

# ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ



## ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

### ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ στην ΝΑΥΤΙΛΙΑ

#### ΘΕΜΑ: «ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ»



ΟΝΟΜΑ: ΑΚΡΙΩΤΗ ΜΑΡΙΑ / ΜΝ 05014 / Ε ΚΥΚΛΟΣ

ΥΠΕΥΘ. ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: κα ΣΑΚΕΛΛΑΡΙΑΔΟΥ ΦΑΝΗ

Διπλωματική εργασία  
που υποβλήθηκε στο Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών  
του Πανεπιστημίου Πειραιώς ως μέρος των  
απαιτήσεων για την απόκτηση του Μεταπτυχιακού  
Διπλώματος Ειδίκευσης στην Ναυτιλία

Πειραιάς

Οκτώβριος 2009

## **Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή**

Η παρούσα διπλωματική εργασία εγκρίθηκε ομόφωνα από την Τριμελή Εξεταστική Επιτροπή που ορίστηκε από τη ΓΣΕΣ του τμήματος Ναυτιλιακών Σπουδών Πανεπιστημίου Πειραιώς σύμφωνα με τον Κανονισμό Λειτουργίας του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών στην Ναυτιλία.

Τα μέλη της Επιτροπής ήταν:

- Κα Σακελλαριάδου Φανή (επιβλέπουσα)
- Κος Τσελεπίδης Αναστάσιος
- Κος Σαμιώτης Γεώργιος

Η έγκριση της Διπλωματικής Εργασίας από το τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών του Πανεπιστημίου Πειραιώς δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέα.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	5
ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: εισαγωγή στη φυσικοχημεία της ατμόσφαιρας και στο φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου.....	9
1.1 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ.....	9
1.2 ΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΚΑΙ Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ ΣΤΗ ΖΩΗ ΣΤΟΝ ΠΛΑΝΗΤΗ.....	15
1.3 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ.....	22
1.4 ΧΑΟΣ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ.....	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: οι αιτίες της κλιματικής αλλαγής.....	31
2.1 Η ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΚΛΙΜΑΤΟΣ ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΑ.....	31
2.2 ΟΙ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΚΑΙ Η ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ.....	39
2.3 Ο ΗΛΙΟΣ ΚΑΙ Η ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ.....	46
2.4 ΤΑ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΑ ΑΕΡΟΛΥΜΜΑΤΑ ΚΑΙ Η ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ.....	51
2.5 ΟΙ ΩΚΕΑΝΟΙ ΚΑΙ Η ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ.....	54
2.6 Η ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΗΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ.....	59
2.7 Η ΤΡΥΠΑ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ.....	64
2.8 ΟΙ ΘΕΡΜΕΣ ΝΗΣΙΔΕΣ ΣΤΟ ΑΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ.....	67
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: οι πιθανές συνέπειες της κλιματικής αλλαγής βάσει μοντέλων.....	69
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ.....	69
3.2 ΠΩΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΖΕΤΑΙ ΕΝΑ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΤΟΥ ΚΛΙΜΑΤΟΣ.....	76
3.3 ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΤΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΑ ΠΟΡΙΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΔΙΑΚΥΒΕΡΝΗΤΙΚΩΝ ΔΙΑΣΚΕΨΕΩΝ ΤΟΥ Ο.Η.Ε ΓΙΑ ΤΟ ΚΛΙΜΑ.....	79
3.4 ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗ.....	87

3.5 Η ΕΛΕΥΣΗ ΜΙΑΣ ΝΕΑΣ ΕΠΟΧΗΣ ΠΑΓΕΤΩΝΩΝ.....	89
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: τα μέτρα για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και οι συνέπειές τους.....	92
4.1 ΓΕΝΙΚΕΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ .....	92
4.2 ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΟΝ ΤΡΟΠΟ ΣΚΕΨΗΣ ΤΩΝ ΙΟΥΝΟΝΤΩΝ ΤΗΣ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ.....	93
4.3 ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ.....	96
4.4 ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ .....	101
4.5 ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΗΝ ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΗ ΖΩΗ ΜΑΣ .....	102
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: η στάση των επιμέρους χωρών απέναντι στο πρόβλημα.....	106
5.1 ΟΙ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΟΙ ΑΕΡΙΩΝ ΠΟΥ ΣΥΜΒΑΛΛΟΥΝ ΣΤΗΝ ΑΛΛΑΓΗ ΤΟΥ ΚΛΙΜΑΤΟΣ.....	106
5.2 ΟΙ ΔΙΕΘΝΕΙΣ ΔΙΑΣΚΕΨΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ ΚΛΙΜΑ .....	106
5.3 ΗΝΩΜΕΝΕΣ ΠΟΛΙΤΕΙΕΣ ΑΜΕΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ.....	109
5.4 ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ .....	111
5.5 ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ .....	114
5.6 ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΕΣ ΧΩΡΕΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ .....	119
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΣΧΕΤΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΤΟΥ ΚΛΙΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΤΗΣ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ.....	121
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	127

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία αναφέρεται στην παγκόσμια κλιματική αλλαγή, ένα από τα μεγαλύτερα σύγχρονα περιβαλλοντικά προβλήματα. Έπειτα από μια εκτενή εισαγωγή, στην οποία γίνεται λόγος για τους σκοπούς της εργασίας και διευκρινίζονται κάποιοι όροι, το πρώτο κεφάλαιο έχει ως θέμα του την ατμόσφαιρα, τη δομή και τα δυναμικά χαρακτηριστικά της, όπως και το φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου. Οι παρεχόμενες πληροφορίες κρίνονται απαραίτητες για την πληρέστερη κατανόηση όσων ακολουθήσουν. Στη συνέχεια εξετάζονται με λεπτομέρειες όλοι οι παράγοντες που μπορούν να συνεισφέρουν στην κλιματική αλλαγή, ανθρωπογενείς και μη, με στόχο να καταδειχτεί ότι το κλίμα της Γης άλλαζε και θα αλλάζει αλλά και ο συχνά καταστροφικός ρόλος του ανθρώπου σε αυτή τη διαδικασία. Κατόπιν γίνεται λόγος για τις πιθανές συνέπειες των ανθρωπογενών κλιματικών αλλαγών, με βάση τα μέχρι σήμερα δεδομένα των αριθμητικών κλιματικών προσομοιώσεων. Ακολουθεί ένα κεφάλαιο με θέμα τι πρέπει να κάνουν για την αντιμετώπιση του προβλήματος οι εμπλεκόμενοι φορείς (Διεθνής Οργανισμοί, εθνικές κυβερνήσεις, παραγωγικοί φορείς και απλοί πολίτες- καταναλωτές). Τέλος συζητώνται οι μέχρι σήμερα Διεθνείς Διασκέψεις για την παγκόσμια υπερθέρμανση, τα αποτελέσματά τους αλλά και η στάση αρκετών κρατών απέναντι σε αυτό το μεγάλης σημασίας ζήτημα.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η σημασία των περιβαλλοντικών προβλημάτων στη ζωή των ανθρώπων είναι τεράστια. Μια ματιά στον ημερήσιο και περιοδικό τύπο μπορεί να μας πείσει για του λόγου το αληθές, αφού πλέον οι σχετικές δημοσιεύσεις καταλαμβάνουν συχνά περίοπτη θέση στις σελίδες τους. Μεταξύ αυτών το ζήτημα της κλιματικής αλλαγής έχει αναμφισβήτητα την πρωτοκαθεδρία, τόσο από την απόψη της πολυπλοκότητάς του όσο και των επιπτώσεών του σε όλους σχεδόν τους τομείς της ανθρώπινης ζωής και δραστηριότητας. Καθημερινά η κοινή γνώμη βομβαρδίζεται με επιστημονικές και μη ανακοινώσεις από ανεξάρτητες πηγές που κάνουν λόγο για τις επερχόμενες αρνητικές συνέπειές της, άλλοτε μετριπαθέστερες και άλλοτε στα όρια της κινδυνολογίας. Σε αυτές φυσικά δε συμπεριλαμβάνονται οι δημοσιεύσεις σε έγκυρα διεθνή επιστημονικά περιοδικά και οι παρουσιάσεις σε κλιματολογικά συνέδρια που πραγματοποιούνται κάθε χρόνο. Ακόμα και η κινηματογραφική βιομηχανία εμπνέεται πλέον από τα σενάρια κατάρρευσης του παγκόσμιου κλίματος (π.χ. η ταινία «Η Επόμενη Μέρα»).

