ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΑΛΛΑΓΕΣ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ CO_2

ΠΛΟΥΜΗΣ ΑΓΓΕΛΟΣ
2002.05.0035

CO_2

ΧΑΝΙΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2009

αφιερωμένη
στον Αλέξανδρο Γρηγορόπουλο
και στην Κωνσταντίνα Κούνεβα

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ 7
2. ΠΑΛΑΙΟΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑ 11
   Στοιχεία του κλίματος του παρελθόντος 14
   Θεωρίες που ερμηνεύουν τις κλιματικές μεταβολές 21
   Μοντέλα αναπαραγωγής του κλιματικού παρελθόντος 38
3. ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ 39
   Ατμόσφαιρα 39
   Θερμοκρασία 42
   Μετρήσεις θερμοκρασίας 43
   Κλιματική Αλλαγή 51
   Κλιματικοί παράμετροι 52
   Φαινόμενο του θερμοκηπίου 59
4. ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ 63
   Ιδιότητες 63
   Κύκλος του άνθρακα 64
   Μετρήσεις διοξειδίου του άνθρακα 68
5. ΣΧΕΣΗ CO_2 – ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ 119
   Ατμοσφαιρική ερμηνεία της κλιματικής μεταβολής 120
   Η αμφισβήτηση της θεωρίας 124
6. ΜΟΝΤΕΛΑ - ΠΡΟΒΛΕΨΗ 137
   Η πρόβλεψη του μελλοντικού κλίματος 138
   Κριτική στα μοντέλα και τις προβλέψεις 146
7. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΤΟΥ CO_2 149
   Θεωρητικό υπόβαθρο 151
   Συντελεστής πτητικότητας 153
   Συντελεστής κατανομής 158
   Συμπεράσματα-Αβεβαιότητες 161
8. ΚΟΙΝΩΝΙΚΕΣ ΠΡΟΕΚΤΑΣΕΙΣ 163
   Κοινωνικές προεκτάσεις 164
   Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας 166
9. ΑΝΑΦΟΡΕΣ 169
   Βιβλιογραφία 169
   Προσωπογραφία 171
   Ακρώνυμα 174

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία, με τίτλο «*Κλιματικές αλλαγές με έμφαση στην επίδραση του* CO_2», εκπονήθηκε από τον Ιούλιο του 2008, εώς τον Ιούνιο του 2009 στα Χανιά, στο τμήμα *Μηχανικών Περιβάλλοντος* του *Πολυτεχνείου Κρήτης*, υπό την επίβλεψη του καθηγητή *Β.Γκέκα*, με τη βοήθεια σύσσωμου του εργαστηρίου *Φαινομένων Μεταφοράς και Θερμοδυναμικής*.

Η εργασία πραγματεύεται την παρατηρούμενη κλιματική μεταβολή, πρόσφατη και διαχρονική, τις θεωρίες που προσπαθούν να την ερμηνεύσουν, καθώς και τους δίαφορους παράγοντες που την επηρρεάζουν με έμφαση στο ρόλο του διοξειδίου του άνθρακα. Η εργασία αυτή έρχεται σαν ένα μικρό πρώτο βήμα, σε συμβολή με πολλές άλλες εργασίες του ίδιου εργαστηρίου, να καλύψει ένα κενό που παρατηρείται στην ελληνική βιβλιογραφία σχετικά, με το ζήτημα των κλιματικών αλλαγών και των αιτιών που τις προκαλούν.

Στο 2^{ο} κεφάλαιο, γίνεται μια συνοπτική παρουσίαση της μελέτης των αρχαίων κλιμάτων, του αντικειμένου της Παλαιοκλιματολογίας, των διαφόρων στοιχείων που χρησιμοποιούν οι επιστήμονες για να προσεγγίσουν τις μεταβολές της θερμοκρασίας του παρελθόντος, καθώς και των αποτελεσμάτων τους, των αναπαραστάσεων του κλιματικού παρελθόντος. Γίνεται παρουσίαση των κλιματικών συνθηκών που επικρατούσαν στη Γη, ανά τους Γεωλογικούς Αιώνες, των κομβικών κλιματικών γεγονότων, με έμφαση στις θερμοκρασιακές μεταβολές και στα δεδομένα που στηρίχτηκαν οι επιστήμονες για τη στοιχειοθέτηση τους. Επίσης γίνεται παρουσίαση στις θεωρίες που προσπαθούν να ερμηνεύσουν αυτές τις αλλαγές, στη θεωρία των λιθοσφαιρικών πλακών, στη θεωρία της ορογένεσης, της ηφαιστειακής δράσης, στη θεωρία της στάθμης της θάλασσας, στην ατμοσφαιρική ερμηνεία ή αλλιώς στη θεωρία της εντάσεως του φαινομένου του θερμοκηπίου, στη θεωρία του ψυχρού Ηλίου, στη θεωρία των ηλιακών κηλίδων και των κοσμικών ακτίνων, καθώς και στην αστρονομική θεωρία των κλιματικών αλλαγών.

Στο 3^{ο} κεφάλαιο, γίνεται μια εκτενής παρουσίαση των σύγρονων κλιματολογικών συνθηκών, παρουσιάση των ιδιοτήτων της ατμόσφαιρας, θεωρητική προσέγγιση της έννοιας της θερμοκρασίας και πως αυτή επιδρά με το γήινο περιβάλλον, μεθοδολογίες στη μέτρηση της θερμοκρασίας, παρουσίαση των αποτελεσμάτων και των τάσεων των σύγχρονων μετρήσεων της θερμοκρασίας. Μελετώνται δεδομένα της πρόσφατης κλιματικής αλλαγής του τελευταίου αιώνα και όλων των παραγόντων που επηρρεάζονται ή επηρρεάζουν, οι άνεμοι, η βροχόπτωση, τα θαλάσσια ρεύματα, τα σύννεφα, η ηλιακή ακτινοβολία. Παρουσιάζονται επίσης, σε θεωρητικό επίπεδο, το φαινόμενο του θερμοκηπίου, καθώς και η ανθρωπογενής ένταση του φαινομένου.

Στο 4^{ο} κεφάλαιο, παρουσίαζονται οι βασικές ιδιότητες του διοξειδίου του άνθρακα, ο κύκλος του και οι δεξαμενές του. Γίνεται εκτενής αναφορά στις μετρήσεις του CO_2, στις μεθοδολογίες και στα αποτελέσματα. Παρουσιάζεται ιστορικό από τις προσεγγίσεις για τη συγκέντρωση του CO_2 κατά τη διάρκεια των γεωλογικών αιώνων, αλλα και οι σύγχρονες μετρήσεις και ανοδικές τάσεις της συγκέντρωσης του CO_2 στην ατμόσφαιρα του πλανήτη.

Στο 5^{ο} κεφάλαιο, μεταφέρεται η συζήτηση που υπάρχει στην επιστημονική κοινότητα και η ποικιλία των θεωριών, όσον αφορά στη σχέση του διοξειδίου του άνθρακα με τη θερμοκρασία, ή καλύτερα στη σχέση της μεταβολής της ατμοσφαιρικής συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα με τη μεταβολή της πλανητικής θερμοκρασίας. Παρουσιάζεται διεξοδικά η ατμοσφαιρική ερμηνεία της κλιματικής αλλαγής, η επιρροή του CO_2 στο κλίμα της γης, αλλά και οι ενστάσεις κάποιων επιστημόνων για την ευστάθεια αυτής της ερμηνείας.

Στο 6^{ο} κεφάλαιο, παρουσιάζονται οι προσπάθειες της επιστημονικής κοινότητας να προβλέψει το μελλοντικό κλίμα. Παρουσιάζονται συνοπτικά τα υπολογιστικά

μοντέλα, το θεωρητικό τους υπόβαθρο, οι προβλέψεις τους, καθώς και οι αβεβαιότητες τους. Ακολουθεί κριτική στα μοντέλα και τις προβλέψεις.

Στο 7^{ο} κεφάλαιο, στην προσπάθεια μας να μελετήσουμε τη σχέση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα και της θερμοκρασίας, γίνεται μια απόπειρα προσέγγισης με την παρατήρηση της συμπεριφοράς του συντελεστή πτητικότητας (φ) του συντελεστή ενεργότητας (γ) και του συντελεστή κατανομής (k) του CO_2 για διάφορες θερμοκρασίες. Έτσι, προσπαθεί να εκτιμηθεί η πιθανή εκτεταμένη απελευθέρωση ποσοτήτων CO_2, από τους ωκεανούς στην ατμόσφαιρα, με την αύξηση της θερμοκρασίας, το θεωρητικό υπόβαθρο αυτής της φυσικοχημικής προσέγγισης, καθώς και η αποτίμηση των συμπερασμάτων και των αβεβαιοτήτων.

Στο 8^{ο} κεφάλαιο, γίνεται μια αποτίμηση των συμπερασμάτων, σε κοινωνικό επίπεδο, καθώς και μια ανάλυση για τις κοινωνικές προεκτάσεις του ζητήματος που πραγματεύεται η εργασία. Γίνεται αναφορά στο κοινωνικό παρασκήνιο των επιστημονικών ερευνών, προτάσεις για την έρευνα και για την ανάπτυξη της τεχνολογίας των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Στο 9^{ο} κεφάλαιο, παρουσιάζεται η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε για την εργασία, οι αναφορές, προσωπογραφία των σημαντικότερων επιστημόνων που αναφέρονται και τα ακρώνυμα που χρησιμοποιούνται.

Συνολικά, η εργασία φιλοδοξεί να συμβάλει στη συζήτηση για την κλιματική μεταβολή, να συγκεντρώσει όσο το δυνατόν περισσότερες θεωρίες και ερμηνείες για αυτήν, να βοηθήσει στην έρευνα για τη βαθύτερη μελέτη των μηχανισμών που παίζουν ρόλο, να ανοίξει τη συζήτηση για την κριτική κάθε θεωρίας, ερμηνείας, άποψης, πρόβλεψης, μοντέλου, που πραγματεύεται την κλιματική μεταβολή.

Ευχαριστώ τον καθηγητή Β.Γκέκα και όλο το εργαστήριο Φαινομένων Μεταφοράς και Θερμοδυναμικής, για την πολύτιμη στήριξη τους, ευχαριστώ τους γονείς μου και την οικογένεια μου, γιατί χωρίς αυτούς η εργασία αυτή δε θα υπήρχε.

Η εργασία είναι αφιερωμένη στον Αλέξανδρο Γρηγορόπουλο (1993-2008) και στην Κωνσταντίνα Κούνεβα, που χτηπήθηκαν γιατί αρνήθηκαν να σκύψουν το κεφάλι. Επίσης είναι αφιερωμένη στους συντρόφους μου από την Ενωτική Πρωτοβουλία, που με έμαθαν κι εμένα πως να μη σκύβω το κεφάλι.

Πλουμής Άγγελος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΠΑΛΑΙΟΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑ

Η μελέτη των αρχαίων κλιμάτων

Είναι γνωστό, από τα γεωλογικά και παλαιοντολογικά ευρήματα, ότι το κλίμα στα διάφορα σημεία της γής δεν είχε τα ίδια χαρακτηριστικά που έχει σήμερα. Επίσης είναι γνωστό ότι στη διάρκεια των εκατομμυρίων ετών που προηγήθηκαν, το κλίμα παρουσίασε σημαντικές αλλαγές. Η μελέτη του κλίματος αυτού και των μεταβολών του, από την εποχή της δημιουργίας της γης 5-6 δισεκατομμύρια χρόνια πριν, είναι αντικείμενο της επιστήμης της Παλαιοκλιματολογίας. Η δυσκολία αυτής της μελέτης είναι προφανής.

Στη διάρκεια του παρελθόντος, αρκετές φορές οι πάγοι των πόλων εξαπλώθηκαν προς τα μικρότερα γεωγραφικά πλάτη, με μια περίοδο περίπου 250 εκατομμυρίων ετών, καλύπτοντας ορισμένες φορές μέχρι και το 40% της επιφάνειας του πλανήτη.

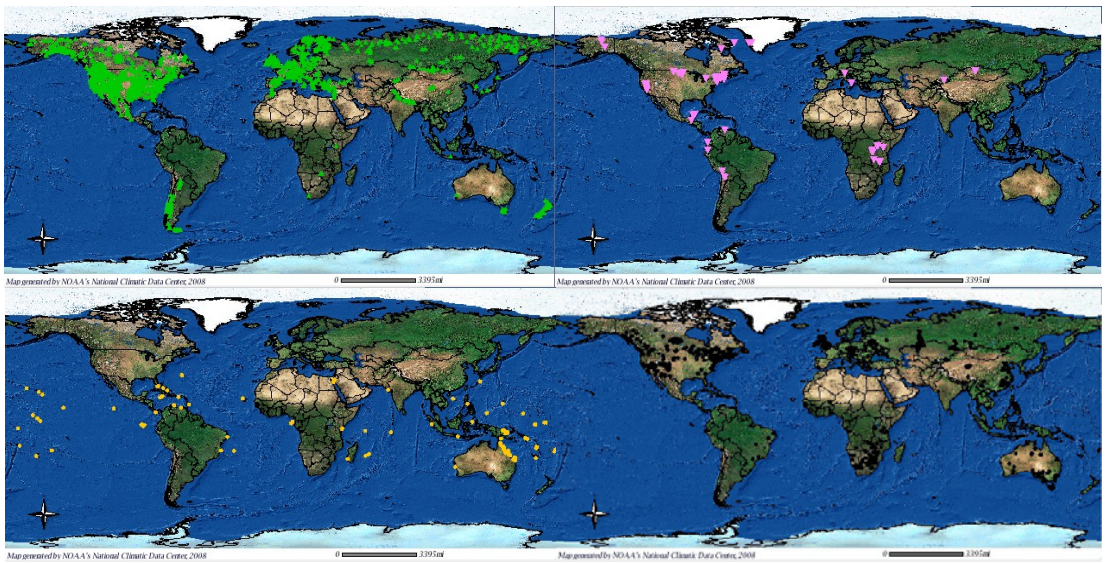
Σε περιόδους μέγιστης αύξησης της μάζας των παγετώνων, αυτοί εφταναν μέχρι και το γεωγραφικό πλάτος των 40° σε χερσαίες περιοχές. Αντίθετα, στο ελάχιστο της μάζας τους, η παρουσία τους περιορίστηκε στην περιοχή των πόλων.

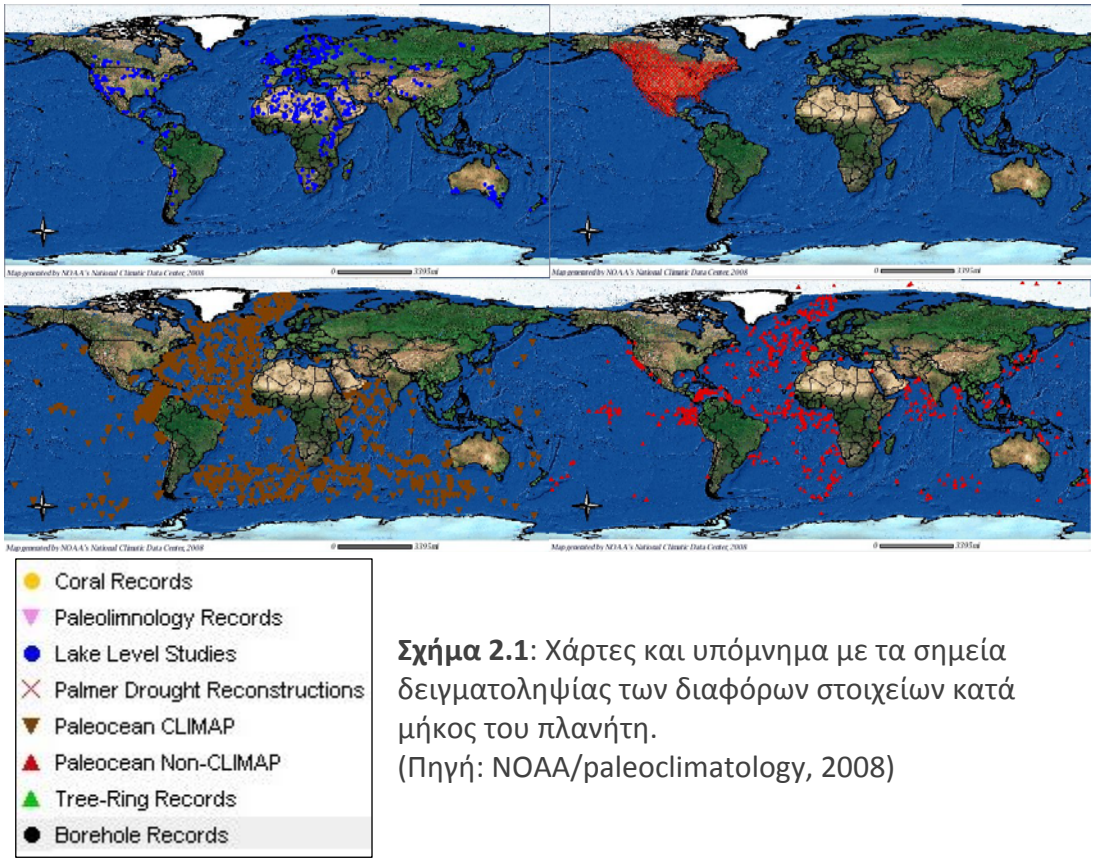
Στη διάρκεια των εποχών παγετώνων, που ήταν μερικά εκατομμύρια έτη, η θερμοκρασία του πλανήτη μειώθηκε σημαντικά. Υπολογίζεται ότι στα μέσα γεωγραφικά πλάτη, στο μέγιστο της εμφάνισης των παγετώνων, η μείωση ήταν της τάξης των 25°C. Αντίθετα, στα θερμά μεσοδιαστήματα, υπολογίζεται ότι η θερμοκρασία ήταν πολλές φορές αρκετά υψηλότερη από αυτήν που επικρατεί σήμερα, ίσως και κατά 10°C μεγαλύτερη.

Η ανεύρεση διαφόρων στοιχείων του παρελθόντος, που σχετίζονται με τους κλιματικούς τύπους που επεκράτησαν στα διάφορα σημεία του πλανήτη, μας δίνουν τη δυνατότητα να προσεγγίσουμε την εξέλιξη του κλίματος στη διάρκεια του παρελθόντος. Μερικά από τα στοιχεία για την αναδημιουργία του κλίματος είναι:

- Καταγραφές μετεωρολογικών οργάνων
- Ιστορικές καταγραφές
- Δαχτυλίδια δέντρων (Tree Rings)
- Πυρήνες πάγου (Ice Cores) παγετώνων
- Αποθέσεις στους ωκεανούς (Ocean Sediments)
- προσδιορισμός ηλικίας του οργανικού υλικού με C 14 (Radiocarbon date)
- Δείγματα γύρης (Pollen samples) στους πυθμένες λιμνών.
- Μεταβολές στα άγονα (varnish coatings) των ερήμων
- Μεταβολές στα κοιτάσματα τυρφώνων (peatbog deposits)
- Καταγραφές προσχωσιγενών βράχων (Sedimentary rock records)

Τα σημεία δειγματοληψίας των διαφόρων στοιχείων κατά μήκος του πλανήτη φαίνονται στους παρακάτω χάρτες από τη NOAA:





Σχήμα 2.1: Χάρτες και υπόμνημα με τα σημεία δειγματοληψίας των διαφόρων στοιχείων κατά μήκος του πλανήτη.
(Πηγή: NOAA/paleoclimatology, 2008)

Τα διάφορα στοιχεία και η διαρκής ανάπτυξη της επιστήμης της Παλαιοκλιματολογίας, μας επιτρέπουν να έχουμε μια πολύ καλή προσέγγιση της συμπεριφοράς του κλίματος μέχρι και στο πολύ μακρινό παρελθόν. Εκείνο όμως το οποίο δεν έχει ακόμα διευκρινιστεί είναι οι αιτίες που προκάλεσαν αυτές τις μεταβολές. Η βιβλιογραφία είναι πλούσια από θεωρίες που προσπαθούν να ερμηνεύσουν τις κλιματικές μεταβολές του παρελθόντος. Οι απόψεις που εκφράζονται μέσα από τις θεωρίες αυτές, ορισμένες φορές δεν συμφωνούν απόλυτα με τις παρατηρήσεις ή τις βασικές αρχές της Φυσικής. Όλες όμως εξηγούν σημαντικά τμήματα του φάσματος των κλιματικών μεταβολών. Θα γίνει διεξοδική αναφορά των διαφόρων θεωριών στα επόμενα κεφάλαια.

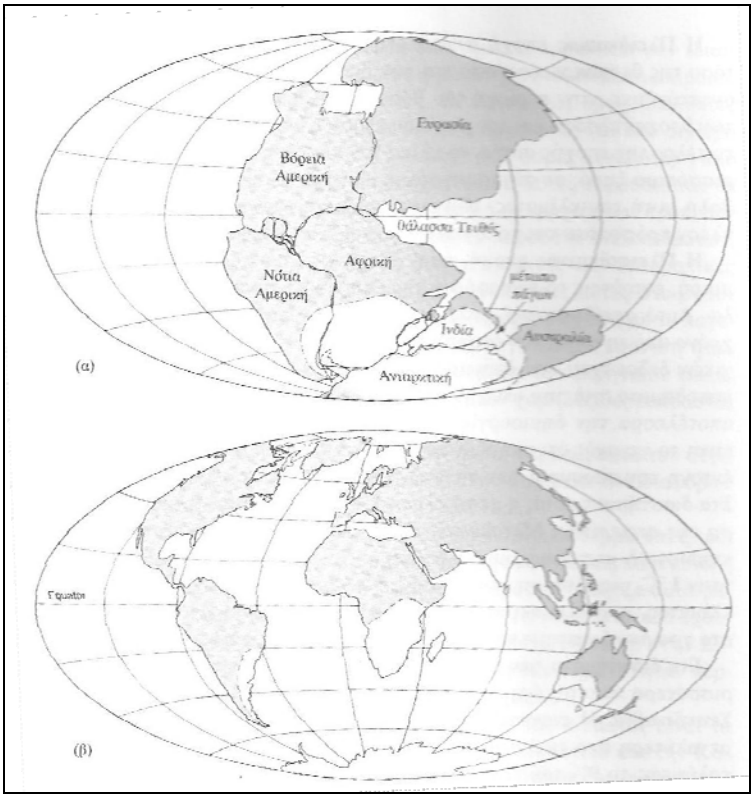
Για τις διάφορες αναφορές που σχετίζονται με γεωλογικούς αιώνες, περιόδους και εποχές χρήσιμος θα είναι ο πίνακας 2.1. Στο σημείο αυτό πρέπει να τονίσουμε ότι η ηλικία της γης εκτιμάται μεταξύ 5000-6000 εκατομμυρίων ετών. Για αναφορές σε κλιματολογικούς όρους ανατρέξτε στο επόμενο κεφάλαιο. Επίσης για τις αναφορές σε μήκη και πλάτη του πλανήτη θα φανεί χρήσιμο το σχήμα 2.4.

Πίνακας 2.2: Γεωλογικοί αιώνες, περίοδοι και εποχές

γεωλογικός αιώνας	περίοδος	εποχή	εκατομ. έτη πριν
Κοσμικός			**4600**
Αζωικός	Κιβατίνιος		**3600**
	Λαυρέντιος		
Προτεροζωικός	Χουρώνιος		**2700**
	Κεβινάβιος		
	Προ-Κάμβριος		
Παλαιοζωικός	Κάμβριος		**600**
	Ορδοβίσιος		**500**
	Σιλούριος		**430**
	Δεβόνιος		**400**
	Λιθανθρακοφόρος	Μισσισίπιος	**350**
		Πενσυλβάνιος	**330**
	Πέρμιος		**275**
Μεσοζωικός	Τριάσιος		**225**
	Ιουράσιος		**180**
	Κρητιδική		**135**
Καινοζωικός	Τριτογενής	Παλαιόκαινος	**66**
		Ηώκαινος	**59**
		Ολιγόκαινος	**38**
		Μειόκαινος	**25**
		Πλειόκαινος	**12**
	Τεταρτογενής	Πλειστόκαινος	**0.6**
		Ολόκαινος	**0.01**

Στοιχεία του κλίματος του παρελθόντος

Πολύ λίγα στοιχεία είναι γνωστά για τις κλιματικές συνθήκες που επεκράτησαν στον πλανήτη πριν από την Κάμβριο περίοδο. Σύμφωνα με τη μελέτη του καθηγητή Χ.Σ.Σαχσαμάνογλου, πριν την *Κάμβριο* περίοδο, υπήρξαν τουλάχιστον 5 παγετώδεις εξάρσεις με μια μέση περίοδο 250 εκατομμυρίων ετών. Η πλέον εκτεταμένη από αυτές έλαβε χώρα στον *Πρωτεροζωικό* αιώνα στη *Χουρώνιο* περίοδο. Οι σημαντικότερες παγετώδεις επεκτάσεις έγιναν προς την περιοχή της σημερινής Β.Αμερικής και Ν.Αφρικής. Υπάρχουν ενδείξεις ότι κατά την *Λαυρέντιο* περίοδο, στην περιοχή που βρίσκεται σήμερα ο Καναδάς, επεκράτησε ένα θερμό τροπικό κλίμα.



Σχήμα 2.3: πάνω η υπερ-ήπειρος πανγαία πρίν από 300 εκ.έτη, κάτω η σημερινή θέση των ηπείρων. (F.Lutgens-E.Tarbuck, The Atmosphere)

Η *Κάμβριος* περίοδος ξεκινά με μια παγετώδη εποχή και τελειώνει με ένα κλίμα θερμότερο από αυτό που επικρατεί σήμερα στον πλανήτη. Στη διάρκεια της περιόδου, η επέκταση των παγετώνων έφτασε μέχρι τη σημερινή εύκρατη ζώνη, στις περιοχές της Β.Αμερικής, της Ινδίας, της Κίνας, της Αυστραλίας και της Ν.Αφρικής. Κατά το τέλος της Καμβρίου περιόδου, η μέση θερμοκρασία, βορειότερα του παραλλήλου των 40°N, πρέπει να κυμάνθηκε μεταξύ 10 - 20°C, τυπικές τιμές που επικρατούν σήμερα σε περιοχές με μικρότερο γεωγραφικό πλάτος.

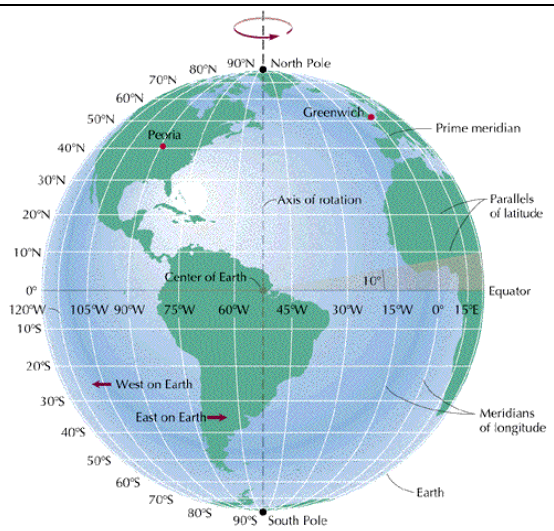
Η θέρμανση αυτή συνεχίστηκε μέχρι το μέσα της *Ορδοβισίου* περιόδου, όπου το κλίμα της Β.Αμερικής υπήρξε ηπιότερο από αυτό που επικρατεί σήμερα, ενώ υπάρχουν ενδείξεις ότι σε τμήματα αυτής της περιοχής το κλίμα υπήρξε ξηρό.

Στη διάρκεια της *Σιλουρείου* περιόδου, το κλίμα υπήρξε θερμό σε όλη την έκταση της Β.Αμερικής, μέχρι και της Αρκτικής.Γεωλογικές ενδείξεις βεβαιώνουν ότι οι θαλάσσιες μάζες που κάλυπταν σημαντικά τμήματα της Β.Αμερικής κατά τις δύο προηγούμενες περιόδους (Κάμβριου και Ορδοβισίου) εξαφανίζονται στη Σιλούριο περίοδο και εμφανίζονται χερσαίες εκτάσεις, εξαιρετικώς ερημικές. Η ορογένεση στη βορειοδυτική Ευρώπη είναι το πλέον χαρακτηριστικό του τέλους της γεωλογικής αυτής περιόδου.

Στη *Δεβόνειο* περίοδο το κλίμα υπήρξε γενικά θερμό με εξαίρεση τους περιορισμένης εκτάσεως τοπικούς παγετώνες της Ν.Αμερικής και Ν.Αφρικής. Στη Β.Αμερική επεκράτησε ένα ομοιόμορφο θερμό κλίμα με έντονες βροχοπτώσεις.

Στην αρχή της *Λιθανθρακοφόρου* περιόδου το κλίμα υπήρξε θερμό και υγρό, ενώ στο τέλος της ίδιας περιόδου υπήρξε πολύ ψυχρό. Η *Μισσισίπια* εποχή υπήρξε θερμή μόνο για τη Β.Αμερική, με βροχερά καλοκαίρια για την ανατολική πλευρά.

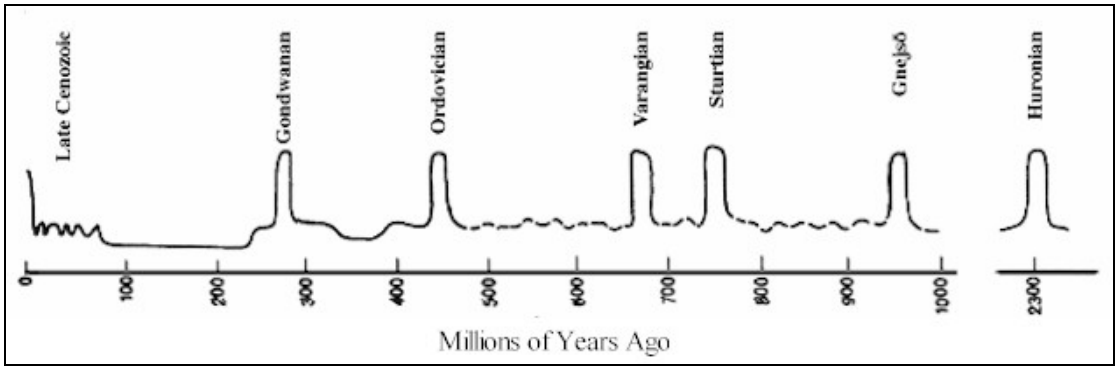
Στις περιοχές αυτές υπήρξε τοπικά ερημικό κλίμα. Η γενική τάση του κλίματος ήταν προς την κατεύθυνση των ισχυρών βροχοπτώσεων ιδιαίτερα στις ανατολικές ΗΠΑ, στην Ευρώπη και στη Β.Ασία. Τα μεγαλύτερα αποθέματα άνθρακα σε αυτέ τις περιοχές δημιουργήθηκαν αυτή την περίοδο. Αυτές οι συνθήκες μέχρι λίγο πριν το τέλος της *Πενσυλβάνιας* εποχής, όπου το κλίμα έγινε πιο ψυχρό και πιο ξηρό, ενώ στην Ευρώπη επικράτησε ερημικό κλίμα σε πολλές ηπειρωτικές περιοχές.
Στην αρχή της *Περμίου* περιόδου, δημιουργήθηκαν παγετώνες στο νότιο τμήμα της Ν.Αμερικής, στη Ν.Αφρική, στην Ινδία και στην Αυστραλία. Το κλίμα της περιόδου αυτής είναι ψυχρό και ερημικό στο νότιο ημισφαίριο, ενώ είναι θερμό και ξηρό στο βόρειο ημισφαίριο. Είναι η περίοδος που οι ωκεανοι υποχωρούν με αποτέλεσμα την αήξηση της χερσαίας επιφάνειας του πλανήτη. Παραδόξως αυτή την περίοδο δεν αυξήθηκε ο όγκος των πάγων της Ανταρκτικής, ενώ το μεγαλύτερο του χερσαίου Β.ημισφαιρίου είναι ακάλυπτο από πάγους. Στο κέντρο των ΗΠΑ επικρατεί ερημικό κλίμα με περιόδους ισχυρότατων βροχοπτώσεων που ακολουθούνται όμως από μακρές περιόδους ανομβρίας. Τα αποθέματα λιθάνθρακα που δημιουργούνται αυτή την περίοδο στη Β.Κίνα, υποδηλώνουν ένα θερμό τροπικό κλίμα που επικρατούσε στην ευρύτερη περιοχή.



Σχήμα 2.4: Η Γη και τα γεωγραφικά πλάτη και μήκη

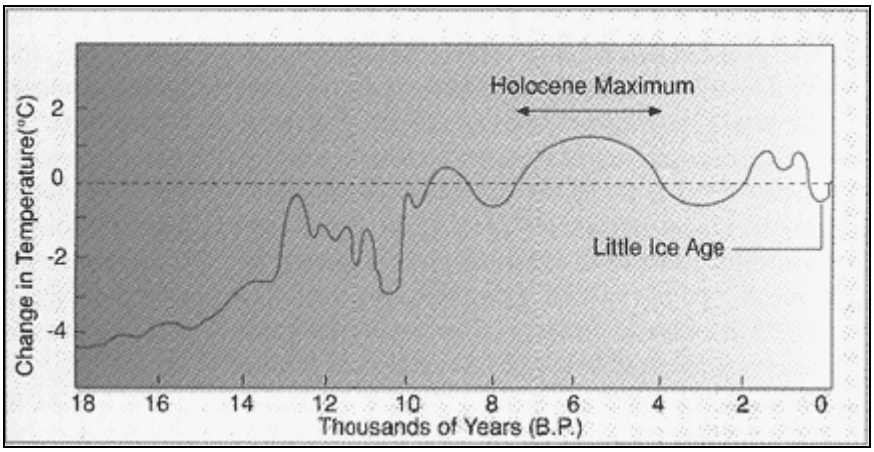
Η πρώτη περίοδος του *Μεσοζωικού* αιώνα, η *Τριάσιος*, ξεκινά με κλίμα ήπιο και ξηρό και τελειώνει με υγρό και θερμό, ιδιαίτερα στην Αυστραλία, τη Σιβηρία, τη Ν.Ασία, την Ευρώπη και τη Γροιλανδία. Θερμό είναι επίσης το κλίμα στην Αλάσκα, την Καλιφόρνια και στις θάλασσες εκείνες όπου εμφανίζονται τα κοράλια.
Η *Ιουράσιος* περίοδος (αιώνας των κοραλιών) υπήρξε γενικά θερμή, με μέσες θερμοκρασίες που φτάνουν τους 10°C, ακόμα και σε γεωγραφικά πλάτη μεγαλύτερα από 40°N. Η θερμοκρασία των θαλασσών των μεγάλων γεωγραφικών πλατων (>50°N) ήταν μεγαλύτερη πάνω από 5°C σε σχέση με τη σημερινή επικρατούσα θερμοκρασία. Την περίοδο αυτή έχουμε τήξη των παγετώνων που δημιουργήθηκαν την προηγούμενη περίοδο, με αποτέλεσμα να καλυφθούν από τα νερά μεγάλες περιοχές της Ευρώπης, των ΗΠΑ και της Ασίας. Τροπικό κλίμα επικρατούσε την περίοδο αυτή, στην Ιαπωνία, τη Μαλαισία, την Αρκτική Αλάσκα,

την Αγγλία και τη Σιβηρία. Η βροχόπτωση, στο μεγαλύτερο τμήμα του πλανήτη, υπήρξε ασθενής.
Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας και το σχεδόν ομοιόμορφο, θερμό κλίμα συνεχίστηκαν και στην αρχή της επόμενης περιόδου. Την *Κρητιδική* περίοδο εμφανίζεται μια σαφής τάση μείωσης της παγκόσμιας θερμοκρασίας. Έτσι, περίπου 85 εκατομμύρια χρόνια πριν, το μέγιστο της θερμοκρασίας στην Ευρώπη και την Αμερική δεν ξεπερνά τους 20°C. Πολλοί επιστήμονες συνδέουν την ψύξη αυτή με την εξαφάνιση των δεινοσαύρων. Η θερμοκρασία της θάλασσας στις ακτές της Αγγλίας και της Δανίας, την περίοδο αυτή, ήταν περίπου 18°C.
Ο σχηματισμός των Άλπεων, των Ιμαλαΐων και των οροσειρών της Δ.Αμερικής πραγματοποιείται στη διάρκεια της *Τριτογενούς* περιόδου, της πρώτης περιόδου του *Καινοζωικού* γεωλογικού αιώνα, που αποτελείται από πέντε εποχές.
Η πρώτη από αυτές τις εποχές, η *Παλαιόκαινος* που ξεκινά 66 εκ. χρόνια πριν, χαρακτηρίζεται από θερμό κλίμα με κάπως περισσότερες βροχοπτώσεις σε σχέση με τη σημερινή εποχή.
Υγρό και θερμό είναι το κλίμα στην *Ηώκαινο* εποχή. Η μέση ετήσια θερμοκρασία στην κεντρική Ευρώπη είναι 15°C υψηλότερη, σε σχέση με τις σημερινές τιμές. Την ίδια διαφορά είχε και η μέση επιφανειακή θερμοκρασία της θάλασσας, στις αμερικανικές ακτές, το χειμώνα. Τα πολύ θερμά καλοκαίρια και οι ήπιοι χειμώνες που χαρακτηρίζουν την εποχή αυτή, αποκλείουν το σχηματισμό πάγων, ακόμα και στα πολύ μεγάλα γεωγραφικά πλάτη.
Η *Ολιγόκαινος* εποχή ξεκίνησε θερμή και υγρή αλλά στο μέσον της έγινε κρύα και ερημική. Η μέση ετήσια θερμοκρασία των χερσαίων περιοχών, περί την Αντερκτική, κυμάνθηκε γύρω στους 10°C στο ξεκίνημα της εποχής. Η τροπική βλάστηση της προηγούμενης εποχής στη Β.Αμερική αντικαταστάθηκε σταδιακά από δάση που ευδοκιμούν σε εύκρατο κλίμα.
Μια ελαφρά βελτίωση του κλίματος παρατηρήθηκε στη *Μειόκαινο* εποχή, που αποτελούσε όμως απλά μια προσωρινή ανάσχεση της γενικής τάσης για αύξηση και επέκταση των παγετώνων. Η θερμοκρασία του αέρα στην Κ.Ευρώπη ήταν ψηλότερη κατά 10°C από αυτή που επικρατεί σήμερα. Επίσης η θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας, στην ισημερινή περιοχή του Ατλαντικού, ήταν 3-4°C χαμηλότερη από τη σημερινή.
Η *Πλειόκαινος* εποχή σημαδεύτηκε από μια έντονη τάση μείωσης της θερμοκρασίας και των βροχοπτώσεων. Προς το τέλος της εποχής αυτής, το κλίμα του πλανήτη έγινε πιο ψυχρό και ξηρό σε σύγκριση με τη σημερινή κατάσταση. Η μεταβολή αυτή του κλίματος οδήγησε πολύ γρήγορα στο σχηματισμό των πλέον πρόσφατων παγετώνων.
Η *Πλειστόκαινος* εποχή, παρά τη μικρή διάρκεια της παρουσιάζει τεράστιο επιστημονικό ενδιαφέρον. Υπήρξαν τέσσερα σημαντικά χρονικά διαστήματα με έντονη την παρουσία παγετώνων σε σημαντικό τμήμα του πλανήτη, κατά τη διάρκεια των οποίων η μέση πλανητική θερμοκρασία ήταν 6°C μικρότερη της σημερινής. Μεταξύ των διαστημάτων αυτών υπήρξαν τρία σύντομα χαρακτηριστικά μεσοδιαστήματα, στα οποία η θερμοκρασία ήταν 3°C μεγαλύτερη από τη σημερινή. Σύμφωνα με πολλούς επιστήμονες, ο σημερινός τύπος κλίματος μοιάζει πολύ με αυτόν των μιρών μεσοδιαστημάτων, δηλαδή με το κλίμα που επικρατεί στο χρονικό διάστημα μεταξύ δύο παγετωδών εξάρσεων.



Σχήμα 2.5: Οι παγετώδεις εξάρσεις τα τελευταία 2300000 χρόνια (R.S. Bradley)

Στα διαστήματα των παγετωδών εξάρσεων της *Πλειστοκαίνου* εποχής, η παγοκάλυψη υπήρξε πιο εκτεταμένη στη Β.Αμερική, στη Γροιλανδία και στη Σκανδιναβία. Η παγοκάλυψη έφτασε μέχρι και το 9% του πλανήτη ή το 30% της χέρσου, έναντι του 3% της σημερινής παγοκάλυψης. Το κλίμα στα μεσοπαγετώδη διαστήματα ήταν γενικά θερμό και ξηρό. Οι ενδείξεις δείχνουν ότι το κλίμα στη Μ.Ανατολή, στην Ευρώπη και στη Β.Αμερική ήταν θερμότερο και ξηρότερο από αυτό της σημερινής εποχής.
Στο πολύ πρόσφατο παρελθόν, κατά τη διάρκεια της *Ολοκαίνου* εποχής μέχρι και σήμερα. Πριν 23000 χρόνια, στον Ατλαντικό ωκεανό, η θερμοκρασία ήταν 7-12°C χαμηλότερη της σημερινής. Στη χέρσο το κλίμα ήταν δροσερό και υγρό πάνω από τον παράλληλο των 30°, ενώ ήταν δροσερό και ξηρό νότια του παραλλήλου των 22°.



Σχήμα 2.6: Οι αλλαγές στη θερμοκρασία τα τελευταία 18 χιλιάδες χρόνια
πηγή: R.S. Bradley, J.A. Eddy, J.T. Houghton et al, Cambridge, 1990

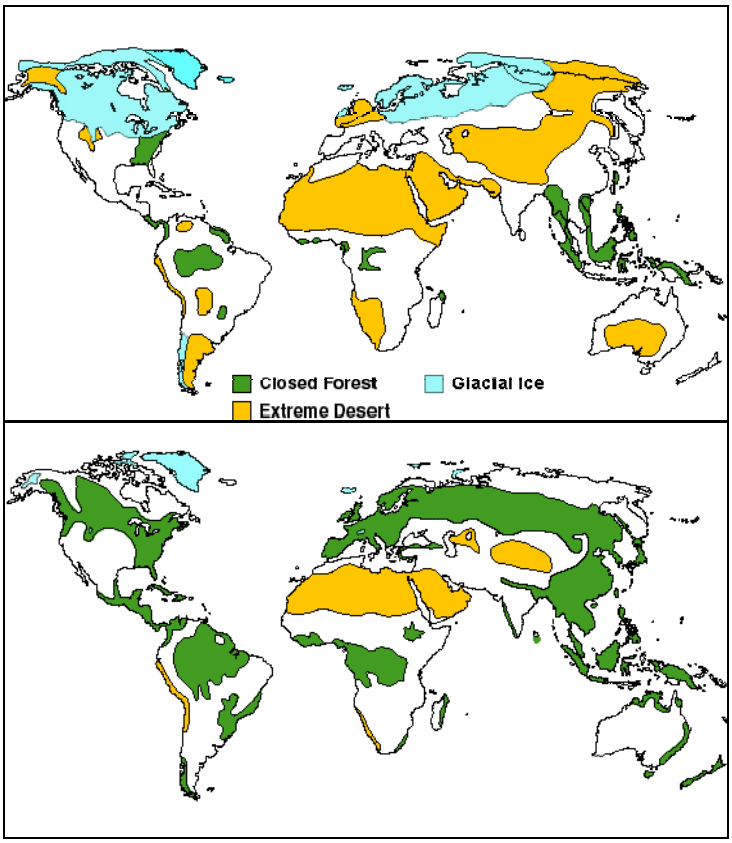
Πριν 15000 χρόνια στην Ευρώπη επικρατεί Τούνδρα. Οι πάγοι εκτείνονται σε τεράστιες εκτάσεις της Β.Ευρώπης και Αμερικής (βλ. Σχημα 2.8). Πριν από 11500 χρόνια η θερμοκρασία της Β.Αμερικής ήταν μικρότερη της σημερινής. Παλαιοκλιματολογικά δεδομένα δείχνουν μια αιφνίδια θέρμανση του Ατλαντικού ωκεανού που οφείλεται στην απότομη παγοποίηση του Αρκτικού ωκεανού. Η παγοποίηση αυτή δέσμευσε τόσο μεγάλη ποσότητα νερού που διεκόπη η επικοινωνία μεταξύ των δύο ωκεανών. Αυτή η θέρμανση θεωρείται ότι έχει σημαδέψει το τέλος της τελευταίας σημαντικής εμφανίσεως παγετώνων.

Ο παρακάτω πίνακας (2.7) περιγράφει συνοπτικά τη συμπεριφορά του κλίματος τα τελευταία 10000 χρόνια.

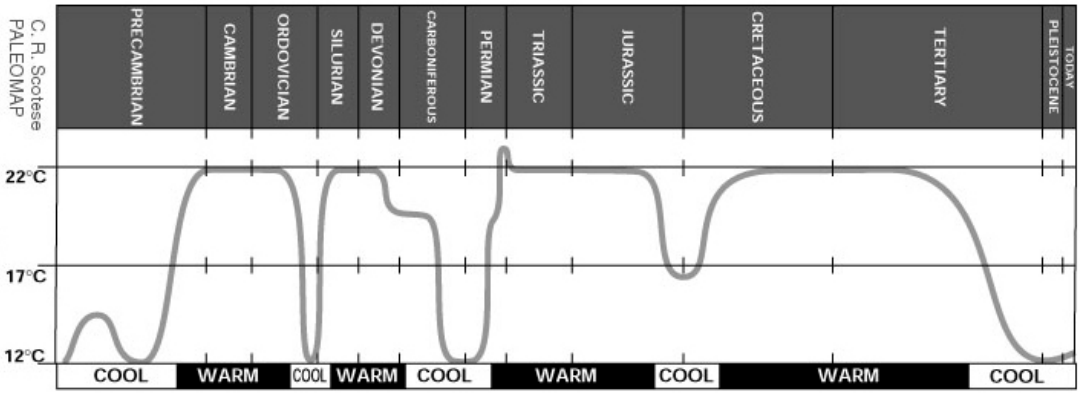
Πίνακας 2.7: Περιληπτική αναφορά στο κλίμα του πλανήτη και σε κομβικά κλιματικά γεγονότα τα τελευταία 10000 χρόνια (Χ.Σ.Σαχσαμάνογλου, 1998)

περίοδος	περιοχή	κλίμα
8000-6000 πΧ	ΗΠΑ	Θερμό και άνυδρο
7500-6800 πΧ	Ευρώπη	Δροσερό και υγρό που καταλήγει δροσερό και ξηρό
6840 πΧ	Σουηδία	Οι πάγοι εγκαταλείπουν τη Σουηδία
6800-5600 πΧ	Β.Αμερική & Ευρώπη	Δροσερό και ξηρό
5600-2500 πΧ	Βόρειο & Νότιο ημισφαίριο	Θερμό και υγρό που γίνεται θερμό και ξηρό το 3000πΧ. Υποχώρηση των πάγων στην Ανταρκτική το 4000πΧ και στην Αλάσκα το 3500πΧ
2500-500 πΧ	Βόρειο ημισφαίριο	Γενικά θερμό και ξηρό με διαλείμματα ισχυρών βροχοπτώσεων και έντονων ξηρασιών. Ενίσχυση των πάγων στην Αλάσκα μεταξύ 2380-1340πΧ
500 πΧ - 0	Ευρώπη	Δροσερό και υγρό. Μεγιστοποίηση των πάγων στη Σκανδιναβία μεταξύ 500-200πΧ
330 μΧ	ΗΠΑ	Ξηρασία στις δυτικές πολιτείες
595-645 μΧ	Μ.Ανατολή και Αγγλία	Επεισόδια ξηρασίας που ακολουθούνται από ψυχρούς χειμώνες
600 μΧ	Αλάσκα	Ενίσχυση των παγετώνων
673 μΧ	Α.Ευρώπη	Πάγοι στη μαύρη θάλασσα
800 μΧ	Μεξικό	Έναρξη υγρής περιόδου
800-801 μΧ	Α.Ευρώπη	Πάγοι στη μαύρη θάλασσα
829 μΧ	Αφρική	Πάγοι στο Νείλο
900-1200	ΗΠΑ	Η γραμμή του χιονιού 300m ψηλότερα
1000-1011	Αφρική	Πάγοι στο Νείλο
1200 μΧ	Αλάσκα	Αύξηση των πάγων
1180-1215	ΗΠΑ	Υγρό κλίμα στις δυτικές πολιτείες
1220-1290	ΗΠΑ	Ξηρασία στις δυτικές πολιτείες
1276-1299	ΗΠΑ	Εξαιρετική ξηρασία στις δυτικές πολιτείες
1300-1330	ΗΠΑ	Υγρό κλίμα στις δυτικές πολιτείες
1500-1900	Ευρώπη και ΗΠΑ	Δροσερό και υγρό. Περιοδική αύξηση των παγετώνων στην Ευρώπη και στη Β.Αμερική.
1880-1940	Βόρειο & Νότιο ημισφαίριο	Αύξηση της θερμοκρασίας του χειμώνα κατά 1.5C. Πτώση κατά 5.2m της στάθμης της Great Salt Lake. Οι παγετώνες των Άλπεων μειώθηκαν κατά 25% και της Αρκτικής κατά 40%. Ταχεία υποχώρηση των παγετώνων των Άνδεων και των Βραχωδών Ορέων
1920-1958	ΗΠΑ	Μείωση της ετήσιας βροχόπτωσης κατά 25%
1942-1960	Βόρειο & Νότιο ημισφαίριο	Μείωση της θερμοκρασίας του πλανήτη και σταθεροποίηση των ορίων των παγετώνων
1960-1997	Βόρειο & Νότιο ημισφαίριο	Ταχεία αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη και μείωση των πάγων της Αρκτικής

Οι κλιματικές συνθήκες του πλανήτη, στο πολύ πρόσφατο παρελθόν, θα εξεταστούν πολύ πιο διεξοδικά στο κεφάλαιο 3.



Σχήμα 2.8: Πάνω: Ο κόσμος 18.000 έτη πριν. Κάτω: ο κόσμος σήμερα. Με πράσινο απεικονίζονται τα δάση, με κίτρινο οι έρημοι και με γαλάζιο οι πάγοι.



Σχήμα 2.9: Οι αλλαγές στη θερμοκρασία με την πάροδο των γεωλογικών αιώνων πηγή: C.R.Scotese, PALEOMAP

Θεωρίες που ερμηνεύουν τις κλιματικές αλλαγές

Τι προκαλεί την αλλαγή του κλίματος; Αν και οι βασικές αιτίες της κλιματικής αλλαγής ακόμα δεν έχουν γίνει πλήρως κατανοητές, πολλές ενδείξεις έχουν συλλεχθεί. Υπάρχει ένας τεράστιος διάλογος αυτή τη στιγμή στην επιστημονική κοινότητα σχετικά με τις αιτίες των κλιματικών αλλαγών, που συχνά παίρνει τη μορφή «κόντρας». Όλες οι θεωρίες και οι πιθανές αιτίες για την αλλαγή του κλίματος έχουν μια «αληθοφάνεια», έχουν λίγο πολύ αποδειχτεί ότι παίζουν λιγότερο ή περισσότερο ρόλο. Οι πιθανές αιτίες είναι:
1) τεκτονικές αιτίες
2) αστρονομικές αιτίες
3) ατμοσφαιρικές αιτίες

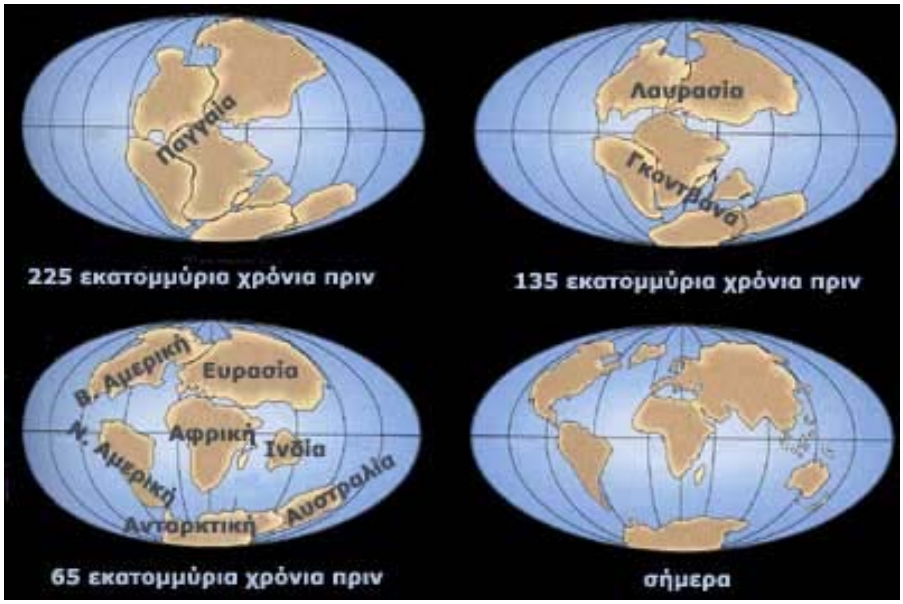
Μπορούμε επίσης χωριστά να εξετάσουμε τις αλλαγές του κλίματος με βάση διάφορα χρονικά διαστήματα:
1) Μακροπρόθεσμα (εκατομμύρια ετών)
2) Μεσοπρόθεσμα (χιλιάδες έτη)
3) Βραχυπρόθεσμα (δεκαετίες-εκατονταετίες).

Όπως αναφέραμε και πιο πριν, μέχρι σήμερα δεν έχει παρουσιαστεί μια πλήρης και αποδεκτή εξήγηση που να δικαιολογεί τη μεταβολή του κλίματος. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι οι πολλοι παράμετροι που εμπλέκονται σε ένα τέτοιο πρόβλημα ανήκουν σε διάφορους επιστημονικούς χώρους, όπως στη Γεωλογία, Βιολογία, Αστρονομία, Κλιματολογία, Θερμοδυναμική, κλπ. Στη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών έχει γίνει πλήρως κατανοητό ότι ένα και μόνο μοντέλο δεν είναι δυνατόν να εξηγήσει όλες τις φάσεις του κλίματος του πλανήτη και των μεταβολών του. Ο Flint εξηγεί ορισμένες φάσεις, με ένα μοντέλο που λαμβάνει υπόψη του τις μεταβολές της εντάσεως της ηλιακής ακτινοβολίας, σε συνδυασμό με την ορογένεση. Αντίθετα ο Panofsky εξηγεί με επιτυχία άλλες φάσεις, λαμβάνοντας υπόψη τις μεταβολές τις τροχιάς της γης σε συνδυασμό με την ορογένεση.Θα αναφερθούμε εδώ σε ορίσμένες από τις θεωρίες που επιχειρούν να ερμηνεύσουν τις κλιματικές αλλαγές, αυτές με τη μεγαλύτερη απήχηση. Θα αναφερόμαστε σε αυτές τις θεωρίες, είτε με το όνομα που έχει επικρατήσει, είτε με ένα όνομα που θα περιγράφει συνοπτικά τη θεωρία, είτε με το όνομα του επιστήμονα που συνέβαλε στην ανάπτυξη της.

Θεωρία των Λιθοσφαιρικών Πλακών

Είναι η θεωρία που προβλέπει την, επιβεβαιωμένη πλέον, μετακίνηση των ηπείρων. Παλαιομαγνητικά δεδομένα υποδεικνύουν ότι οι μαγνητικοί πόλοι έχουν μετακινηθεί σε σχέση με τις ηπείρους. Στις αρχές της Καμβρίου περιόδου, οι θέσεις των μαγνητικών πόλων ήταν κοντά στο σημερινό ισημερινό, ο ένας σε γεωγραφικό μήκος 0° και ο άλλος σε 180°. Στη σημερινή τους θέση εμφανίζονται στο τέλος περίπου της Ηωκαίνου εποχής. Για τη θέση των πόλων, στη διάρκεια του παρελθόντος, οι θεωρίες δε συμφωνούν πάντα, συμφωνούν όμως στις σχετικές

θέσεις των ηπείρων κατά τη διάρκεια των διαφόρων γεωλογικών περιόδων. Έτσι, μέχρι την Τριάσιο περίοδο, η Ευρώπη και η Β.Αμερική ήταν πλησιέστερα κατά 30° περίπου σε σχέση με τη σημερινή τους απόσταση. Πρόσφατες αστρονομικές και γεωλογικές μετρήσεις, οργανωμένες από τη NASA, έδειξαν ότι η Γροιλανδία μετακινήθηκε κατά 9m προς το Β.Πόλο στη διάρκεια του πρώτου μισού του εικοστού αιώνα, ταχύτητα που αγγίζει τα 200km/Ma.
Η Θεωρία των Λιθοσφαιρικών Πλακών έχει πολλά πλεονεκτήματα αλλά και πολλά μειονεκτήματα. Ίσως το πλέον σοβαρό από αυτά είναι η αναγκαία υπόθεση ότι οι μαγνητικοί πόλοι είναι πάντα κοντά στους γεωγραφικούς πόλους. Υπάρχει θεωρητικό μοντέλο το οποίο δέχεται ως αιτία του γήινου μαγνητικού πεδίου τα ηλεκτρικά ρεύματα που κινούνται στο μανδύα της Γης, το οποίο επιβεβαιώνει τη θεωρία, όμως οι αντιρρήσεις επί της υποθέσεως αυτής είναι αρκετές.



Σχήμα 2.10: Οι λιθοσφαιρικές πλάκες ανά τους γεωλογικούς αιώνες (αναπροσαρμογή από Alfred Wegener, 1912)

Η θέρμανση που δέχτηκαν οι περιοχές με σημερινό γεωγραφικό πλάτος μεγαλύτερο των 40°N, κατά το μεγαλύτερο διάστημα των τελευταίων 500 εκατομμυρίων ετών, εξηγείται ικανοποιητικά με βάση τη συνεχή κίνηση των ηπείρων. Στις περιοχές αυτές , κατά το τέλος της Καμβρίου περιόδου, η θερμοκρασία ήταν της τάξεως των 15°C. Την περίοδο όμως αυτή, η θέση των ηπείρων ήταν τέτοια που οι ανατολικές ΗΠΑ, η Γροιλανδία, η δυτική Ασία και παιθανώς η Ανταρκτική, βρίσκονταν στην Ισημερινή ζώνη. Έτσι η περιοχή που βρίσκεται σήμερα πάνω από το παράλληλο των 40°N, ήταν τότε μεταξύ των παραλλήλων 50°N και 50°S.
Υποστηρίζεται από μεγάλη μερίδα επιστημόνων, σύμφωνα με τον καθηγητή *Α.Μπλούτσο* του ΑΠΘ, ότι η κίνηση των ηπείρων είναι μια διαδικασία περίπου σταθερή. Από άλλη μερίδα όμως υποστηρίζεται ότι η κίνηση αυτή γίνεται κάποιες στιγμές πολύ ταχύτερα, ειδικά τις περιόδους που ενισχύονται οι παγετώνες. Σε μια τέτοια φάση έντονης ψύξης αρκετά ζώα εγκλωβίζονται σε μια περιοχή που αλλάζει το κλιματικό καθεστώς, με ότι συνεπάγεται αυτό. Προκειμένου να γίνει απόδεκτή αυτή η επιστημονική άποψη, γίνεται η παραδοχή ότι οι ήπειροι συμπεριφέρονται σαν νησιά που επιπλέουν πάνω στο μάγμα, ενώ το μάγμα συμπεριφέρεται σαν

ωκεανός με μεγάλο ιξώδες. Έτσι οι ήπειροι θεωρούνται ικανές να αλλάξουν τόσο τη σχετική τους θέση, όσο και τον άξονα περιστροφής τους. Ένα ιστορικό γεγονός που επιβεβαιώνει τη θεωρία αυτή είναι η αιφνίδια εξαφάνιση των μαμούθ και άλλων ζώων, πριν από 10000 χρόνια, στην περιοχή της Σιβηρίας και της Αλάσκας, λόγω μιας ασυνήθιστης σε έκταση σε μέγεθος και έκταση κλιματικής μεταβολής, που μόνο με μια θεωρία σαν αυτή μπορεί να δικαιολογηθεί. Βέβαια ο λόγος μιας τέτοιας κινητικής συμπεριφοράς των ηπείρων δεν έχει ακόμα απόλυτα εξηγηθεί.

Θεωρία της φυγόκεντρου δύναμης

Για την ερμηνεία της κίνησης των ηπείρων, οι *Munk και Markowitz* αποδίδουν σημαντική σημασία στην παρουσία της φυγόκεντρου δυνάμεως που αναπτύσσεται λόγω περιστροφής της Γης. Κατά τους Munk και Markowitz, σε κάθε σημείο μιας ηπείρου, που θεωρούμε ότι επιπλέει του μάγματος, ενεργεί φυγόκεντρος δύναμη. Επειδή η φυγόκεντρος δύναμη είναι ανάλογη της απόστασης από τον άξονα περιστροφής, τα σημεία των ηπείρων που βρίσκονται πλησιέστερα στον ισημερινό δέχονται μεγαλύτερη δύναμη. Έτσι δημιουργείται μια συνισταμένη που τείνει να κινήσει την ήπειρο προς τον ισημερινό, υπόθεση που εξηγεί γιατί οι μεγαλύτερες ήπειροι βρίσκονται στον ισημερινό ή κοντά σε αυτόν στη διάρκεια του παρελθόντος. Από μηχανική άποψη όμως η θεωρία αυτή δε μπορεί να εξηγήσει την ενίσχυση των παγετώνων στις διάφορες ιστορικές περιόδους.

Θεωρία της ολισθήσεως των ηπείρων

Η θεωρία των *Runkorn και Meinesz* στηρίζεται σε αρχές και κανόνες της Γεωφυσικής. Ο Runkorn δέχεται ότι από τον πυρήνα της γης ξεκινούν ρεύματα θερμότητας προς την επιφάνεια του εδάφους, μέσω του μανδύα, με ταχύτητα 10cm/yr. Το βασικό επακόλουθο της εκτιμήσεως αυτής είναι να αναλυθούν τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά των σημείων της γης όπου τα ρεύματα είναι καθοδικά και τα οποία γίνονται γίνονται η αιτία οι ήπειροι να μετακινηθούν προς τις περιοχές αυτές. Ο Meinesz παρουσίασε διάφορες αποδείξεις που δείχνουν ότι τέτοιες περιοχές υπάρχουν. Τα ρεύματα αυτά έχουν τη μορφή δακτυλίων και ο αριθμός των δακτυλίων καθώς και η ταχύτητα των ρευμάτων εξαρτάται κυρίως από τη σύνθεση του μανδύα, τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ ανοδικού και καθοδικού ρεύματος καθώς και από το λόγο της ακτίνας του πυρήνα προς την ακτίνα της γης, Σήμερα ο λόγος αυτός είναι 0.55, τιμή που ευνοεί την παρουσία πέντε τέτοιων δακτυλίων (πέντε ηπείρων) με τα κέντρα των ηπείρων στα γεωγραφικά πλάτη 18°S και 54°N.

Σχήμα 2.11: Ο πυρήνας της γης

Ο Runkorn υποθέτει ότι ο πυρήνας της γης άρχισε να αυξάνει πριν από 3 δισεκατομμύρια χρόνια και η αύξηση αυτή συνεχίζεται μέχρι σήμερα, πολύ

βραδύτερα όμως. Σύμφωνα με τους υπολογισμούς του, πριν αρχίσει η κίνηση των ηπείρων, ο λόγος των ακτίνων πυρήνα και γης ήταν 0.5, τιμή που ευνοούσε τότε την παρουσία τεσάρων δακτυλίων (4 ηπείρων) με τα κέντρα στον ισημερινό και στους πόλους. Η θεωρία της ολισθήσεως των ηπείρων, αν και θεωρητική, είναι πιο ευλογοφανής από τη θεωρία των Λιθοσφαιρικών Πλακών, όμως και οι δύο αποτυγχάνουν να στο να ερμηνεύσουν τις, σχετικά μικρής διάρκειας, παγετώδεις εποχές.

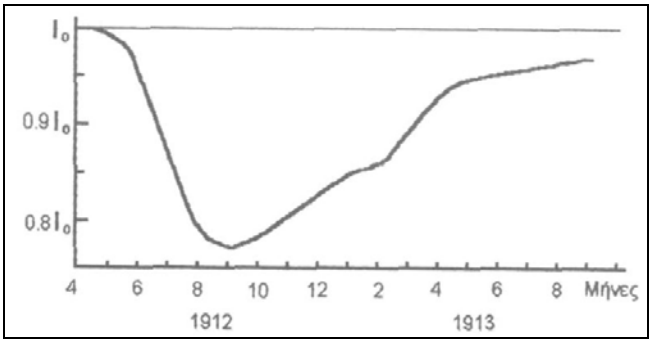
Μέχρι σήμερα έχουν διατυπωθεί περισσότερες από 50 παρόμοιες θεωρίες. Θα αναφερθούμε περιληπτικά σε ορισμένες από αυτές, αξιολογώντας τες με βάση τις εξηγήσεις που δίνουν για τις μεταβολές διαφόρων κλιματικών παραμέτρων.

Η θεωρία της ορογένεσης

Είναι μια άποψη που βρίσκει τεράστια απήχηση, κυρίως μεταξύ των γεωλόγων, που βρήκαν μια εξαιρετική συσχέτιση μεταξύ ορογενέσεως και ενισχύσεως των παγετώνων. Με ελάχιστες εξαιρέσεις, οι παγετώδεις εποχές, τόσο στην Πέρμιο όσο και στην Τεταρτογενή περίοδο, προηγήθηκαν περιόδων έντονων ορογενέσεων. Κατά την ορογένεση το κλίμα γίνεται σημαντικά θερμότερο, γεγονός που δεν ευνοεί την παρουσία παγετώνων.

Η θεωρία της ηφαιστειακής δράσης

Η ηφαιστειακή δράση ευνοεί τη μείωση της θερμοκρασίας (αύξηση του όγκου των παγετώνων), επειδή το υλικό που διασπείρεται στην ατμόσφαιρα, έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια του εδάφους, χωρίς ουσιαστικά να εμποδίζει την απώλεια της ακτινοβολίας που εκπέμπει το έδαφος. Στο μέγιστο της ηφαιστειακής δράσεως, υπολογίζεται μια μέση μείωση της ακτινοβολίας κατά 10-20% και επακόλουθα μια μείωση της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας πολύ περισσότερο του 1°C.

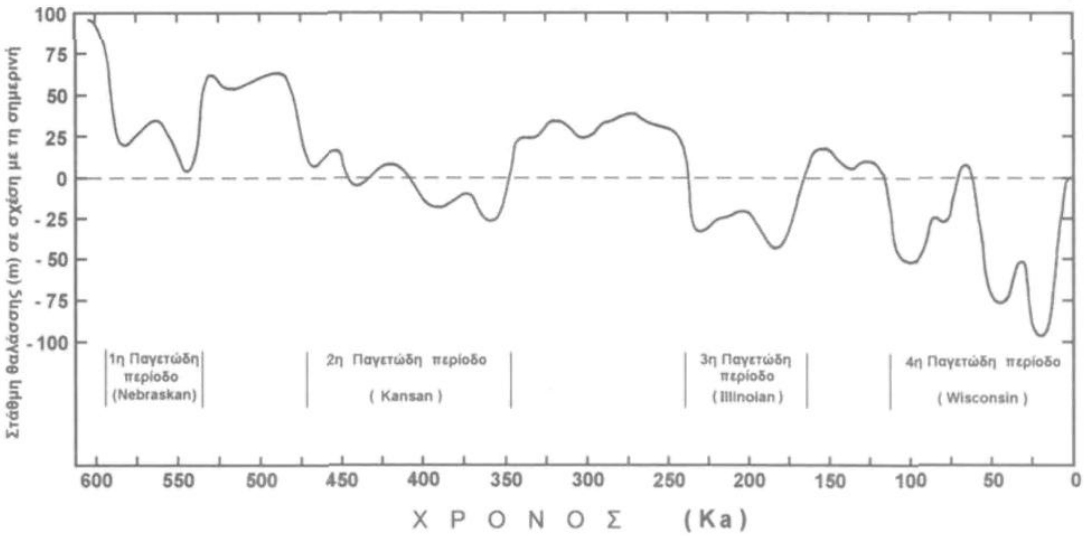


Σχήμα 2.12: Η μέση μεταβολή της εντάσεως της ηλιακής ακτινοβολίας σε πλανητική κλίμακα, μετά την έκρηξη του ηφαιστείου Katmai (Alaska) το 1912. (Χ.Σ.Σασχαμάνογλου, 1998)

Το μεγαλύτερο μέρος του υλικού που διασπείρεται στην ατμόσφαιρα, μετά την έκρηξη ενός ηφαιστείου είναι σε λεπτότατο διαμελισμό με αποτέλεσμα να μπορεί να αιωρείται στην ατμόσφαιρα για πολύ καιρό, επηρρεάζοντας το κλίμα για πολλούς μήνες εώς και ολόκληρα χρόνια. Επομένως, η ηφαιστειακή δράση μπορεί να αποτελέσει μηχανισμό «φυτιλιού» για την ενίσχυση των παγετώνων. Η ραγδαία μείωση της θερμοκρασίας, που παρατηρήθηκε στο βόρειο ημισφαίριο το 1942, αποδίδεται στην αυξημένη ηφαιστειακή δράση.
Το μέγιστο της ηφαιστειακής δράσης παρατηρείται σχεδόν ταυτόχρονα με το μέγιστο της ορογένεσης. Το μεγάλο ερώτημα και η αδυναμία της θεωρίας αυτής είναι γιατί καθυστερεί αρκετά εκατομμύρια χρόνια το μέγιστο των παγετώνων;

Θεωρία της στάθμης της θάλασσας

Η θεωρία αυτή αναπτύχθηκε με βάση το γεγονός της απότομης θέρμανσης του βορείου Ατλαντικού 11000 χρόνια πριν. Λίγο πριν το γεγονός αυτό η επικοινωνία των θαλάσσιων υδάτων μεταξύ της Αρκτικής περιοχής και του βορείου Ατλαντικού πραγματοποιούνταν μέσω ενός αβαθούς τμήματος του πυθμένα που εκτείνεται μεταξύ Γροιλανδίας και Νορβηγίας. Όμως, 11000 χρόνια πριν, οι παγετώνες της περιοχής παρουσίασαν μια σημαντική αύξηση, λόγω των υδρατμών που απορρόφησαν από το Αρκτικό περιβάλλον, με αποτέλεσμα το κλείσιμο του αβαθούς αυτού τμήματος. Έτσι διεκόπη η «επικοινωνία» μεταξύ των δύο θαλάσσιων τμημάτων και τα νερά της Αρκτικής σταμάτησαν να θερμαίνονται με αποτέλεσμα την ταχεία παγοποίηση τους. Η θερμότητα που απελευθερώθηκε θέρμανε τον Β.Ατλαντικό. Η παγοποίηση της αρκτικής θάλασσας στέρησε την περιοχή από υδρατμούς με αποτέλεσμα να σταματήσει η αύξηση του όγκου των παγετώνων και να αρχίσει έτσι η μεταπαγετώδης εποχή, αφού σε σύντομο διάστημα επανήλθε η επικοινωνία των δύο αποκομμένων θαλασσών.
Σύμφωνα με τη θεωρία, η αυξομείωση του όγκου των παγετώνων έχει σαν αποτέλεσμα τη μεταβολή της στάθμης της θάλασσας σε πολύ μεγάλα όρια. Υπήρξε περίοδος, στο γεωολογικό παρελθόν, που η στάθμη των ωκεανών ανέβηκε τόσο ψηλά που μείωσε την επιφάνεια των ηπείρων κατά 25%. Η αύξηση της στάθμης των υδάτων συμπίπτει με την αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα. Σε μια τέτοια κατάσταση αυξάνει και η επιφάνεια των ωκεανών, με συνέπεια την αύξηση της εξατμίσεως και της βροχόπτωσης.
Στις αρχές τις Πλειοκαίνου εποχής παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση της στάθμης των ωκεανών σε ύψος μεγαλύτερο κατά 300m από το σημερινό. Κατά τη διάρκεια αυτού του φαινομένου, η μέση θερμοκρασία του πλανήτη αυξήθηκε κατά 10°C. Στην αρχή της Πλειστοκαίνου εποχής η μέση στάθμη των θαλασσών βρισκόταν περίπου 100m ψηλότερα από τη σημερινή, ενώ στη συνέχεια παρουσίασε αρκετές διακυμάνσεις με σαφή τάση μείωσης. Οι διακυμάνσεις αυτές σχετίζονται και με την αυξομείωση του όγκου των παγετώνων. Η μείωση αυτή σταμάτησε 17000 χρόνια πριν (βλ. σχήμα) όταν η μέση στάθμη της θάλασσας βρέθηκε 75m χαμηλότερα της σημερινής. Στη συνέχει άρχισε μια απότομη αύξηση μέχρι το 4000πΧ. Από τότε μέχρι σήμερα, με μικρές διακυμάνσεις, η στάθμη αυξήθηκε άλλα 2m.

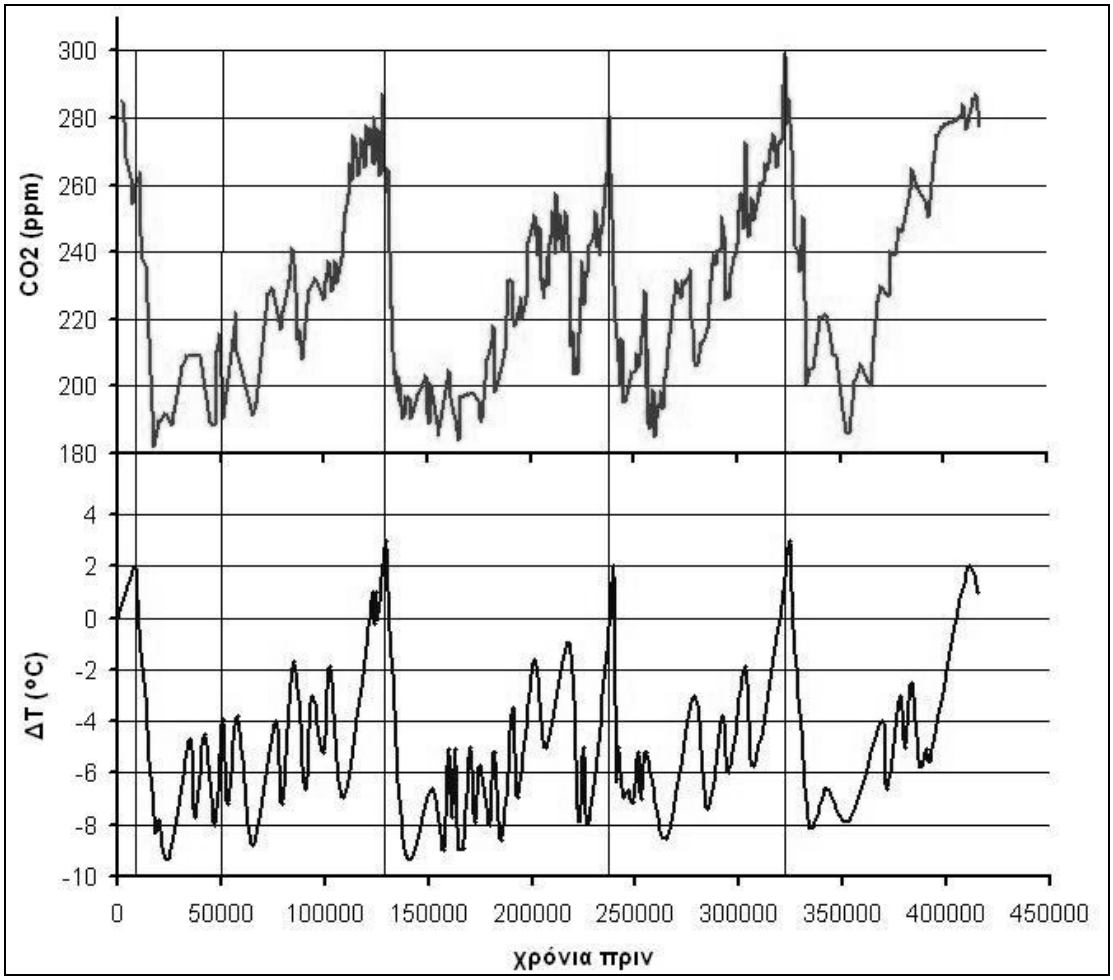


Σχήμα 2.13: Οι διακυμάνσεις της στάθμης της θάλασσας, σε σχέση με τη σημερινή (Χ.Σ.Σαχσαμάνογλου, Φυσική Κλιματολογία, 1998)

Στο σημείο αυτό πρέπει να τονίσουμε ότι ορισμένες από τις διακυμάνσεις αυτές δεν οφείλονται μόνο στις μεταβολές του όγκου των παγετώνων, αλλά και σε μεταβολές του επιπέδου του πυθμένα. Παράδειγμα αποτελεί η περίπτωση της πτώσης της στάθμης της θάλασσας στην Τριτογενή περίοδο, σε μια στιγμή που οι παγετώνες ήταν στο ελάχιστο τους. Επίσης πρέπει να σημειωθεί, ότι στη διάρκεια των παγετωδών εποχών μειώνεται σημαντικά και το ποσό της βροχόπτωσης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η τέταρτη παγετώδης εποχή (Wisconsin) της Πλειστοκαίνου περιόδου, η οποία ήταν η ψυχρότερη αλλά και η ξηρότερη από τις 3 παγετώδεις εποχές που προηγήθηκαν.

