί την προς νότια μετατόπιση της ενδοτροπικής ζώνης σύγκλισης.

Ξηρασία στη Νότια Αφρική κατά το καλοκαίρι (NH) αποδίδεται στη θέρμανση του Ινδικού ωκεανού (→ αυξημένη ατμοσφαιρική συναγωγή) πάνω από τα θερμά ύδατα και στη καθίζηση -subsidence- και ξηρασία στη Ν. Αφρική.

## Το κλίμα της γης πάντα μεταβαλλόταν

Παρελθοντικές αλλαγές βρίσκονται χαραγμένες στο τοπίο, έχουν επηρεάσει την εξέλιξη όλων των μορφών ζωής, και αποτελούν σημαντικό παράγοντα που επηρέασε την οικονομική και κοινωνική ιστορία του ανθρώπου.



Οι τιμές του ατμοσφαιρικού φαινομένου από 1850 σε διάφορες χώρες συνιστούν το χρόνο



Συλλογή που απεικονίζει το φετιβόλ στον παγωμένο Τάμεση το χειμώνα 1715-16



Ερείπια εκκλησίας στα Hvalseyr, της Γροιλανδίας που κατασκευάστηκε κατά την Μεσαιωνική Θερμή Περίοδο



Παιγμένη άθληματα στη Γροιλανδία

Εκτίηση για τις πλημμύρες του 1607 στην Αγγλία

1607  
A true report of certaine wonderfulle accidents, which have lately happened in the North and other parts of England, touching the excessive cold, winds, and other extraordinary weathering, and the great floods, which have been in the North Sea, and other parts of the Kingdom, and the death of many thousands of people.



Printed and sold by W. B. at the Sign of the Anchor, in St. Dunstons Church-yard, London.

The Hunters in the snow by Pieter Brueghel the Elder, 1565



The Frozen Thames 1677



'Frost Fair of 1814' by Luke Clanel



Skaters and Tents along the Ice by Hendrick Avercamp, 1620



Winter Landscapes (Pieter Brueghel the Younger, 1608)  
This picture was painted when the Little Ice Age temperatures regularly froze the canals of Holland, which was then generally ice free the year around.



Η **κλιματική αλλαγή** είναι μια σημαντική και **μόνιμη** αλλαγή στη στατιστική κατανομή των καιρικών συνθηκών κατά τη διάρκεια των περιόδων που κυμαίνονται από δεκαετίες σε εκατομμύρια χρόνια. Μπορεί να είναι μια αλλαγή στο **μέσο όρο** των καιρικών συνθηκών, ή στην κατανομή των καιρικών συνθηκών **εκτός των μέσων συνθηκών** (π.χ. περισσότερα ή λιγότερα ακραία καιρικά φαινόμενα).

Μια **απότομη** αλλαγή του κλίματος συμβαίνει όταν το κλιματικό σύστημα αναγκάζεται να μεταβεί σε μια νέα κλιματική κατάσταση με ταχύ ρυθμό που καθορίζεται από το **ενεργειακό ισοζύγιο** του κλιματικού συστήματος.



Οι τρέχουσες κλιματικές αλλαγές αποτελούν κεντρικό μέρος της συζήτησης σχετικά με τις **συνέπειες των ανθρώπινων δραστηριοτήτων** στο παγκόσμιο περιβάλλον,

ενώ οι εκτιμήσεις για τη μελλοντική πορεία του κλίματος μπορεί να **επηρεάσουν** και να ασκήσουν περιορισμούς στην **οικονομική ανάπτυξη**, ιδίως στις αναπτυσσόμενες χώρες.





**Το πρώτο πράγμα που πρέπει να κατανοηθεί είναι η ΠΟΛΥΠΛΟΚΟΤΗΤΑ που χαρακτηρίζει το κλίμα.**

Το κλίμα της γης διέπεται από ένα ευρύ φάσμα παραγόντων οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους σε ένα περίπλοκο ιστό φυσικών διεργασιών.

Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να εντοπίζονται οι παράγοντες εκείνοι που έχουν μεγαλύτερη σημασία.

Για να γίνει αυτό, πρέπει να ορίσουμε την έννοια της αλλαγής του κλίματος, γιατί οι διάφοροι παράγοντες αποκτούν διαφορετική σημασία ανάλογα με τα χρονοδιαγράμματα που εξετάζονται.

**Τι εννοούμε με τον όρο μεταβλητότητα του κλίματος και της κλιματικής αλλαγής;**

Όπως προκύπτει από τον ορισμό του καιρού και του κλίματος, οι αλλαγές στο κλίμα προκύπτουν από αλλαγές στις μετεωρολογικές συνθήκες που αναφέρονται σε αρκετά χρόνια ή πλέον.

Αυτές οι αλλαγές μπορεί να αφορούν μία μόνο παράμετρο, όπως η θερμοκρασία ή οι βροχοπτώσεις, αλλά συνήθως συνοδεύονται γενικότερα αλλαγές στην ατμοσφαιρική κατάσταση (weather patterns) που μπορεί να οδηγήσει σε μια μεταστροφή σε, πχ πιο κρύες, βροχερές, νεφελώδεις και ανεμώδεις συνθήκες.

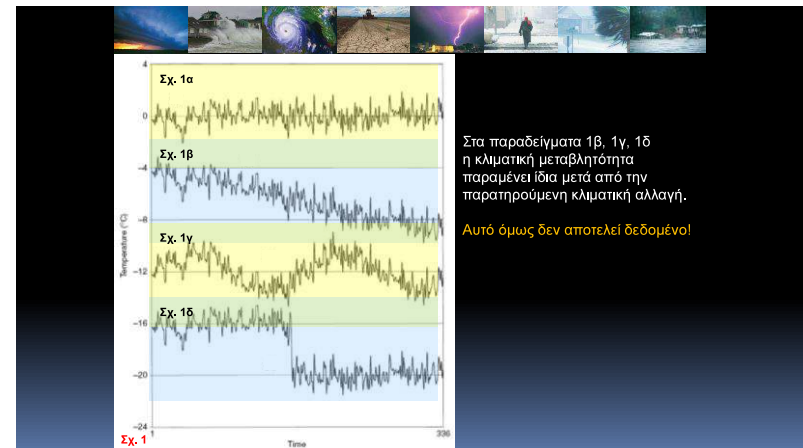
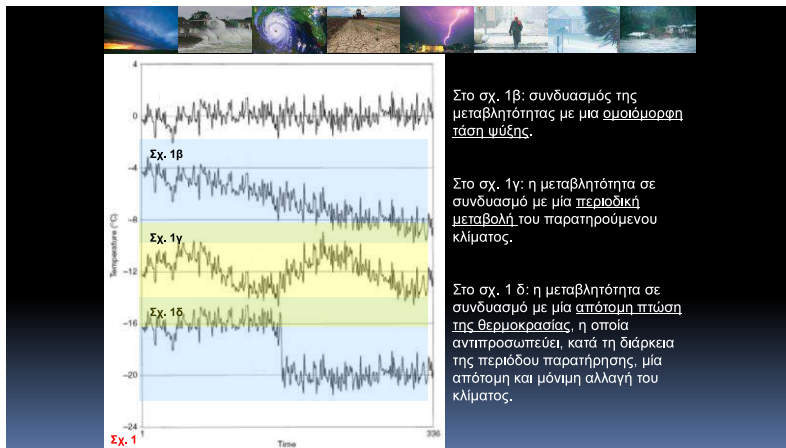
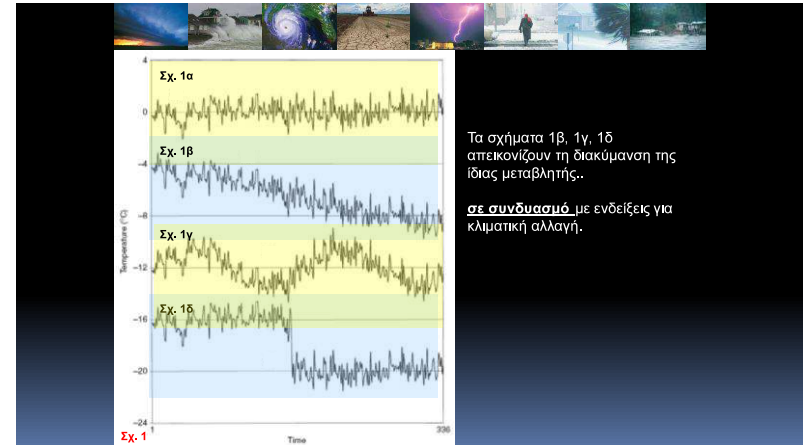
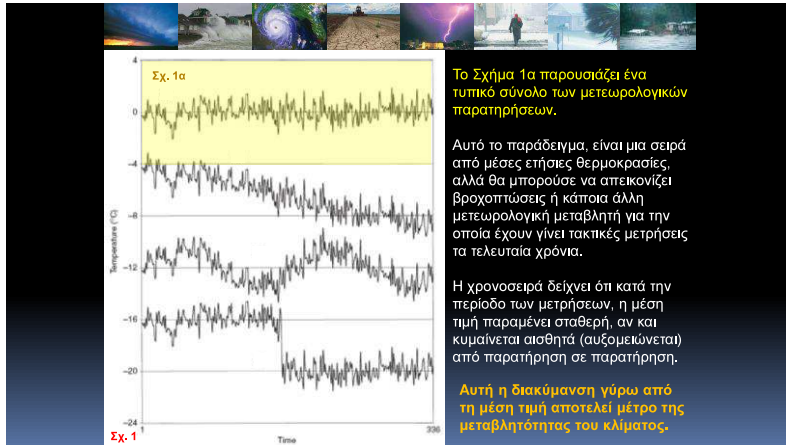
Λόγω της σύνδεσης με την παγκόσμια ατμοσφαιρική κυκλοφορία τέτοιες αλλαγές μπορεί να αντισταθμιστούν με αντίθετες αλλαγές σε άλλα μέρη του κόσμου.