Το 2009 θα είναι μια κρίσιμη χρονιά για αυτήν την υπόθεση, αφού στο τέλος του έτους αναμένεται να λάβει χώρα στη Δανία μια διεθνής διάσκεψη για το κλίμα με στόχο την αναθεώρηση- επικαιροποίηση του Πρωτοκόλλου του Κιότο. Θυμίζουμε ότι το Δεκέμβριο του 2007 στο Μπαλί της Ινδονησίας οι εκπρόσωποι 180 χωρών που πήραν μέρος στην τότε διάσκεψη για το κλίμα απέτυχαν να καταλήξουν σε μια νέα δεσμευτική συμφωνία για τον περιορισμό των εκπομπών θερμοκηπικών αερίων που ενδέχεται να διαταράξουν το παγκόσμιο κλίμα. Ενδεικτικό της σημασίας του προβλήματος είναι ότι το Νόμπελ Ειρήνης του 2007 απονεμήθηκε τιμητικά στη Διακυβερνητική Επιτροπή για τις Κλιματικές Αλλαγές (I.P.C.C.) του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών (Ο.Η.Ε.), για τις άοκνες προσπάθειές της να προειδοποιήσει την παγκόσμια κοινότητα σχετικά με τον κίνδυνο που διατρέχει η παγκόσμια κλιματική ισορροπία εξαιτίας των ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Σε αυτήν συμμετείχε και ο καθηγητής του τμήματος Γεωλογίας του Πανεπιστημίου Αθηνών κύριος Χρήστος Ζερεφός, ο οποίος έγινε έτσι ο ο πρώτος Έλληνας επιστήμονας που τιμήθηκε με τη διεθνή αυτή διάκριση.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η εξέταση της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής τόσο από την άποψη των αιτίων όσο και των συνεπειών της. Οι αιτίες της διακρίνονται σε φυσικές και ανθρωπογενείς, αφού είναι πλέον σαφές ότι το κλίμα της Γης παρουσίαζε πάντα μεταβλητότητα. Το ζήτημα είναι πλέον ότι ο άνθρωπος παρεμβαίνει στους μηχανισμούς αυτούς με μάλλον καταστροφικές επιπτώσεις. Η εξέταση των διάφορων παραγόντων και των συνεπειών της κλιματικής αλλαγής γίνεται κυρίως ποιοτικά, με βάση πρόσφατα επιστημονικά δεδομένα από την ελληνική και διεθνή βιβλιογραφία. Επιπλέον αναφέρονται εκτενώς τόσο τα μέτρα που πρέπει να λάβουν οι εμπλεκόμενοι φορείς, μικροί και μεγάλοι, για την αποτροπή της αλλά και η στάση που μέχρι τώρα τηρούν διάφορα κράτη απέναντι στο πρόβλημα.

Θεωρούμε ότι το θέμα είναι πολύ ευρύ για να εξαντληθεί στα πλαίσια μιας τέτοιας εργασίας, ωστόσο καταβλήθηκε προσπάθεια ώστε να δοθεί μια όσο το δυνατόν σφαιρικότερη παρουσίασή του, κατάλληλη για ενημέρωση όχι μόνο της επιστημονικής κοινότητας αλλά και του απλού πολίτη με στοιχειώδεις, σχολικές γνώσεις φυσικής. Ίσως αυτό το τελευταίο να έχει και μεγαλύτερη σημασία επειδή, όπως θα δούμε, ο ρόλος των τελευταίων στη λύση του προβλήματος μπορεί να είναι αποφασιστικός, έστω και αν αισθάνονται καμιά φορά ανίσχυροι σε σχέση με το μέγεθός του.

Πριν συνεχίσουμε οφείλουμε να διευκρινήσουμε σύντομα ορισμένους όρους. Ένας από αυτούς είναι η έννοια «περιβάλλον», αφού με βάση το περιεχόμενο του όρου αυτού θα μπορέσουμε να κατανοήσουμε καλύτερα το όποιο πρόβλημα δημιουργείται σε αυτό. Έχουν δοθεί κατά καιρούς διάφοροι ορισμοί, ωστόσο πληρέστερος είναι ίσως ο ακόλουθος: «περιβάλλον είναι το σύνολο των φυσικών και ανθρωπογενών παραγόντων και στοιχείων, τα οποία βρίσκονται σε αλληλεπίδραση και επηρεάζουν την οικολογική ισορροπία, την ποιότητα της ζωής, την υγεία των κατοίκων, την ιστορική και πολιτιστική παράδοση και τις αισθητικές αξίες» (Παναγόπουλος, 2004). Ο ορισμός αυτός κατηγοριοποιεί τους παράγοντες και τα στοιχεία που απαρτίζουν το περιβάλλον σε δύο τύπους: φυσικούς και ανθρωπογενείς. Έτσι, η έννοια περιβάλλον διακρίνεται σε φυσικό και ανθρωπογενές αντίστοιχα.

- Ως «**φυσικό περιβάλλον**» λοιπόν, χαρακτηρίζεται ο περιβάλλον τον άνθρωπο χερσαίος, θαλάσσιος και εναέριος χώρος, συμπεριλαμβανομένου σ' αυτόν της χλωρίδας, πανίδας και λοιπών φυσικών πόρων.
- Ως «**πολιτιστικό- ανθρωπογενές περιβάλλον**» χαρακτηρίζονται στοιχεία του πολιτισμού, όπως αυτά διαμορφώθηκαν από την παρέμβαση και τις σχέσεις του ανθρώπου με το φυσικό περιβάλλον. Σε αυτά περιλαμβάνονται οι ιστορικοί χώροι και η καλλιτεχνική και πολιτιστική κληρονομιά της χώρας.

Το περιβάλλον συνολικά ή τα επί μέρους στοιχεία και παράγοντες που το απαρτίζουν, υφίστανται αρνητικές εξωγενείς- ανθρωπογενείς παρεμβάσεις, ενώ συχνά ανάλογα αποτελέσματα προκύπτουν αποκλειστικά από φυσικές διεργασίες και εξελίξεις. Η καταστροφή του περιβάλλοντος συντελείται είτε με την ρύπανσή του, είτε με την μόλυνσή του, είτε με την υποβάθμισή και τελικά καταστροφή του.