Θεωρία της εντάσεως του φαινομένου του θερμοκηπίου

Η θεωρία αυτή συσχετίζει τις κλιματικές μεταβολές με τις μεταβολές της περιεκτικότητας της ατμόσφαιρας σε διοξείδιο του άνθρακα. Αρκετοί ερευνητές προσπάθησαν να συσχετίσουν τις μεταβολές της συγκεντρώσεως του CO_2 με εκείνες της θερμοκρασίας αφού, όπως θα αναλυθεί και στο επόμενο κεφάλαιο, ο υδρατμός και το CO_2 είναι οι σημαντικότεροι απορροφητές της ακτινοβολίας που εκπέμπει το έδαφος.



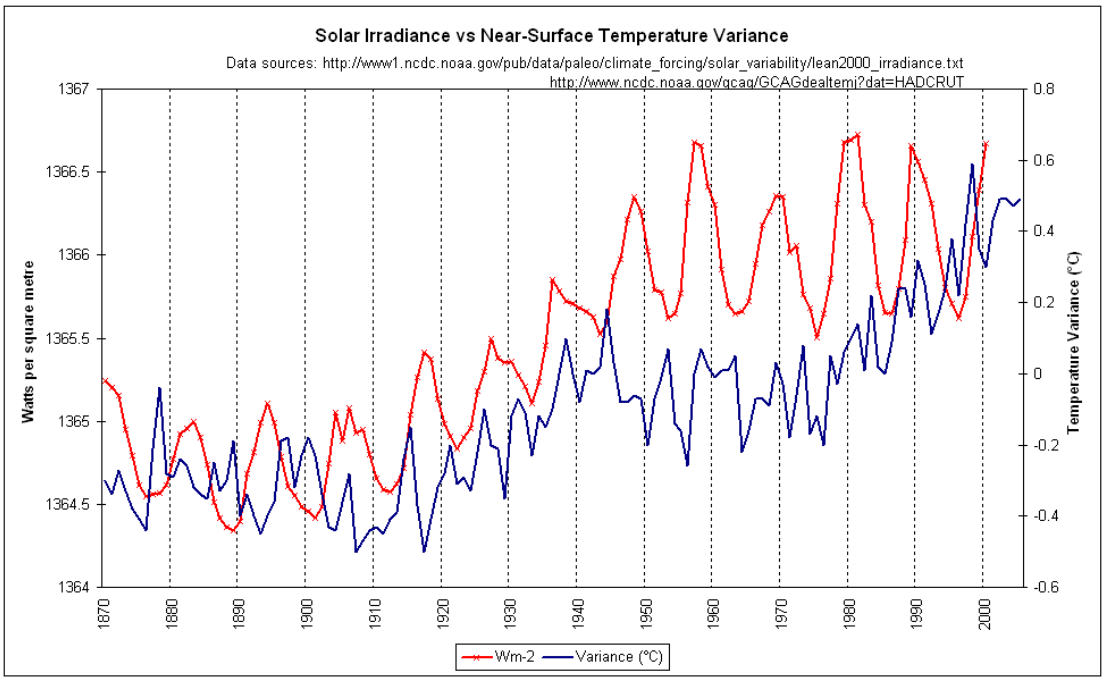
Σχήμα 2.14: Η πορεία των ετήσιων τιμών της συγκέντρωσης του CO_2 και των διακυμάνσεων της μέσης ετήσιας πλανητικής θερμοκρασίας από την αντίστοιχη σημερινή (15°C). Πηγή δεδομένων: Carbon Dioxide Information Analysis Center,2008

Η θεωρία αυτή, τα επιχειρήματα που τη στηρίζουν καθώς και τα επιχειρήματα που την αμφισβητούν, είναι το βασικό θέμα της παρούσας εργασίας. Γι'αυτό θα μελετηθεί προσεκτικά στα επόμενα κεφάλαια. Το φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου στο κεφάλαιο 3, η σχέση του CO_2 με τη θερμοκρασία στο κεφάλαιο 5, με μια πιο αναλυτική παρουσίαση αυτής της θεωρίας, καθώς και ένα μαθηματικό μοντέλο που προσπαθεί να προσεγγίσει αυτή τη σχέση στο κεφάλαιο 7.

Θεωρία του ψυχρού Ηλίου

Αυτή η θεωρία συσχετίζει τις κλιματικές μεταβολές με τις μεταβολές της εντάσεως της ηλιακής ακτινοβολίας που είναι αποτέλεσμα μεταβολών που σημειώθηκαν στον ήλιο. Όπως είναι γνωστό, ο ήλιος είναι η σημαντικότερη εξωτερική πηγή ακτινοβολίας για τον πλανήτη μας. Η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια τις γης, τουλάχιστον από την Κάμβριο περίοδο, δεν παρουσίασε σημαντικές διακυμάνσεις.
Η θεωρία του ψυχρού Ηλιου, υποστηρίζεται κυρίως από γεωλόγους και αστρονόμους που πιστεύουν ότι αρχίζει μια σημαντική αύξηση των παγετώνων

όταν η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας μειωθεί κάτω από μια συγκεκριμένη τιμή. Η άποψη αυτή ενισχύεται από το γεγονός ότι κάθε φορά που αυξάνουν οι παγετώνες, προηγείται πάντα μια ελάττωση της θερμοκρασίας σε όλα τα γεωγραφικά πλάτη. Το μέγεθος και η ένταση της μείωσης αυτής, μόνο με τη μείωση της ηλιακής ακτινοβολίας μπορεί να εξηγηθεί.



Σχήμα 2.15: Η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία (W/m^2) με κόκκινο και η μεταβολή της θερμοκρασίας με μπλε, τα έτη 1870-2000. Πηγή: NOAA, 2000

Η αύξηση των βροχοπτώσεων σε περιόδους «ψυχρής ατμόσφαιρας» μπορεί να εξηγηθεί με δύο τρόπους. Πρώτον, η μειωμένη ακτινοβολία ευνοεί την επέκταση των παγετώνων προς μικρότερα γεωγραφικά πλάτη, μετατοπίζοντας έτσι προς ακόμα μικρότερα τις τροχιές των τροπικών κυκλώνων, με αποτέλεσμα την αύξηση των βροχοπτώσεων στις τροπικές περιοχές. Και δεύτερον, λόγω της ιδιαίτερης κυκλοφορίας των θαλάσσιων ρευμάτων την εποχή αυτή, διαμορφώνεται ένας τύπος κλίματος που η χέρσος είναι πολύ ψυχρότερη των ωκεανών, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ισχυρής αστάθειας στην ατμόσφαιρα και συνέπεια τη ραγδαία βροχόπτωση πάνω από τις θαλάσσιες περιοχές των υποτροπικών περιοχών και την έντονη χιονόπτωση στις ηπειρωτικές περιοχές όπου συναντώνται οι θερμές και οι υγρές αέριες μάζες με τις ψυχρές και ξηρές, που προέρχονται από τους ψυχρούς αντικυκλώνες (Μ.Λαζαρίδης, 2005).

Στο παρελθόν, η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στο έδαφος παρουσίασε κάποιες διακυμάνσεις σημαντικής χρονικής διάρκειας, πέραν των γνωστων από την ουράνιο μηχανική. Οι διακυμάνσεις αυτές αποδίδονται στη μεταβολή του ρυθμού εξελίξεως των πυρηνικών αντιδράσεων που συμβαίνουν στον πυρήνα του Ήλιου (σύντηξη Η προς σχηματισμό He).

Στα τελευταία 4500 εκατομμύρια χρόνια, η τιμή της ηλιακής σταθεράς παρουσίασε μια σταδιακή αύξηση, σαν αποτέλεσμα της βραδείας αλλά φυσιολογικής μείωσης της συγκέντρωσης του υδρογόνου στον πθρήνα του Ήλιου. Λόγω της μείωσης αυτής

δημιουργήθηκε μια κατάρρευση στον πυρήνα, με αποτέλεσμα την έκλυση πρόσθετης σημαντικής ενέργειας και έτσι την αύξηση της εκπεμπόμενης ηλιακής ισχύος. Υπολογίζεται ότι πριν από αυτό, το 33% του πυρήνα του Ήλιου ήταν υδρογόνο και η μέση θερμοκρασία της γης ήταν -17°C, με παρουσία εκτεταμένων παγετώνων. Σήμερα, εκτιμάται ότι το ποσοστό του υδρογόνου στον ηλιακό πυρήνα είναι 10%, με μέση πλανητική θερμοκρασία στους 15°C. Ενώ οι προβλέψεις των υποστηρικτών της θεωρίας προβλέπουν ότι στα επόμενα 1000 εκατομμύρια έτη, το ποσοστό θα πλησιάσει το 1% και η μέση πλανητική θερμοκρασία τους 34°C.

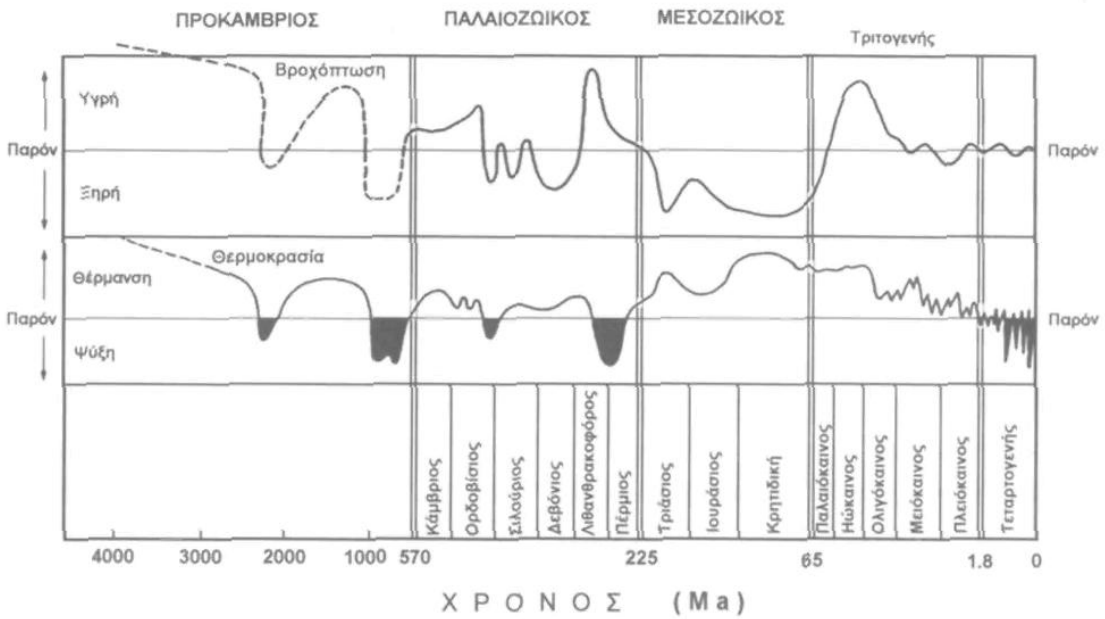
Η θεωρία του Öpik

Κατά τον *Ernst Julius Öpik*, η παγετώδης περίοδος, που παρατηρήθηκε πριν από 500 εκατομμύρια χρόνια, πρέπει να οφείλεται σε μια πρόσκαιρη αλλαγή του Ηλιου που το σημαντικό στοιχείο αυτής της αλλαγής ήταν η μείωση της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας, επειδή ένα μέρος αυτής δαπανήθηκε για τη σύνθεση βαρύτερων στοιχείων (άνθρακα, αζώτου, οξυγόνου, κλπ). Στη διάρκεια αυτής της διαδικασίας διείσδυσε από το μανδύα στον πυρήνα του Ηλιου σημαντική ποσότητα υδρογόνου. Η προσέγγιση αυτή του Öpik μπορεί να δικαιολογήσει τη βραδεία αυξομείωση των παγετώνων, χωρίς όμως να να είναι αποδεδειγμένο ότι είναι αυτή η αιτία. Πολλοί αστρονόμοι έχουν πολλές αντιρρήσεις για αυτή τη συμπεριφορά του Ήλιου. Μετρήσεις που έγιναν μεταξύ των ετών 1953 και 1958 έδειξαν ότι η αύξηση κατά 2% της εντάσεως της ηλιακής ακτινοβολίας συσχετιζόταν απόλυτα με την αύξηση της δραστηριότητας των ηλιακών κηλίδων.
Σύμφωνα με πολλούς αστρονόμους, μεταξύ των οποίων και του *Schwarzschild*, όταν το υδρογόνο του πυρήνα του Ήλιου ελαττωθεί σημαντικά, ο πυρήνας συστέλλεται με αποτέλεσμα η θερμοκρασία στο εξωτερικό όριο του πυρήνα να φτάσει τους 20.000.000°C. Μετά από κάποιο χρονικό διάστημα αρχίζει να συγκεντρώνεται υδρογόνο γύρω από τον πυρήνα με τη μορφή λεπτού στρώματος. Το στρώμα αυτό αυξάνει με το χρόνο δημιουργώντας την αίσθηση της αύξησης της διαμέτρου του Ήλιου και της λαμπρότητας του.

Η θεωρία της Simpson

Μερικοί μετεωρολόγοι, όπως η *Simpson*, απορρίπτουν τη θεωρία του ψυχρού Ήλιου, επειδή αυτή δεν εξηγεί επαρκώς πως μια έντονη μεσημβρινή θερμοβαθμίδα καθώς και μια έντονη μεσημβρινή μεταφορά θερμότητας και υδρατμών προς τα μικρά γεωγραφικά πλάτη, μπορεί να δημιουργηθεί από μια τροπική ζώνη που διαρκώς ψύχεται και με εξάτμιση που διαρκώς μειώνεται.
Η *Simpson* δέχεται ότι η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας ελαφρώς μόνο μεταβάλλεται περιοδικά, σε διάστημα 380000 ετών. Κατά την Simpson, όταν η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας αυξηθεί ελαφρώς σε σχέση με τη σημερινή κατάσταση, τότε η μεσημβρινή θερμοβαθμίδα ενισχύεται σημαντικά επειδή θα θερμανθεί σημαντικά η ισημερινή ζώνη. Αποτέλεσμα αυτού θα είναι η ενίσχυση της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας. Παράλληλα θα αυξηθεί ο ρυθμός της εξάτμισης και κατά συνέπεια η περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε υδρατμούς. Τελικό

αποτέλεσμα θα είναι η αύξηση του υετού, ιδιαίτερα στις πολικές περιοχές, με συνέπεια την αύξηση του όγκου των πάγων.
Οι αδυναμίες της θεωρίας της Simpson είναι κυρίως τρεις. Πρώτα, η άποψη ότι όταν η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας αυξηθεί πάνω από ένα όριο τότε απότομα αρχίζει η μείωση των παγετώνων. Η άποψη αυτή οδηγεί σε μια υγρή μεσοπαγετώδη περίοδο με προηγειθείσα παγετώδη περίοδο με έντονη ατμοσφαιρική κυκλοφορία, ενδεχόμενο που δε συμβαδίζει με τα γεωλογικά ευρήματα. Δεύτερο, η παρατήρηση ότι το τροπικό τμήμα του Ατλαντικού, σε ορισμένες παγετώδεις περιόδους, είχε θερμοκρασία περίπου 5°C μικρότερη από τη σημερινή, γεγονός παράδοξο. Τέλος, οι απόψεις της Simpson δε μπορούν να δικαιολογήσουν το χρόνο των 250 εκατομμυρίων ετών των μεσοπαγετωδών περιόδων.

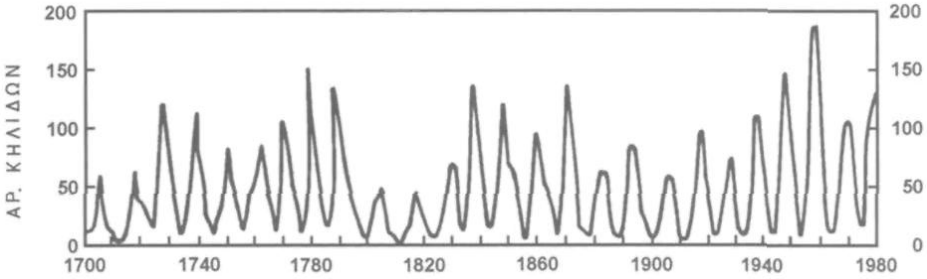


Σχήμα 2.16: Η κατά προσέγγιση διακύμανση της μέσης πλανητικής θερμοκρασίας και βροχόπτωσης, κατά τη διάρκεια των γεωλογικών αιώνων (Μπλούτσος 1998)

Η θεωρία των ηλιακών κηλίδων

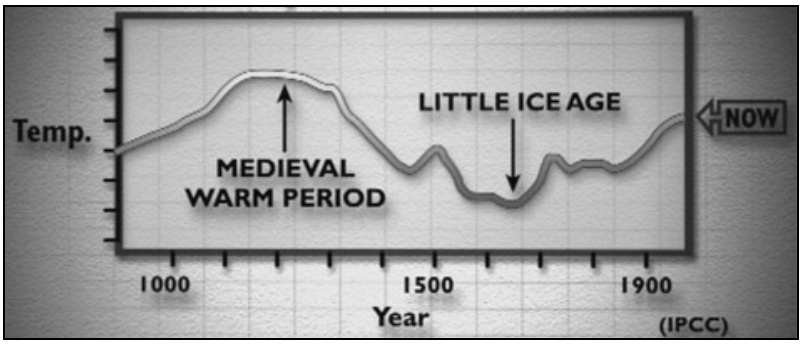
Ο *Willett* δέχεται ότι οι κύκλοι του κλίματος οφείλονται στις μεταβολές της ακτινοβολίας που προέρχονται από τις διαταραχές της δράσης των ηλιακών κηλίδων. Ο *Willett* πιστεύει ότι η ομαλή ηλιακή δραστηριότητα μπορεί να εξηγήσει τους κύκλους του κλίματος που παρατηρήθηκαν από την αρχή της Πλειστοκαίνου εποχής μέχρι σήμερα και ότι οι κλιματικές μεταβολές δεν είναι αποτέλεσμα του συνόλου του ηλιακού φάσματος αλλά ενός τμήματος του. Μια αύξηση της ηλιακής ακτινοβολίας προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας της τροπικής Στρατόσφαιρας και της Ιονόσφαιρας. Αύξηση της θερμοκρασίας των ανώτερων τμημάτων της ατμόσφαιρας, ενισχύει σημαντικά τη ζωνική κυκλοφορία. Η θέρμανση της πολικής στρατόσφαιρας από τη σωματιδικά ηλιακή ακτινοβολία δημιουργεί κλιματικέ εντάσεις, υψηλής χαοτικής περιόδου που εκδηλώνονται με αξιοσημείωτα ακραία φαινόμενα τα οποία όμως σχετίζονται με τις βροχοπτώσεις και τη θερμοκρασία των

μέσων γεωγραφικών πλατών. Επίσης με φαινόμενα παρεμπόδισης της γενικής κυκλοφορίας της ατμόσφαιρας, από την εμφάνιση ισχυρών αντικυκλώνων, καθώς και διαδοχικά θερμά και ξηρά καλοκαίρια.



Σχήμα 2.17: Η χρονοσειρά των ετήσιων τιμών του αριθμού Wolf των ηλιακών κηλίδων (Α.Α.Μπλούτσος, 1998)

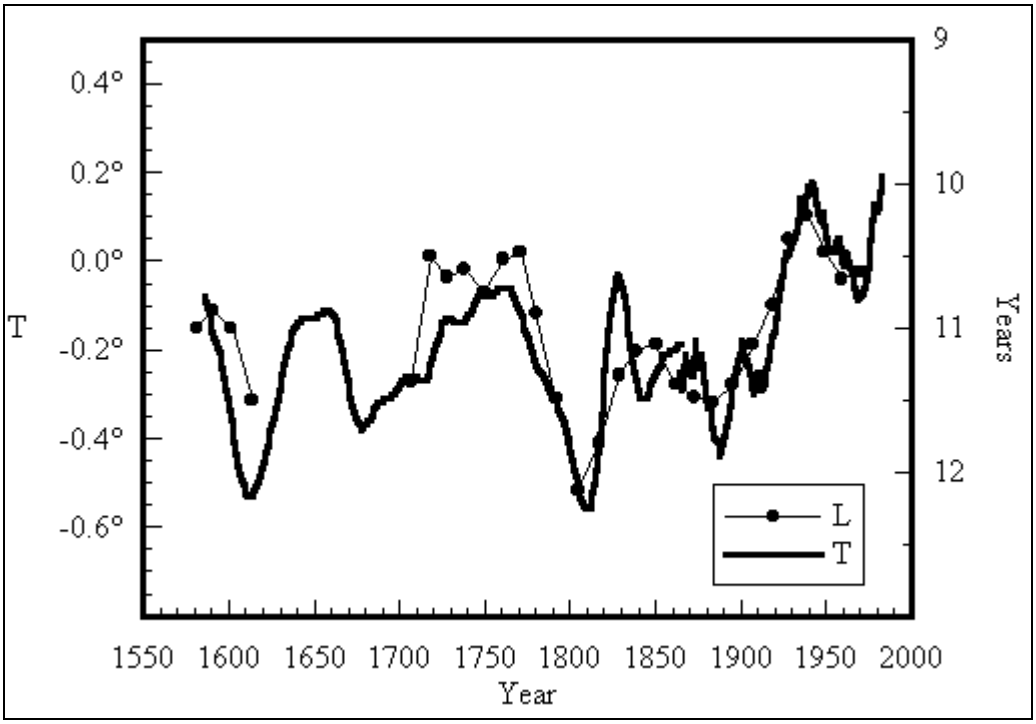
Ορισμένες φορές η επίδραση της δραστηριότητας των ηλιακών κηλίδων στις κλιματικές αλλαγές είναι πολύ δυσδιάκριτη. Αναλύωντας κατά Fourier τα δεδομένα 300 περίπου ετών της ηλιακής δραστηριότητας (βλ σχήμα 2.17) προκύπτει ότι εκτός της αρμονικής των 11 περίπου ετών, μια άλλη σημαντική αρμονική είναι αυτή των 80 ετών. Η αρμονική αυτή χαρακτηρίζεται από μια βαθμιαία αύξηση του μέγιστου των ηλιακών κηλίδων, από ένα πολύ χαμηλό επίπεδο στην αρχή, σε ένα πολύ υψηλό επίπεδο στο τέλος της 80χρονης περιόδου. Ο Willett συνδυάζει την ηλιακή δραστηριότητα του πρώτου τετάρτου αυτής της αρμονικής (1800-1820) με την αύξηση της ζωνικής ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας των μικρών γεωγραφικών πλατών και την αύξηση της παγοκάλυψης (1880-1890).
Η θέρμανση και η υποχώρηση των πάγων συνέβει στη διάρκεια του τρίτου τετάρτου της αρμονικής των 80 ετών. Αυτή την 20ετία, το κλίμα των περιοχών πάνω από τις 50° ήταν θερμό και υγρό, ενώ κάτω από αυτές ήταν θερμό και ξηρό. Στο τελευταίο τέταρτο της αρμονικής, που το μέγιστο των κηλίδων έφτασε στο ψηλότερο επίπεδο, η ατμοσφαιρική κυκλοφορία στα μεγάλα ηπειρωτικά, γεωγραφικά πλάτη ήταν έντονα μεσημβρινή με θερμά και ξηρά καλοκαίρια. Μια τέτοια αρμονική τελείωσε το 1957.



Σχήμα 2.18: Η διακύμανση της θερμοκρασίας τα τελευταία 1000 χρόνια, στα 1645-1715 φαίνεται η «μικρή εποχή των παγετώνων» (IPCC, 2004)

Οι ηλιακές κηλίδες επιδρούν στη διαμόρφωση των γήινων κλιματολογικών συνθηκών καθώς και στην ανάπτυξη των δέντρων. Τα μέγιστα των ηλιακών κηλίδων συμπίπτουν με την μέγιστη ανάπτυξη των δέντρων, που δείχνει μια θερμή εποχή με

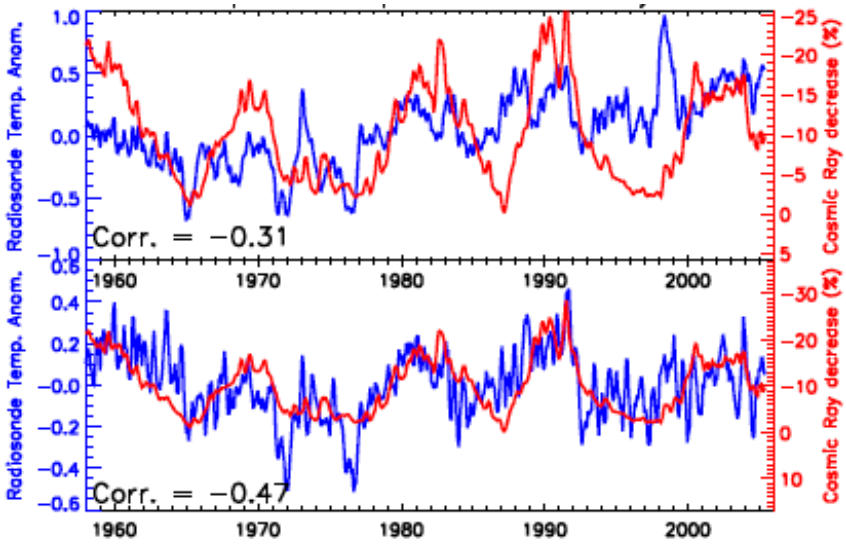
άφθονες βροχοπτώσεις. Μια σημαντική, αλλά μη αποδεδειγμένη εποχή, είναι η εποχή του «ελαχίστου του Maunder», περίοδος μεταξύ των ετών 1645-1715, που θεωρείται ότι συμπίπτει με την παντελή έλλειψη ηλιακών κηλίδων με το δριμύ ψύχος που επικρατούσε τότε σε όλο το βόρειο ημισφαίριο. Η εποχή αυτή τεκμηριώνεται από ιστορικά δεδομένα και ονομάζεται μικρή εποχή των παγετώνων (Little Ice Age-σχήμα 2.18) κατά τη διάρκεια της οποίας τα ποτάμια πάγωναν και τα χιόνια παρέμεναν και στα χαμηλά υψόμετρα χωρίς να λιώνουν. Υπάρχουν βέβαια αποδείξεις ότι ο ήλιος διένυσε τέτοιες περιόδους και στο πιο μακρινό παρελθόν.
Ο διπλός κύκλος των ηλιακών κηλίδων (21 έτη) είναι μικρότερος και επομένως η σύνδεση του με τις κλιματικές μεταβολές δεν είναι πάντοτε προφανής. Κατά τον Willett, οι κλιματικές μεταβολές, στη διαρκεια του 80ετούς κύκλου, συσχετίζονται με τις μεταβολές της εντάσεως του υπεριώδους και ορατού τμήματος του φάσματος. Επίσης οι μεταβολή της ποσότητας του όζοντος των των μεγάλων γεωγραφικών πλατών συσχετίζεται με το διπλό κύκλο των ηλιακών κηλίδων, γεγονός που αμφισβητείται από αρκετούς ερευνητές. Η θεωρία των ηλιακών κηλίδων τυγχάνει ευρείας αποδοχής από σημαντικό αριθμό Μετεωρολόγων, Γεωλόγων και Αστρονόμων.



Σχήμα 2.19: Χρονική συσχέτιση των μεταβολών της θερμοκρασίας και της ηλιακής δραστηριότητας, τα τελευταία 450 χρόνια (Christensen, DNSC, 2000)

Ο Δανός καθηγητής Eigil Friis-Christensen και η ερευνητική του ομάδα παρατήρησαν υψηλή συσχέτιση μεταξύ της διακύμανσης της θερμοκρασίας και της ηλιακής δραστηριότητας τον τελευταίο αιώνα. Επειδή θα μπορούσε να είναι σύμπτωση επανέλαβε τη μελέτη για τα τελευταία 450 χρόνια (σχήμα 2.19) και βρήκε πάλι πολύ υψηλή συσχέτιση. Επίσης η μελέτη τους συμπεριέλαβε τις κοσμικές ακτίνες. Θεώρησαν ότι σε μια περίοδο με αυξημένη ηλιακή δραστηριότητα, προκαλείται μείωση των κοσμικών ακτίνων που φτάνουν στη Γη, με αποτέλεσμα τη μείωση του

σχηματισμού συννέφων και έτσι την ακόμα μεγαλύτερη αύξηση της ηλιακής ενέργειας που φτάνει στη Γη. Τα αποτελέσματα τους δικαίωσαν (σχήμα 2.20).



Σχήμα 2.20: Πάνω: Αρνητική συσχέτιση των μεταβολών της θερμοκρασίας με τις κοσμικές ακτίνες. Κάτω: το ίδιο αφού αφαιρέθηκαν οι επιρροές του El Nino και της ηφαιστειακής δράσης (ESA-ISAC, 2006)

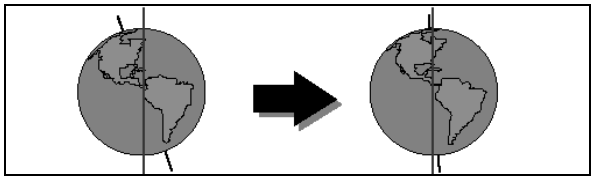
Μηχανισμός θεωρίας κοσμικών ακτίνων

Το ηλιακό μαγνητικό πεδίο αλληλεπιδρά με τις κοσμικές ακτίνες, όταν είναι ισχυρό, το πεδίο τού ήλιου δεσμεύει περισσότερες κοσμικές ακτίνες, αυτές που απομένουν ιονίζουν λιγότερα μόρια του αέρα στη χαμηλότερη ατμόσφαιρα και κατ' αυτόν τον τρόπο ελαττώνεται η κάλυψη της γης με νέφη, οπότε έχουμε περισσότερη ζέστη και ήπιες βροχές. Αντίθετα, ένας μαγνητικά αδύναμος ήλιος, οδηγεί σε αύξηση των εισερχόμενων κοσμικών ακτίνων, μεγαλύτερο ιονισμό τής ατμόσφαιρας, αύξηση της νεφοκάλυψης και της αντανάκλασης της ηλιακής ακτινοβολίας, άρα ψύξη τής Γης και αύξηση των ακραίων καιρικών φαινομένων (CERN, 2008).

Η αστρονομική θεωρία της κλιματικής αλλαγής

Η πλέον αποδεκτή θεωρία που ερμηνεύει πολλές από τις, μεγάλης κλίμακας, μακροπρόθεσμες, μεταβολές του κλίματος, είναι αυτή που θεωρεί ως αιτία των μεταβολών της ακτινοβολίας, και κατά συνέπεια των μεταβολών του κλίματος, τις μεταβολές της τροχιάς της Γης γύρω από τον Ήλιο (κύκλοι Milankovitch). Η αστρονομική θεωρία της κλιματικής αλλαγής πηγάζει από την έρευνα του Σέρβου αστρονόμου και αστροφυσικού *Milutin Milankovitch*. Εξαιτίας αυτών των μεταβολών της τροχιάς της Γης, προκύπτουν μεταβολές της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια του εδάφους, με αποτέλεσμα τη μεταβολή του κλίματος, με περίοδο σαν αυτή που παρατηρήθηκε στις κλιματικές μεταβολές της Πλειστοκαίνου εποχής. Με τρεις τρόπους μπορεί να μεταβληθεί η εκλειπτική τροχιά της Γης γύρω από τον Ήλιο.

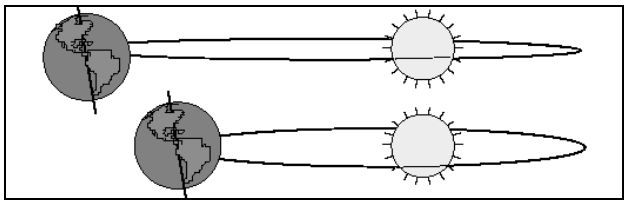
Η πρώτη μεταβολή οφείλεται στην αλλαγή της αξονικής κλίσης κατά 1.5°, γύρω από τη μέση τιμή των 23.5°, με περίοδο 41000 έτη (σχήμα 2.21). Όταν αυτή η κλίση αποκτά τη μέγιστη τιμή, η αντίθεση των ακραίων εποχών μεγιστοποιείται με πολύ ψυχρούς χειμώνες και πολύ θερμά καλοκαίρια.



Σχήμα 2.21: Ο κύκλος της μεταβολής της αξονικής κλίσης, με περίοδο 41000 έτη. (Scott Rutherford, 1997)

Η μείωση της γωνίας από την τρέχουσα τιμή των 23.45° σημαίνει λιγότερες εποχιακές διαφορές μεταξύ των βόρειων και νότιων ημισφαιρίων, ενώ μια μεγαλύτερη γωνία σημαίνει μεγαλύτερες εποχιακές διαφορές. Επειδή λοιπόν η κλίση αλλάζει, οι εποχές όπως τις ξέρουμε μπορούν να γίνουν πιο υπερβολικές Περισσότερη κλίση σημαίνει βαρύτερες εποχές, θερμότερα καλοκαίρια και πιο κρύοι χειμώνες. Μικρότερη κλίση σημαίνει λιγότερο βαριές εποχές, πιο δροσερά καλοκαίρια και ηπιότεροι χειμώνες. Τα δροσερά καλοκαίρια θεωρούνται υπεύθυνα για τη διατήρηση του χιονιού και του πάγου όλο το χρόνο στα ψηλά γεωγραφικά πλάτη, δημιουργώντας τελικά τεράστια παγόβουνα. Υπάρχουν θετικές αναδράσεις στο σύστημα του κλίματος επίσης, επειδή μια Γη που καλύπτεται με περισσότερο χιόνι ανακλά περισσότερη ενέργεια του ήλιου στο διάστημα, προκαλώντας έτσι πρόσθετη ψύξη.

Η δεύτερη μεταβολή οφείλεται στην αλλαγή της εκκεντρότητας της εκλειπτικής από 0 μέχρι 0.05 με μια μεταβλητή περίοδο περίπου 100.000 ετών (σχήμα 2.22). Λόγω αυτής της αλλαγής, η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια του εδάφους μειώνεται κατά 1%. Επίσης η μεταβολή αυτής της εντάσεως μεταξύ χειμώνα και καλοκαιριού φτάνει το 20%, ενώ σήμερα η διαφορά αυτή είναι περίπου 7%. Στην περίπτωση αυτή το ημισφαίριο που φωτίζεται περισσότερο το χειμώνα έχει μικρές θερμοκρασιακές αντιθέσεις (χειμώνα-καλοκαιριού), ενώ το άλλο ημισφαίριο παρουσιάζει πολύ ψυχρό χειμώνα και θερμό καλοκαίρι.

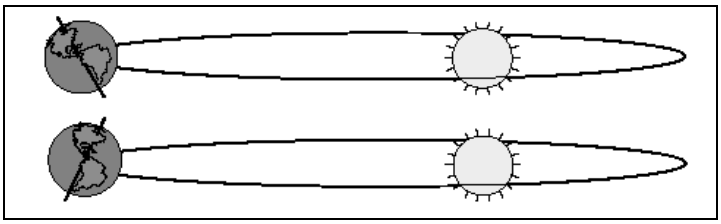


Σχήμα 2.22: Ο κύκλος της μεταβολής της εκκεντρότητας, με περίοδο 100.000 έτη. Πάνω έχουμε υψηλή και κάτω χαμηλή εκκεντρότητα (Scott Rutherford, 1997)

Όταν η τροχιά είναι ιδιαίτερα ελλειπτική, το ποσό της ηλιακή ενέργειας ανά μονάδα επιφανείας που λαμβάνεται στο περιήλιο είναι 20 έως 30% μεγαλύτερη από ό,τι στο αφήλιο, με συνέπεια να υπάρχει ένα ουσιαστικά διαφορετικό κλίμα από αυτό που έχουμε σήμερα. Αυτήν την περίοδο, η τροχιά του πλανήτη μας είναι σχεδόν

ένας τέλειος κύκλος. Υπάρχει μόνο μια διαφορά 3% (5 εκατομμύρια χιλιόμετρα) στην απόσταση μεταξύ της εποχής που είμαστε πιο κοντά στον ήλιο (περιήλιο) και την εποχή που είμαστε πιο μακριά από τον ήλιο (αφήλιο). Το περιήλιο εμφανίζεται στις 3 Ιανουαρίου και σε εκείνο το σημείο, η Γη είναι 147 εκατομμύρια χιλιόμετρα από τον ήλιο. Στο αφήλιο, κάθε 4 Ιουλίου, η Γη είναι 152 εκατομμύρια χιλιόμετρα από τον ήλιο. Αυτή η διαφορά στην απόσταση προκαλεί μια αύξηση περίπου 6% στην εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία από τον Ιούλιο μέχρι τον Ιανουάριο.
Σημειώστε, επίσης, ότι ο ήλιος δεν είναι στο κέντρο της έλλειψης αλλά στο ένα από τα δύο εστιακά σημεία. Κατά τη διάρκεια ενός μεγάλου κύκλου, διάρκειας 95.000 ετών, το σχήμα της γήινης τροχιάς γύρω από τον ήλιο μεταβάλλεται ανάμεσα σε μια λεπτή έλλειψη (οβάλ) και σε έναν κύκλο. Όταν η τροχιά γύρω από τον ήλιο είναι πιο ελλειπτική, υπάρχει μια διαφορά 30% στην απόσταση μεταξύ της Γης και του ήλιου στο περιήλιο και το αφήλιο. Αν και η σημερινή διαφορά των 4,8 εκατομμυρίων km στην απόσταση αυτή δεν αλλάζει πολύ την ποσότητα της ηλιακής ενέργειας που λαμβάνουμε, την εποχή που η διαφορά μεταξύ αφηλίου και περιηλίου είναι 30%, στην πράξη θα τροποποιούσε το ποσό της ηλιακής ενέργειας που θα έπεφτε στη Γη και θα έκανε έτσι πιο ζεστή την εποχή που η Γη θα βρισκόταν στο περιήλιο.

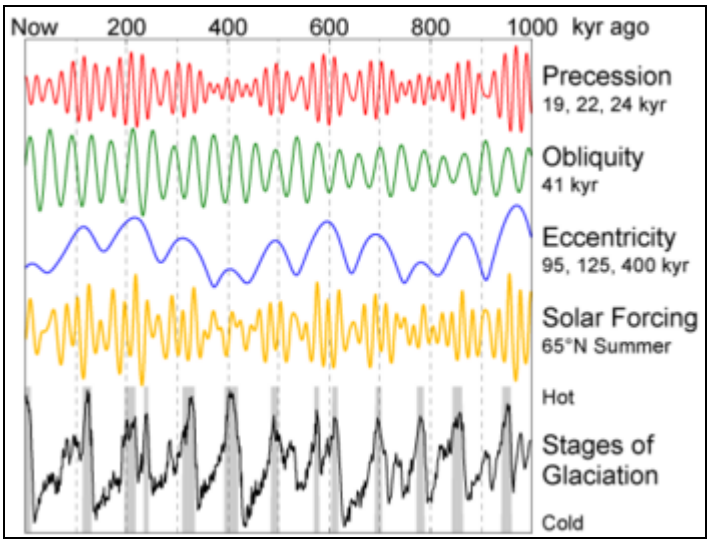
Η τρίτη μεταβολή οφείλεται στη μετάπτωση των ισημεριών, δηλαδή σε μεταβολές στην κατεύθυνση του άξονα της Γης (σχήμα 2.23). Ο χρόνος που εμφανίζονται οι ισημερίες αλλάζει περιοδικά ανά 26000 έτη. Όταν το Βόρειο Ημισφαίριο, εξαιτίας της δεύτερης μεταβολής (εκκεντρότητας), βρίσκεται σε φάση ήπιων εποχών, είναι δυνατόν η συμβολή του κύκλου της μετάπτωσης των ισημεριών να αλλοιώσει αυτό το χαρακτήρα και να προκαλέσει ένα ακραίο καιρικό κλίμα. Μια τέτοια συμβολή παρατηρείται κάθε 11000 έτη.



Σχήμα 2.23: Ο κύκλος της μετάπτωσης των ισημεριών, με περίοδο 26.000 έτη. (Scott Rutherford, 1997)

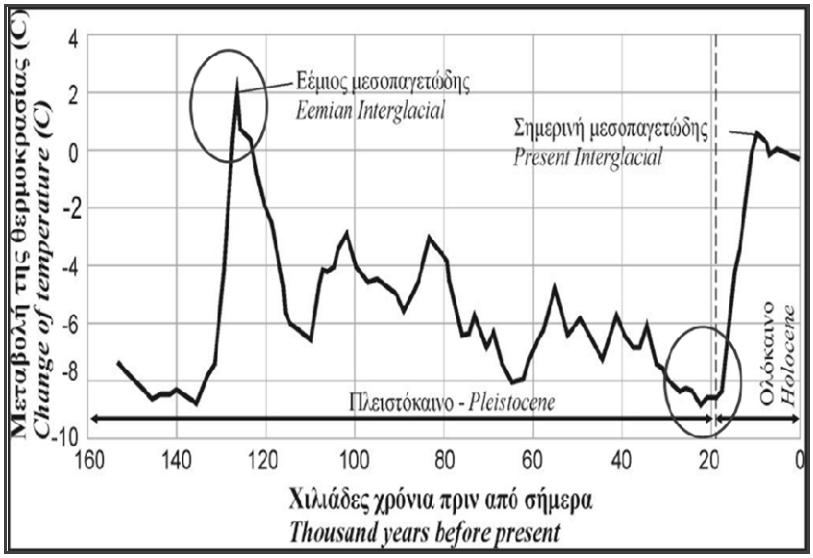
Ο Σέρβος αστροφυσικός *Milankovitch* υπέθεσε ότι όταν συνδυαστούν μερικά τμήματα των κυκλικών αυτών παραλλαγών και εμφανιστούν συγχρόνως, τότε είναι υπεύθυνες για σημαντικές αλλαγές στο γήινο κλίμα (ακόμα και οι εποχές του πάγου). Ο συνδυασμός δηλαδή του κύκλου των 41.000 ετών της κλίσης και των κύκλων μετάπτωσης των 22.000 ετών, συν την μικρότερη εκκεντρότητα, έχει επιπτώσεις στη σχετική ένταση του καλοκαιριού και του χειμώνα, και θεωρείται ότι μπορεί να ελέγχει την αύξηση και την υποχώρηση των παγόβουνων. Τα δροσερά καλοκαίρια στο βόρειο ημισφαίριο, που υπάρχει περισσότερη στεριά, επιτρέπουν στο χιόνι και τον πάγο να μένουν και κατά τον επόμενο χειμώνα. Αυτό βοηθάει στην ανάπτυξη μεγάλων παγόβουνων για εκατοντάδες έως χιλιάδες χρόνων. Αντιθέτως, τα θερμότερα καλοκαίρια μειώνουν την έκταση των παγόβουνων τήκοντας περισσότερο πάγο από τη συσσώρευση που έγινε κατά τη διάρκεια του χειμώνα.

Ο Milankovitch με τη βοήθεια ενός μαθηματικού μοντέλου υπολόγισε τις διαφορές, στα διάφορα πλάτη, της ηλιακής έκθεσης ανά μονάδα επιφανείας και την αντίστοιχη θερμοκρασία επιφάνειας, κατά τη διάρκεια των τελευταίων 600.000 ετών (βλ. σχήμα 2.24). Προσπάθησε, έπειτα, να συσχετίσει αυτές τις αλλαγές με την αύξηση και την υποχώρηση των εποχών πάγου. Για να το πετύχει ο Milankovitch υπέθεσε ότι οι αλλαγές στην ακτινοβολία σε μερικά γεωγραφικά πλάτη και οι εποχές είναι σημαντικότερες στην αύξηση και την διάσπαση των παγόβουνων από αυτές σε κάποιες άλλες περιοχές.



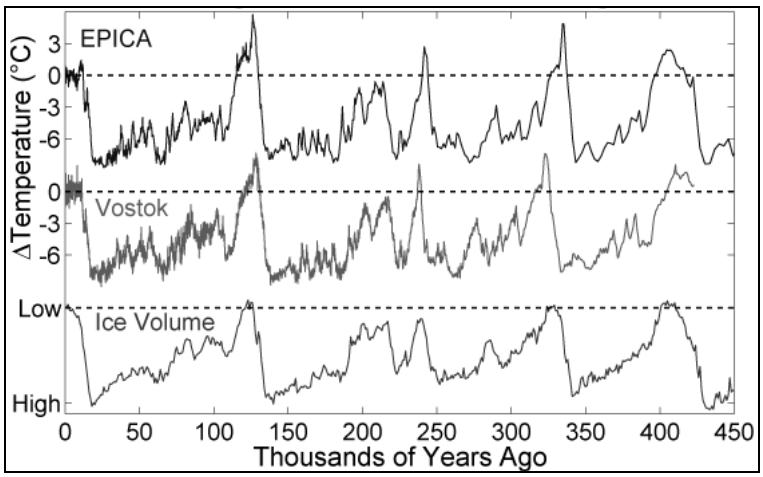
Σχήμα 2.24: Οι κύκλοι του Milankovitch συνδυασμένοι, η επίδραση στην ηλιακή ακτινοβολία και στα στάδια των εποχών παγετώνων
(Kuo Nan Lioy "An introduction to atmospheric radiation")

Η θεωρία του προτείνει ότι η αρχική αιτία των Εποχών του Πάγου είναι η συνολική θερινή ακτινοβολία που πέφτει στις βόρειες περιοχές (πλησίον των 65°), όπου στο παρελθόν έχουν σχηματιστεί μεγάλα παγόβουνα. Οι προηγούμενες Εποχές του Πάγου συσχετίζονται αρκετά με την ηλιακή έκθεση στους 65° βόρεια. Οι αστρονομικοί υπολογισμοί δείχνουν ότι στους 65° η θερινή ηλιακή έκθεση πρέπει να αυξηθεί βαθμιαία κατά τη διάρκεια των επόμενων 25.000 ετών, και ότι δεν αναμένεται να προκληθεί μια νέα Εποχή Πάγου στα επόμενα 100.000 έτη. Αν και έκανε την εργασία του στο πρώτο μισό του 20ού αιώνα, για περίπου 50 χρόνια η θεωρία του Milankovitch αγνοήθηκε κατά ένα μεγάλο μέρος. Μια εργασία όμως του 1976, που δημοσιεύθηκε στο περιοδικό Science από τον Hays, εξέτασε πυρήνες ιζημάτων βαθιά στη θάλασσα και βρήκε ότι η θεωρία του Milankovich αντιστοιχούσε στις περιόδους κλιματικών αλλαγών. Συγκεκριμένα, οι συντάκτες της εργασίας εξέτασαν το γήινο αρχείο της αλλαγής της θερμοκρασίας, για 450.000 χρόνια και βρήκαν ότι οι σημαντικές μεταβολές στο κλίμα συνδέθηκαν πολύ με τις αλλαγές στη γεωμετρία της γήινης τροχιάς. Πράγματι, οι εποχές πάγου συνέβησαν όταν η Γη προχωρούσε στα διαφορετικά στάδια της τροχιακής μεταβολής.



Σχήμα 2.25: Διακύμανση της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια των τελευταίων 150.000 ετών. Σημειώνονται πάνω στο σχήμα σημαντικές περίοδοι

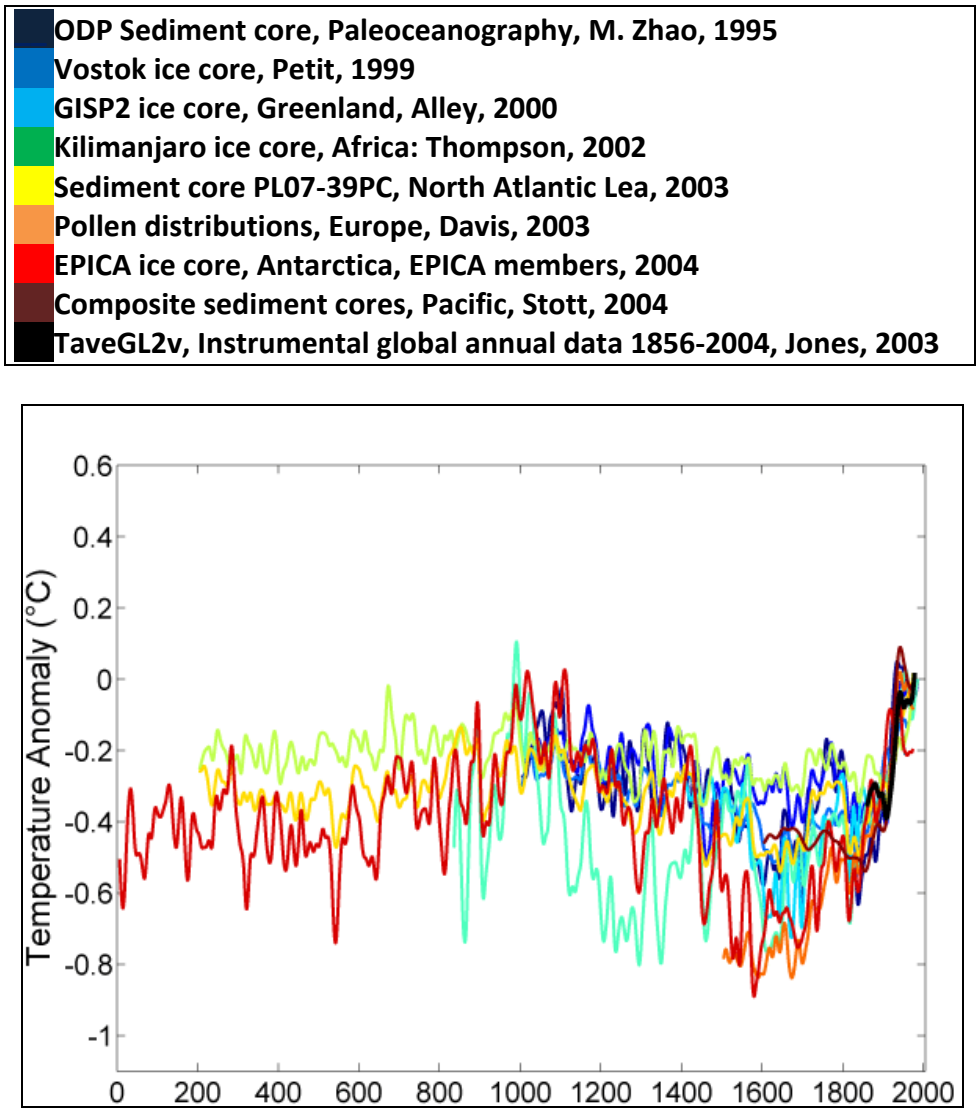
Αν και οι κύκλοι του Milankovitch εξηγούν τις μακροπρόθεσμες κλιματικές αλλαγές, δεν μπορούν να υπολογίσουν τις βραχυπρόθεσμες αλλαγές και ειδικά αυτές που δείχνουν να συντελούνται στη «βιομηχανική εποχή». Οι ακριβείς μηχανισμοί από τους οποίους σχετικά μέτριες μεταβολές στην κατεύθυνση της τροχιάς και των αξόνων της Γης οδηγούν σε τέτοια μεγάλα αποτελέσματα, όπως οι Εποχές του Πάγου δεν αποδεικνύονται αρκετά καλά. Μπορεί ο κύκλος του περιηλίου των 21.000 ετών και ο κύκλος της κλίσης των 41.000 ετών να παίζουν ρόλο στο κλίμα της Γης κατά το παρελθόν, αλλά ο κυρίαρχος κύκλος κλίματος φαίνεται να έχει μια περίοδο περίπου 100.000 ετών. Πρόσφατα στοιχεία, που δημοσιεύτηκαν το 2000, δείχνουν ότι το ατμοσφαιρικό διοξείδιο του άνθρακα μπορεί να διαδραματίζει έναν κύριο ρόλο ενισχυτικό της τροχιακής επίδρασης, όμως αυτά θα αναλυθούν διεξοδικά στα επόμενα κεφάλαια. Εντούτοις, μερικοί ερευνητές έχουν ακόμα αμφιβολίες για τη σύζευξη μεταξύ του κύκλου του κλίματος των 100.000 ετών (βλ. σχήμα 2.26) και των τροχιακών παραλλαγών.



Σχήμα 2.26: Η διακύμανση της θερμοκρασίας τα τελευταία 450.000 χρόνια κατά Vostok και Epica, και η πορεία του όγκου των παγετώνων (Kuo Nan Lioy "An introduction to atmospheric radiation")

Μοντέλα αναπαραγωγής της θερμοκρασίας του παρελθόντος

Το παρακάτω γράφημα δείχνει τη θερμοκρασιακή διακύμανση, σε τοπικό ή παγκόσμιο είπεδο, με βάση τη μέση θερμοκρασία στα μέσα του εικοστού αιώνα. Συγκρίνονται έτσι, τα αποτελέσματα των διάφορων μοντέλων που προσπάθησαν να προσεγγίσουν τη μεταβολή του κλίματος τις τελευταίες δύο χιλιετίες.



Σχήμα 2.27: Η διακύμανση της θερμοκρασίας τις 2 τελευταίες χιλιετίες, σύμφωνα με τα διάφορα μοντέλα, σε σύγκριση με τη σημερινή μέση θερμοκρασία

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ

Ατμόσφαιρα

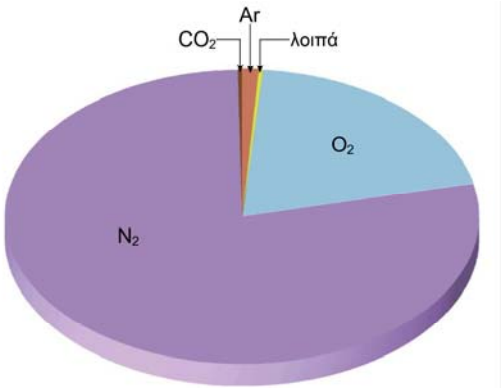
Με τον όρο ατμόσφαιρα, εννοούμε το αεριώδες περίβλημα της γης, το οποίο αποτελεί ένα σώμα με τη Γη και συμμετέχει σε όλες τις κινήσεις της.

Η ατμόσφαιρα είναι αόρατη, άοσμη και παρουσιάζει ένα πλήθος ιδιοτήτων που αποτελούν τις συνθήκες του άμεσου περιβάλλοντος επιβίωσης των ζωικών και φυτικών οργανισμών του πλανήτη μας. Αποτελείται από ένα μίγμα αερίων, γνωστό ως ατμοσφαιρικός αέρας (βλέπε πίνακα 3.1), τα οποία συγκρατούνται κοντά στην επιφάνεια της Γης λόγω της δύναμης της βαρύτητας. Επίσης η ατμόσφαιρα αποτελείται από νερό και στις 3 φάσεις του, αέρια υγρή και στερεή καθώς και από στερεά ή υγρά σωματίδια, τα «ατμοσφαιρικά αιωρήματα.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η σύσταση του «ξηρού» αέρα, δηλαδή του απαλλαγμένου από υδρατμούς και σωματίδια, καθώς και φυσικοχημικά στοιχεία για το κάθε συστατικό της ατμόσφαιρας.

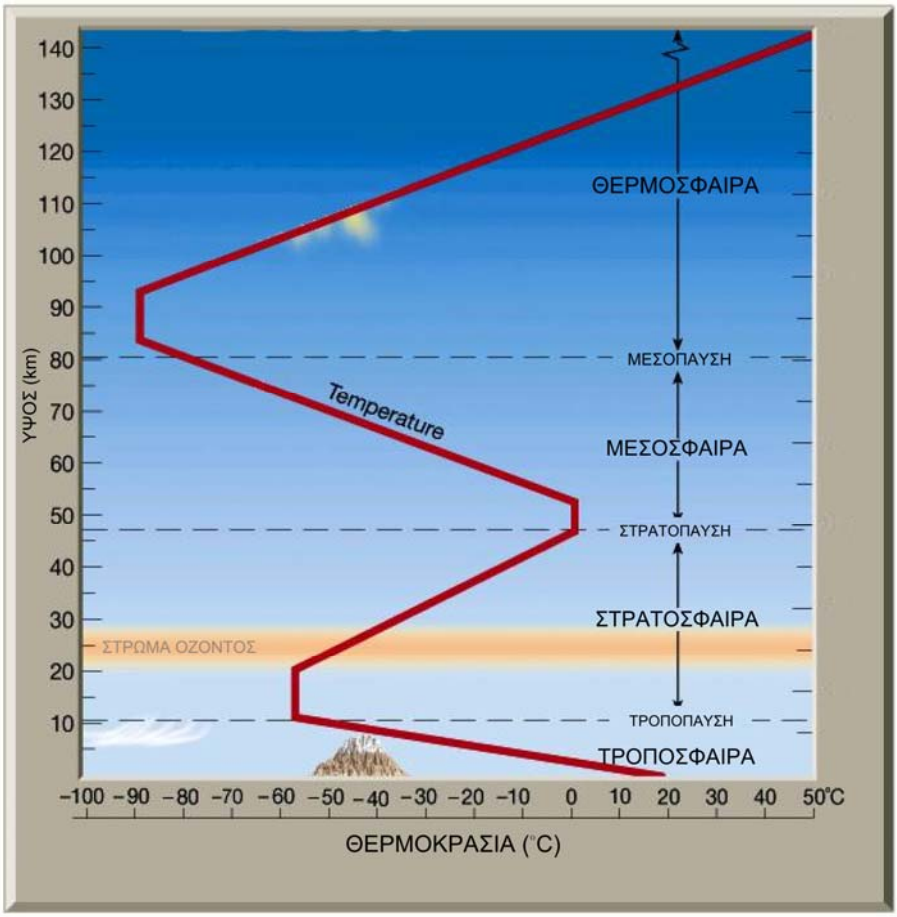
Πίνακας 3.1: Σύσταση του «ξηρού» ατμοσφαιρικού αέρα

ΑΕΡΙΟ	ΣΥΜΒΟΛΟ	ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤ. ΚΑΤ'ΟΓΚΟ	ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤ. ΚΑΤΑ ΒΑΡΟΣ	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ (g/m^3)	ΜΟΡΙΑΚΟ ΒΑΡΟΣ	ΚΡΙΣΙΜΗ (°C) ΘΕΡΜΟΚΡ.
ΑΖΩΤΟ	N_2	78,08	75,51	1250	28	-147,2
ΟΞΥΓΟΝΟ	O_2	20,95	23,14	1429	32	-118,9
ΑΡΓΟ	Ar	0,9	1,3	1786	40	-122
ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ	CO_2	0,035	0,5	1977	44	31
ΝΕΟ	Ne	0,00182	0,0012	900	20,2	-228
ΗΛΙΟ	He	0,00053	0,00008	178	4	-258
ΜΕΘΑΝΙΟ	CH_4	0,00022	-	717	16	-
ΚΡΥΠΤΟ	Kr	0,000114	0,00029	3736	83,7	-63
ΥΠΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ	N_20	0,00004	-	1978	44	-
ΥΔΡΟΓΟΝΟ	H_2	0,00005	0,0000035	90	2	-239
ΞΕΝΟ	Xe	0,0000087	0,000036	5891	131,3	16,6
ΟΖΟΝ	O_3	0,0001	0,000017	2140	48	5



Σχήμα 3.2: Περιεκτικότητα κατ'όγκο του «ξηρού» ατμοσφαιρικού αέρα

Σύμφωνα με τον καθηγητή *Μ.Λαζαρίδη* στο βιβλίο του *«Ατμοσφαιρική ρύπανση με στοιχεία Μετεωρολογίας, 2005»*, η παραπάνω αναφερόμενη σύσταση του ξηρού ατμοσφαιρικού αέρα είναι σταθερή μέσα στην ατμόσφαιρα από την επιφάνεια της Γης μέχρι τα 85 km περίπου. Έτσι, αν και ο αέρας είναι αραιότερος όσο αυξάνει το ύψος, η αναλογία των συστατικών του παραμένει η ίδια. Αυτό αποδεικνύει ότι η ατμόσφαιρα στο συγκεκριμένο στρώμα είναι καλά αναμεμιγμένη, σημειώνεται δηλαδή σε μεγάλη κλίμακα μίξη του αέρα που εμποδίζει τα αέρια να διαχωριστούν σε στρώματα ανάλογα με το ειδικό βάρος τους. Πάνω όμως από τα 85 km και μέχρι τα άνω οριακά σημεία της ατμόσφαιρας η σύσταση του αέρα αλλάζει συνεχώς. Έτσι η ατμόσφαιρα χωρίζεται σε δύο μεγάλες περιοχές, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.3, την ομοιόσφαιρα και την ετερόσφαιρα.



Σχήμα 3.3: Τα στρώματα της ατμόσφαιρας (αναπροσαρμογή από Brausseur, 1999)

Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται και ο διαχωρισμός της ατμόσφαιρας σε στρώματα με βάση τη μεταβολή της θερμοκρασίας με το ύψος. Η ομοιόσφαιρα μπορεί να χωριστεί σε τρεις περιοχές: την τροπόσφαιρα, τη στρατόσφαιρα και τη μεσόσφαιρα. Η ετερόσφαιρα πάλι χωρίζεται στη θερμόσφαιρα και την εξώσφαιρα. Οι επιφάνειες διαχωρισμού των παραπάνω περιοχών ονομάζονται: τροπόπαυση, στρατόπαυση και μεσόπαυση.

Όλα τα μετεωρολογικά φαινόμενα συμβαίνουν μέσα στην τροπόσφαιρα (και μάλιστα στο οριακό στρώμα 0-1km), η ρύπανση και η υγρασία παρουσιάζει εκεί τις μέγιστες τιμές της, άρα και το ενδιαφέρον μας για αυτή την εργασία θα περιοριστεί σε αυτό το στρώμα της ατμόσφαιρας. Η Τροπόσφαιρα περιλαμβάνει σχεδόν το 80% της συνολικής μάζας της ατμόσφαιρας και σχεδόν όλη την ποσότητα του νερού, στις διάφορες φάσεις. Πηγή ενέργειας για τη θέρμανση της τροπόσφαιρας είναι η γήινη ακτινοβολία και έτσι εξηγείται η ελάττωση της θερμοκρασίας με το ύψος μέσα σε αυτήν (περίπου 6°C/km). Από πλευράς ενέργειας η ατμόσφαιρα θεωρείται μια σπάταλη ανεπαρκής μηχανή που καταναλώνει μόνο το 3% της ενέργειας που δέχεται από τον ήλιο, μετατρέποντας το σε κινητική και θερμική ενέργεια. Ο *Μ.Λαζαρίδης* αναφέρει ενδεικτικά ότι «μια καλοκαιρινή θύελλα μπορεί να καταναλώσει ενέργεια ισχύος 10 ατομικών βομβών, ενώ καθημερινά σχηματίζονται 45000 θύελλες στον πλανήτη μας. Αντίστοιχα ένας τυφώνας αποδεσμεύει ισόποση ενέργεια μόλις μέσα σε ένα δευτερόλεπτο!». Μπορούμε να καταλάβουμε από αυτές τις συγκρίσεις τα τεράστια ποσά ενέργειας που φτάνουν στον πλανήτη μέσω της ηλιακής ενέργειας.

Η ατμόσφαιρα, δεν είναι ξηρή. Το αμέσως κυριότερο συστατικό του αέρα, μετά το άζωτο και το οξυγόνο, είναι το νερό, ως ατμός και συμπυκνωμένο υγρό. Η ατμόσφαιρα αποτελείται από περίπου 1-3% υδρατμούς. Στους 20°C και 100% υγρασία υπάρχει 0.015kg H_2O/kg αέρα ή το 1,5%, σε 50% της υγρασία 0.008kg H_2O/kg αέρα ή 0,8% του αέρα, και στους 30°C, με 100% υγρασία, 0.028kg H_2O/kg αέρα ή 2,8%.

Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία στην πράξη είναι ακριβώς το μέτρο εκείνο με το οποίο προσδιορίζεται η θερμική κατάσταση των διαφόρων σωμάτων, είναι δηλαδή ένα φυσικό μέγεθος που συνδέεται με την μέση κινητική ενέργεια των σωματιδίων ενός συστατικού, το οποίο και χαρακτηρίζει πόσο θερμό ή πόσο ψυχρό είναι αυτό. Το αίτιο που δημιουργεί το αίσθημα του θερμού ή ψυχρού είναι η θερμότητα που όταν απορροφάται ή εκλύεται από ένα σώμα προκαλεί μεταβολή θερμοκρασίας. Συνεπώς θερμότητα και θερμοκρασία είναι διαφορετικές έννοιες. Η μεν θερμότητα είναι μορφή ενέργειας, η δε θερμοκρασία ιδιότητα και μέγεθος.

1°C = 274.15K = 33.8°F = 493.5Ra = 0.8Re

Σχήμα 3.4: Οι διάφορες κλίμακες μέτρησης της θερμοκρασίας

Κάθε θερμοκρασία που έχει ως αρχή μέτρησης το απόλυτο μηδέν χαρακτηρίζεται απόλυτη θερμοκρασία. Το απόλυτο μηδέν είναι η θερμοκρασία από την οποία ξεκινά η κλίμακα Κέλβιν και που προσδιορίζεται για μεν την κλίμακα Κελσίου στους -273,15°C. Θεωρητικά είναι η κατάσταση εκείνη στην οποία ένα υλικό δεν έχει καμία άλλη ενέργεια παρά αυτή από τις κβαντομηχανικές ταλαντώσεις των ατόμων που το αποτελούν. Η μέγιστη τιμή θερμοκρασίας που μπορεί να υπάρξει θεωρητικά είναι 10^{51}K, αφού με τέτοια θερμοκρασία υπολογίζεται ότι τα άτομα θα κινούνται με την ταχύτητα του φωτός.

Πίνακας 3.5: Χαρακτηριστικές τιμές θερμοκρασίας

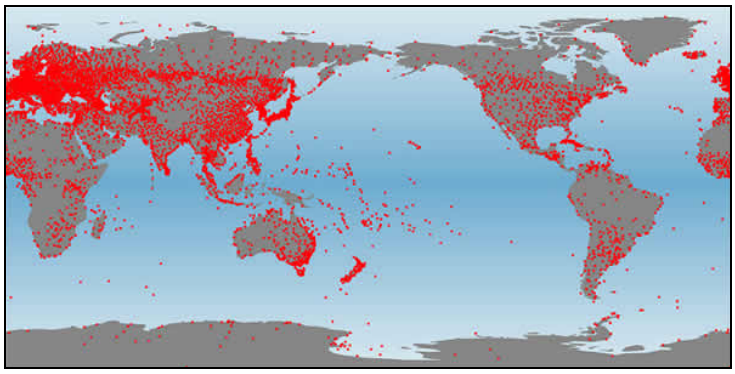
χαρακτηριστικές θερμοκρασίες	°C	K
απόλυτο μηδέν	-273,15	0
ελάχιστη μέτρηση στη Γη (Vostok)	-88,3	184,85
τήξη του πάγου	0	273,15
μέση θερμοκρασία Γης	15	288,15
μέγιστη μέτρηση στη Γη (Λιβύη)	57,8	330,95
βρασμός νερού	100	373,15
μέση θερμοκρασία Αφροδίτης	460	733,15
επιφάνεια Ήλιου	6000	6273,15
μέγιστη θεωρητική τιμή	10^{51}	10^{51}

Ο ατμοσφαιρικός αέρας θερμαίνεται αφ΄ενός από τις ηλιακές ακτίνες που τον διαπερνούν και αφ΄ετέρου από την επιφάνεια του εδάφους που θερμαίνεται επίσης από την ηλιακή ακτινοβολία, πολύ όμως ισχυρότερα του αέρος. Γι αυτό και τα κατώτερα στρώματα της ατμοσφαίρας είναι θερμότερα των υπερκειμένων. Η

ένταση αυτή της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στην επιφάνεια του εδάφους, είναι τόσο μεγαλύτερη όσο μεγαλύτερο είναι το ύψος του Ηλίου (κάθετα). Επίσης η θερμοκρασία αυτή ελαττώνεται μέσα στη τροπόσφαιρα κατά 0,64°C/100m (κατακόρυφη θερμοβαθμίδα). Έτσι π.χ. αν η θερμοκρασία στην επιφάνεια της ξηράς ή θαλάσσης είναι 20°C, τότε σε ύψος 1000m η θερμοκρασία θα είναι περίπου 14°C. Κατά τις ανέφελες νύχτες η επιφάνεια του εδάφους λόγω έντονης ακτινοβολίας αρχίζει και ψύχεται πολύ περισσότερο του υπερκείμενου αέρα. Τα κατώτερα επομένως στρώματα θα έχουν θερμοκρασία μικρότερη των υπερκειμένων τους, δηλαδή η θερμοκρασία κατά ύψος μέχρις ενός σημείου θα αυξάνει αντί να μειώνεται. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται θερμοκρασιακή αναστροφή.

Μετρήσεις θερμοκρασίας

Ακολουθούν μεθοδολογίες μέτρησης, παρουσίαση των αποτελεσμάτων και εξαγωγή συμπερασμάτων για την τάση της θερμοκρασίας στα τελευταία χρόνια. Πηγή των δεδομένων είναι οι καταγραφές των μετεωρολογικών οργάνων κατά μήκος ολόκληρου του πλανήτη. Συνήθως οι καταγραφές είναι πολύ πρόσφατες και μικρής διάρκειας, αφού τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν, δημιουργήθηκαν και τέθηκαν σε λειτουργία μόνο τους τελευτάιους αιώνες ή δεκαετίες. Ένα άλλο πρόβλημα με αυτές τις καταγραφές είναι ότι τεράστιες εκτάσεις της Γης δεν ελέγχονται. Οι περισσότερες από τις μετρήσεις των οργάνων αναφέρονται σε κατοικημένες περιοχές της Ευρώπης και της Β.Αμερικής. Πολύ λιγότερες και πιο πρόσφατες καταγραφές υπάρχουν για τοποθεσίες σε λιγότερο αναπτυγμένες χώρες, σε αραιοκατοικημένες περιοχές και στους ωκεανούς.



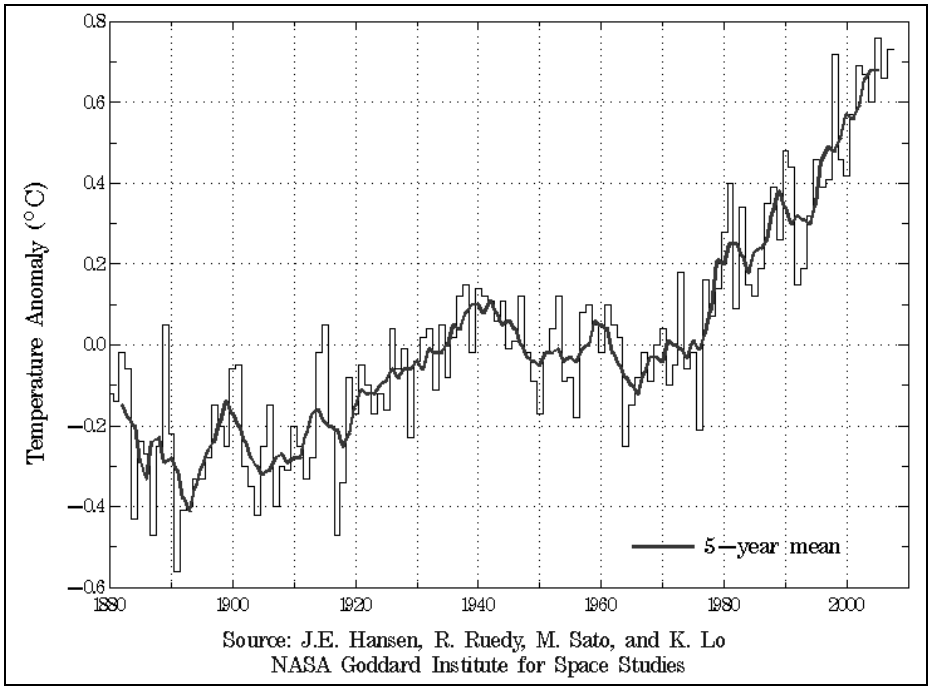
Χάρτης 3.6: Οι μετεωρολογικοί σταθμοί του δικτύου WMO

Όσο όμως περνούν τα χρόνια, όλο και περισσότεροι μετεωρολογικοί σταθμοί τοποθετούνται κατά μήκος και πλάτος της υφηλίου. Χαρακτηριστικός, του τεράστιου αριθμού των μετεωρολογικών σταθμών που υπάρχουν σήμερα, είναι ο παραπάνω χάρτης, όπου φαίνονται οι σταθμοί μόνο του δικτύου WMO. Ένα πολύ σημαντικό πρόσφατο «απόκτημα» της προσπάθειας για ανάπτυξη μιας παγκόσμιας καταγραφής των κλιματικών δεδομένων, είναι η χρήση των τηλεκατευθυνόμενων δορυφόρων.

NASA GISS Surface Temperature (GISTEMP)

Περίοδος αρχείου
1880-2007

Μέθοδοι
Η ανάλυση του προγράμματος NASA GISS Surface Temperature (GISTEMP) παρέχει ένα μέτρο της μεταβαλλόμενης παγκόσμιας επιφανειακής θερμοκρασίας, με μηνιαία ευκρίνεια για την περίοδο από το 1880, όταν κατορθώθηκε μια εύλογα παγκόσμια διανομή των μετεωρολογικών σταθμών. Τα δεδομένα εισόδου που χρησιμοποίησε ο *Hansen* για την ανάλυση, που συλλέχθηκαν από πολλές εθνικές μετεωρολογικές υπηρεσίες από όλο τον κόσμο, αποτελούν τα στοιχεία του παγκόσμιου GHCN (Peterson, Vose, 1998), του αμερικανικού USHCN και του ανταρκτικού SCAR. Η ανάλυση GISS ενημερώνεται μηνιαία.
Ο Hansen τροποποίησε τα στοιχεία (GHCN/USHCN/SCAR) σε δύο βήματα για να φτάσει σε στοιχεία στα οποία όλοι οι πίνακες, οι γραφικές παραστάσεις, και οι χάρτες τους είναι βασισμένοι: στο βήμα 1, εάν υπάρχουν πολλαπλά αρχεία σε έναν δεδομένο σταθμό, αυτά συνδυάζονται σε ένα αρχείο, και στο βήμα 2, ρυθμίζουν τους μη υπαίθριους σταθμούς κατά τέτοιο τρόπο ώστε η μακροπρόθεσμη τάση των ετήσιων μέσων όρων, να συμπίπτει με το μέσο όρο των αντίστοιχων γειτονικών υπαίθριων σταθμών. Τα αρχεία από τους αστικούς σταθμούς, χωρίς κοντινούς υπαίθριους σταθμούς, απορρίπτονται.
Η ανάλυση περιλαμβάνει τα αποτελέσματα για έναν παγκόσμιο δείκτη θερμοκρασίας όπως περιγράφεται από τον Hansen. Ο δείκτης θερμοκρασίας διαμορφώνεται με το συνδυασμό των μετρήσεων των μετεωρολογικών σταθμών σε χερσαίες περιοχές, με τις μετρήσεις από την επιφάνεια της θάλασσας που έχουν ληφθεί πριν από το 1982 (Rayner, 2003) και από τις δορυφορικές μετρήσεις έκτοτε (Smith, 1996).
Η ανάλυση περιορίζεται στην περίοδο από το 1880 εώς σήμερα, λόγω της φτωχής χωρικής κάλυψης των σταθμών πριν από εκείνο τον χρόνο και της μειωμένης δυνατότητας ελέγχου των στοιχείων. Τα στοιχεία των μετεωρολογικών σταθμών παρέχουν μια χρήσιμη ένδειξη της θερμοκρασιακής μεταβολής στο βόρειο ημισφαίριο, μερικές δεκαετίες πριν από το 1880, ενώ υπάρχει και ένας μικρός αριθμός αρχείων που επεκτείνονται πίσω στους προηγούμενους αιώνες. Ωστόσο, ο *Hansen* θεωρεί ότι οι αναλύσεις για αυτά τα παλαιότερα έτη, πρέπει να τεθούν στη βάση του κάθε σταθμού, σε μια προσπάθεια να διακριθεί η μέθοδος και η αξιοπιστία των μετρήσεων κάθε σταθμού, κάτι πέρα από το πεδίο της ανάλυσής τους.



Σχήμα 3.7: Η διακύμανση της παγκόσμιας θερμοκρασίας στα έτη 1880-2008, σε σχέση με τα μέσα της περιόδου 1951-1980 (Hansen, 2009)

Τάσεις

Οι τάση στη μέση ετήσια διακύμανση της θερμοκρασίας , τόσο για το έδαφος, όσο και για το έδαφος μαζί με τους ωκεανούς, παρουσιάζει ένα αρκετά μεγάλο κομμάτι υψηλής μεταβλητότητας, από την αρχή του αρχείου μέχρι περίπου το 1920, αλλά χωρίς να παρατηρείται πραγματική τάση, ούτε ανοδική ούτε καθοδική. Από το 1920 μέχρι το 1940, παρατηρείται μια σημαντική θέρμανση περίπου 0.3°C, που ακολουθείται από μια λιγότερο ραγδαία ψύξη εώς το 1960. Από τη δεκαετία του '70 μέχρι σήμερα, παρατηρείται μια ανοδική τάση της τάξης των 0.6°C.

Ενδεικτικά, το έτος 2008, ήταν το ψυχρότερο έτος από το 2000 και το ένατο θερμότερο σε ολόκληρη την περίοδο των καταγραφών (1880-2008). Η αποχή, από τα μέσα της περιόδου 1951-1980, το έτος 2008, ήταν 0.54°C πάνω από τη χέρσο και 0.44°C συνολικά. Η μέση παγκόσμια θερμοκρασία, για το πιό πρόσφατο έτος στο αρχείο, το 2007, ήταν 14°C +0.73°C για το έδαφος και +0.57°C συνολικά. Η ασυνήθιστη θέρμανση, που παρατηρήθηκε το 2007, είναι αξιοσημείωτη επειδή εμφανίζεται σε μία εποχή που είναι η ηλιακή ακτινοβολία βρίσκεται σε ελάχιστο και η ισημερινή ζώνη του Ειρηνικού Ωκεανού είναι στη δροσερή φάση του φυσικού κύκλου El Niño-La Niña. Το 2005 ήταν το θερμότερο έτος που καταγράφηκε μέχρι σήμερα με αποχή +0.76°C για το έδαφος και +0.62°C για το έδαφος συν τον ωκεανό.