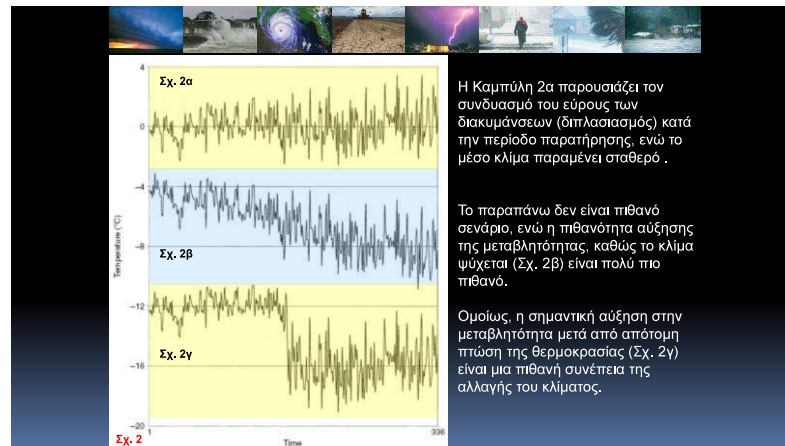
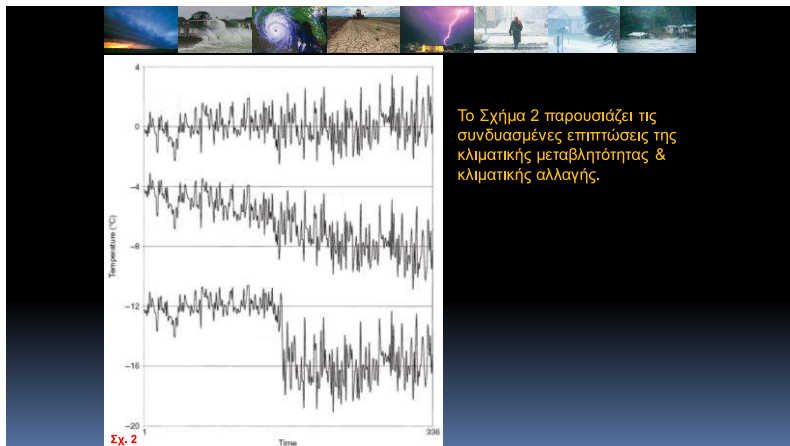
Σε παγκόσμια κλίμακα μελετάται μια συνολική θέρμανση ή ψύξη του παγκόσμιου κλίματος, αλλά όσον αφορά την εξέταση των επιπτώσεων των κλιματικών αλλαγών, οι περιφερειακές μεταβολές αποτελούν το πιο ενδιαφέρον υλικό επιστημονικής έρευνας, εφόσον έχουν σωστά τοποθετηθεί στο πλαίσιο της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής.

**Τι εννοούμε με τον όρο μεταβλητότητα του κλίματος και της κλιματικής αλλαγής;**

Αυτό οδηγεί στην ανάγκη του καθορισμού της διαφοράς μεταξύ της **μεταβλητότητας του κλίματος** και της **αλλαγής του κλίματος**.

Δεδομένου ότι θα πρέπει να εξετάσουμε τις μεταβολές σε όλη την χρονική κλίμακα από μερικά χρόνια έως κάποια εκατομμύρια χρόνια, είναι αναμενόμενο ότι υπάρχει ένας βαθμός **υποκειμενικότητας** σε αυτή τη διάκριση και έτσι είναι σημαντικό να διατυπωθεί σαφώς πώς οι δύο κατηγορίες αντιμετωπίζονται σε αυτό το μάθημα.





Για τις περισσότερες από αυτές τις διακυμάνσεις, μια βασική ερμηνεία είναι ότι η μεταβλητότητα (διακύμανση) του κλίματος αναφέρεται σε βραχυπρόθεσμες διακυμάνσεις, ενώ η κλιματική αλλαγή έχει ως θέμα τις μακροπρόθεσμες μεταβολές.

Ωστόσο υπάρχουν δύο λόγοι για τους οποίους αυτή η προσέγγιση ενέχει τον κίνδυνο της υπεραπλούστευσης των θεμάτων:

1. δεν υπάρχει περιορισμός γιατί το κλίμα μπορεί να διακυμαίνεται τυχαία σε μεγαλύτερες χρονικές κλίμακες, (αποτελώντας πρόκληση στην αναγνώριση των αιτιών της κλιματικής αλλαγής).
2. όπως ήδη αναφέρθηκε, η κλιματική αλλαγή μπορεί να συμβεί απότομα και αυτού του τύπου η αλλαγή ήταν ένας σημαντικός παράγοντας στην κλιματική ιστορία της Γης.





**ΑΛΛΑΓΗ ΤΟΥ ΚΛΙΜΑΤΟΣ:** αναφέρεται στην εξέταση των καιρικών φαινομένων, παγετώνων, άνοδο της στάθμης της θάλασσας, και σημαίνει μια στατιστικά σημαντική μεταβολή είτε στην μέση κατάσταση του κλίματος ή στην μεταβλητότητα του, που επιμένει για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα (συνήθως από 30ετίες ή και περισσότερο). Η UNFCCC ορίζει την αλλαγή του κλίματος ως "μία αλλαγή στο κλίμα που συνδέεται έμμεσα ή άμεσα με την ανθρώπινη δραστηριότητα που μεταβάλλει της σύνθεση της ατμόσφαιρας του πλανήτη και η οποία, σε αντίθεση με την φυσική μεταβλητότητα του κλίματος, παρατηρείται σε συγκρίσιμα χρονικά διαστήματα" (κλιματική μεταβλητότητα).

**ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑ** είναι η διακύμανση από τον μέσο όρο του κλίματος συμπεριλαμβανομένων των εποχιακών διακυμάνσεων και των μεγάλων ατμοσφαιρικών και θαλασσίων κύκλων (πχ το φαινόμενο El Niño, η ταλάντωση του βόρειου Ατλαντικού).

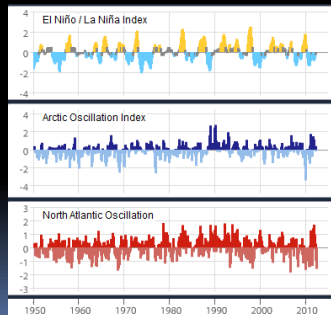


## Κλιματική μεταβλητότητα vs. Κλιματική αλλαγή

τρέχουσα κοινή χρήση των όρων, πχ από τη  
Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (IPCC)

- "**Κλιματική μεταβλητότητα**" = φυσική μεταβλητότητα
  - Φυσικοί "τρόποι" της μεταβλητότητας
- "**Κλιματική αλλαγή**" = ανθρωπογενείς επιδράσεις
  - λόγω τεχνητών αλλαγών στα αέρια του θερμοκηπίου, τις χερσαίες επιφάνειες, την κατανομή των ειδών, κλπ

Παραδείγματα εσωτερικής μεταβλητότητας του κλίματος (1950-2012),  
El Niño – Southern Oscillation, Arctic Oscillation, North Atlantic  
Oscillation

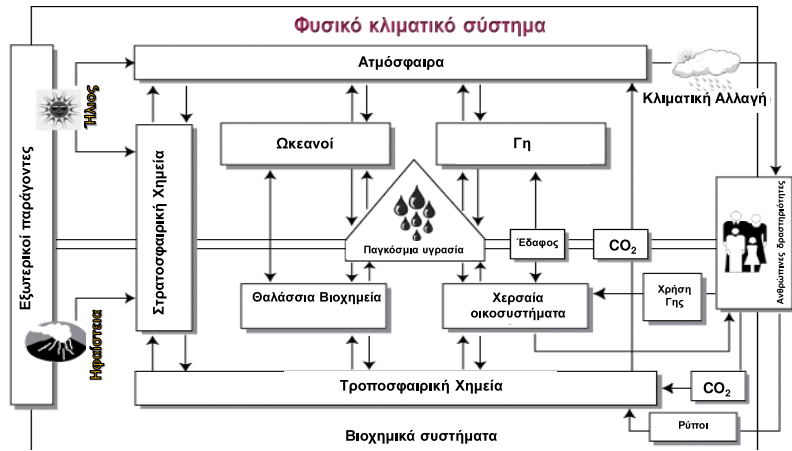


## Συνδέσεις, χρονοδιαγράμματα, αβεβαιότητες

Ο χρυσός κανόνας είναι: δεν υπεραπλουστεύουμε τη λειτουργία του κλίματος.

Στην πραγματικότητα πρόκειται για ένα εξαιρετικά περίπλοκο θέμα.

Μέρος του ενδιαφέροντος της μελέτης των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής είναι ότι το γεγονός αυτό περιλαμβάνει τόσες πολλές διαφορετικές διαδικασίες που συνδέονται σε ένα περίπλοκο ιστό.



## Συνδέσεις, χρονοδιαγράμματα, αβεβαιότητες

Το γεγονός ότι μια διαταραχή σε ένα μέρος του συστήματος μπορεί να προκαλέσει επιπτώσεις αλλού (χωρίς απλή σχέση με την αρχική διαταραχή) αποδεικνύει την πολυπλοκότητα της λειτουργίας του κόσμου γύρω μας.