Συγκεκριμένα,

- «**ρύπανση**: η παρουσία στο περιβάλλον ρύπων, δηλαδή κάθε είδους ουσιών, θορύβου, ακτινοβολίας ή άλλων μορφών ενέργειας σε ποσότητα, συγκέντρωση ή διάρκεια, που μπορούν να προκαλέσουν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία, στους ζωντανούς οργανισμούς και στα οικοσυστήματα ή υλικές ζημιές και γενικά να καταστήσουν το περιβάλλον ακατάλληλο για τις επιθυμητές χρήσεις του» (Πηγή :N. 1650/86 [ΦΕΚ 160Α/18.10.86] [www.infosoc.gr](http://www.infosoc.gr), Βλάχος και Σαμιώτης 1997) Χαρακτηριστικό παράδειγμα ρύπανσης είναι τα καυσαέρια αυτοκινήτων και βιομηχανιών στον αέρα των μεγαλουπόλεων.

- «**Μόλυνση** είναι η μορφή ρύπανσης που χαρακτηρίζεται από την παρουσία παθογόνων μικροοργανισμών στο περιβάλλον ή δεικτών που υποδηλώνουν την πιθανότητα παρουσίας τέτοιων μικροοργανισμών» (Πηγή :N. 1650/86 [ΦΕΚ 160Α/18.10.86] [www.infosoc.gr](http://www.infosoc.gr), Βλάχος και Σαμιώτης 1997). Έτσι γίνεται λόγος συχνά για μόλυνση επιφανειακών και υπόγειων υδάτων από παθογόνους μικροοργανισμούς προερχόμενους από την αποσύνθεση των απορριμάτων.
- «**Υποβάθμιση** είναι αποτέλεσμα της ρυπάνσεως από ανθρώπινες δραστηριότητες ή οποιασδήποτε άλλης μεταβολής στο περιβάλλον, η οποία είναι πιθανό να έχει αρνητικές επιπτώσεις στην οικολογική ισορροπία, στην ποιότητα ζωής και στην υγεία των κατοίκων, στην ιστορική και πολιτιστική κληρονομιά και στις αισθητικές αξίες» (Βλάχος και Σαμιώτης, 1997). Χαρακτηριστικό παράδειγμα υποβάθμισης του περιβάλλοντος είναι η καταστροφή του δασικού πλούτου μιας χώρας από διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες και η συνακόλουθη μείωση της βιοποικιλότητας ή και η ερημοποίηση των εδαφών. Η περιβαλλοντική υποβάθμιση είναι «υπερσυννοριακού» χαρακτήρα. Με το πέρασμα των χρόνων και την συνεχόμενη αύξηση της παραγωγής και των απαιτήσεων διαβίωσης του πληθυσμού των ανεπτυγμένων κρατών, ο ρυθμός επιβάρυνσης από την ανθρώπινη δραστηριότητα ξεπέρασε κατά πολύ τις φυσικές δυνατότητες του πλανήτη μας για την εξουδετέρωση της οποιασδήποτε περιβαλλοντικής όχλησης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία τάσεων που δεν επιτρέπουν την επάνοδο των οικοσυστημάτων του πλανήτη στην φυσική τους ισορροπία. Η ενέργεια, σε όλες της τις μορφές (άνθρακας, πετρέλαιο, φυσικό αέριο, πυρηνική) και σε όλες της τις φάσεις (παραγωγή, μεταφορά, τελική χρήση, απόρριψη) αποτελεί σημαντική πηγή περιβαλλοντικής υποβάθμισης. Το 90% των ανθρωπογενών εκπομπών SO<sub>2</sub> και NO<sub>x</sub>, καθώς και το 75-90% των ανθρωπογενών εκπομπών CO<sub>2</sub>, προέρχεται από την παραγωγή και χρήση της ενέργειας. (Βουδούρη Γεωθερμία <http://www.boudouri.gr>)

Σύμφωνα με αυτούς τους ορισμούς η υποβάθμιση αποτελεί την ευρύτερη έννοια αφού περιλαμβάνει και τις δύο προηγούμενες, παράλληλα όμως ποιοτικά εμφανίζεται σαν μια διάχυτη μορφή προσβολής ηπιότερης έντασης. Περαιτέρω σε ευρύτητα ακολουθεί ο όρος ρύπανση και τελευταίος ο όρος μόλυνση σαν μια εξειδικευμένη μορφή ρύπανσης.



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: εισαγωγή στη φυσικοχημεία της ατμόσφαιρας και στο φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου.

## 1.1 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ.

Με τον όρο ατμόσφαιρα (Βαρώτσος, 2001) ενός πλανήτη εννοούμε το στρώμα των αερίων που τον περιβάλλει και συγκρατείται γύρω από αυτόν με τη βοήθεια της δύναμης της βαρύτητας. Γενικά οι ατμόσφαιρες μπορούν να θεωρηθούν συστήματα διασποράς αερίων στα οποία αιωρούνται υγρά και στερεά μικροσωματίδια διάφορων τύπων, γνωστά και ως αερολύματα. Ανήκουν συνήθως στην κατηγορία εκείνη των συστημάτων διασποράς που ονομάζονται κολλοειδή ή μικροετερογενή, ενδιάμεση κατάσταση μεταξύ των πλήρως ομογενών μιγμάτων- διαλυμάτων και των ετερογενών μιγμάτων.

Σύμφωνα με το χημικό N.Ostwald ονομάζουμε συστήματα διασποράς, δηλαδή μίγματα, χημικές ουσίες αποτελούμενες από δύο ή περισσότερες καθαρές ουσίες οι οποίες έχουν αναμιχθεί αλλά δεν έχουν αντιδράσει (Κατάκης και Πνευματικάκης, 1988). Από αυτές τις ουσίες εκείνη ή εκείνες που βρίσκονται σε μεγαλύτερη ποσότητα αποτελούν το μέσο διασποράς. Με βάση το μέγεθος των σωματιδίων των ουσιών που διασπείρονται στο μέσο διασποράς τα μίγματα διακρίνονται σε (Κατάκης και Πνευματικάκης, 1988):

- Ομογενή μίγματα ή διαλύματα: οι διαστάσεις των σωματιδίων των διασπειρόμενων ουσιών είναι μικρότερες από  $10^{-7}$  cm, δηλαδή της τάξης μεγέθους των απλών μορίων.
- Κολλοειδή ή μικροετερογενή μίγματα: οι διαστάσεις των σωματιδίων των διασπειρόμενων ουσιών είναι μικρότερες από  $5 \cdot 10^{-5}$  cm και μεγαλύτερες από  $10^{-7}$  cm.
- Αδρομερή ή ετερογενή μίγματα: οι διαστάσεις των σωματιδίων των διασπειρόμενων ουσιών είναι μεγαλύτερες από  $5 \cdot 10^{-5}$  cm, οπότε διακρίνονται με γυμνό μάτι ή με κοινό μικροσκόπιο.

Η ατμόσφαιρα της Γης εκτείνεται από την επιφάνειά της μέχρι το διαπλανητικό αέριο που γεμίζει το χώρο του ηλιακού μας συστήματος. Εξαιτίας της βαρυτικής έλξης στα μόρια των αερίων έχει μεγαλύτερη πυκνότητα ακριβώς πάνω από το έδαφος και βαθμιαία, με την αύξηση της απόστασης από τη Γη, γίνεται πιο αραιή με συνέπεια να μη μπορεί να διαχωριστεί τελικά από το διαπλανητικό αυτό αέριο. Λόγω της μεγάλης της σημασίας για τη ζωή στον πλανήτη μας τόσο η σύστασή της όσο και οι φυσικές και οι χημικές της ιδιότητες αποτελούσαν αντικείμενο μελέτης από την αρχαιότητα ως τις μέρες μας.