Οι ετήσιες σειρές τάσεων στο βόρειο και νότιο ημισφαίριο παρουσιάζουν σε γενικές γραμμές κάποιες ομοιότητες, όπως πχ σταθερότητα πριν το 1920, μια αυξανόμενη τάση που τελειώνει με μια αιχμή στις αρχές της δεκαετίας του 1940, μια καθοδική τλαση μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του '70, που ακολουθείται με την ισχυρή θέρμανση έκτοτε, με τις υψηλότερες θερμοκρασίες να εμφανίζονται μετά από το 1990. Η γενική τάση για το βόρειο ημισφαίριο είναι κάπως υψηλότερη από αυτή του νότιου ημισφαιρίου, και ενώ η υψηλότερη θερμοκρασία εμφανίστηκε στο βόρειο ημισφαίριο το 2005, το 2002 είναι ακόμα το θερμότερο έτος που των καταγραφών για το νότιο ημισφαίριο. Τα σχετικά ψυχρά έτη που παρατηρήθηκαν

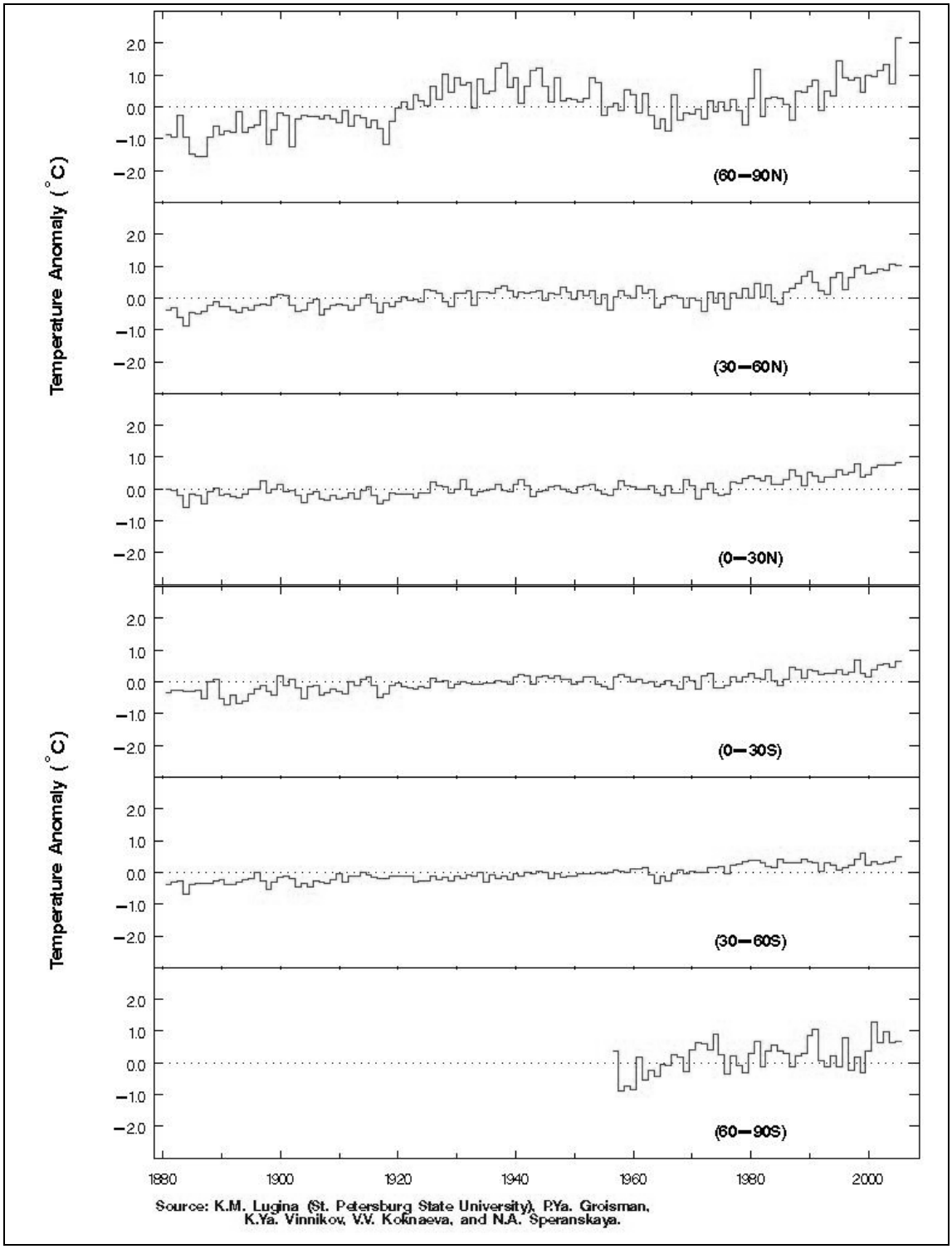
στις αρχές της δεκαετίας του '90, θεωρείται ότι έχουν προκύψει από τα αποτελέσματα του «νέφους» σκόνης που παράχθηκε από την έκρηξη του ηφαιστείου (βλ. κεφάλαιο 2, σελ 24) του όρους Pinatubo (Parker, 1996).

Μηνιαία καταγραφή της θερμοκρασίας του αέρα στην επιφάνεια, κατά γεωγραφική ζώνη

Περίοδος αρχείου
1881-2005

Μέθοδοι
Οι μέσες μηνιαίες και ετήσιες τιμές της θερμοκρασίας του αέρα στην επιφάνεια που συντάσσονται από τους *K.M.Lugina, P.Ya.Groisman, K.Ya.Vinnikov, N.A.Speranskaya,* έχουν ληφθεί κυρίως από τις καταγραφές των *World Weather Records*, *Monthly Climatic Data for the World*, και *Meteorological Data for Individual Years over the Northern Hemisphere*. Αυτά τα δημοσιευμένα αρχεία, συμπληρώθηκαν με επιπλέον στοιχεία από τις διαφορετικές εθνικές δημοσιεύσεις. Στο αρχικό αρχείο, μετά από την αφαίρεση των αρχείων που θεωρήθηκαν ανομοιογενή ή ασφαλμένα, 301 και 265 σταθμοί χρησιμοποιήθηκαν για να καθορίσουν τη μέση θερμοκρασία για το βόρειο και το νότιο ημισφαίριο, αντίστοιχα. Η νέα έκδοση του αρχείου θερμοκρασίας, που χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση των «κατά γεωγραφική ζώνη» υπολογισμένων κατά μέσο όρο θερμοκρασιών, δημιουργήθηκε το 1995 (βλέπε σχήμα 3.8). Η επεξεργασία (περιοχή-υπολογισμός μέσου όρου) οργανώθηκε κατά τέτοιο τρόπο, ώστε τα κάθε στοιχεία από έναν νέο σταθμό, εκτείνονται στην περίοδο αναφοράς (1951-1975) και στα έτη έκτοτε.
Λεπτομέρειες για τη μεθοδολογία του «κατά γεωγραφική ζώνη» υπολογισμού της μέσης θερμοκρασίας, δίνονται από τους Lugina (1977), Kagan (1979), Vinnikov (1982), και Groisman (1985).

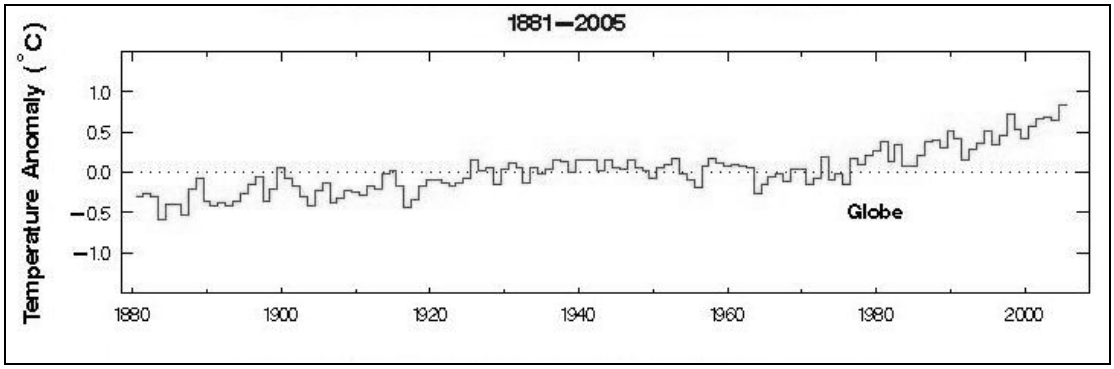
Τάσεις
Με βάση αυτά τα μέσα μηνιαία και ετήσια στοιχεία για τη θερμοκρασία του αέρα της επιφάνειας, ο *Vinnikov* αναφέρει ότι και τα δύο ημισφαίρια θερμαίνονται με μαι τάση των 0.5°C/100yrs. Το βόρειο ημισφαίριο παρουσιάζει τάση 0.71°C/100yrs, και το νότιο ημισφαίριο (0°-60°S) περίπου 0.56°C/100 yrs. Το παγκόσμιο ποσοστό θέρμανσης, σε αυτήν την περίπτωση (90°N-60°S), είναι 0.64°C/100yrs. Αυτή η τάση είναι πολύ κοντά στην αντίστοιχη, 0.70°C/100yrs, που υπολογίστηκε από τον *Jones* και τον *Moberg* το 2003, με βάση παγκόσμιες καταγραφές κατά τη διάρκεια της περιόδου 1901-2000.



Σχήμα 3.8: Η διακύμανση της παγκόσμιας θερμοκρασίας στα έτη 1881-2005, στα διάφορα γεωγραφικά πλάτη του πλανήτη

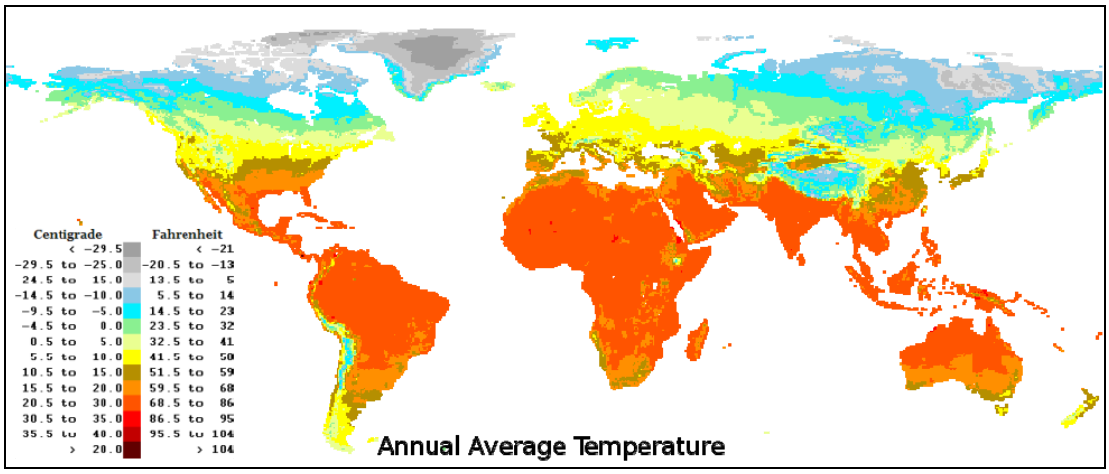
Στη ζώνη γεωγραφικού πλάτους 60°S-90°S, παρουσιάζεται μια αύξηση στις ετήσιες θερμοκρασίες, των 0.17°C/10yrs, με τη μεγαλύτερη τάση προφανώς στους χειμερινούς μήνες (0.47°C/10yrs). Οι *Jacka και Budd* υπολόγισαν μια ανταρκτική θέρμανση, 0.12°C/10yrs, ενώ οι *Reid και Jones,* μια θέρμανση 0.15°C/10 yrs. Αυτές οι τρεις βάσεις δεδομένων, μην αντιπροσωπεύοντας το ίδιο δίκτυο σταθμών, απεικονίζουν ουσιαστικά τις αλλαγές θερμοκρασίας στους ανταρτικούς σταθμούς,

οι περισσότεροι από τους οποίους είναι κοντά στην ακτή της ηπείρου. Ενώ αυτές οι τάσεις θέρμανσης για τα υψηλά γεωγραφικά πλάτη του νότιου ημισφαιρίου είναι αρκετά μεγάλες, πρέπει να αναφερθεί ότι: 1) Υπάρχει ακραία διαχρονική μεταβλητότητα της θερμοκρασίας σε αυτά τα γεωγραφικά πλάτη, 2) Η ατμοσφαιρική αδράνεια για αυτήν την περιοχή είναι χαμηλή, 3) Αυτή η περιοχή είναι ένα μικρό μέρος της παγκόσμιας επιφάνειας και 4) Η χρονική περίοδος του αρχείου για την περιοχή αυτή είναι αρκετά μικρή. Επομένως, σύμφωνα με τον Lugina, δεν πρέπει να δωθεί τόση έμφαση στις τάσεις για αυτήν την πολική περιοχή όπως θα πρέπει να δωθεί στις μεταβολές πλησιέστερα του ισημερινού, όπου η ατμοσφαιρική αδράνεια είναι μεγαλύτερη και το ποσοστό επί της παγκόσμιας επιφάνειας είναι τεράστιο.
Στις καταγραφές του Lugina όπως στα αρχεία άλλων ερευνητών, φαίνεται ότι η δεκαετία του '80, η δεκαετία του '90, και τα πρώτα αρκετά έτη του 21ου αιώνα ήταν πολύ θερμότερα από το υπόλοιπο αρχείο. Το πιό πρόσφατο έτος του αρχείου στοιχείων, το 2005, είδε τη θερμότερη μέση ετήσια θερμοκρασία (0.84°C) και τη θερμότερη του βόρειου ημισφαιρίου (1.08°C).

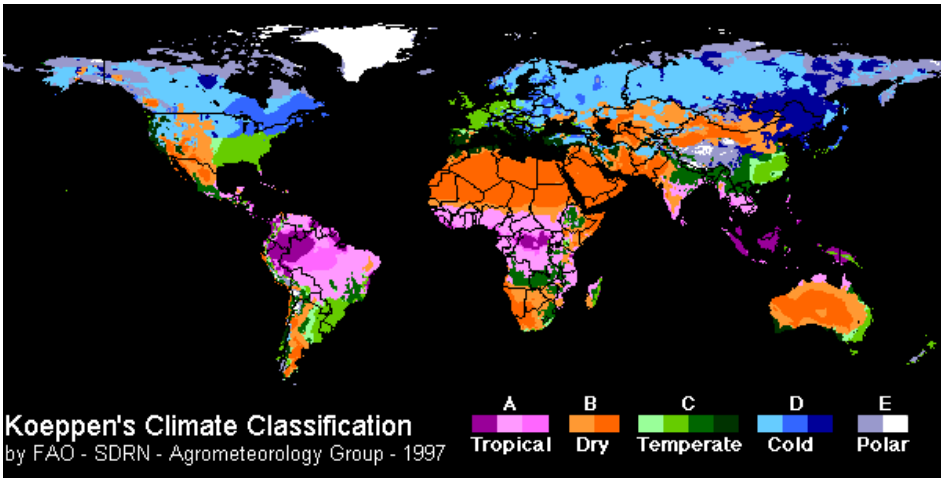


Σχήμα 3.9: Η διακύμανση της παγκόσμιας θερμοκρασίας στα έτη 1881-2005 (K.M.Lugina, P.Ya.Groisman, K.Ya.Vinnikov, N.A.Speranskaya)

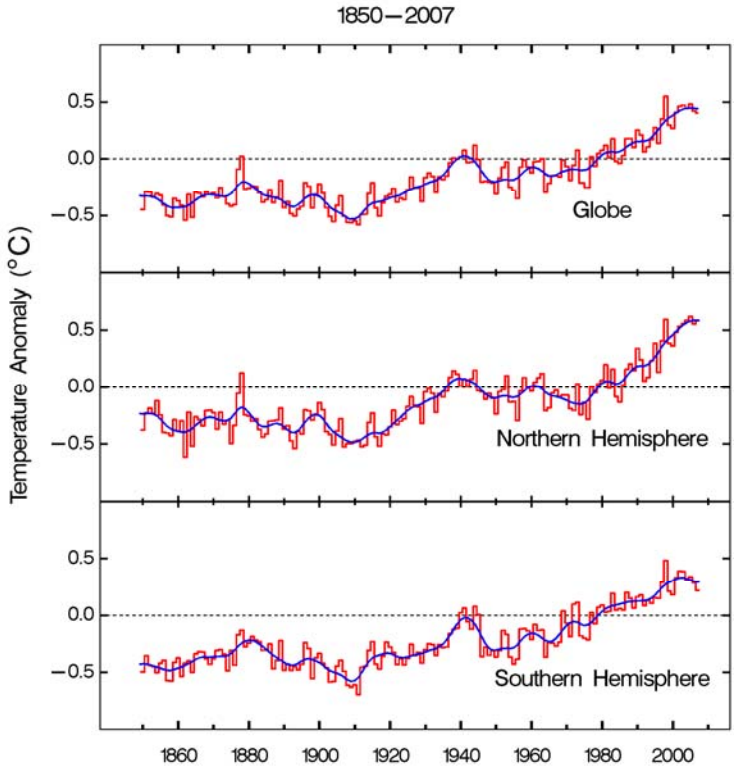
Παγκοσμίως, σύμφωνα με αυτές τις καταγραφές, τα 12 θερμότερα έτη του αρχείου έχουν εμφανιστεί μετά το 1990. Κατά σειρά είναι το 2005, το 1998, το 2003, το 2002, το 2004, το 2001, το 1999, το 1995, το 1990, το 1997, και το 1991/2000.
Να σημειωθεί ότι, ενώ η θερμοκρασία «ρεκόρ», το 2005, βρίσκει σύμφωνους τους Lugina (σχήμα 3.9) και Hensen (σχήμα 3.7), η ανάλυση του Jones (σχήμα 3.12) δείχνει το 2005 σαν δεύτερη θερμότερη χρονιά, πίσω από το 1998.



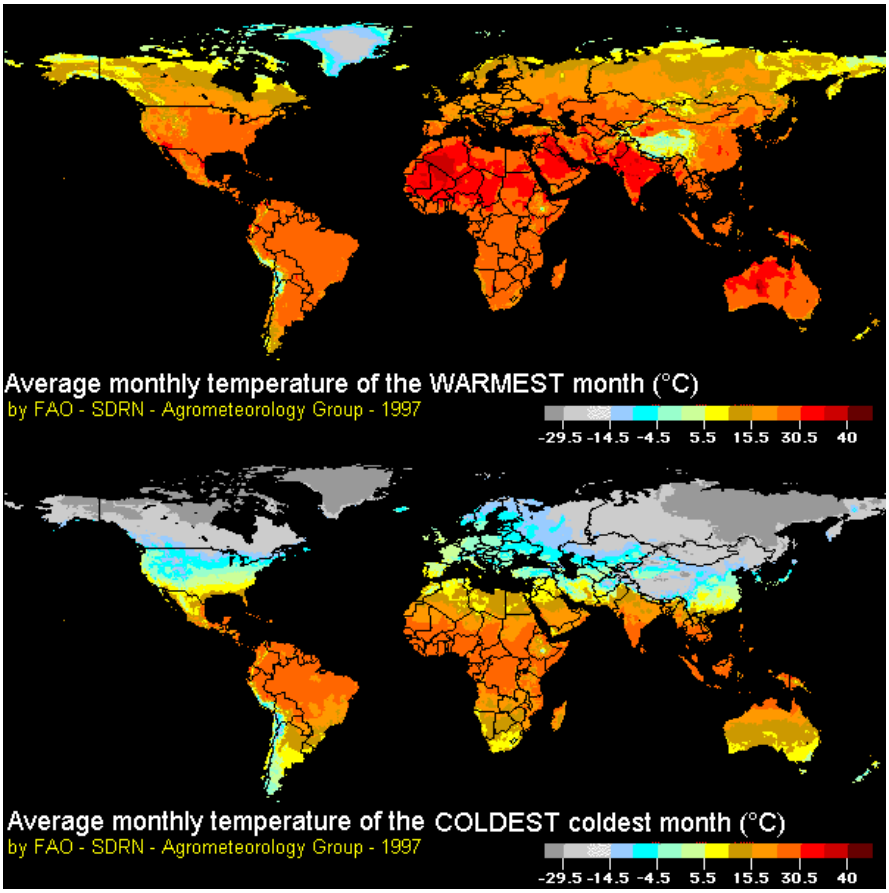
Σχήμα 3.10: Χάρτης που παρουσιάζει τις μέσες ετήσιες τιμές θερμοκρασίας κατά μήκος του πλανήτη (NASA, 2008)



Σχήμα 3.11: Χάρτης που παρουσιάζει τις κλιματικές ζώνες του πλανήτη



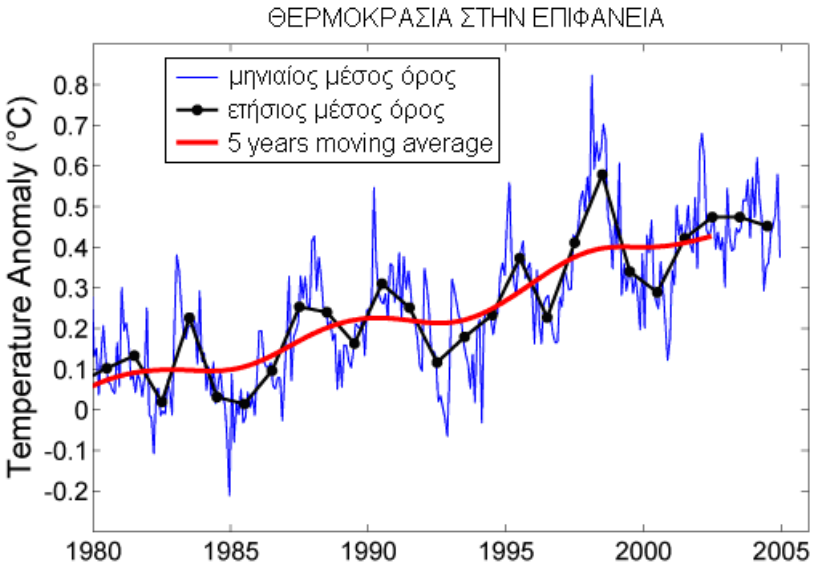
Σχήμα 3.12: Η διακύμανση της θερμοκρασίας, παγκόσμια, στο βόρειο και στο νότιο ημισφαίριο, τα έτη 1850-2007 (πηγή: P.D.Jones, D.E.Parker, Berkshire UK, 2008)



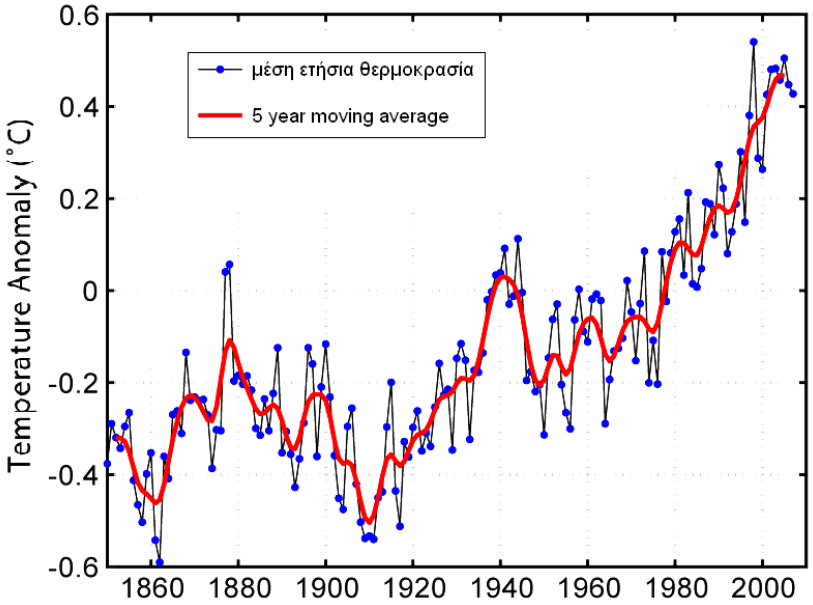
Σχήμα 3.13: Χάρτες που παρουσιάζουν τις μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας κατά μήκος του πλανήτη, για τον θερμότερο και για τον ψυχρότερο μήνα του 1997.

Κλιματική Αλλαγή

Ο όρος παγκόσμια θέρμανση (global warming) δηλώνει μία ειδική περίπτωση κλιματικής μεταβολής και αναφέρεται στην αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας της γης και των ωκεανών που παρατηρείται από το 1800 μέχρι και σήμερα, δηλαδή στη λεγόμενη «βιομηχανική περίοδο».



Σχήμα 3.14: Η διακύμανση της παγκόσμιας θερμοκρασίας στα έτη 1980-2005



Σχήμα 3.15: Η διακύμανση της παγκόσμιας θερμοκρασίας στα έτη 1850-2005

Θεωρίες για την πρόσφατη κλιματική αλλαγή (1800-σήμερα)

Οι θεωρίες που προσπαθούν να ερμηνεύσουν τις κλιματικές αλλαγές, ιστορικά, παρουσιάζονται αναλυτικά στο προηγούμενο κεφάλαιο, στην ανάλυση των παλαιοκλιματολογικών δεδομένων.
Όσον αφορά την κλιματική μεταβολή που παρατηρείται στη βιομηχανική εποχή, από το 1800 μέχρι και σήμερα, με τις ανοδικές τάσεις που παρατηρήσαμε στις προηγούμενες σελίδες (βλέπε μετρήσεις θερμοκρασίας, σχήματα), τα αίτια φαίνεται να είναι τα εξής:
1) τεκτονικές αιτίες
2) αστρονομικές αιτίες
3) ατμοσφαιρικές αιτίες
4) ανθρωπογενείς αιτίες

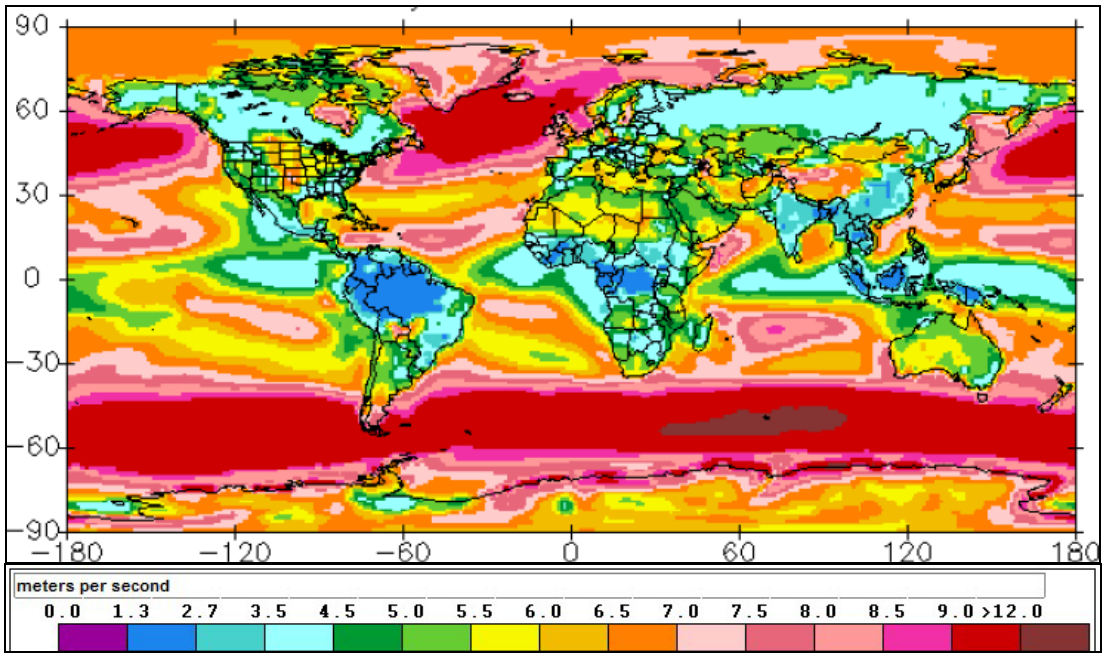
Το μέγεθος και η συνεισφορά της κάθε αιτίας στο φαινόμενο της πρόσφατης θέρμανσης του πλανήτη είναι αντικείμενο μελέτης και συζήτησης στην επιστημονική κοινότητα. Η πιο δημοφιλής θεωρία είναι αυτή που συνδέει την υπερθέρμανση του πλανήτη με την αύξηση της συγκέντρωσης των αερίων του θερμοκηπίου (και κυρίως του CO_2) στην ατμόσφαιρα λόγω της ανθρώπινης δραστηριότητας. Αυτή η αύξηση, λένε οι υποστηρικτές τις θεωρίας, προκαλεί την ένταση του φαινομένου του θερμοκηπίου, με ένα μηχανισμό που θα αναλύσουμε στις επόμενες σελίδες.
Άλλοι επιστήμονες, αρνούνται αυτή την άποψη και επιμένουν στα συμπεράσματα των παλαιοκλιματολογικών δεδομένων, θεωρώντας την ανθρώπινη «συνεισφορά» αμελητέα μπροστά στην περιοδικότητα των κλιματικών μεταβολών. Για αυτούς, η κλιματική μεταβολή προκαλείται από την ηφαιστειακή δράση, τις τεκτονικές μεταβολές και τις περιοδικές (ή μη) αλλαγές στην ηλιακή δραστηριότητα. Η πιο δημοφιλείς από αυτές τις θεωρίες, όπως αναλύθηκαν στο κεφάλαιο 2, είναι η θεωρία των ηλιακών κηλίδων, καθώς και οι κύκλοι του Milankovitch.
Πιο διεξοδικά, θα αναλύσουμε τη σχέση του CO_2 με τη θερμοκρασία και με την κλιματική μεταβολή στο κεφάλαιο 5.

Άνεμοι

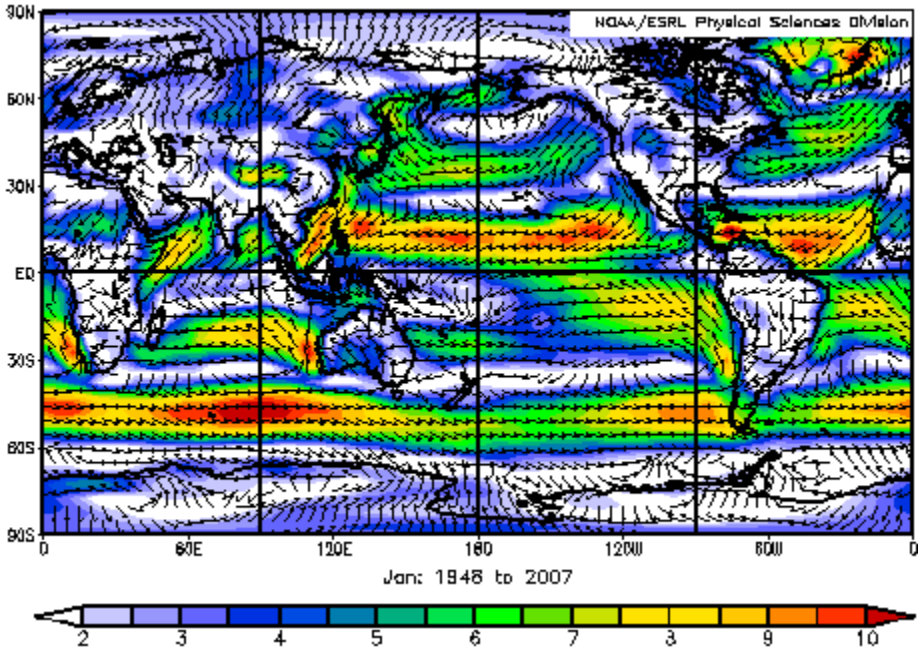
Η όποια αισθητή «οριζόντια κίνηση» του αέρα ονομάζεται άνεμος. Πρωταρχική γενεσιουργός αιτία του ανέμου είναι η διαφορά της θερμοκρασίας του αέρος που με τη σειρά της δημιουργεί υπό ορισμένες προϋποθέσεις, διαφορές βαρομετρικής πίεσης μεταξύ παρακείμενων τόπων. Αν δύο συνεχόμενες περιοχές παρατηρηθεί να μην έχουν την αυτή θερμοκρασία τότε η ατμοσφαιρική πίεση της περισσότερο ψυχρής θα είναι μεγαλύτερη της θερμότερης, με αποτέλεσμα να κινηθεί αέρια μάζα από τη ψυχρότερη στη θερμότερη περιοχή. Η ένταση του ανέμου εκφράζεται είτε με την πίεση την οποία ασκεί στην επιφάνεια των διαφόρων σωμάτων, είτε με την ταχύτητα με την οποία αυτός κινείται. Στη Μετεωρολογία η ένταση του ανέμου εκφράζεται συνήθως με την ταχύτητά του οπότε δίδεται σε μέτρα ανά δευτρόλεπτο ή σε χιλιόμετρα/ώρα ή σε κόμβους. Ανάλογα της έντασής του ο άνεμος χαρακτηρίζεται ως: ασθενής, μέτριος, ισχυρός, σφοδρός, ορμητικός, θυελλώδης, όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 3.16 : Η κλίμακα Μποφόρ για τη μέτρηση του ανέμου

Μποφόρ	km/ώρα	Χαρακτηρισμός ανέμου	Χαρακτηρισμός θάλασσας
0	<1	Νηνεμία	Γαλήνια
1	1-5	Υποπνέων	Ρυτιδούμενη
2	6-11	Ασθενής	Ήρεμη
3	12-19	Λεπτός	Λίγο ταραγμένη
4	20-28	Μέτριος	Μέτρια ταραγμένη
5	29-38	Λαμπρός	Ταραγμένη
6	39-49	Ισχυρός	Κυματώδης
7	50-61	Σφοδρός	Πολύ κυματώδης
8	62-74	Θυελλώδης	Κυματώδης έως τρικυμιώδης
9	75-88	Θύελλα	Τρικυμιώδης
10	89-102	Ισχυρή θύελλα	Πολύ τρικυμιώδης
11	103-117	Σφοδρή θύελλα	Μαινόμενη
12	118-133	Τυφώνας	Παράφορη
13	134-149	Τυφώνας	Παράφορη
14	150-166	Τυφώνας	Παράφορη
15	167-183	Τυφώνας	Παράφορη
16	184-201	Τυφώνας	Παράφορη
17	>201	Τυφώνας	Παράφορη



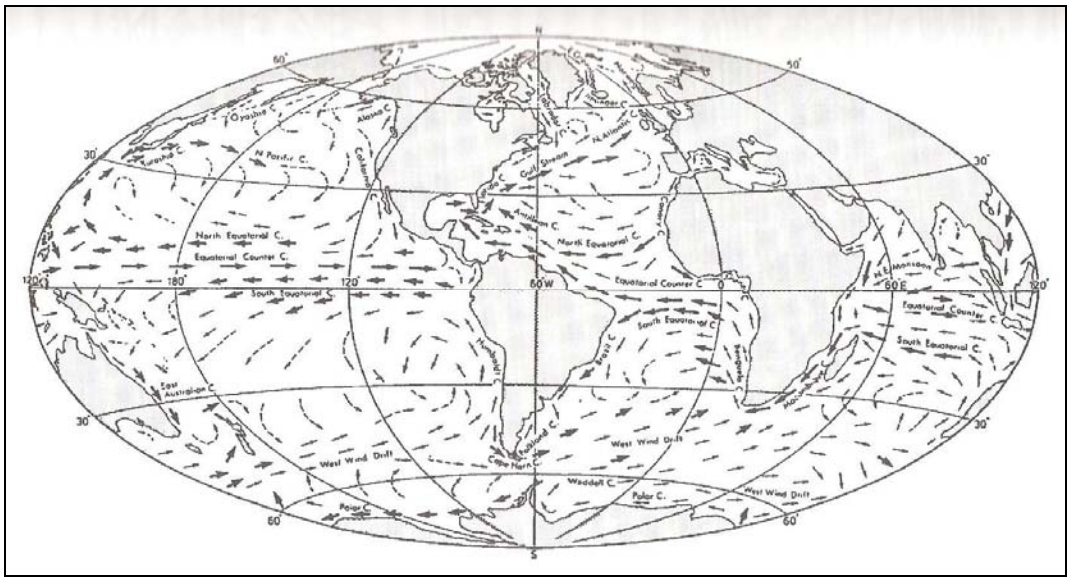
Σχήμα 3.17 : Οι άνεμοι (m/s) που επικρατούν στον πλανήτη (NASA, 2007)



Σχήμα 3.18 : Οι μεταβολή των ανέμων που επικρατούν στον πλανήτη 1948-2007 (NOAA Earth System Research Laboratory,2007)

Θαλάσσια Ρεύματα

Τα τμήματα της θαλάσσιας μάζας που έχουν μια αυστηρώς προσανατολισμένη οριζόντια κίνηση, ονομάζονται θαλάσσια ρεύματα. Τα θαλάσσια ρεύματα διακρίνονται σε επιφανειακά και βάθους. Επίσης σε θερμά, αν η θερμοκρασία τους είναι μεγαλύτερη της θαλάσσιας μάζας που τα περιβάλλει και ψυχρά, αν είναι μικρότερη. Η μέση ταχύτητα ενός ρεύματος είναι 4m/min με ακραία τιμή τα 10m/min. Έτσι ο χρόνος που απαιτείται για να συμπληρωθεί ο κύκλος του ρεύματος του βόρειου Ειρηνικού είναι 10-12 χρόνια.

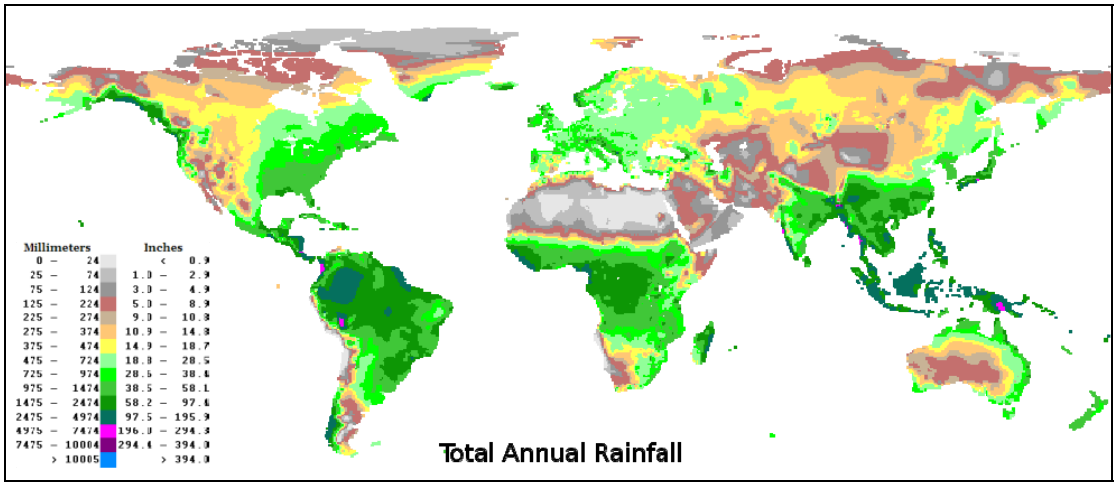


Σχήμα 3.19: Τα σπουδαιότερα θαλάσσια ρεύματα του πλανήτη (J.G.Harvey, “Atmosphere and Ocean”)

Πρέπει να σημειωθεί ότι τα θαλάσσια ρεύματα, σε παλαιότερες εποχές, έπαιξαν σημαντικό ρόλο στις θαλάσσιες συγκοινωνίες. Κλιματολογικά, σημαντικός είναι ο ρόλος τους στη «δικαιότερη» κατανομή της ενέργειας στον πλανήτη, μεταφέροντας αισθητά ποσά θερμότητας από τη ζώνη των μικρών γεωγραφικών πλατών προς τις περιοχές με ενεργειακό έλλειμμα.

Βροχόπτωση

Υετός γενικά ονομάζεται κάθε πτώση ή εναπόθεση στο έδαφος προϊόντων του ύδατος (σε υγρή ή στερεά μορφή) τα οποία προέρχονται από συμπύκνωση των υδρατμών της ατμόσφαιρας. Κυριότερες μορφές του υετού είναι: η βροχή, το Χιονόνερο, οι Ψεκάδες, το Χαλάζι, το Χιόνι, οι Χιονόκοκκοι, οι Παγοβελόνες, οι Παγόκοκκοι και ο Υαλοπάγος που δημιουργείται όμως στο έδαφος. Οι παραπάνω μορφές ονομάζονται και υδατώδη μετεωρολογικά κατακρημνίσματα, ή απλά κατακρημνίσματα, όταν αναφέρονται στη μετεωρολογία.
Η ποσότητα του ύδατος που πέφτει στο έδαφος υπό οποιαδήποτε μορφή του υετού μετριέται με ειδικό όργανο που λέγεται βροχόμετρο το οποίο και εκφράζει το ύψος που θα αποκτούσε το ύδωρ εάν αυτό δεν εξατμιζόταν ή δεν το απορροφούσε το έδαφος ή δεν διέρρεε στη θάλασσα. Άλλο ένα όργανο εκτός του βροχόμετρου είναι και το αυτογραφικό όργανο ο βροχογράφος.

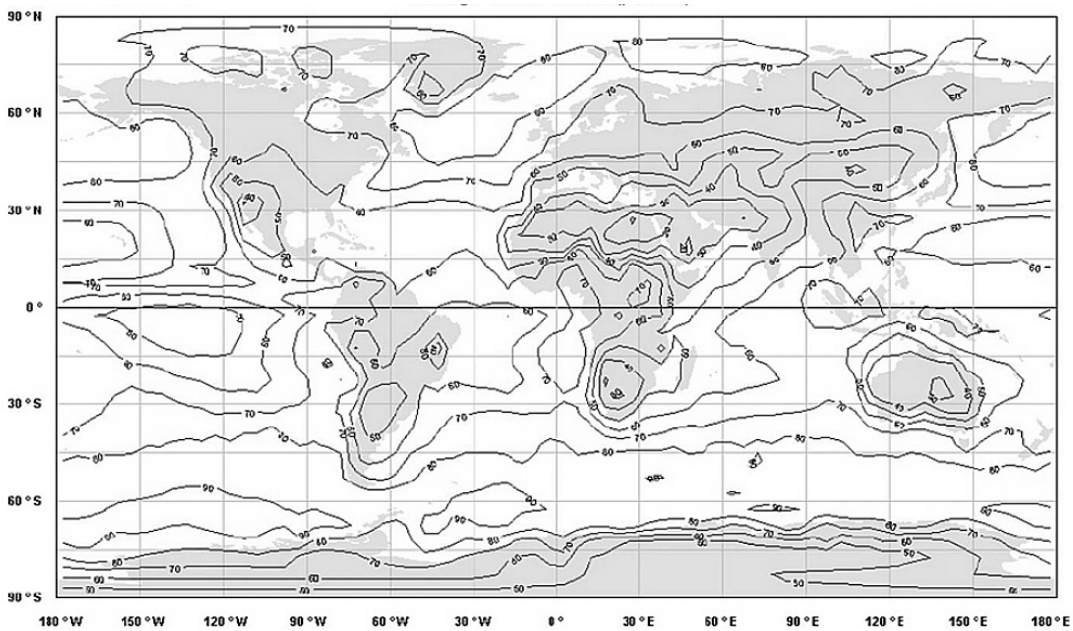


Σχήμα 3.20: Ετήσια βροχόπτωση σε όλο τον πλανήτη σε χιλιοστά και ίντσες (πηγή:UN FAO Sustainable Development Department)

Σύννεφα

Τα νέφη ή σύννεφαποτελούν σύνολο υδρατμών, λεπτότατων υδροσταγονιδίων ή λεπτότατων παγοκρυστάλλων, ή συνδυασμό των προηγουμένων, που προέρχονται από την συμπύκνωση των υδρατμών που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα.
Τα σύννεφα σχηματίζονται από ανοδικά ρεύματα αέρα που φθάνουν στα ύψη της τροπόσφαιρας, όπου εκεί ψύχονται αδιαβατικά. Δηλαδή η ελάττωση της θερμοκρασίας του αέρα επέρχεται από την εκτόνωση αυτού και όχι από το περιβάλλον με συνέπεια να ψύχονται οι υδρατμοί και να σχηματίζονται τα νέφη. Τα

μόρια των υδρατμών ψύχονται και κολλούν επάνω στους πυρήνες των σωματιδίων σχηματίζοντας, έτσι, τα υδροσταγονίδια των νεφών. Με τον τρόπο αυτό και με την συμπύκνωσή τους, που επέρχεται μόλις η θερμοκρασία (ψύξη) αέρος βρεθεί κάτω του σημείου δρόσου του, σχηματίζονται τα νέφη στα διάφορα ύψη της τροπόσφαιρας.



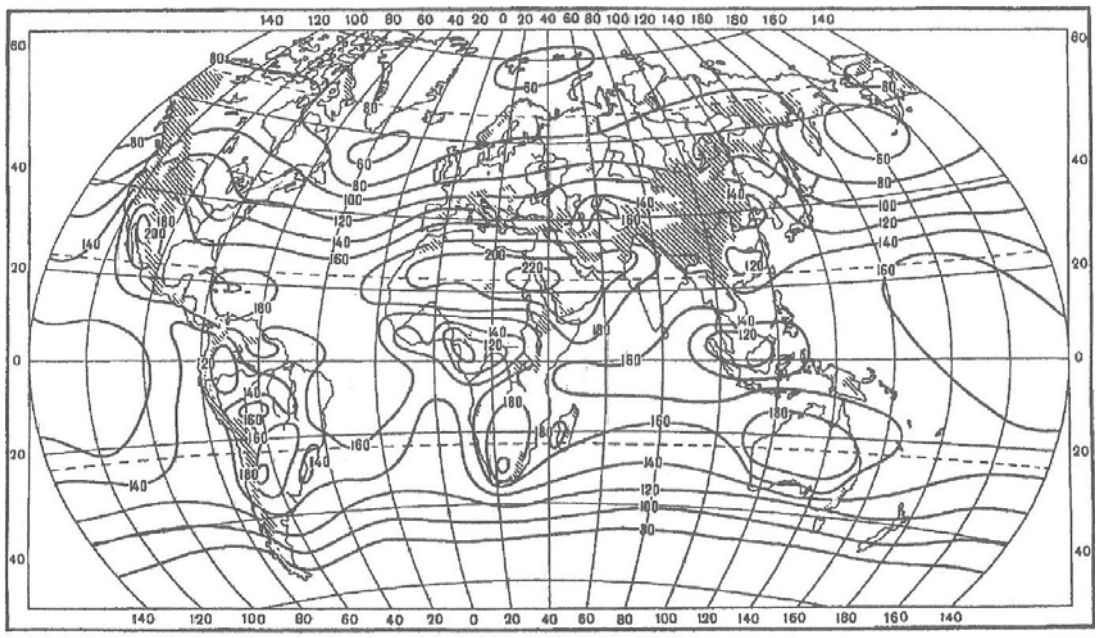
Σχήμα 3.21: Η μέση (1954-2007) ποσοστιαία νεφοκάλυψη πάνω από τη χέρσο και τους ωκεανούς του πλανήτη (πηγή: NASA, 2007)

Η πρακτική σημασία των νεφών για τον καιρό και το κλίμα είναι μεγάλη. Από αυτά προερχονται οι βροχές. Αυτά παρεμβαίνουν στην πορεία της ηλιακής ακτινοβολίας που κατευθύνεται στη Γη, καθώς επίσης και στην ακτινοβολία που εκπέμπεται από την Γη. Τα νέφη, εν προκειμένω, δίκαια μπορούν να χαρακτηρισθούν και ως «υδάτινοι θερμοστάτες», αφού η παρεμβολή τους ελέγχει περισσότερο από κάθε άλλο παράγοντα την θερμομετρική κατάσταση του στρώματος της ατμοσφαίρας που βρίσκεται μεταξύ της βάσης τους και της επιφάνειας της Γης (περίπου 10km).

Ηλιακή ακτινοβολία

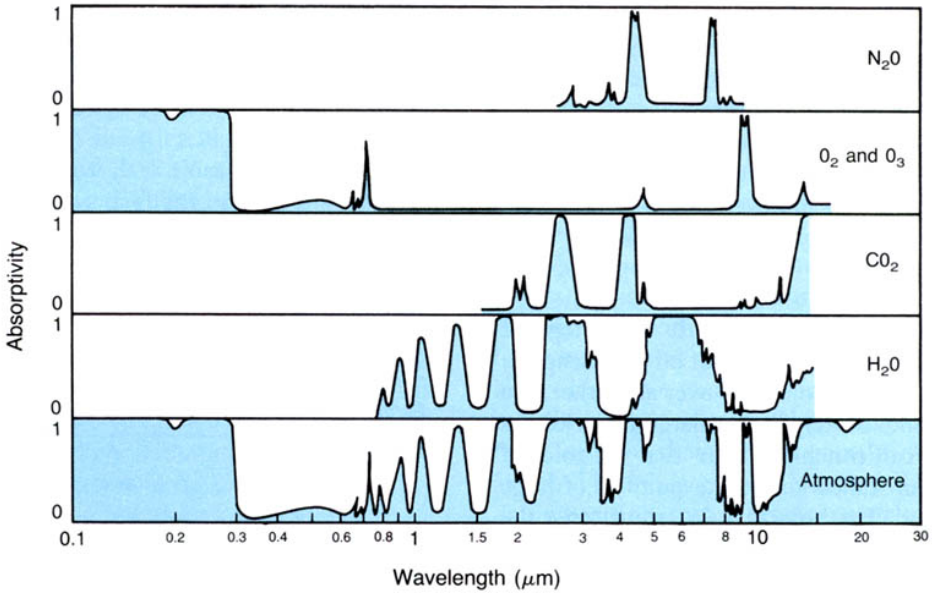
Η βασική πηγή ενέργειας για τη γη είναι ο Ήλιος. Η ηλιακή ενέργεια που φτάνει στη Γη, αντιπροσωπεύει το 99,97% των αναγκών της. Από την επιφάνεια του Ήλιου εκπέμπεται προς το διάστημα ισχύς 56 10^{26} cal/min. Η ένταση της ακτινοβολίας που φτάνει στο ανώτερο όριο της ατμόσφαιρας είναι 1.98ly/min ή 1366 W/m^2. Ένα μέρος αυτής απορροφάται από το σύστημα Γης-ατμόσφαιρας, ενώ το υπόλοιπο διαφεύγει στο διάστημα. Περίπου το 30% της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας ανακλάται, σε ποσοστό 6% από την ατμόσφαιρα, 3% από τα νέφη και 4% από την επιφάνεια της Γης. Το 70% της ηλιακής ακτινοβολίας απορροφάται, κατά 16% από

την ατμόσφαιρα (συμπεριλαμβανομένου και του στρατοσφαιρικού στρώματος του όζοντος), κατά 3% από τα νέφη και κατά το μεγαλύτερο ποσοστό (51%) από την επιφάνεια και τους ωκεανούς. Δηλαδή στην επιφάνεια του εδάφους φτάνει λίγο περισσότερο από το μισό της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στο ανώτερο όριο της ατμόσφαιρας. Από μετρήσεις που έγιναν προκύπτει ότι ότι στο Βόρειο Ημισφαίριο, το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στο έδαφος είναι κατά 4.5% μεγαλύτερο από εκείνο που φτάνει στο Νότιο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στο Β.Ημισφαίριο η αμοσφαιρα είναι πιο ξηρή και παρουσιάζεται μικρότερη νέφωση απ'ότι στο Νότιο Ημισφαίριο.



Σχήμα 3.22: Μέσες ετήσιες τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας (Kly/year) στην επιφάνεια του πλανήτη (M.I.Budyko, "Climate and Life")

Η ηλιακή ακτινοβολία που απορροφάται από το έδαφος και την ατμόσφαιρα, έχει σαν αποτέλεσμα τη θέρμανση τους και κατά συνέπεια την εκπομπή, από το έδαφος και την ατμόσφαιρα, νέων ακτινοβολιών με μεγαλύτερα μήκη κύματος, σύμφωνα με το νόμο του *Stokes*. Αυτές τις ακτινοβολίες τις ονομάζουμε γήινη ακτινοβολία. Επειδή η μέση θερμοκρασία της Γης είναι περίπου 15°C, με βάση το νόμο του *Planck*, το φάσμα της γήινης ακτινοβολίας θα εκτείνεται από 4-100μm. Το μέγιστο της επεμπόμενης από τη Γη ακτινοβολίας θα είναι 10μm.
Αν και η ατμόσφαιρα είναι αρκετά διαφανής για τη μικρού μήκους κύματος, ηλιακή ακτινοβολία, δεν είναι τόσο διαφανής για τη μεγάλου μήκους κύματος, γήινη ακτινοβολία. Μόνο το 8% περίπου της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από το έδαφος διαφεύγει τελικά στο διάστημα.

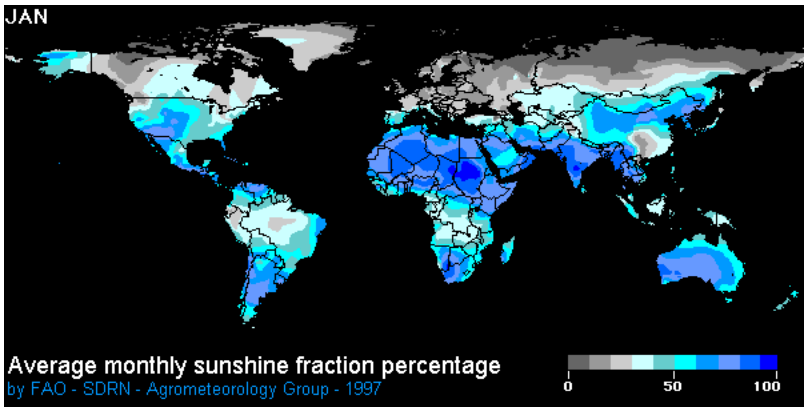


Σχήμα 3.23: Η ικανότητα απορρόφησης ανάλογα με το μήκος κύματος της ηλιακής ακτινοβολίας από τα διάφορα συστατικά της ατμόσφαιρας και από την ατμόσφαιρα συνολικά (πηγή: R.G.Fleagle, An introduction to Atmospheric Physics, 1963)

Κύριοι απορροφητές είναι: ο υδρατμός, το όζον, το διοξείδιο του άνθρακα και τα νέφη, στα διάφορα μήκη κύματος όπως παρουσιάζεται στο παραπάνω σχήμα.

Τα όργανα τα οποία χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της ηλιακής και της γήινης ακτινοβολίας καθώς και των συνιστωσών τους είναι πολλά. Μερικά από αυτά είναι τα εξής:

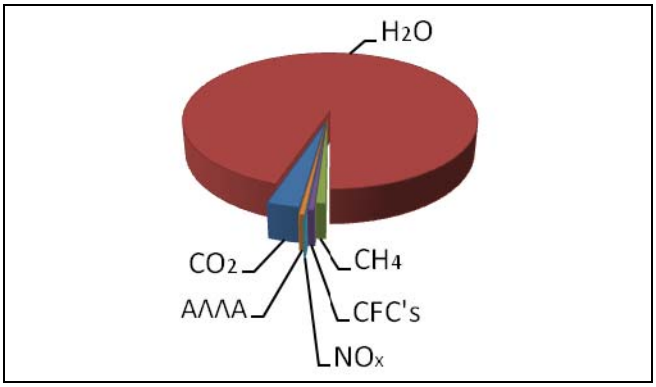
1. **Pyrheliometer.** Μετρά την ένταση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει κάθετα σε μια επιφάνεια.
2. **Pyranometer.** Μετρά την ένταση της ολικής, άμεσης και διάχυτης, ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει κάθετα σε μια επιφάνεια.
3. **Pyrgeometer.** Μετρά την ένταση της υπέρυθρης ακτινοβολίας, ηλιακής ή γήινης, σε μια οριζόντια επιφάνεια.
4. **Pyrradiometer.** Μετρά ταυτόχρονα τη μικρού μήκους κύματος (ηλιακή) ή μεγάλου μήκους κύματος (γήινη) ακτινοβολία.
5. **Net Pyrradiometer.** Μετρά την καθαρή ροή ακτινοβολίας που διέρχεται από μια οριζόντια επιφάνεια.



Σχήμα3.24: Η μηνιαία, ποσοστιαία ηλιοφάνεια κατά μήκος του πλανήτη το 1997

Φαινόμενο του θερμοκηπίου

Αντιλαμβανόμαστε εύκολα, με βάση τα παραπάνω, ότι αν η Γη δεν είχε ατμόσφαιρα, καθώς θα έπεφτε πάνω στην επιφάνεια της η μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία, ένα μέρος της ανακλόταν και θα επέστρεφε στο διάστημα, ενώ το μεγαλύτερο τμήμα της θα απορροφούνταν και στη συνέχεια θα επανεκπεμπόταν στο διάστημα με τη μορφή υπέρυθρης ακτινοβολίας. Η Γη τότε θα είχε θερμοκρασία ίση με την ενεργό θερμοκρασία, δηλαδή -18°C και η επιφάνεια της θα ήταν μια απέραντη παγωμένη έκταση, αφιλόξενη για τις περισσότερες μορφές ζωής που γνωρίζουμε σήμερα. Χάρη όμως στην ατμόσφαιρα και τις θερμοσυλλεκτικές ιδιότητες ορισμένων από τα αέρια που μετέχουν στη σύνθεση της, η μέση θερμοκρασία της Γης ανεβαίναι κατά 33°C και βρίσκεται στο πρόσφορο για τη βιόσφαιρα επίπεδο των 15°C. Αυτό το φαινόμενο παρατηρήθηκε πρώτη φορά το 1827, από τον Γάλλο *Jean Fourier* και παρομοιάστηκε με τη λειτουργεία του θερμοκηπίου. Αργότερα, το 1896, ο Σουηδός *Svarnte Arrhenius* υποστήριξε ότι η θερμοκρασία της επιφάνειας της Γης επηρρεάζεται σημαντικά από τα αέρια που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα, τα οποία έχουν την ιδιότητα να συγκρατούν θερμότητα. Έμεινε έτσι σχηματικά να αποκαλούμε το φαινόμενο «φαινόμενο του θερμοκηπίου» και τα αέρια που ευθύνονται γι'αυτό «αέρια θερμοκηπίου».



Σχήμα 3.26: Η εκτιμούμενη ποσοστιαία συμμετοχή των διαφόρων αερίων στο φαινόμενο του θερμοκηπίου (δεδομένα: Griffin,"Principles of Air Quality", 1994)

Μηχανισμός: Η Γη δέχεται συνολικά ηλιακή ακτινοβολία, που αντιστοιχεί σε ροή περίπου 1366 W/m^2, στο όριο της ατμόσφαιρας. Ένα μέρος αυτής απορροφάται από το σύστημα Γης-ατμόσφαιρας, ενώ το υπόλοιπο διαφεύγει στο διάστημα. Περίπου το 30% της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας ανακλάται, σε ποσοστό 6% από την ατμόσφαιρα, 3% από τα νέφη και 4% από την επιφάνεια της Γης. Το 70% της ηλιακής ακτινοβολίας απορροφάται, κατά 16% από την ατμόσφαιρα (συμπεριλαμβανομένου και του στρατοσφαιρικού στρώματος του όζοντος), κατά 3% από τα νέφη και κατά το μεγαλύτερο ποσοστό (51%) από την επιφάνεια και τους ωκεανούς. Λόγω της θερμοκρασίας της, η Γη εκπέμπει επίσης θερμική ακτινοβολία (κατά τρόπο ανάλογο με τον Ήλιο), η οποία αντιστοιχεί σε μεγάλα μήκη κύματος, σε αντίθεση με την αντίστοιχη ηλιακή ακτινοβολία, που είναι μικρού μήκους κύματος. Η ατμόσφαιρα της Γης διαθέτει μεγάλη αδιαφάνεια στην, μεγάλου μήκους κύματος, γήινη ακτινοβολία, έχει δηλαδή την ικανότητα να απορροφά το μεγαλύτερο μέρος

της, ποσοστό περίπου 71%. Η ίδια η ατμόσφαιρα επανεκπέμπει θερμική ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος, μέρος της οποίας απορροφάται από την επιφάνεια της Γης, η οποία θερμαίνεται ακόμη περισσότερο. Η γήινη ατμόσφαιρα συμπεριφέρεται, με τον τρόπο αυτό, ως μία δεύτερη - μαζί με τον Ήλιο - πηγή θερμότητας. Αποτέλεσμα του συνολικού φαινομένου είναι η αύξηση της μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας, γεγονός που καθιστά τη Γη κατοικήσιμη.

Σχήμα3.25: Το φαινόμενο του θερμοκηπίου
(Dow, Kristin, «Άτλας των Κλιματικών Αλλαγών», 2008)

Από το σχήμα 3.23 προκύπτει ότι μια ομάδα αερίων, που μετέχουν σε μικρά ποσοστά στη σύσταση του ατμοσφαιρικού αέρα, απορροφούν την ακτινοβολούμενη από την επιφάνεια της Γης μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία και μέρος αυτής το επανεκπέμπουν πίσω στη γήινη επιφάνεια. Αυτά τα αέρια είναι οι υδρατμοί (H_2O), το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το όζον (O_3), το μεθάνιο (CH_4), το υποξείδιο του αζώτου (N_2O) και οι χλωροφθοράνθρακες (CFC's), οι οποίοι δεν αποτελούσαν συστατικό του αέρα αλλά προστέθηκαν από την ανθρωπογενή ρύπανση. Η συμμετοχή των διαφόρων αερίων στο φαινόμενο του θερμοκηπίου παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα.
Σύμφωνα με τον *Dr. Geoffrey G. Duffy,* οι υδρατμοί συμπυκνώνονται σε μορφή νέφους και είναι μακράν το πιο άφθονο και σημαντικό από τα αέρια του θερμοκηπίου. Το νερό αντιπροσωπεύει περίπου το 95% του φαινομένου του θερμοκηπίου (βλ. σχήμα 3.26). Περισσότερα στο κεφάλαιο 5.

Ένταση του φαινομένου του θερμοκηπίου

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι φυσικό, ωστόσο ενισχύεται από την ανθρώπινη δραστηριότητα, η οποία συμβάλλει στην αύξηση της συγκέντρωσης των αερίων του θερμοκηπίου καθώς και στην έκλυση άλλων ιχνοστοιχείων, όπως οι χλωροφθοράνθρακες. Τα τελευταία χρόνια, καταγράφεται μία αύξηση στη

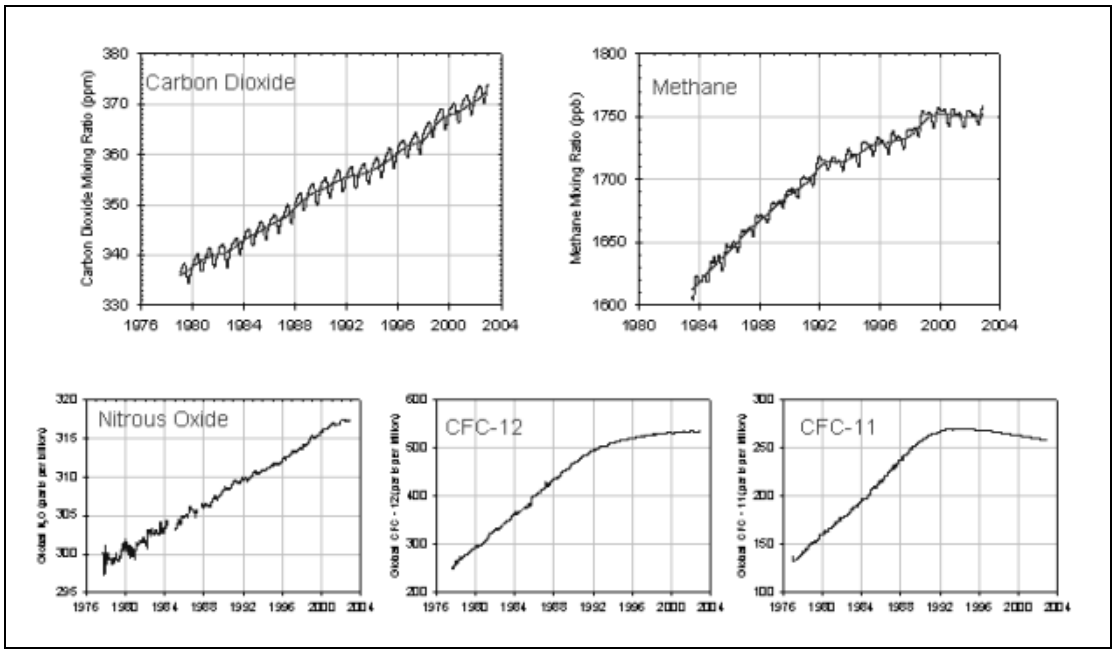
συγκέντρωση αρκετών αερίων του θερμοκηπίου, ενώ ειδικότερα στην περίπτωση του διοξειδίου του άνθρακα, η αύξηση αυτή ήταν 31% την περίοδο 1750-1998 (βλ. πίνακα 3.27). Τα τρία τέταρτα της ανθρωπογενούς παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα, οφείλεται σε χρήση ορυκτών καυσίμων, ενώ το υπόλοιπο μέρος προέρχεται από αλλαγές που συντελούνται στο έδαφος, όπως πχ η αποδάσωση.

Πίνακας 3.27: Αέρια θερμοκηπίου με τη μεγαλύτερη αύξηση συγκέντρωσης (IPCC)

Αέριο	Επίπεδα 1998	Αύξηση από το 1750	Ποσοστό αύξησης	Συνεισφορά στο φαινόμενο [W/m^2]
CO_2	365 ppm	87 ppm	**31%**	1,46
CH_4	1,745 ppb	1,045 ppb	**150%**	0,48
N_2O	314 ppb	44 ppb	**16%**	0,15

Περισσότερα για το διοξείδιο του άνθρακα θα δούμε στο επόμενο κεφάλαιο.

Η ένταση του φαινομένου του θερμοκηπίου, κατά τη διάρκεια της «βιομηχανικής εποχής» από το 1800 εώς σήμερα, είναι σύμφωνα με πολλούς επιστήμονες η βασική αιτία για τη λεγόμενη «υπερθέρμανση του πλανήτη», δηλαδή τη σχετική αύξηση της θερμοκρασίας που παρατηρείται στις μέρες μας και που αναφέραμε νωρίτερα σε αυτό το κεφάλαιο.



Σχήμα 3.28: Η αύξηση της συγκέντρωσης των αερίων θερμοκηπίου (IPCC,2003)

Ο όρος παγκόσμια θέρμανση (global warming) δηλώνει μία ειδική περίπτωση κλιματικής μεταβολής και αναφέρεται στην αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας της γης και των ωκεανών, στη βιομηχανική εποχή. Ο όρος είναι εν γένει ουδέτερος ως προς τα αίτια πρόκλησης της θέρμανσης του πλανήτη, ωστόσο έχει επικρατήσει να υποννοεί την ανθρώπινη παρέμβαση. Αποδίδεται συχνά με

διαφορετικό τρόπο, ως πλανητική (υπερ)θέρμανση ή παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας ή ανθρωπογενής υπερθέρμανση, ενώ άλλες φορές ταυτίζεται με το φαινόμενο του θερμοκηπίου που αποτελεί έναν μηχανισμό παγκόσμιας θέρμανσης. Σε αυτή την περίπτωση, είναι πιο σωστό να αναφέρεται ως ένταση του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Η επίσημη επιστημονική θέση πάνω στις κλιματικές μεταβολές, όπως αυτή εκφράζεται από την Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) του ΟΗΕ, είναι πως η μέση θερμοκρασία του πλανήτη έχει αυξηθεί 0.6 ± 0.2°C από τα τέλη του 19ου αιώνα (βλέπε σχήμα) και πως η αύξηση αυτή οφείλεται σημαντικά στην ανθρώπινη δραστηριότητα των τελευταίων 50 ετών.

Μια άλλη μερίδα επιστημόνων, διαφοροποιείται σε σχέση με την άποψη αυτή, αμφισβητώντας την καταλυτική επίδραση που ενδέχεται να έχει η ανθρώπινη δραστηριότητα σε σχέση με την παγκόσμια θέρμανση. Θα μελετήσουμε προσεκτικά τα επιχειρήματα των δύο «στρατοπέδων» στο κεφάλαιο 5.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

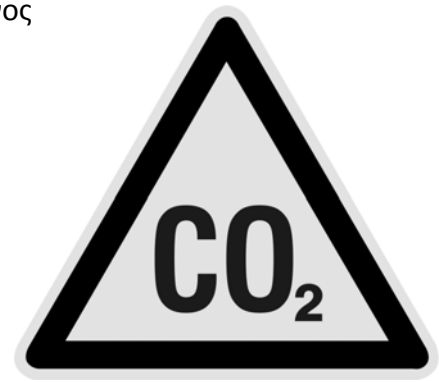
ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ – CO_2

Εισαγωγή

Το διοξείδιο του άνθρακα είναι ανόργανη χημική ένωση του στοιχείου άνθρακας. Το καθαρό διοξείδιο του άνθρακα είναι άχρωμο, άοσμο και άγευστο αέριο, βαρύτερο από τον ατμοσφαιρικό αέρα. Το σημαντικότερο ίσως χαρακτηριστικό του είναι η χημική του αδράνεια και σταθερότητα ως ένωση, αντιδρά δηλαδή και διασπάται δύσκολα στα συστατικά του. Οι χρήσεις του από τον άνθρωπο είναι αρκετές και ποικίλες, το ίδιο και η παραγωγή του: Αποτελεί προϊόν όλων των καύσεων ορυκτών καυσίμων (κάρβουνου, πετρελαίου, βενζίνης, φυσικού αερίου), αλλά και του ξύλου, πλαστικών κ.ά. οργανικών ενώσεων, καθώς και της αναπνοής όλων των ζωντανών όντων.

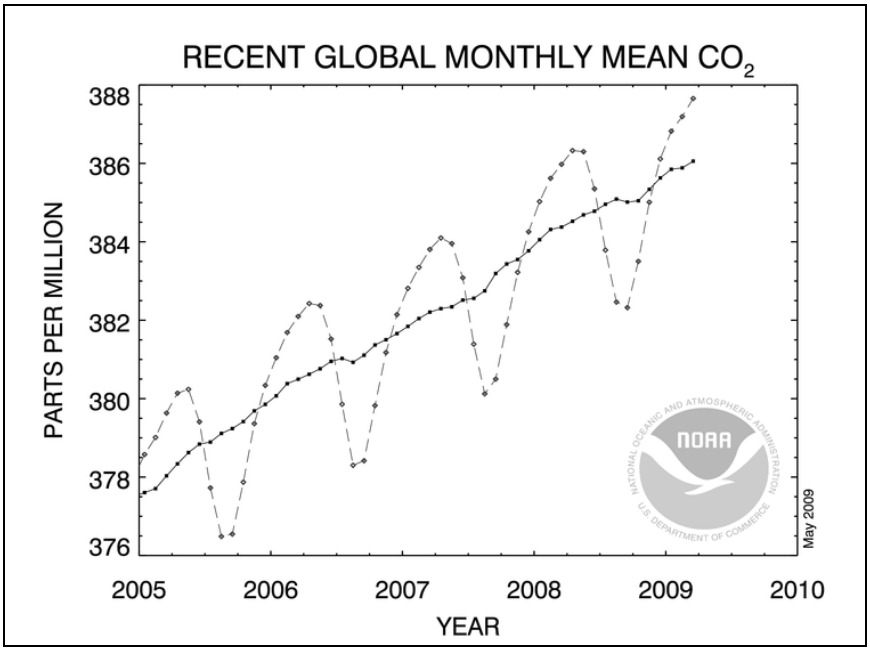
Ιδιότητες

Άλλες ονομασίες: ανθρακικός ανυδρίτης, ξηρός πάγος
Χημικός (μοριακός) τύπος: CO_2
Μοριακή μάζα: 44,0095(14) gr/mole
Μορφή σε κανονικές συνθήκες: άχρωμο αέριο
Πυκνότητα: 1,98 kg/m³ στους 25 °C
Διαλυτότητα στο νερό: 1,45 kg/m³
Λανθάνουσα θερμότητα εξατμίσεως: 25.13 kJ/mol
Σημείο τήξεως: −57 °C (216 K), υπό πίεση
Σημείο βρασμού: −78 °C (195 K), εξαχνώνεται
Μοριακό σχήμα: γραμμικό



1980	1.68 ppm
1981	1.08 ppm
1982	0.99 ppm
1983	1.83 ppm
1984	1.31 ppm
1985	1.63 ppm
1986	1.03 ppm
1987	2.69 ppm
1988	2.20 ppm
1989	1.39 ppm
1990	1.24 ppm
1991	0.82 ppm
1992	0.64 ppm
1993	1.15 ppm
1994	1.68 ppm
1995	1.98 ppm
1996	1.07 ppm
1997	1.97 ppm
1998	2.91 ppm
1999	1.36 ppm
2000	1.24 ppm
2001	1.85 ppm
2002	2.39 ppm
2003	2.23 ppm
2004	1.62 ppm
2005	2.41 ppm
2006	1.79 ppm
2007	2.16 ppm
2008	1.83 ppm

πίνακας 4.1: ετήσια αύξηση της παγκόσμιας συγκέντρωσης του CO_2 1980-2008. Πηγή: NOAA/Earth System Research Laboratory



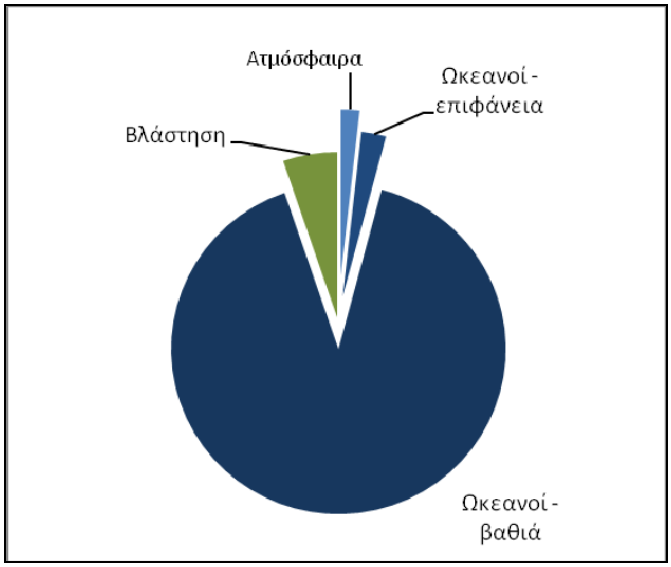
Σχήμα 4.2: ετήσια αύξηση της παγκόσμιας συγκέντρωσης του CO_2 2005-2009. (Πηγή: Dr. Pieter Tans, NOAA/ESRL, 2009)

Εκτιμάται ότι, αυτή τη στιγμή που γράφονται αυτές οι γραμμές, η συγκέντρωση του CO_2 στην ατμόσφαιρα σε παγκόσμιο επίπεδο είναι **περίπου 387 ppm.** Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τη μεθοδολογία μέτρησης της συγκέντρωσης και τους υπολογισμούς των τάσεων για το CO_2 δίνονται στη συνέχεια του κεφαλαίου αυτού.