The "butterfly effect", Edward Lorenz, 1972

Το φαινόμενο της πεταλούδας βασίζεται στην ιδέα ότι ο κόσμος είναι βαθιά διασυνδεδεμένος, έτσι ώστε ένα μικρό περιστατικό μπορεί να επηρεάσει ένα πολύ μεγαλύτερο περίπλοκο σύστημα. Πρόκειται για μια βασική αρχή του χάους, που περιγράφει πώς μια μικρή αλλαγή σε μια κατάσταση ενός ντετερμινιστικού μη γραμμικού συστήματος μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλες διαφορές σε μια μεταγενέστερη κατάσταση (που σημαίνει ότι υπάρχει ευαίσθητη εξάρτηση από τις αρχικές συνθήκες). Μια μεταφορά για αυτή τη συμπεριφορά είναι ότι μια πεταλούδα που χτυπά τα φτερά της στη Βραζιλία μπορεί να προκαλέσει ανεμοστρόβιλο στο Τέξας.

Η θεωρία του χάους είναι ένας διαπληθυσμικός τομέας επιστημονικής μελέτης και κλάδος των μαθηματικών που επικεντρώνεται σε υποκείμενα μοτίβα και ντετερμινιστικούς νόμους δυναμικών συστημάτων που είναι εξαιρετικά ευαίσθητα στις αρχικές συνθήκες και κάποτε θεωρούνταν ότι έχουν εντελώς τυχαίες καταστάσεις αταξίας και ανωμαλιών. Η θεωρία του χάους δηλώνει ότι μέσα στη φαινομενικά τυχαίατητα των χρονοτικών πολλαπλών συστημάτων, υπάρχουν υποκείμενα μοτίβα, ακολουθία, συνεχής βρόχος ανάδρασης, επανάληψη, αυτο-ομοιότητα και αυτοοργάνωση.

## Μηχανισμοί ανάδρασης - The nature of feedback

Όταν κάποια κλιματική μεταβλητή αλλάξει, μεταβάλλει μία άλλη με τρόπο που να επηρεάζει την αρχική μεταβλητή που προκάλεσε την αλλαγή.

Εάν αυτή η κυκλική ανταπόκριση οδηγεί στην **ενίσχυση** του αρχικού ερεθίσματος τότε το όλο σύστημα μπορεί να μετακινηθεί δραματικά προς μια δεδομένη κατεύθυνση. Αυτή η αντίδραση είναι γνωστή ως **θετική ανάδραση**.

Π.χ. παγκόσμια θέρμανση → λιγότερο χιόνι το χειμώνα → περισσότερη απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας → περισσότερη θέρμανση της επιφάνειας.

Στην αντίθετη περίπτωση η κυκλική ανταπόκριση τείνει να μειώσει (**εξασθενίση**) την επίπτωση της αρχικής αλλαγής και να οδηγήσει σε σταθερή κατάσταση. Αυτή η αντίδραση είναι γνωστή ως **αρνητική ανάδραση**.

Π.χ. παγκόσμια θέρμανση → περισσότερη εξάτμιση → περισσότεροι υδατμοί στην ατμόσφαιρα → περισσότερα νέφη → μεγαλύτερη ανακλαστικότητα της ηλιακής ακτινοβολίας → λιγότερη θέρμανση της επιφάνειας.

## Κλιματικές μελέτες

Πρέπει να συνδυάζουν τους παράγοντες που επηρεάζουν το κλίμα του πλανήτη.

- συνεχώς μεταβαλλόμενες κινήσεις της ατμόσφαιρας
- μεταβολές στην επιφάνεια της γης (π.χ. τύπος βλάστησης, υγρασία εδάφους, χιονοκάλυψη)
- θερμοκρασία επιφάνειας της θάλασσας (SST)
- έκταση του πάγου στην πολικές περιοχές
- κινήσεις του βαθύων ωκεάνιων ρευμάτων (που χρειάζονται πάνω από χίλια χρόνια για να ολοκληρώσουν έναν κύκλο, αλλά έχουν τη δυνατότητα να αλλάζουν ξαφνικά μέσα σε λίγα χρόνια σε εντελώς διαφορετικά πρότυπα).

Προσθέστε σε αυτό ότι το κλίμα που επικρατεί, σε συνδυασμό με την κατανομή των ηπείρων ελέγχει την ποσότητα των θρεπτικών συστατικών στους ωκεανούς, η οποία με τη σειρά της επηρεάζει την παραγωγικότητα των ωκεανών, και τα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα → **πολυπλοκότητα** της κλιματικής αλλαγής.





## Κλιματικές μελέτες

Εξετάζοντας τις βασικές πτυχές της μεταβλητότητας του κλίματος και της κλιματικής αλλαγής θα δούμε πως πολλές πτυχές της ζωής μας επηρεάζονται από παρελθοντικές και παροντικές διακυμάνσεις του κλίματος.

Αυτό θα αναδείξει την ανάγκη για την εξέταση της πιθανής επίδρασης των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στο κλίμα και στο μέλλον και τι μπορούμε να κάνουμε γι' αυτό.

Το πρώτο βήμα σε αυτή τη διαδικασία είναι να εξετάσουμε το Ενεργειακό ισοζύγιο της Γης.

## Ο ρόλος της ατμόσφαιρας στο ενεργειακό ισοζύγιο

Η ατμόσφαιρα είναι η πιο ευμετάβλητη συνιστώσα του κλιματικού συστήματος

Αποτελεί ένα λεπτό περίβλημα γύρω από τον πλανήτη όπου το 90% συγκεντρώνεται - στα πρώτα 15km

Οι ταχύτητες ανέμου στους αεροχειμάρρους υπερβαίνουν τα 70m/s (οι άνεμοι μεταφέρουν την ενέργεια)

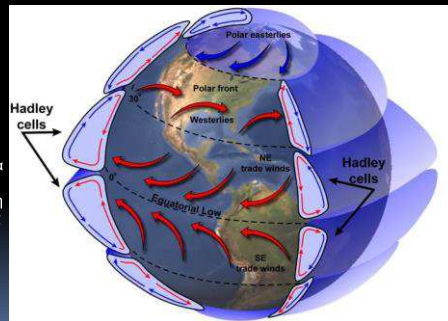
Η ατμόσφαιρα δεν έχει μεγάλη θερμοχωρητικότητα

Ο "Καιρός" λαμβάνει χώρα στην τροπόσφαιρα (κατώτερη στοιβάδα)

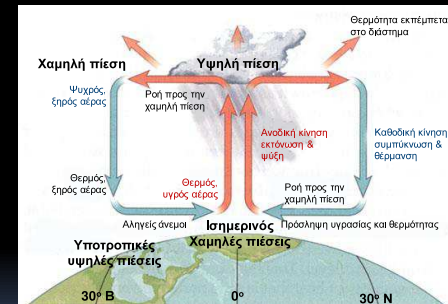
Τα καιρικά συστήματα : υφέσεις, αντικυκλώνες, θερμά/ψυχρά μέτωπα, τροπικές καταιγίδες / τυφώνες μεταφέρουν ενέργεια (θερμότητα), κυρίως προς τα επάνω και προς τους πόλους (μεγαλύτερα ΓΠ)

GEORGE HADLEY (1685-1768), Άγγλος δικηγόρος, φυσικός και μετεωρολόγος που ανέπτυξε την θεωρία για τους αληγείς ανέμους και το σχετικό πρότυπο κυκλοφορίας Βορρά-Νότου γνωστή ως το **κύτταρο Hadley**.

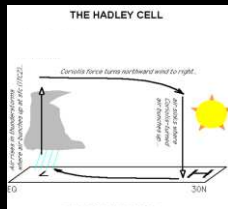
Μέσω της κυκλοφορίας στα κύτταρα Hadley η ατμόσφαιρα μεταφέρει ενέργεια από τα χαμηλά γεωγραφικά πλάτη προς τους πόλους



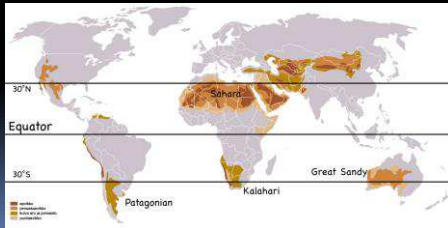
Μια απεικόνιση των κυττάρων του Hadley φαίνεται παρακάτω:



Ο θερμός αέρας ανέρχεται στον ισημερινό. Καθώς ανέρχεται, ψύχεται, συμπυκνώνεται και παράγει μεγάλες ποσότητες βροχόπτωσης. Ο αέρας ψύχεται καθώς απομακρύνεται από τον ισημερινό. Περίπου στις 30° Β/Ν ο καθ' ύψος πυκνός αέρας κατέρχεται προς την επιφάνεια της Γης. Έτσι θερμαίνεται και ο αέρας μειώνεται (έρημοι). Στην επιφάνεια, οι διαφορές πιέσεων προκαλούν αέρα να κινείται κατά μήκος της επιφάνειας προς τον ισημερινό.



Περίπου στις 30° Β/Ν ο καθ' ύψος πυκνός αέρας κατέρχεται προς την επιφάνεια της Γης. Έτσι θερμαίνεται και ο υετός μειώνεται (έρημο).



## Εξωτροπικές καταιγίδες



Οι Υφέσεις και αντικυκλώνες αποτελούν βασικό τρόπο μεταφοράς ενέργειας από τις εξωτροπικές ζώνες προς τους πόλους.