Ένας από τους πρωτοπόρους της σύγχρονης χημείας, ο Antoine de Lavoisier, μελέτησε τη σύσταση του ξηρού αέρα και απομόνωσε τα κύρια

συστατικά του, δηλαδή το άζωτο και το οξυγόνο. Σήμερα γνωρίζουμε ότι ο ξηρός αέρας αποτελείται από 78,08% V/V N<sub>2</sub> (άζωτο), 20,95% V/V O<sub>2</sub> (οξυγόνο), 0,93% V/V Ar (αργό, αδρανές αέριο), 0,03% CO<sub>2</sub> (διοξείδιο του άνθρακα) και 0,01% λοιπά αέρια (π.χ. υδρογόνο- H<sub>2</sub>, όζον-O<sub>3</sub>).

Γεννάται συχνά το ερώτημα αν είναι δυνατό και υπό ποιες προϋποθέσεις να υπάρχει οροφή ή κορυφή της ατμόσφαιρας, ένα οριακό ύψος δηλαδή πάνω από το οποίο δεν υπάρχει ατμόσφαιρα. Αν η ατμόσφαιρα βρισκόταν σε ιδανική αδιαβατική ισορροπία η κορυφή της θα αντιστοιχούσε σε ένα σημείο με πυκνότητα μηδέν. Η πυκνότητά της περιγράφεται από τον τύπο (Σαχσαμάνογλου και Μακρογιάννης, 1998)

$$r = \left[ r_o^{g-1} - r^g \left( \frac{g-1}{Pg} \right) g_0 h \right]^{\frac{1}{g-1}} \quad (1.1),$$

όπου  $\rho$  η πυκνότητα της ατμόσφαιρας,  $\rho_0$  η πυκνότητα της ατμόσφαιρας στην επιφάνεια της Γης,  $g_0$  η επιτάχυνση της βαρύτητας στην επιφάνεια της Γης,  $h$  η απόσταση από την επιφάνεια της Γης (ύψος),  $T$  η απόλυτη θερμοκρασία,  $P$  η πίεση και  $\gamma$  ένας καθαρός αριθμός, μεγαλύτερος της μονάδας, ο οποίος εμφανίζεται στο νόμο της αδιαβατικής μεταβολής του Poisson και εξαρτάται από τη φύση των δεσμών του αερίου και την ατομικότητά του.

Αν πάλι θεωρηθεί ότι επικρατεί θερμική ισορροπία δεν είναι δυνατό να οριστεί κορυφή, αφού σύμφωνα με το Νόμο του Dalton δεν υπάρχει πεπερασμένο ύψος με πυκνότητα μηδέν (Βαρώτσος, 1997 και 2001), αφού για κάθε στήλη ατμοσφαιρικού αέρα ισχύει

$$r = r_0 e^{-\frac{mg_0 h}{kT}} \quad (1.2),$$

όπου  $\rho$  η πυκνότητα της ατμόσφαιρας,  $\rho_0$  η πυκνότητα της ατμόσφαιρας στην επιφάνεια της Γης,  $g_0$  η επιτάχυνση της βαρύτητας στην επιφάνεια της Γης,  $h$  η απόσταση από την επιφάνεια της Γης (ύψος),  $T$  η απόλυτη θερμοκρασία,  $m$  η μάζα της στήλης του ατμοσφαιρικού αέρα και  $k$  η σταθερά του Boltzmann.

Το όριο της ατμόσφαιρας προσδιορίζεται με βάση τις ακόλουθες σκέψεις (Βαρώτσος, 1997 και 2001). Σε κάθε περιοχή πάνω από την επιφάνεια της Γης δύναται να υπάρξει ατμοσφαιρική μάζα, αν τα μόρια αυτής εμποδίζονται να διαφύγουν από τη Γη με τις κρούσεις τους με υπερκείμενα μόρια. Καθώς όμως ανεβαίνει κανείς σε μεγαλύτερα ύψη η συχνότητα των κρούσεων ανάμεσα στα μόρια της ατμόσφαιρας γίνεται όλο και μικρότερη. Σε κάποιο ύψος μάλιστα οι κρούσεις είναι τόσο λίγες ώστε ένα μόριο από αυτά έχοντας λάβει ορμή έχει πολύ μικρή πιθανότητα να επιστρέψει στη Γη εξαιτίας κρούσεων με μόρια που βρίσκονται από πάνω του. Το ύψος αυτό μπορεί να θεωρηθεί η οροφή της ατμόσφαιρας. Πάνω αυτό τα μόρια υπόκεινται μόνο στη βαρυτική έλξη και οι τροχιές που διαγράφουν μπορούν να είναι ελλειπτικές- κυκλικές, παραβολικές ή υπερβολικές, ανάλογα με το αν η ταχύτητα που απέκτησαν από την τελευταία κρούση τους στην κατώτερη περιοχή είναι μικρότερη, ίση ή μεγαλύτερη από την ταχύτητα διαφυγής από το

Γήινο βαρυτικό πεδίο, η οποία ως γνωστόν είναι περίπου (Σαχσαμάνογλου και Μακρογιάννης, 1998)

$$u_d = \sqrt{\frac{2g_0 R_\Gamma^2}{R_\Gamma + h}} \approx 11 \frac{km}{s} \quad (1.3),$$

όπου  $g_0$  η επιτάχυνση της βαρύτητας στην επιφάνεια της Γης,  $R_\Gamma$  η ακτίνα της Γης και  $h$  η απόσταση από την επιφάνεια της Γης.

Οι πρώτοι υπολογισμοί της κορυφής της ατμόσφαιρας έγιναν από τον E. A. Milne το 1922 αλλά ο ορθός υπολογισμός της επιτεύχθηκε ένα χρόνο αργότερα από το J.E. Jones, ο οποίος έλαβε υπόψη ότι η πιθανότητα κρούσης ενός μορίου είναι συνάρτηση όχι μόνο της ταχύτητάς του αλλά και της αφετηρίας και της διεύθυνσης της κίνησής του, αφού η μοριακή πυκνότητα της ατμόσφαιρας δεν είναι σταθερή αλλά μεταβάλλεται με διάφορους τρόπους σε διάφορες διευθύνσεις. Με βάση τα παραπάνω η κορυφή της ατμόσφαιρας της Γης τοποθετείται σήμερα σε ύψος

$$h \approx 1000 \text{ km} \quad (1.4).$$

Συγκρίνοντας το ύψος αυτό με την ακτίνα της Γης, δηλαδή με την τιμή

$$R_\Gamma \approx 6370 \text{ km} \quad (1.5),$$

διαπιστώνουμε ότι η γήινη ατμόσφαιρα είναι ένα πολύ λεπτό σχετικά στρώμα γύρω από τον πλανήτη μας, πλην όμως εξαιρετικά ζωογόνο, αφού περιέχει τόσα μόρια περίπου όσα και τα γνωστά αστέρια του σύμπαντος. Αρκεί να σκεφτούμε ότι με κάθε βαθειά εισπνοή εισάγονται στο σώμα μας τρισεκατομμύρια από αυτά, μέρος μόνο εκ των οποίων εκπνέεται.