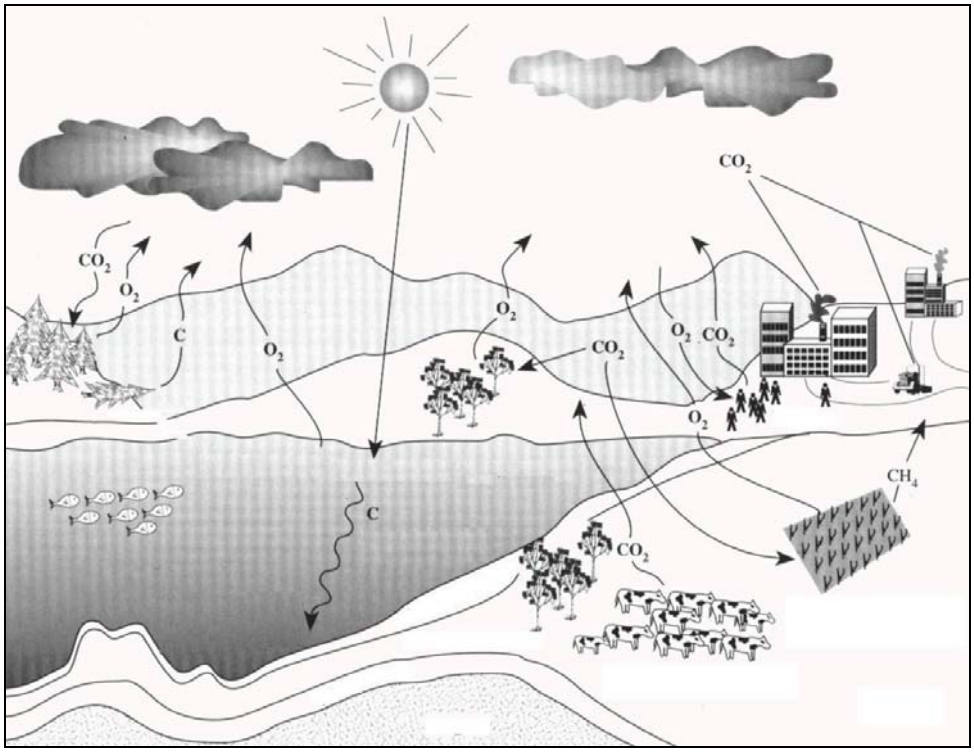
Κύκλος του άνθρακα

Πίνακας 4.3: οι «δεξαμενές» του άνθρακα στον πλανήτη (δεδομένα: G. Duffy)

Δεξαμενή άνθρακα	GT	%
Ατμόσφαιρα	750	2
Ωκεανοί - επιφάνεια	1000	2
Ωκεανοί - βαθιά	38000	91
Βλάστηση	2200	5
Σύνολο	41950	100



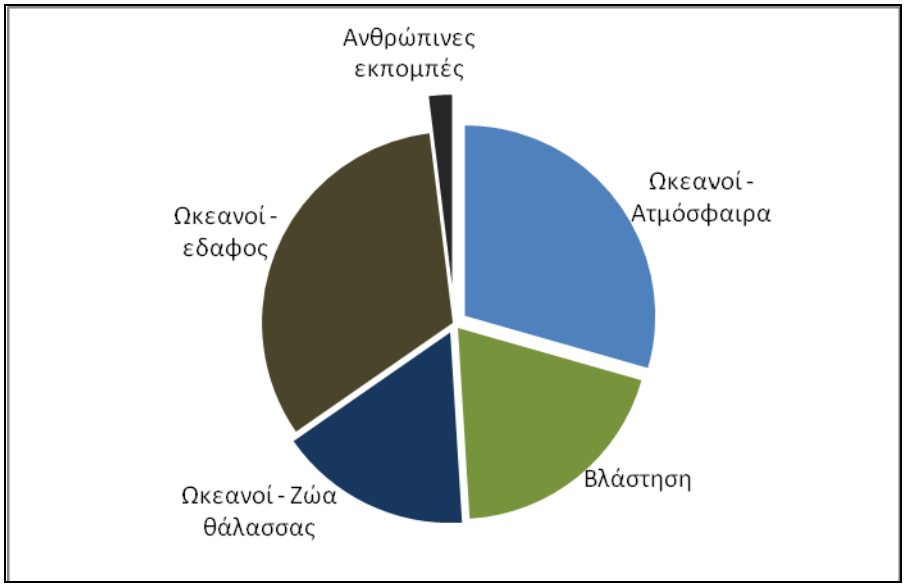
Σχήμα 4.4: οι «δεξαμενές» του άνθρακα στον πλανήτη (δεδομένα: G. Duffy)



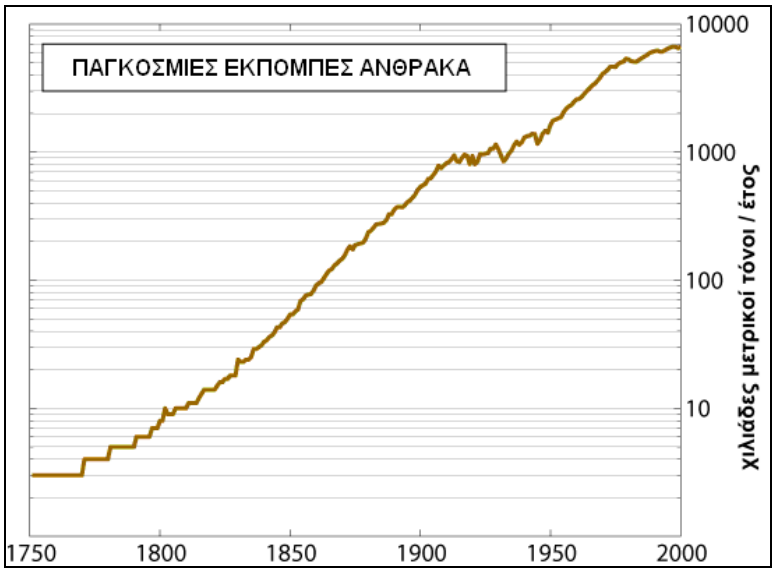
Σχήμα 4.5: Ο κύκλος του άνθρακα

Πίνακας 4.6: η ετήσια ανταλλαγή του CO_2 στον πλανήτη (δεδομένα: G. Duffy)

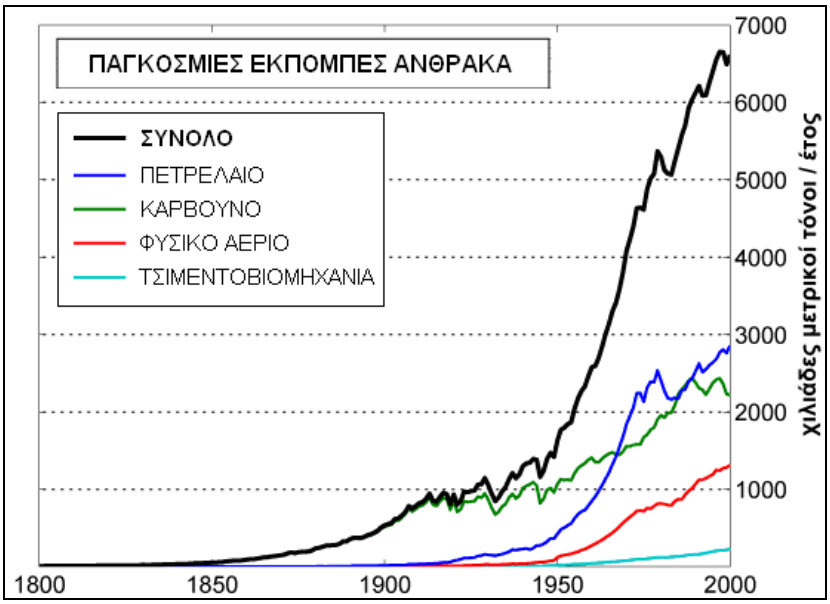
Ετήσια ανταλλαγη του CO_2	GT	%
Ωκεανοί - Ατμόσφαιρα	90	29
Βλάστηση	60	20
Ωκεανοί - Ζώα θάλασσας	50	16
Ωκεανοί -εδαφος	100	33
Ανθρώπινες εκπομπές	6	2
Σύνολο	306	100



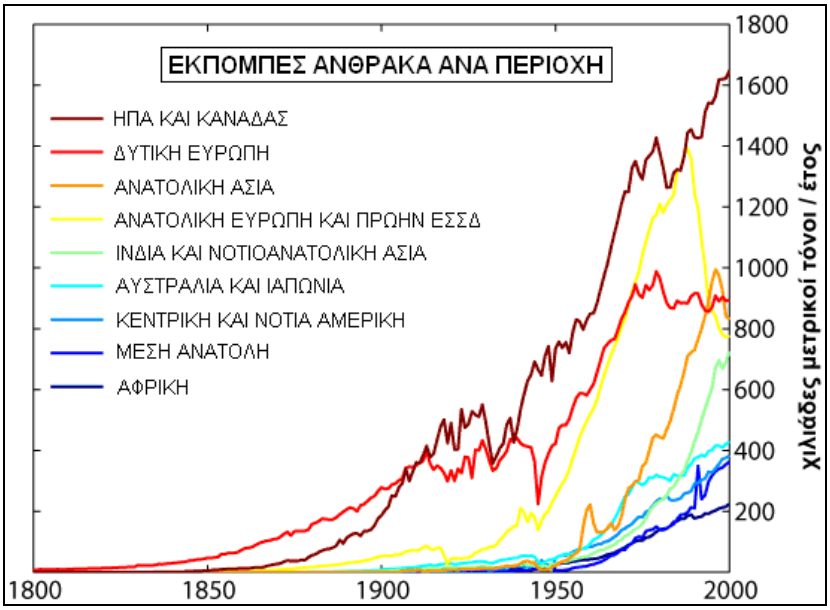
Σχήμα 4.7: η ετήσια ανταλλαγή του CO_2 στον πλανήτη (δεδομένα: G. Duffy)



Σχήμα 4.8: Οι παγκόσμιες ανθρωπογενείς εκπομπές άνθρακα (Dow, Kristin, «Άτλας των Κλιματικών Αλλαγών»)



Σχήμα 4.9: Οι παγκόσμιες εκπομπές άνθρακα, ανά διεργασία (Dow, Kristin, «Άτλας των Κλιματικών Αλλαγών»)



Σχήμα 4.10: Οι παγκόσμιες εκπομπές άνθρακα, ανά παραγωγό (Dow, Kristin, «Άτλας των Κλιματικών Αλλαγών»)

Μετρήσεις διοξειδίου του άνθρακα

Ιστορικά αρχεία από πυρήνες πάγου

- Vostok, Antarctica (Barnola)
- Siple Station, Antarctica (Neftel)
- Law Dome, Antarctica (Etheridge)

Μοντέλα

- GEOCARB III (Berner)

Συνεχείς μετρήσεις

- NOAA/CMDL Baseline Observatory Network (Thoning)
- Scripps Institution of Oceanography Network (Keeling)
- French Measurements at Amsterdam Island (Gaudry)
- Hungarian Measurements at K-Puszta (Haszpra)
- Italian/Argentine Measurements at Jubany Station, Antarctica (Ciattaglia)
- Italian Measurements at Mt. Cimone (Colombo and Santaguida)
- New Zealand Measurements at Baring Head (Manning)

Μετρήσεις φιαλών

- NOAA/CMDL Cooperative Global Air Sampling Network (Conway)
- Scripps Institution of Oceanography Network (Keeling)
- CSIRO GASLAB Network (Steele)
- Canadian Air Sampling Network (Worthy)
- German UBA Air Sampling Network (Fricke)
- German Fraunhofer Institute Air Sampling Network (Sladkovic)
- Italian Measurements at Lampedusa Island (Chamard)
- Measurements from Niwot Ridge, Colorado and Montana de Oro, California
- Former USSR from the Main Geophysical Observatory (Brounshtein)

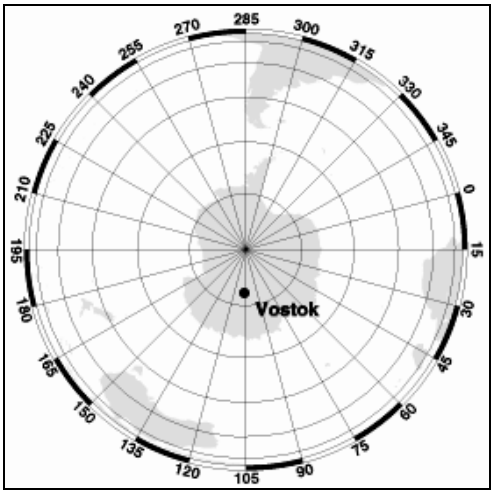
Μετρήσεις αεροσκαφών

- CSIRO Aircraft Monitoring Program (Beardsmore and Pearman)

Ιστορικά αρχεία από πυρήνες πάγου

Vostok Ice Core

Ιστορικό αρχείο διοξειδίου του άνθρακα από τον Vostok ice core



Χάρτης 4.11: Vostok, Ανταρκτική, 78°28' S, 106°48' E
3488m πάνω από την επιφ. της θάλασσας

Περίοδος αρχείου

417.160 - 2.342 έτη πριν.

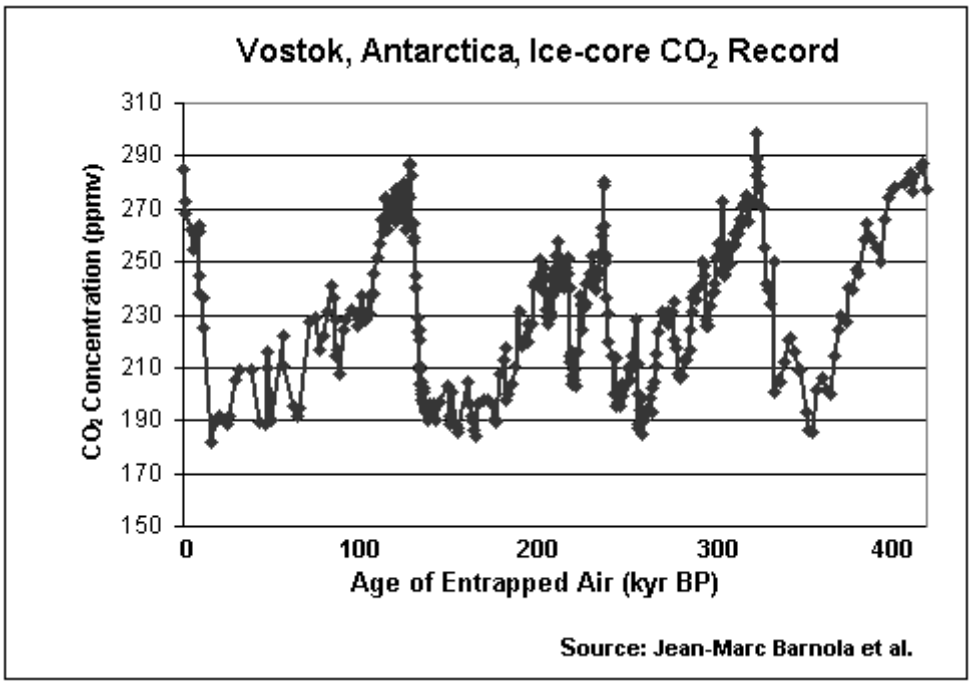
Μέθοδοι

Τον Ιανουάριο του 1998, το πρόγραμμα συνεργασίας (ice-drilling project) μεταξύ της Ρωσίας, των Ηνωμένων Πολιτειών και της Γαλλίας στο ρωσικό σταθμό Vostok στην ανατολική Ανταρκτική παρήγαγε τον βαθύτερο πυρήνα πάγου που ανακτήθηκε ποτέ, που φθάνει σε βάθος 3.623m (Petit 1997, 1999). Οι πυρήνες πάγου, με τους παγιδευμένους όγκους αέρα, επιτρέπουν την άμεση καταγραφή των προηγούμενων μεταβολών του CO_2 στην ατμοσφαιρική σύνθεση. Τα προκαταρκτικά στοιχεία δείχνουν ότι το αρχείο Vostok ice core επεκτείνεται μέσω τεσσάρων κύκλων κλίματος, με τον πάγο μεγαλύτερο σε ηλικία από τα 400.000 χρόνια (Petit 1997, 1999). Επειδή οι αεροφυσαλίδες δεν δημιουργούνται στην επιφάνεια του στρώματος πάγου αλλά μόνο κοντά στη μετάβαση επιφανειακού χιονιού-πάγου (δηλαδή 90m κάτω από την επιφάνεια στο Vostok), ο αέρας που εξάγεται από τον πάγο είναι νεώτερος από τον περιβάλλοντα πάγο (Barnola 1991). Η χρησιμοποίηση των ημιεμπειρικών τύπων που ίσχυσαν για τους προηγούμενους όρους κλίματος Vostok, έδειξε ότι η διαφορά ηλικίας μεταξύ του αέρα και του πάγου μπορεί να είναι 6000 έτη κατά τη διάρκεια των πιό κρύων περιόδων αντί των 4000 ετών, όπως υποτίθεται προηγουμένως. Τα δείγματα πάγου κόπηκαν με μια πριονοκορδέλλα σε

ένα κρύο δωμάτιο (σε περίπου -15°C) όσο το δυνατόν πιό κοντά στο κέντρο του πυρήνα προκειμένου να αποφευχθεί η μόλυνση της επιφάνειας (Barnola 1983). Η εξαγωγή και οι μετρήσεις αερίου εκτελέσθηκαν με την «αναλυτική μέθοδο Grenoble», η οποία περιλαμβάνει τη συντριβή του δείγματος πάγου (περίπου 40g) υπό κενό σε ένα κιβώτιο ανοξείδωτου χάλυβα χωρίς τήξη του, συγκράτηση του αερίου που απελευθερώνεται κατά τη διάρκεια της συντριβής σε έναν προ-εκκενωθέντα βρόχο δειγματοληψίας, και ανάλυση των συγκεντρώσεων του CO_2 με χρωματογραφία αερίου (Barnola 1983). Το αναλυτικό σύστημα, εκτός από το κιβώτιο στο οποίο ο πάγος συντρίφθηκε, βαθμονομήθηκε για κάθε μέτρηση δειγμάτων πάγου με ένα τυποποιημένο μίγμα του CO_2 στο άζωτο και το οξυγόνο. Για περαιτέρω λεπτομέρειες στις πειραματικές διαδικασίες και τη χρονολόγηση των διαδοχικών στρωμάτων πάγου στο Vostok, βλέπε Barnola (1983, 1987, 1991), Lorius (1985) και Petit (1999).

Depth (m)	age of ice (years)	age of air (years)	CO_2 concentration (ppmv)
149.1	5679	2342	284.7
173.1	6828	3634	272.8
177.4	7043	3833	268.1
228.6	9523	6220	262.2
250.3	10579	7327	254.6
266	11334	8113	259.6
302.6	13449	10123	261.6
321.2	14538	11013	263.7
331.6	15208	11326	244.8
342.1	15922	11719	238.3
365.5	17747	13405	236.2
375.6	18580	13989	225.3
443.5	24315	17695	182.2
470.8	26578	19988	189.2
…	…	…	…
3304.4	419328	417160	277.6

Πίνακας 4.12: τιμές της συγκέντρωσης του CO_2 ανάλογα με την ηλικία του πάγου, του εσωκλειόμενου αέρα και του βάθους **(data:** Carbon Dioxide Information Analysis Center , 2003**,** http://cdiac.ornl.gov/ftp/trends/co2/vostok.icecore.co2)



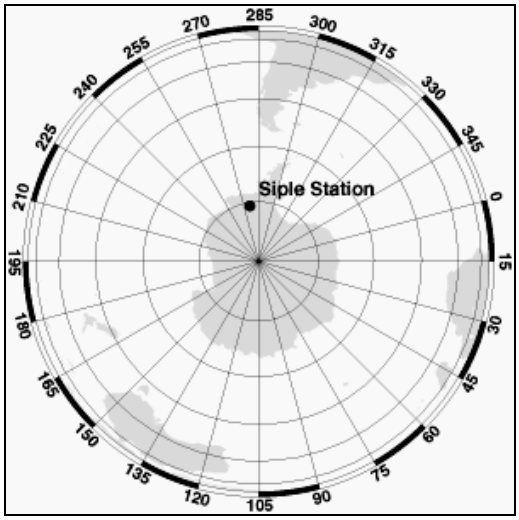
Σχήμα 4.13: η διακύμανση της συγκέντρωσης του CO_2 στην ατμόσφαιρα της γης τα τελευταία 400.000 χρόνια.

Τάσεις

Υπάρχει ένας στενός συσχετισμός μεταξύ της ανταρκτικής θερμοκρασίας και των ατμοσφαιρικών συγκεντρώσεων του CO_2, σύμφωνα με τον Barnola. Η επέκταση του αρχείου του CO_2 από το Vostok δείχνει ότι οι κύριες τάσεις του CO2 είναι παρόμοιες για κάθε παγετώδη κύκλο. Σημαντικές μεταβάσεις από τις χαμηλότερες στις υψηλότερες τιμές συνδέονται με τις παγετώδεις-μεσοπαγετωνικές μεταβάσεις. Κατά τη διάρκεια αυτών των μεταβάσεων, οι ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις του CO_2 ανέρχονται από 180 έως 300 ppmv (Petit 1999). Η επέκταση του αρχείου του CO_2-Vostok αναδεικνύει ότι τα παρόντα επίπεδα του CO_2 είναι πρωτοφανή κατά τη διάρκεια των τελευταίων 420.000 χρόνων. Τα προβιομηχανικά ολόκενα επίπεδα (280 ppmv) βρίσκονται κατά τη διάρκεια όλων των μεσοπαγετωδών περιόδων, με το υψηλότερο (300 ppmv) περίπου 323.000 χρόνια πριν. Όταν τα στοιχεία πυρήνων πάγου Vostok συγκρίθηκαν με άλλα στοιχεία πυρήνων πάγου (Delmas 1980, Neftel 1982) για τα προηγούμενα 30.000 - 40.000 έτη, παρουσιάστηκε συμφωνία μεταξύ των καταγραφών: όλες παρουσιάζουν χαμηλές τιμές του CO_2 (περίπου 200 ppmv) κατά τη διάρκεια των τελευταίων παγετωδών μέγιστων και αυξανόμενων ατμοσφαιρικών συγκεντρώσεων του CO_2 που συνδέονται με την παγετώδη-ολόκενη μετάβαση. Σύμφωνα με τους Barnola (1991) και Petit (1999) αυτές οι μετρήσεις δείχνουν ότι, στην αρχή της υποχώρησης των παγετώνων, η αύξηση του CO_2 είτε ήταν στην ίδια φάση, είτε ακολουθούσε μετά από περίπου 1000 έτη την αύξηση της ανταρκτικής θερμοκρασίας, ενώ ακολουθούσε σαφώς πίσω από τη θερμοκρασία στην αρχή των περιόδων των παγετώνων. Περισσότερη συζήτηση σχετικά με το ποιός «οδηγεί» τις αλλαγές, το CO_2 ή η θερμοκρασία, θα γίνει στο κεφάλαιο 5.

Siple Station Ice Core

Ιστορικό αρχείο διοξειδίου του άνθρακα από τον Siple Station



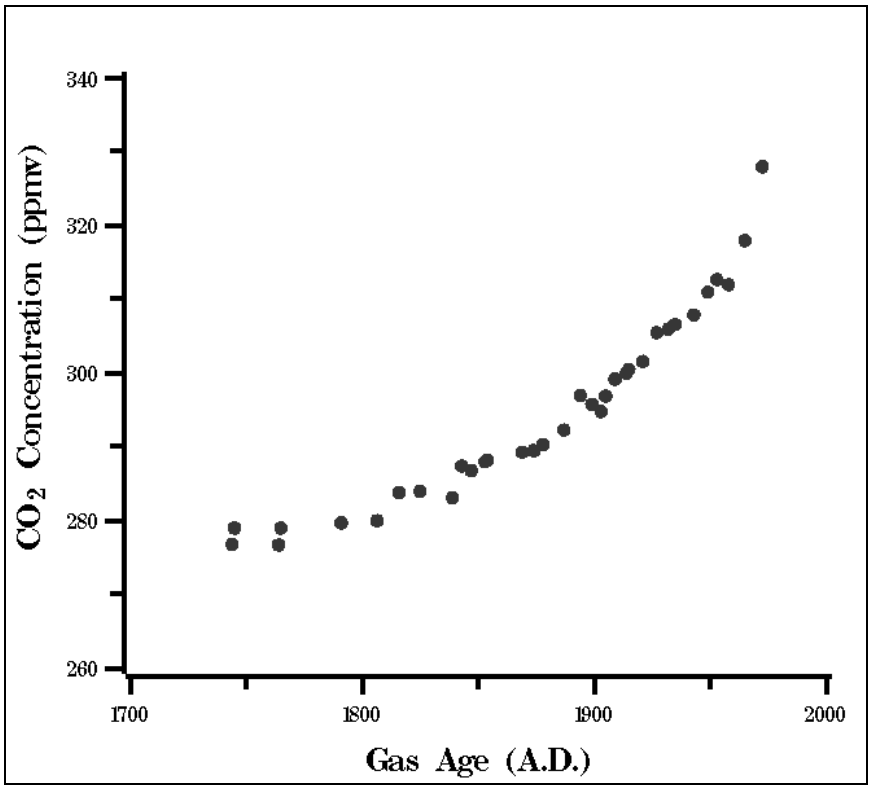
Χάρτης 4.14: Siple Station, Antarctica, 75°55' S, 83°55' W

Περίοδος αρχείου

1734-1983

Μέθοδοι

Οι προσδιορισμοί των «αρχαίων» ατμοσφαιρικών συγκεντρώσεων του CO_2 για το σταθμό Siple, που βρίσκεται στη δυτική Ανταρκτική, προήλθαν από τις μετρήσεις της σύστασης του αέρα που αποφράχθηκε από έναν πυρήνα 200m, ο οποίος εξήχθη με τρυπάνι στο σταθμό Siple το καλοκαίρι του 1983-84. Ο πυρήνας εξήχθη από τον πολικό πάγο από επιστήμονες του γραφείου της Νεμπράσκα και από το ίδρυμα φυσικής του πανεπιστημίου της Βέρνης. Ο πάγος θα μπορούσε να χρονολογηθεί με μια ακρίβεια περίπου ±2 των ετών σε ένα βάθος 144m (που αντιστοιχεί στο έτος 1834) με τον υπολογισμό των εποχιακών παραλλαγών στην ηλεκτρική αγωγιμότητα. Κάτω από εκείνο το βάθος, ο πυρήνας χρονολογήθηκε από την επέκταση (Friedli 1986). Τα αέρια από τα δείγματα πάγου εξήχθησαν από ένα σύστημα «ξηρής εξαγωγής», στο οποίο οι φυσαλίδες συντρίφθηκαν μηχανικά για να απελευθερώσουν τα παγιδευμένα αέρια, και αναλύθηκαν έπειτα για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης του CO2 με υπέρυθρη φασματοσκοπία απορρόφησης λέιζερ ή με χρωματογραφία αερίου (Neftel 1985). Μετά, τα δείγματα από τον πάγο συντρίφθηκαν και το αέριο κατακρατήθηκε από μια κρυογόνο «παγίδα», που συμπυκνώνει το υδρατμό στους -80°C. Το σύστημα ανάλυσης βαθμονομήθηκε για κάθε μέτρηση των ειγμάτων πάγου με ένα τυποποιημένο μίγμα του CO2 στο άζωτο και το οξυγόνο. Για περαιτέρω λεπτομέρειες στις πειραματικές διαδικασίες και στις διεργασίες χρονολόγησης βλέπε Neftel (1985), Friedli (1986), Schwander και Stauffer (1984).



Σχήμα 4.15: η διακύμανση της συγκέντρωσης του CO2 στην ατμόσφαιρα της γης τα τελευταία 250 περίπου χρόνια (Neftel, A., H. Friedli,1994)

Τάσεις

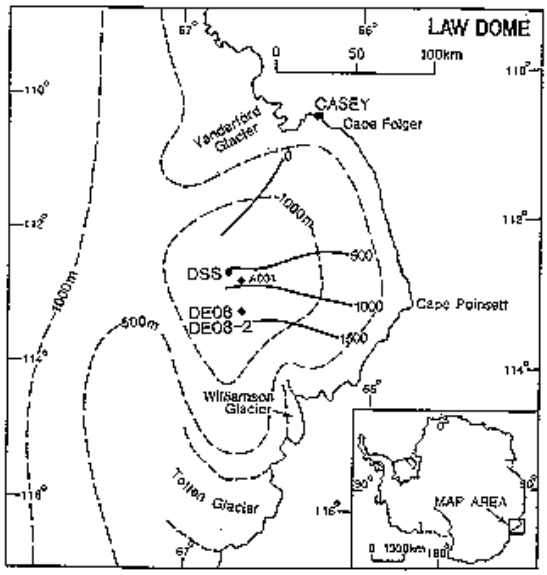
Ένα ατμοσφαιρικό αρχείο του CO_2 για τα προηγούμενα 250 έτη εκμαιεύθηκε από τον πυρήνα πάγου του Siple. Στα μικρά βάθη, ο ατμοσφαιρικός αέρας κυκλοφορεί ακόμα μέσω των ανοικτών πόρων (Friedli 1986). Ο εσωκλειόμενος αέρας ήταν νεώτερος από τον περιβάλλοντα πάγο επειδή η περίφραξη του αέρα στις φυσαλίδες εμφανίστηκε μόνο μεταξύ των βαθών 64 και 76m. Βάσει των μετρήσεων πορώδους, οι μελετητές καθόρισαν ότι η χρονική καθυστέρηση μεταξύ της μέσης ηλικίας του αερίου και της ηλικίας του πάγου ήταν 95 έτη και ότι η διάρκεια της διαδικασίας ήταν 22 έτη (Schwander και Stauffer 1984). Ο Neftel το 1985 κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η ατμοσφαιρική συγκέντρωση του CO_2 το 1750 ήταν περίπου 280±5 μέρη ανά εκατομμύριο κατ' όγκο (ppmv) και ότι αυξήθηκε κατά 22.5% , στα 345ppmv έως το 1984 ουσιαστικά λόγω της ανθρώπινης παρέμβασης. Γραφικές παραστάσεις του Friedli επίσης δείχνουν ότι η προβιομηχανική (προ-1800) συγκέντρωση του CO_2 στην ατμόσφαιρα ήταν περίπου 280 ppmv.

Law Dome Ice Core

Ιστορικά αρχεία του CO_2 από το Law Dome

Περίοδος αρχείου

1006 - 1978 μΧ.



Χάρτης 4.16: Law Dome, Ανταρκτική, 66°44' S, 112°50' E, 1390m πάνω από msl

Μέθοδοι

Τα αρχεία του CO2 που παρουσιάζονται εδώ προέρχονται από τρεις πυρήνες πάγου που εξήχθησαν στο Law Dome, στην ανατολική Ανταρκτική από το 1987 ως το 1993. Η περιοχή του Law Dome ικανοποιεί πολλά από τα επιθυμητά χαρακτηριστικά μιας ιδανικής περιοχής πυρήνων πάγου, για την αναπαράσταση του ατμοσφαιρικού CO2, συμπεριλαμβανομένης της αμελητέας τήξης της επιφάνειας των στρωμάτων πάγου, των χαμηλών συγκεντρώσεων των ακαθαρσιών, της κανονικής «στρατογραφικής» διάταξης σε στρώματα ανενόχλητης από τον αέρα (στην επιφάνεια) ή από τη ροή του πάγου (σε βάθος), και του υψηλού ποσοστού συσσώρευσης χιονιού. Περαιτέρω λεπτομέρειες για την περιοχή, τη διάτρηση και τους πυρήνες παρέχονται από τους Etheridge (1996), Etheridge και Wookey (1989) και Morgan (1997).

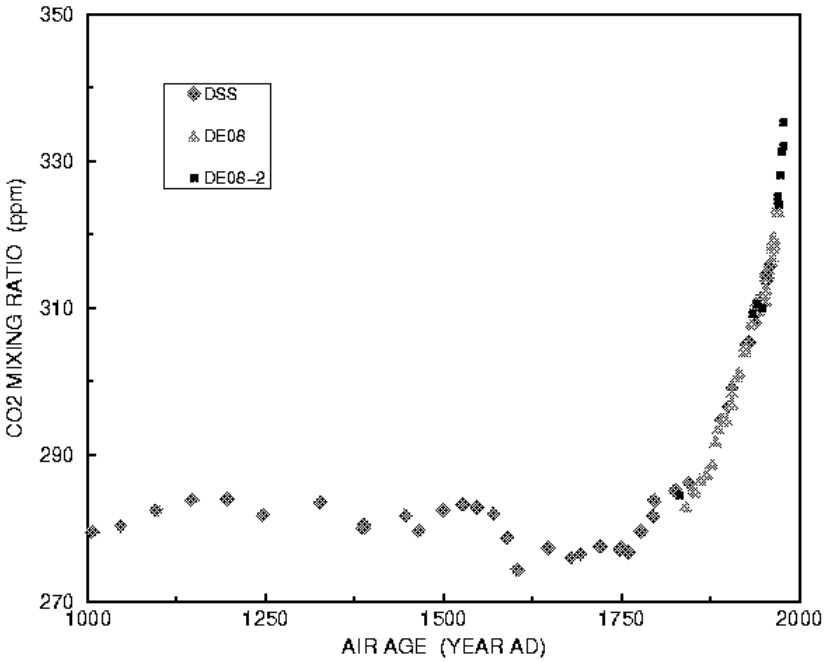
Οι αεροφυσαλίδες εξήχθησαν με τη χρήση της τεχνικής «cheese grater»: Μια ανοξείδωτη στρογγυλή φιάλη εξαγωγής αλέθει τα δείγματα πάγου σε κενό, απελευθερώνοντας γρήγορα τον αέρα και τελειοποιώντας τη διαδικασία. Τα δείγματα πυρήνων πάγου που ζυγίζουν 500-1500g προετοιμάστηκαν με την επιλογή του ελεύθερου πάγου και την απομάκρυνση των εξωτερικών 5-20mm. Κάθε δείγμα σφραγίστηκε σε μια τσάντα πολυαιθυλενίου και πάγωσε σε -80°C πρίν τοποθετηθεί στη φιάλη εξαγωγής όπου εκκενώθηκε και έπειτα αλέστηκε. Ο απελευθερωμένος αέρας ήταν ξηρός σε -100°C και συλλεχθείς κατά τρόπο κρυοστατικό μέσα στην ανοξείδωτη «παγίδα», παγωμένος σε περίπου -255°C. Περαιτέρω λεπτομέρειες στην τεχνική εξαγωγής και στο χειρισμό των δειγμάτων πάγου και αέρα, βλέπε Etheridge και λοιποί (1988, 1992, 1996).

Τα δείγματα αέρα πυρήνων πάγου, που κυμαίνονται από 50 έως 150 ml, σε τυποποιημένη θερμοκρασία και πίεση (stp), μετρήθηκαν για το CO2 αναμιγνύοντας

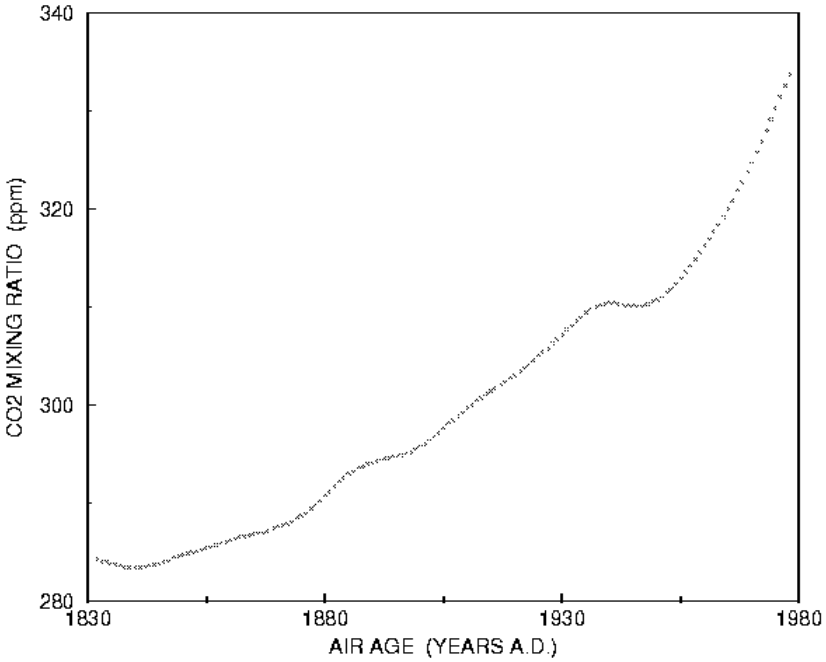
την αναλογία με έναν αναλυτικό χρωματογράφο αερίου (Carle 400 Series). Μετά από το χωρισμό στις στήλες αεριας χρωματογραφίας, το CO_2 μετατράπηκε καταλυτικά στο μεθάνιο πριν από την ανίχνευση ιονισμού φλογών. Τρεις χωριστές αναλύσεις έγιναν σε κάθε δείγμα πυρήνων πάγου. Κάθε έγχυση δειγμάτων στην αέρια χρωματογραφία κατηγοριοποιήθηκε από τις εγχύσεις αερίου βαθμονόμησης. Το CO_2 που αναμιγνύει τις αναλογίες βρέθηκε έπειτα για κάθε υποπολλαπλάσιο με τον πολλαπλασιασμό της αναλογίας της μέγιστης περιοχής δειγμάτων στη μέγιστη περιοχή αερίου βαθμονόμησης (που παρεμβάλλεται στο χρόνο της ανάλυσης δειγμάτων) με το CO_2 στην αναλογία που ορίστηκε στο αέριο βαθμονόμησης. Η ακρίβεια της ανάλυσης των δειγμάτων ήταν 0.2 ppm. Για λεπτομέρειες στις πειραματικές τεχνικές DE08, DE08-2, και DSS, που χρησιμοποιούνται βλέπε Etheridge και λοιποί (1996).
Οι πυρήνες πάγου χρονολογήθηκαν με τον υπολογισμό των στρωμάτων σε αναλογία ισοτόπων οξυγόνου ($\delta^{18}O$ H_2O), μετρήσεις ηλεκτραγωγιμότητας του πάγου (ECM - electroconductivity measurements), και συγκέντρωσης υπεροξειδίου υδρογόνου (H_2O_2). Για αυτές τις τρεις παραμέτρους, κάθε πυρήνας επέδειξε τους σαφείς, καλοσυντηρημένους εποχιακούς κύκλους που επιτρέπουν μια ακρίβεια χρονολόγησης των ±2 ετών στα 1800 μ.Χ. για τους τρεις πυρήνες και των ±10 ετών στα 1350 μ.Χ. για DSS.
Ο εσωκλειόμενος αέρας σε οποιοδήποτε βάθος στον πάγο έχει μια μέση ηλικία, (a_a), η οποία είναι νεώτερη από την ηλικία του εσμού (ai), από το οποίο ο αέρας εξάγεται. Η διαφορά (δa) είναι ίση με το χρόνο (T_S) που απαιτείται για να επιτευχθεί για το στρώμα πάγου ένα βάθος (ds), όπου ο αέρας σφραγίζεται στο διάστημα πόρων, μείον το μέσο χρόνο (T_d) για τον αέρα που αναμιγνύει κάτω από το βάθος (οι ηλικίες είναι ημερομηνίες μΧ.). Η μέση ηλικία αέρα είναι έτσι:

$$\boxed{a_a = a_i + \delta a = a_i + T_s - T_d}$$

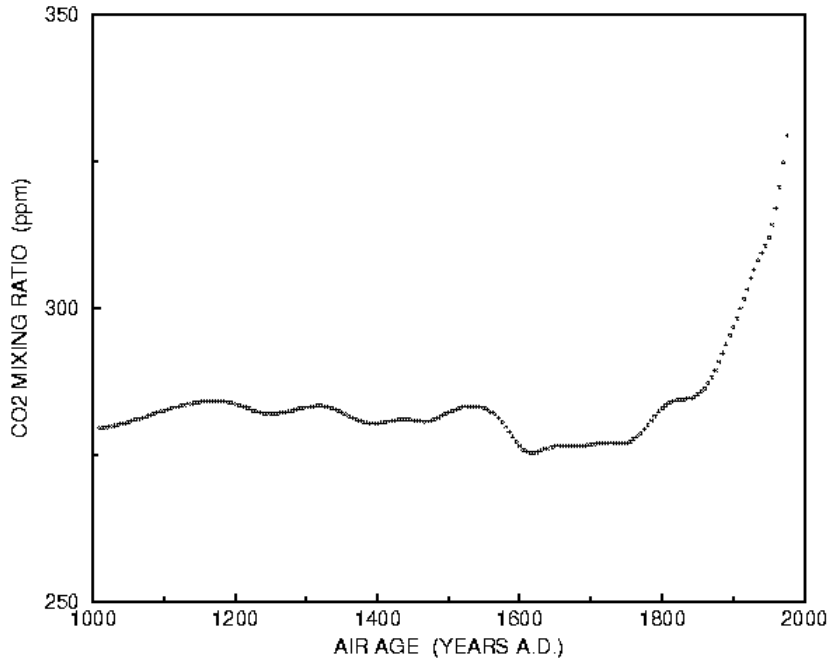
Η μίξη του αέρα από την επιφάνεια στρωμάτων πάγου στο βάθος σφράγισης είναι πρώτιστα από τη μοριακή διάχυση. Το ποσοστό αέρα που αναμιγνύεται από τη διάχυση στο χιόνι μειώνεται με το βάθος, όπως αυξάνεται η πυκνότητα και μειώνεται το ελεύθερο πορώδες.
Κατά τον Etheridge (1996), το βάθος σφράγισης DE08 είναι 72m όπου η ηλικία του πάγου είναι 40±1 έτη, σε DE08-2 είναι 72m βάθος και 40 έτη και DSS είναι 66m βάθος και 68 έτη. Για περισσότερες λεπτομέρειες στη χρονολόγηση των πυρήνων πάγου Law Dome βλέπε Etheridge και λοιποί (1996).



Σχήμα 4.17: η διακύμανση της συγκέντρωσης του CO_2 στην ατμόσφαιρα της γης τα τελευταία 1000 χρόνια (Etheridge, CSIRO, 1996)



Σχήμα 4.18: η διακύμανση της συγκέντρωσης του CO_2 τα τελευταία 150 χρόνια, με κυλιόμενο 20ετή μέσο όρο (Etheridge, CSIRO, 1996)



Σχήμα 4.19: η διακύμανση της συγκέντρωσης του CO_2 τα τελευταία 1000 χρόνια, με κυλιόμενο 75ετή μέσο όρο (Etheridge, CSIRO, 1996)

Τάσεις¶

Οι ατμοσφαιρικές αναπαραγωγές του CO_2 που παρουσιάζονται εδώ προσφέρουν τα αρχεία του λόγου ανάμιξης (mixing ratio) του ατμοσφαιρικού CO_2 από το 1006 έως το 1978. Ο αέρας που εσωκλείεται στους τρεις πυρήνες πάγου από το Law Dome της Ανταρκτικής έχει απαράμιλλη ευκρίνεια ηλικίας και επεκτείνεται στις πρόσφατες δεκαετίες, λόγω του υψηλού ποσοστού συσσώρευσης χιονιού στα σημεία εξαγωγής των πυρήνων πάγου στο Law Dome. Ο Etheridge αναφέρει ότι η αβεβαιότητα του λόγου ανάμιξης του CO_2 είναι περίπου 1,2 ppm. Το εύρος του λόγου ανάμιξης του CO_2 την προβιομηχανική εποχή ήταν 275-284ppm, με τα χαμηλότερα επίπεδα κατά τη διάρκεια 1550-1800, πιθανώς ως αποτέλεσμα του ψυχρότερου παγκόσμιου κλίματος. Τα αρχεία του πυρήνων πάγου Law Dome παρουσιάζουν σημαντική αύξηση των ατμοσφαιρικών επιπέδων του CO_2 κατά τη διάρκεια της βιομηχανικής περιόδου, εκτός από το 1935-1945 όπου τα επίπεδα του CO_2 σταθεροποίηκαν ή μειώθηκαν ελαφρώς (Etheridge 1996).

Μοντέλα

GEOCARB III

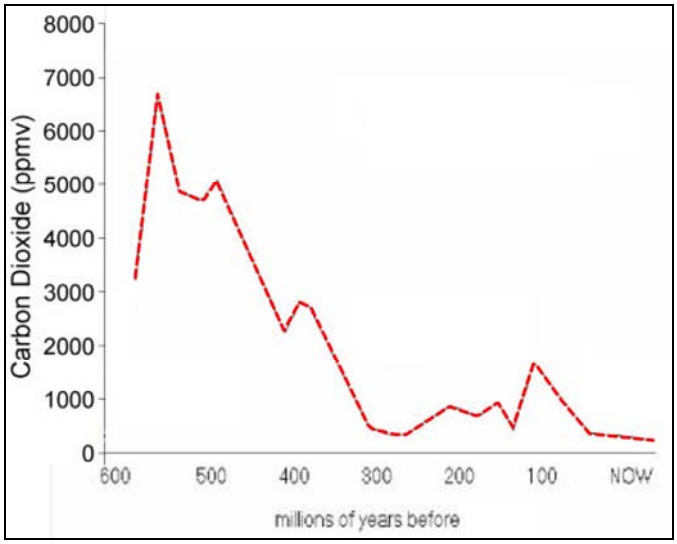
Μοντέλο του ατμοσφαιρικού CO_2 από τη Φανεροζωική εποχή

Περίοδος αρχείου

570.000.000 χρόνια πριν – σήμερα

Μέθοδοι

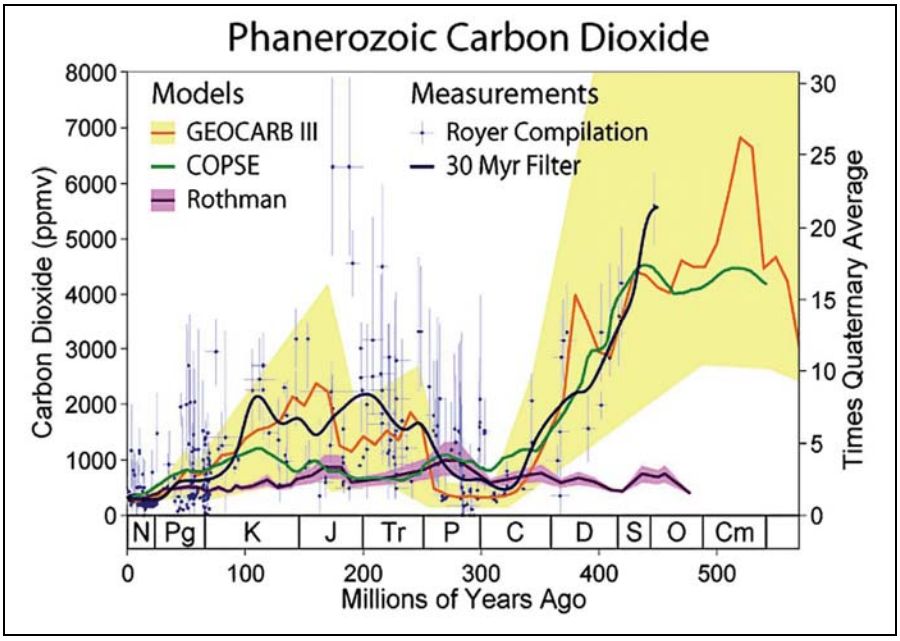
Οι Berner και Kothavala, του πανεπιστημίου Yale, έφτιαξαν το 2001 το μοντέλο GEOCARB III, για να υπολογίσουν τα «αρχαία» επίπεδα του ατμοσφαιρικού CO_2, ως τρίτη αναθεώρηση του προτύπου GEOCARB (Berner, 1991, 1994). Η μοντελοποίηση έχει γίνει με έμφαση στους παράγοντες που έχουν επιπτώσεις στη λήψη του CO_2 από την ηπειρωτική διάβρωση. Αυτό περιλαμβάνει: (1) τα νέα αποτελέσματα του GCM για την εξάρτηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας και της επιρροής στο CO_2, για τις παγετώδεις ή μη-παγετώδεις περιόδους, συνδυασμένα με τα νέα αποτελέσματα για την απόκριση της θερμοκρασίας στις αλλαγές της ηλιακής ακτινοβολίας, (2) επίδειξη ότι οι τιμές για τον παράγοντα fR, βασισμένο στα ισότοπα Sr, είναι σε συμφωνία με τις ανεξάρτητες τιμές που υπολογίζονται από τις ιζηματογενείς αποθέσεις, ως μέτρο του παγκόσμιου ρυθμού φυσικής διάβρωσης κατά τη διάρκεια της Φανεροζωικής εποχής, (3) ακριβέστερες εκτιμήσεις του συγχρονισμού και των ποσοτικών αποτελεσμάτων στη διάβρωση των πυριτικών αλάτων Ca-Mg και της ανόδου των μεγάλων φυτών στις ηπείρους κατά τη διάρκεια της Δεβόνιου περιόδου, (4) συνυπολογισμός των αποτελεσμάτων των αλλαγών την Παλαιογεωγραφία μόνο (με σταθερό CO_2 και ηλιακή ακτινοβολία) στην παγκόσμια μέση θερμοκρασία της επιφάνειας του εδάφους, δεδομένου ότι έχει επιπτώσεις στο ρυθμό διάβρωσης, (5) εκτίμηση των αποτελεσμάτων της ηφαιστειακής διάβρωσης, στις ζώνες σύγκλισης των τεκτονικών πλακών και στο θαλάσσιο πυθμένα (6) χρήση των νέων στοιχείων όσον αφορά τις τιμές $\delta^{13}C$ για τους ασβεστόλιθους και την οργανική ουσία, στη Φανεροζωική εποχή, (7) εκτίμηση της σχετικής αύξησης της διάβρωσης και (8) αναθεώρηση των παλαιογεωγραφικών δεδομένων για τις θέσεις της χέρσου, με τα πιο πρόσφατα στοιχεία για να υπολογιστεί η παγκόσμια απορροή νερού από τις ηπείρους με την πάροδο του χρόνου. (Berner, 2002).



Σχήμα 4.20: Οι συγκεντρώσεις του CO_2 κατά τους γεωλογικούς αιώνες σύμφωνα με τα αποτελέσματα του GEOCARBIII (Berner, 2002).

Τάσεις

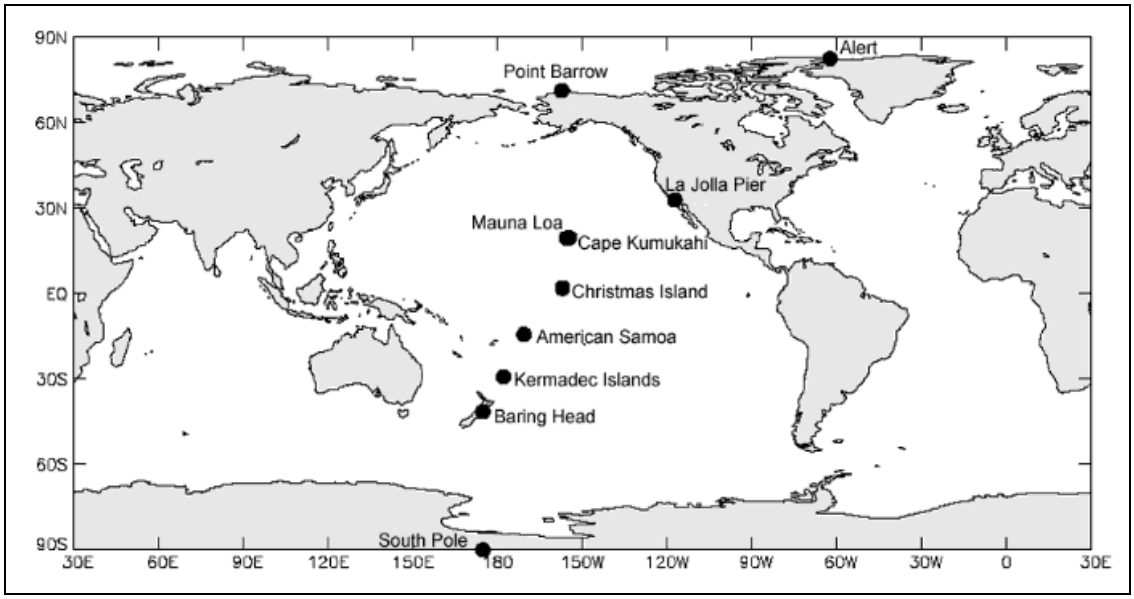
Τα αποτελέσματα GEOCARB III παρουσιάζουν πολύ υψηλές τιμές του CO_2, κοντά στα 7000ppm, τιμή 18 φορές μεγαλύτερη από τη σημερινή, κατά τη διάρκεια του πρώιμου Παλαιοζωικού αιώνα, μια μεγάλη πτώση κατά τη διάρκεια της Δεβόνιου και Λιθανθρακοφόρου περιόδου, αύξηση στην αρχή του Μεσοζωικού αιώνα, και βαθμιαία μείωση από την Κρητιδική περίοδο εώς τις χαμηλές σχετικά τιμές κατά τη διάρκεια του Καινοζωικού αιώνα. Αυτή η καταγραφή αποτελεί, αυτή τη στιγμή, την πιο μακροχρόνια που έχουμε στη διάθεση μας και προκαλεί σύγχυση, αφού δείχνει μια πτωτική, ιστορικά, τάση στη συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Όμως όλα αυτά θα τα μελετήσουμε πιο αναλυτικά στο 5ο κεφάλαιο.



Σχήμα 4.21: Σύγκριση άλλων μοντέλων με τα αποτελέσματα του GEOCARBIII

Συνεχείς μετρήσεις

Scripps Institution of Oceanography (SIO) Network

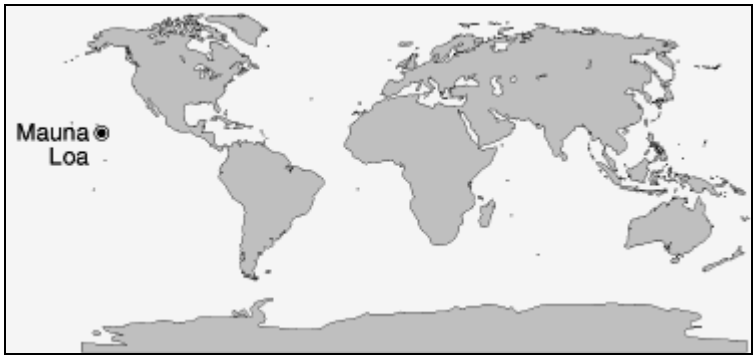


Χάρτης 4.22: περιοχές μέτρησης του δικτύου SIO

Οι μέθοδοι της δειγματοληψίας, οι εξοπλισμοί και οι αναλύσεις διαφέρουν ελάχιστα μεταξύ των διαφόρων σταθμών του δικτύου SIO, γι'αυτό θα παρουσιαστούν αναλυτικά μόνο οι πιο βασικοί σταθμοί.

Mauna Loa

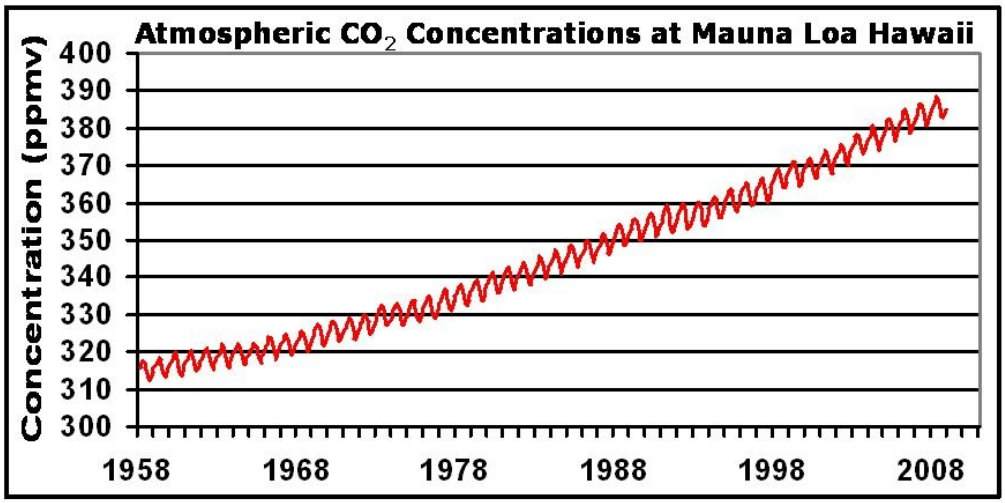
Ατμοσφαιρικό αρχείο διοξειδίου του άνθρακα από το Mauna Loa



Χάρτης 4.23: Mauna Loa, Χαβάη, ΗΠΑ. Άγονος τομέας λάβας ενεργού ηφαιστείου 19°32' N, 155°35' W, 3397m πάνω από m.s.l.

Περίοδος αρχείου
1958-2008

Μέθοδοι
Οι μετρήσεις από το Mauna Loa αποτελούν το πλέον μακροχρόνιο αρχείο συνεχών μετρήσεων των ατμοσφαιρικών συγκεντρώσεων του CO_2 που υπάρχει διαθέσιμο στον κόσμο. Η περιοχή Mauna Loa θεωρείται μια από τις ευνοϊκότερες θέσεις για τη μέτρηση της σύστασης του αέρα επειδή οι πιθανές τοπικές επιρροές της βλάστησης ή των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στις ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις του CO_2 είναι ελάχιστες και οποιεσδήποτε επιρροές από την ηφαιστειακή δραστηριότητα μπορούν να αποκλειστούν από τα αρχεία. Οι μέθοδοι και ο εξοπλισμός που χρησιμοποιούνται για τη λήψη των μετρήσεων έχουν παραμείνει ουσιαστικά αμετάβλητοι κατά τη διάρκεια του 50έτους προγράμματος.
Τα δείγματα αέρα στο Mauna Loa συλλέγονται συνεχώς από αεραγωγούς εισαγωγής στην κορυφή τεσσάρων πύργων 7m και ενός πύργου 27m. Τέσσερα δείγματα αέρα συλλέγονται κάθε ώρα με σκοπό τον καθορισμό της ατμοσφαιρικής συγκέντρωσης του CO_2. Οι προσδιορισμοί του CO_2 γίνονται με τη χρησιμοποίηση μιας συσκευής υπέρυθρης ανάλυσης αερίου (Siemens Ultramat 3 nondispersive) με «παγίδα» παγώματος υδρατμών. Αυτή η συσκευή ανάλυσης καταχωρεί τη συγκέντρωση του CO_2 σε ένα ρεύμα αέρα 0.5 L/min. Κάθε 30 λεπτά, η ροή αντικαθίσταται από ένα ρεύμα βαθμονομημένου αερίου. Το Δεκέμβριο του 1983, τα αέρια βαθμονόμησης CO_2--N_2 αντικαταστάθηκαν με τα -χρησιμοποιημένα αυτήν την περίοδο- αέρια βαθμονόμησης CO_2--αέρα. Αυτά τα αέρια βαθμονόμησης και άλλα αέρια αναφοράς συγκρίνονται περιοδικά για να καθορίσουν την ευαισθησία των οργάνων και για να ελέγξουν πιθανή «μόλυνση» από αέρα στο σύστημα. Αυτά τα αέρια αναφοράς είναι βαθμονομημένα σε σύγκριση με τα συγκεκριμένα τυποποιημένα αέρια των οποίων οι συγκεντρώσεις του CO_2 καθορίζονται μανομετρικά. Λεπτομέρειες για τις δειγματοληπτικές μεθόδους στο Mauna Loa δίνονται από τον Keeling (1982,2002).
Οι ωριαίοι μέσοι όροι της ατμοσφαιρικής συγκέντρωσης του CO_2, της ταχύτητας ανέμου, και της κατεύθυνσης αέρα σχεδιάζονται σαν βάση για την επιλογή των στοιχείων για την περαιτέρω επεξεργασία. Τα στοιχεία επιλέγονται για τις περιόδους σταθερών ωριαίων στοιχείων με απόκλιση ~0.5 ppmv. Τουλάχιστον έξι διαδοχικές ώρες σταθερών στοιχείων απαιτούνται για να διαμορφώσουν έναν καθημερινό μέσο όρο. Για περισσότερες λεπτομέρειες στα κριτήρια επιλογής στοιχείων που χρησιμοποιούνται στο Mauna Loa βλέπε Bacastow (1985).



Σχήμα 4.24: η διακύμανση της συγκέντρωσης του CO_2 στην ατμόσφαιρα, από το 1958, σύμφωνα με τις μετρήσεις στο Mauna Loa (Keeling R.F, 2009)

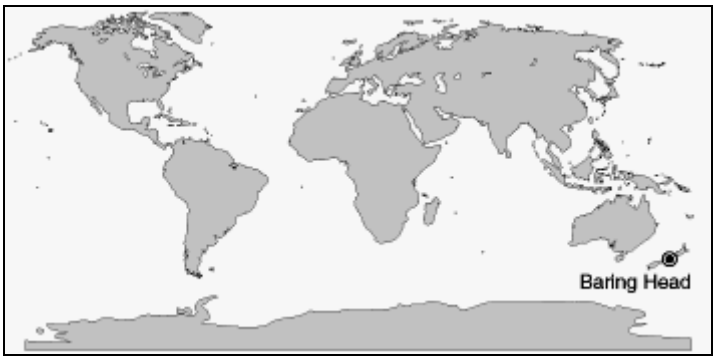
Τάσεις

Λόγω της ευνοϊκής θέσης της περιοχής, του συνεχούς ελέγχου, και της προσεκτικής επιλογής και διερεύνησης των στοιχείων, το αρχείο του Mauna Loa θεωρείται ένα πολύ ακριβές αρχείο και ένας αξιόπιστος δείκτης της τάσης στις συγκεντρώσεις του ατμοσφαιρικού CO_2 στα μέσα στρώματα της τροπόσφαιρας.

Το αρχείο του Mauna Loa παρουσιάζει αύξηση 21.4% στη μέση ετήσια συγκέντρωση, από τα 315,98ppmv το 1959 στα 383,55ppmv το 2007. Η αύξηση του 1997-1998 κατά 2,87ppmv αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο ετήσιο άλμα, δεδομένου ότι το αρχείο Mauna Loa άρχισε το 1958. Το μέσο ποσοστό ετήσιας ανάπτυξης είναι 1,45ppmv/year, πολύ μικρότερο από άλλους σταθμούς λόγω των μικρότερων ετήσιων αυξήσεων στα πρώτα χρόνια του πιο μακροχρόνιου αρχείου συγκεντρώσεων του CO_2 στην ιστορία.

Baring Head

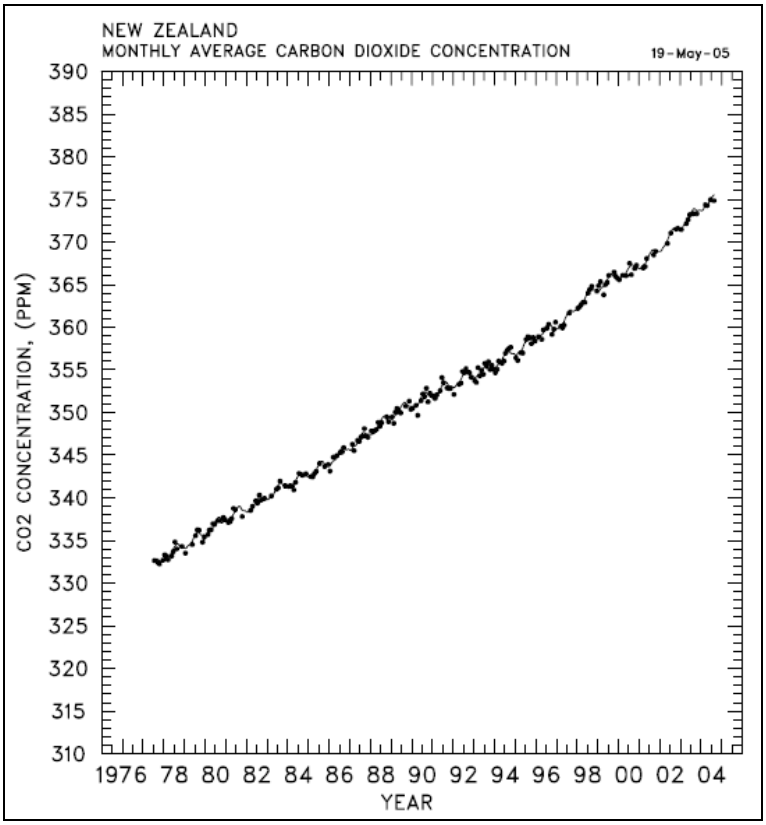
Ατμοσφαιρικό αρχείο CO_2 από το Baring Head, Νέα Ζηλανδία



Χάρτης 4.25: Baring Head, Νέα Ζηλανδία. Παράκτιος απότομος βράχος 41°24' S, 174°54' E, 85m πάνω από msl

Περίοδος αρχείου
1977-2004

Μέθοδοι
Στο Baring Head, τα δείγματα αέρα συλλέγονται εβδομαδιαία στις αεροστεγείς 5λιτρες φιάλες γυαλιού που εκτίθενται εις τριπλούν. Οι φιάλες επιστρέφονται στο SIO για τους προσδιορισμούς του CO_2, οι οποίοι γίνονται με τη χρήση μιας συσκευής υπέρυθρης ανάλυσης αερίου. Το Μαΐο του 1983, τα αέρια βαθμονόμησης CO_2-N_2 αντικαταστάθηκαν με τα αέρια βαθμονόμησης CO_2-αέρα, τα οποία χρησιμοποιούνται εως και σήμερα (Keeling 2002).

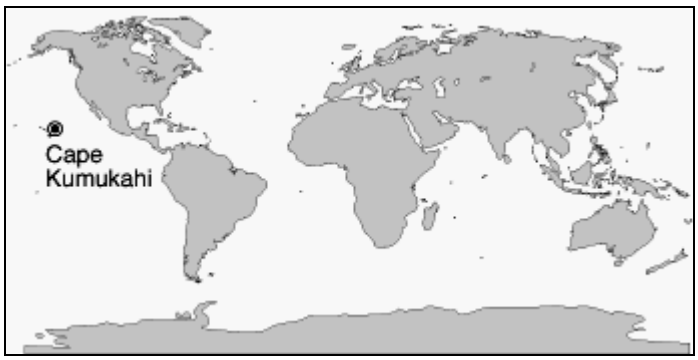


Σχήμα 4.26: η διακύμανση της συγκέντρωσης του CO_2 στην ατμόσφαιρα, από το 1977, σύμφωνα με τις μετρήσεις στο Baring Head (Keeling, Whorf, 2005)

Τάσεις
Βάσει των δειγμάτων φιαλών που συλλέχθηκαν στο Baring Head και που αναλύθηκαν από το SIO, η μέση ετήσια συγκέντρωση του CO_2 ανήλθε από τα 333.79 ppmv το 1978 στα 370.56 ppmv το 2002. Αυτό αντιπροσωπεύει ένα μέσο ποσοστό ετήσιας ανάπτυξης πάνω από 1.5 ppmv/έτος.

Cape Kumukahi, Hawaii

Αρχείο διοξειδίου του άνθρακα από το ακρωτήριο Kumukahi, Χαβάη



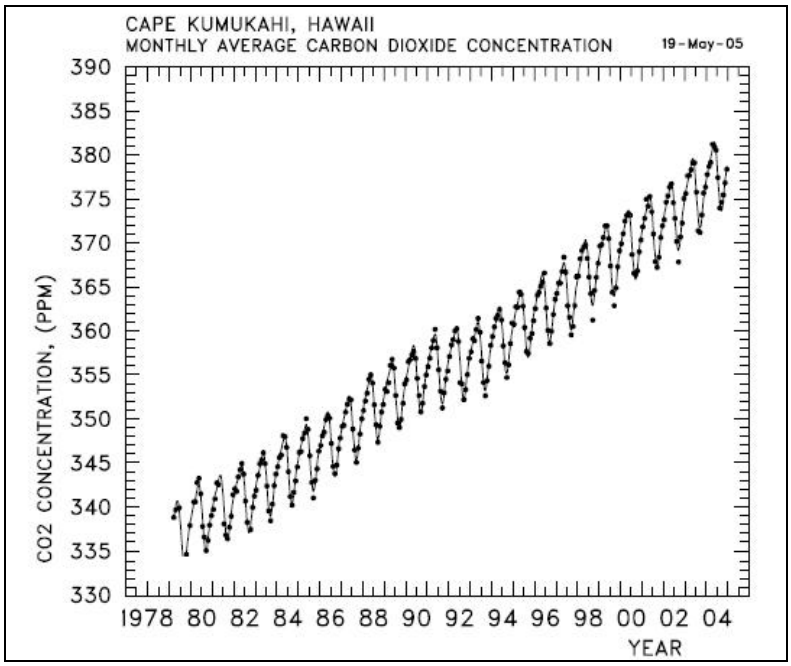
Χάρτης 4.27: Ακρωτήριο Kumukahi, Χαβάη, ΗΠΑ. Ακτή νησιών 19°31' N, 154°49' W, 3m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας

Περίοδος αρχείου

1979-2004

Μέθοδοι

Στο ακρωτήριο Kumukahi, τα δείγματα αέρα συλλέγονται εβδομαδιαία στις αεροστεγείς 5λιτρες φιάλες γυαλιού που εκτίθενται εις τριπλούν. Οι φιάλες επιστρέφονται στο SIO για τους προσδιορισμούς του CO_2, οι οποίοι γίνονται με τη χρήση μιας συσκευής υπέρυθρης ανάλυσης αερίου. Το Μαΐο του 1983, τα αέρια βαθμονόμησης CO_2-N_2 αντικαταστάθηκαν με τα αέρια βαθμονόμησης CO_2-αέρα, τα οποία χρησιμοποιούνται εως και σήμερα (Keeling 2002).

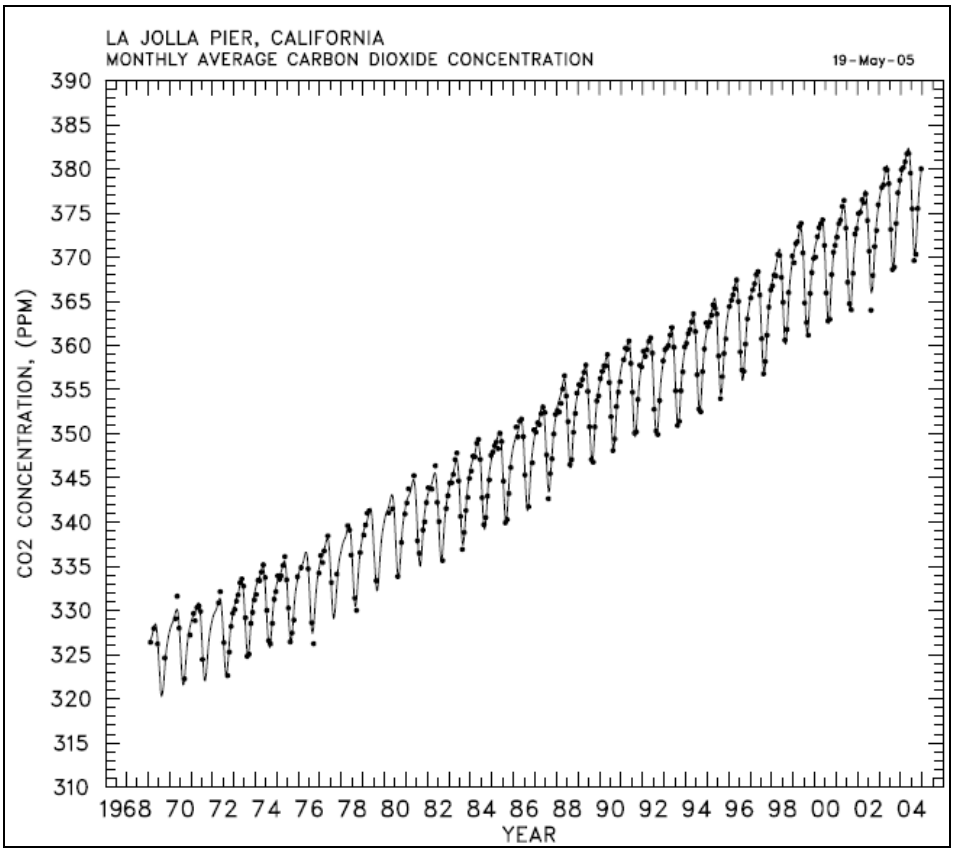


Σχήμα 4.28: η διακύμανση της συγκέντρωσης του CO_2 στην ατμόσφαιρα (C.D. Keeling, University of California)

Τάσεις
Βάσει των δειγμάτων φιαλών που συλλέχθηκαν στο ακρωτήριο Kumukahi και που αναλύθηκαν από το δίκτυο SIO, η μέση ετήσια συγκέντρωση του CO_2 ανήλθε από τα 339,10 ppmv το 1980 στα 377,93 ppmv το 2004. Αυτό αντιπροσωπεύει ένα μέσο ποσοστό ετήσιας ανάπτυξης της τάξης του 1.6 ppmv το χρόνο στο ακρωτήριο Kumukahi.

La Jolla Pier, California

Περίοδος αρχείου
1969-2004



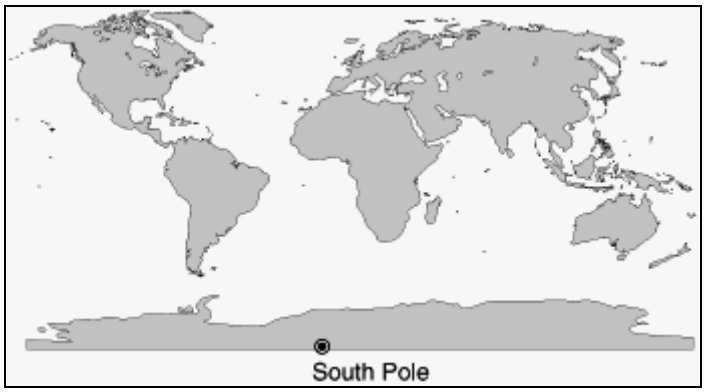
Σχήμα 4.29: η διακύμανση της συγκέντρωσης του CO_2 στην ατμόσφαιρα (C.D. Keeling, SIO, University of California)

Μέθοδοι
Τα δείγματα αέρα συλλέγονται εβδομαδιαία στις αεροστεγείς 5λιτρες φιάλες γυαλιού που εκτίθενται εις τριπλούν. Οι φιάλες επιστρέφονται στο SIO για τους προσδιορισμούς του CO_2, οι οποίοι γίνονται με τη χρήση μιας συσκευής υπέρυθρης ανάλυσης αερίου. Το Μαΐο του 1983, τα αέρια βαθμονόμησης CO_2-N_2 αντικαταστάθηκαν με τα αέρια βαθμονόμησης CO_2-αέρα, τα οποία χρησιμοποιούνται εως και σήμερα (Keeling 2002).

Τάσεις

Τα εξερχόμενα αποτελέσματα από τις μετρήσεις στο σταθμό La Jolla Pier της Καλιφόρνια παρουσιάζουν μια άυξηση στη συγκέντρωση του CO_2 της τάξης των 55ppm στην περίοδο 1968-2005. Αυτό ισοδυναμεί με μια μέση ετήσια αύξηση περίπου 1,49ppm/year.

South Pole, Antarctica



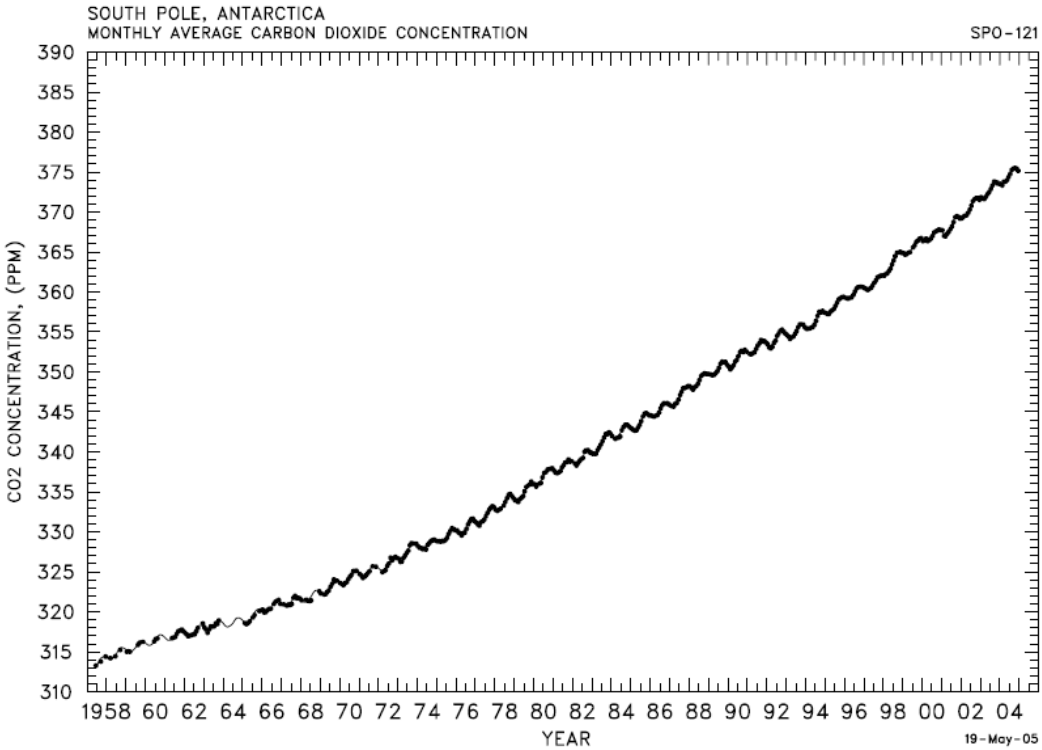
Χάρτης 4.30: Νότιος Πόλος, Ανταρκτική. Χιονισμένο οροπέδιο πάγου 89°59' S, 24°48' W, 2810m πάνω από MSL

Περίοδος αρχείου

1957-2004

Μέθοδοι

Τα δείγματα αέρα συλλέγονται εβδομαδιαία στις αεροστεγείς 5λιτρες φιάλες γυαλιού που εκτίθενται εις τριπλούν. Οι φιάλες επιστρέφονται στο SIO για τους προσδιορισμούς του CO_2, οι οποίοι γίνονται με τη χρήση μιας συσκευής υπέρυθρης ανάλυσης αερίου. Το Μαΐο του 1983, τα αέρια βαθμονόμησης CO_2-N_2 αντικαταστάθηκαν με τα αέρια βαθμονόμησης CO_2-αέρα, τα οποία χρησιμοποιούνται εως και σήμερα (Keeling 2002).