Καθώς οι άνεμοι συγκλίνουν προς το χαμηλό βαρομετρικό κέντρο, μεταφέρουν κρύο αέρα από τους πόλους προς τον ισημερινό, και θερμό αέρα από τον ισημερινό προς τους πόλους.

Όταν οι διαφορετικές μάζες αέρα συναντώνται, δημιουργούν μέτωπα, φέρνοντας εκτεταμένες βροχοπτώσεις και σημαντικές καιρικές συνθήκες, όπως καταιγίδες.

## Ο ρόλος των ωκεανών στο ενεργειακό ισοζύγιο

Οι ωκεανοί καλύπτουν το 70,8% της επιφάνειας της Γης.

Υδάτινες επιφάνειες → προσφορά υδατμών → βροχόπτωση και λανθάνουσα θερμική ενέργεια στην ατμόσφαιρα.

Η θερμοχωρητικότητα της ατμόσφαιρας ισοδυναμεί με όση από 3,5m ωκεανού. Οι ωκεανοί προσαρμόζονται αργά στις κλιματικές αλλαγές και μπορούν να δεσμεύουν τη θερμότητα για χρόνια.

Εκτίμηση της καθυστέρησης της κλιματικής αλλαγής είναι 10 έως 100 χρόνια.

Στην πραγματικότητα, η απόκριση εξαρτάται από την ταχύτητα αερισμού του νερού μέσω του θερμοκλινούς (κάθετη ανάμιξη).

Τα ρεύματα των ωκεανών αναδιανέμουν τη θερμότητα, φρέσκο νερό και διαλυμένες χημικές ενώσεις, σε όλο τον κόσμο.

### Κατηγορίες ρευμάτων:

1. Επιφανειακά ρεύματα 10%
2. Βαθιά ωκεάνια ρεύματα 90%

### Αιτίες δημιουργίας ρευμάτων:

- Ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας
- Ροή του ανέμου
- Βαρύτητα
- Δύναμη Coriolis





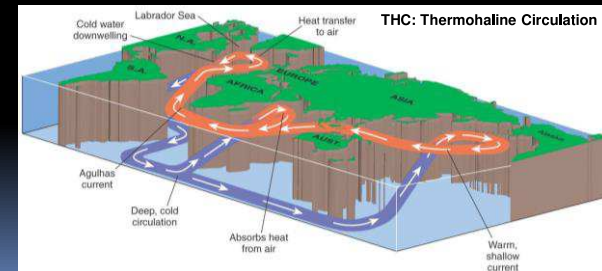
## Θερμοαλατική κυκλοφορία ή παγκόσμιος θερμοαλατικός ιμάντας: (Thermohaline circulation - THC).

Ο όρος αναφέρεται στην ωκεάνια κυκλοφορία υδάτινων μαζών που οφείλεται στη διαφορά πυκνότητας του νερού λόγω διαφορών στη θερμοκρασία και την αλατότητά του.

Μέρος της κυκλοφορίας αυτής αποτελεί το Ρεύμα του Κόλπου του Μεξικού που μεταφέρει θερμότητα προς το Βορειοανατολικό Ατλαντικό και επηρεάζει το κλίμα της Βορειοδυτικής Ευρώπης (π.χ. Μ. Βρετανία).

## Θερμοαλατική Κυκλοφορία

- Ο παγκόσμιος θερμοαλατικός ιμάντας συνεισφέρει στη μεταφορά Θερμότητας



## Θερμοαλατική Κυκλοφορία

Σύμφωνα με τη **Θερμοαλατική κυκλοφορία** (Thermohaline circulation): το **κρύο, αλιωρό** νερό στο Βόρειο Ατλαντικό όντας **πυκνότερο** ρέει προς τα κάτω στις βαθιές λεκάνες ύδατος, απλώνεται προς τα νότια και συμβάλλει στην εκτενή μίξη και κατακόρυφη κίνηση των βαθέων υδάτων των ωκεανών (σε χλιετή κλίμακα του χρόνου, ξανάρχεται στην επιφάνεια ~1200 χρόνια αργότερα).

### Σημασία:

- Η κυκλοφορία thermohaline διαδραματίζει έναν σημαντικό ρόλο στην παραγωγή της θερμότητας στις πολικές περιοχές, και στη ρύθμιση του ποσού πάγου θάλασσας σε αυτές τις περιοχές.
- Το κλίμα της βόρειας Ευρώπης και της Ασίας βασίζονται στην θερμότητα και την υγρασία που παρέχονται στην ατμόσφαιρα για τη διατήρηση ευνοϊκών κλιματικών συνθηκών για τους κατοίκους στα πολύ βόρεια γεωγραφικά πλάτη.
- Η κυκλοφορία thermohaline ασκεί ήπια επίδραση, θερμαίνοντας τη δυτική Ευρώπη ~2°C σχετικά με τη δυτική ακτή του Καναδά.

## Επιπτώσεις στο παγκόσμιο κλίμα

Η θερμοαλατική κυκλοφορία διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη μεταφορά θερμότητας στις πολικές περιοχές, και συνεπώς, στη ρύθμιση της ποσότητας του θαλάσσιου πάγου σε αυτές τις περιοχές.

Αλλαγές στην κυκλοφορία της θερμότητας θεωρείται ότι θα έχουν σημαντικές επιπτώσεις στο ισοζύγιο της ενέργειας στον πλανήτη.

Πρόσφατα ευρήματα υποδεικνύουν την αύξηση των κατακρημνίσεων στα βόρεια ΓΠ και το λιώσιμο των πάγων ως συνέπεια της

1. μείωση της καθαρής ροής της βόρειας συνιστώσας του ρεύματος του Κόλπου κατά 30% (από το 1957) &
2. αύξηση στο γλυκό νερό που προστίθεται στο Βόρειο Ατλαντικό καθώς η Γη γίνεται θερμότερη.

**ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ** η υπερθέρμανση του πλανήτη θα μπορούσε να εκτρέψει το ρεύμα του Κόλπου που κινείται προς το βορρά (Βρετανία, Νορβηγία) να κινηθεί αντίθετα, προς τον Ισημερινό. Αν συμβεί κάτι τέτοιο αυτό, το κλίμα της Ευρώπης θα επηρεαστεί σοβαρά!

### NCAR's response

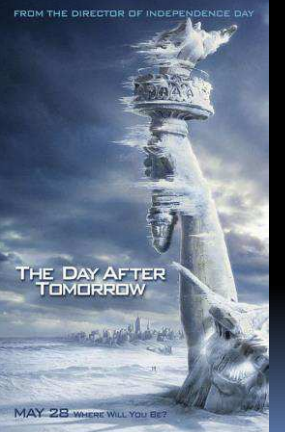
**Σενάριο ταινίας:** Πτώση της θερμοκρασίας σε επίπεδα παγετού σε ώρες.  
**Πραγματική κλιματική αλλαγή:** Οι θερμοκρασίες μπορεί να ελαττωθούν αλλά όχι τόσο γρήγορα και δραματικά όπως στην ταινία. Η υπερθέρμανση του πλανήτη θα προσθέσει περισσότερο γλυκό νερό στους ωκεανούς από την αύξηση του υετού στα μέσα και υψηλά FT, όπως και από το λιώσιμο των παγετώνων. Αυτό θα μπορούσε να επηρεάσει τα ρεύματα και μέρη της Βόρειας Αμερικής και της Ευρώπης ψυχθών. Ακόμη και αν συνέβαινε αυτό, θα χρειαζόταν πολλά χρόνια ή δεκαετίες, επειδή οι ωκεανοί μεταφέρουν θερμότητα/κρύο πολύ πιο αργά από ό, τι στην ατμόσφαιρα. (Ορισμένες άλλες στον κόσμο, ωστόσο, όπως η παραβίαση αύξηση της θερμοκρασίας των δέντρων Ετήσιου Ουεστώ γινώση ως El Niño, μπορεί να επιρροή τις περιφερειακές καιρικές συνθήκες μέσα σε λίγες εβδομάδες.)

**Σενάριο ταινίας:** Μια τερπία χιονοθύελλα πλήττει το Νέο Δελχί ως μια νέα εποχή των παγετώνων.

**Πραγματική κλιματική αλλαγή:** Οι ανθρωπογενείς εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και άλλων αερίων του θερμοκηπίου θα μπορούσε να ψύξει κάποια μέρη της Γης επιβραδύνοντας τα ωκεάνια ρεύματα, δεν μπορεί όμως να προκαλέσει μια εκτεταμένη εποχή των παγετώνων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα αυξημένα επίπεδα αερίων του θερμοκηπίου θα αυξήσουν τις θερμοκρασίες στο μεγαλύτερο μέρος του πλανήτη. Επιπλέον, η τροχιά της Γης είναι σε μια διαφορετική φάση από ό, τι κατά τη διάρκεια της τελευταίας μεγάλης εποχής των παγετώνων πριν από 20.000 χρόνια, και το βόρειο ημισφαίριο λαμβάνει περισσότερη ηλιακή ενέργεια το καλοκαίρι.

**Σενάριο ταινίας:** Ανεμοστρόβιλοι πλήττουν το Λος Άντζελες και μεγάλοι μεγέθους χαλάζι πέφτει στο Τόκιο.

**Πραγματική κλιματική αλλαγή:** Η έρευνα έχει δείξει ότι η κλιματική αλλαγή μπορεί να οδηγήσει σε πιο έντονους τυφώνες. Αλλά όταν οι επιστημονικές τρέχουν ανάλυση σε υπερπαραλλαγές, δεν μπορούν να εντοπίσουν πώς θα αλλάξει το κλίμα σε συγκεκριμένους χώρους ή να προβλέψει αν το Λος Άντζελες ή άλλες πόλεις, θα υφίστανται βίαιες καιρικές συνθήκες.