Όπως είναι γνωστό (βλέπε την εξίσωση (1.2) για μια πρώτη αλλά αρκετά καλή προσέγγιση) η ατμοσφαιρική πίεση ελαττώνεται με το ύψος, έτσι ώστε η πίεση σε κάθε στάθμη να εκφράζει συνήθως το βάρος της ακίνητης στήλης του αέρα μοναδιαίας διατομής που βρίσκεται πάνω από τη στάθμη αυτή. Έτσι ένας παρατηρητής ο οποίος εισέρχεται στην ατμόσφαιρα του πλανήτη μας από το διάστημα διασχίζει ποικίλες ζώνες, συχνά με εντελώς διαφορετικές φυσικοχημικές ιδιότητες. Αυτές είναι (Σαχσαμάνογλου και Μακρογιάννης, 1998):

- Ø Εξώσφαιρα (από 500 km έως 1000 km): λέγεται και «κράσπεδο της ατμόσφαιρας». Διαχωρίζει την ατμόσφαιρα της Γης από το διαπλανητικό αέριο (περιοχή spray). Η πίεση είναι πολύ χαμηλή και η θερμοκρασία αρκετά μεγάλη, ενώ η μέση ελεύθερη διαδρομή κάθε δομικού λίθου της ατμόσφαιρας (δηλαδή η μέση διανυόμενη απόσταση μεταξύ δυο διαδοχικών συγκρούσεων) μπορεί να φτάσει τα δεκάδες χιλιόμετρα. Πρακτικά σε αυτό το ύψος οι κρούσεις μεταξύ των μορίων ή των ατόμων του αέρα είναι σπάνιες, οι τροχιές τους καθορίζονται από το βαρυτικό πεδίο και έχουν σχήμα κωνικών τομών. Όσοι μάλιστα δεν μπορούν να διαφύγουν γιατί η ταχύτητά τους είναι μικρότερη από την

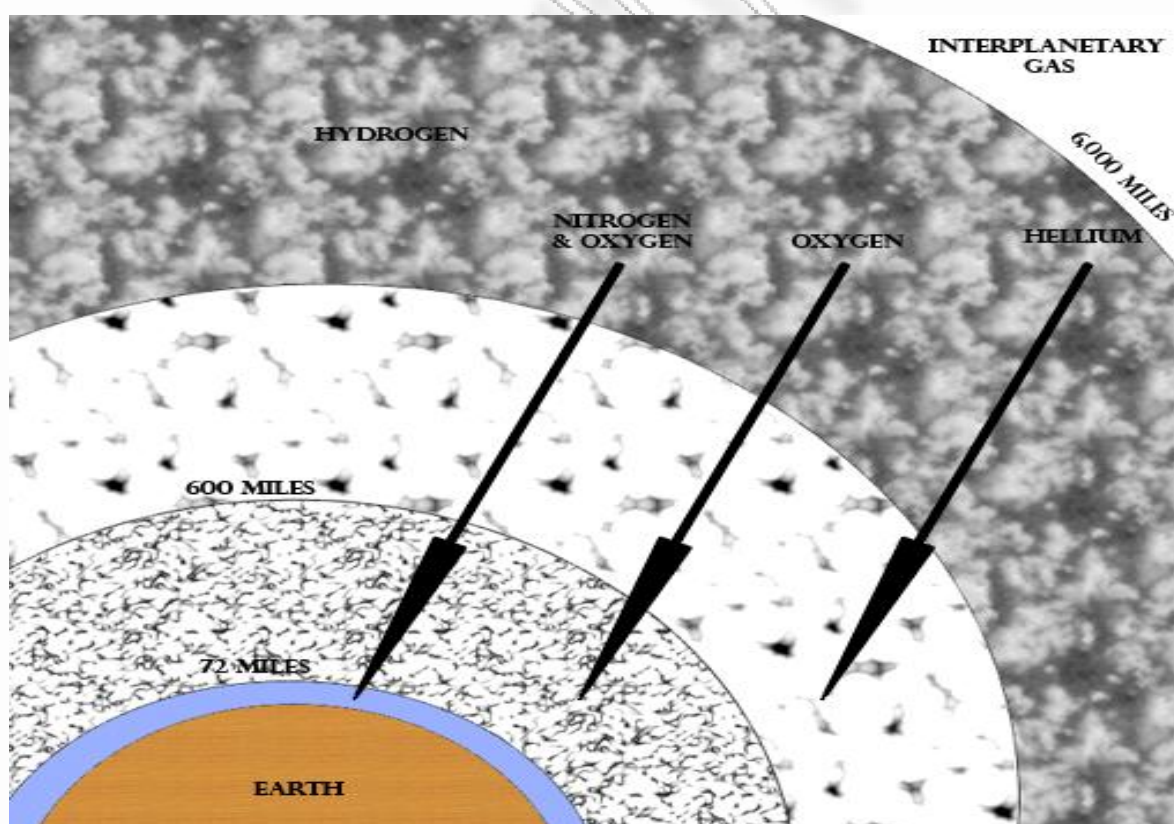
ταχύτητα διαφυγής στο αντίστοιχο ύψος διαγράφουν ελλειπτικές τροχιές και επιστρέφουν στην ατμόσφαιρα.