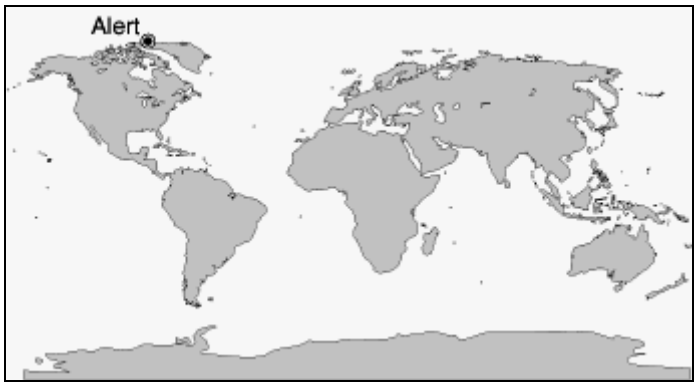
Σχήμα 4.31: η διακύμανση της συγκέντρωσης του CO_2 στην ατμόσφαιρα (C.D. Keeling, SIO, University of California)

Τάσεις

Οι ακριβείς μετρήσεις του ατμοσφαιρικού CO_2 στο σταθμό South Pole έχουν ληφθεί από όργανο των ερευνητών του SIO από το 1957. Αυτό το αρχείο είναι βασισμένο πρώτιστα στη δισεβδομαδιαία δειγματοληψία φιαλών. Η καμπύλη του CO_2 δείχνει ότι οι ετήσιοι μέσοι όροι των ατμοσφαιρικών συγκεντρώσεων του CO_2 ανήλθαν από τα 314,82 ppmv το 1958 στα 380,42 ppmv το 2007. Αυτό αντιπροσωπεύει μια μέση ετήσια ανάπτυξη 1.34 ppmv το χρόνο.

Alert, Canada

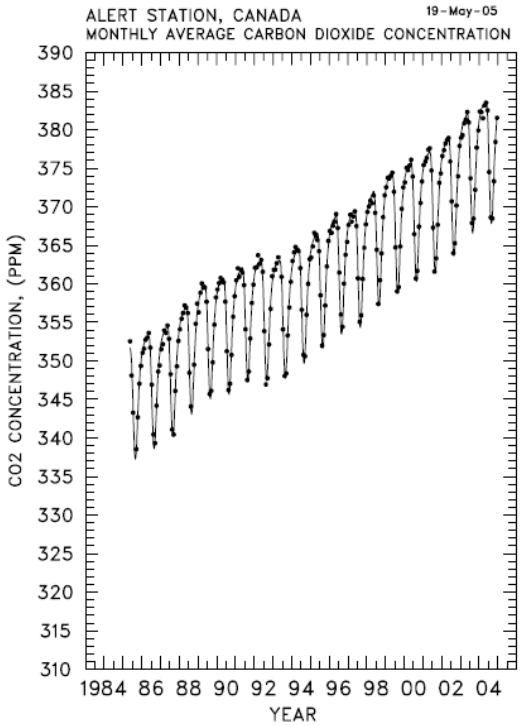
Αρχείο διοξειδίου του άνθρακα από το Alert, Καναδάς



Χάρτης 4.32: Alert, Καναδάς. Tundra (χιονισμένο για ¾ του έτους) 82°28' N, 62°30' W, 210m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας

Περίοδος αρχείου
1985-2004

Μέθοδοι
Στο Alert, τα δείγματα αέρα συλλέγονται εβδομαδιαία στις αεροστεγείς 5λιτρες φιάλες γυαλιού που εκτίθενται εις τριπλούν. Οι φιάλες επιστρέφονται στο SIO για τους προσδιορισμούς του CO_2, οι οποίοι γίνονται χρησιμοποιώντας μια συσκευή υπέρυθρης ανάλυσης αερίου (nondispersive. Μαΐος 1983), τα αέρια βαθμονόμησης CO_2-N_2 αντικαταστάθηκαν με τα αέρια βαθμονόμησης CO_2--αέρα, τα οποία χρησιμοποιούνται αυτήν την περίοδο (Keeling και λοιποί. 2002).



Σχήμα 4.33: η διακύμανση της συγκέντρωσης του CO_2 στην ατμόσφαιρα (C.D. Keeling, SIO, University of California)

Τάσεις
Βάσει των δειγμάτων φιαλών που συλλέχθηκαν στο Alert και που αναλύθηκαν από το SIO, η ετήσια μέση συγκέντρωση του CO_2 ανήλθε από τα 348,64 ppmv το 1986 στα 378,42 ppmv το 2004. Αυτό αντιπροσωπεύει ένα μέσο ποσοστό ετήσιας ανάπτυξης 1,65 ppmv το χρόνο.

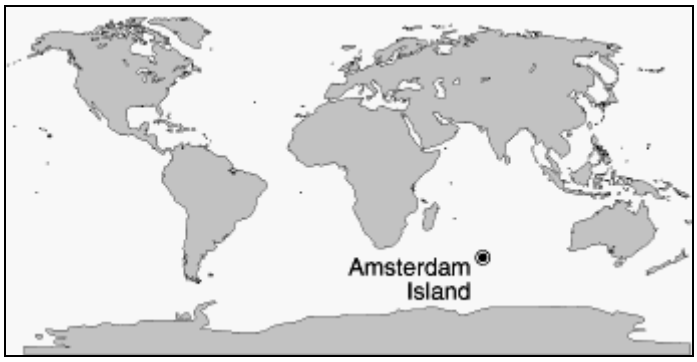
Amsterdam Island

Αρχείο του CO_2 από τις in situ μετρήσεις στο νησί Amsterdam

Περίοδος αρχείου
1980-95

Περιοχή

Το κέντρο *des Faibles Radioactivités* καταγράφει τις ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις του CO_2 από το Μαΐο του 1980 στο σταθμό του νησιού του Amsterdam. Ο σταθμός, 5000km από τη Νότια Αφρική, είναι μέρος του παγκόσμιου ατμοσφαιρικού δικτύου GAW, της παγκόσμιας μετεωρολογικής οργάνωσης (WMO). Το σημείο δειγματοληψίας βρίσκεται στο βορειοδυτικό τέλος του νησιού, στην άκρη ενός απότομου βράχου 55m. Για περαιτέρω λεπτομέρειες για την περιοχή και τις δειγματοληπτικές μεθόδους στο νησί του Άμστερνταμ βλέπε Gaudry (1983, 1991)

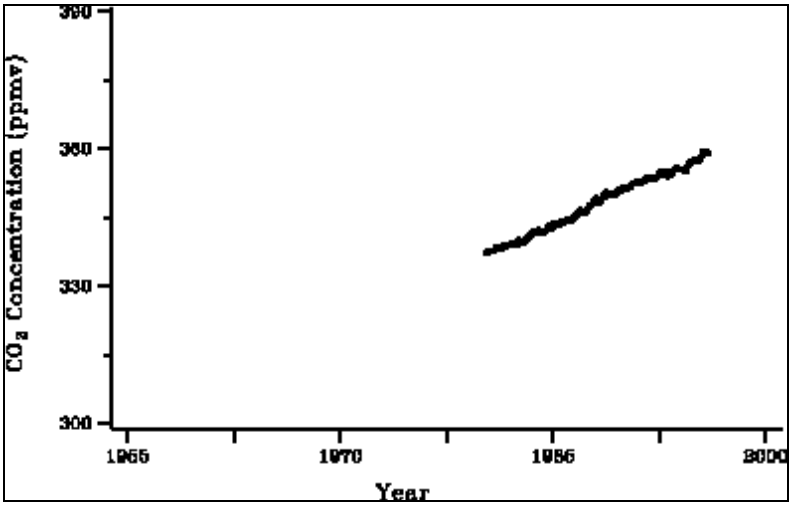


Χάρτης 4.34: Amsterdam Island, Ινδικός Ωκεανός. Απότομος βράχος ακτών νησιών 37°47' S, 77°31' E, 76m πάνω από MSL

Μέθοδοι

Έως το 1993 τα δείγματα αέρα συλλέγονταν συνεχώς μέσω ενός αεραγωγού στην κορυφή ενός πύργου, 9m επάνω από το έδαφος και 65m επάνω από τη μέση στάθμη της θάλασσας (MSL - mean sea level). Από το 1994, η εισαγωγή έχει τοποθετηθεί 20m επάνω από το έδαφος και 76m πάνω από τη μέση στάθμη της θάλασσας. Ο πύργος βρίσκεται στο βορειο-βορειοδυτικό μέρος του νησιού στην άκρη ενός απότομου βράχου 55m. Ο αέρας είναι ξηρός με τη βοήθεια μιας κρυογόνου «παγίδας» νερού στους -60°C. Έως το 1990, ο προσδιορισμός του CO_2 γινόταν με τη χρήση δύο διαδοχικών υπέρυθρων (NDIR) συσκευών ανάλυσης (hartmann-Braun URAS 2T). Από το 1991 γίνεται χρησιμοποιώντας μια Siemens ULTRAMAT 5F NDIR. Τα τυποποιημένα αέρια από τον Οκτώβριο του 1980 μέχρι το Δεκέμβριο του 1984 ήταν μίγματα CO_2--N_2 που πιστοποιήθηκαν από το SIO (Scripps Institution of Oceanography). Το 1985, εισήχθησαν τα μίγματα CO_2--αέρα στην κλίμακα WMO. Το 1990, μια καινούρια σειρά 12 αρχικών τυποποιημένων αερίων προετοιμάστηκε βαρυμετρικά, κατόπιν ρυθμίστηκε γραμμικά στο εργαστήριο και ελέγχθηκε αρκετές φορές (1990, 1992, και 1993) στα εργαστήρια της DSIR στη Νέα Ζηλανδία και της NOAA/CMDL, οι οποίες και οι δύο χρησιμοποίησαν την κλίμακα WMO. Η συμφωνία ήταν πάντα καλύτερη από 0.1 ppm (Monfray και λοιποί. 1992). Οι ωριαίες μέσες συγκεντρώσεις του CO_2 συγκρίνονται με τις ωριαίες μέσες μετεωρολογικές συνθήκες (κατεύθυνση και ταχύτητα αέρα). Για τα δείγματα που

θεωρούνται ενδεικτικά των όρων αέρα υποβάθρου, τα ακόλουθα κριτήρια πρέπει να ικανοποιούνται:
(1) η κατεύθυνση αέρα πρέπει να είναι από 260-300° και η ταχύτητα αέρα πρέπει να είναι >8m/s, ή η κατεύθυνση αέρα πρέπει να είναι από 300-360° και η ταχύτητα αέρα πρέπει να είναι >4m/s.
(2) τα μεμονωμένα ωριαία μέσα πρέπει να είναι μέρος μιας ακολουθίας τεσσάρων διαδοχικών ωρών όπου οι ανωτέρω όροι ικανοποιούνται.
(3) η σταθερή απόκλιση των ωριαίων μέσων πρέπει να είναι λιγότερο από 0.2 m/s.
Τα κριτήρια αέρα είναι ενδεικτικά των μαζών θαλάσσιου αέρα, και ακυρώνουν τους νότιους ανέμους, οι οποίοι είναι συχνοί. Τα στοιχεία αναφέρονται στο κέντρο des Faibles Radioactivités. Για περαιτέρω λεπτομέρειες στις δειγματοληπτικές μεθόδους, τα αέρια αναφοράς, και τα κριτήρια επιλογής στοιχείων, βλέπε Gaudry (1983, 1991).



Σχήμα 4.35: η διακύμανση της συγκέντρωσης του CO_2 στην ατμόσφαιρα (Gaudry, France 1996)

Τάσεις

Η μέση ετήσια συγκέντρωση CO_2 αυξήθηκε από τα 338,6ppmv το 1981 στα 358,4ppmv το 1995, ωστόσο, το ετήσιο ποσοστό της αύξησης ποίκιλε σημαντικά κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου. Σε τεχνική έκθεση του Lambert το 1995, αναφέρεται ότι ο ρυθμός αύξησης του CO_2 έχει μειωθεί από 1-2 ppmv το χρόνο για τη δεκαετία 1980 ως 1990, σε λιγότερο από 1 ppmv το χρόνο το 1992-1993.
Για περαιτέρω συζήτηση σχετικά με τα αποτελέσματα, τις επιρροές και τις τάσεις στο ατμοσφαιρικό αρχείο του CO_2 από το νησί του Άμστερνταμ βλέπε Ascensio-Parvy και λοιποί (1984), Gaudry και λοιποί (1987, 1990, 1991), Lambert και λοιποί (1995), και Monfray και λοιποί (1987).

K-Puszta, Ουγγαρία

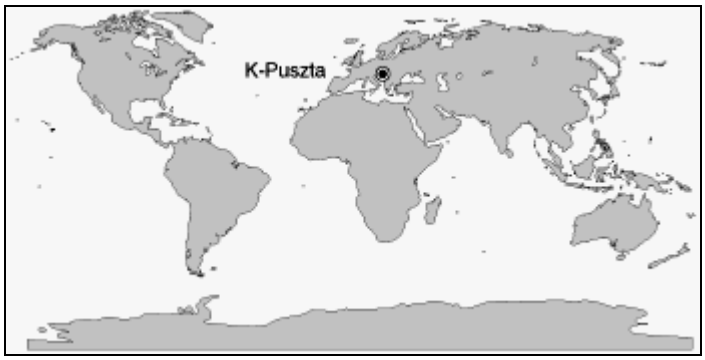
Αρχείο του CO_2 από τις μετρήσεις στο K-Puszta, Ουγγαρία

Περίοδος αρχείου

1981-1997

Θέση

Ο περιφερειακός σταθμός ελέγχου ατμοσφαιρικής ρύπανσης K-Puszta τοποθετήθηκε το 1981 σε ένα άνοιγμα σε μικτό δάσος στη μεγάλη ουγγρική πεδιάδα της Καρπάθιας λεκάνης. Ο K-Puszta είναι όσο το δυνατόν πιό απομακρυσμένος από την άμεση ρύπανση της βιομηχανοποιημένης, πυκνοκατοικημένης κεντρικής Ευρώπης. Λόγω της ανάπτυξης της βλάστησης, ο σταθμός μετακινήθηκε το Σεπτέμβριο του 1993 προς ένα μεγαλύτερο άνοιγμα, στην ίδια ισουψή, περίπου 500m από την αρχική περιοχή. Η περιοχή είναι κλιματολογικά ήρεμη. Οι επικρατούντες άνεμοι προέρχονται από τα βορειοδυτικά και η ετήσια μέση ταχύτητα τους είναι 2 m/s. Η πλησιέστερη μεγαλούπολη είναι το Kecskemét (πληθυσμός 110.000), περίπου 15km νοτιοανατολικά από το σταθμό. Η πλησιέστερη σημαντική πηγή ρύπανσης στην κατεύθυνση ανέμου είναι η Βουδαπέστη (πληθυσμός 1.9 εκατ.), περίπου 70km από το σταθμό.



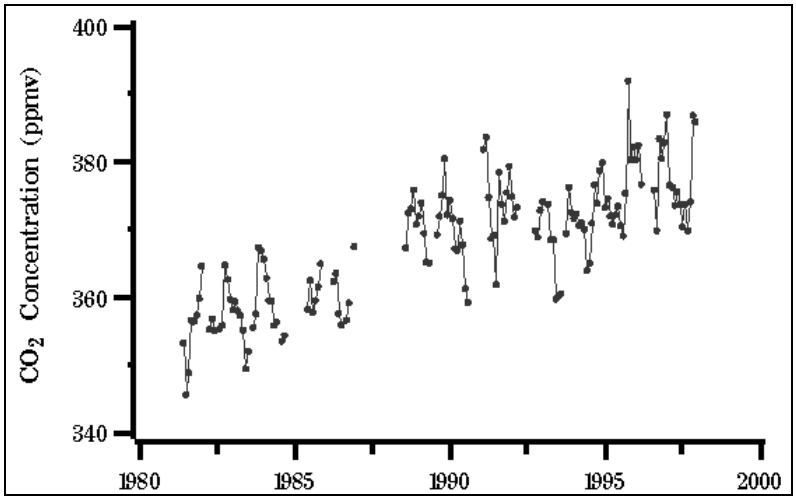
Χάρτης 4.36: K-puszta, Ουγγαρία, 46°58' N, 19°33' E, 125m πάνω από MSL

Μέθοδοι

Τα δείγματα αέρα συλλέγονται συνεχώς μέσω ενός αεραγωγού εισαγωγής 10m πάνω από το έδαφος. Τα δείγματα αέρα και τα τυποποιημένα αέρια που αναλύονται διαποτίζονται από υδρατμό σε θερμοκρασία δωματίου και «δροσίζονται» στους 4°C. Αυτό σταθεροποιεί την περιεκτικότητα σε νερό του αερίου που αναλύεται και το καθιστά ικανό να αντισταθμίσει την επιρροή της περιεκτικότητας σε νερό στη μέτρηση. Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης του CO_2 γίνεται με τη χρήση μιας συσκευής υπέρυθρης ανάλυσης (NDIR - Siemens Ultramat 3 nondispersive). Το όργανο είναι βαθμονομημένο κατά τα πρότυπα CO_2--αέρα της ομάδας NOAA/CMDL.

Καταγραφή στοιχείων

Από τον Απρίλιο του 1984, οι τιμές συγκέντρωσης καταγράφονται από ένα σύστημα ψηφιακών στοιχείων. Πριν, οι ημιωριαίες τιμές συγκέντρωσης καταγράφονταν με το χέρι. Μόνο οι λανθασμένες μετρήσεις που καταγράφονται κατά τη διάρκεια δυσλειτουργίας των οργάνων αφαιρούνται από το αρχείο. Οι ετήσιες μέσες συγκεντρώσεις υπολογίζονται από τις μηνιαίες τιμές και οι μηνιαίες τιμές υπολογίζονται από τα καθημερινά μέσα. Λαμβάνοντας υπόψη τις σημαντικές καθημερινές και εποχιακές παραλλαγές στις συγκεντρώσεις του CO_2 που προκαλούνται από τις τοπικές φυτικές επιρροές, τα καθημερινά μέσα υπολογίζονται μόνο όταν και αντιπροσωπεύονται οι περίοδοι ημέρας και νύχτας. Ο μηνιαίος μέσος όρος υπολογίζεται μόνο όταν τουλάχιστον δέκα καθημερινά μέσα είναι διαθέσιμα για τον υπολογισμό. Για τον υπολογισμό των ετήσιων μέσων όρων απαιτείται και η αντιπροσώπευση των περιόδων καλοκαιριού και χειμώνα. Τα στοιχεία εκφράζονται σε μέρη ανά εκατομμύριο (ppm). Αυτά τα στοιχεία είναι επίσης διαθέσιμα από το «Κέντρο παγκόσμιων στοιχείων για τα αέρια θερμοκηπίου» (Τόκιο, Ιαπωνία).



Σχήμα 4.37: η διακύμανση της συγκέντρωσης του CO_2 στην ατμόσφαιρα, από το 1958, σύμφωνα με τις μετρήσεις στο K-puszta (L.Haszpra, HMS)

Τάσεις

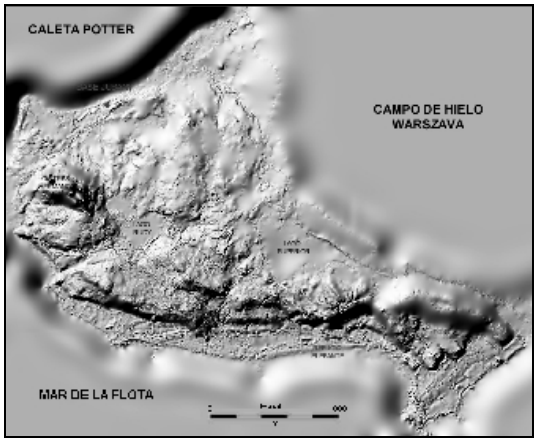
Η μέση ετήσια ατμοσφαιρική συγκέντρωση του CO_2 στο K-Puszta αυξήθηκε από 354 ppm το 1981 σε 377 ppm το 1997. Επειδή ο σταθμός K-Puszta βρίσκεται σε άνοιγμα δασικής περιοχής, υπόκειται σε σημαντικά βιοσφαιρικά αποτελέσματα. Κατά συνέπεια, το αρχείο από το K-Puszta παρουσιάζει υψηλή εποχιακή και χρονική μεταβλητότητα. Εντούτοις, οι τάσεις και τα χρονικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα του K-Puszta καταγράφουν παράλληλα εκείνο που παρατηρείται και σε άλλους σταθμούς ελέγχου ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο βόρειο ημισφαίριο (Haszpra 1995).

Jubany Station

Αρχείο του CO_2 από τις in situ μετρήσεις στο σταθμό Jubany, Ανταρκτική

Θέση

Το ιταλικό PNRA (εθνικό ερευνητικό πρόγραμμα στην Ανταρκτική) άρχισε τις συνεχείς ατμοσφαιρικές μετρήσεις διοξειδίου του άνθρακα στο Jubany το 1994. Το εργαστήριο στο σταθμό Jubany χρησιμοποιείται καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου από το DNA (αργεντίνικο ανταρκτικό τμήμα) μέσω μιας συμφωνίας με το PNRA. Ο σταθμός Jubany είναι τοποθετημένος στο King George Island, στο αρχιπέλαγος Shetland βόρεια του ανταρκτικού Penisula. Το εργαστήριο είναι τοποθετημένο σε μια ανύψωση 15m. Ο κόλπος, που έχει ένα μέγιστο πλάτος περίπου 1km, περιβάλλεται από μόνιμους παγετώνες εκτός από τον τομέα όπου βρίσκεται η βάση.



Χάρτης 4.38: Σταθμός Jubany, Ανταρκτική
62° 14' S, 58° 40' W, 15m πάνω από MSL

Περίοδος αρχείου

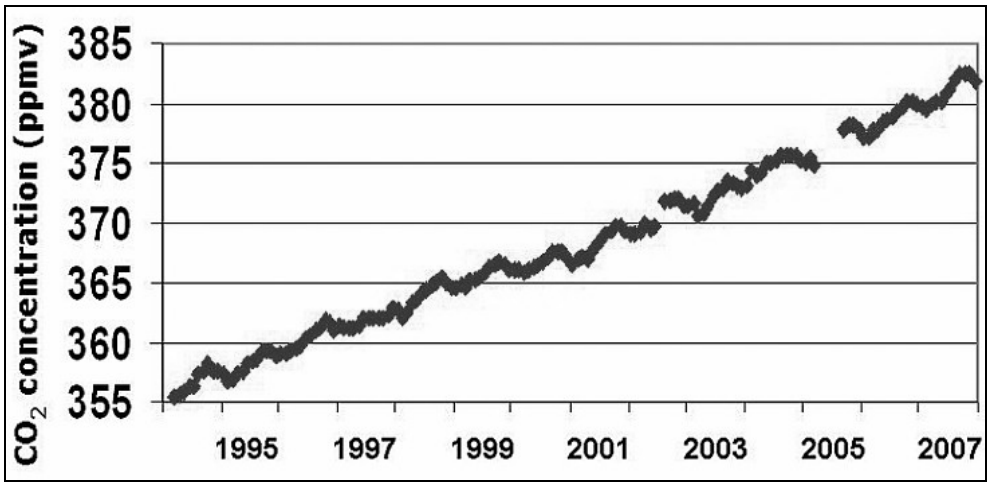
1994 - 2007

Μέθοδοι

Το σύστημα μέτρησης είναι βασισμένο σε μια συσκευή ανάλυσης Siemens U5 NDIR που εξοπλίζεται με μια τμηματική διεπαφή που ελέγχεται από λογισμικό ηλεκτρονικού υπολογιστή. Ο ατμοσφαιρικός υδρατμός και η υγρασία που περιλαμβάνονται στους κυλίνδρους αφαιρούνται με τη διάβαση του αέρα για περίπου ένα λεπτό μέσω ενός σωλήνα γυαλιού που τοποθετείται σε μια κρυογόνο παγίδα στους -70°C. Ο αεραγωγός εισαγωγής βρίσκεται σε ύψος 10m σε έναν ιστό τοποθετημένο 40m μακρυά από το κτήριο-εργαστήριο.

Το εργαστήριο Jubany έχει στη διάθεσή του ένα σύνολο 6 σταθμών CO_2--αέρα τα οποία μετρούν τη συγκέντρωση σύμφωνα με την κλίμακα WMO. Η κλίμακα συσκευών ανάλυσης ρυθμίζεται αυτόματα κάθε 3 ώρες με τη χρησιμοποίηση δύο προτύπων εργασίας που διαφέρουν από 20-25ppm. Η ακρίβεια που επιτυγχάνεται

στη φάση βαθμονόμησης και στη μέτρηση του CO_2 επιτρέπει την εξαγωγή συμπερασμάτων με πιθανή απόκλιση ±0.1ppm.



Σχήμα 4.39: η διακύμανση της συγκέντρωσης του CO_2 στην ατμόσφαιρα (L.Ciattaglia, C.Rafanelli, CNR-IFA Italy, H.Rodriguez, J.Araujo, DNA-IAA Argentina)

Τάσεις

Βάσει των ετήσιων μέσων όρων που υπολογίζονται από τους μηνιαίους μέσους όρους που μετρήθηκαν στο Jubany, τα επίπεδα του CO_2 έχουν ανέλθει από 356ppm το 1994 σε 381ppm το 2007.

Η μειωμένη και κακώς καθορισμένη αιχμή συγκέντρωσης του 1997-1998 παρατηρήθηκε και σε άλλους ανταρκτικούς σταθμούς στο παγκόσμιο ατμοσφαιρικό δίκτυο WMO, και μπορεί να είχε προκληθεί από οποιοδήποτε ή έναν συνδυασμό διάφορων παραγόντων, συμπεριλαμβανομένων των ανωμαλιών θερμοκρασίας επιφάνειας θάλασσας, των ανωμαλιών θερμοκρασίας αέρα, και πιθανών αλλαγών της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας γενικά. Μεταξύ όλων των παραγόντων που έχουν επιπτώσεις στην ατμοσφαιρική συγκέντρωση του CO_2 η πιό πειστική αιτία φαίνεται σχετική με το El Nino του 1997-1998 και με τα επόμενα επεισόδια La Nina. Η υπόθεση είναι βασισμένη στη συμπεριφορά των συγκεντρώσεων του SOI και του CO_2 επί διάφορων ανταρκτικών (και μη) τόπων και από τους συσχετισμούς μεταξύ των δύο παραμέτρων (Anav, Ciattaglia, και Rafanelli, 1999)

Mt. Cimone

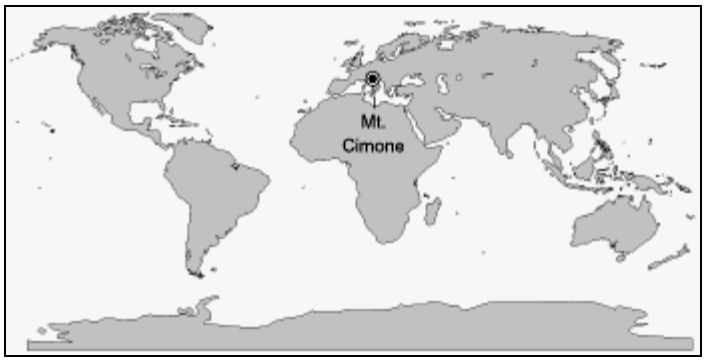
Αρχείο διοξειδίου του άνθρακα από τις μετρήσεις στο όρος Cimone, Ιταλία

Περίοδος αρχείου

1979-1997

Περιοχή

Στην κορυφή βουνού, 2165m πάνω από την επιφάνεια της θάλλασσας, βρίσκεται το παρατηρητήριο στο όρος Cimone, ένας σταθμός της ιταλικής μετεωρολογικής υπηρεσίας, που έχει συμμετάσχει στο πρόγραμμα WMO-BAPMON από το 1978. Το ατμοσφαιρικό αρχείο του CO_2 από το όρος Cimone αντιπροσωπεύει το πιό μακροχρόνιο συνεχές διαθέσιμο αρχείο για τη περιοχή της μεσογείου.

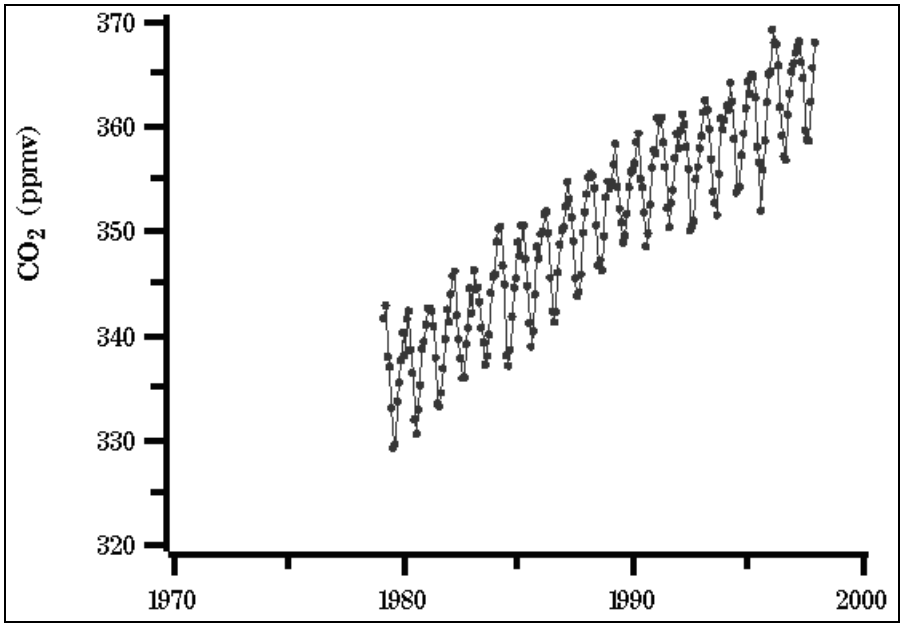


Χάρτης 4.40: Όρος Cimone, Ιταλία. Κορυφή βουνών 44°11' N, 10°42' E, 2165m πάνω από MSL

Μέθοδοι

Οι συνεχείς ατμοσφαιρικές μετρήσεις του CO_2 έχουν πραγματοποιηθεί στο όρος Cimone από το 1979 εώς το 1997. Τα δείγματα αέρα συλλέγονταν εβδομαδιαία σε ζευγάρια 2-λιτρων, ανοξείδωτων, κυλινδρικών φιαλών. Μια συσκευή ανάλυσης αερίου Hartmann&Braun URAS-2T NDIR χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων του CO_2 εώς το 1988. Αυτήν την περίοδο, οι προσδιορισμοί του CO_2 γίνονται μέσω της χρήσης μιας συσκευής ανάλυσης αερίου NDIR SIEMENS ULTRAMAT-5E. Ο υδρατμός αποβάλλεται με τη διάβαση του αέρα μέσω ενός σωλήνα τύπου U που τοποθετείται σε ένα λουτρό οινοπνεύματος στους -600°C. Η βαθμονόμηση του ULTRAMAT-5E ολοκληρώνεται με τη χρησιμοποίηση του CO_2--αέρα που λειτουργεί στα τυποποιημένα αέρια. Οι ωριαίες τιμές του CO_2 σχεδιάζονται συνήθως μαζί με τα στοιχεία αέρα. Οι ανώμαλες (λόγω πιθανών σφαλμάτων) συγκεντρώσεις και εκείνες που επηρρεάζονται από τις αστοχίες των οργάνων ή τις τοπικές πηγές CO_2, απορρίπτονται. Οι ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις του CO_2 από το όρος Cimone αναφέρονται στην κλίμακα WMO του 1993. Για περαιτέρω λεπτομέρειες στις τεχνικές των συσκευών δειγματοληψίας και μέτρησης που χρησιμοποιούνται στο όρος Cimone, βλέπε Cundari (1990).

Το Μάρτιο του 1996, τα πρότυπα που χρησιμοποιήθηκαν στο όρος Cimone συγκρίθηκαν με τα πρότυπα από το NOAA. Η μέση διαφορά μεταξύ των προτύπων που χρησιμοποιήθηκαν στο όρος Cimone και στο εργαστήριο του NOAA ήταν λιγότερο από 0.06 ppmv. Τα στοιχεία φιλτράρονται πρώτα για να αφαιρεθούν οι μετρήσεις που επηρεάζονται από τις τοπικές πηγές CO_2 κατά τη διάρκεια της θερμής εποχής. Τα υπόλοιπα στοιχεία αξιολογούνται έπειτα σύμφωνα με κριτήρια που περιγράφονται από έκθεση του Cundari (1995).



Σχήμα 4.41: η διακύμανση της συγκέντρωσης του CO_2 στην ατμόσφαιρα (T.Colombo, R.Santaguida, Italian Meteorological Service)

Τάσεις

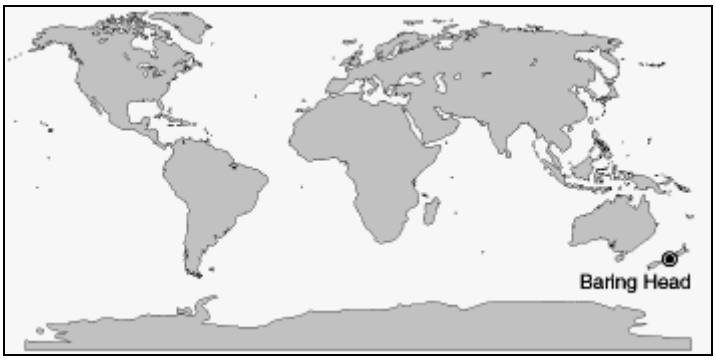
Από το 1980 ως το 1997, η ετήσια μέση ατμοσφαιρική συγκέντρωση του CO_2 στο όρος Cimone ανήλθε από τα 336ppmv στα 364ppmv. Η ετήσια αύξηση ήταν ~1.5 ppm το χρόνο. Η εποχιακή ταλάντωση για αυτό το ίδιο χρονικό διάστημα έχει ένα μέσο εύρος των 16ppmv για τα ακατέργαστα στοιχεία και των 12ppmv για τα επιλεγμένα στοιχεία. Αυτό το εποχιακό εύρος αποδίδεται στη φωτοσυνθετική διεργασία από τη βλάστηση στο όρος Cimone και στη σχέση μεταξύ των συγκεντρώσεων του CO_2 και της κατεύθυνσης του ανέμου. Ο Ciattaglia το 1987 βρήκε μια σχέση μεταξύ της συμπεριφοράς των επιλεγμένων στοιχείων του CO_2 με τους ανέμους επικράτησης [δηλ., άνεμοι SW (180-290°) και NE (0-90°)] και των επεισοδίων της μεταφοράς σκόνης Σαχάρας: κατά τη διάρκεια του χειμώνα, οι βορειοανατολικοί άνεμοι φέρνουν τις υψηλές συγκεντρώσεις του CO_2 στην περιοχή μέτρησης, ενώ οι νοτιοδυτικοί άνεμοι χαρακτηρίζονται από χαμηλότερες συγκεντρώσεις CO_2. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, η κατάσταση αντιστρέφεται. Κατά τη διάρκεια της κρύας εποχής, οι μεταφορές της σκόνης Σαχάρας χαρακτηρίζονται από χαμηλό CO_2 και από μικρή μεταβλητότητα αρχείων, ενώ όταν εμφανίζονται αυτά τα επεισόδια κατά τη διάρκεια των καυτών περιόδων οι συγκεντρώσεις του CO_2 παρουσιάζουν τιμές πάνω από το μέσο όρο. Ο Bonasoni το 1996 παρουσίασε μια προσέγγιση της σχέσης μεταξύ της μεταφοράς της σκόνης της Σαχάρας και των συγκεντρώσεων του CO_2 στο όρος Cimone.

Baring Head

Ατμοσφαιρικό αρχείο διοξειδίου του άνθρακα από τις μετρήσεις στο Baring Head

Περίοδος αρχείου

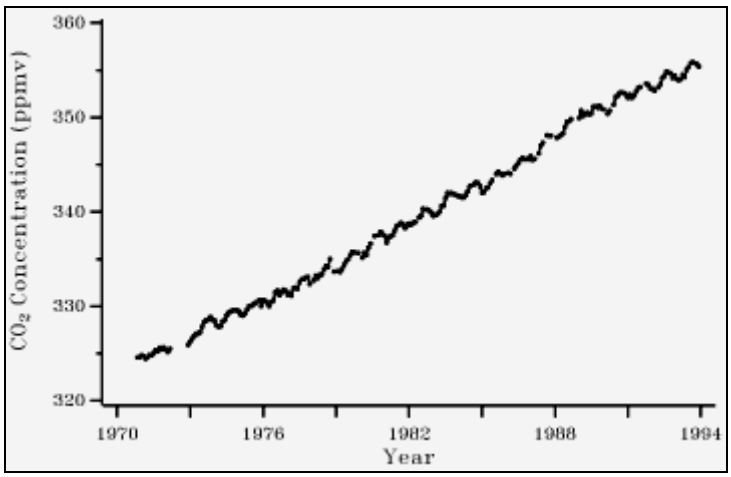
1979-1997



Χάρτης 4.42: Baring Head, Νέα Ζηλανδία. Παράκτιος απότομος βράχος 41°24' S, 174°54' E, 85m above MSL

Μέθοδοι

Οι προσδιορισμοί του λόγου ανάμιξης του ατμοσφαιρικού CO_2 γίνονται με τη χρήση μιας συσκευής υπέρυθρης ανάλυσης αερίου (NDIR). Η συσκευή ανάλυσης NDIR συγκρίνει το λόγο ανάμιξης του CO_2 του περιβαλλοντικού αέρα με το γνωστό λόγο ανάμιξης του CO_2 των -συμπιεσμένων στις δεξαμενές- αερίων αναφοράς. Η συσκευή ανάλυσης λειτουργεί εναλλακτικά, με ηλεκτρονικό χειρισμό, με ένα «μηδενικό» αέριο αναφοράς του CO_2 με λόγο ανάμιξης 20 έως 30 μέρη ανά εκατομμύριο (ppm) κάτω από τα επίπεδα του CO_2 του αέρα που διατρέχει συνεχώς το «κύτταρο» μέτρησης της συσκευής ανάλυσης σε παροχή περίπου 10mL/min. Όταν το ατμοσφαιρικό CO_2 μετριέται, μια αντλία τραβά τον αέρα μέσω μιας γραμμής δειγματοληψίας σε παροχή 5L/min. Ένα μικρό μέρος αυτού (180 mL/min) είναι ξηρό κατά τρόπο κρυοστατικό σε μια θερμοκρασία περίπου -70° C και περασμένος μέσω του «κυττάρου» της συσκευής ανάλυσης του CO_2. Η λειτουργία του συστήματος συσκευών ανάλυσης ελέγχεται από έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή που μεταστρέφει το αέριο από τους κυλίνδρους ή τις γραμμές αέριων δειγμάτων στο κύτταρο της συσκευής ανάλυσης. Για κάθε μέτρηση του αερίου βαθμονόμησης, ο υπολογιστής ελέγχει την τάση συσκευών ανάλυσης κάθε δευτερόλεπτο έως ότου η απόκλιση 60 διαδοχικών τιμών είναι σταθερή κάτω από 0.02ppmv.



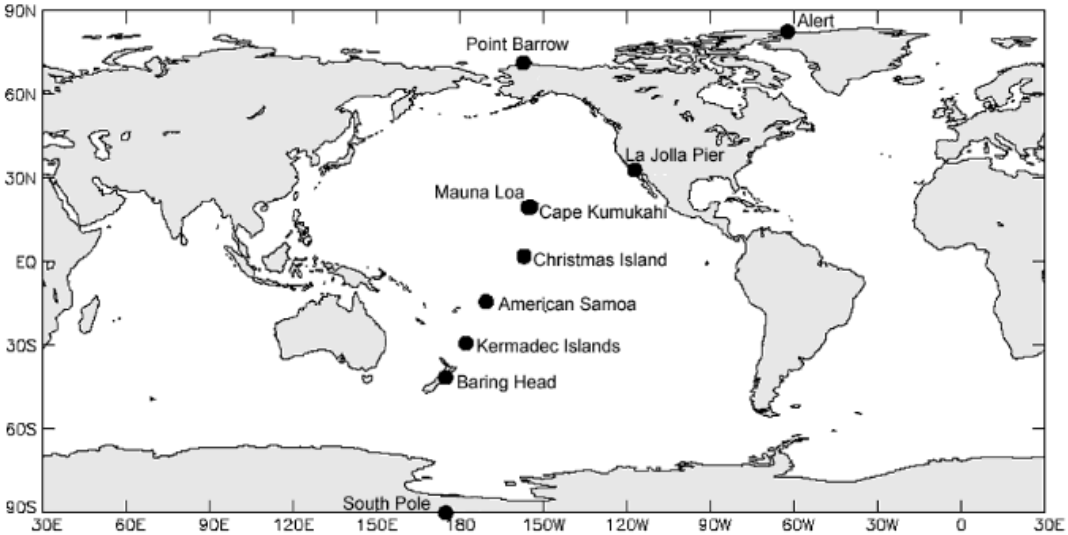
Σχήμα 4.43: η διακύμανση της συγκέντρωσης του CO_2 στην ατμόσφαιρα (M.R. Manning, National Institute of Water and Atmospheric Research)

Τάσεις

Η ετήσια ατμοσφαιρική συγκέντρωση του CO_2 στο Baring Head, Νέα Ζηλανδία (συμπεριλαμβανομένων των στοιχείων από το Makara για την περίοδο από το Νοέμβριο του 1970 έως Μάρτιο του 1972) ανήλθε από 325.06ppmv το 1971, στα 354.90ppmv το 1993. Το αρχείο των μηνιαίων μέσων τιμών του CO_2 από το Baring Head είναι χαρακτηριστικό των περιοχών του νότιου ημισφαιρίου: παρουσιάζει μικρό εποχιακό εύρος, τα μέγιστα εμφανίζονται από τον Αύγουστο μέχρι τον Οκτώβριο και τα ελάχιστα εμφανίζονται από το Φεβρουάριο μέχρι τον Απρίλιο.

Μετρήσεις φιαλών

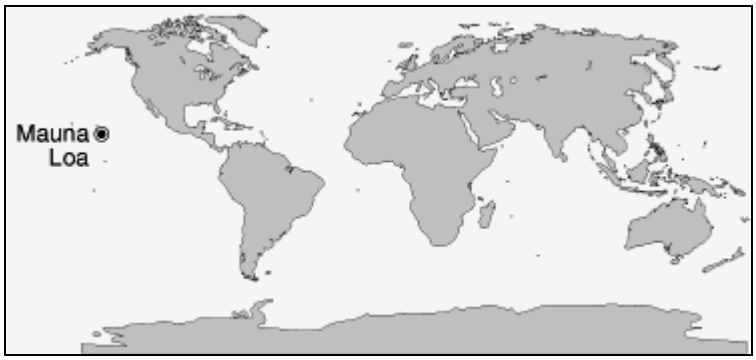
Scripps Institution of Oceanography (SIO) Network



Χάρτης 4.44: περιοχές μέτρησης του δικτύου SIO

Mauna Loa

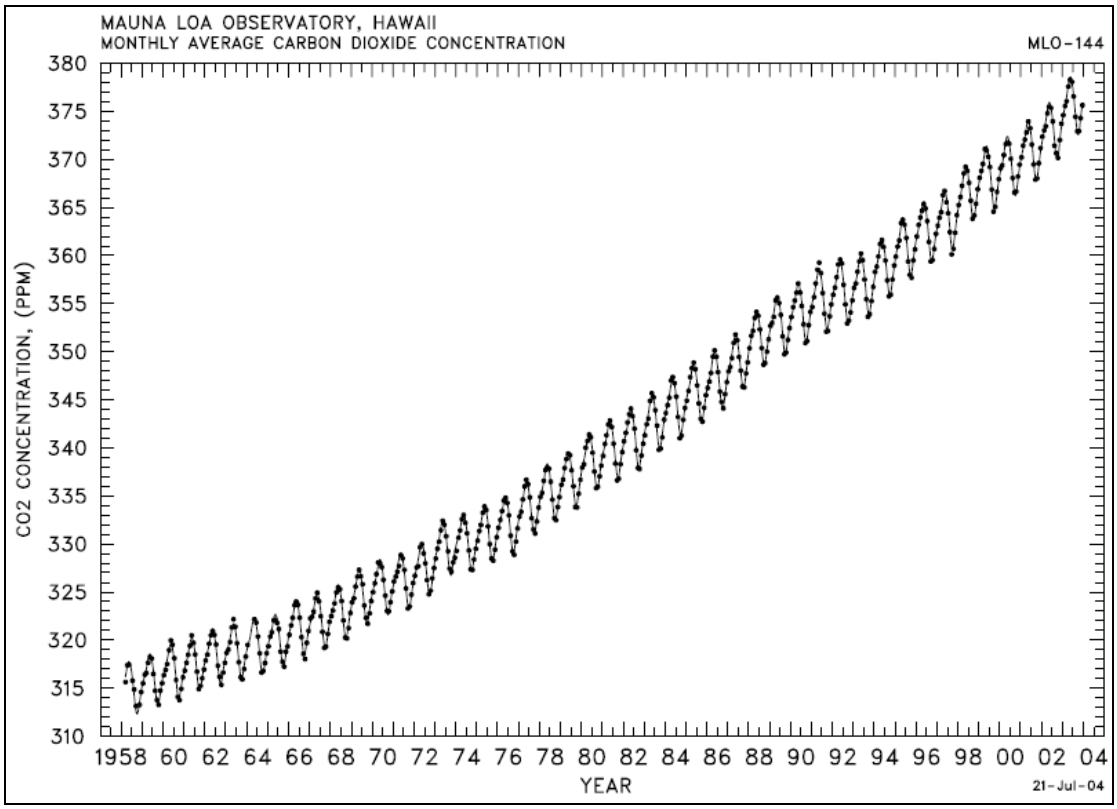
Ατμοσφαιρικό CO_2 από τα συνεχή δείγματα αέρα στο παρατηρητήριο Mauna Loa



Χάρτης 4.45: Mauna Loa, Χαβάη, ΗΠΑ. Άγονος τομέας λάβας ενεργού ηφαιστείου 19°32' N, 155°35' W, 3397 μ επάνω από MSL

Περίοδος αρχείου
1958 - 2001

Μέθοδοι
Τα ατμοσφαιρικά δείγματα του CO_2 συλλέγονταν μηνιαία έως το 1981, ενώ μετά συλλέγονταν σε περίπου εβδομαδιαία διαστήματα. Τα δείγματα συλλέγονται σε 5-λιτρες γυάλινες φιάλες, και επιστρέφονται έπειτα στο SIO όπου οι συγκεντρώσεις του CO_2 καθορίζονται χρησιμοποιώντας μια εφαρμοσμένη συσκευή φυσικής υπέρυθρης ανάλυσης αερίου.



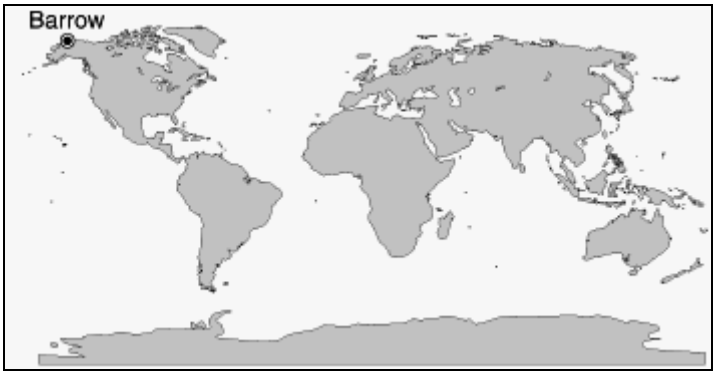
Σχήμα 4.46: η διακύμανση της συγκέντρωσης του CO_2 στην ατμόσφαιρα, από το 1958, σύμφωνα με τις μετρήσεις φιαλών στο Mauna Loa (Keeling, 2006)

Τάσεις
Αυτό είναι το πιό μακροχρόνιο αρχείο του CO_2 στον κόσμο. Το ετήσιο εύρος των περίπου 7 ppmv και η μορφή του ετήσιου κύματος καθορίζονται καλά από αυτά τα μηνιαία στοιχεία. Μια αύξηση από περίπου 315 ppmv το 1958 σε περίπου 370 ppmv το 2001 είναι εμφανής και αυτό ανέρχεται σε ανοδική τάση περίπου 1.3ppmv/έτος.

Barrow, Alaska, U.S.A.

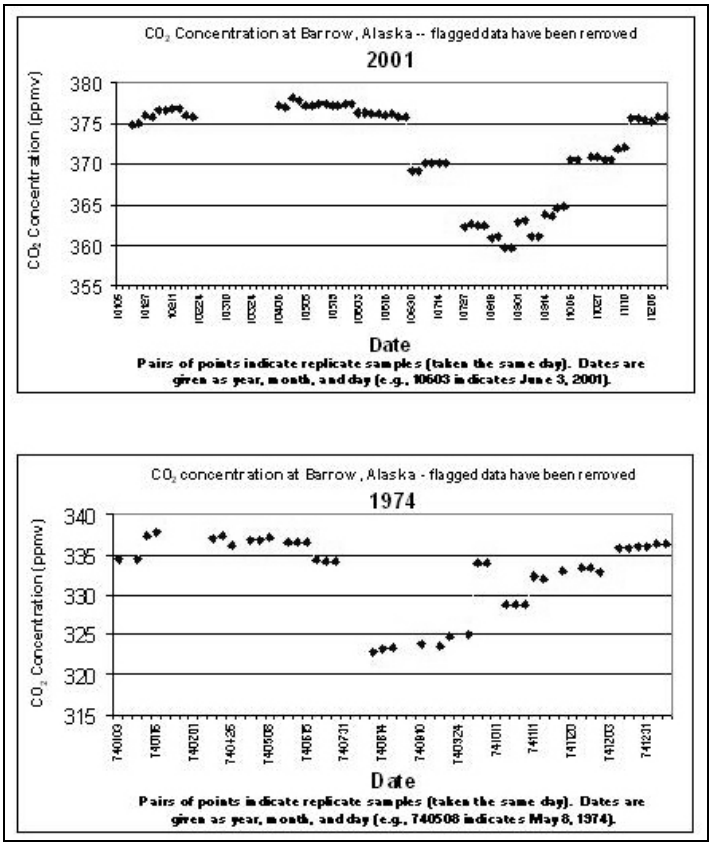
Ατμοσφαιρικό CO2 από τα δείγματα αέρα φιαλών στο Barrow, Αλάσκα, ΗΠΑ.

Περίοδος αρχείου
1974-2001



Χάρτης 4.47: Barrow, Αλάσκα, ΗΠΑ, ακτή του αρκτικού ωκεανού
71°19' N, 156°36' W, 11m πάνω από msl

Μέθοδοι
Τα ατμοσφαιρικά δείγματα του CO_2 συλλέγονταν μηνιαία έως το 1981, ενώ μετά συλλέγονταν σε περίπου εβδομαδιαία διαστήματα. Τα δείγματα συλλέγονται σε 5-λιτρες γυάλινες φιάλες, και επιστρέφονται έπειτα στο SIO όπου οι συγκεντρώσεις του CO_2 έχουν καθοριστεί χρησιμοποιώντας μια εφαρμοσμένη συσκευή φυσικής υπέρυθρης ανάλυσης αερίου. Για επιπλέον πληροφορίες στις μετρήσεις, τις διαδικασίες βαθμονόμησης, και την ανάλυση βλέπε Keeling (1989, 1995, 2002).

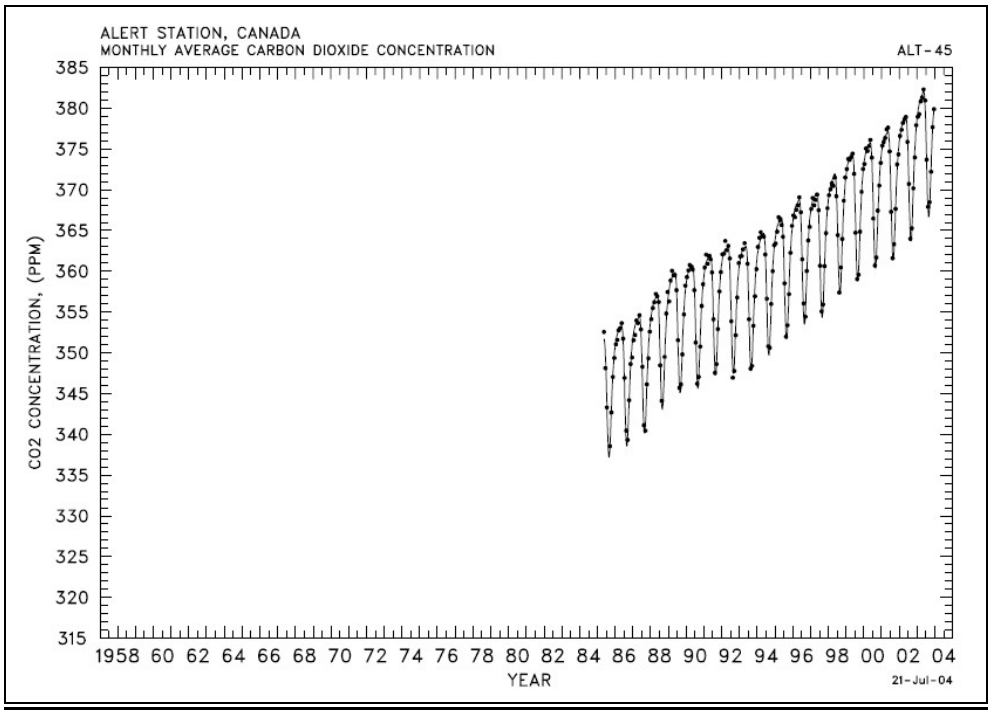


Σχήμα 4.48: Το ετήσιο εύρος των ατμ.συγκ. του CO_2 για το 1974 και το 2001 (Keeling, 2002)

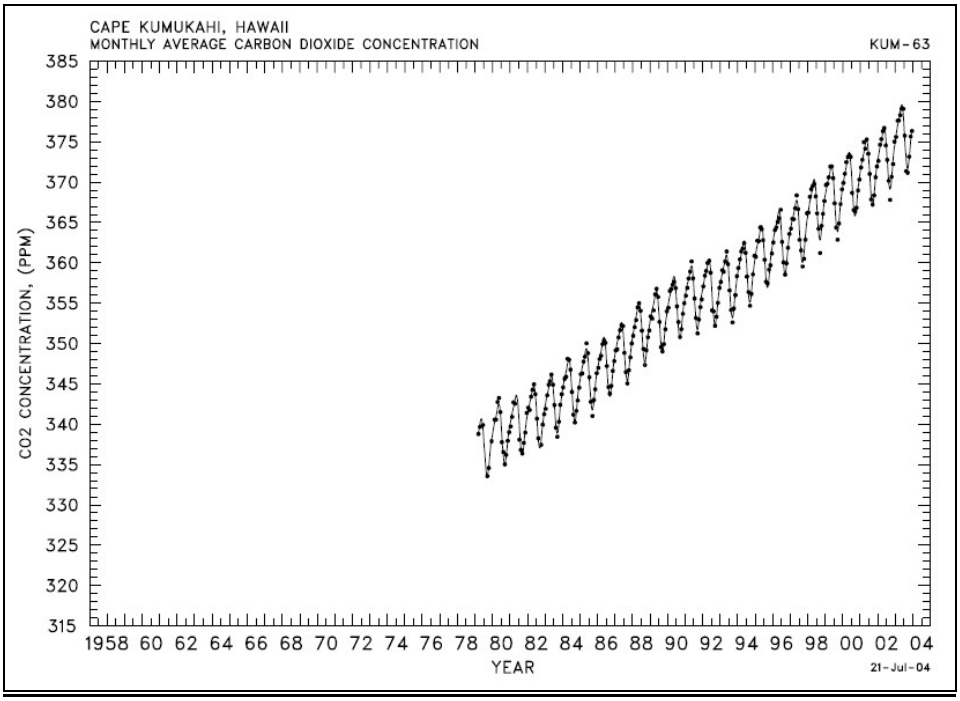
Τάσεις

Ο μέσος όρος για το πρώτο πλήρες έτος μετρήσεων (1974) ήταν 332.8 ppmv. Μέχρι το 2001 οι τιμές έφτασαν κατά μέσο όρο τα 371.8 ppmv, καταγράφοντας μια ανοδική τάση 1.44 ppmv/έτος. Η γραφική παράσταση παρουσιάζει εδώ το πρώτο και το τελευταίο έτος καταγραφής των στοιχείων για να επιδείξει την αλλαγή, στο μέσο όρο και στα ετήσια εύρη, με την πάροδο του χρόνου.

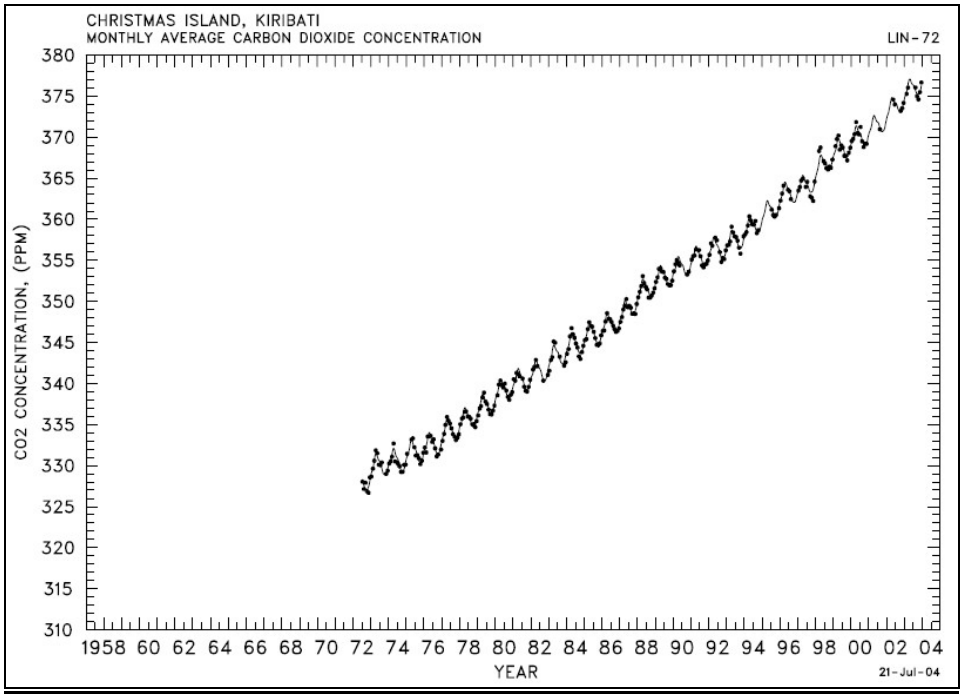
Ακολουθούν οι γραφικές παραστάσεις που προέκυψαν από τις μετρήσεις φιαλών στους υπόλοιπους σταθμούς του δικτύου SIO:



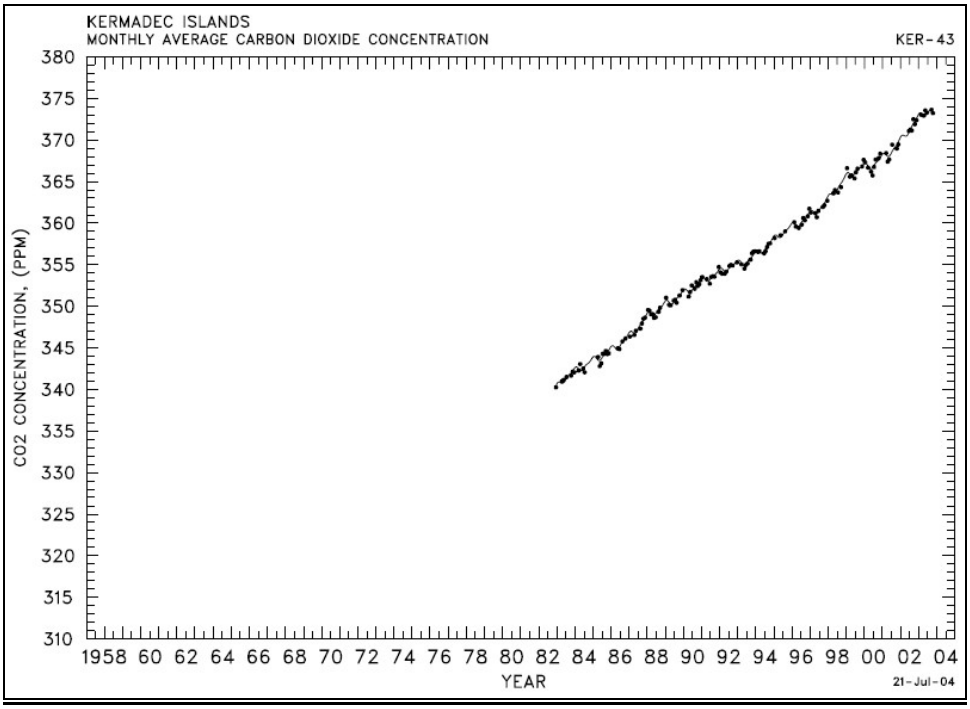
Σχήμα 4.49: η διακύμανση της συγκέντρωσης του CO_2 στην ατμόσφαιρα σύμφωνα με τις μετρήσεις του Alert (Keeling, 2006)



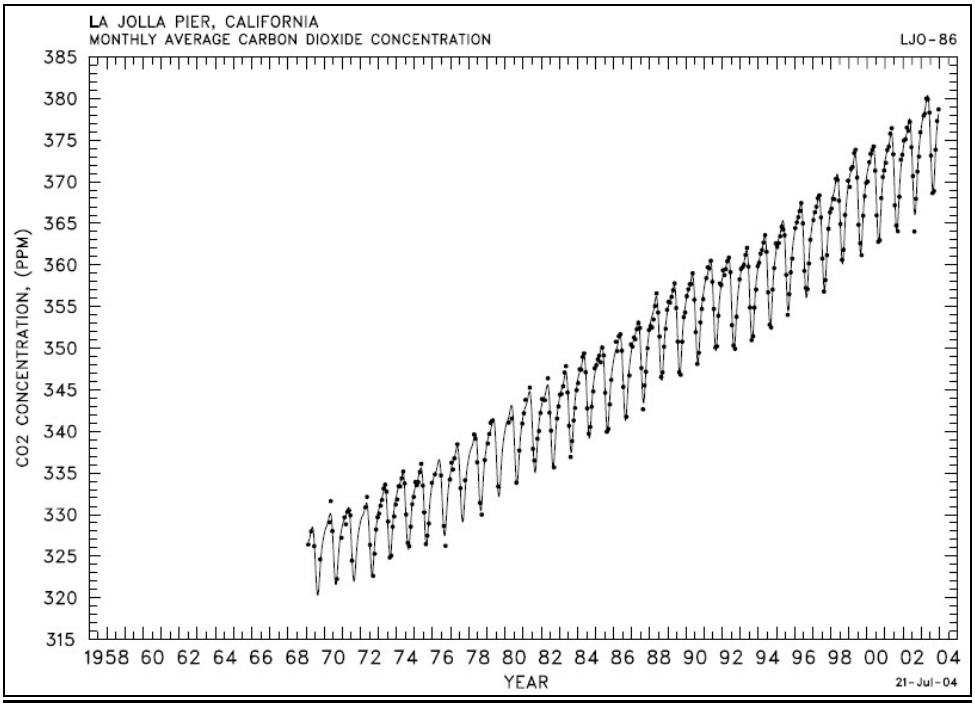
Σχήμα 4.50: η διακύμανση της συγκέντρωσης του CO_2 στην ατμόσφαιρα σύμφωνα με τις μετρήσεις του Cape Kumukahi (Keeling, 2006)



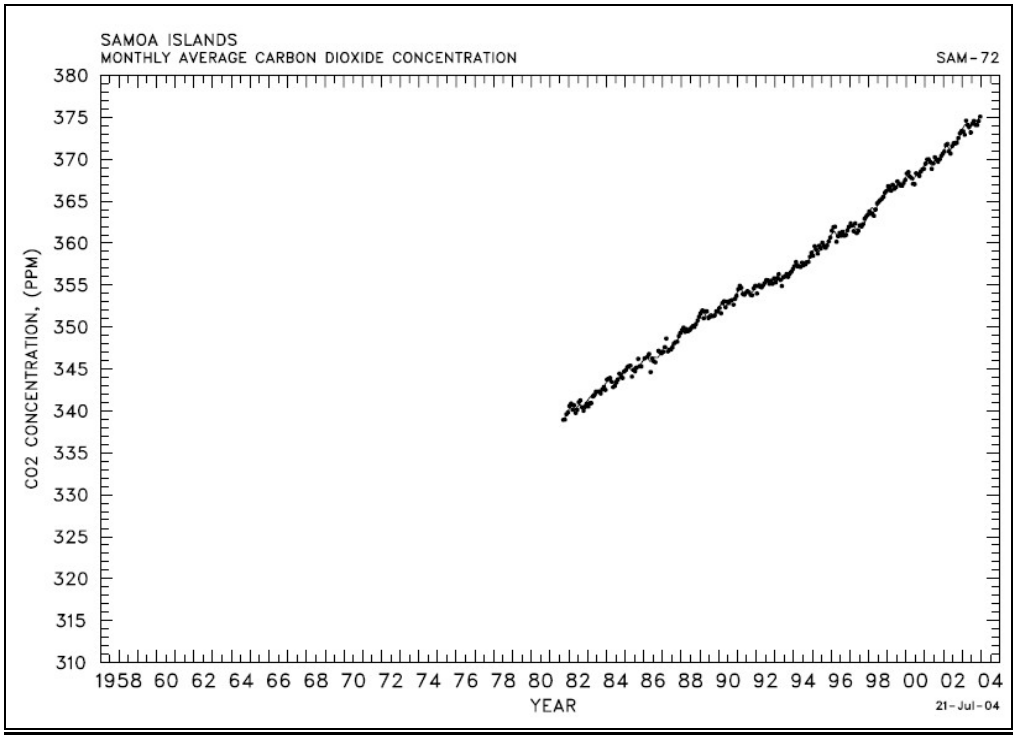
Σχήμα 4.51: η διακύμανση της συγκέντρωσης του CO_2 στην ατμόσφαιρα σύμφωνα με τις μετρήσεις του Kiribati (Keeling, 2006)



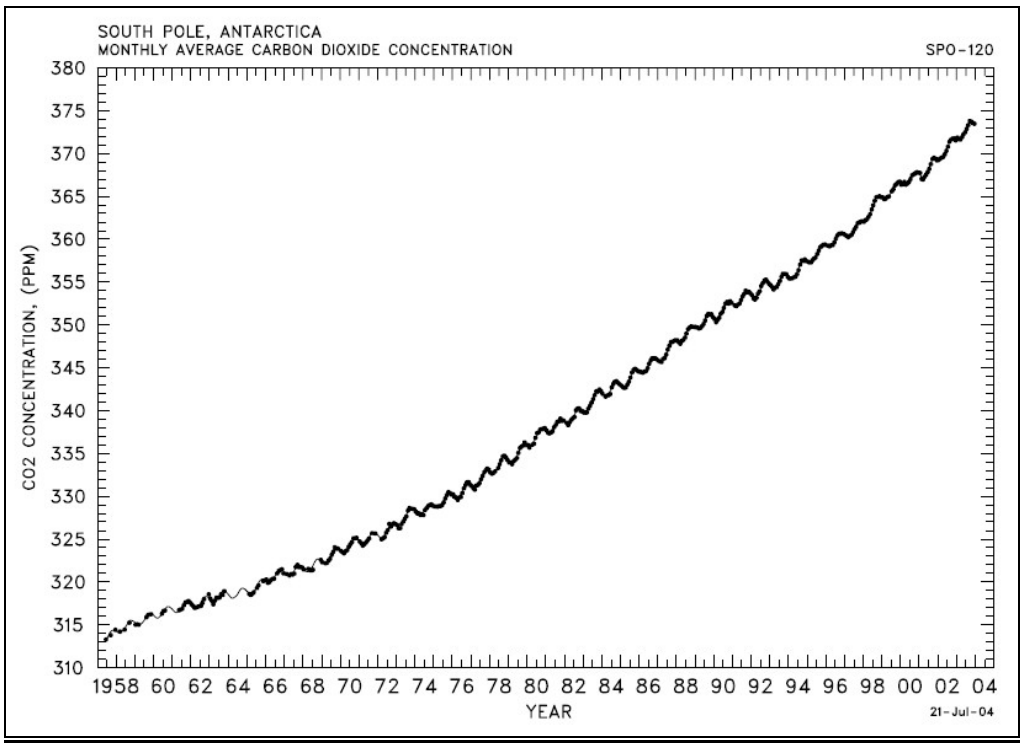
Σχήμα 4.52: η διακύμανση της συγκέντρωσης του CO_2 στην ατμόσφαιρα σύμφωνα με τις μετρήσεις στα Kermadec Islands (Keeling, 2006)



Σχήμα 4.53: η διακύμανση της συγκέντρωσης του CO_2 στην ατμόσφαιρα σύμφωνα με τις μετρήσεις του La Jolla Pier (Keeling, 2006)

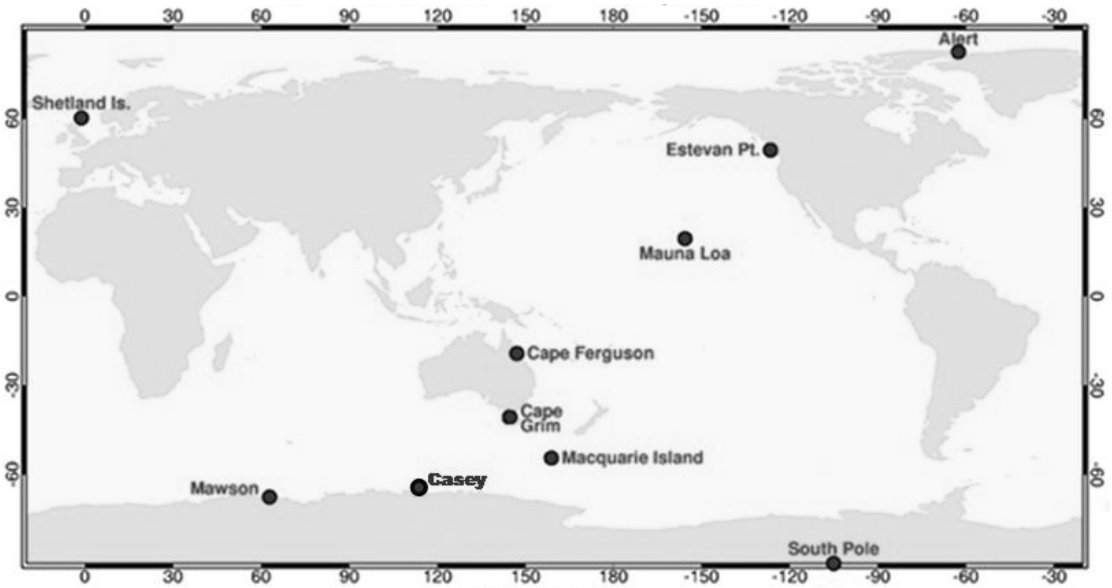


Σχήμα 4.54: η διακύμανση της συγκέντρωσης του CO_2 στην ατμόσφαιρα σύμφωνα με τις μετρήσεις στα Samoa Islands (Keeling, 2006)



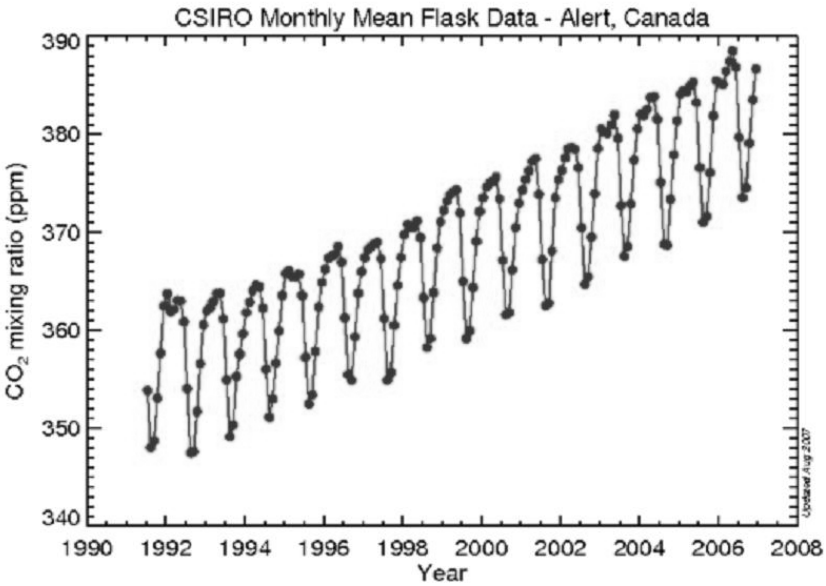
Σχήμα 4.55: η διακύμανση της συγκέντρωσης του CO_2 στην ατμόσφαιρα σύμφωνα με τις μετρήσεις στο South Pole (Keeling, 2006)

CSIRO GASLAB Flask Sampling Network



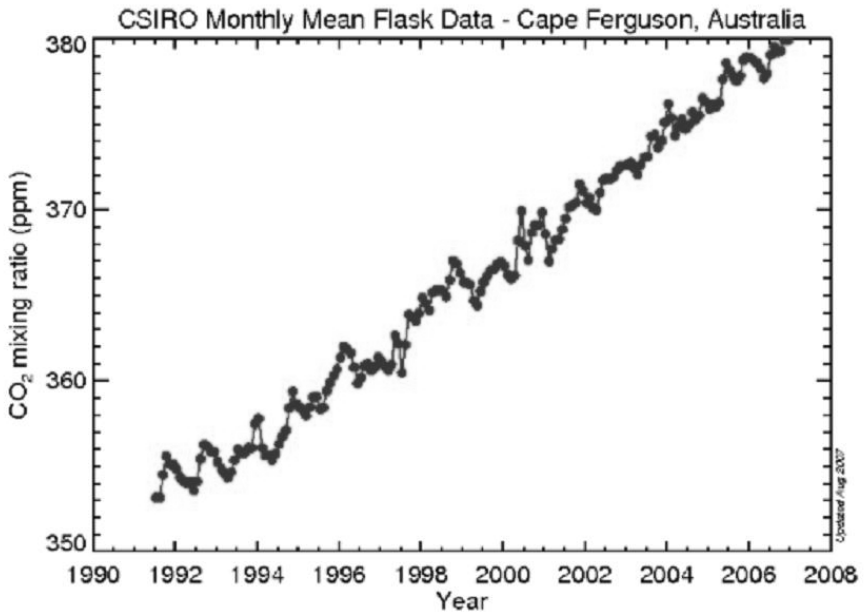
Χάρτης 4.56: Δίκτυο σταθμών μέτρησης CSIRO GASLAB

- Alert, NWT, Canada



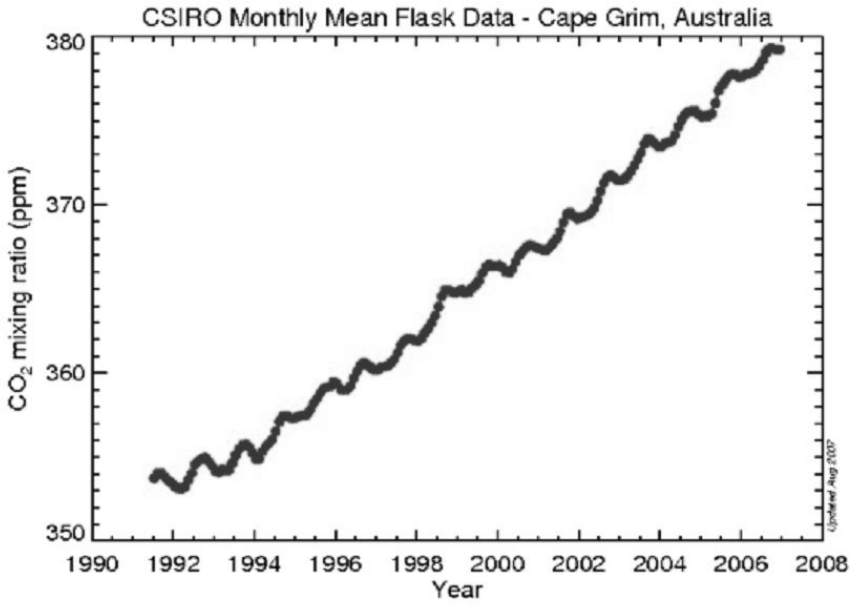
Σχήμα 4.57: η διακύμανση της συγκέντρωσης του CO_2 στην ατμόσφαιρα

- Cape Ferguson, Australia



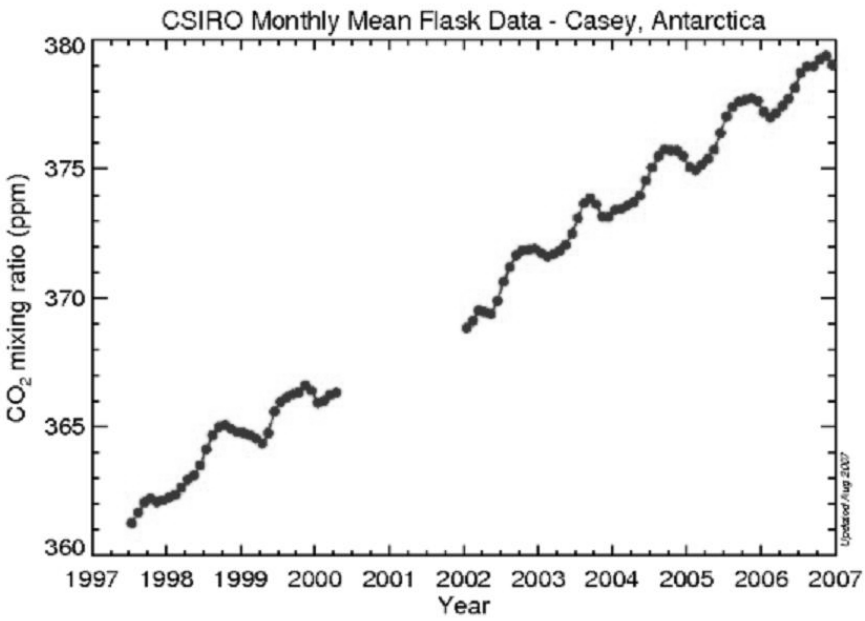
Σχήμα 4.58: η διακύμανση της συγκέντρωσης του CO2 στην ατμόσφαιρα