## Τύποι φυσικής μεταβλητότητας του κλίματος



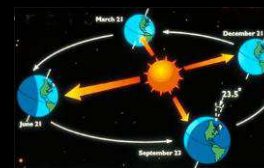
Οι κατηγορίες φυσικής μεταβλητότητας του κλίματος ταξινομούνται σύμφωνα με τους παράγοντες (*forcing type*) που τις προκαλούν (εσωτερικοί ή εξωτερικοί του κλιματικού συστήματος) και εάν είναι περιοδικές/κυκλικές ή επεισοδιακές.

### Γνωστές κατηγορίες φυσικής μεταβλητότητας:

Φαινόμενα	Χρ. περίοδος	Τύπος	forcing
1. Εποχικότητα	90 ημέρες	περιοδικό	εξωτερικό
2. El Niño/La Niña	3-5 έτη	περιοδικό	εσωτερικό
3. North Atlantic Oscillation	δεκαετία	περιοδικό	εσωτερικό?
4. Ηφαιστειακά φαινόμενα	καμία	επεισοδιακό	εξωτερικό
5. Παγετώδεις περιόδους	40.000 έτη	περιοδικό	εσωτερικό
6. Pacific Decadal Oscillation	20-50 έτη	περιοδικό	εσωτερικό?



## Ετήσιος κύκλος & Μεταβλητότητα (1 έτος)



- Η κλίση κατά 23.5° του άξονα της Γης προκαλεί εποχιακές διακυμάνσεις καθώς ο πλανήτης περιφέρεται γύρω από τον ήλιο.
- Λόγω της κλίσης του άξονα, παρατηρούνται αλλαγές στην κατανομή της ακτινοβολίας που φθάνει στη γη και προκαλεί την διαδοχή των εποχών, με πιο ακραίες εποχιακές αλλαγές σε υψηλά γεωγραφικά πλάτη, και μικρότερες πλησιέστερα στον ισημερινό.

Σύμφωνα με το παραπάνω σχήμα, κατά το καλοκαίρι του βόρειου ημισφαιρίου, το ΒΗ κλίνει προς τον ήλιο, λαμβάνοντας περισσότερη άμεση ακτινοβολία. Κατά το χειμώνα μεγάλο μέρος του ΒΗ στρέφεται αντίθετα από τον ήλιο και έτσι δέχεται λιγότερη άμεση ακτινοβολία.



## Ηφαιστειακές εκρήξεις & κλίμα:

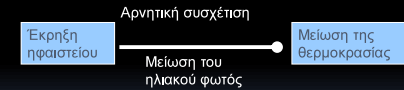


- Οι επιπτώσεις των ηφαιστειακών εκρήξεων για τον καιρό, το κλίμα και τη χημεία της ατμόσφαιρας εξαρτώνται από το υλικό που απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα κατά τις εκρήξεις που λαμβάνουν χώρα.
- Κλιματικά σημαντικές εισροές περιλαμβάνουν ενώσεις του θείου (κυρίως SO<sub>2</sub>), αλογόνα, H<sub>2</sub>O, καθώς και σωματίδια πυριτικής σύστασης.



## Ηφαιστειακές εκρήξεις & κλίμα:

- Αιτία και αποτέλεσμα: παράδειγμα αρνητικής συσχέτισης (αύξηση στη μία παράμετρο προκαλεί μείωση στην άλλη)
  - Το Ηφαίστειο προκαλεί αερολύματα
  - Προκαλεί την ψύξη και μείωση της θερμοκρασίας



Ανάδραση::

**Καμία** δεδομένου ότι η θερμοκρασία του αέρα δεν αλλάζει τη συχνότητα δραστηριοποίησης των ηφαιστείων



## Ηφαιστειακές εκρήξεις & κλίμα:

**Πότε μια ηφαιστειακή έκρηξη θεωρείται κλιματικά σημαντική;**

- φύση της έκρηξης - λάβα vs. τέφρα (στάχτη είναι πιο σημαντικό)
- σύνθεση - υψηλή περιεκτικότητα σε διοξείδιο του θείου
- τοποθεσία – Τροπικής ζώνης έκρηξη εξαπλωθεί σε παγκόσμιο επίπεδο

Στις περισσότερες εκρήξεις, τα σωματίδια έχουν μικρή μόνο συνεισφορά. Αν το διοξείδιο του θείου μπορεί να φτάσει στη στρατόσφαιρα, μετατρέπεται σε μικρά σταγονίδια θειικού οξέος που έχουν μεγάλο χρόνο παραμονής στη σταθερή στρατόσφαιρα. Είναι αυτό το νέφος των σωματιδίων που εξαπλώνεται και επιδρά στο κλίμα για μεγάλες χρονικές περιόδους.

Φαινόμενα που συνδέονται με φυσική μεταβλητότητα του κλιματικού συστήματος (Αλληλεπιδράσεις Ωκεανών-Ατμόσφαιρας)

Ατλαντικού..

**AO – Arctic Oscillation** (Αρκτική ταλάντωση)

**NAO – North Atlantic Oscillation** (Βορειοατλαντική ταλάντωση)

Ειρηνικού..

**PDO – Pacific Decadal Oscillation** (Δεκαετής ταλάντωση Ειρηνικού)

**ENSO – El Nino / Southern Oscillation** (Ελ Νίνιο)

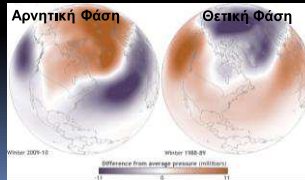
## Arctic Oscillation (AO)

Η Αρκτική Ταλάντωση (AO) είναι ένας κλιματικός δείκτης της κατάστασης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας πάνω από την Αρκτική.

Αποτελείται από μια αρνητική φάση, με γεωδυναμικά ύψη πάνω του μέσου όρου, και μία θετική φάση όπου συμβαίνει το αντίθετο.

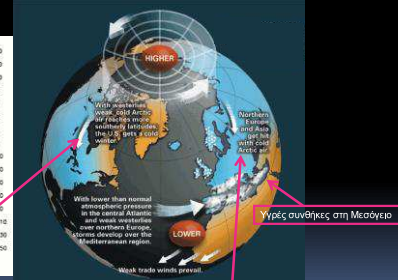
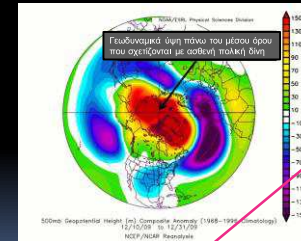
Στην αρνητική φάση, το πολικό σύστημα χαμηλής πίεσης (γνωστό ως πολική δίνη/ polar vortex) πάνω από την Αρκτική είναι ασθενέστερο και προκαλεί εξασθένηση των ανέμων καθ' ύψος (westerlies). Έτσι ψυχρός αέρας της Αρκτικής κινείται νοτιότερα (στις ΗΠΑ) και οι τροχιές των καταιγίδων μετατοπίζονται νοτιότερα.

Στη θετική φάση, το πολικό σύστημα χαμηλής πίεσης (πολική δίνη) πάνω από την Αρκτική είναι ισχυρότερο όπως και οι δυτικοί άνεμοι.



## AO – Αρνητική φάση

Πρώτο κυκλοφορίας με υψηλότερη από την κανονική ατμοσφαιρική πίεση πάνω από την Αρκτική οδηγεί σε ασθενείς δυτικούς ανέμους στην ανώτερη ατμόσφαιρα στα βόρεια ΓΠ.

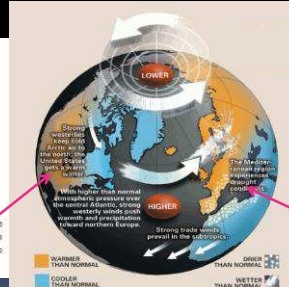
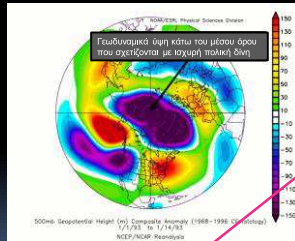


Ασθενής δυτική κυκλοφορία → ψυχρός αρκτικός αέρας κατερχεται σε νοτιότερα ΓΠ → ΨΥΧΡΟΙ ΧΕΙΜΩΝΕΣ στις ΗΠΑ, Β. Ευρώπη, Ασία

Ψυχρός αρκτικός αέρας επιτελείται Β. Ευρώπη και Ασία

## AO – Θετική φάση

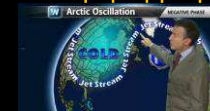
Πρώτο κυκλοφορίας με χαμηλότερη από την κανονική ατμοσφαιρική πίεση πάνω από την Αρκτική οδηγεί σε ισχυρούς δυτικούς ανέμους στην ανώτερη ατμόσφαιρα στα βόρεια ΓΠ.