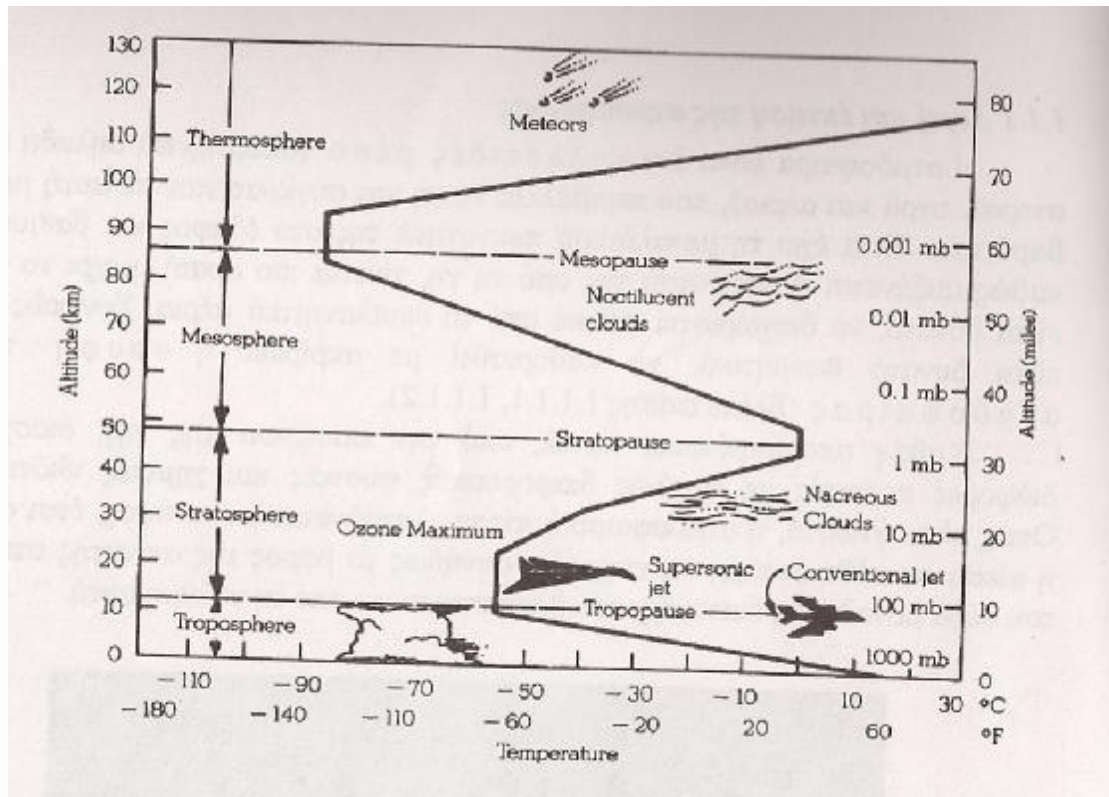
- ∅ Ετερόσφαιρα (από 100 km έως 500 km): εδώ οι μηχανισμοί ανάμιξης των συστατικών του αέρα με υδροστατική φύση δεν είναι αρκετά ισχυροί και έτσι η σύσταση της ατμόσφαιρας αλλάζει με το ύψος, αφού σύμφωνα με τη στατιστική μηχανική τα βαρύτερα συστατικά της ατμόσφαιρας τείνουν να έχουν μέγιστη συγκέντρωση σε χαμηλότερο ύψος από τα ελαφρότερα.
- ∅ Ομοιόσφαιρα (από τη Γήινη επιφάνεια έως τα 100 km περίπου): στην περιοχή αυτή επενεργούν μηχανισμοί ανάμιξης των ατμοσφαιρικών συστατικών, υδροστατικής προέλευσης, οι οποίοι διατηρούν τη σύσταση του αέρα σταθερή (εκτός από τα ιχνοστοιχεία), αφού ο χρόνος για να επιτευχθεί υδροστατική ισορροπία είναι σημαντικά μικρότερος από το χρόνο επίτευξης στατιστικής ισορροπίας. Πέρα από το άζωτο και το οξυγόνο, σημαντικά συστατικά της ομοιόσφαιρας είναι το όζον και οι υδρατμοί. Μόνο ένα κλάσμα της τάξης του  $10^{-6}$  της ατμοσφαιρικής μάζας συναντάται πάνω από τα 100 km.
  - Θερμόσφαιρα ή ιονόσφαιρα (από 85 km έως 110 km): εδώ η θερμοκρασία αυξάνει σταθερά με το ύψος στην αρχή και στη συνέχεια, στην περιοχή της θερμόπαυσης ή ομοιόπαυσης, παραμένει σταθερή. Μαζί με τα τρία επόμενα στρώματα αποτελούν τη λεγόμενη μέση ατμόσφαιρα.
  - Μεσόσφαιρα (από 50 km έως 85 km): χαρακτηρίζεται από απότομη πτώση της θερμοκρασίας σε μια τιμή της τάξης των  $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$  στο ύψος των 85 km. Ανώτερο όριο της είναι η μεσόπαυση, όπου οι υδρατμοί σχηματίζουν τα νυχτερινά φωτεινά νέφη, τα οποία αποτελούνται κυρίως από παγόκρυστάλλους.
  - Στρατόσφαιρα (από 7-17 km έως 50 km): τη χαρακτηρίζει η βαθμιαία αύξηση της θερμοκρασίας, η οποία φτάνει τους  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  στο ύψος των 50 km. Το ανώτερο όριο της ονομάζεται στρατόπαυση. Κύριο τμήμα της είναι το προστατευτικό στρώμα του όζοντος ( $\text{O}_3$ ) ή οζονόσφαιρα, το οποίο απορροφά τα μικρά μήκη κύματος της ηλιακής ακτινοβολίας (π.χ. υπεριώδεις ακτινοβολίες) και είναι υπεύθυνο για το μέγιστο της θερμοκρασίας που παρατηρείται στη στρατόπαυση. Η μέγιστη συγκέντρωση του όζοντος παρατηρείται φυσιολογικά μεταξύ 20 και 30 km. Στο ύψος των 27 km οι υδρατμοί δημιουργούν τα μαργαρώδη νέφη, τα οποία αποτελούνται από σταγονίδια.

Η μέση κατακόρυφη δομή της θερμοκρασίας στη μέση ατμόσφαιρα μπορεί να εξηγηθεί πρακτικά με τη βοήθεια της εκπομπής και της απορρόφησης ακτινοβολίας. Έτσι υπέρυθρη επανεκπομπή ακτινοβολίας από τα νέφη και τους υδρατμούς είναι η κύρια αιτία για το ελάχιστο της θερμοκρασίας στην τροπόπαυση, ενώ το μέγιστο της θερμοκρασίας στη στρατόπαυση οφείλεται στην έντονη απορρόφηση της υπεριώδους ακτινοβολίας από το όζον. Τέλος το θερμοκρασιακό ελάχιστο στη μεσόπαυση οφείλεται στο ελάχιστο της

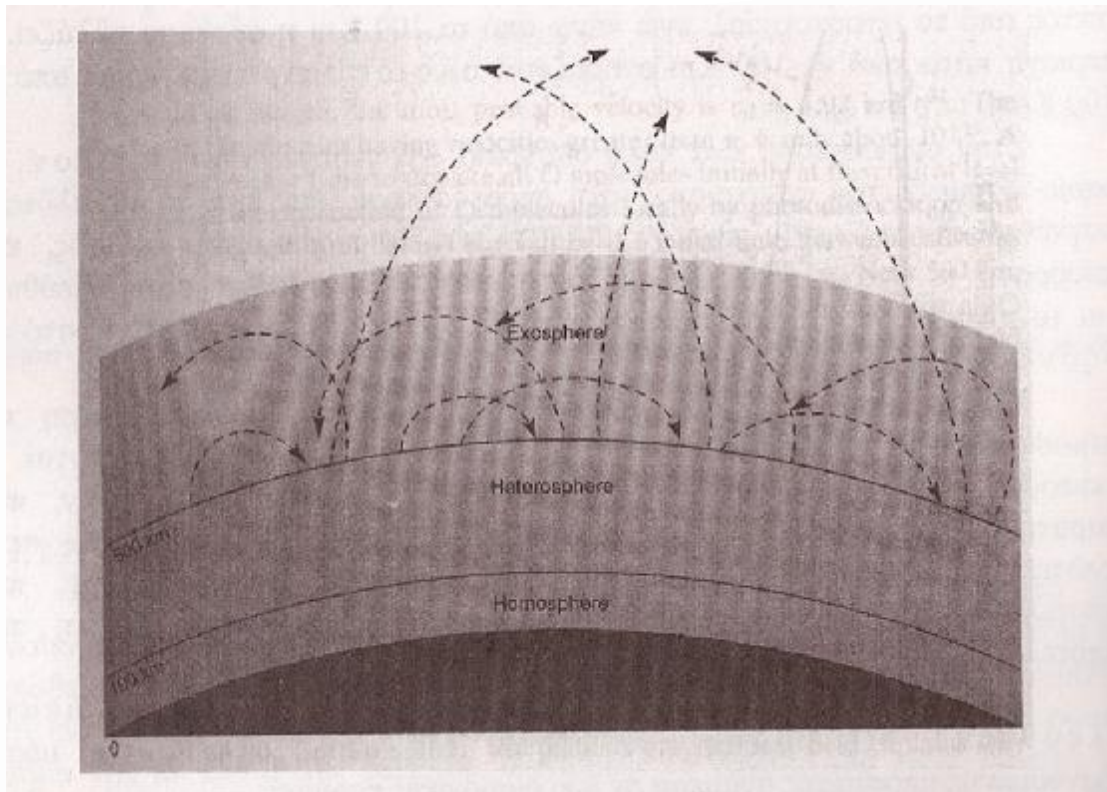
συγκέντρωσης του όζοντος στο επίπεδο αυτό, πράγμα το οποίο ελαττώνει ισχυρά την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας.