- Cape Grim, Australia



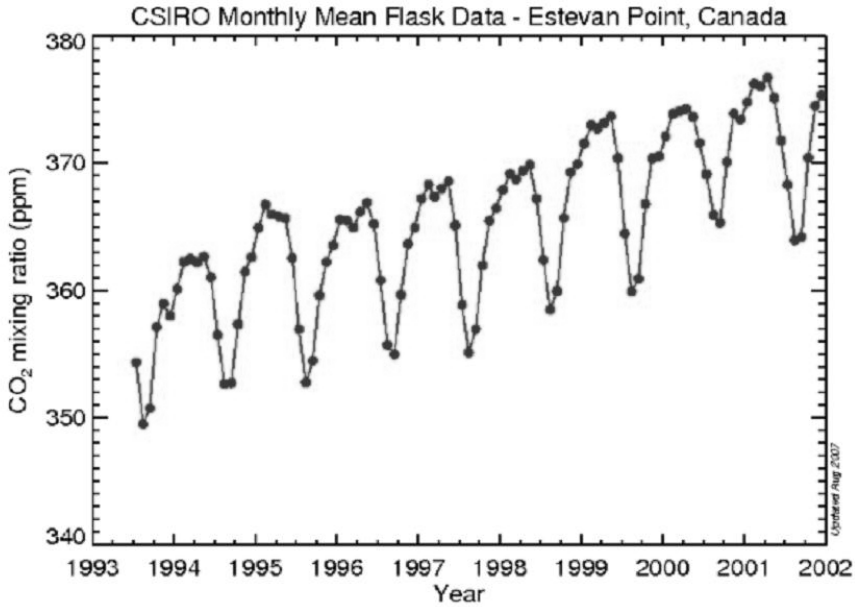
Σχήμα 4.59: η διακύμανση της συγκέντρωσης του CO_2 στην ατμόσφαιρα

- Casey, Antarctica



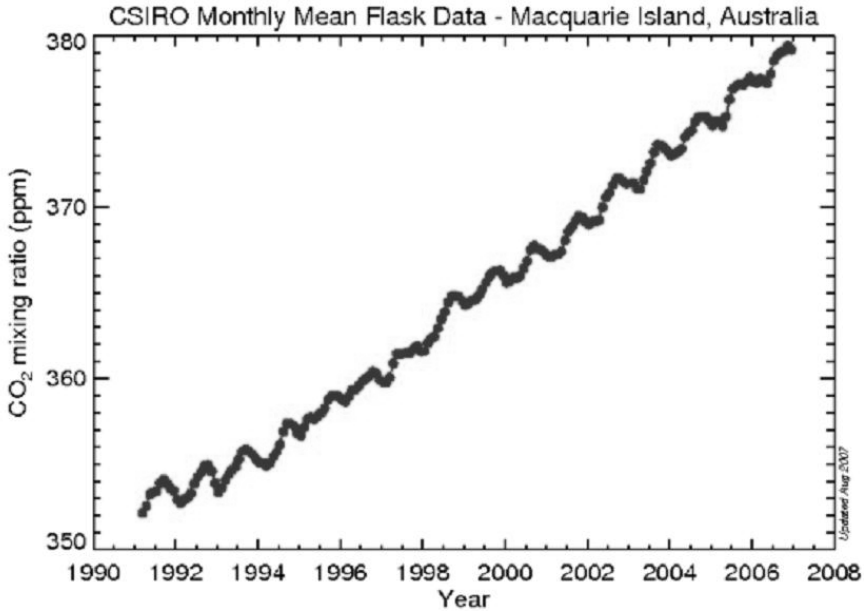
Σχήμα 4.60: η διακύμανση της συγκέντρωσης του CO_2 στην ατμόσφαιρα

- Estevan Point, BC, Canada



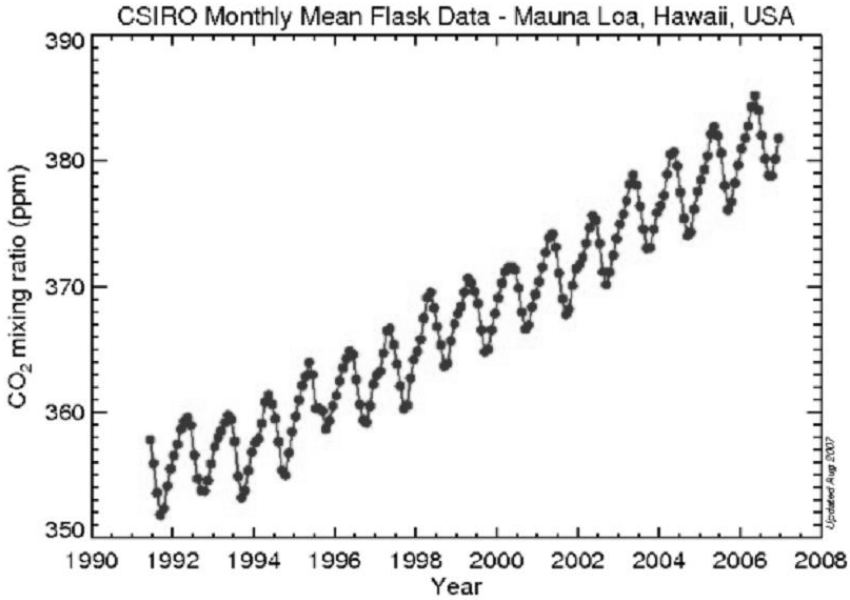
Σχήμα 4.61: η διακύμανση της συγκέντρωσης του CO_2 στην ατμόσφαιρα

- Macquarie Island, Australia



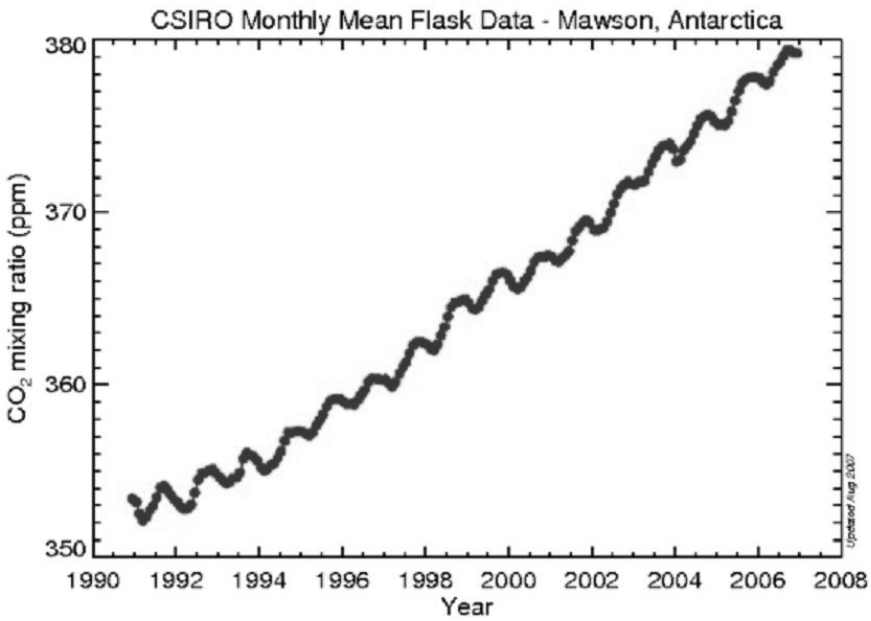
Σχήμα 4.62: η διακύμανση της συγκέντρωσης του CO_2 στην ατμόσφαιρα

- Mauna Loa, Hawaii, USA



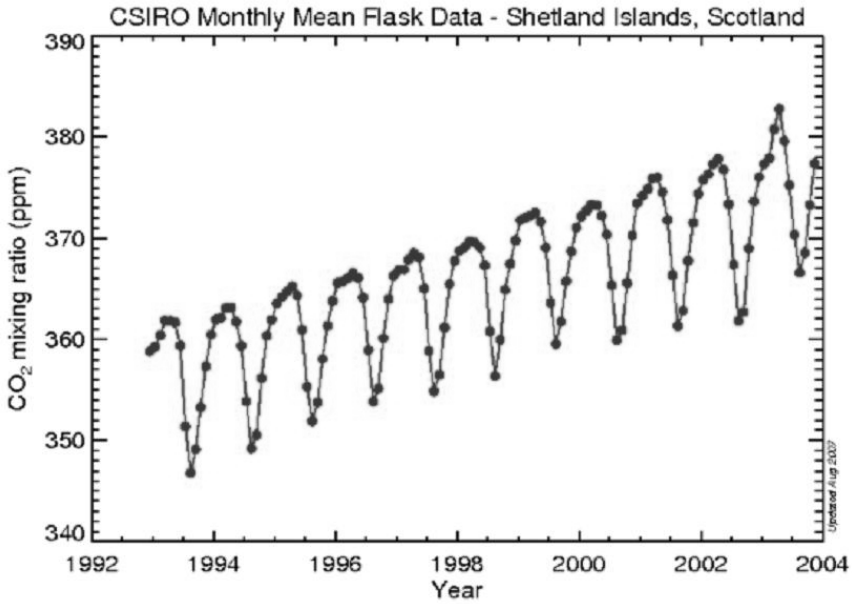
Σχήμα 4.63: η διακύμανση της συγκέντρωσης του CO_2 στην ατμόσφαιρα

- Mawson, Antarctica



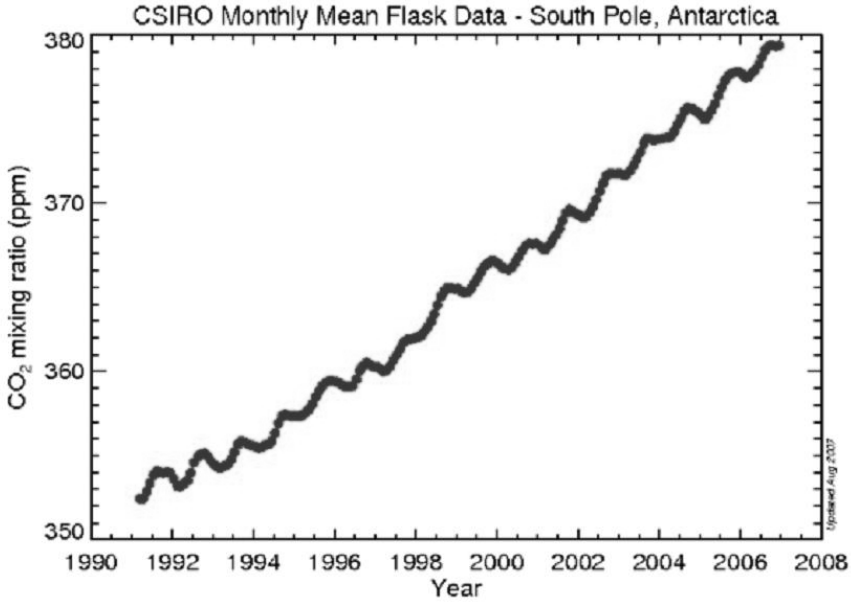
Σχήμα 4.64: η διακύμανση της συγκέντρωσης του CO_2 στην ατμόσφαιρα

- Shetland Islands, Scotland



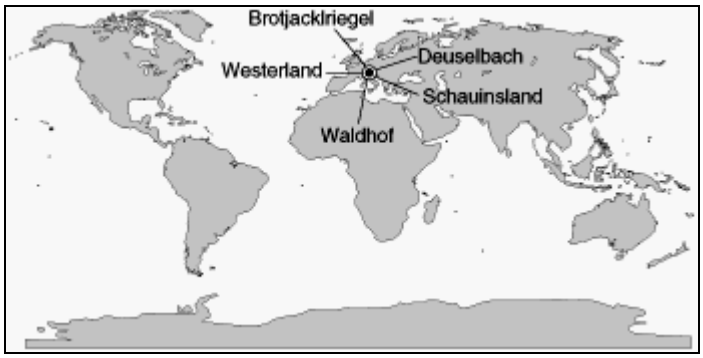
Σχήμα 4.65: η διακύμανση της συγκέντρωσης του CO_2 στην ατμόσφαιρα

- South Pole, Antarctica



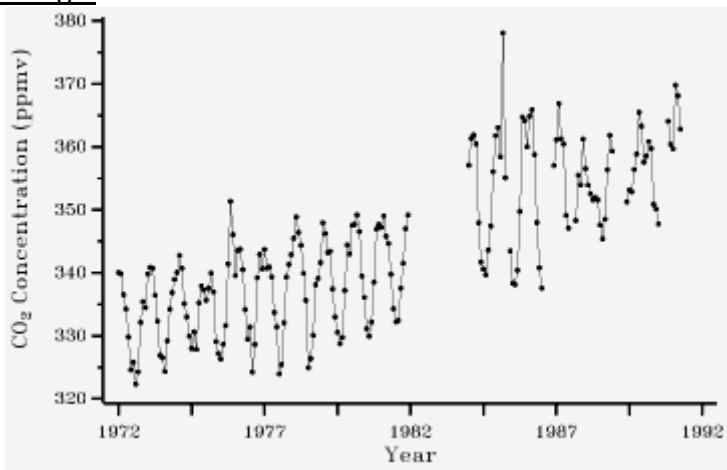
Σχήμα 4.66: η διακύμανση της συγκέντρωσης του CO_2 στην ατμόσφαιρα

UBA Air Sampling Network



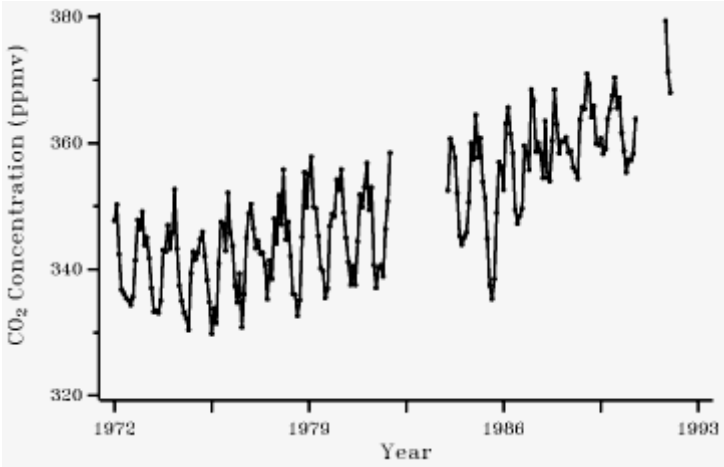
Χάρτης 4.67: Δίκτυο σταθμών μέτρησης UBA

- <u>Brotjacklriegel</u>



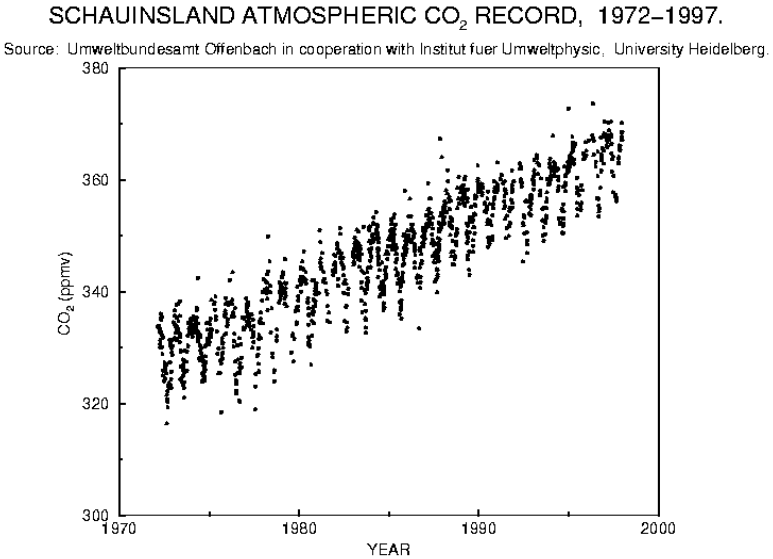
Σχήμα 4.68: η διακύμανση της συγκέντρωσης του CO_2 στην ατμόσφαιρα

- Deuselbach



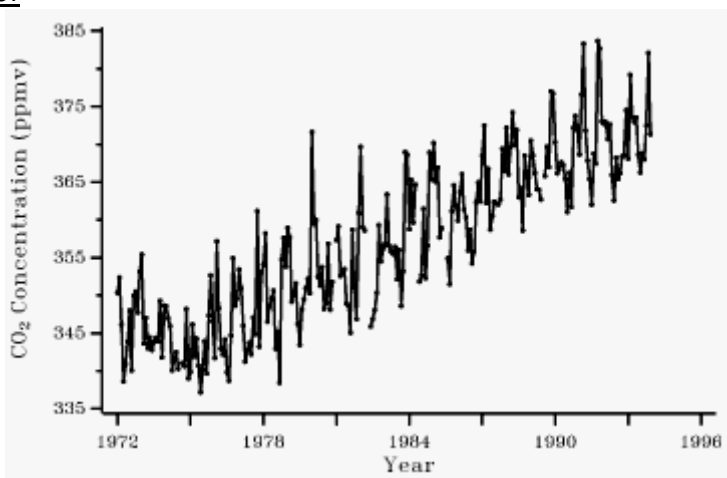
Σχήμα 4.69: η διακύμανση της συγκέντρωσης του CO_2 στην ατμόσφαιρα

- Schauinsland



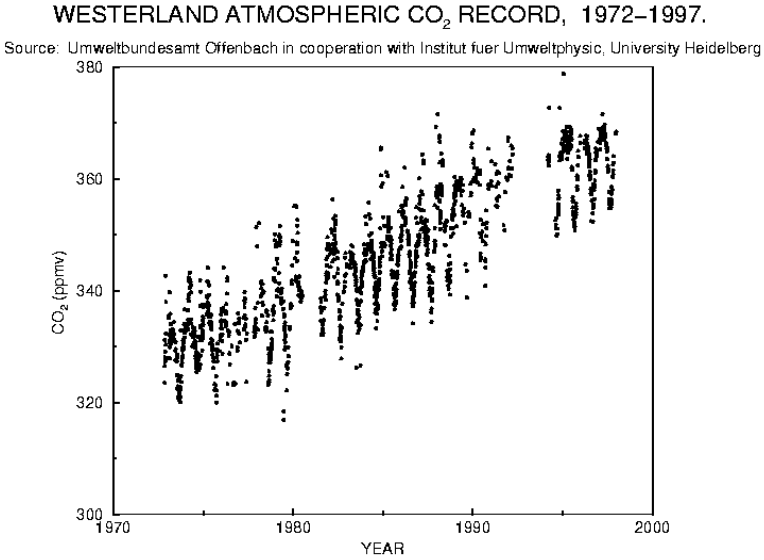
Σχήμα 4.70: η διακύμανση της συγκέντρωσης του CO_2 στην ατμόσφαιρα

- Waldhof



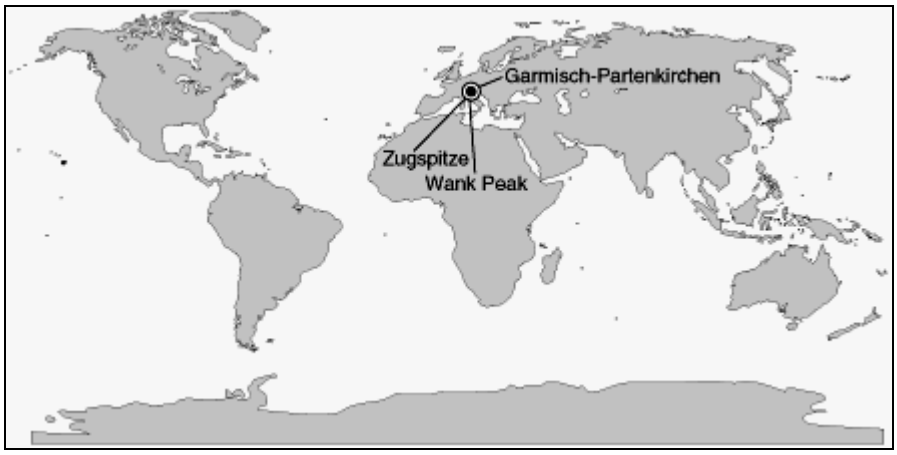
Σχήμα 4.71: η διακύμανση της συγκέντρωσης του CO_2 στην ατμόσφαιρα

- Westerland

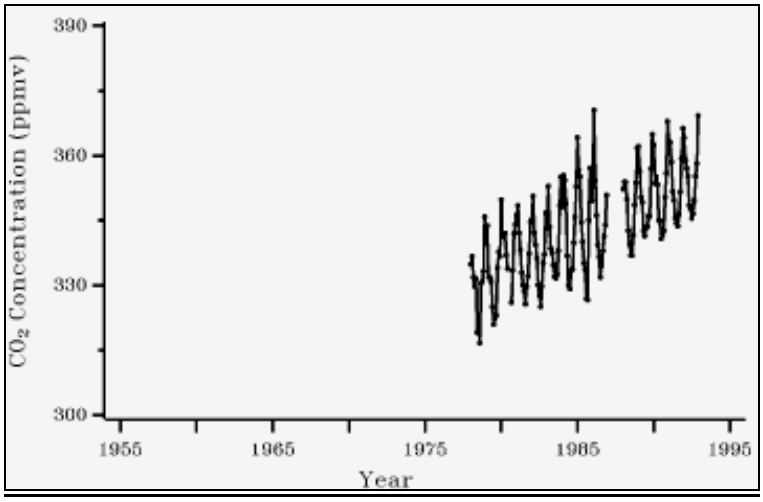


Σχήμα 4.72: η διακύμανση της συγκέντρωσης του CO_2 στην ατμόσφαιρα

German Fraunhofer Institute Air Sampling Network



Χάρτης 4.73: Σημεία δειγματοληψίας του Fraunhofer Institute



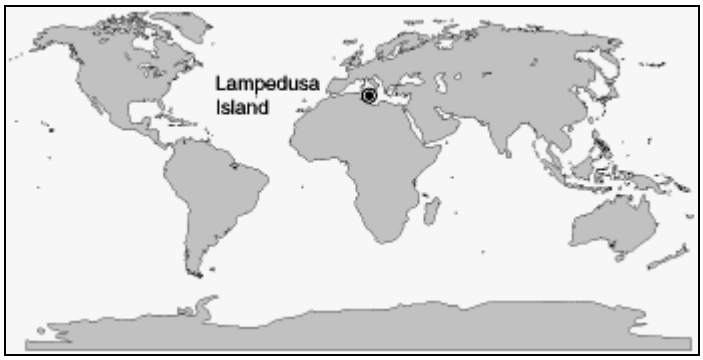
Σχήμα 4.74: η διακύμανση της συγκέντρωσης του CO_2 στην ατμόσφαιρα σύμφωνα με τις μετρήσεις του Fraunhofer Institute

Lampedusa Island

Ατμοσφαιρικό αρχείο CO_2 από τις μετρήσεις φιαλών στο νησί Lampedusa, Ιταλία

Περίοδος αρχείου

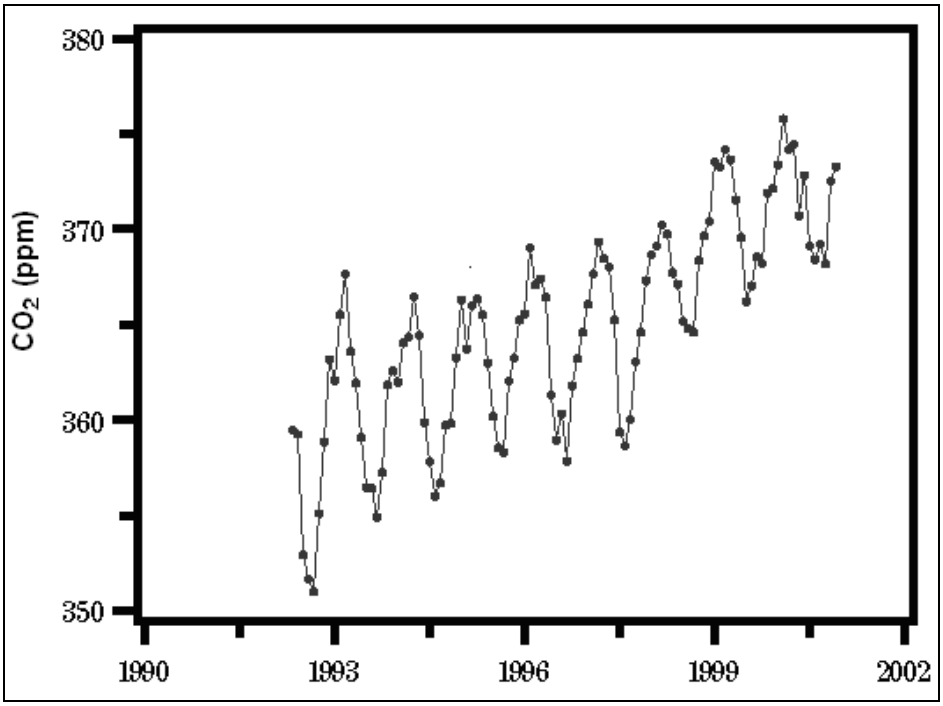
Μάϊος 1992 - Δεκέμβριος 2000



Χάρτης 4.75: Νησί Lampedusa. Βραχώδες νησί Μεσογείου 35°31' N, 12°37' E, 45m πάνω από MSL

Μέθοδοι

Ο σταθμός βρίσκεται σε μια βραχώδη ακτή στην ανατολική άκρη του νησιού Lampedusa, στο νότο της Σικελίας στην κεντρική Μεσόγειο. Τα δείγματα αέρα στο σταθμό Lampedusa συλλέγονται κάθε Παρασκευή ανά δύο ζευγάρια φιαλών γυαλιού 2 λίτρων. Οι φιάλες εκκενώνονται και διατηρούνται έπειτα σε σταθερή ατμοσφαιρική πίεση στα 280-300kPa με τον περιβάλλοντα αέρα της επί τόπου δειγματοληψίας. Οι προσδιορισμοί του CO_2 γίνονται με τη χρησιμοποίηση μιας nondispersive υπέρυθρης συσκευής ανάλυσης αερίου Siemens Ultramat 5E. Ο υδρατμός αφαιρείται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας δειγματοληψίας. Κατά τη διάρκεια της μέτρησης, ο υπόλοιπος υδρατμός αφαιρείται με τη βοήθεια μιας «κρύας παγίδας» στους -70°C. Οι τιμές βαθμονόμησης είναι στην κλίμακα WMO.



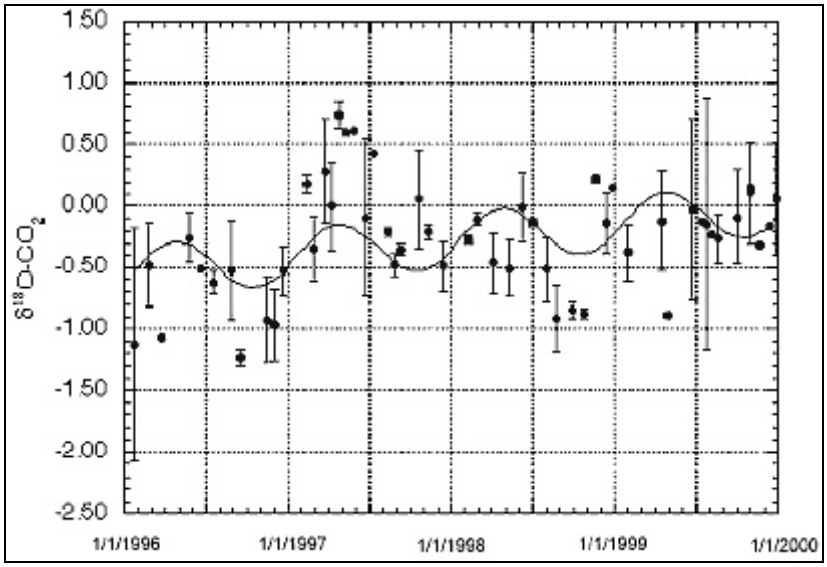
Σχήμα 4.76: η διακύμανση της συγκέντρωσης του CO_2 στην ατμόσφαιρα (P.Chamard, L.Ciattaglia, A.di Sarra, F. Monteleone, ENEA, GEM-CLIM, Italy)

Τάσεις

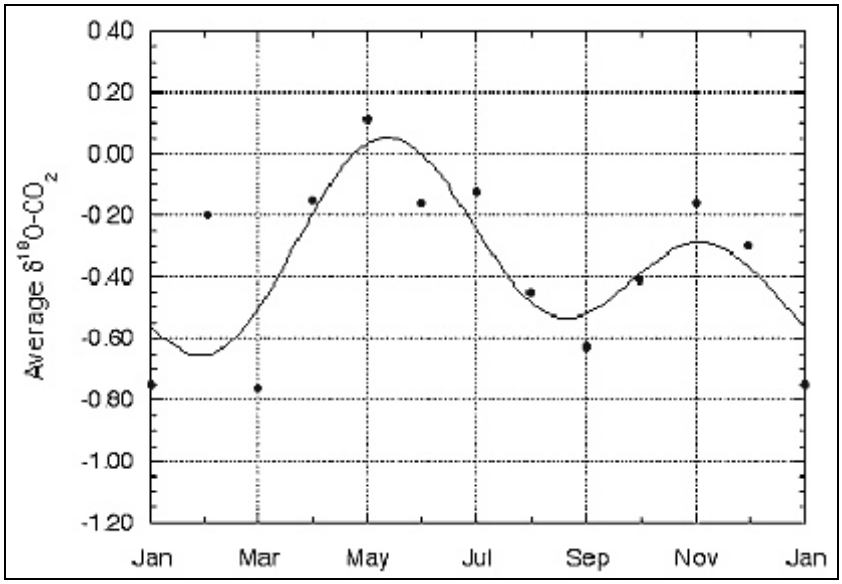
Βάσει των ετήσιων μέσων όρων που υπολογίζονται από τους μηνιαίους μέσους όρους, τα επίπεδα του CO_2 στο νησί Lampedusa έχουν ανέλθει από 360.8ppm το 1993 σε 371.27ppm το 2000. Τα στοιχεία παρουσιάζουν μέση τάση +1.5 ppmv/year. Το αρχείο από το σταθμό Lampedusa εκθέτει ένα εποχιακό σχέδιο με τις μέγιστες τιμές που μετριούνται κατά τη διάρκεια του τα τέλη χειμώνα ή της άνοιξης και τις ελάχιστες τιμές που καταγράφονται κατά τη διάρκεια του βόρειου καλοκαιριού. Ο μέσος ετήσιος κύκλος έχει ένα εύρος των περίπου 10ppmv. Στην περίοδο της έρευνας το ποσοστό ετήσιας ανάπτυξης ποικίλλει μεταξύ 0.5 - 4ppmv/y, και το εύρος του ετήσιου κύκλου μεταξύ 7 - 11ppmv. Για λεπτομέρειες βλέπε Ciattaglia (2001).

Niwot - Montaña de Oro

Αναλογία ανάμιξης του CO_2 στα δείγματα αέρα από την κορυφογραμμή Niwot, Κολοράντο, και Montaña de Oro, Καλιφόρνια, ΗΠΑ



Σχήμα 4.77: η διακύμανση της συγκέντρωσης του CO_2 στην ατμόσφαιρα
(Stanley C. Tyler, Department of Earth System Science, University of California)

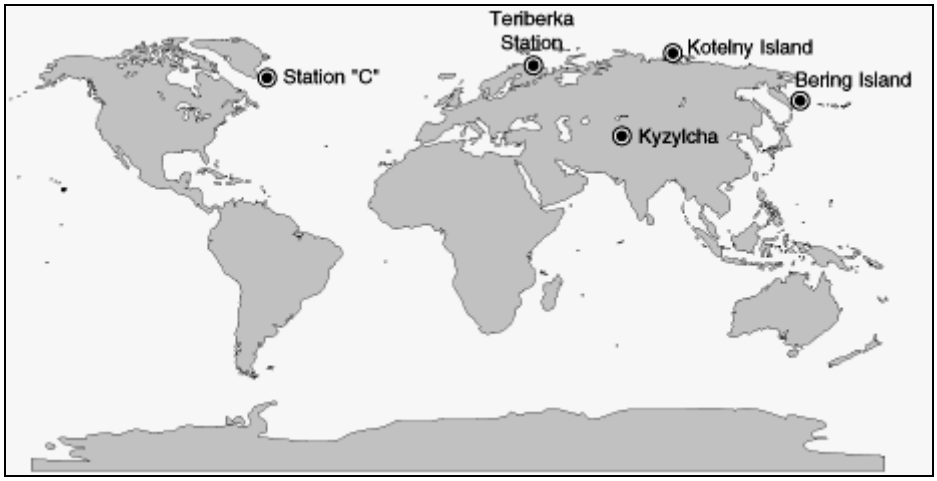


Σχήμα 4.78: το εποχιακό εύρος του CO_2 στην ατμόσφαιρα
(Stanley C. Tyler, Department of Earth System Science, University of California)

Το επίπεδο ακρίβειας για τις μετρήσεις του CO_2 είναι ±3-4 ppm (αβεβαιότητα 1% - περίπου 342 ppm). Η ακρίβεια της μέτρησης στα καθαρά ξηρά πρότυπα αερίου του CO_2 είναι ±0.01%. Για πρόσθετες πληροφορίες στην οργάνωση, τη βαθμονόμηση, τις διαδικασίες, βλέπε Tyler (1999).

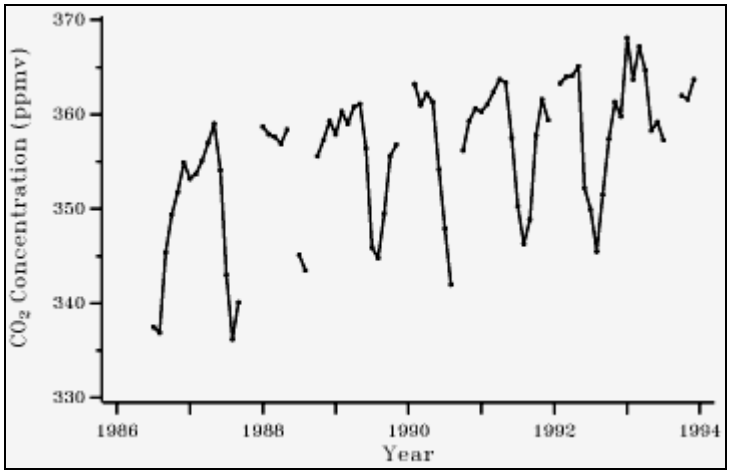
Main Geophysical Observatory (Former USSR)

Ατμοσφαιρικά αρχεία του CO_2 από τις περιοχές στο Main Geophysical Observatory Air Sampling Network



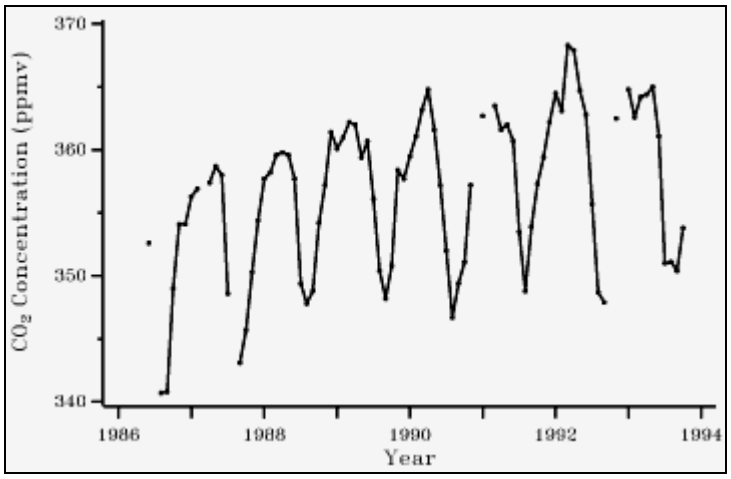
Χάρτης 4.79: Σημεία δηγματοληψίας του δικτύου MGO (CCCP)

Bering Island



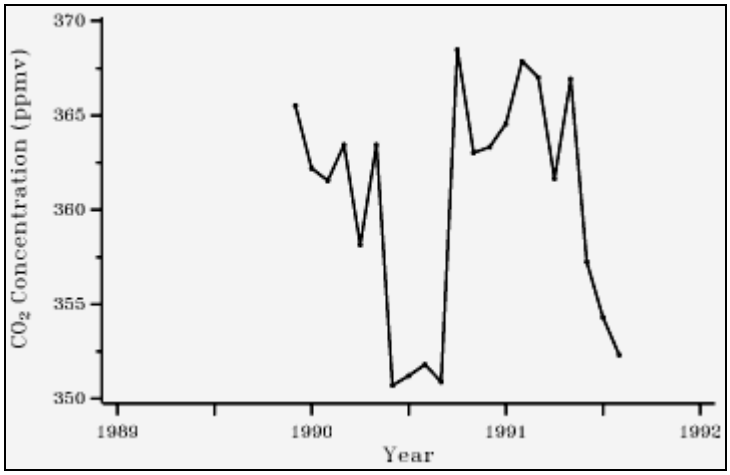
Σχήμα 4.80: η διακύμανση της συγκέντρωσης του CO_2 στην ατμόσφαιρα

Kotelny Island



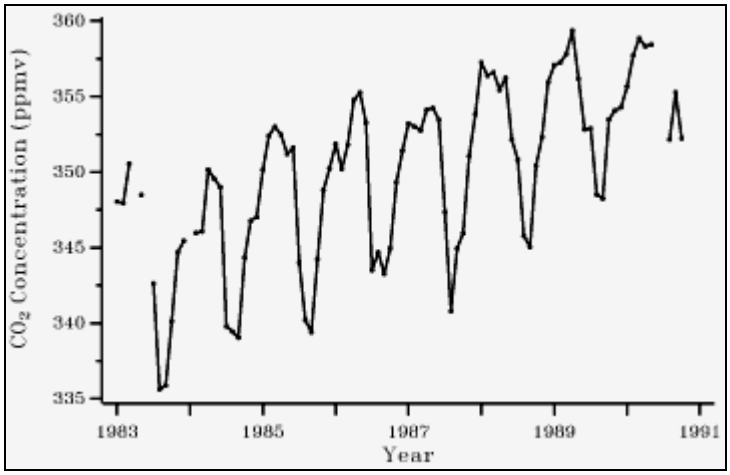
Σχήμα 4.81: η διακύμανση της συγκέντρωσης του CO_2 στην ατμόσφαιρα

Kyzylcha



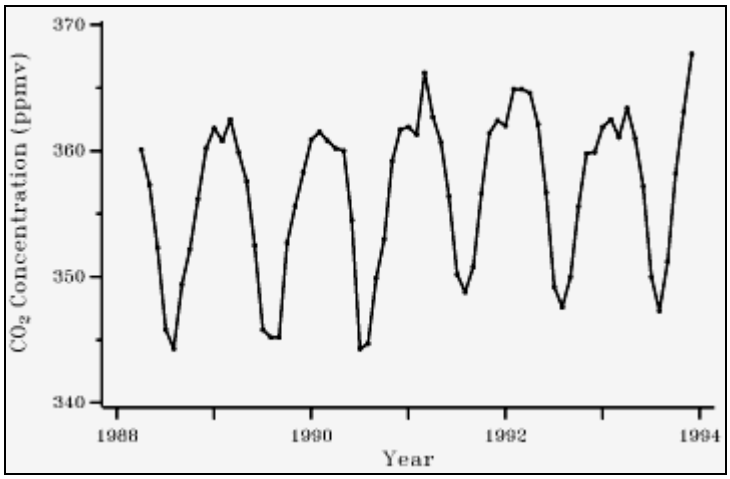
Σχήμα 4.82: η διακύμανση της συγκέντρωσης του CO_2 στην ατμόσφαιρα

Station "C"



Σχήμα 4.83: η διακύμανση της συγκέντρωσης του CO_2 στην ατμόσφαιρα

Teriberka Station



Σχήμα 4.84: η διακύμανση της συγκέντρωσης του CO_2 στην ατμόσφαιρα

πηγή: Brounshtein, A.M., A.A. Shashkov, N.N. Paramonova, V.I. Privalov, and Y.A. Starodubtsev. 1994. MGO.

Μετρήσεις αεροσκαφών

CSIRO Aircraft Monitoring Program

Ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις του CO_2 με μετρήσεις από αεροσκάφη για το 1972-1981, πρόγραμμα CSIRO.

Ερευνητές

D. J. Beardsmore and G. I. Pearman

Μέθοδοι

Από το 1972 μέχρι το 1981, τα δείγματα αέρα συλλέγονταν σε φιάλες γυαλιού από τα αεροσκάφη σε ποικίλα γεωγραφικά πλάτη και ύψη πάνω από την Αυστραλία, τη Νέα Ζηλανδία και την Ανταρκτική. Τα δείγματα αναλύθηκαν για τις συγκεντρώσεις του CO_2 με υπέρυθρη ανάλυση αερίου χωρίς διασκεδασμό. Τα προκύπτοντα στοιχεία περιέχουν: τις ημερομηνίες δειγματοληψίας, τον τύπο αεροσκαφών, τον αριθμό πτήσης, τον αριθμό αναγνώρισης φιαλών, το χρόνο δειγματοληψίας, το γεωγραφικό τομέα, την απόσταση στα χιλιόμετρα από τον απαριθμημένο σταθμό οργάνων μέτρησης απόστασης (DME), τον αριθμό σταθμών των ραδιο οργάνων μέτρησης απόστασης ναυσιπλοΐας, το ύψος των αεροσκαφών επάνω από τη μέση στάθμη της θάλασσας, ημερομηνία ανάλυσης δειγμάτων, την πίεση φιαλών, τα τριτογενή πρότυπα που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση, τις χρησιμοποιούμενες συσκευές ανάλυσης και τη συγκέντρωση του CO_2. Αυτά τα στοιχεία αντιπροσωπεύουν το πρώτο δημοσιευμένο αρχείο των συγκεντρώσεων του CO_2 στο νότιο ημισφαίριο που εκφράζεται στην κλίμακα βαθμονόμησης WMO και παρέχουν ένα ακριβές αρχείο των ατμοσφαιρικών συγκεντρώσεων του CO_2 στην τροπόσφαιρα και τη χαμηλότερη στρατόσφαιρα πάνω από την Αυστραλία και τη Νέα Ζηλανδία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΧΕΣΗ CO_2 – ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

Κλιματική μεταβολή και συγκέντρωση του CO_2

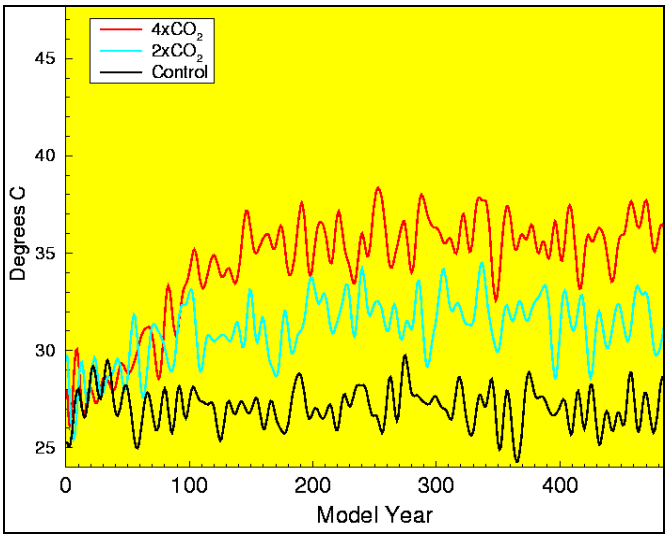
Υπάρχει αυτή τη στιγμή έντονη συζήτηση στην επιστημονική κοινότητα και ποικιλία θεωριών, όσον αφορά στη σχέση του διοξειδίου του άνθρακα με τη θερμοκρασία, ή καλύτερα στη σχέση της μεταβολής της ατμοσφαιρικής συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα με τη μεταβολή της πλανητικής θερμοκρασίας. Σε αυτό το κεφάλαιο θα μεταφέρουμε αυτή τη «συζήτηση» και τα επιχειρήματα εκατέρωθεν και θα αναλύσουμε τις σημαντικότερες θεωρίες.

Στα προηγούμενα κεφάλαια μελετήσαμε τις διάφορες θεωρίες ερμηνείας των κλιματικών μεταβολών, τεκτονικές, αστρονομικές και ατμοσφαιρικές, είδαμε το ρόλο του CO_2 στην ένταση του φαινομένου του θερμοκηπίου, τη μεταβολή της συγκέντρωσης του CO_2 και τη ραγδαία αύξηση της τους τελευταίους αιώνες, μελετήσαμε τις παλαιοκλιματολογικές μεταβολές της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της ιστορίας της γης και πολλά άλλα που θα μας φανούν χρήσιμα στη μελέτη της σχέσης του διοξειδίου του άνθρακα με τη θερμοκρασία.

Ατμοσφαιρική ερμηνεία της κλιματικής μεταβολής

Στο κεφάλαιο 2, είδαμε τις διάφορες θεωρίες ερμηνείας των κλιματικών μεταβολών, εκτός από μία, αυτή που ταίριαζε καλύτερα να αναλυθεί σε αυτό το κεφάλαιο. Η θεωρία αυτή συσχετίζει τις κλιματικές μεταβολές, που παρατηρήθηκαν στους προηγούμενους γεωλογικούς αιώνες, με εκείνες του διοξειδίου του άνθρακα. Αρκετοί ερευνητές προσπάθησαν να συσχετίσουν αυτές τις δύο μεταβολές, αφού είναι γνωστό, όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 3 στο σχήμα 3.23, ότι μετά τον υδρατμό, το CO_2 είναι ο σημαντικότερος απορροφητής της ακτινοβολίας που (επαν)εκπέμπει το γήινο έδαφος.

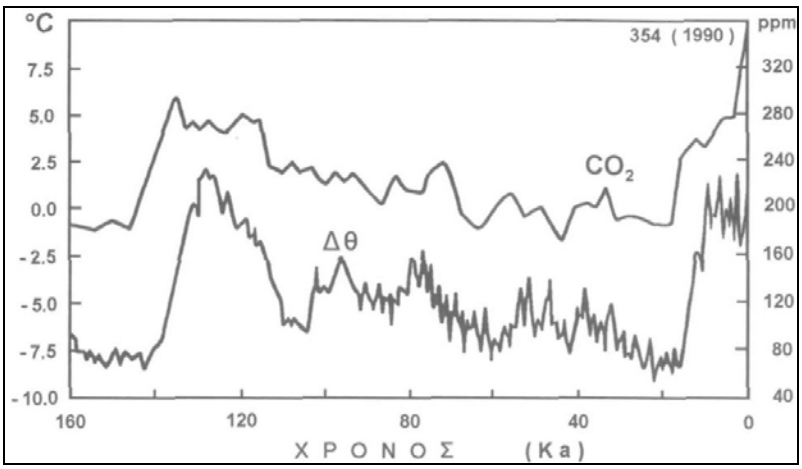
Η σημαντικότερη ζώνη απορρόφησης είναι αυτή που εκτείνεται μεταξύ 13μm και 17μm. Έτσι, αύξηση της συγκέντρωσης του CO_2 συνεπάγεται μείωση της γήινης ακτινοβολίας που χάνεται στο διάστημα και άρα αύξηση της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας. Ένα άλλο στοιχείο που δείχνει το σημαντικό βαθμό συμμετοχής του διοξειδίου του άνθρακα στη διαμόρφωση της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας είναι το πείραμα που έκανε ο *Gilbert Plass* το 1954. Σε ελεγχόμενο ατμοσφαιρικό χώρο, με συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας εξομοιωμένες με αυτές που επικρατούν στην κατώτερη τροπόσφαιρα, ο διπλασιασμός του CO_2 προκάλεσε αύξηση της θερμοκρασίας του χώρου κατά 2.5°C, ενώ ο υποδιπλασιασμός του CO_2 προκάλεσε μείωση της θερμοκρασίας κατά 2.7°C. Η άποψη αυτή ενισχύθηκε από τα αποτελέσματα του μοντέλου (σχήμα 5.1) του GFDL της NOAA, που παρατηρεί μια αύξηση 5°C μέσα σε 100 χρόνια, αν διπλασιαστεί στην ατμόσφαιρα η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα, και μια αύξηση 10°C, αν αντίστοιχα τετραπλασιαστεί.



Σχήμα 5.1: Μοντέλο που δείχνει την προβλεπόμενη «συμπεριφορά» της θερμοκρασίας, για διάφορες συγκεντρώσεις του CO_2 (GFDL, NOAA, 2001)

Η παρατηρήσεις του *Gilbert Plass*, ενισχύονται σε σημαντικό βαθμό από την παράλληλη αύξηση του διοξειδίου του άνθρακα και της μέσης ετήσιας πλανητικής θερμοκρασίας που παρατηρείται τα τελευταία χρόνια (βλέπε κεφάλαιο 3), αλλά και από την συγκριτική μεταβολή θερμοκρασίας και CO_2 στη διάρκεια του παρελθόντος (βλ. σχήμα 5.2).

Ο *Plass* προσπάθησε να εξηγήσει τη χρονική διαφορά, των μερικών εκατομμυρίων ετών που υπάρχει μεταξύ της ορογεννέσεως και του μέγιστου των παγετώνων, παρατηρώντας ότι η ορογέννεση απελευθερώνει μεγάλες ποσότητες CO_2 από το εσωτερικό της γης, μέσα από τα ανοίγματα των ηφαιστείων και και τις θερμοπηγές. Η νέα αυτή αυκημένη ποσότητα του CO_2 έχει σαν αποτέλεσμα να περνά σημαντικός χρόνος μέχρι η συγκέντρωση του να επανέλθει σε φυσιολογικά επίπεδα, δημιουργώντας για το διάστημα αυτό την αδυναμία δράσης των παραγόντων που ευνοούν την ανάπτυξη των παγετώνων. Όταν η ατμόσφαιρα είναι αρκετά ψυχρή, τότε μόνο αρχίζει η αύξηση των παγετώνων, που αυξάνουν τη μάζα τους παίρνοντας σημαντική ποσότητα νερού από τους ωκεανούς. Η συγκέντρωση ανθρακικών αλάτων στο θαλασσινό νερό αυξάνει και η ισορροπία μεταξύ ωκεανών και ατμόσφαιρας, όσον αφορά τη συγκέντρωση του CO_2, ανατρέπεται. Με την πάροδο εκτοντάδων ή χιλιάδων ετών, η επιπλέον ποσότητα ανθρακικών αλάτων διασπάται, διαχέοντας στην ατμόσφαιρα CO_2, με αποτέλεσμα νέα ισορροπία. Η νέα αυτή ισορροπία, με αυξημένη τη συγκέντρωση CO_2, γίνεται αιτία να αυξηθεί η ατμοσφαιρική θερμοκρασία, με αποτέλεσμα την τήξη των πάγων, τη μείωση του όγκου των χερσαίων παγετώνων και την αύξηση του όγκου των ωκεανών.

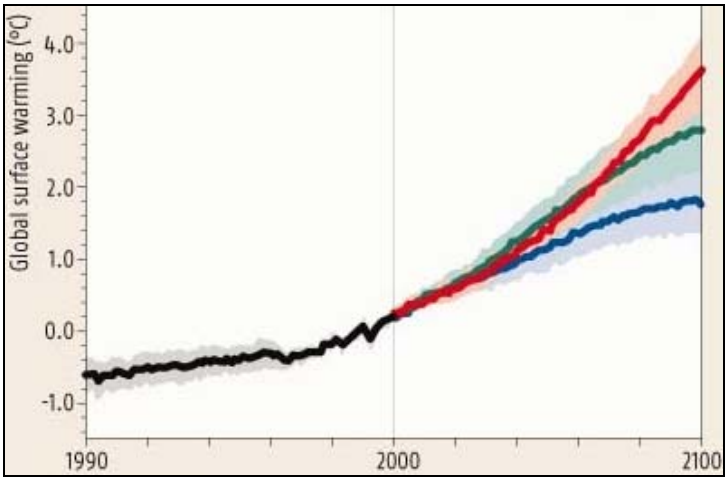


Σχήμα 5.2: Η συγκριτική διακύμανση της πλανητικής θερμοκρασίας και της ατμοσφαιρικής συγκέντρωσης του CO_2, τα τελευταία 160.000 χρόνια

Η δυναμική ισορροπία της ανταλλαγής του CO_2 μεταξύ ωκεανών και ατμόσφαιρας ανατρέπεται εκ νέου και ένας νέος κύκλος αυξομείωσης των παγετώνων αρχίζει. Οι εκτιμήσεις, της τρίτης έκθεσης της IPCC, προβλέπουν ότι η μεταβολή της συγκέντρωσης του CO_2 στην ατμόσφαιρα θεωρείται ικανοποιητική, για την έναρξη νέας παγετώδους περιόδου, όταν αυτή μειωθεί στο μισό εκείνης της μεσωπαγετώδους περιόδου. Το ποσό αυτό αντιπροσωπεύει το 7% του συνολικού ποσού του CO_2 που υπάρχει στο σύστημα ατμόσφαιρα-ωκεανοί.

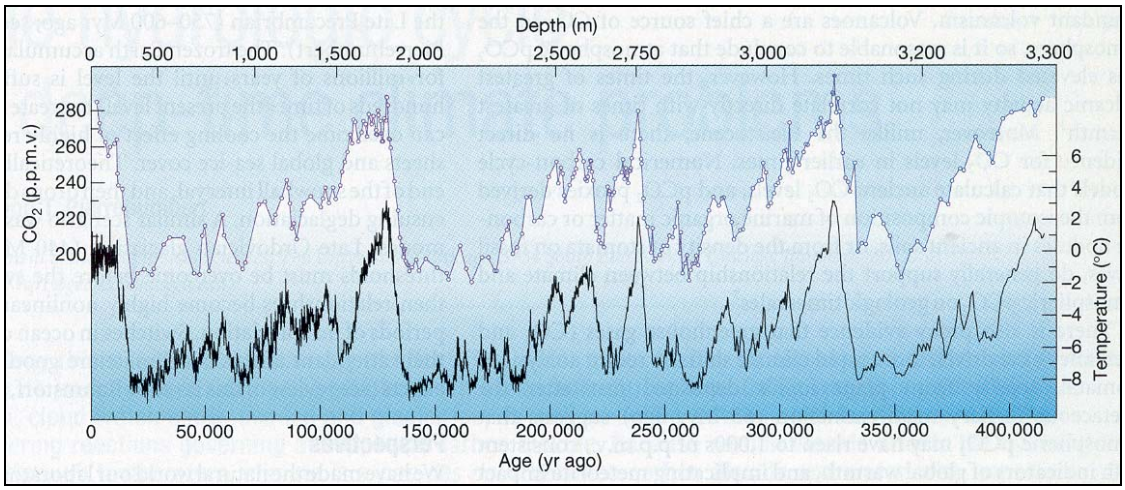
Πολλοί επιστήμονες εκτιμούν ότι, αν συνεχιστεί η αύξηση της συγκέντρωσης του CO_2, στον επόμενο μισό αιώνα, θα έχουμε μεγάλη άυξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας (το μέγεθος της αύξησης ποικίλει, θα το δούμε στο κεφάλαιο 6) η οποία θα επιφέρει και πολλές άλλες αλλαγές στην υδρόγειο. Κάποιες από αυτές αγγίζουν τα όρια της καταστροφής. Για παράδειγμα, η πρώτη έκθεση της IPCC προβλέπει ότι στα επόμενα 100 χρόνια, η θερμοκρασία, εξαιτίας της έντασης του

φαινομένου του θερμοκηπίου, λόγω του ανθρωπογενούς CO_2, θα αυξηθεί 2-4°C (σχήμα 5.3).



Σχήμα 5.3: Μοντέλο πρόβλεψης της μελλοντικής αύξησης της θερμοκρασίας με βάση τη μέση τιμή του 2000 (IPCC, 2006)

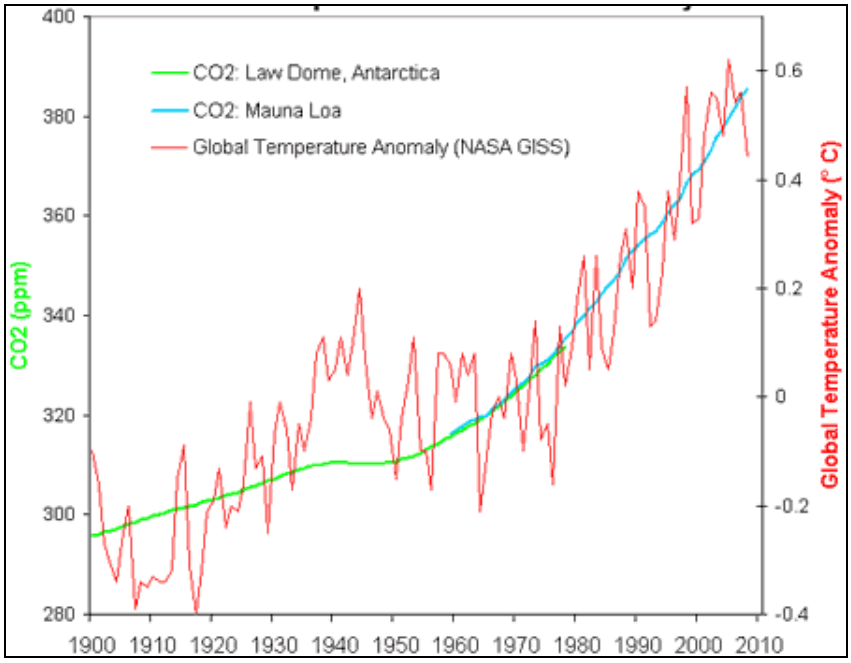
Αυτή η αύξηση, σύμφωνα με την τεχνική έκθεση, μπορεί να επιφέρει τήξη των μεγάλων ποσοτήτων πάγου που έχουν συσσωρευτεί στις περιοχές των πόλων.Κάτι τέτοιο ενδέχεται να προκαλέσει μεγάλη αναστάτωση στο γενικό κλίμα. Πράγματι, η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των τροπικών και των αρκτικών περιοχών καθορίζουν το παγκόσμιο κλιματικό σύστημα. Η αυξημένη θερμότητα που συσσωρεύεται στα τροπικά διοχετεύεται στις αρκτικές περιοχές, κατά 50% περίπου μέσω της κίνησης ανέμων που κινούνται βόρεια από τα τροπικά και κατά 50% μέσω των ωκεανών μέσω ενός τεράστιου υποθαλάσσιου ρεύματος. Εάν οι πόλοι συνεχίζουν να θερμαίνονται ταχύτερα από τα τροπικά, η ένταση του μηχανισμού μεταφοράς θα μειωθεί, αλλάζοντας ριζικά την κίνηση των ανέμων, τα ρεύματα των ωκεανών και την χωροχρονική κατανομή των βροχοπτώσεων. Ήδη, ακραία και απρόβλεπτα φαινόμενα στο βόρειο ημισφαίριο ενδέχεται να αποτελούν τα πρώτα σημάδια των επερχόμενων παγκόσμιων κλιματικών αλλαγών (διαταραχή El Nino - La Nina), σύμφωνα με την IPCC.



Σχήμα 5.4: Η διακύμανση της παγκόσμιας θερμοκρασίας και του διοξειδίου του άνθρακα, τα τελευταία 400.000 χρόνια (Petit, Vostok, 1999)

Ακόμα σοβαρότερες επιπτώσεις μπορεί να έχει η τήξη των πάγων η οποία ενδέχεται να διακόψει την κυκλοφορία του ρεύματος (Gulf Stream) που θερμαίνει μεγάλα μέρη του βόρειου ημισφαιρίου. Το ρεύμα αυτό κινεί μεγάλες μάζες νερού από τα τροπικά που ψύχονται και βυθίζονται στο Βόρειο Ατλαντικό. Η τήξη των πάγων θα διατηρήσει μία στοιβάδα ελαφρότερου γλυκού νερού στην επιφάνεια που εμποδίζει τη μεταφορά θερμότητας και που ενδέχεται να επιβραδύνει ή και να σταματήσει εντελώς το ρεύμα. Με αυτό τον μηχανισμό το φαινόμενο του θερμοκηπίου μπορεί να δημιουργήσει συνθήκες πολικού ψύχους . Το φαινόμενο αυτό έλαβε χώρα και στο παρελθόν, πριν από περίπου 12.000 χρόνια μετά το τέλος της περιόδου των παγετώνων. Η αύξηση της θερμοκρασίας έστειλε μεγάλες ποσότητες νερού στο Βόρειο Ατλαντικό μέσω του St.Laurence ποταμού περιορίζοντας την κυκλοφορία του Gulf Stream και βυθίζοντας την Ευρώπη σε 1300 χρόνια μεγάλης ψύξης. Όσο περισσότερες πληροφορίες συλλέγονται γι' αυτή την εποχή, τόσο περισσότερο φοβούνται οι επιστήμονες του IPCC την επανάληψη του φαινομένου, προβλέποντας συνάμα ότι αυτή τη φορά τα αποτελέσματα θα είναι πολύ σοβαρότερα.

Επίσης, πρέπει να σημειωθεί, ότι μια αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας θα επιφέρει σημαντική αύξηση στην ποσότητα των υδρατμών στην ατμόσφαιρα. Αυτό πρέπει να μελετηθεί καθως μπορεί να προκαλέσει φαινόμενα θετικής ανάδρασης λόγω αυξανόμενης έντασης του φαινομένου του θερμοκηπίου, άπό την άλλη όμως μπορεί να λειτουργήσει ως μηχανισμός ισορροπίας, αφού θα προκαλέσει αυξημένη νέφωση, ελάττωση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας και γενικά διαταραχές στα κλιματικά φαινόμενα.



Σχήμα 5.5: Η διακύμανση της παγκόσμιας θερμοκρασίας και του διοξειδίου του άνθρακα, τον τελευταίο αιώνα (CDIAC, NOAA, NASA/GISS, 2009)

Αντίθετα στις υποθέσεις πολλών επιστημόνων, η επίδραση της απορρόφησης των υδρατμών δεν «κάλυψε» την επίδραση διοξειδίου του άνθρακα. Ο *Plass*

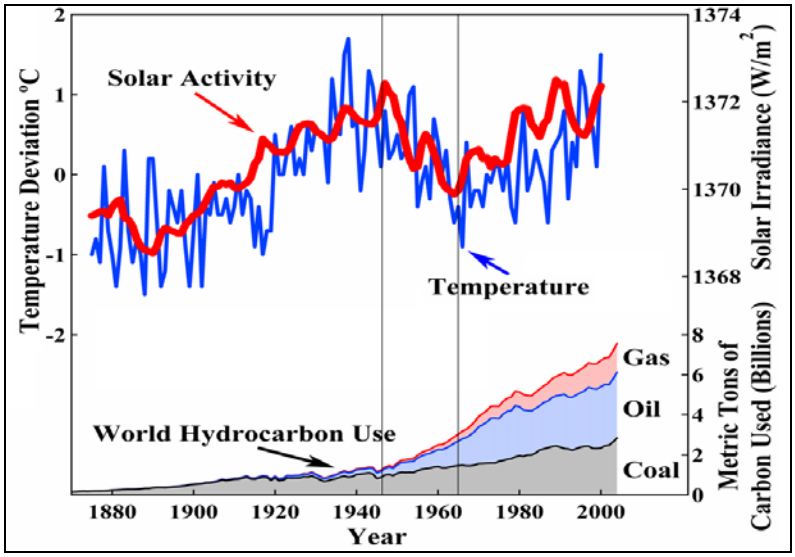
χρησιμοποίησε αυτά τα αποτελέσματα για να υποστηρίξει τη δυνατότητα εφαρμογής της θεωρίας του διοξειδίου του άνθρακα για την αλλαγή του κλίματος στις διάφορες γεωλογικές εποχές και στις τελευταίες δεκαετίες. Τονίζοντας το ρόλο του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρά μας, προέβλεψε τον κίνδυνο της ανθρωπογενούς απελευθέρωσης άνθρακα. Υπολόγισε ότι το κάψιμο ορυκτού καυσίμου πρόσθετε έξι δισεκατομμύρια τόνους άνθρακα το χρόνο στην ατμόσφαιρα, περισσότερους από αυτούς που προστίθενται από την αποδάσωση και άλλες δραστηριότητες. Αυτό το ποσό ήταν επαρκές για να αυξήσει την περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε CO_2 κατά 30% μέχρι το 2000, που προκαλεί τις αξιοπρόσεχτες αλλαγές στην ισορροπία της γήινης ακτινοβολίας και έτσι στο κλίμα. Υπολόγισε μια μέση θέρμανση 1.1°C ανά αιώνα λόγω της ανθρώπινης επιρροής. Σύμφωνα με τον *Plass*, οι ωκεανοί θα ήταν σε θέση να απορροφήσουν μόνο μια μικρή ποσότητα του ανθρωπογενούς άνθρακα, αφήνοντας το μεγαλύτερο μέρος του στην ατμόσφαιρα. Εκτίμησε, ότι εάν η ανθρωπότητα κατανάλωνε τους πόρους των γήινων ορυκτών καυσίμων κατά τη διάρκεια της επόμενης χιλιετίας, η περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε CO_2 θα τετραπλασιαζόταν σε σχέση με τη σημερινή και ο πλανήτης θα θερμαινόταν κατά τουλάχιστον 7°C (Plass 1956). Στην ίδια δημοσίευση, το 1956, αναφέρει ότι η ανθρωπότητα πραγματοποιούσε ένα μεγάλης κλίμακας πείραμα στην ατμόσφαιρα, τα αποτελέσματα της οποίας δεν θα ήταν διαθέσιμα για διάφορες γενεές: «Εάν στο τέλος αυτού του αιώνα, οι μετρήσεις δείχνουν ότι η περιεκτικότητα σε διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας έχει αυξηθεί αρκετά και συγχρόνως η θερμοκρασία έχει συνεχίσει να αυξάνεται σε όλο τον κόσμο, θα αποδειχτεί ότι το διοξείδιο του άνθρακα είναι ένας σοβαρός παράγοντας στην πρόκληση της κλιματικής αλλαγής». Η εργασία του *Keeling*, που άρχισε δύο έτη αργότερα, υπολόγισε τις νέες ακριβείς μετρήσεις της αυξανόμενης συγκέντρωσης του CO_2 στην ατμόσφαιρα, την τάση της οποίας υπολόγισε σωστά ο *Plass* σε 0.3% το χρόνο.

Τα αποτελέσματα μιας μεγάλης αύξησης (7-12°C) της παγκόσμιας θερμοκρασίας, όπως προειδοποιούν οι επιστημονες του IPCC, θα είναι τήξη των πάγων, χερσαίων και θαλάσσιων, πλημμύρισμα παράκτιων οικισμών, εξαφάνιση πολλών ειδών ζωής στην ισημερινή ζώνη κλπ. Πέραν αυτών, φοβούνται ακόμα μεγαλύτερης εκτάσεως φαινόμενα, όπως ότι το στρώμα της μέγιστης πυκνότητας του όζοντος θα κατέλθει 20 χιλιόμετρα περίπου, γεγονός που θα προκαλέσει μια επιπλέον αύξηση της θερμοκρασίας της κατώτερης τροπόσφαιρας κατά 2°C. Σύμφωνα με άλλους επιστήμονες όμως, όλα αυτά αγγιζουν τα όρια της καταστροφολογίας.

Η αμφισβήτηση της θεωρίας

Σύμφωνα με τον *Dr. Geoffrey G. Duffy*, «το κλίμα πάντα άλλαζε και πάντα θα αλλάζει. Υπάρχουν λόγοι. Υπάρχουν ημερήσιοι κύκλοι. Σε κάθε περιοχή η προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια ποικίλει κατά τη διάρκεια της μέρας. Η ηλιακή ενέργεια επηρρεάζεται από τις τοπικές συνθήκες και τα σύννεφα. Η απορρόφηση της θερμότητας εξαρτάται από την επιφάνεια πρόσπτωσης. Σε κάποια μέρη του κόσμου οι θερμοκρασίες ανεβαίνουν κατά μέσο όρο, ενώ σε άλλες πέφτουν. Ο προσδιορισμός "υπερθέρμανση του πλανήτη" είναι εσφαλμένος».

Το πιο σημαντικό από τα στοιχεία, που ωθεί τους επιστήμονες στην αντίληψη ότι η κλιματικές μεταβολές προέρχονται από τις μεταβολές του CO_2, είναι οι πρόσφατες παρατηρήσεις της αύξησης της θερμοκρασίας στη βιομηχανική εποχή. Ο *Syun-Ichi Akasofu*, ερευνητής του IARC, παρατηρεί μια σημαντική πτώση της θερμοκρασίας (σχήμα 5.6) την περίοδο 1945-1975. Αυτή την περίοδο η παραγωγή του CO_2, και των άλλων αερίων θερμοκηπίου, ήταν τεράστια λόγω της τεράστιας εκβιομηχάνισης στη Ευρώπη και τη Β.Αμερική, του λεγόμενου «Post War Economic Boom», που συνοδεύτηκε με ραγδαία αύξηση της παγκόσμιας χρήσης υδρογονανθράκων. Αντίθετα, ο καθηγητής περιβαλλοντικών επιστημών Patrick Michaels, παρατηρεί μια μείωση της ηλιακής δραστηριότητας την ίδια περίοδο.



Σχήμα 5.6: Συσχέτιση των θερμοκρασιακών μεταβολών με τις μεταβολές της ηλιακής δραστηριότητας τον τελευταίο αιώνα (B.A.Robinson, 2003)

Ποιοι είναι οι βασικοί παράγοντες της Κλιματικής Αλλαγής; Η σημαντικότερη κινητήριος δύναμη είναι ο Ήλιος. Η θέρμανση εξαρτάται από τον Ήλιο, ενώ η ψύξη οφείλεται στην ελάττωση της ηλιακής ενέργειας που εισέρχεται στη γήινη ατμόσφαιρα. Από τη σύσταση (σε ξηρή βάση) της ατμόσφαιρας (βλ. πίνακα 3.1) παρατηρούμε ότι το CO_2 βρίσκεται σε περιεκτικότητα μικρότερη από 400ppm (μέρη ανά εκατομμύριο), ή 0,04% του συνόλου. Παραδόξως, λιγότερο από το ένα πέμπτο της (0,008% του συνόλου) προέρχεται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες, και αυτό είναι μόνο από την αρχή της «βιομηχανικής» εποχής και της ταχείας αύξησης του παγκόσμιου πληθυσμού.

Η ατμόσφαιρα, ωστόσο, δεν είναι ξηρή. Το αμέσως κυριότερο συστατικό του αέρα, μετά το οξυγόνο και το άζωτο είναι το νερό, ως ατμός και συμπυκνωμένο υγρό. Η ατμόσφαιρα αποτελείται από περίπου 1-3% υδρατμούς [στους 20°C και 100% υγρασία υπάρχει 0.015kg H_2O/kg αέρα ή το 1,5%, σε 50% της υγρασία 0.008kg H_2O/kg αέρα ή 0,8% του αέρα, και στους 30°C, με 100% υγρασία, 0.028kg H_2O/kg αέρα ή 2,8%]. Οι υδρατμοί συμπυκνώνονται σε μορφή νέφους και είναι μακράν το

πιο άφθονο και σημαντικό από τα αέρια του θερμοκηπίου. Το νερό αντιπροσωπεύει περίπου το 95% του φαινομένου του θερμοκηπίου. Οι κύριος ατμοσφαιρικός «ενδιάμεσος» ανάμεσα στον ήλιο και τη γη είναι το νερό, και, συνεπώς, υπαγορεύει τη συμπεριφορά του κλίματος της γης. Απουσία των υδρατμών κυρίως, οι επιφανειακές θερμοκρασίες του αέρα σε όλο τον κόσμο θα ήταν πολύ πιο κάτω από τη θερμοκρασία μιας κατάψυξης. Ο ήλιος προφανώς είναι μια πολύ μεγαλύτερη επιρροή στο παγκόσμιο κλίμα από οποιοδήποτε από τα αέρια του θερμοκηπίου, ακόμη και το νερό και το CO_2. Το διοξείδιο του άνθρακα είναι περίπου το 1/60 του νερού στον αέρα, άρα σαφώς δεν είναι ο σημαντικότερος παράγοντας, σημειώνει ο φυσικός *Nir Shaviv*. Όμως, είναι συνετό να ελαχιστοποιηθούν οι ατμοσφαιρικοί ρύποι που προέρχονται από τον άνθρωπο, όπως οι εκπομπές σωματιδίων, CO_2 και άλλων αερίων.

Ποικίλες και ασταθείς καιρικές συνθήκες προκαλούνται τόσο από τις τοπικές όσο και τις μεγάλης κλίμακας διαφορές στις μετεωρολογικές συνθήκες (άνεμος, βροχή, εξάτμιση, μορφολογία του εδάφους κλπ). Αυτές είναι φυσικό να προκαλούν τη θέρμανση ή την ψύξη σε τοπικό, περιφερειακό ή παγκόσμιο επίπεδο. Όλοι έχουμε παρατηρήσει, σε μια ηλιόλουστη ή συννεφιασμένη μέρα, ότι τα σύννεφα επηρρεάζουν τις αισθήσεις μας στη θερμότητα και στο φως (υπέρυθρη ενέργεια και το ορατό φως). Η ατμόσφαιρα μπορεί να θερμαίνεται από τα σύννεφα, από τη λανθάνουσα θερμότητα που εκπέμπεται από τους συμπυκνωμένους υδρατμούς. Αλλά τα σύννεφα μπορούν επίσης να ελαττώσουν τη θερμοκρασία στην ατμόσφαιρα, μειώνοντας την ποσότητα της ενέργειας που μεταδίδεται, από την ακτινοβολία που αντανακλούν. Έτσι, από το σύνολο των παραγόντων που μπορούν να επηρεάσουν τη θέρμανση και την ψύξη της ατμόσφαιρας και της γης, το νερό αποτελεί σαφώς τον κυριότερο. Άλλα αέρια του θερμοκηπίου (διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο, οξείδια του αζώτου, κ.α.) είναι 30 έως 60 φορές μικρότερα τόσο σε ποσότητα όσο και στο αποτέλεσμα. Έτσι, με όλα τα «αέρια του θερμοκηπίου», συμπεριλαμβανομένου του νερού, η ανθρώπινη δραστηριότητα αντιπροσωπεύει μόλις το 0,28% των συνολικών εκπομπών. Αν εξαιρεθεί ο βασικός παράγοντας, το νερό, τότε η ανθρώπινη δραστηριότητα θα αντιπροσωπεύει περίπου το 5,53% του συνολικού φαινομένου του θερμοκηπίου. Αυτές οι παρατηρήσεις είναι σημαντικές για τη συνολική εικόνα ανεξάρτητα από τον τρόπο που το βλέπει κανείς.

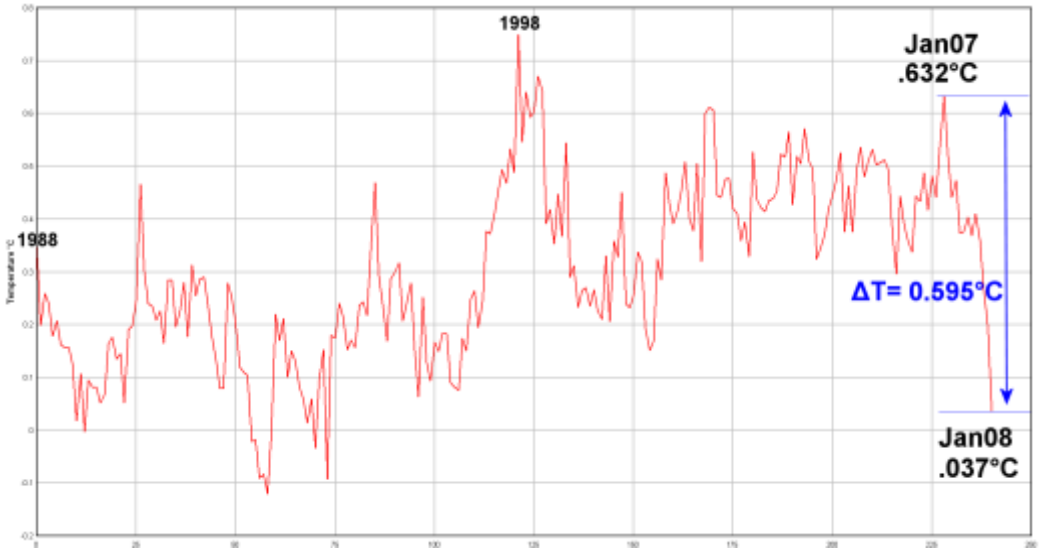
Σύμφωνα με τον *John Christy*, πολλές εκτιμήσεις και προβλέψεις βασίζονται κυρίως σε θεωρητικά μοντέλα σε Η/Υ. Πολλοί, πλέον, εμπιστεύονται περισσότερο τα μοντέλα και τα θεωρητικά τους αποτελέσματα από τις πραγματικές μετρήσεις και τα στοιχεία από την πραγματικότητα. Η ανάλυση και η μοντελοποίηση σε Η/Υ απαιτεί η γη να «κοπεί» σε μικρές, ξεχωριστές περιοχές (όγκους), καθεμιά από τις οποίες αναλύεται για την ενεργειακή (θερμική) της είσοδο/έξοδο και για τη ροή αέριο/υγρό. Ακόμα και έτσι το μέγεθος του τομέα ανάλυσης είναι τεράστιο, 150x150km με 1km ύψος, με τις σημερινές δυνατότητες ενός υπολογιστή. Είναι τόσο μεγάλος που οι επιπτώσεις ακόμα και από τα πολύ μεγάλα σύννεφα δεν περιλαμβάνονται μεμονωμένα. Η τμηματική αυτή ανάλυση είναι τόσο κακή, που όσο ισχυροί και να είναι οι χρησιμοποιούμενοι υπολογιστές δεν μπορούν να μας δώσουν την ακρίβεια που χρειαζόμαστε. Πολλές φορές οι επιστήμονες που μοντελοποιούν το κλίμα δεν υπολογίζουν ως παράγοντα το νερό, ή το

συνυπολογίζουν σε έναν παράγοντα που αφορά όλα τα αέρια του θερμοκηπίου. Αυτό είναι λάθος, καθώς το νερό, με τη μορφή ατμού στα σύννεφα είναι 30 έως 60 φορές πιο σημαντικό από ότι τα ίχνη των άλλων αερίων θερμοκηπίου, με αποτέλεσμα οι προσομοιώσεις του κλίματος και συνεπώς οι προβλέψεις να έχουν σοβαρό σφάλμα. Δεν είναι μόνο ο αριθμός και η επιφάνεια των συννεφών στην περιοχή των 150 τετραγωνικών χιλιομέτρων, αλλά και το ύψος, η ενεργειακή τους σύσταση και η δομή τους, στοιχεία που δεν καταγράφονται σε κανένα μοντέλο μέχρι σήμερα. Επίσης οι τυφώνες δεν «εκπροσωπούνται» στα περισσότερα μοντέλα, όπως και πολλές τροπικές καταιγίδες και έντονες τοπικές βροχοπτώσεις. Οι ηφαιστειακές εκρήξεις και οι μεγάλες δασικές πυρκαγιές και τα αποτελέσματα τους είναι εξαιρετικά δύσκολο να μοντέλοποιηθούν. Αυτά εκπέμπουν τεράστιες ποσότητες μικρών σωματιδίων που έχουν τεράστιες επιπτώσεις στις αλληλεπιδράσεις εντός της ατμόσφαιρας (βλ. κεφάλαιο 2).