Ισχυρή δυτική κυκλοφορία → ψυχρός αρκτικός αέρας παραμένει σε βορειότερα ΓΠ → ΗΠΙΟΙ ΧΕΙΜΩΝΕΣ στις ΗΠΑ, Β. Ευρώπη, Ασία

## Δεκ'13-Ιαν'14 (ΗΠΑ)

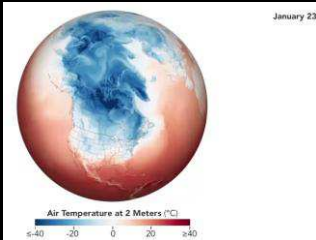
### AO – Αρνητική φάση



San Gabriel Mountains, LOS ANGELES, CALIFORNIA, January 16, 2014

INDIANAPOLIS, INDIANA January 6, 2014

## January–February 2019 North American cold wave



Στα τέλη Ιανουαρίου 2019, ένα ισχυρό κύμα ψύχους που προκλήθηκε από την πολική όλη (polar vortex) της Αρκτικής έπληξε τις Μεσοδυτικές Ηνωμένες Πολιτείες και τον Ανατολικό Καναδά.

Η χειμερινή καταιγίδα έφερε έως και 33 εκατοστά χιονιά σε ορισμένες περιοχές από τις 27 έως τις 29 Ιανουαρίου και τις πιο χαμηλές θερμοκρασίες των τελευταίων 20 ετών στις περισσότερες τοποθεσίες στην πληγείσα περιοχή, συμπεριλαμβανομένων ορισμένων χαμηλών ρεκόρ όλων των εποχών.

Η χαμηλότερη θερμοκρασία -56 °F (-49 °C) στη Μινεσότα, στις 27 και 31 Ιανουαρίου.

Τουλάχιστον 22 θάνατοι στη Βόρεια Αμερική έχουν αποδοθεί άμεσα στο κύμα ψύχους, με αρκετούς να οφείλονται σε υποθερμία.

Περίπου 2.700 πτήσεις ακυρώθηκαν στις 30 Ιανουαρίου, ενώ 2.000 ακυρώθηκαν την επόμενη μέρα. Ακυρώσας έγιναν και σε δρομολόγια τρένων.

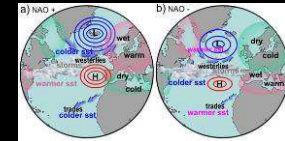


Ο ποταμός του Σικάγο πάγωσε κατά τη διάρκεια της πολικής όλης του 2019 (1/2/2019)



## Ταλάντωση του Βορείου Ατλαντικού - North Atlantic Oscillation (NAO)

- Η Βόρειο-Ατλαντική ταλάντωση είναι ένα γνωστό, πολύπλοκο κλιματικό φαινόμενο που επηρεάζει το κλίμα της Ευρώπης και όχι μόνο.

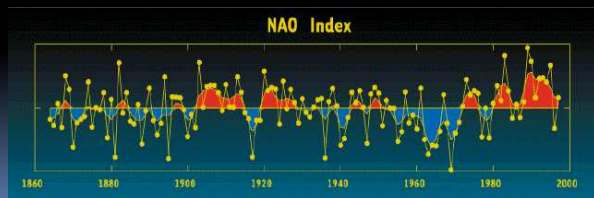


- Περιγράφει τη διακύμανση/ανακατανομή στην διαφορά της ατμοσφαιρικής πίεσης μεταξύ της υποτροπικής ζώνης των Αζορών (νησιά της Πορτογαλίας 1500km δυτικά της Λισαβόνας) χαρακτηριζόμενη από ένα βαρομετρικό υψηλής πίεσης κέντρο και της Αρκτικής πάνω από την Ισλανδία, χαρακτηριζόμενη από ένα κέντρο χαμηλής ατμοσφαιρικής πίεσης.



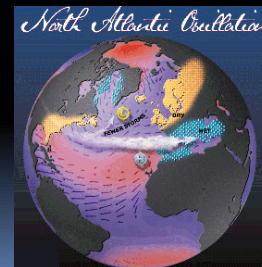
## Ταλάντωση του Βορείου Ατλαντικού - North Atlantic Oscillation (NAO)

- Ο δείκτης του NAO ορίζεται ως η διαφορά ατμοσφαιρικής πίεσης μεταξύ του πολικού χαμηλού και του υποτροπικού υψηλού κατά τη χειμερινή περίοδο (Δεκέμβριος ⇒ Μάρτιος)



## Χαμηλός δείκτης NAO (αρνητικό NAO-)

- Ο χαμηλός δείκτης NAO (αρνητικό NAO-) χαρακτηρίζεται από μειωμένη διαφορά πίεσης μεταξύ Ισλανδίας και Αζορών, καταστολή των δυτικών ανέμων, άρα και μειωμένης μεταφοράς θερμότητας και υγρασίας.

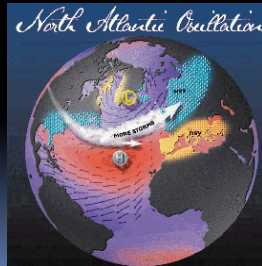


- Φέρει υγρό αέρα στη Μεσόγειο και κρύο αέρα στη βόρεια Ευρώπη.
- Η ασθενής βαροβαθμίδα οδηγεί σε λιγότερες καταιγίδες το χειμώνα (σε μια πιο δυτική-ανατολική τροχιά) και ακραίες θερμοκρασίες (πχ. όμιλυτοι χειμώνες, καύσωνες το καλοκαίρι).
- Οι καταιγίδες έχουν πιο νότια διεύθυνση προς τη Μεσόγειο θάλασσα και αυτό δημιουργεί αυξημένη δραστηριότητα και περισσότερες βροχοπτώσεις στη Νότια Ευρώπη και τη βόρεια Αφρική.
- Η ανατολική ακτή των ΗΠΑ βιώνει ψυχρές και χιονώδεις καρικές συνθήκες.



## Υψηλός δείκτης NAO (θετικό NAO+)

- Ο υψηλός δείκτης NAO (θετικό NAO+) χαρακτηρίζεται από μεγάλη διαφορά πίεσης μεταξύ Ισλανδίας και Αζόρων, έντονους δυτικούς ανέμους (westerlies), οι οποίοι μεταφέρουν θερμότητα και υγρασία από τον Ατλαντικό στην Ευρωπαϊκή ήπειρο μεταξύ 40°N-60°N.

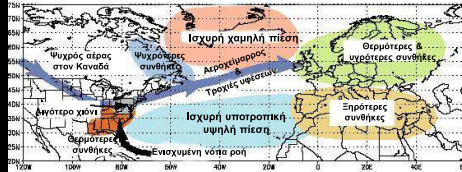


- Οι westerlies κατευθύνονται από δυτικά στα ανατολικά με βόρεια κατεύθυνση, προκαλούν εμφάνιση καταιγίδων και συχνές βροχοπτώσεις στη Ν Γροιλανδία, Ισλανδία, Β Ευρώπη, καθώς επίσης και την αύξηση θερμοκρασιών στην Ευρώπη, Ευρασία, Β Αμερική και μείωση θερμοκρασίας στην Ν Αφρική και Μέση Ανατολή.
- Αυτό οδηγεί σε ζεστούς και υγρούς χειμώνες στην Ευρώπη και σε κρύους και ξηρούς χειμώνες στο βόρειο Καναδά και τη Γροιλανδία
- Οι ανατολικές ΗΠΑ, βιώνουν ήπιες και υγρές χειμερινές συνθήκες.

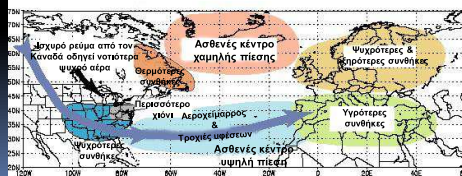
## North Atlantic Oscillation

- Θετική Φάση:**
  - Συχνότερες & ισχυρότερες καταιγίδες το χειμώνα από τον Ατλαντικό, ακολουθώντας βορειότερη τροχιά
  - Οδηγεί σε ζεστούς & υγρούς χειμώνες στην Ευρώπη και σε κρύους και ξηρούς χειμώνες στο Β. Καναδά και τη Γροιλανδία
  - Οι Ανατολικές ΗΠΑ βιώνουν ήπιες και υγρούς χειμώνες
- Αρνητική Φάση:**
  - Λιγότερες & ασθενέστερες καταιγίδες, που ακολουθούν νοτιότερες τροχιές
  - Φέρνει υγρό αέρα στη Μεσόγειο και κρύο αέρα στη Β. Ευρώπη
  - Οι Ανατολικές ΗΠΑ βιώνουν πολύ ψυχρές συνθήκες & χιονοπτώσεις

### Θετική Φάση NAO



### Αρνητική Φάση NAO



## El Niño-Southern Oscillation (ENSO)

- ENSO αποτελεί μία από τις βασικές αιτίες της παγκόσμιας κλιματικής μεταβλητότητας.
- Αλληλεπίδραση Ωκεανών-Ατμόσφαιρας στην τροπική ζώνη του Ειρηνικού
- Μεταβολές σε ανέμους, ωκεάνιες θερμοκρασίες, νέφωση και βροχοπτώσεις
- Παρατηρείται κάθε 3-5 χρόνια και διαρκεί 12-18 μήνες
- Εκπνέει με τον δείκτη 'Southern Oscillation Index'**
- $SOI = 10 \times ((\text{average Tahiti MSLP for month}) - (\text{average Darwin MSLP for month}) - \text{long term average difference for month}) / \text{long term standard deviation of difference for month}$
- Κατά το ισχυρό El Niño (e.g. 1997/98), η παγκόσμια θερμοκρασία ανήλθε κατά 0.3 °C
- Επιπτώσεις:**
  - Αλιεία στο Περού
  - Λεύκανση των κοραλλιών που οφείλεται στις υψηλές θερμοκρασίες της θάλασσας
  - Βροχοπτώσεις στη Νότια Αμερική
  - Παγκόσμιες τηλεσυνδέσεις - π.χ. συνδέονται με τη ξηρασία στην Αφρική
  - Επίδραση στην ισχύ των τροπικών καταιγίδων