- Τροπόσφαιρα ή κατώτερη ατμόσφαιρα (από τη Γήινη επιφάνεια έως τα 7 km στους πόλους και τα 17 km στον ισημερινό): στην περιοχή αυτή περιέχονται τα  $\frac{4}{5}$  της μάζας της ατμόσφαιρας. Θεωρείται όχι άδικα η πλέον σημαντική περιοχή για τη ζωή γιατί εδώ συμβαίνουν τα καιρικά φαινόμενα και αναπτύσσονται οι κάθε είδους οργανισμοί. Η θερμοκρασία του αέρα από το έδαφος μέχρι κάποιο ύψος (περίπου 15 km) ελαττώνεται συνεχώς με σταθερό ρυθμό (5-7 °C/km) , ο οποίος μεταβάλλεται με το χρόνο και τον τόπο και μερικές φορές αλλάζει πρόσημο (θερμική αναστροφή). Ο κύριος λόγος για αυτή τη φαινομενικά ιδιόμορφη συμπεριφορά της τροπόσφαιρας είναι ότι τα κυριότερα αέρια συστατικά της είναι διαφανή στο μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας αλλά απορροφούν έντονα στην περιοχή συχνοτήτων της δευτερογενούς ακτινοβολίας που επανεκπέμπεται από τη Γη.





Εικόνα 1-1-1: στρώματα της ατμόσφαιρας σύμφωνα με την κατακόρυφη κατανομή της μέσης θερμοκρασίας. Η εικόνα είναι παρμένη από το βιβλίο «Ατμόσφαιρα και Αεροπορική Κυκλοφορία», του Κ. Βαρώτσου, Συμμετρία (2001).



Εικόνα 1-1-2: σχηματική παράσταση της ατμόσφαιρας, με την ομοιόσφαιρα, την ετερόσφαιρα και την εξώσφαιρα. Η εικόνα είναι παρμένη από το βιβλίο «Ατμόσφαιρα και Αεροπορική Κυκλοφορία», του Κ. Βαρώτσου, Συμμετρία (2001).

## **1.2 ΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΚΑΙ Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ ΣΤΗ ΖΩΗ ΣΤΟΝ ΠΛΑΝΗΤΗ.**

Ένα μάλλον παρεξηγημένο φυσικό φαινόμενο είναι το γνωστό Φαινόμενο του Θερμοκηπίου (Βαρώτσος και Kondratiev, 1996), το οποίο τόσο έχει απασχολήσει τα τελευταία χρόνια επιστήμονες και μη. Το φαινόμενο είναι φυσικό και είναι τόσο παλιό όσο και ο πλανήτης μας. Και ευτυχώς που υπάρχει! Η ζωή θα ήταν τελείως διαφορετική ή δε θα υπήρχε καθόλου χωρίς την ύπαρξη αυτού, αφού οι μέσες παγκόσμιες θερμοκρασίες θα ήταν εξαιρετικά χαμηλές σε παγκόσμια και ετήσια βάση ( $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , αντί των  $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$  που είναι σήμερα) και επομένως απαγορευτικές για την ανάπτυξη ζωής, τουλάχιστον όπως την γνωρίζουμε σήμερα. Από τους κοντινούς σε μας πλανήτες του ηλιακού μας συστήματος η Αφροδίτη είναι πολύ καυτή ( $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) και ο Άρης είναι πολύ κρύος ( $-53\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), ενώ η Γη είναι ότι πρέπει για να κατοικηθεί, κυρίως επειδή έχει δημιουργήσει γύρω της την κατάλληλη ατμόσφαιρα, η οποία με το φαινόμενο του θερμοκηπίου την καθιστά κατοικήσιμη. Δεν είναι τόσο η θέση δηλαδή που την καθιστά προνομιούχο αλλά η ατμόσφαιρά της. Ωστόσο πολλοί από άγνοια αναθεματίζουν το τόσο ζωτικό για τον πλανήτη μας φαινόμενο. Ας δούμε όμως ακριβέστερα περί τίνος πρόκειται.

Με στόχο την καλύτερη κατανόηση των φαινομένων εκπομπής και απορρόφησης ακτινοβολίας θα αναφερθούμε σύντομα στο μοντέλο του μέλανος σώματος (Young, 1991), το οποίο χρησιμοποιείται στην περιγραφή της εκπεμπόμενης και απορροφούμενης ακτινοβολίας από θερμή συμπυκνωμένη ύλη (στερεή ή υγρή). Στην περίπτωση αυτή οι δομικοί λίθοι της ύλης αλληλεπιδρούν ισχυρά μεταξύ τους και τα φάσματα εκπομπής ή απορρόφησης εκτείνονται σε ορισμένη, συνεχή περιοχή συχνοτήτων. Μια ιδανική επιφάνεια, η οποία μπορεί να εκπέμπει και να απορροφά οποιασδήποτε συχνότητας ακτινοβολία ονομάζεται μέλαν σώμα. Η ακτινοβολία του είχε μελετηθεί διεξοδικά ως την πρώτη δεκαετία του 20<sup>ου</sup> αιώνα. Η ολική ισχύς ανά μονάδα επιφάνειας (ένταση  $I_{ολ}$ ) που εκπέμπεται από την επιφάνεια ενός ιδανικού ακτινοβολητή δίνεται από το Νόμο των Steffan-Boltzmann,

$$I_{ολ} = \sigma \cdot T^4 \quad (1.6),$$

όπου  $\sigma$  είναι μια φυσική σταθερά, γνωστή ως σταθερά των Steffan-Boltzmann, η οποία δίνεται σε μονάδες S.I.

$$\sigma = 5,6705 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4} \quad (1.7).$$

Η κατανομή της εκπεμπόμενης ισχύος  $I(\lambda)$  (φασματική κατανομή αφετικής ικανότητας) σε συνάρτηση με το μήκος κύματος της ακτινοβολίας  $\lambda$  δίνεται από το Νόμο του Planck

$$I(\lambda) = \frac{2phc_0^2}{I^5 \left( e^{\frac{hc_0}{\lambda kT}} - 1 \right)} \quad (1.8),$$

όπου  $T$  η απόλυτη θερμοκρασία,  $h$  η σταθερά του Planck,  $k$  η σταθερά του Boltzmann και  $c_0$  η ταχύτητα διάδοσης του φωτός στο κενό. Από εδώ μπορούμε να επαληθεύσουμε ότι το μήκος κύματος στο οποίο παρατηρείται η θέση του μεγίστου της παραπάνω συνάρτησης θα δίνεται από τον τύπο (Νόμος Wien)

$$\lambda_m \cdot T = \text{σταθερό} = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K} \quad (1.9).$$

Ας σημειωθεί ότι οι περισσότερες πραγματικές επιφάνειες απέχουν σημαντικά από αυτό που ονομάζουμε μέλαν σώμα, όμως οι περισσότερες από αυτές πλησιάζουν τις ιδιότητες των διηλεκτρικών (μονωτών) και των ημιαγωγών. Αυτές στις περισσότερες περιοχές ακτινοβολίας και θερμοκρασίας συμπεριφέρονται με παρόμοια με το ιδανικό μέλαν σώμα και ονομάζονται φαιά σώματα. Σε αυτά η ένταση της θερμικής ακτινοβολίας  $I'(\lambda)$  μπορεί να προσδιοριστεί από τον τύπο