Οι δια-ζωνικές επιπτώσεις κάποιων, μεγαλύτερης κλίμακας, δραστηριοτήτων όπως το ρεύμα Gulf Stream, ή τα φαινόμενα El Nino-La Nina, δεν έχουν ακόμα μηχανισμούς πολύ κατανοητούς και είναι σχεδόν αδύνατο να μοντελοποιηθούν. Ο «θόρυβος» (τυχαίες διακυμάνσεις) στα αποτελέσματα από τα υπολογιστικά μοντέλα είναι συχνά μεγαλύτερος από τα ίδια τα αποτελέσματα. Ο *G Duffy* επισημαίνει ότι είναι πραγματικά περίεργο να θεωρούμε αξιόπιστες τις προβλέψεις ενός μοντέλου για περιόδους 30-50 χρόνων, ενώ η πρόγνωση του καιρού είναι πολύ συχνά ανακριβής, ακόμη και για μικρές περιόδους, πχ 2 εβδομάδων. Ένα καλό μοντέλο θα πρέπει να είναι σε θέση να προβλέψει ακόμη και το πολύ πρόσφατο παρελθόν, και το γεγονός ότι τα μοντέλα, που έχουν κατασκευαστεί μέχρι τώρα, δεν μπορούν, δείχνει σαφώς ότι θα πρέπει να αλλάξει ο τρόπος σκέψης μας και η εμπιστοσύνη μας στα υπολογιστικά μοντέλα. Ότι η έρευνα πρέπει να κατευθυνθεί στη μακροπρόθεσμη ανάλυση των πραγματικών στοιχείων, και στην κατανόηση των πραγματικών μηχανισμών και διαδικασιών, στους παράγοντες αιτίας και αποτελέσματος.

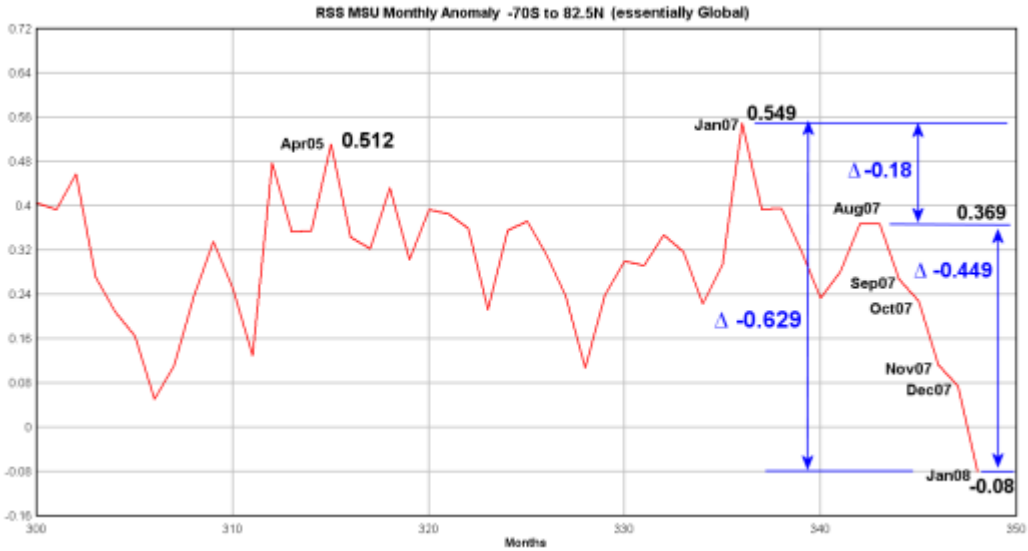
Η ευθυγράμμιση βραχυπρόθεσμων, τυχαίων διακυμάνσεων στις μεταβολές της θερμοκρασίας είναι επιστημονικά αστήρικτες, αφού οι καιρικές και κλιματικές αλλαγές θα πρέπει να μελετηθούν για πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα, ώστε να διακριθούν αξιόπιστες τάσεις. Πολλές φορές θεωρείται αξιόπιστο στοιχείο η ανοδική εξέλιξη της μέσης θερμοκρασίας κατά την τελευταία μόλις δεκαετία, όπως συμβαίνει για παράδειγμα στην ανάλυση η οποία προτάθηκε και εγκρίθηκε από την IPCC (Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος). Πολλές κυβερνήσεις, σύμφωνα με τον καθηγητή *Philip Stott,* χρησιμοποιούν αυτή την ανυπόστατη ανάλυση σαν βάση για την ενεργειακή πολιτική τους και την εφαρμογή ελέγχων και φορολόγησης με βάση τις εκπομπές άνθρακα. Το πρόγραμμα υπολογιστή που έδωσε στην IPPC τα αποτελέσματα αυτά, πρόσφατα ελέγχθηκε αυστηρά με την είσοδο τυχαίων αριθμών, και ο υπολογιστής έδωσε την ίδια ανοδική τάση, ακόμα και με αυτά τα ανούσια δεδομένα εισροής. Αν αυτός ο ισχυρισμός των σκεπτικιστών είναι σωστός, διαψεύδει τις τεχνικές εκθέσεις της IPCC. Τα πραγματικά στοιχεία, και όχι των ιδεαλιστικών μοντέλων, όπως λέει με χλευαστικό ύφος ο *G Duffy,* από τους τηλεκατευθυνόμενους αισθητήρες δορυφόρων (RSS), που κάνουν συνεχείς μετρήσεις της θερμοκρασίας της τροπόσφαιρας, έχουν δείξει ότι η τάση αύξησης της θερμοκρασίας έληξε το 2001.

Πράγματι, οι δορυφορικές μετρήσεις δείχνουν ότι η μέση πλανητική θερμοκρασία έχει πέσει περίπου 0,6°C κατά το παρελθόν έτος, σε σύγκριση με την καταγραφείσα μέση θερμοκρασία του 1980.



Σχήμα 5.7: Η θερμοκρασία την τελευταία 20ετία (Phil Jones, HadCRUT,2009)

Παρατηρήσεις από το Hadley Centre, όπως φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα, δείχνουν ότι η παγκόσμια θερμοκρασία έχει αλλάξει κατά λιγότερο από 0,050 ° C κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας. Επίσης το 1998 ήταν σαφώς θερμότερο από το 2006 λόγω του El Nino.



Σχήμα 5.8: Η θερμοκρασία την τελευταία 4ετία (RSS-MSU,2009)

Όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα, όλα τα κέντρα ανάλυσης των κλιματικών δεδομένων, με μετρήσεις στην επιφάνεια και από δορυφόρους, έβγαλαν το συμπέρασμα μιας πτωτικής τάσης της θερμοκρασίας το 2008.

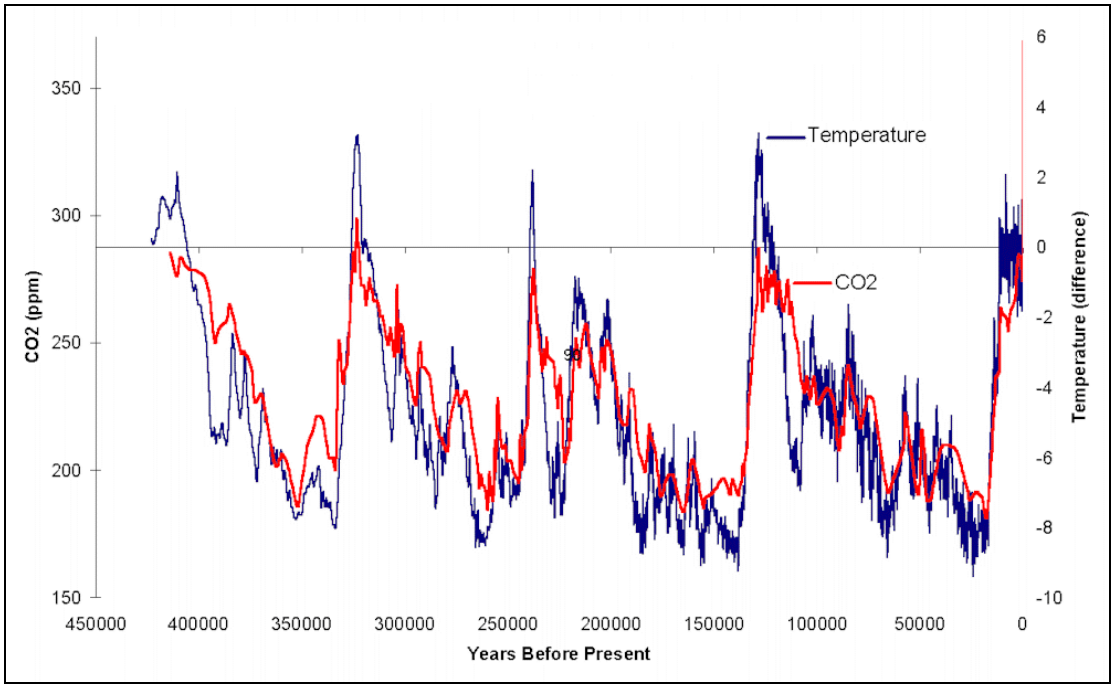
Πίνακας 5.9: Τάση της θερμοκρασίας το έτος 2008

Πηγή:	ΔΤ °C
HadCRUT	- 0.595
NASA/GISS	- 0.750
UAH	- 0.588
RSS	- 0.629
μέσος όρος:	**- 0.640**

Ο *G. Duffy*, διατείνεται ότι η ένταση του φαινομένου του θερμοκηπίου, λόγω της ανθρωπογεννούς αύξησης του διοξειδίου του άνθρακα, δε μπορεί να προκαλέσει την υπερθέρμανση του πλανήτη. Μπορεί μόνο, όπως χαρακτηριστικά αναφέρει σε ένα άρθρο του, να αυξήσει το χρόνο παραμονής της θερμότητας όπως ακριβώς κάνει μια κουβέρτα. Ομοίως, στην ατμόσφαιρα, το φαινόμενο θερμοκηπίου λειτουργεί ως ένας μηχανισμός για την ομαλή αυξομείωση της θερμοκρασίας. Δεν μπορεί να είναι κυρίαρχος παράγοντας για τη μεταβολή της θερμοκρασίας του πλανήτη. Είναι ο ήλιος, που δίνει τη θερμική ενέργεια και αυξάνει την αλλαγή της θερμοκρασίας. Αν η ηλιακή ενέργεια μειωθεί, τότε η παγκόσμια μέση θερμοκρασία θα πέσει και αντιστρόφως, με ή χωρίς την επίδραση του φαινομένου του θερμοκηπίου.

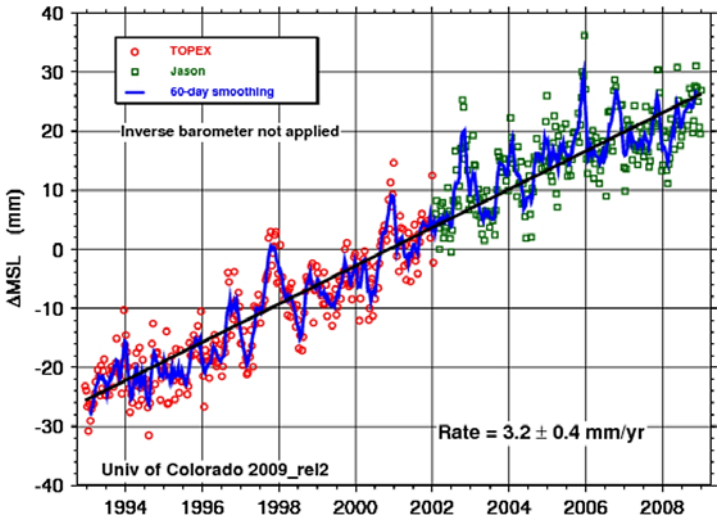
Αλλά πρέπει επίσης να εξεταστεί η θέση των φαινομένων. Η επιφάνεια της Γης είναι κατά 70% νερό. Το νερό έχει πολύ μεγαλύτερη θερμοχωρητικότητα από τη χέρσο και την ατμόσφαιρα. Έτσι, το μεγαλύτερο τμήμα από την εισερχόμενη θερμότητα του ήλιου απορροφάται από τους ωκεανούς, τις θάλασσες και τις λίμνες. Όταν το συγκρίνουμε αυτό με μάζες γης, το μικρότερο ποσοστό της θερμότητας αντανακλάται από τα νερά, για τη συμμετοχή της στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι κυρίως ένα φαινόμενο της επιφάνειας και της ατμόσφαιρας της γης, διότι τα εδάφη χάνουν το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας που απορροφούν την ημέρα, κατά τη διάρκεια της νυχτερινής γήινης ακτινοβολίας. Έτσι, η αποθήκευση θερμότητας από το νερό, είναι πολύ πιο σημαντική από τη δράση του ατμοσφαιρικού φαινομένου του θερμοκηπίου.

Οι θάλασσες χρειάζονται πολύ περισσότερο χρόνο για να ψυχθούν ή να θερμανθούν σε σύγκριση με τη γη. Όπως αναφέρει ο Carl Wunch, καθηγητής ωκεανογραφίας του MIT, οι ωκεανοί έχουν «μνήμη κλιματικών αλλαγών», χρειάζονται εκατοντάδες χρόνια για να αλλάξουν θερμοκρασία, επειδοί είναι τεράστιοι σε όγκο. Αυτό σημαίνει ότι η αποθήκευση θερμότητας από τους ωκεανούς είναι επίσης τεράστια. Η θέρμανση των ωκεανών προκαλεί την έκλυση τεράστιων ποσοτήτων διοξειδίου του άνθρακα. Ο μηχανισμός αυτός δεν είναι ακόμα γνωστός, αλλά πολλοί πιστεύουν ότι πρόκειται για ένα φαινόμενο κάθετης ανάμιξης των ωκεανών (Toggweiler, 1999). Έτσι, έχουμε εδώ μια άλλη θεωρία, που θα μελετήσουμε και στο κεφάλαιο 7, ότι η θέρμανση του πλανήτη προκαλεί την αύξηση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα και όχι το αντίθετο. Έτσι εξηγούν οι σκεπτικιστές την συσχέτιση του CO_2 με τη θερμοκρασία που παρατηρείται στη διάρκεια των γεωλογικών αιώνων (βλ. σχήμα 5.10).



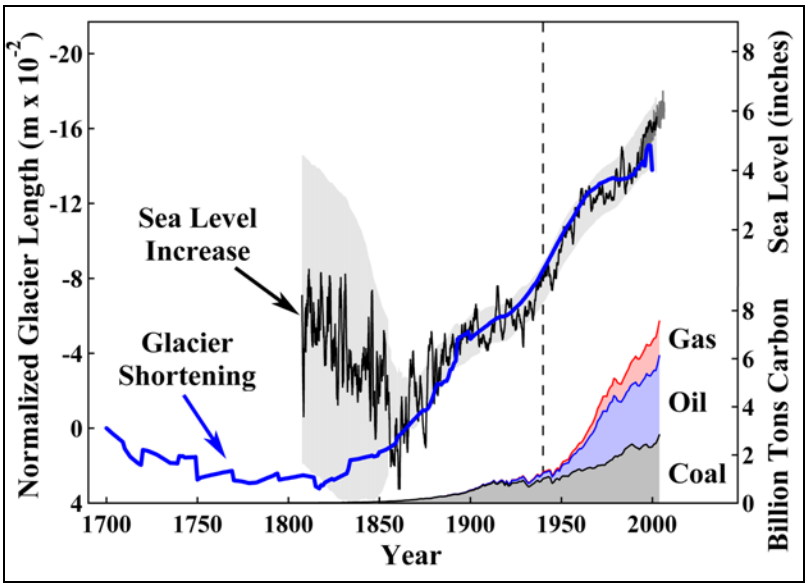
Σχήμα 5.10: Οι ιστορικές διακυμάνσεις θερμοκρασίας και CO_2 (Petit, 1999)

Αλλά υπάρχουν και δια-ζωνικές διαφορές. Η ηλιακή ενέργεια, στις περιοχές γύρω από τον ισημερινό, είναι αμετάβλητη καθ'όλη τη διάρκεια του έτους, και σε αυτές τις περιοχές συμβαίνει, το μεγαλύτερο μέρος της επιφάνειας, να καλύπτεται από το νερό των ωκεανών. Οι κύριες απώλειες θερμότητας συμβαίνουν στους πόλους. Έτσι οι διακυμάνσεις της πλανητική θερμοκρασίας και οι συνέπειες της γίνονται κυρίως αισθητές στους πολους. Η ερευνητική ομάδα του πανεπιστημίου του Κολοράντο θεωρεί ότι αν είχαμε το λεγόμενο «φαινόμενο της υπερθέρμανσης του πλανήτη», θα έπρεπε να έχουμε δει τις συνέπειες στην τήξη των πάγων και στην αύξηση της μέσης παγκόσμιας στάθμης της θάλασσας (mean sea level). Όμως, όπως ισχυρίζονται, τα τελευταία δύο χρόνια, η παγκόσμια στάθμη της θάλασσας έχει μειωθεί, δεν έχει αυξηθεί, όπως συμπέραναν μετά από μετρήσεις από δορυφόρους κάθε 10 ημέρες, με ακρίβεια 3-4 χιλιοστών (βλ σχήμα).



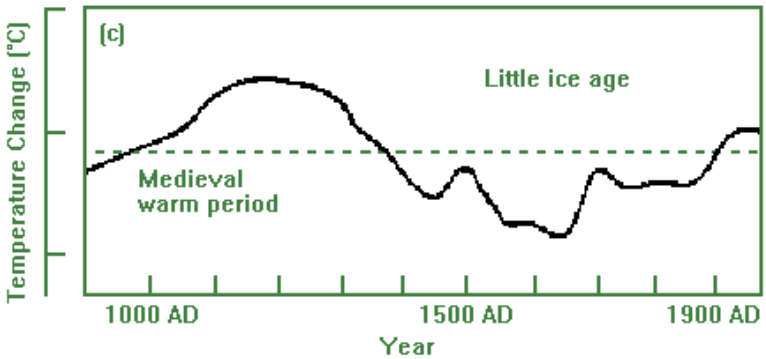
Σχήμα 5.11: Η τάση ανόδου της στάθμης της θάλλασσας (sealevel.colorado.edu)

Αλλά και στις παλαιότερες εποχές, πριν την τεράστια αύξηση της συγκέντρωσης του CO_2, η αυξομείωση του όγκου των παγετώνων και κατά συνέπεια η αυξομείωση της μέσης στάθμης της θάλασσας δε φαίνεται να σχετίζεται με το CO_2. Ο καθηγητής *Arthur Robinson*, σημειώνει ότι η αυξητική τάση της στάθμης της θάλλασσας ξεκίνησε πριν από την ευρεία χρήση των υδρογονανθράκων από των άνθρωπο (σχήμα) και κατά συνέπεια δεν πηγάζει από την αύξηση του CO_2 στην ατμοσφαιρα.



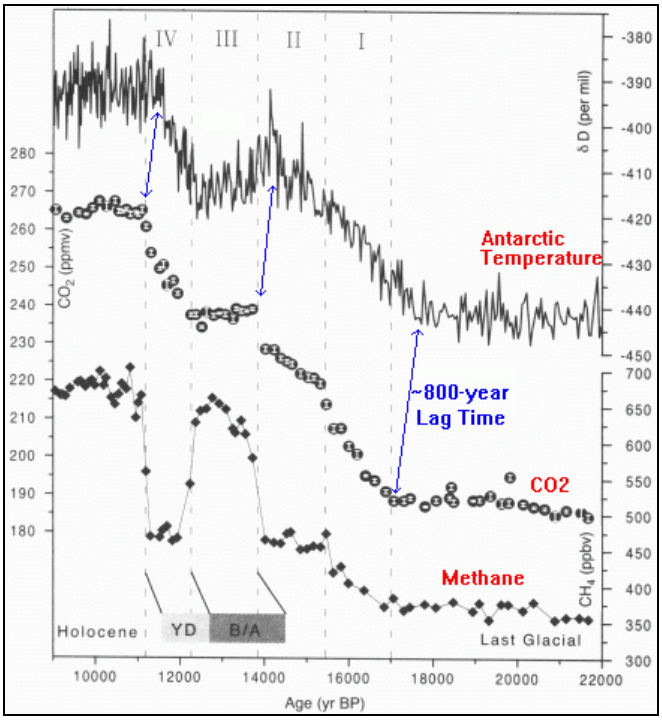
Σχήμα 5.12: Η στάθμη της θάλασσας, οι μείωση των παγετώνων και η καύση των ορυκτών καυσίμων, εδω και 3 αιώνες (B.A.Robinson, 2003)

Άλλα, εξαιρετικά σημαντικά, συμπεράσματα μπορούν να αντληθούν από το αρχείο των πυρήνων πάγου, που καταγράψαμε στο κεφάλαιο 4. Αν οι μεταβολές του CO_2 ήταν η βασικός παράγοντας για την αλλαγή του κλίματος, τότε η ιστορία θα είχε δείξει ότι τα επίπεδα του CO_2, θα είχαν προηγηθεί της αύξησης της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη. Στην πραγματικότητα όμως ισχύει το αντίθετο. Τα δείγματα από τους πυρήνες πάγου δείχνουν ότι δεν υπήρξε ποτέ μια περίοδος όπου η αύξηση του CO_2 έχει έρθει πριν από μια παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας. Αντίθετα, υπάρχει μεγάλη πιθανότητα, η πιο πιθανή εξήγηση τη γενική τάση αύξησης της θερμοκρασίας στις μέρες μας, να είναι ότι απλά ακολουθεί την πιο πρόσφατη εποχή παγετώνων (Little Ice Age, σχήμα), που παρατηρήθηκε περίπου 400-600 χρόνια πριν και βεβαιώνεται κυρίως από ιστορικά στοιχεία (P.Stott, 2008).



Σχήμα 5.13: Η διακύμανση της γήινης θερμοκρασίας τα τελευταία 1000 χρόνια, στα 1645-1715 φαίνεται η «μικρή εποχή των παγετώνων» (Washington univ., 2000)

Τη θεώρηση ότι η θέρμανση του πλανήτη προκαλεί την αύξηση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, εξέφρασε σε τεχνική του έκθεση ο Monnin το 2001. Η ερευνητική του ομάδα ερεύνησε δείγματα πυρήνων πάγου από το Concordia Dome της Ανταρκτικής και συμπέρανε (βλέπε σχήμα) ότι η μεταβολή της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα υστερούσε κατά 800 χρόνια της μεταβολής της θερμοκρασίας. Ακόμα και να ληφθούν υπόψη πιθανά σφάλματα, πρόκειται για ένα καθαρό «προβάδισμα» της θερμοκρασίας, που οδήγησε τον Monnin στο συμπέρασμα ότι η μεταβολή της θερμοκρασίας είναι ο «οδηγός-παράγοντας» όσον αφορά τις μεταβολές του διοξειδίου του άνθρακα.

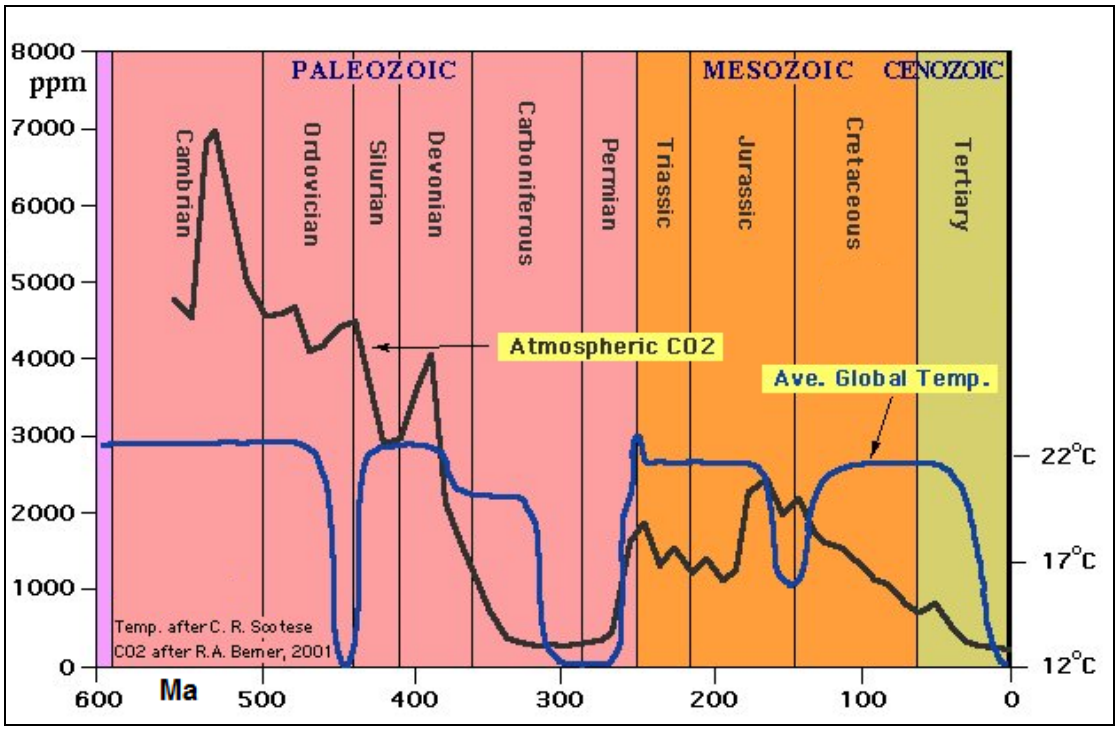


Σχήμα 5.14: Οι μεταβολές της θερμοκρασίας και της συγκέντρωσης του CO_2, μεταξύ 22-10.000 χρόνων πριν. Φαίνεται μια αποχή 800 ετών μεταξύ τους (Monnin ,2001)

Ο παλαιοκλιματολόγος *Pr. Ian Clark* βεβαιώνει, από την έρευνα του σε πυρήνες πάγου, ότι υπήρχε πάντα αυτή η «καθυστέρηση» της μεταβολής του CO_2 πίσω από τη θερμοκρασία. Σε τεχνική έκθεση του *Ian Clark* αναφέρεται ότι αν δούμε το κλίμα κατά τη διάρκεια των γεωλογικών αιώνων δε θα φανταζόμασταν ποτέ του CO_2 ως παράγοντα-οδηγό για τις κλιματικές μεταβολές.

Το παρακάτω διάγραμμα δείχνει ότι στην αρχή του Παλαιοζωικού γεωλογικού αιώνα, μέχρι και στα μέσα αυτού, η συγκέντρωση του CO_2 ήταν μέχρι και 18 φορές μεγαλύτερη από τη σημερινή, χωρίς αυτό να προκαλέσει την τεράστια αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας, όπως προβλέπει η ατμοσφαιρική θεωρία της κλιματικής αλλαγής. Ειδικά στην Κάμβρια περίοδο, παρατηρούμε ότι ενώ η ατμοσφαιρική συγκέντρωση του CO_2 άγγιζε τα 7000ppm, η μέση πλανητική θερμοκρασία δεν ξεπέρασε τους 22°C. Το τέλος της Ορδοβισίου περιόδου, βρήκε το κλίμα της Γης σε κατάσταση «εποχής παγετώνων», αλλά το επίπεδο του CO_2 ήταν, δωδεκαπλάσιο από το σημερινό, στα 4400ppm. Αυτά τα στοιχεία οδήγησαν τον R.A.Berner στη

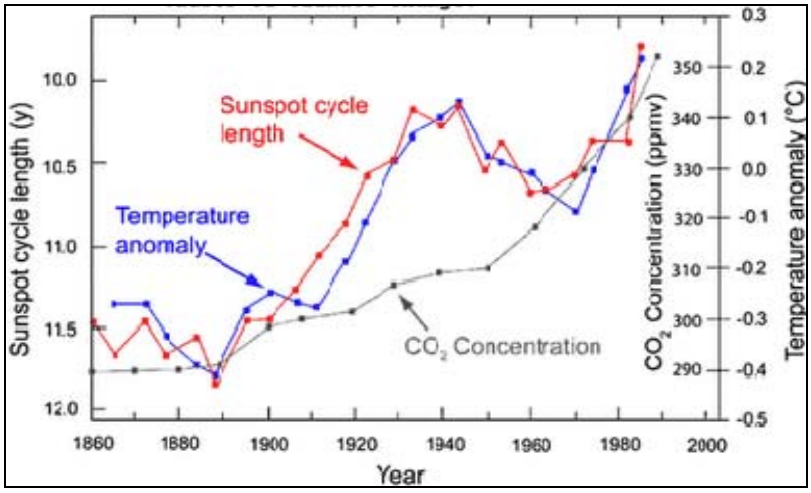
διαπίστωση ότι υπάρχουν άλλοι παράγοντες, εκτός από το CO_2, που ασκούν επιρροή στις κλιματικές μεταβολές.



Σχήμα 5.15: Η θερμοκρασία και η συγκέντρωση του CO_2 εδώ και 6 δις χρόνια (Scotese,Berner,2001)

Πολλοί επιστήμονες έχουν κατηγορήσει την IPCC ότι σκοπίμως απέκρυψε αυτά τα στοιχεία και χρησιμοποίησε μόνο εκείνα τα στοιχεία που θα επιβεβαίωναν τη μεροληπτική της άποψη. Ο καθηγητής του Ινστιτούτου Φυσικής του πανεπιστημίου της Ιερουσαλήμ, *Nir Shavin*, παρατηρεί πάνω σε αυτά τα αποτελέσματα ότι είχαμε μέχρι και 18 φορές μεγαλύτερη συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στη γήινη ατμόσφαιρα. Αν το CO_2 είχε μεγάλη επίδραση στο κλίμα, θα το είχαμε δει στην αναπαράσταση της θερμοκρασίας του παρελθόντος (σχήμα).

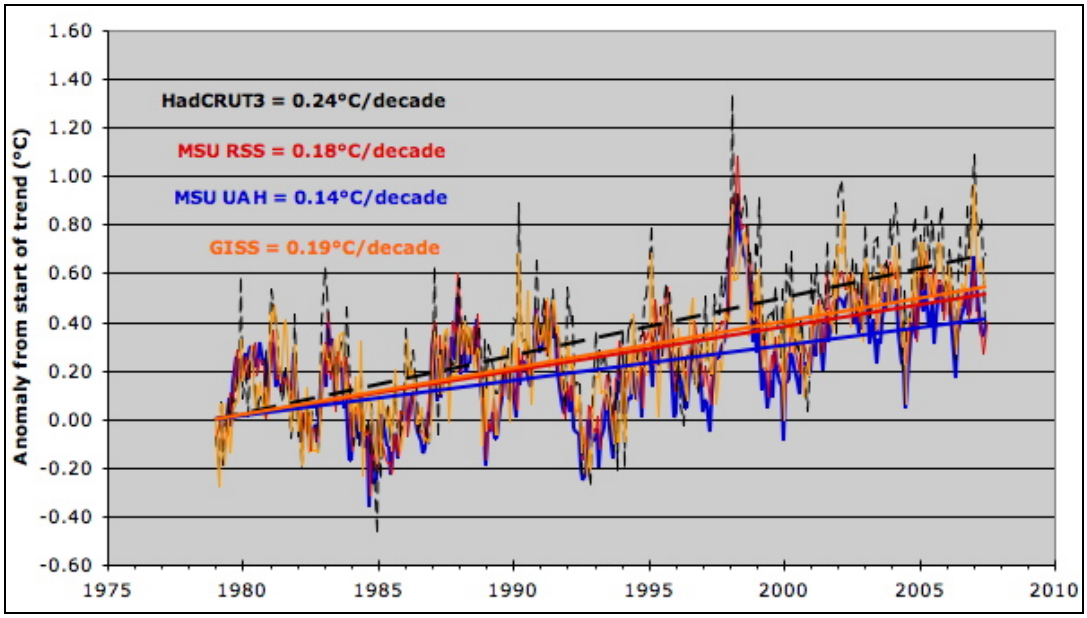
Το παραπάνω διάγραμμα δείχνει ότι ευσταθεί η άποψη ότι δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των μεταβολών του διοξειδίου του άνθρακα και των μεταβολών της γήινης θερμοκρασίας. Για αυτή τη θεώρηση υπάρχουν και άλλες ενδείξεις. Οι υποστηρικτές της θεωρίας των ηλιακών κηλίδων παρατήρησαν ότι η χρονική διακύμανση της μεταβολής της θερμοκρασίας δείχνει πιο υψηλή συσχέτιση με τις μεταβολές της ηλιακής δραστηριότητας παρά με τις μεταβολές του CO_2. Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται αυτές οι χρονικές διακυμάνσεις για τα τελευταία 150 περίπου χρόνια.



Σχήμα 5.16: Σύγριση της συσχέτισης της θερμοκρασίας με τις ηλιακές κηλίδες και με τη μεταβολή του CO_2 (Christensen, NOAA, 2000)

Ο καθηγητής Μετεωρολογίας του MIT, *Richard Lindzen*, υποστηρίζει ότι αν η ένταση του φαινομένου του θερμοκηπίου μπορούσε να προκαλέσει την υπερθέρμανση του πλανήτη, αυτό θα γινόταν «αισθητό» με διαφορετικό τρόπο από αυτόν που παρατηρούμε σήμερα. Σύμφωνα με την έρευνα του, αν ίσχυε η ένταση του φαινομένου του θερμοκηπίου, θα παρατηρούσαμε μεγαλύτερο ρυθμό θέρμανσης στά μέσα της τροπόσφαιρας, στα 10-12km ύψος, από αυτόν που παρατηρούμε στην επιφάνεια της Γης.

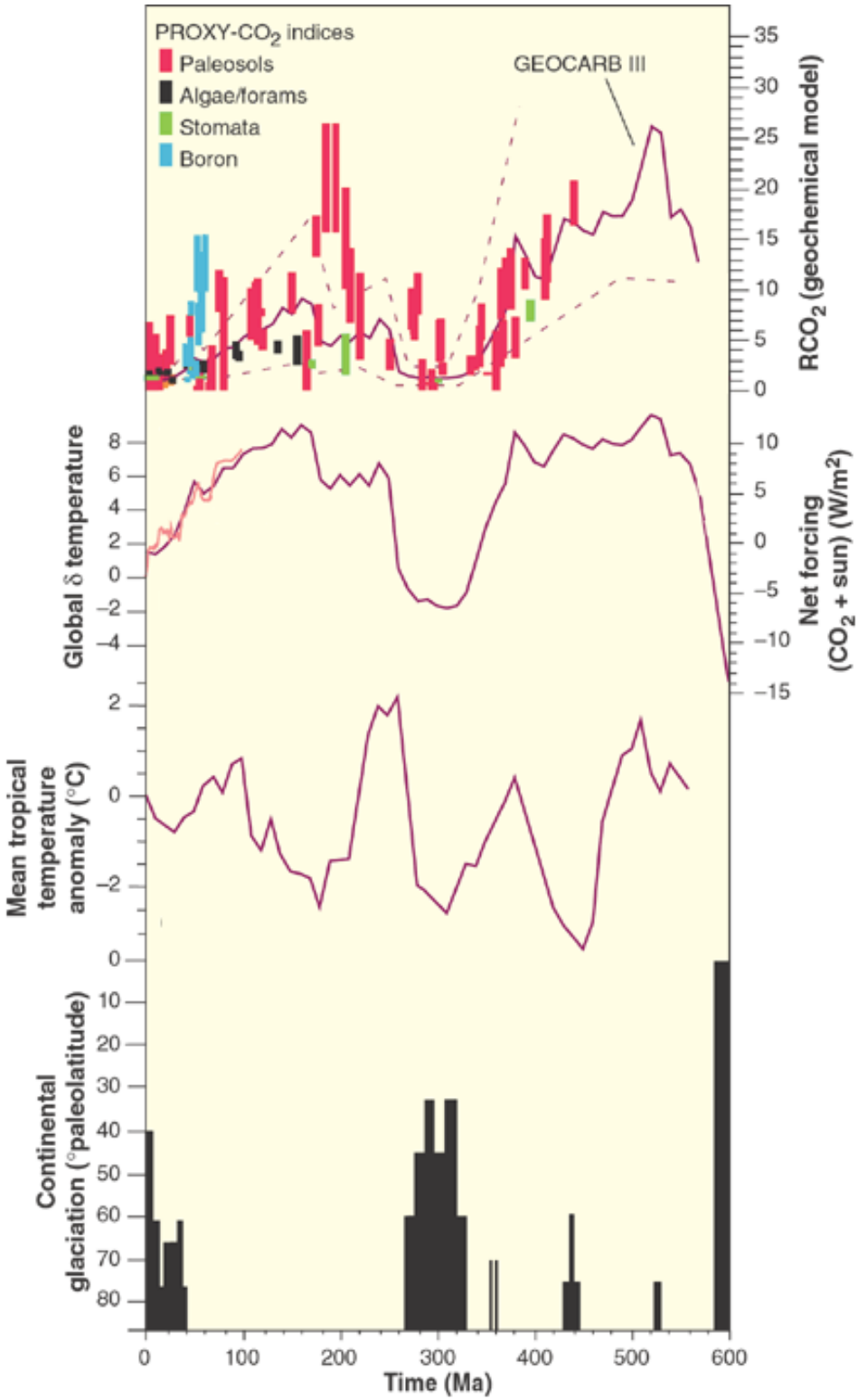
Όμως οι μετρήσεις του καθηγητή *John Christy*, δείχνουν ότι ισχύει ακριβώς το αντίθετο. Ο *John Christy*, επικεφαλής της ερευνητικής ομάδας της NASA και πρώην ηγετικό μέλος του IPCC (αποχώρησε λόγω διαφωνίας), έκανε ακριβεις μετρήσεις της θερμοκρασίας της τροπόσφαιρας (MSU-UAH, σχήμα 5.17). Σε σύγκριση της τάσης που βρήκε για τη θερμοκρασία με τις τάσεις από άλλες μετρήσεις (σχήμα 5.17), παρατηρούμε ότι οι μετρήσεις από δορυφόρους δείχνουν μικρότερες τάσεις από τις μετρήσεις της επιφανειακής θερμοκρασίας. Για παράδειγμα το HadCRUT3 δίνει μια αύξηση της τάσης της θερμοκρασίας στην επιφάνεια κατά 0.24°C/δεκαετία, ενώ το MSU-UAH δίνει για την τροπόπαυση 0.14°C/δεκαετία.



Σχήμα 5.17: Η διακύμανση των τάσεων της θερμοκρασίας με βάση τις μετρήσεις από δορυφόρους (μπλε, κόκκινο) και από μετρήσεις στην επιφάνεια (μαύρο, πορτοκαλί) την περίοδο 1979-2007 (Christy, Spenser, 2007)

Αυτές οι παρατηρήσεις δείχνουν, σύμφωνα με τον *John Christy*, ότι δεν ισχύει η θεωρία της «ανθρωπογενούς υπερθέρμανσης». Και τα μοντέλα που προσπαθούν να εκτιμήσουν την κλιματική αλλαγή, με βάση αυτή τη θεωρία, διαψεύδονται.

Μια άλλη άποψη, που υπάρχει στους επιστημονικούς κύκλους, λέει ότι η σχέση CO_2 και θερμοκρασίας είναι τόσο στενή, που ο ένας παράγοντας επηρρεάζει τον άλλο. Αυτοί οι επιστήμονες δέχονται τα συμπεράσματα του Monnin ότι η θερμοκρασία «οδηγεί» το CO_2, αλλά δέχονται επίσης και τη θεωρία της έντασης του φαινομένου του θερμοκηπίου, παρατηρώντας μια ευαισθησία του κλίματος στις μεταβολές του CO_2. Αυτές οι μελέτες φοβούνται ότι η θερμοκρασία μπορεί να οδηγηθεί σε θετικές αναδράσεις, με ολέθριες συνέπειες.



Σχήμα 5.18: Καταγραφές των αλλαγών εδώ και 600 εκατομμύρια χρόνια.
Οι μεταβολές του CO_2, σύμφωνα με το μοντέλο GEOCARBIII, και οι αντιστοιχες ενδείξεις, καθώς και η αβεβαιότητα για τις τάσεις του CO_2.
Μεταβολές στην ένταση της ακτινοβολίας.
Μεταβολές στη μέση τροπική θερμοκρασία.
Μεταβολές στην εξάπλωση των παγετώνων στα διάφορα γεωγραφικά πλάτη
(T.J.Crowley, R.A.Berner, 2007)

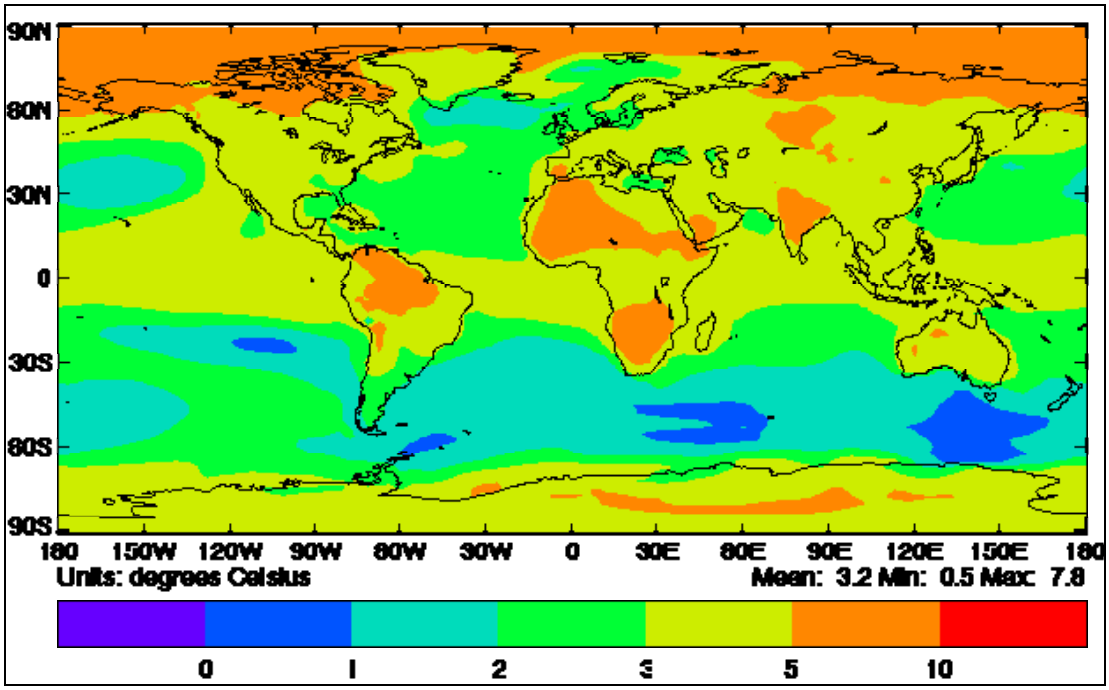
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΜΟΝΤΕΛΑ – ΠΡΟΒΛΕΨΗ

Πρόβλεψη του μελλοντικού κλίματος

Για να γίνει η πρόβλεψη των μελλοντικών μεταβολών του κλίματος, απαιτείται η βαθιά κατανόηση των μηχανισμών που ώθησαν στις κλιματικές αλλαγές του παρελθόντος, το εύρος των παραγόντων, ο ρόλος τους καθώς και η αλληλεπίδραση μεταξύ τους. Απαιτείται αυτοί οι παράγοντες να ποσοτικοποιηθούν και να μοντελοποιηθούν, ώστε να μπορέσουν να προσεγγίσουν τη μελλοντική αλλαγή του κλίματος. Φυσικά, αυτό είναι πολύ δύσκολο, όπως επισημάνθηκε και στο κεφάλαιο 2, αφού μέχρι στιγμής δεν έχει παρουσιαστεί μια πλήρης και αποδεκτή εξήγηση που να δικαιολογεί τη μεταβολή του κλίματος.
Στη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών έχει γίνει πλήρως κατανοητό ότι ένα και μόνο μοντέλο δεν είναι δυνατόν να εξηγήσει όλες τις φάσεις του κλίματος του πλανήτη και των μεταβολών του. Ο *Flint* εξηγεί ορισμένες φάσεις, με ένα μοντέλο που λαμβάνει υπόψη του τις μεταβολές της εντάσεως της ηλιακής ακτινοβολίας, σε

συνδυασμό με την ορογένεση. Αντίθετα ο *Panofsky* εξηγεί με επιτυχία άλλες φάσεις, λαμβάνοντας υπόψη τις μεταβολές τις τροχιάς της γης (βλ. κεφάλαιο 2 - κύκλοι του Milankovitch) σε συνδυασμό με την ορογένεση. Πολλές σύγχρονες μελέτες εξηγούν την κλιματική αλλαγή με βάση τη συγκέντρωση του CO_2 στην ατμόσφαιρα και μόνο, αφήνοντας άλλους παράγοντες εκτός και αδυνατώντας έτσι να εξηγήσουν τεράστιες φάσεις των κλιματικών αλλαγών του παρελθόντος.
Θα παρουσιαστούν σε αυτό το κεφάλαιο μερικά μόνο από τα μοντέλα που έχουν κατασκευαστεί ωστε να προβλέψουν τη μελλοντική κλιματική μεταβολή.



Σχήμα 6.1: Αλλαγές στην ετήσια μέση επιφανειακή θερμοκρασία από το 1960-1990 στο 2070-2100 (HadCM2, Hadley Centre for Climate Prediction)

Όπως είδαμε και στο κεφάλαιο 5, τα αποτελέσματα μιας μεγάλης αύξησης (7-12°C) της παγκόσμιας θερμοκρασίας, όπως προειδοποιούν οι επιστημονες του IPCC, θα είναι τήξη των πάγων, χερσαίων και θαλάσσιων, πλημμύρισμα παράκτιων οικισμών, εξαφάνιση πολλών ειδών ζωής στην ισημερινή ζώνη κλπ. Πέραν αυτών, φοβούνται ακόμα μεγαλύτερης εκτάσεως φαινόμενα, όπως ότι το στρώμα της μέγιστης πυκνότητας του όζοντος θα κατέλθει 20 χιλιόμετρα περίπου, γεγονός που θα προκαλέσει μια επιπλέον αύξηση της θερμοκρασίας της κατώτερης τροπόσφαιρας κατά 2°C. Σύμφωνα με άλλους επιστήμονες όμως, όλα αυτά αγγιζουν τα όρια της καταστροφολογίας.

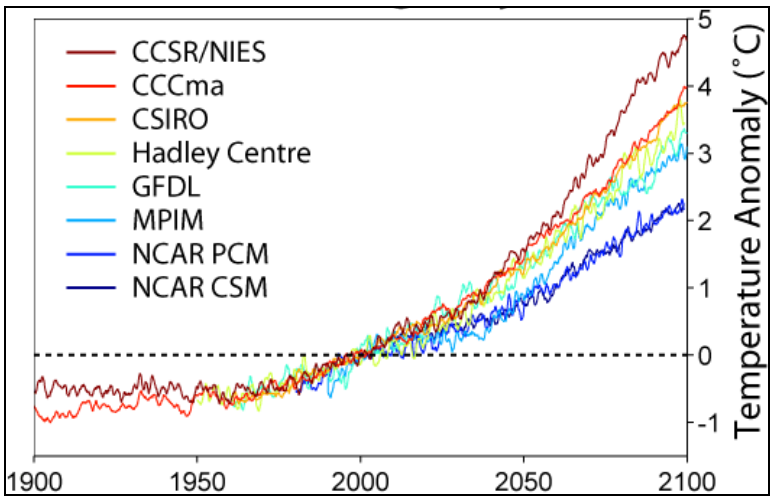
Μοντέλα που χρησιμοποιεί η IPCC

Η IPCC στην τελευταία τεχνική της έκθεση προβλέπει μια αύξηση στην παγκόσμια θερμοκρασία, στα επόμενα 100 χρόνια, της τάξης των 1.4 - 5.8°C. Αυτό το μεγάλο

εύρος στην πρόβλεψη οφείλεται κυρίως στην ασυμφωνία των μοντέλων που λήφθηκαν υπόψη και που παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

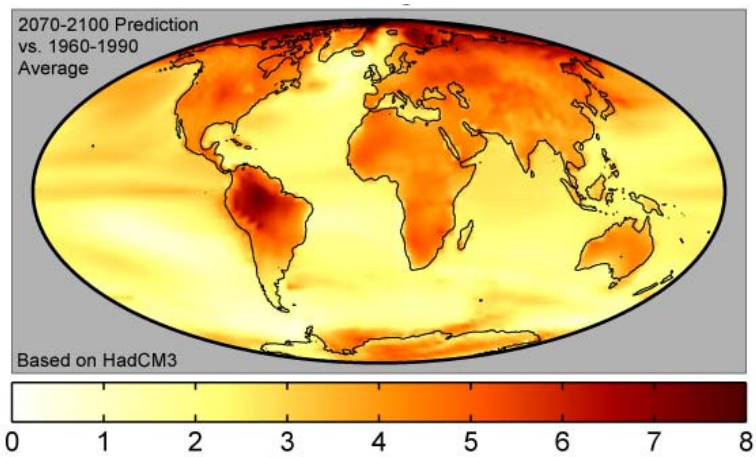
Πίνακας 6.2: Προβλεπόμενη αύξηση της θερμοκρασίας (σε °C) την περίοδο 2000-2100, πάνω από τις ηπείρους, πάνω από τους ωκεανούς και συνολικά

Model	Χέρσος	Ωκεανοί	Σύνολο
CCSR/NIES	7.0	3.8	4.7
CCCma	5.0	3.6	4.0
CSIRO	4.9	3.4	3.8
Hadley Centre	5.5	3.0	3.7
GFDL	4.2	3.0	3.3
MPI-M	4.6	2.4	3.0
NCAR PCM	3.1	2.0	2.3
NCAR CSM	2.7	2.0	2.2



Σχήμα 6.3: Προβλεπόμενη διακύμανση της θερμοκρασίας την περίοδο 2000-2100, σύμφωνα με διάφορα μοντέλα

Το παρακάτω σχήμα παρουσιάζει την προβλεφθείσα διανομή της αλλαγής θερμοκρασίας, λόγω της παγκόσμιας αύξησης της θερμοκρασίας, λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου, από το μοντέλο HadCM3 του Hadley Centre. Αυτές οι αλλαγές είναι βασισμένες στο scenario IS92a (business as usual) και οι προβολές του διοξειδίου του άνθρακα και των άλλων αερίων θερμοκηπίου, κατά τη διάρκεια του επόμενου αιώνα, υποθέτουν κανονικά επίπεδα οικονομικής ανάπτυξης και ότι κανένα σημαντικό μέτρο δεν ελήφθει για την καταπολέμηση των παγκοσμίων εκπομπών των αερίων θερμοκηπίου.

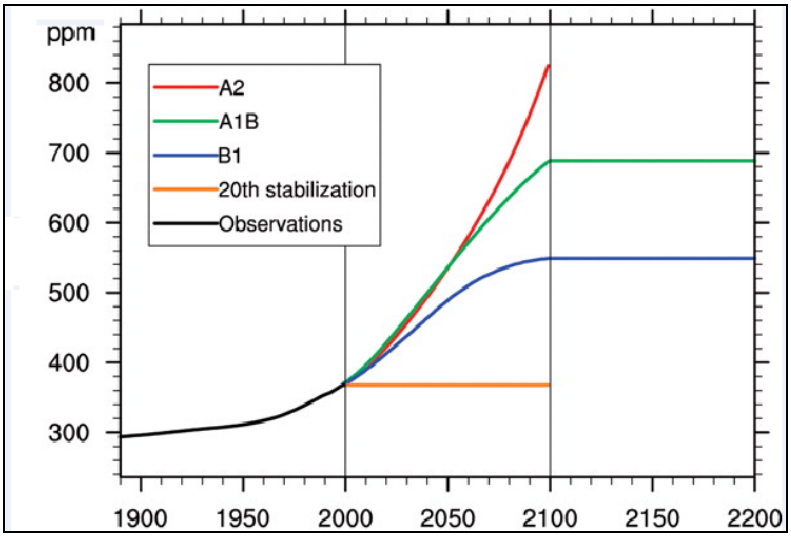


Σχήμα 6.4: Προβλεπόμενη διανομή της μεταβολής της θερμοκρασίας από το 1960-1990 στο 2070-2100 (HadCM3, Hadley Centre for Climate Prediction)

Τα χρώματα παρουσιάζουν τις προβλεφθείσες αλλαγές της επιφάνειακης θερμοκρασίας, που εκφράζονται ως μέση πρόβλεψη για το 2070-2100, σχετικά με τις μέσες θερμοκρασίες του 1960-1990. Η μέση αλλαγή είναι 3°C, τοποθετώντας αυτή την πρόβλεψη στα χαμηλά του εύρους 1.4-5.8°C, που πρόβλεψε η IPCC για την αλλαγή του κλίματος από το 1990 ως το 2100. Όπως ήταν αναμενόμενο, οι ήπειροι θερμαίνονται πιο ραγδαία από τους ωκεανούς, στο μοντέλο, με μέσο όρο 4.2°C και 2.5°C αντίστοιχα. Η χαμηλότερη προβλεφθείσα θέρμανση είναι 0.55°C, στα νότια της Ν.Αμερικής και η υψηλότερη είναι 9.2°C, στον αρκτικό ωκεανό (τα σημεία που υπερβαίνουν τους 8°C σχεδιάζονται μαύρα). Η κατανομή του μοντέλου είναι αρκετά ομογενοποιημένη, εκτός από την ισχυρή θέρμανση γύρω από τον αρκτικό ωκεανό, συνδεδεμένη με την τήξη των πάγων και την ισχυρή θέρμανση στη Νότια Αμερική, σχετική με τις προβλεφθείσες αλλαγές στον κύκλο του El Nino. Αυτή η διάταξη δεν είναι ένα καθολικό χαρακτηριστικό γνώρισμα των άλλων μοντέλων, δεδομένου ότι άλλα μοντέλα μπορούν να παράγουν μεγάλες αλλαγές σε άλλες περιοχές (πχ Αφρική ή Ινδία) και λιγότερο ακραίες αλλαγές σε μέρη όπως η Ν.Αμερική.

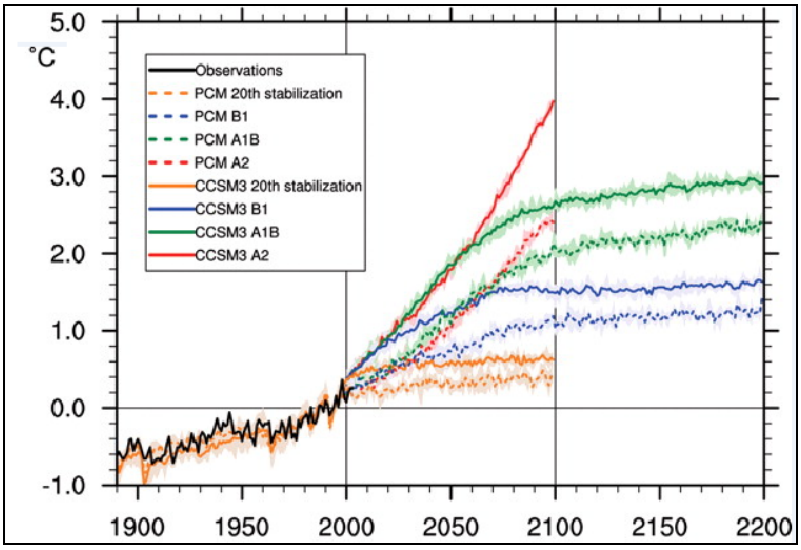
Μοντέλα του NCAR

Ο *Gerald Meehl*, προβλέπει ότι ακόμα κι αν γινόταν να σταθεροποιηθούν οι συγκεντρώσεις των αερίων του θερμοκηπίου σε κάποιο επίπεδο, η θερμική αδράνεια του κλιματικού συστήματος θα επιδρούσε πάλι σε επιπλέον αυξήσεις της θερμοκρασίας και το επίπεδο της θάλασσας θα συνέχιζε να ανεβαίνει. Η ερευνητική ομάδα του NCAR, πραγματοποίησε εξομοιώσεις με τα κλιματικά μοντέλα PCM και CCSM3 για να προσδιορίσει τις μελλοντικές αυξήσεις της θερμοκρασίας και της στάθμης της θάλασσας, κάτω από διάφορα σενάρια.

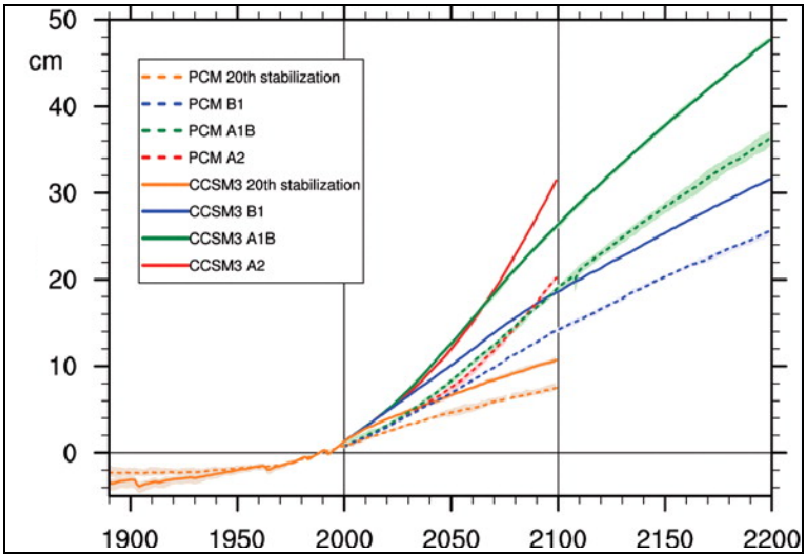


Σχήμα 6.5: Τα επίπεδα της συγκέντρωσης (ppm) για τα αέρια θερμοκηπίου, σύμφωνα με διάφορα σενάρια (G.Meehl, NCAR, 2004)

Τα διάφορα σενάρια σενάρια (σχήμα 6.5) αφορούν κυρίως την σταθεροποίηση της συγκέμτρωσης των αερίων θερμοκηπίου στη γήινη ατμόσφαιρα. Ανάλογα με την χρονική πορεία αυτών των ρύπων, τα δύο μοντέλα υπολόγισαν, όπως φαίνεται παρακάτω, την ανταπόκριση της παγκόσμιας θερμοκρασίας (σχήμα 6.6) και της στάθμης της θάλασσας (σχήμα 6.7) σε αυτές τις συνθήκες.



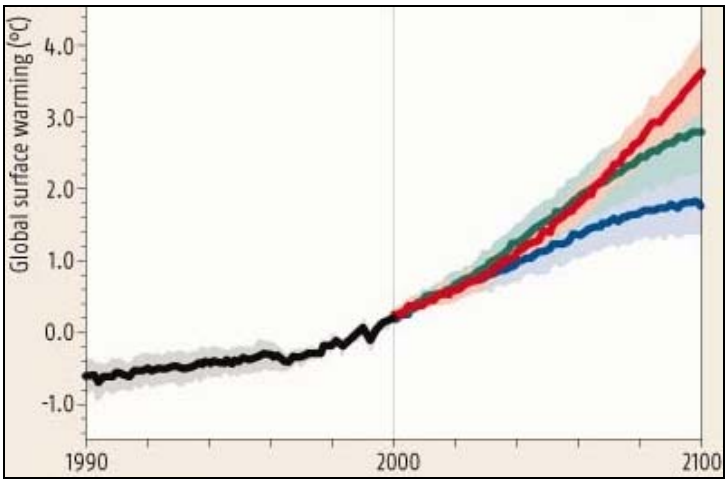
Σχήμα 6.6: Η προβλεπόμενη μεταβολή της θερμοκρασίας, μετά από 200 χρόνια, για τα διάφορα σενάρια και μοντέλα (G.Meehl, NCAR, 2004)



Σχήμα 6.7: Η προβλεπόμενη αύξηση της μέσης στάθμης της θάλασσας, μετά από 200 χρόνια, για τα διάφορα σενάρια και μοντέλα (G.Meehl, NCAR, 2004)

Ένα μέσο σενάριο (A1B-πράσινο) δίνει μια θέρμανση, στο τέλος του 21^{ου} αιώνα, των 1.9°C και 2.6°C, με 18cm και 25cm άνοδο της στάθμης της θάλασσας, αντίστοιχα για τα δύο μοντέλα.

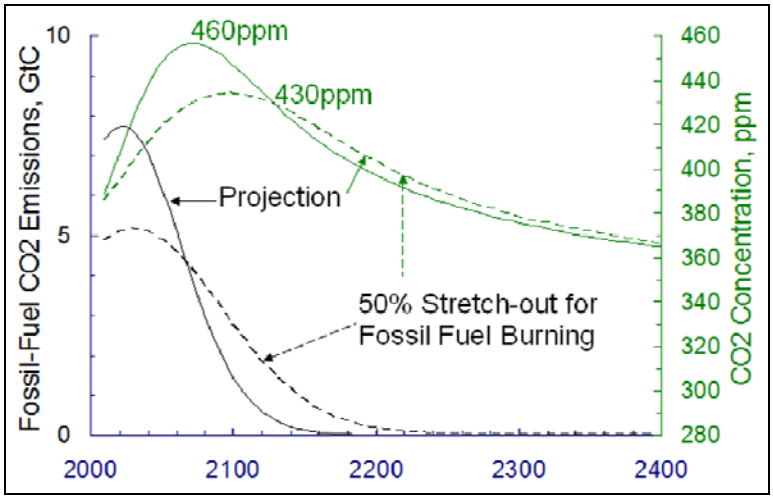
Η IPCC, σε τεχνική της έκθεση, συνεκτιμά τα διάφορα μοντέλα και προβλέπει ότι στα επόμενα 100 χρόνια, η θερμοκρασία, εξαιτίας της έντασης του φαινομένου του θερμοκηπίου, λόγω του ανθρωπογενούς CO_2, θα αυξηθεί 2-4°C.



Σχήμα 6.8: Εκτίμηση της μελλοντικής αύξησης της θερμοκρασίας με βάση τη μέση τιμή του 2000 (IPCC, 2006)

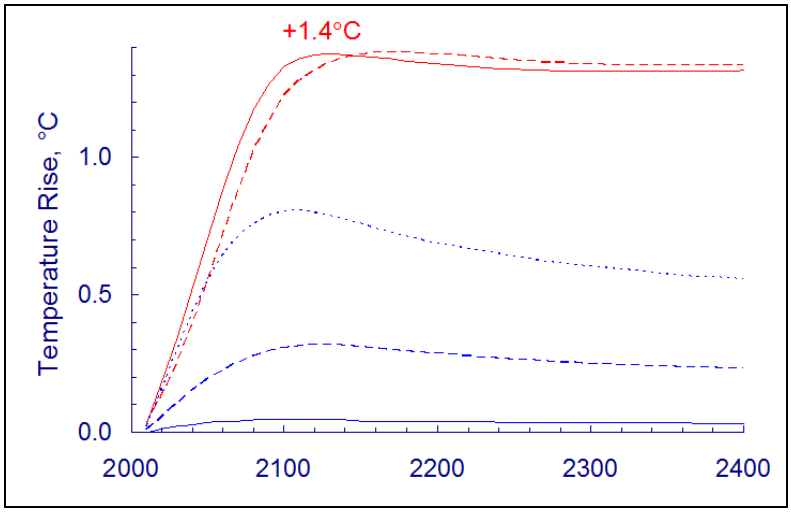
Μοντέλο MAGICC

Το μοντέλο αυτό χρησιμοποιήθηκε από τον *Tom Wigley* του NCAR, στην τρίτη τεχνική έκθεση της IPCC, για να εξομοιωθεί η μελλοντική συγκέντρωση του CO_2.



Σχήμα 6.9: Εξομοιώσεις της συγκέντρωσης του CO_2 και της καύσης των ορυκτών πόρων με το πρόγραμμα MAGICC (Tom Wigley, NCAR, 2006)

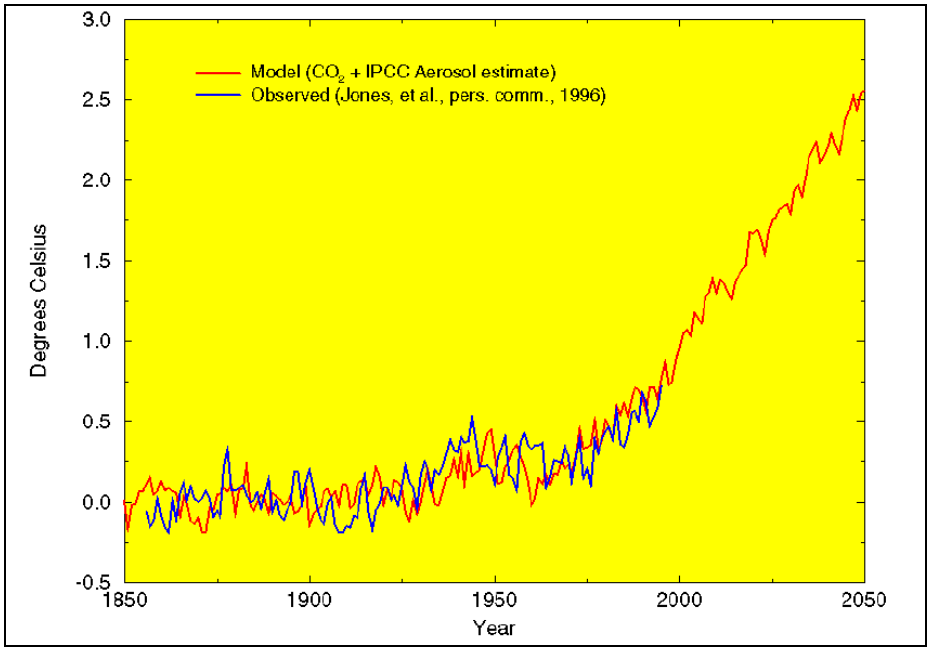
Τα αποτελέσματα του MAGICC δείχνουν ότι έστω και αν εξαντληθούν, μέσω καύσης, όλα τα αποθέματα του αργού πετρελαίου, του φυσικού αερίου και των στερεών καυσίμων η συγκέντρωση του CO_2 δεν θα υπερβεί τα 460ppm και η θερμοκρασία δεν θα ξεπεράσει τους 1,4°C.



Σχήμα 6.10: Εξομοιώσεις της μελλοντικής αύξησης της παγκόσμιας θερμοκρασίας με το πρόγραμμα MAGICC (Tom Wigley, NCAR, 2006)

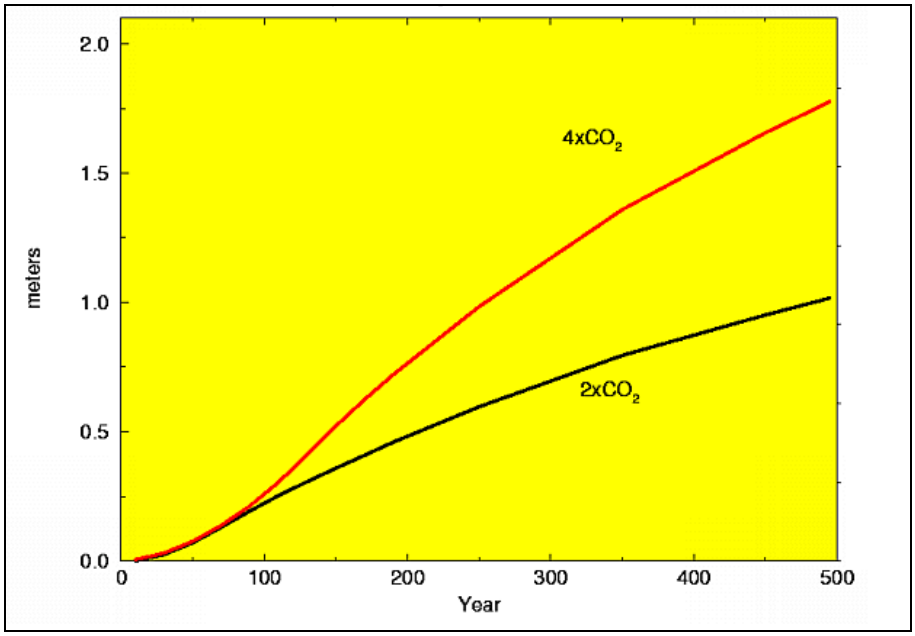
Μοντέλο του GFDL

Το μοντέλο του Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, της NOAA, προβλέπει πολύ μεγάλες αυξήσεις στη μελλοντική θερμοκρασία και στάθμη της θάλασσας. Το μοντέλο εξομοιώνει διάφορα σενάρια, με βάση τις διάφορες συγκεντρώσεις του CO_2 στο μέλλον. Πρώτα για συγκέντρωση ίδια με τη σημερινή και μετά για διπλάσιο και για τετραπλάσιο ρυθμό αύξησης.



Σχήμα 6.11: Η προβλεπόμενη μεταβολή της θερμοκρασίας (NOAA/GFDL)

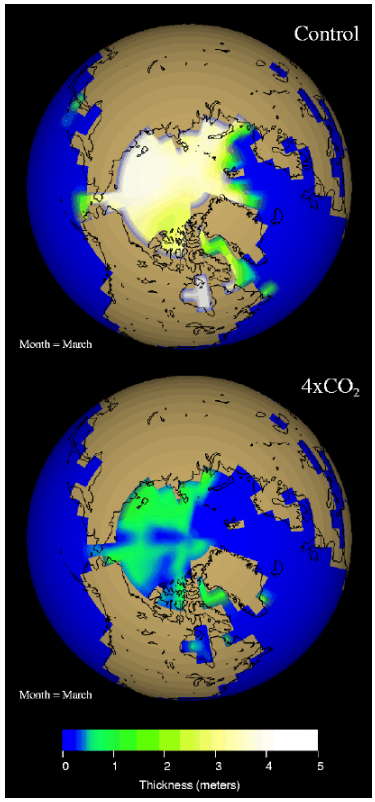
Η μεταβολή στην παγκόσμια θερμοκρασία, μέχρι το 2050, σύμφωνα με τα αποτελέσματα του GFDL, θα είναι +3.7°C, με διπλασιασμένο το ρυθμό αύξησης του CO_2. Η IPCC δίνει σε αυτή την πρόβλεψη ένα εύρος σφάλματος 1.5 - 4°C.



Σχήμα 6.12: Η προβλεπόμενη αύξηση της μέσης στάθμης της θάλασσας, μετά από 500 χρόνια, για τα δύο σενάρια (NOAA/GFDL)

Οι προβλέψεις του GFDL δείχνουν μια αύξηση στη στάθμη της θάλασσας, μετά από 500 χρόνια (σχήμα 6.12), 1.7 μέτρα για τετραπλάσιο CO_2 και 1 μέτρο για διπλάσιο CO_2. Και αυτό υπολογίζοντας μόνο την θερμική αδράνεια, ακόμα κι αν σταματήσει η αύξηση της συγκέντρωσης του CO_2 στην ατμόσφαιρα.

Η πρόβλεψη για την αύξηση της θερμοκρασίας, συνέπεια του τετραπλασιασμένου διοξειδίου του άνθρακα, σύμφωνα με το GFDL, είναι σχεδόν τόσο μεγάλη, όσο ήταν η διαφορά ανάμεσα στη σημερινή θερμοκρασία με αυτή που επικρατούσε στην ύστερη Κρητιδική περίοδο, 70-90 εκατομμύρια χρόνια πριν (σχήμα 5.15). Αποτέλεσμα αυτής της επιφανειακής θέρμανσης θα είναι η ραγδαία μείωση της παγοκάλυψης στην αρκτική θάλασσα, όπως φαίνεται στο διπλανό σχήμα.



Σχήμα 6.13: Η εξάπλωση και το πάχος της παγοκάλυψης στο βόρειο ημισφαίριο, μετά από 500 χρόνια, πάνω για τα σημερινά επίπεδα CO_2 και κάτω για τα τετραπλάσια. Η εξομοίωση γίνεται για το μήνα Μάρτιο (NOAA/GFDL)

Κριτική στα μοντέλα και στις προβλέψεις

Πολλοί επιστήμονες αρνούνται την ορθότητα των αποτελεσμάτων των κλιματικών προβλέψεων. Είτε γιατί διαφωνούν με το θεωρητικό υπόβαθρο που υπάρχει πίσω από τα μοντέλα, είτε γιατί πιστεύουν ότι δεν έχει βρεθεί ακόμα η θεωρία που να ερμηνεύει με ακρίβεια τις κλιματικές αλλαγές του παρελθόντος, άρα δε θα μπορεί μα προβλέχει με ακρίβεια και τις μελλοντικές.

Ο *Roy Spencer*, επικεφαλής της ομάδας Weather Sattelite Team της NASA, παρατηρεί ότι στη μοντελοποίηση του κλίματος και στην προσπάθεια πρόβλεψης της μελλοντικής θερμοκρασίας από τα υπολογιστικά μοντέλα, οι επιστήμονες έχουν να συσχετίσουν εκατοντάδες παράγοντες που παίζουν ρόλο. Ένας παράγοντας να μη ληφθεί υπόψη και υπάρχει πιθανότητα σοβαρού λάθους. Στην περίπτωση των πιο «δημοφιλών» και υπερ-δημοσιευμένων μοντέλων, που προβλέπουν τη μελλοντική παγκόσμια υπερθέρμανση, πολλές φορές δε λήφθηκε υπόψη ο παράγοντας «Ήλιος» ή ο παράγοντας «υδρατμός», ενώ αντίθετα δώθηκε υπερβολική βαρύτητα στον παράγοντα «ανθρωπογενές CO_2», με αποτέλεσμα τα μοντέλα να είναι εσφαλμένα και οι προβλέψεις μακριά από την πραγματικότητα. Στο ίδιο μήκος κύματος, ο καθηγητής *Ian Clark*, επισημαίνει ότι «αν δε συνεκτιμηθούν όλοι οι παράγοντες και με την αρμόζουσα βαρύτητα, σύμφωνα με την επιρροή τους στο κλίμα, αλλά και στη μεταξύ τους αλληλοεπιρροή, οι ηλιακές παραλλαγές, οι κοσμικές ακτίνες, το CO_2, ο υδρατμός, τα σύννεφα, κλπ, τότε το μοντέλο δεν αξίζει τίποτα».

Όπως είδαμε πιο αναλυτικά στο κεφάλαιο 5, σύμφωνα με τον *John Christy*, η ανάλυση και η μοντελοποίηση σε Η/Υ δεν μπορούν να μας δώσουν την ακρίβεια που χρειαζόμαστε. Πολλές φορές οι επιστήμονες που μοντελοποιούν το κλίμα δεν υπολογίζουν ως παράγοντα το νερό, ή το συνυπολογίζουν σε έναν παράγοντα που αφορά όλα τα αέρια του θερμοκηπίου. Αυτό είναι λάθος, καθώς το νερό, με τη μορφή ατμού στα σύννεφα είναι 30 έως 60 φορές πιο σημαντικό από ότι τα ίχνη των άλλων αερίων θερμοκηπίου, με αποτέλεσμα οι προσομοιώσεις του κλίματος και συνεπώς οι προβλέψεις να έχουν σοβαρό σφάλμα. Επίσης οι τυφώνες δεν «εκπροσωπούνται» στα περισσότερα μοντέλα, όπως και πολλές τροπικές καταιγίδες και έντονες τοπικές βροχοπτώσεις. Οι ηφαιστειακές εκρήξεις και οι μεγάλες δασικές πυρκαγιές και τα αποτελέσματα τους είναι εξαιρετικά δύσκολο να μοντέλοποιηθούν. Οι δια-ζωνικές επιπτώσεις κάποιων, μεγαλύτερης κλίμακας, δραστηριοτήτων όπως το ρεύμα Gulf Stream, ή τα φαινόμενα El Nino-La Nina, δεν έχουν ακόμα μηχανισμούς πολύ κατανοητούς και είναι σχεδόν αδύνατο να μοντελοποιηθούν. Ο «θόρυβος» (τυχαίες διακυμάνσεις) στα αποτελέσματα από τα υπολογιστικά μοντέλα είναι συχνά μεγαλύτερος από τα ίδια τα αποτελέσματα. Ένα καλό μοντέλο θα πρέπει να είναι σε θέση να προβλέψει ακόμη και το πολύ πρόσφατο παρελθόν, και το γεγονός ότι τα μοντέλα, που έχουν κατασκευαστεί μέχρι τώρα, δεν μπορούν, δείχνει σαφώς ότι θα πρέπει να αλλάξει ο τρόπος σκέψης μας και η εμπιστοσύνη μας στα υπολογιστικά μοντέλα. Ότι η έρευνα πρέπει να κατευθυνθεί στη μακροπρόθεσμη ανάλυση των πραγματικών στοιχείων, και στην

κατανόηση των πραγματικών μηχανισμών και διαδικασιών, στους παράγοντες αιτίας και αποτελέσματος.