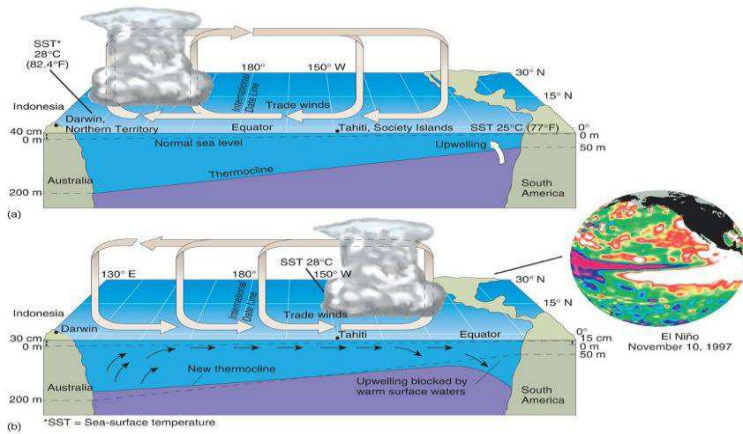
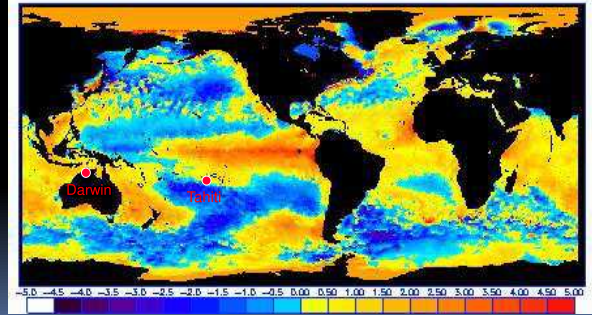


## El Niño-Southern Oscillation (ENSO) Events

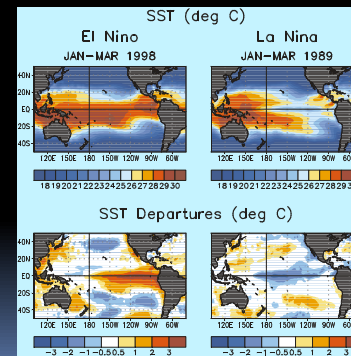
- **ENSO**, ημι-περιοδικό φαινόμενο που διαμορφώνει τα κλιματικά πρότυπα στον τροπικό Ειρηνικό Ωκεανό περίπου κάθε πέντε έτη. Χαρακτηρίζεται από μεταβολές στη θερμοκρασία της επιφάνειας των υδάτων του ανατολικού τροπικού Ειρηνικού Ωκεανού -θέρμανσης ή ψύξης γνωστά ως **El Niño** και **La Niña**, αντίστοιχα, και της ατμοσφαιρικής πίεσης στην επιφάνεια στον τροπικό δυτικό Ειρηνικό - γνωστό ως **Νότια Ταλάντωση**.
- Η θερμή ωκεάνια φάση **El Niño**, συνοδεύεται από υψηλή ατμ. πίεση στην επιφάνεια στο Δ. Ειρηνικό, ενώ η ψυχρή φάση **La Niña**, συνοδεύεται από χαμηλή ατμ. πίεση στην επιφάνεια στο Δ. Ειρηνικό.

## Darwin and Tahiti

NOAA Current SST Anomalies, 2/24/1998



The El Niño/Southern Oscillation (ENSO) is a major factor in global climate variability.





## El Niño-Southern Oscillation (ENSO)

Το φαινόμενο El Niño διαταράσσει τη ζωή φυτών και ζώων στον Ειρηνικό Ωκεανό, και προκαλεί μεταβολές στις εποχές ως αντίκτυπο στο κλίμα του πλανήτη.

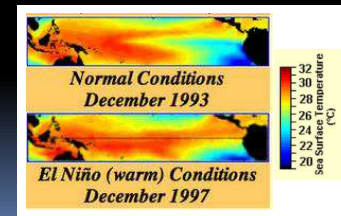
Ο όρος El Niño (ισπανικά για «το θείο βρέφος») επινοήθηκε από ψαράδες της Νότιας Αμερικής σε σχέση με τα ζεστά ρεύματα των ωκεανών που εμφανίζονται περιοδικά γύρω στα Χριστούγεννα και μπορεί να διαρκέσει για μήνες.

Εννέα El Niño έχουν συμβεί κατά τη διάρκεια των τελευταίων 40 ετών – που συνδέονται με υψηλότερες θερμοκρασίες των ωκεανών, μειωμένη παραγωγικότητα ωκεανού και έντονες βροχοπτώσεις σε πολλές περιοχές της Γης.



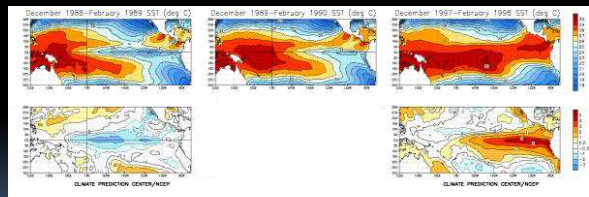
Τα παρακάτω σχήματα (πηγή: NOAA AVHRR) παρουσιάζουν κανονικές θερμοκρασίες της επιφάνειας της θάλασσας (1993) και εκείνες του El Niño του 1997, ενός από τα πιο σοβαρά επεισόδια του 20<sup>ου</sup> αιώνα.

Σε κανονικές συνθήκες το δυτικό τμήμα του τροπικού Ειρηνικού Ωκεανού, αποτελεί μια μεγάλη «θερμή λίμνη» νερού, ενώ δροσερά νερά συναντώνται στις ακτές της Νότιας Αμερικής. Κατά τη διάρκεια του El Niño τα ζεστά νερά εξαπλώνονται σε όλο τον τροπικό Ειρηνικό Ωκεανό.



## El Niño, La Niña and ENSO

La Niña                      Time mean                      El Niño

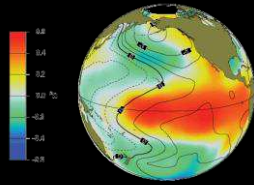


Οι ερευνητές έχουν τώρα μια αρκετά καλή κατανόηση των παγκόσμιων καιρικών επιδράσεων που προκαλούνται από το φαινόμενο El Niño.

Οι επιστήμονες έχουν δείξει ότι το El Niño προκαλεί ξηρασία στην Αφρική, την Αυστραλία και τη Νοτιοανατολική Ασία, ενώ η μείωση της παραγωγικότητας στον Ειρηνικό Ωκεανό επηρεάζει τις αλιευτικές δραστηριότητες.



## Κλιματική Μεταβλητότητα (Climate Variability): ENSO - El Niño Southern Oscillation



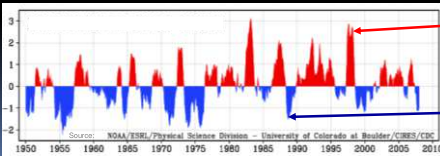
Διακυμάνσεις μέσα στο έτος συνδέονται συχνά με το φαινόμενο ENSO.

ΒΔ περιοχές:  
El Niño = **θερμοί/ξηροί** χειμώνες,  
La Niña = **ψυχροί/υγροί** χειμώνες.

Επιδράσεις του ENSO γίνονται αντιληπτές σε πλανητικό επίπεδο.

Οι επιδράσεις του ENSO είναι πιο έντονες νοτιότερα κοντά στην περιοχή γένεσής του, πλησίον του Ισημερινού Ειρηνικού.

Source: UW Climate Impacts Group When/Phase ENSO

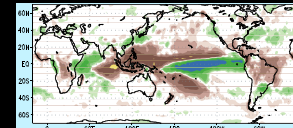


Έτος με ισχυρό El Niño

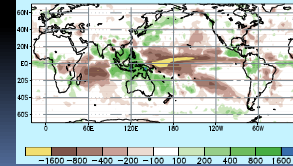
Έτος με ισχυρή La Niña

Source: NOAA/ES&P Physical Science Division - University of Colorado at Boulder /CIRES/UCP

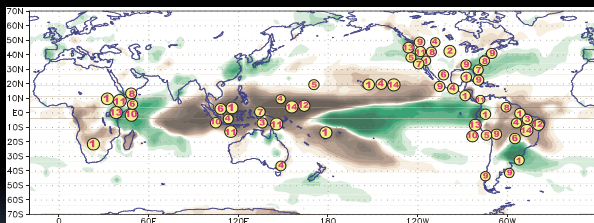
## Rainfall Changes Associated with ENSO are the Largest Source of Variability in the Tropics ENSO Also Impacts Hurricane Activity Departure from Normal (mm) El Niño (July 1997-June 1998)



La Niña (July 1998-June 1999)



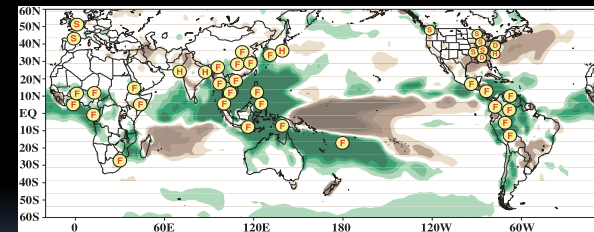
## Societal Impacts from 1997/98 El Niño