Ακόμα, σύμφωνα με τον καθηγητή *Philip Stott*, το πρόγραμμα υπολογιστή που έδωσε στην IPPC τα αποτελέσματα της, πρόσφατα ελέγχθηκε αυστηρά με την είσοδο τυχαίων αριθμών, και ο υπολογιστής έδωσε την ίδια ανοδική τάση, ακόμα και με αυτά τα ανούσια δεδομένα εισροής. Αν αυτός ο ισχυρισμός των σκεπτικιστών είναι σωστός, διαψεύδει τις τεχνικές εκθέσεις της IPCC, καθώς και τις προβλέψεις για το μελλοντικό κλίμα που είδαμε παραπάνω.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΤΟΥ CO_2

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην προσπάθεια μας να μελετήσουμε τη σχέση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα και της θερμοκρασίας, ίσως βγουν χρήσιμα συμπεράσματα από την παρατήρηση της συμπεριφοράς του συντελεστή πτητικότητας (φ) του συντελεστή ενεργότητας (γ) και του συντελεστή κατανομής (k) του CO_2 για διάφορες θερμοκρασίες.

Το εύρος των θερμοκρασιών που θα δοκιμάσουμε, είναι το αντίστοιχο εύρος των μέσων ετήσιων θερμοκρασιών που έχουν μετρηθεί σε διάφορες περιοχές του πλανήτη (βλέπε πίνακα 7.1) δηλαδή 268 – 308 K (ή -5 – 35°C). Επιλέγουμε τις μέσες ετήσιες θερμοκρασίες και όχι κάποιες ακραίες τιμές γιατί έτσι θα έχουμε πιο σαφή αποτελέσματα για τη συμπεριφορά του συντελεστή πτητικότητας ανάλογα με τη θερμοκρασία. Επίσης προσέχουμε ότι η μέση τιμή του εύρους θερμοκρασιών που μελετάμε συμπίπτει με τη μέση θερμοκρασία του πλανήτη (15°C ή 288K) ώστε να έχουμε καλύτερη προσομοίωση της πραγματικής συμπεριφοράς του CO_2, σε σχέση με τη θερμοκρασία, σε πλανητικό επίπεδο.

Πίνακας 7.1 Μέση ετήσια θερμοκρασία για διάφορες περιοχές του πλανήτη (GHCN1 1992)

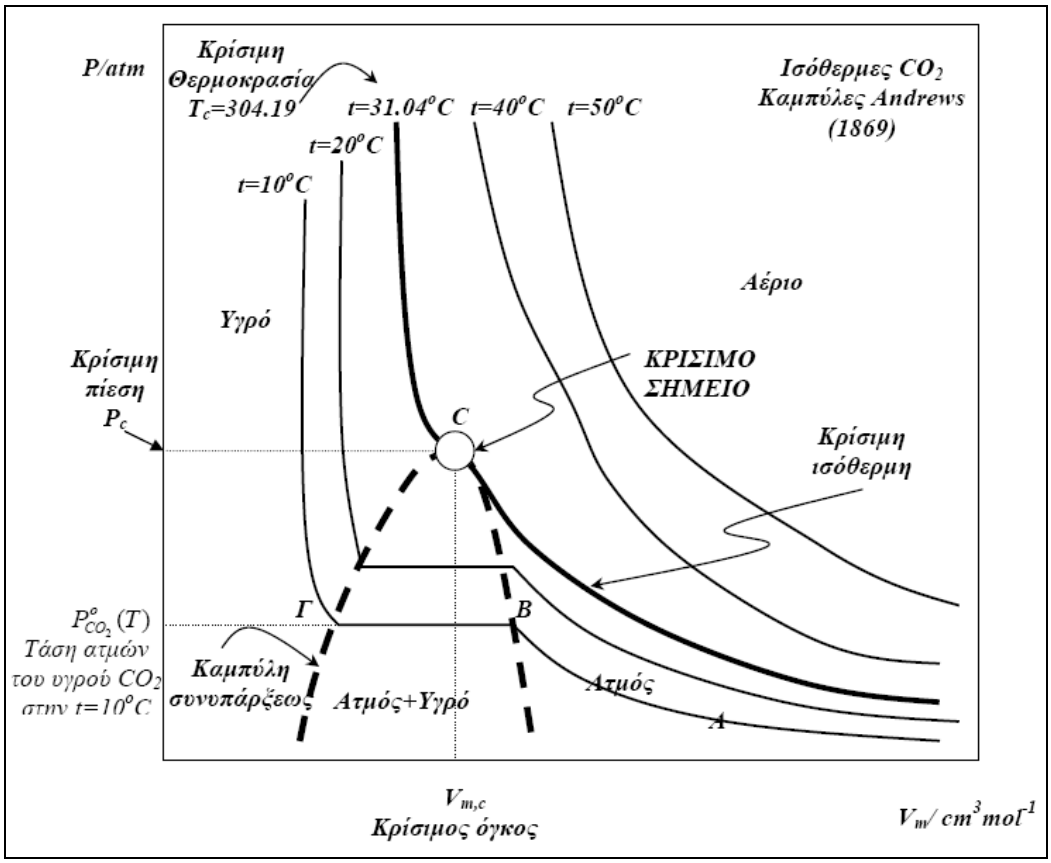
περιοχή		μέση θερμοκρασία	
πόλη/χώρα	συντ/νες	T (°C)	T (K)
DAWSON,CANADA	64.05°N 139.13°W	-5	268
ESPERANZA,ANTARCTICA	63.32°S 57.90°W	-4	269
FAIRBANKS,ALASKA	64.80°N 147.90°W	-3,4	269,6
MAGADAN,RUSSIA	59.58°N 150.78°E	-3	270
UN.INTERIOR,ALASKA	64.85°N 147.86°W	-2,5	270,5
GOTHAB,GREENLAND	64.33°N 50.04°W	-1,9	271,1
UST'ORDYNSKIJ	52.82°N 104.70°E	-1,4	271,6
TOMSK,RUSSIA	56.43°N 84.90°E	-0,6	272,4
GOOSE/NFLD,CANADA	53.32°N 60.40°W	0	273
MURMANSK,RUSSIA	68.97°N 33.00°E	0,2	273,2
BARDUFOSS,NORWAY	69.05°N 18.50°E	0,6	273,6
ULEABORG,FINLAND	64.90°N 25.40°E	0,7	273,7
KOZEVNIKOVO,RUSSIA	56.25°N 84.00°E	1,2	274,2
ELMENDORF,ALASKA	61.25°N 149.80°W	1,7	274,7
ANCHORAGE,ALASKA	61.17°N 150.00°W	2,1	275,1
TROMSO,MORWAY	69.68°N 18.89°E	2,7	275,7
CALGARY,CANADA	51.12°N 114.00°W	3,6	276,6
MOSCOW,RUSSIA	55.80°N 37.60°E	4	277
REYKJAVIK, ICELAND	64.13°N 21.90°W	4,6	277,6
MINSK,BELARUS	53.87°N 27.50°E	5,5	278,5
OSLO,NORWAY	59.90°N 10.60°E	6,4	279,4
PRINCE RUPERT,CANADA	54.30°N 130.40°W	7,3	280,3
TORONTO,CANADA	43.67°N 79.40°W	7,8	280,8
POTSDAM,GERMANY	52.40°N 13.10°E	8,5	281,5
PRAGUE,CZECH REP.	50.10°N 14.30°E	9,2	282,2
FINNINGLEY,UK	53.48°N 1.00°W	9,6	282,6
ILLINOIS,USA	40.95°N 90.38°W	10	283
PARIS,FRANCE	48.80°N 2.50°E	10,5	283,5
HEATHROW,UK	51.48°N 0.40°W	11	284
BEIJING, CHINA	39.93°N 116.20°E	11,8	284,8
NEW YORK,USA	40.78°N 73.96°W	12,6	285,6
HOBART,AUSTRALIA	42.88°S 147.30°E	13,3	286,3
TOKYO,JAPAN	35.68°N 139.69°E	14,5	287,5
WEPENER,S.AFRICA	29.73°S 27.03°E	15	288
BARCELONA,SPAIN	41.28°N 2.00°E	15,7	288,7
OKLAHOMA,USA	35.11°N 97.66°W	16,3	289,3
CAPE TOWN,S.AFRICA	33.97°S 18.60°E	16,8	289,8

SYDNEY,AUSTRALIA	33.95°S 151.18°E	17,5	290,5
SOUDA/CRETE,GREECE	35.47°N 24.10°E	18	291
ANTANANARIVO,MADAGASCAR	18.80°S 47.40°E	18,5	291,5
LIMA,PERU	12.00°S 77.09°W	19	292
LA PAZ,ARGENTINA	30.80°S 59.80°W	19,5	292,5
TRIPOLI,LIBYA	32.67°N 13.10°E	20	293
CARACAS,VENEZUELA	10.50°N 67.00°W	20,8	293,8
KAMPALA,UGANDA	0.32°N 32.60°E	21,2	294,2
TAIPEI,TAIWAN	25.03°N 121.52°E	22,1	295,1
CAIRO,EGYPT	30.13°N 31.40°E	21,7	294,7
NKONGSAMBA,CAMEROON	4.95°N 9.90°E	22,2	295,2
BAGHDAD,IRAQ	33.29°N 44.40°E	22,7	295,7
RIO DE JANEIRO,BRASIL	22.92°S 43.10°W	23,3	296,3
LUANDA,ANGOLA	8.85°S 13.20°E	23,7	296,7
DAKAR,SENEGAL	14.70°N 17.50°W	24,2	297,2
SANTA CLARA,CUBA	22.43°N 79.90°W	24,6	297,6
NEW DELHI,INDIA	28.58°N 77.20°E	25	298
BANGUI,CENT.AFR.REP.	4.40°N 18.50°E	25,7	298,7
KARACHI,PAKISTAN	24.90°N 67.09°E	26	299
IQUITOS,PERU	3.75°S 73.20°W	26,1	299,1
SANTIAGO,PANAMA	8.08°N 80.90°W	26,6	299,6
TUGUEGARAO,PHILIPPINES	17.62°N 121.73°E	27,1	300,1
BAMAKO,MALI	12.53°N 7.90°W	27,9	300,9
BANGKOK, THAILAND	13.73°N 100.50°E	28,1	301,1
ABECHE,CHAD	13.85°N 20.80°E	28,7	301,7
NIAMEY,NIGER	13.48°N 2.10°E	29	302
DJIBOUTI,DJIBOUTI	11.55°N 43.10°E	29,4	302,4
ASSAB,ETHIOPIA	13.07°N 42.70°E	30,2	303,2
KHARTOUM,SUDAN	15.60°N 32.50°E	31	304
KUWAIT,KUWAIT	29.22°N 47.98°E	32,5	305,5
DALLOL,ETHIOPIA	13.10°N 42.72°E	35	308

Πηγή δεδομένων: GHCN1, The Global Historical Climatology Network, αρχείο: 1697-1990, δεδομένα απο περίπου 6000 μετεωρολογικούς σταθμούς σε όλο τον κόσμο, NCDC's World Weather Records, CAC's Climate Anomaly Monitoring System (CAMS), NCAR's World Monthly Surface Station Climatology, P. Jones, Temperature data base for the world.

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Θα εισαχθούν οι έννοιες της κρίσιμης θερμοκρασίας, κρίσιμου όγκου και κρίσιμης πίεσης αερίου που αποτελούν τις λεγόμενες χαρακτηριστικές τιμές του αερίου. Επίσης θα εισαχθούν οι έννοιες της ανηγμένης θερμοκρασίας, ανηγμένου όγκου και ανηγμένης πίεσης αερίου, καθώς και η σχέση τους με τις κρίσιμες τιμές. Σκοπός ο υπολογισμός του συντελεστή πτητικότητας με βάση δεδομένες τιμές θερμοκρασίας και πίεσης.



Σχήμα 7.2 Καμπύλες Andrews για το CO_2 και χαρακτηριστικές τιμές του αερίου (Φυσικοχημεία, Ι.Γεντεκάκης 2004)

Από το σχήμα 7.2, που παρουσιάζει την «P-V-T» συμπεριφορά ενός πραγματικού αερίου, του CO_2, παρατηρούμε τα παρακάτω:

• Σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες (πχ 50°C) βλέπουμε μια υπερβολική συμπεριφορά της ισόθερμης, η οποία ακολουθεί τον νόμο του Boyle-Mariotte. Το αέριο δηλαδή συμπεριφέρεται ως ιδανικό. Σε σχετικά χαμηλότερη θερμοκρασία (πχ t = 40°C), παρατηρούμε μια τάση απόκλισης από την ιδανική συμπεριφορά.
• Ελαττώνοντας πλέον ελάχιστα την θερμοκρασία (παίρνοντας πιο πυκνά τις ισόθερμες) θα παρατηρήσουμε ότι στην θερμοκρασία των 31.04°C (ή 304.19 K) η ισόθερμη παρουσιάζει σημείο καμπής (το C). Το σημείο αυτό ονομάζεται κρίσιμο σημείο και είναι χαρακτηριστικό κάθε αερίου. Η εν λόγω ισόθερμη θα λέγεται κρίσιμη ισόθερμη.
• Σε χαμηλότερες θερμοκρασίες από αυτή που αντιστοιχεί στο κρίσιμο σημείο θα παρατηρήσουμε και ένα οριζόντιο τμήμα στις ισόθερμες καμπύλες. Ας το περιγράψουμε παρακάτω.
• Κατά την μεταβολή από το A→Γ ελαττώνοντας τον όγκο: Αρχικά το αέριο συμπεριφέρεται σχεδόν ως ιδανικό (A-B). Στο B εμφανίζεται υγρό. Στο B-Γ ο όγκος ελαττώνεται χωρίς να μεταβάλλεται η πίεση έως ότου όλο το αέριο **υγροποιηθεί** (η P αυτή σε αυτή την T είναι η **τάση ατμών**) . Στο Γ όλο το αέριο έχει υγροποιηθεί. Μια μικρή πλέον μείωση του όγκου οδηγεί σε τεράστια αύξηση της P.

• Αν ακολουθήσουμε την **κρίσιμη ισόθερμη** τότε όλα τα παραπάνω εκφυλίζονται στο κρίσιμο σημείο C, χωρίς να επιτευχθεί (οριακά) υγροποίηση του αερίου. Την πίεση, τον γραμμομοριακό όγκο και την θερμοκρασία που αντιστοιχούν στο κρίσιμο σημείο ονομάζουμε κρίσιμες σταθερές του αερίου (κρίσιμη πίεση, κρίσιμος όγκος, κρίσιμη θερμοκρασία).

Η διαδικασία της απευθείας μετάβασης από την στερεά φάση στην αέρια, που είναι επιτρεπτό σε ειδικές συνθήκες ονομάζεται εξάχνωση. Οι ουσίες εκείνες που έχουν πίεση τριπλού σημείου μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής, η ***εξάχνωση*** είναι ο μόνος τρόπος μετάβασης από την στερεά στην αέρια φάση σε ατμοσφαιρικές συνθήκες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το στερεό CO_2, ο επονομαζόμενος ξηρός πάγος. (Φυσικοχημεία, Ι.Γεντεκάκης 2004)

Ο Van der Waals εισήγαγε τις ανηγμένες μεταβλητές :

ΑΝΗΓΜΕΝΗ ΠΙΕΣΗ: $P_r = \frac{P}{Pcr}$

ΑΝΗΓΜΕΝΟΣ ΟΓΚΟΣ: $V_r = \frac{V}{Vcr}$

ΑΝΗΓΜΕΝΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ: $T_r = \frac{T}{Tcr}$

Ο Van der Waals δοκίμασε την μέθοδο, με την ελπίδα ότι τα αέρια υπό ίδιο ανηγμένο όγκο και ίδια ανηγμένη θερμοκρασία θα εξασκούν την ίδια ανηγμένη πίεση. Δεν διαψεύσθηκε. Η παρατήρηση ότι τα πραγματικά αέρια στην ίδια κατάσταση ανηγμένου όγκου και ανηγμένης θερμοκρασίας παρουσιάζουν την ίδια ανηγμένη πίεση ονομάστηκε αρχή των αντιστοίχων καταστάσεων. (Φυσικοχημεία, Ι.Γεντεκάκης 2004)

Για δεδομένες τιμές T_r και P_r μπορούν να υπολογιστούν οι συντελεστές ϕ^0 και ϕ^1 από πίνακες της βιβλιογραφίας (Θερμοδυναμική και περιβάλλον, Β.Γκέκας, 2003).

Ο συντελεστής πτητικότητας θα είναι:

$\phi = \phi^0 + \omega \cdot \phi^1$, όπου $\omega = 0,224$

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ϕ ΓΙΑ ΤΟ CO_2

Οι χαρακτηριστικές τιμές του διοξειδίου του άνθρακα είναι:
Κρίσιμη πίεση: Tcr = 304,19 K
Κρίσιμη θερμοκρασία: Pcr = 73,83 bar
Κρατάμε την πίεση σταθερή και ίση με 1 atm, δηλαδή όσο είναι η ατμοσφαιρική πίεση στην επιφάνεια της θάλασσας:
P = σταθ = 1 atm ≈ 1.01325 bar
η ανηγμένη πίεση Pr προκύπτει:

$$P_r = \frac{P}{Pcr} = \frac{1.01325}{73.83} = 0.013725$$

Η θερμοκρασία (T) θα ποικίλει σε εύρος 268-308 K (πίνακας 7.1) άρα για κάθε τιμή της T, η Tr θα προκύπτει (βλέπε πίνακα 7.3):

$$T_r = \frac{T}{Tcr} = \frac{T}{304{,}19K}$$

Για τις δεδομένες τιμές T_r και P_r υπολογίζονται οι συντελεστές ϕ^0 και ϕ^1 από πίνακες της βιβλιογραφίας με τη μέθοδο της γραμμικής παρεμβολής.
Ακολουθούν οι πίνακες για τα ϕ^0 και ϕ^1 (μόνο το κομμάτι τους που μας αφορά):

ϕ^0	Pr		
Tr	**0,0100**	**0,0500**	**0,013725**
0,80	0,9931	0,9683	0,990791
0,85	0,9954	0,9727	0,993286
0,90	0,9954	0,9772	0,993705
0,93	0,9954	0,9795	0,993919
0,95	0,9954	0,9817	0,994124
0,97	0,9954	0,9817	0,994124
0,98	0,9954	0,9817	0,994124
0,99	0,9977	0,9840	0,996424
1,00	0,9977	0,9840	0,996424
1,01	0,9977	0,9840	0,996424
1,02	0,9977	0,9840	0,996424

Πίνακας 7.3 Τιμές του ϕ^0 (Θερμοδυναμική και Περιβάλλον, Β.Γκέκας, 2003)*

ϕ^1	Pr		
Tr	**0,0100**	**0,0500**	**0,013725**
0,80	0,9954	0,9772	0,993705
0,85	0,9977	0,9863	0,996638
0,90	0,9977	0,9908	0,997057
0,93	0,9977	0,9931	0,997272
0,95	0,9977	0,9931	0,997272
0,97	1,0000	0,9954	0,999572
0,98	1,0000	0,9954	0,999572
0,99	1,0000	0,9954	0,999572
1,00	1,0000	0,9977	0,999786
1,01	1,0000	0,9977	0,999786
1,02	1,0000	0,9977	0,999786

Πίνακας 7.4 Τιμές του ϕ^1 (Θερμοδυναμική και Περιβάλλον, Β.Γκέκας, 2003)*

* Στην τρίτη στήλη του κάθε πίνακα έχουν προκύψει με γραμμική παρεμβολή οι τιμές των ϕ^0 και ϕ^1 για τις διάφορες T_r του πίνακα και για P_r = 0,013725. Παρακάτω, στον πίνακα 7.5, φαίνεται πως προκύπτουν με γραμμική παρεμβολή οι τιμές των ϕ^0

και ϕ^1 για συγκεκριμένες τιμές T_r χρησιμοποιώντας την τρίτη στήλη του κάθε πίνακα. Έτσι υπολογίζονται τα ϕ^0 και ϕ^1 για κάθε τιμή θερμοκρασίας του πλανήτη από τον πίνακα 7.1.

Ο συντελεστής πτητικότητας θα είναι: $\boldsymbol{\phi = \phi^0 + \omega \cdot \phi^1}$, όπου ω = 0,224.

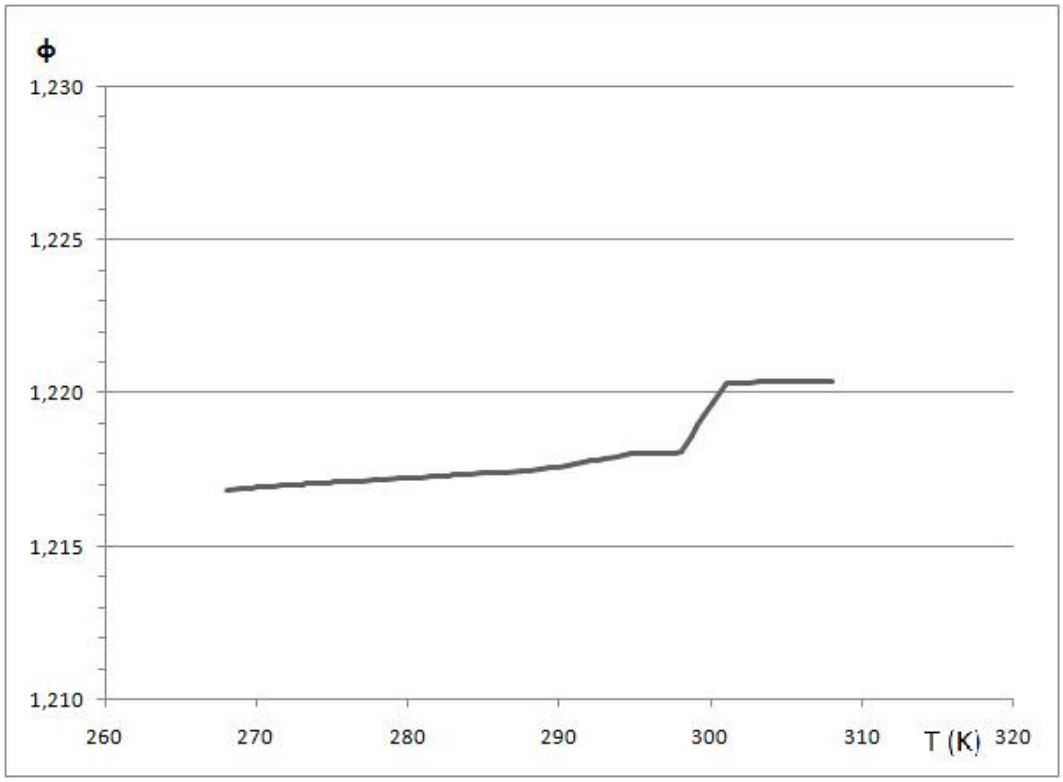
Ακολουθεί ο πίνακας 7.5 με τα αποτελέσματα:

Πίνακας 7.5 Υπολογισμός του συντελεστή πτητικότητας για διάφορες τιμές θερμοκρασίας

T (°C)	T (K)	Tr	ϕ0	ϕ1	ϕ
-5	268	0,88158	0,993551	0,996903	1,216857
-4	269	0,88487	0,993578	0,996931	1,216891
-3,4	269,6	0,88684	0,993595	0,996947	1,216911
-3	270	0,88816	0,993606	0,996958	1,216925
-2,5	270,5	0,88980	0,993620	0,996972	1,216941
-1,9	271,1	0,89178	0,993636	0,996989	1,216962
-1,4	271,6	0,89342	0,993650	0,997002	1,216978
-0,6	272,4	0,89605	0,993672	0,997024	1,217005
0	273	0,89803	0,993689	0,997041	1,217026
0,2	273,2	0,89868	0,993694	0,997046	1,217032
0,6	273,6	0,90000	0,993705	0,997057	1,217046
0,7	273,7	0,90033	0,993707	0,997060	1,217049
1,2	274,2	0,90197	0,993719	0,997072	1,217063
1,7	274,7	0,90362	0,993731	0,997083	1,217078
2,1	275,1	0,90493	0,993740	0,997093	1,217089
2,7	275,7	0,90691	0,993754	0,997107	1,217106
3,6	276,6	0,90987	0,993776	0,997128	1,217132
4	277	0,91118	0,993785	0,997137	1,217144
4,6	277,6	0,91316	0,993799	0,997151	1,217161
5,5	278,5	0,91612	0,993820	0,997173	1,217187
6,4	279,4	0,91908	0,993841	0,997194	1,217213
7,3	280,3	0,92204	0,993862	0,997215	1,217239
7,8	280,8	0,92368	0,993874	0,997227	1,217253
8,5	281,5	0,92599	0,993891	0,997243	1,217273
9,2	282,2	0,92829	0,993907	0,997259	1,217293
9,6	282,6	0,92961	0,993916	0,997269	1,217305
10	283	0,93092	0,993929	0,997272	1,217318
10,5	283,5	0,93257	0,993946	0,997272	1,217334
11	284	0,93421	0,993962	0,997272	1,217351

T (°C)	T (K)	Tr	ϕ0	ϕ1	ϕ
11,8	284,8	0,93684	0,993989	0,997272	1,217378
12,6	285,6	0,93947	0,994016	0,997272	1,217405
13,3	286,3	0,94178	0,994040	0,997272	1,217429
14,5	287,5	0,94572	0,994080	0,997272	1,217469
15	288	0,94737	0,994097	0,997272	1,217486
15,7	288,7	0,94967	0,994121	0,997272	1,217510
16,3	289,3	0,95164	0,994124	0,997461	1,217555
16,8	289,8	0,95329	0,994124	0,997650	1,217598
17,5	290,5	0,95559	0,994124	0,997915	1,217657
18	291	0,95724	0,994124	0,998104	1,217699
18,5	291,5	0,95888	0,994124	0,998293	1,217742
19	292	0,96053	0,994124	0,998482	1,217784
19,5	292,5	0,96217	0,994124	0,998671	1,217827
20	293	0,96382	0,994124	0,998860	1,217869
20,8	293,8	0,96645	0,994124	0,999163	1,217937
21,2	294,2	0,96776	0,994124	0,999314	1,217971
21,7	294,7	0,96941	0,994124	0,999504	1,218013
22,1	295,1	0,97072	0,994124	0,999572	1,218028
22,2	295,2	0,97105	0,994124	0,999572	1,218028
22,7	295,7	0,97270	0,994124	0,999572	1,218028
23,3	296,3	0,97467	0,994124	0,999572	1,218028
23,7	296,7	0,97599	0,994124	0,999572	1,218028
24,2	297,2	0,97763	0,994124	0,999572	1,218028
24,6	297,6	0,97895	0,994124	0,999572	1,218028
25	298	0,98026	0,994185	0,999572	1,218089
25,7	298,7	0,98257	0,994714	0,999572	1,218618
26	299	0,98355	0,994941	0,999572	1,218845
26,1	299,1	0,98388	0,995017	0,999572	1,218921
26,6	299,6	0,98553	0,995395	0,999572	1,219299
27,1	300,1	0,98717	0,995774	0,999572	1,219678
27,9	300,9	0,98980	0,996379	0,999572	1,220283
28,1	301,1	0,99046	0,996424	0,999581	1,220330
28,7	301,7	0,99243	0,996424	0,999624	1,220340
29	302	0,99342	0,996424	0,999645	1,220345
29,4	302,4	0,99474	0,996424	0,999673	1,220351
30,2	303,2	0,99737	0,996424	0,999729	1,220364
31	304	1,00000	0,996424	0,999786	1,220376
32,5	305,5	1,00493	0,996424	0,999786	1,220376
35	308	1,01316	0,996424	0,999786	1,220376

Ακολουθεί το διάγραμμα του συντελεστή πτητικότητας συναρτήσει της θερμοκρασίας.



Σχήμα 7.6 Διάγραμμα ϕ(T)

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Παρατηρούμε ότι με την αύξηση της θερμοκρασίας έχουμε ταυτόχρονη αύξηση του συντελεστή πτητικότητας ϕ του CO_2. Επίσης παρατηρείται μια απότομη μεταβολή προς τα πάνω για το ϕ, στο θερμοκρασιακό εύρος 298-301K.

Αυτό που μας ενδιαφέρει να εκμαιεύσουμε από αυτές τις παρατηρήσεις είναι αν αλλάζει η πτητικότητα του CO_2 στις διάφορες θερμοκρασίες που έχουν παρατηρηθεί σαν μέσες τιμές στις διάφορες περιοχές του πλανήτη. Αλλά αυτό που θα είναι πραγματικά χρήσιμο, θα είναι η παρατήρηση της συμπεριφοράς του συντελεστή κατανομής (k_{CO_2}) ανάμεσα σε 2 φάσεις (την υγρή και την αέρια) του CO_2 αφού αυτός ο συντελεστής σχετίζεται άμεσα με την τάση του CO_2 να περνά από τους ωκεανούς στην ατμόσφαιρα και το αντίθετο. Επομένως παρακάτω θα μελετήσουμε τη συμπεριφορά του συντελεστή κατανομής και του συντελεστή ενεργότητας για το CO_2.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ γ ΓΙΑ ΤΟ CO_2

Ο υπολογισμός του συντελεστή ενεργότητας (γ) αποτελεί απαραίτητη προυπόθεση για τον υπολογισμό του συντελεστή κατανομής αργότερα, καθώς ο λόγος του γ/φ μας δίνει τον συντελεστή κατανομής (k).

Υπάρχει έντονη «κινητικότητα» στην επιστημονική κοινότητα στην προσπάθεια προσέγγισης του γ συναρτήσει της θερμοκρασίας. Εδώ θα χρησιμοποιήσουμε το μοντέλο υπολογισμού του συντελεστή ενεργότητας UNIQUAC, του L.Kaewsichan.

Το μοντέλο χρησιμοποιεί τη Θερμοδυναμική και τη Στατιστική για να προσεγγίσει εναν ημι-εμπειρικό τύπο για το συντελεστή ενεργότητας:

$$\gamma = 192.876 - \frac{9624.41}{T} - 28.7488 \ln(T) + 0{,}0144074\, T \qquad \text{(Kamps et al.)}$$

Ο τύπος ισχύει για θερμοκρασίες T = 273-473K

Εφαρμόζουμε τον τύπο στις τιμές του πίνακα 7.5 και παρατηρούμε τη συμπεριφορά του γ με την αύξηση της θερμοκρασίας, παρακάτω στον πίνακα 7.7.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ k ΓΙΑ ΤΟ CO_2

Ο συντελεστής κατανομής ανάμεσα σε δύο φάσεις του CO_2 ισούται με το λόγο τον συγκεντρώσεων του CO_2 στις δύο φάσεις και με τον αντίστροφο λόγο των συντελεστών ενεργότητας. Δηλαδή:

$$k = \frac{y_{CO_2}}{x_{CO_2}} = \frac{\gamma_{CO_2}}{\phi_{CO_2}}$$

Όπου:

k : ο συντελεστής κατανομής ανάμεσα στην υγρή και την αέρια φάση

y : η συγκέντρωση του CO_2 στην αέρια φάση

x : η συγκέντρωση του CO_2 στην υγρή φάση

γ : ο συντελεστής ενεργότητας

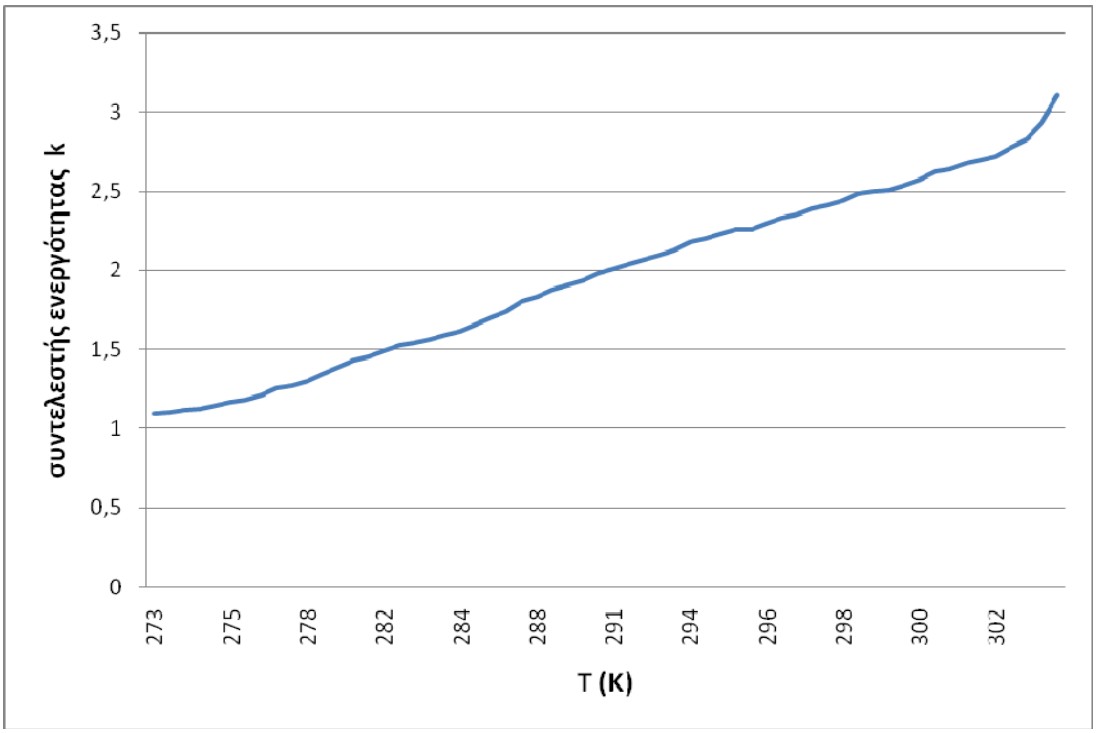
φ : ο συντελεστής πτητικότητας

Ακολουθεί ο πίνακας με τον υπολογισμό του k = γ/φ:

Πίνακας 7.7: Συντελεστές ενεργότητας και κατανομής για τις διάφορες θερμοκρασίες

T (K)	ϕ	ln(γ)	γ	k
273	1,217026	0,289388	1,335610	1,097438034
273,2	1,217032	0,297025	1,345848	1,105844214
273,6	1,217046	0,312230	1,366469	1,12277522
273,7	1,217049	0,316017	1,371654	1,127032844
274,2	1,217063	0,334871	1,397761	1,148469973
274,7	1,217078	0,353588	1,424168	1,170153562
275,1	1,217089	0,368462	1,445510	1,187677699
275,7	1,217106	0,390610	1,477882	1,214258951
276,6	1,217132	0,423468	1,527249	1,25479333
277	1,217144	0,437933	1,549501	1,273063189
277,6	1,217161	0,459470	1,583235	1,300760918
278,5	1,217187	0,491422	1,634639	1,342964558
279,4	1,217213	0,522952	1,687000	1,38595311
280,3	1,217239	0,554065	1,740313	1,429722062
280,8	1,217253	0,571172	1,770340	1,454373507
281,5	1,217273	0,594910	1,812867	1,489285745
282,2	1,217293	0,618403	1,855961	1,52466237
282,6	1,217305	0,631718	1,880839	1,545084944
283	1,217318	0,644955	1,905900	1,565655812
283,5	1,217334	0,661390	1,937483	1,591578475
284	1,217351	0,677703	1,969350	1,617733334
284,8	1,217378	0,703554	2,020922	1,660060832
285,6	1,217405	0,729098	2,073209	1,702973854
286,3	1,217429	0,751200	2,119542	1,740998419
287,5	1,217469	0,788555	2,200215	1,807203713
288	1,217486	0,803923	2,234288	1,835165252
288,7	1,217510	0,825245	2,282439	1,874678443
289,3	1,217555	0,843343	2,324124	1,9088444
289,8	1,217598	0,858301	2,359149	1,937543755
290,5	1,217657	0,879054	2,408619	1,978076834
291	1,217699	0,893744	2,444263	2,007279233
291,5	1,217742	0,908323	2,480160	2,036687867
292	1,217784	0,922793	2,516308	2,066300687
292,5	1,217827	0,937154	2,552705	2,096115603
293	1,217869	0,951406	2,589348	2,126130474
293,8	1,217937	0,973987	2,648482	2,174564715
294,2	1,217971	0,985175	2,678279	2,198968839
294,7	1,218013	0,999064	2,715739	2,229646981

T (K)	ϕ	ln(γ)	γ	k
295,1	1,218028	1,010100	2,745875	2,254360936
295,2	1,218028	1,012848	2,753433	2,260565482
295,7	1,218028	1,026528	2,791357	2,291701726
296,3	1,218028	1,042806	2,837168	2,329312419
296,7	1,218028	1,053576	2,867889	2,354534087
297,2	1,218028	1,066946	2,906490	2,386225303
297,6	1,218028	1,077569	2,937528	2,411708017
298	1,218089	1,088126	2,968706	2,437183537
298,7	1,218618	1,106447	3,023595	2,481166764
299	1,218845	1,114238	3,047246	2,500108734
299,1	1,218921	1,116827	3,055146	2,50643483
299,6	1,219299	1,129714	3,094771	2,53815509
300,1	1,219678	1,142501	3,134599	2,570022914
300,9	1,220283	1,162757	3,198741	2,621311234
301,1	1,220330	1,167782	3,214855	2,634413683
301,7	1,220340	1,182764	3,263383	2,67415888
302	1,220345	1,190203	3,287749	2,694115536
302,4	1,220351	1,200068	3,320343	2,7208102
303,2	1,220364	1,219615	3,385884	2,774488142
304	1,220376	1,238920	3,451884	2,828541298
305,5	1,220376	1,274474	3,576819	2,930915029
308	1,220376	1,331902	3,788242	3,104159431



Σχήμα 7.8: Διάγραμμα k (T)

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Παρατηρούμε ότι με την αύξηση της θερμοκρασίας έχουμε ταυτόχρονη, ραγδαία αύξηση του συντελεστή κατανομής (k) του CO_2. Η αύξηση είναι γραμμική, χωρίς αποτομες μεταβολές και από τους 273K που το k έχει τιμή περίπου 1.1, φτάνει την τιμή 3.1 στους 308K.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η αύξηση του k με την αύξηση της θερμοκρασίας, σημαίνει ταυτόχρονα αύξηση του λόγου των συγκεντρώσεων y/x. **Αυτό σημαίνει ότι η αύξηση της θερμοκρασίας ευνοεί το «πέρασμα» του CO_2 από την υγρή στην αέρια φάση**. Αυτό πάλι θα μπορούσε να σημαίνει ότι η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη είναι η αιτία για την αύξηση της συγκέντρωσης του CO_2 στη γήινη ατμόσφαιρα, εξαιτίας της έκλυσης ποσοτήτων CO_2 από τους ωκεανούς.

ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΕΣ

Δε μπορούμε να είμαστε βέβαιοι για αυτά τα αποτελέσματα, καθώς δεν έχουμε αναπτύξει ένα πλήρες μοντέλο. Θεωρητικά τα αποτελέσματα μας δείχνουν πως η αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί την αύξηση της συγκέντρωσης του CO_2. Όμως δεν συνυπολογίζουμε άλλους παράγοντες που πιθανον να παίζουν μεγάλο ρόλο και να επηρρεάζουν τη σχέση του CO_2 με τη θερμοκρασία. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι ένας από αυτούς. Επομένως πρέπει να ερευνηθεί ποιος από τους παράγοντες παίζει το μεγαλύτερο ρόλο, καθώς και αν θα έχουμε αρνητική ανάδραση που οδηγεί στην ισορροπία, ή θετική ανάδραση που οδηγεί στο χάος. Δηλαδή αν προβλέπεται αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη, η οποία θα μπορούσε να συμβάλλει στην αύξηση της ποσότητας του CO_2 στην ατμόσφαιρα, η οποία μπορεί να επιφέρει περεταίρω ένταση του «φαινομένου του θερμοκηπίου» και άρα νέα αύξηση της θερμοκρασίας κ.ο.κ τότε μιλάμε εναν τύπο αλυσιδωτής αντίδρασης (θετική ανάδραση) με ολέθρια αποτελέσματα. Όμως υπάρχουν και πολλοί άλλοι παράγοντες που επηρρεάζουν και οδηγούν σε ισορροπία. Μερικοί από αυτούς τους παράγοντες είναι η ηλιακή δραστηριότητα, οι άνεμοι, η υγρασία της ατμόσφαιρας, τα σύννεφα, η σχέση τους με τη θερμοκρασία και το CO_2, καθώς και η μεταξύ τους σχέση. Οι επιστήμονες που ασχολούνται με τη μοντελοποίηση και με την πρόβλεψη του παγκόσμιου κλιματος πρέπει να τους λάβουν σοβαρά υπόψιν.

Ένα πολύ καλό παράδειγμα για την πολυπλοκότητα αυτών των φαινομένων αναδεικνύεται από μελέτη του γαλλικού Εθνικού Κέντρου Επιστημονικών Ερευνών (CNRS). «Ο ωκεανός είναι η κυριότερη δεξαμενή απορρόφησης άνθρακα του

πλανήτη, αλλά εδώ και δέκα χρόνια χάνει ολοένα και περισσότερο την ικανότητά να παίζει αυτό το ρόλο, τόσο στο Βορρά όσο και στο Νότο» σημειώνει η μελέτη. Το φαινόμενο αυτό συνδέεται με την ενίσχυση των ανέμων, οι οποίοι ανεβάζουν από τα βάθη των ωκεανών στην επιφάνεια μεγάλες ποσότητες CO_2. Και οι άνεμοι όμως είναι αποτέλεσμα της αύξησης της θερμοκρασίας. Μείωση της ικανότητας των ωκεανών να απορροφούν το διοξείδιο του άνθρακα έχει επίσης παρατηρηθεί και στο βόρειο Ατλαντικό. Στο βόρειο ημισφαίριο, όμως, οι επιστήμονες δεν γνωρίζουν πού να αποδώσουν το φαινόμενο. «Θα μπορούσε να οφείλεται στην κυκλοφορία των νερών που έχει αλλάξει, σε μια αντίδραση των οικοσυστημάτων ή σε βιολογικές δραστηριότητες, όμως δεν έχουμε ακόμη την οριστική απάντηση», σύμφωνα με τον Nicolas Metzl, του ινστιτούτου «Pierre Simon Laplace». Μια άλλη έρευνα της Δρ Σούζαν Σόλομον από το NOAA, επισημαίνει το ρόλο των ωκεανών στη μελέτη της «κλιματικής αλλαγής». Σύμφωνα με τη μελέτη, οι ωκεανοί αφενός επιβραδύνουν, αλλά αφετέρου παρατείνουν την κλιματική αλλαγή. «Αρχικά, το νερό απορροφά την πλεονάζουσα θερμότητα και επιβραδύνει έτσι την αύξηση της μέση θερμοκρασίας του αέρα. Όταν όμως ο αέρας αρχίσει να ψύχεται, οι ωκεανοί εκπέμπουν τη συσσωρευμένη ενέργεια πίσω στην ατμόσφαιρα και την αναθερμαίνουν.» (Suzan Solomon, 2009). Αυτή η κλιματική «μνήμη» των ωκεανών μπορεί να επιδρά στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος μέχρι και για 800-1000 χρόνια (βλ. κεφ. 2 και 5).

Όπως είδαμε αναλυτικά στο κεφάλαιο 5, η επιφάνεια της Γης είναι κατά 70% νερό. Το νερό έχει πολύ μεγαλύτερη θερμοχωρητικότητα από τη χέρσο και την ατμόσφαιρα. Έτσι, το μεγαλύτερο τμήμα από την εισερχόμενη θερμότητα του ήλιου απορροφάται από τους ωκεανούς, τις θάλασσες και τις λίμνες. Οι θάλασσες χρειάζονται πολύ περισσότερο χρόνο για να ψυχθούν ή να θερμανθούν σε σύγκριση με τη γη. Όπως αναφέρει ο Carl Wunch, καθηγητής ωκεανογραφίας του MIT, οι ωκεανοί έχουν «μνήμη κλιματικών αλλαγών», χρειάζονται εκατοντάδες χρόνια για να αλλάξουν θερμοκρασία, επειδοί είναι τεράστιοι σε όγκο. Αυτό σημαίνει ότι η αποθήκευση θερμότητας από τους ωκεανούς είναι επίσης τεράστια. Η θέρμανση των ωκεανών προκαλεί την έκλυση τεράστιων ποσοτήτων διοξειδίου του άνθρακα. Ο μηχανισμός αυτός δεν είναι ακόμα γνωστός, αλλά πολλοί πιστεύουν ότι πρόκειται για ένα φαινόμενο κάθετης ανάμιξης των ωκεανών (Toggweiler 1999).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΚΟΙΝΩΝΙΚΕΣ ΠΡΟΕΚΤΑΣΕΙΣ

Θα συνοψίσουμε σε αυτό το κεφάλαιο τα συμπεράσματα, από κοινωνικής πλευράς, του ζητήματος της κλιματικής μεταβολής, καθώς και θα επεκταθούμε σε προτάσεις, κοινωνικά συμπεράσματα, ερωτήματα και παρατηρήσεις, που προκύπτουν, πάνω σε όσα συνεπάγονται του ζητήματος αυτού.

Ένα πρώτο ερώτημα είναι γιατί, αν και υπάρχουν τόσες ενστάσεις για την ορθότητα της θεωρίας, να βομβαρδιζόμαστε καθημερινά από νέα για τη λεγόμενη «ανθρωπογενή υπερθέρμανση του πλανήτη»; Γιατί δεν παρουσιάζονται ισότιμα οι απόψεις και οι θεωρίες γύρω από την κλιματική μεταβολή και παρατηρείται ένα «μονοπώλιο» μιας μόνο άποψης; Αποτέλεσμα αυτού, είναι ο μέσος άνθρωπος, αλλά και η πλειοψηφία της ακαδημαϊκής και επιστημονικής κοινότητας που δεν έτυχε να ασχοληθεί με το ζήτημα, να θεωρεί δεδομένη τη θεωρία της

υπερθέρμανσης, χωρίς να απαιτεί τα στοιχεία που την αποδεικνύουν, ή χωρίς να γνωρίζει ότι υπάρχουν και άλλες θεωρίες ερμηνείας των κλιματικών μεταβολών.

Από την πλευρά των ΜΜΕ, αυτή η μεροληψία, εξηγείται εύκολα. Καταρχήν, η επίσημη επιστημονική θέση (IPCC) για την παρατηρούμενη θέρμανση του πλανήτη είναι ότι προκαλείται από την ανθρώπινη επέμβαση στις μεταβολές της συγκέντρωσης του CO_2, λόγω της καύσης άνθρακα, και της ενίσχυσης του φαινομένου του θερμοκηπίου. Είναι λογικό λοιπόν, τα ΜΜΕ να προβάλλουν περισσότερο αυτή την άποψη, και μάλιστα, όσον αφορά την πρόβλεψη, τις πιο «καταστροφολογικές» εκφάνσεις της. Είναι πιο επικερδείς, για τη βιομηχανία του θεάματος, οι προβλέψεις για την καταστροφή της Γης, την πλήρη τήξη των πάγων, την άνοδο της στάθμης της θάλασσας που θα καλύψει όλες τις παραθαλάσσιες περιοχές, κλπ. Όπως αναφέρεται πολύ εύστοχα στο ντοκυμαντέρ «*the great global warming swindle*», τα διεθνή ΜΜΕ, ένα μόλις χρόνο πριν βγει στη δημοσιότητα η θεωρία της παγκόσμιας υπερθέρμανσης, προειδοποιούσαν για το ενδεχόμενο η Γη να εισέρχεται σε μια νέα περίοδο παγετώνων, όπως προέβλεπαν τότε οι διάφορες έρευνες, με όξυνση των ακραίων κλιματικών φαινομένων και με παγοκάλυψη μεγάλου τμήματος του πλανήτη.

Από την πλευρά των κυβερνήσεων, που στηρίζουν όλη τους την ενεργειακή πολιτική στην επιστημονική βάση της θεωρίας της ανθρωπογενούς υπερθέρμανσης, η μεροληψία μπορεί να εξηγηθεί μόνο με την ύπαρξη πολιτικών και οικονομικών συμφερόντων. Πολλές κυβερνήσεις, σύμφωνα με τον καθηγητή *Philip Stott,* χρησιμοποιούν τις ανυπόστατες ανάλυσεις της IPCC σαν βάση για την ενεργειακή πολιτική τους και την εφαρμογή ελέγχων και φορολόγησης με βάση τις εκπομπές άνθρακα. Ο ίδιος υπενθυμίζει ότι η IPCC είναι μια πολιτική επιτροπή και άρα τα συμπεράσματα της θα καθοδηγούνται από την πολιτική. Όμως, ποιό παραπολιτικό ή οικονομικό κίνητρο να βρίσκεται πίσω από αυτή την, σύμφωνα με τους σκεπτικιστές, οργανωμένη παραπληροφόρηση;

Τη δεκαετία του 1980, εν μέσω της μεγάλης κρίσης του πετρελαίου, όλες οι κυβερνήσεις των ισχυρών κρατών αντιμετώπιζαν το λεγόμενο «ενεργειακό πρόβλημα». Οι απεργίες που ξέσπασαν είχαν αποτέλεσμα την πτώση πολλών κυβερνήσεων. Η απεργία των εργατών στα ορυχεία της Αγγλίας φόβισε την αγγλική κυβέρνηση ότι θα πάθει το ίδιο. Η Μ.Θάτσερ μίλησε για «οργανωμένη επανάσταση» και ανακοίνωσε ότι θα γίνει προσπάθεια αποδέσμευσης της Αγγλίας από την απόλυτη εξάρτηση από το πετρέλαιο, προαναγγέλοντας ουσιαστικά την προώθηση της πυρηνικής ενέργειας. Όμως, η κοινή γνώμη ήταν αρνητικά φορτισμένη ενάντια στην πυρηνική ενέργεια, λόγω των τεράστιων επιπτώσεων που έχει ένα πιθανό πυρηνικό ατύχημα. Για να ξεπεράσει αυτό το εμπόδιο, σύμφωνα με τον *R.Lindzen*, η Θάτσερ χρηματοδότησε τη Royal Society ώστε να παράγει έρευνες που θα προβλέπουν μια μεγάλη απειλή για τον πλανήτη, ακόμα μεγαλύτερη κι από

αυτή της πυρηνικής καταστροφής. Έτσι, ακούστηκε για πρώτη φορά η θεωρία της ανθρωπογενούς υπερθέρμανσης του πλανήτη.

Εκείνη την περίοδο ιδρύθηκε η IPCC, που στην πρώτη της τεχνική έκθεση προέβλεψε τις καταστροφικές συνέπειες της καύσης του άνθρακα, με την απελευθέρωση του CO_2 στην ατμόσφαιρα, στρώνοντας κόκκινο χαλί, σύμφωνα με τον *R.Lindzen*, στους χρηματοδότες της, στις κυβερνήσεις των ΗΠΑ, της Αγγλίας κλπ, για την υποδοχή της πιο «καθαρής» πυρηνικής ενέργειας.

Μέσα σε λίγα μόνο χρόνια, στις ΗΠΑ, η χρηματοδότηση των επιστημονικών ερευνών που σχετίζονται με την υπερθέρμανση του πλανήτη, από τα $170.000/έτος, έφτασαν τα $2.000.000/έτος, πάνω από τα δεκαπλάσια, σε σύνολο δαπανών $4.000.000/έτος για την περιβαλλοντική έρευνα. Και η χρηματοδότηση αυτή, σύμφωνα με επώνυμες καταγγελίες, έγινε επιλεκτική και μεροληπτική, ώστε δημιούργησε σταδιακά την «ηγεμονία» της προαναφερθείσας θεωρίας έναντι των άλλων θεωριών, που είτε αδυνατούσαν να γίνουν αντικείμενο έρευνας, είτε δεν τύγχαναν του ίδιου εύρους δημοσιοποίησης.

Από την άλλη πλευρά, οι υποστηρικτές της θεωρίας της ανθρωπογενούς υπερθέρμανσης, όπως ο *Al Gore*, κατηγορούν τους «αντιφρονούντες» ότι χρηματοδοτούνται για τις έρευνες τους από τις εταιρείες πετρελαίου, για να παραπλανήσουν την κοινή γνώμη και να συνεχιστεί ανενόχλητα η κάυση των ορυκτών καυσίμων και άρα η κερδοφορία των χορηγών τους. Πράγματι σε πολλές μελέτες, «αποποινικοποιείται» πλήρως το CO_2 για την οποιαδήποτε επιρροή του στα περιβαλλοντικά προβλήματα, με τρόπο προκλητικό και αβάσιμο.

Συμπερασματικά, όσον αφορά τη διερεύνηση της κλιματικής μεταβολής, πρέπει να ενισχυθεί η ανεξάρτητη, πρωτοβάθμια έρευνα, να υπάρξει οικονομική ανεξαρτησία, άρα και πολιτική και ακαδημαϊκή ανεξαρτησία αυτής της έρευνας, με κρατική χρηματοδότηση ανεξέλεγχτη από τα δύο κέντρα συμφερόντων που αναφέρθηκαν πριν. Απαιτείται η βαθιά μελέτη των μηχανισμών και των φυσικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα σε αυτό το φαινόμενο, μακριά από «δαιμονοποιήσεις», απλουστεύσεις και στημένες έρευνες με οικονομικά κίνητρα στο παρασκήνιο τους.

Αν από αυτή την έρευνα αποδειχτεί ότι το διοξείδιο του άνθρακα προκαλεί κλιματική αστάθεια, πρέπει προφανώς να βρεθεί τρόπος ελάττωσης των εκπομπών του. Ακόμα και αν δεν ευθύνονται οι ανθρωπογενείς ρύποι, όπως το CO_2, για την υπερθέρμανση, σίγουρα ευθύνονται για άλλα προβλήματα, όπως ο αποπνικτικός αέρας που αναπνέουμε στις μεγαλουπόλεις, πιθανή αιτία αναπνευστικών προβλημάτων, αλλεργιών, ίσως και καρκινοπαθήσεων.

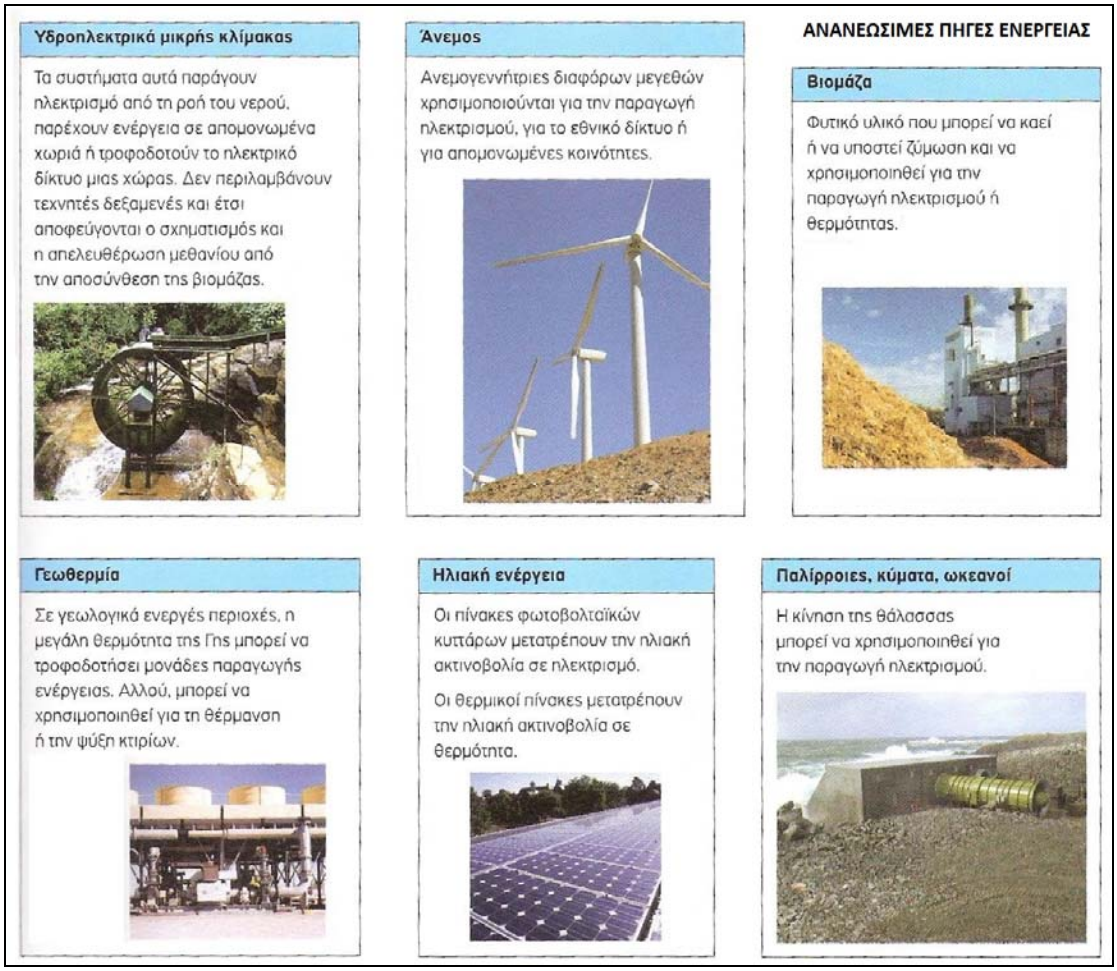
Η αντικατάσταση, όμως, των ορυκτών καυσίμων δεν πρέπει να γίνει με τη χρήση της πυρηνικής ενέργειας. Δεν είναι στο πεδίο της εργασίας, γι'αυτό και δε θα αναλυθούν, οι πιθανές επιπτώσεις από τη χρήση της πυρηνικής ενέργειας. Όμως το πρόσφατο παράδειγμα του *Τσέρνομπιλ*, της τεράστιας περιβαλλοντικής καταστροφής, των χιλιάδων θανάτων, των τερατογεννέσεων, κι από την άλλη το παράδειγμα της *Χιροσίμα* και του *Ναγκασάκι*, με την πολεμική χρήση της πυρηνικής ενέργειας, μιλούν μόνα τους. Η «προπαγάνδα» της Θάτσερ, βέβαια, δεν πήγε χαμένη. Η κοινή γνώμη, ίσως λόγω άγνοιας, τάσσεται όλο και σε μεγαλύτερο βαθμό ευνοϊκή για την πυρηνική ενέργεια. Σύμφωνα με δημοσίευμα της *Ημερησία*ς, στις 4/7/2008, η συντριπτική πλειοψηφία των Ελλήνων, το 82%, είναι κατηγορηματικά αντίθετη στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από πυρηνικά εργοστάσια σύμφωνα με τα αποτελέσματα της πανευρωπαϊκής δημοσκόπησης (ευρωβαρόμετρο) που δημοσίευσε η Κομισιόν. Το ενδιαφέρον είναι ότι η έντονα αρνητική ελληνική κοινή γνώμη στα πυρηνικά έχει αρχίσει να εξασθενεί. Ετσι, ενώ στο ευρωβαρόμετρο του 2005 μόλις το 9% των Ελλήνων ήταν υπέρ της πυρηνικής ενέργειας, τρία χρόνια αργότερα ,το χειμώνα του 2008, το νέο ευρωβαρόμετρο δείχνει ότι το 18% των Ελλήνων τάσσεται πλέον υπέρ της πυρηνικής ενέργειας. Το μέσο ποσοστό των ευρωπαίων που τάσσονται υπέρ της πυρηνικής ενέργειας πέρασε, από το 37%, στο 44%. Όμως, για την επιστημονική κοινότητα, η «λύση» της χρήσης της πυρηνικής ενέργειας δεν πρέπει καν να αποτελεί μια από τις επιλογές.

Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Στην προσπάθεια για την αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων, με αποφυγή της χρήσης πυρηνικής ενέργειας, οι επιστήμονες, τις τελευταίες δεκαετίες, πραγματοποιούν έρευνες για την κατάρτιση μηχανών εκμετάλλευσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Οι ΑΠΕ, ή ήπιες μορφές ενέργειας, είναι μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχεται από διάφορες φυσικές διαδικασίες, όπως ο άνεμος, η γεωθερμία, η κυκλοφορία του νερού και άλλες. Για την εκμετάλλευσή τους δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση, όπως εξόρυξη, άντληση, καύση, όπως με τις μέχρι τώρα χρησιμοποιούμενες πηγές ενέργειας, αλλά απλώς η εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στη φύση. Δεύτερο, πρόκειται για καθαρές μορφές ενέργειας, πολύ φιλικές στο περιβάλλον, που δεν αποδεσμεύουν υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα ή τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα όπως οι υπόλοιπες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα. Οι ήπιες μορφές ενέργειας βασίζονται στην ουσία στην ηλιακή ακτινοβολία, με εξαίρεση τη γεωθερμική ενέργεια, η οποία είναι ροή ενέργειας από το εσωτερικό του φλοιού της γης, και την ενέργεια απ' τις παλίρροιες που εκμεταλλεύεται τη βαρύτητα. Οι βασιζόμενες στην ηλιακή ακτινοβολία ήπιες πηγές ενέργειας είναι ανανεώσιμες,

μιας και δεν πρόκειται να εξαντληθούν όσο υπάρχει ο ήλιος, δηλαδή για μερικά ακόμα δισεκατομύρια χρόνια. Χρησιμοποιούνται είτε άμεσα (κυρίως για θέρμανση) είτε μετατρεπόμενες σε άλλες μορφές ενέργειας (κυρίως ηλεκτρισμό ή μηχανική ενέργεια).



Σχήμα 8.1: Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας
(Dow, Kristin, «Άτλας των Κλιματικών Αλλαγών», 2008)

Υπολογίζεται ότι το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο ενεργειακό δυναμικό απ' τις ήπιες μορφές ενέργειας είναι πολλαπλάσιο της παγκόσμιας συνολικής κατανάλωσης ενέργειας. Η υψηλή όμως μέχρι πρόσφατα τιμή των νέων ενεργειακών εφαρμογών, η ελλιπής χρηματοδότηση της έρευνας στον τομέα, τα τεχνικά προβλήματα εφαρμογής (απόδοση κάτω από 30%), καθώς και πολιτικές και οικονομικές σκοπιμότητες στον ενεργειακό τομέα, εμπόδισαν την εκμετάλλευση, έστω και μέρους αυτού του δυναμικού. Απαιτείται ενίσχυση της ανεξάρτητης έρευνας, που αναφέραμε και προηγούμενα, για την ανάπτυξη αυτής της τεχνολογίας, τη μεγιστοποίηση της απόδοσης της και την ευρεία χρήση της, με γνώμονα το περιβάλλον.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Dow, Kristin, «Άτλας των Κλιματικών Αλλαγών», 2008

Χ.Σ.Σαχσαμάνογλου, Α.Α.Μπλούτσος, «Φυσική Κλιματολογία», 1998

J. T. Houghton et al., Eds., Climate Change 1995: The Science of Climate Change (Cambridge Univ. Press, UK, 1996).

C. Prentice et al., in Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the IPCC

United Nations Framework Convention on Climate Change (UNEP/WMO,1992)

Kuo Nan Lioy: An introduction to atmospheric radiation,

On the Fundamental Defect in the IPCC's Approach to Global Warming Research by Syun-Ichi Akasofu, Climate Science: Roger Pielke Sr. Research Group Weblog, 2007

Αλ.Οικονομόπουλος, «Χημεία και έλεγχος ρύπανσης ατμόσφαιρας», 1999

Μ.Λαζαρίδης, «Ατμοσφαιρική ρύπανση με στοιχεία Μετεωρολογίας, 2005

J.Crowley, CO2 and Climate Change, 2006

Schneider, S. H. What is dangerous climate change? Nature 411, 17–19 (2001).

Stott, P. A. & Kettleborough, J. A. Origins and estimates of uncertainty in predictions of twenty-first century temperature rise. Nature 416, 723–726 (2002).

Hays, “Milankovitch Theory”, Science, 1976

Monnin et al, Science, vol. 291 p.112, 2001

Keeling, C.D. and T.P. Whorf, The 1,800-year oceanic tidal cycle: A possible cause of rapid climate change, 2000

Crowley, Causes of climate change over the past 1000 years. Science 289, 2000

ΠΗΓΕΣ

Μετρήσεις CO_2

A Compendium of Data on Global Change, Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, US Department of Energy, Oak Ridge, USA, December 2007

Carbon Dioxide Information Analysis Center, http://cdiac.ornl.gov/trends/co2/

Brounshtein, A.M., A.A. Shashkov, N.N. Paramonova, V.I. Privalov, and Y.A. Starodubtsev. 1994. Atmospheric CO_2 records from sites in the Main Geophysical Observatory air sampling network.

Μετρήσεις θερμοκρασίας

Hansen, J.E., R. Ruedy, M. Sato, and K. Lo. 2008. NASA GISS Surface Temperature (GISTEMP) Analysis. In Trends: A Compendium of Data on Global Change. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A.

Christy, J.R., R.W. Spencer, and W.D. Braswell. 2000. MSU Tropospheric temperatures: Data set construction and radiosonde comparisons. J. Atmos. Oceanic Tech. **17**, 1153.

K.M. Lugina, P.Ya. Groisman, K.Ya. Vinnikov, V.V. Koknaeva, and N.A. Speranskaya, 2006. Monthly surface air temperature time series area-averaged over the 30-degree latitudinal belts of the globe, 1881-2005. In Trends: A Compendium of Data on Global Change. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A.

www.worldclimate.com

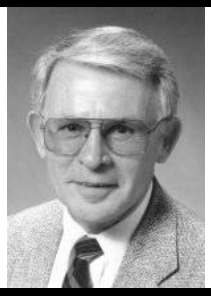
ΠΡΟΣΩΠΟΓΡΑΦΙΑ

Ernst Julius Öpik (1893-1985)

Εσθονός αστρονόμος που εργάσθηκε κυρίως στη Βόρεια Ιρλανδία. Γεννήθηκε στο Port Kunda της Εσθονίας και πήγε στο Πανεπιστήμιο της Μόσχας για να ειδικευθεί στη μελέτη των μικρών σωμάτων του Ηλιακού Συστήματος, όπως είναι οι αστεροειδείς, οι κομήτες και οι μετεωροειδείς. Ολοκλήρωσε τη διδακτορική διατριβή του στο Πανεπιστήμιο του Ταρτού, στην Εσθονία. Το 1922 ο Öpik προέβλεψε σωστά την ύπαρξη κρατήρων αλλά και τον αριθμό τους ανά μονάδα επιφάνειας στον πλανήτη Άρη, δεκαετίες πριν ανακαλυφθούν από τις διαστημικές αποστολές.

Milutin Milankovitch (1879-1958)

Ο Σέρβος αστροφυσικός Milankovitch είναι πολύ γνωστός για την ανάπτυξη μιας από τις σημαντικότερες θεωρίες που αφορούν τις γήινες κινήσεις και τις μακροπρόθεσμες κλιματικές αλλαγές εξ' αιτίας τους. Γεννημένος στη Σερβία, ο Milankovitch σπούδασε στο Τεχνολογικό Ινστιτούτο της Βιέννης. Αφού ασχολήθηκε για λίγο σαν μηχανικός, αποδέχθηκε μια θέση στην έδρα εφαρμοσμένων μαθηματικών στο Πανεπιστήμιο Βελιγραδίου το 1909,μια θέση που κράτησε μέχρι το υπόλοιπο της ζωής του.



Geoffrey G. Duffy

Ο G. Duffy, καθηγητής στο τμήμα Chemical and Materials Engineering του πανεπιστημίου του Auckland, έλαβε το ασημένιο μετάλλιο στο New Zealand Science and Technology, το 2003 από το Royal Society of New Zealand. Έχει εκδώσει πάνω από 220 εργασίες, μεταξύ των οποίων 10 πατέντες και 60 τεχνικές εκθέσεις.

David Etheridge

Ένας από τους τους συντάκτες του Climate Change 2007: The Physical Science Basis, του αποτελέσματος της ομάδας εργασίας 1, στην τέταρτη τεχνική έκθεση της IPCC. Η έκθεση αυτή περιγράφει τις αιτίες και τις συνέπειες της παγκόσμιας αύξησης της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Christopher Scotese

Ο Christopher Scotese είναι γεωλόγος από το πανεπιστήμιο του Texas. Πήρε το διδακτορικό του από το πανεπιστήμιο του Chicago το 1985. Είναι ο δημιουργός Paleomap Project, που στοχεύει στη χαρτογράφηση της Γης για τα προηγούμενα εκατομμύρια χρόνια.

Joanne Simpson

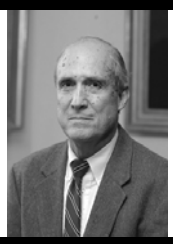
Η Joanne Simpson ήταν η πρώτη γυναίκα που πήρε Ph.D. στη Μετεωρολογία. Έγινε τελικά ερευνητής στη NASA και έχει συνυπογράψει πάνω από 190 άρθρα. Η Simpson είναι μέλος της εθνικής ακαδημίας της εφαρμοσμένης μηχανικής και παραλήπτης του βραβείου Carl-Gustaf Roosby. Η Simpson έχει επικρίνει τα επιχειρήματα για την ανθρωπογενή παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου.

H.C. Willett (1903-1992)

Μετεωρολόγος του MIT, διάσημος για την ανακάλυψη της τεχνικής πρόβλεψης των «5 ημερών». Ανέπτυξε τη θεωρία ότι οι κλιματολογικοί όροι στη γη ακολουθούν ένα κυκλικό σχέδιο που θα γίνει σαφέστερο καθώς τα στατιστικά αρχεία θα επεκτείνονται στο μέλλον. Για να υποστηρίξει τη θεωρία του, έκανε ολοκληρωμένες έρευνες για τις καιρικές συνθήκες που πηγαίνουν πίσω στους προϊστορικούς χρόνους.

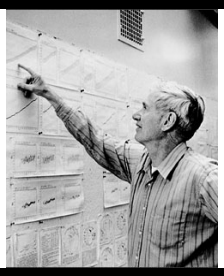
Jean-Robert Petit

Σπούσασε Χημεία και τη Φυσική στο πανεπιστήμιο της Γκρενόμπλ, και έλαβε Ph.D. το 1984 στην παλαιοκλιματολογία, στις μελέτες του αρχείου αιολικού σκόνης από τους ανταρκτικούς πυρήνες πάγου. Αυτή τη στιγμή, είναι ερευνητικός επιστήμονας στη CNRS. Συνέβαλε στη μελέτη διάφορων ανταρκτικών πυρήνων πάγου (Vostok, Epica, κλπ)



Robert Berner

Μέλος της National Academy of Sciences. Διακρίσεις: Doctor Honoris Causa, Universite Aix-Marseille (France), 1991. Huntsman Medal in Oceanography (Canada), 1993. Goldschmidt Medal (Geochemical Society), 1995. Arthur L. Day Medal (Geological Society of America), 1996. Murchinson Medal (Geological Society-London), 1996.



Charles David Keeling (1928 - 2005)

Αμερικανός επιστήμονας που συνέβαλε καταγραφή του διοξειδίου του άνθρακα στο παρατηρητήριο Mauna Loa. Από του πρώτους υποστηρικτές της αύξησης της παγκόσμιας θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου. Πήρε PhD από το Πανεπιστήμιο του Northwestern το 1954. Προσχώρησε στο δίκτυο SIO το 1956, και διορίστηκε καθηγητής ωκεανογραφίας εκεί το 1968.

Gilbert Norman Plass (1921 - 2004)

Καναδός φυσικός που αποφοίτησε από το Πανεπιστήμιο του Χάρβαρντ το 1941 και πήρε Ph.D στη Φυσική από το Πανεπιστήμιο του Princeton το 1947. Το 1956 και μετά Plass δημόσιευσε μια σειρά άρθρων σχετικά με τα αποτελέσματα του CO_2 ως αέριο θερμοκηπίου και τις πιθανές επιπτώσεις μιας αυξανόμενης συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα για την παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Syun-Ichi Akasofu

Ο Syun-Ichi Akasofu είναι ο ιδρυτής και διευθυντής του διεθνούς αρκτικού ερευνητικού κέντρου (IARC) του πανεπιστημίου της Αλάσκας. Πήρε το Ph.D του από το ίδιο πανεπιστήμιο το 1961. Είναι ένας από τους 400 επιστήμονες που απαριθμούνται σε μια έκθεση του 2007, όπου αμφισβητείται η θεωρία της ανθρωπογενούς παγκόσμιας αύξησης της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Nir Joseph Shaviv

Καθηγητής Φυσικής, του πανεπιστημίου της Ιερουσαλήμ, που διεξάγει έρευνα στους τομείς της αστροφυσικής και της επιστήμης του κλίματος. Είναι γνωστός για την υπόθεση των ηλιακών και κοσμικών ακτίνων, ως αιτίες της αλλαγής κλίματος. Το 2002, ο Shaviv υπέθεσε ότι αστρονομικές μεταβάσεις εμφανίζονται να είναι η αιτία πίσω από τις σημαντικότερες περιόδους παγετώνων κατά τη διάρκεια των προηγούμενων δισεκατομμυρίων ετών. Σε πρόσφατη εργασία του, προσδιόρισε ένα χαμηλό όριο στην κλιματολογική επίδραση του CO_2.

Carl Wunsch

Ο Carl Wunsch είναι καθηγητής φυσικής ωκεανογραφίας στο MIT. Είναι γνωστός για το έργο του στα εσωτερικά κύματα και πιό πρόσφατα για την έρευνα του στα αποτελέσματα της ωκεάνιας κυκλοφορίας στο κλίμα και την κλιματική μεταβολή.

Richard Siegmund Lindzen

Φυσικός και καθηγητής Μετεωρολογίας MIT. Ο Lindzen είναι γνωστός για την εργασία του στη δυναμική της μέσης ατμόσφαιρας, των ατμοσφαιρικών παλιρροιών και της φωτοχημείας όζοντος. Έχει δημοσιεύσει περισσότερα από 200 βιβλία και τα επιστημονικά έγγραφα. Ήταν ο συγγραφέας του κεφαλαίου 7, στην έκθεση της IPCC σχετικά με την αλλαγή κλίματος. Όμως στέκεται κριτικά μπροστά στη θεωρία της ανθρωπογενούς υπερθέρμανσης και έχει καταγγείλει πολιτικές πιέσεις στους επιστήμονες του κλίματος.

John R. Christy

Επικεφαλής της ερευνητικής ομάδας της NASA και πρώην ηγετικό μέλος της IPCC, από όπου αποχώρησε λόγω διαφωνίας. Είναι επιστήμονας κλίματος, με κύρια ερευνητική δουλειά στην παγκόσμια αλλαγή κλίματος και στην παλαιοκλιματολογία. Είναι γνωστός για την έκδοσή του δορυφορικού αρχείου θερμοκρασίας.

Ian Clark

Ο Ian Clark είναι καθηγητής στο στο πανεπιστήμιο της Οττάβας και γράφει για τη γεωχημεία από τουλάχιστον το 1982. Η εργασία του στην υδρογεωλογία ισοτόπων ήταν στο πανεπιστήμιο του Βατερλώ και το πανεπιστήμιο του Παρισιού. Υποστηρίζει ότι οι αλλαγές στην παγκόσμια θερμοκρασία συσχετίζονται με την ηλιακή δραστηριότητα.

ΑΚΡΩΝΥΜΑ

CO_2	carbon dioxide – διοξείδιο του άνθρακα
msl	mean sea level – μέση στάθμη της θάλασσας
CDIAC	Carbon Dioxide Information Analysis Centre
AOML	Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
BASC	Board on Atmospheric Science and Climate
CDRP	Carbon Dioxide Research Program
CFC	Chlorofluorocarbon - χλωροφθοράνθρακες
CFC-11	$CC1_3F$, trichlorofluoromethane, Freon-11
CFC-12	CCl_2F_2, dichlorodifluoromethane, Freon-12
GAW	Global Atmosphere Watch (WMO)
WMO	World Meteorological Organization
SIO	Scripps Institution of Oceanography
MGO	Main Geophysical Observatory
ppm	Parts per million - Μέρη ανα εκατομμύριο
WCP	World Climate Programme (WMO/ICSU)
GHCN	Global Historical Climatology Network
USHCN	United States Historical Climatology Network
SCAR	Scientific Committee on Antarctic Research
CCCma	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis
CCSR/NIES	Center for Climate System Research/National Inst. for Envir Studies
CSIRO	Commonwealth Scientific &Industrial Research Organisation
GFDL	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory
MPI-M	Max Planck Institute für Meteorologie
NCAR	National Center for Atmospheric Research
HadCM	Hadley Centre climate Model
GHGs	GreenHouse Gases
NCAR	National Center for Atmospheric Research
MAGICC	Model for Assessment of Greenhouse gas Induced Climate Change
MME	Μέσα Μαζικής Ενημέρωσης
IARC	International Arctic Research Center
NCAR	National Center for Atmospheric Research
UAF	University of Alaska-Fairbanks
WCP	World Climate Programme
CERN	Chinese Ecological Research Network