- |                         |                             |
|-------------------------|-----------------------------|
| 1. Crop/Stock Damage    | 8. Pests Increased          |
| 2. Energy Savings       | 9. Property Damage          |
| 3. Famine               | 10. Tourism Decreased       |
| 4. Fires                | 11. Transportation Problems |
| 5. Fisheries Disruption | 12. Social Disruptions      |
| 6. Health Risks         | 13. Wildfire Fatalities     |
| 7. Human Fatalities     | 14. Water Rationing         |



## Major Weather-Related Natural Disasters (1999 La Niña)



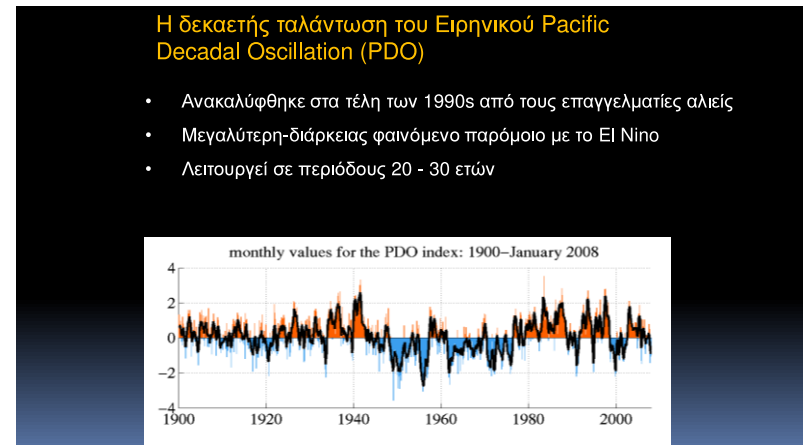
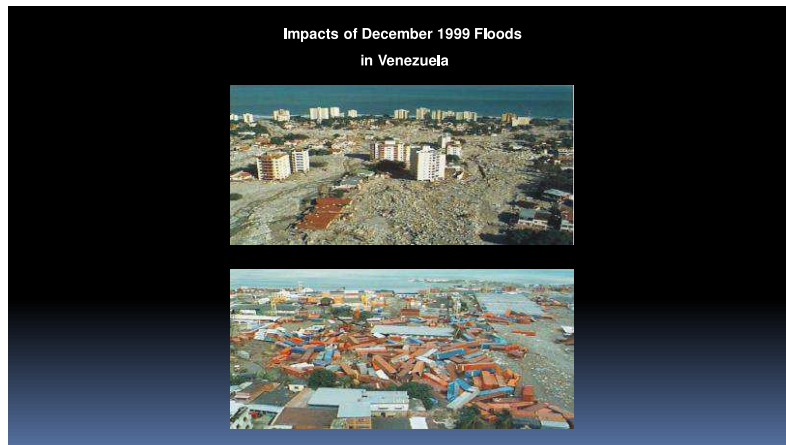
- ⊙ Storms, Hail, Tornadoes
- ⊙ Floods, Landslides
- ⊙ Hurricanes, Typhoons
- ⊙ Drought

	Victims	Insured Losses
Flood	55,360	\$1.3B
Storms	16,863	\$17.0B
Droughts	404	-
Cold Waves	409	\$1.3B

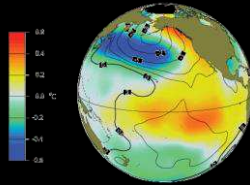


**Περιοχικές πλημμύρες το 1999 πιθανόν λόγω του φαινομένου La Nina**

Ημερομηνία	Επεισόδιο
9-16 Απριλίου	κατολισθήσεις & ισχυρές βροχοπτώσεις στην Κολομβία
5-15 Μαΐου	ισχυρές βροχοπτώσεις Amazonas, Περού
15-22 Αυγούστου	Πλημμύρες στην ανατολική Βενεζουέλα
30 Αυγ. - 11 Σεπτ.	Πλημμύρες στην Κολομβία: Αντίοquia, Cordoba, Choco
12-29 Σεπτ.	Συνεχείς βροχοπτώσεις, πλημμύρες, κατολισθήσεις στην Κολομβία, Ονδούρα, Νικαράγουα, Γουατεμάλα
12-19 Δεκ.	Μεγάλες πλημμύρες και κατολισθήσεις στην Βενεζουέλα (χιλιάδες θύματα & άστεγοι, εκκενώσεις κατοικημένων περιοχών )



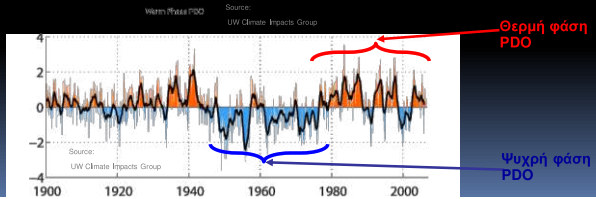
Κλιματική Μεταβλητότητα (Climate Variability):  
PDO - Pacific Decadal Oscillation



Διακυμάνσεις μέσα σε διάστημα δεκαετίας συνδέονται με το PDO.

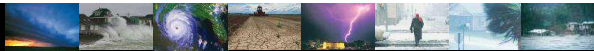
ΒΔ περιοχές:  
Θερμής φάσης PDO = **θερμοί/ξηνοί** χειμώνες.  
Ψυχρής φάσης PDO = **ψυχροί/υγροί** χειμώνες.

Επίσης, τα αποτελέσματα φαίνονται σε εκτενείς περιοχές. Ωστόσο, η μορφή της χρονοσειράς είναι διαφορετική



Το Κλίμα κατά τη διάρκεια θετικής (θερμής) φάσης PDO

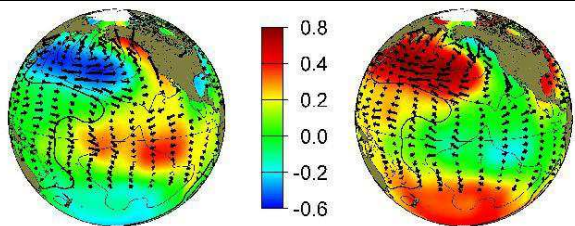
- Θερμά ωκεάνια ύδατα στον ανατολικό Ειρηνικό.
- Αυτά προκαλούν την ανάπτυξη κέντρων χαμηλής πίεσης.
- Οι αεροχίμαρροι μετακινούνται σε νοτιότερες τροχιές.
- Ξηρές και θερμές συνθήκες (ξηρασία) στις βορειοδυτικές ΗΠΑ.
  - Οι καιρικές συνθήκες ευνοούν τις πυρκαγιές στις ΒΔ ΗΠΑ.
- Υγρές και δροσερές συνθήκες στις νοτιοδυτικές ΗΠΑ = ταχεία ανάπτυξη της καύσιμης άλης.
  - Η φάση La Niña προκαλεί ξήρανση των καυσίμων = ευνοϊκές καιρικές συνθήκες πυρκαγιών στις νοτιοδυτικές ΗΠΑ.



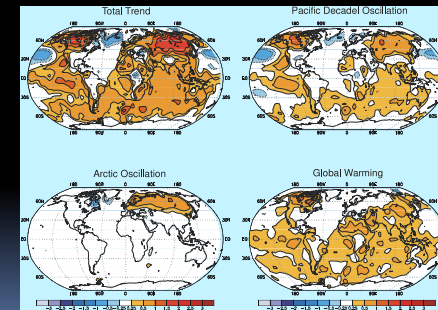
Τυπικές SST του χειμώνα κατά τη θερμή και ψυχρή φάση του PDO

Θερμή φάση

Ψυχρή φάση



Contributions to Surface Temperature Trend from 1950-1999





### Ακραία φαινόμενα προκαλούνται από:

- Διαφοροποιήσεις στο κλίμα (π.χ. El Nino, La Nina στους Τροπικούς)
- Ασυνήθιστη ατμοσφαιρική κυκλοφορία (κυρίως λόγω ατμοσφαιρικής μεταβλητότητας)
- αλληλεπίδραση παραγόντων με επιπτώσεις στη θερμοκρασία (π.χ. ENSO, PDO, AO, παγκόσμια θέρμανση)

Οι επιπτώσεις της παγκόσμιας θέρμανσης σε μεταβολές στην ατμοσφαιρική κυκλοφορία (πχ ακραία φαινόμενα) αποτελούν αντικείμενο έρευνας.



### Συμπεράσματα (φυσική μεταβλητότητα του κλίματος)

- Η μεταβλητότητα του κλίματος είναι ένα φυσιολογικό φαινόμενο του κλιματικού συστήματος
- Βραχυπρόθεσμες φυσικές επιδράσεις επί του κλίματος προκαλούνται από τα ηφαίστεια, διακυμάνσεις στην ηλιακή ακτινοβολία, και την εσωτερική μεταβλητότητα του κλιματικού συστήματος.
- Φυσική μεταβλητότητα μπορεί να ερμηνεύσει διακυμάνσεις της τάξης των  $\pm 0.4$  K
- Η θέρμανση του πλανήτη κατά τον τελευταίο αιώνα έχει υπερβεί τα όρια της φυσικής μεταβλητότητας - η αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου από τις ανθρώπινες δραστηριότητες είναι η προφανής επικρατούσα εξήγηση.
- Είναι πιθανό ότι οι ανθρώπινες δραστηριότητες έχουν επηρεάσει τη μεταβλητότητα του κλίματος, αλλά και το μέσο κλίμα.