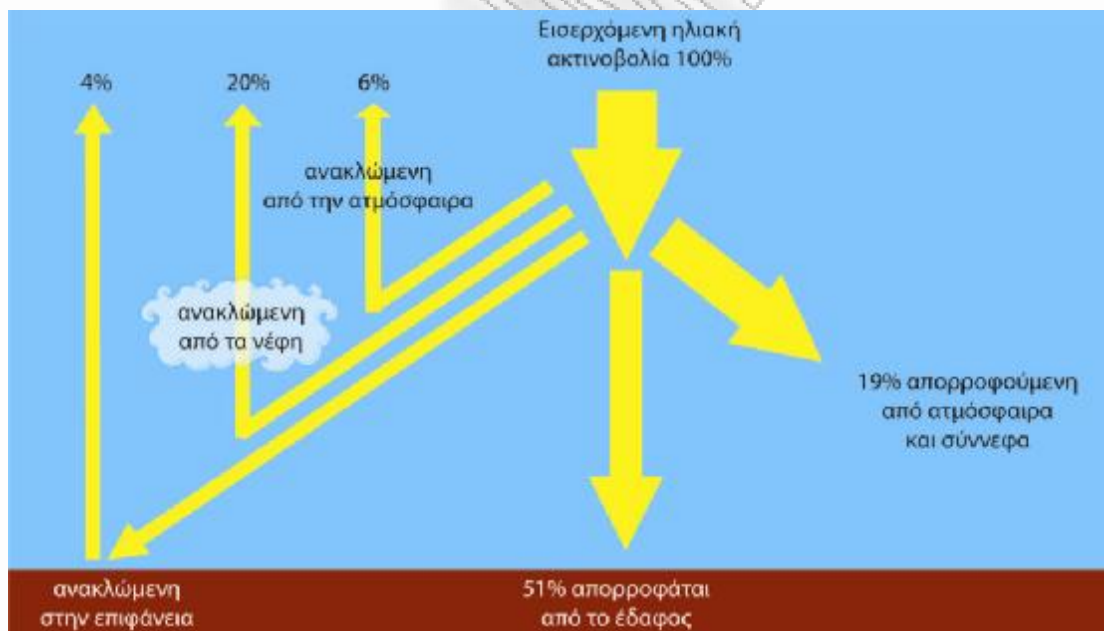
$$I'(\lambda) = \delta(\lambda) \cdot I(\lambda) \quad (1.10),$$



όπου  $\delta(\lambda)$  η σχετική αφεικτική ικανότητα για το φαιό σώμα (για το ιδανικό μέλαν σώμα  $\delta(\lambda) = 1$  για κάθε  $\lambda$ ). Από εδώ προκύπτει με κατάλληλη ολοκλήρωση

$$I'_{\text{ολ}} = \delta_{\text{ολ}} \cdot I_{\text{ολ}} \quad (1.11).$$

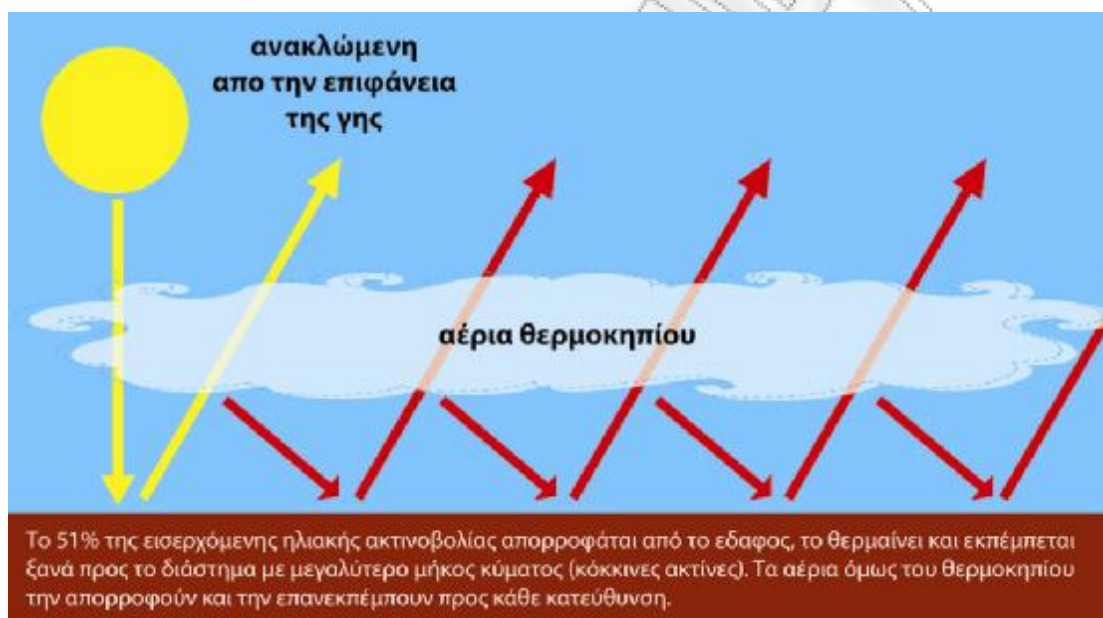
Η Γη, όπως είναι γνωστό (Δανέζης και Θεοδοσίου, 1999), περιβάλλεται από την ατμόσφαιρά της, εξασφαλίζει δε τις ενεργειακές της ανάγκες από τον ζωοδότη Ήλιο, ο οποίος και την ακτινοβολεί συνεχώς. Συνολικά δέχεται ηλιακή ακτινοβολία που αντιστοιχεί σε ροή περίπου  $1366 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ . Μέρος αυτής της ακτινοβολίας κατακρατείται από την Γη ενώ το υπόλοιπο επιστρέφει στο διάστημα. Όπως φαίνεται στην Εικ. 1-4 μόνο το 51% της ηλιακής ακτινοβολίας απορροφάται από την επιφάνεια της Γης και τους ωκεανούς και χρησιμοποιείται για την θέρμανση της επιφάνειας και της χαμηλότερης ατμόσφαιρας, για την τήξη των πάγων ή του χιονιού, την εξάτμιση των υδάτων και την πρόκληση της φωτοσυνθέσεως στα φυτά. Από το υπόλοιπο 49%, το 4% ανακλάται από την επιφάνεια και επιστρέφει προς το διάστημα, το 26% ανακλάται πίσω από τα νέφη και τα σωματίδια της ατμόσφαιρας και το 19% απορροφάται από τα ατμοσφαιρικά αέρια, σωματίδια και νέφη, συμπεριλαμβανομένου και του στρώματος του όζοντος. Μπορούμε να πούμε ότι το 30% της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας στο σύστημα γη-ατμόσφαιρα ανακλάται, ενώ το υπόλοιπο 70% απορροφάται.



Εικόνα 1-1-4: ανάκλαση και απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας από τη Γη.

Η θέρμανση της Γης την μετατρέπει σε πομπό επανεκπομπής ακτινοβολίας μεγάλου κυρίως μήκους κύματος (π.χ. υπέρυθρης) στο διάστημα, αφού η επιφάνειά της μπορεί να θεωρηθεί φαιό σώμα που εκπέμπει ακτινοβολία σύμφωνα με τις εξισώσεις (1.6)- (1.11). Στην τροπόσφαιρα, η οποία αποτελεί το χαμηλότερο και πυκνότερο στρώμα της ατμόσφαιρας, υπάρχουν κάποια αέρια (θερμοκηπικά αέρια) που απορροφούν μεγάλο μέρος της εκπεμπόμενης από τη Γη ακτινοβολίας και την επανεκπέμπουν στο διάστημα.

Έτσι η θερμοκρασία στην τροπόσφαιρα ελαττώνεται με το ύψος, αφού κύρια πηγή θέρμανσής της είναι η δευτερογενής ακτινοβολία της Γης με τη βοήθεια των παραπάνω αερίων, ενώ η απορρόφησή της γίνεται από τα κατώτερα και θερμότερα στρώματα, τα οποία την εκπέμπουν κατά το μεγαλύτερο μέρος προς το έδαφος και το υπόλοιπο σε ανώτερα και ψυχρότερα στρώματα μέχρι την αποκατάσταση θερμικής ισορροπίας, οπότε μετά η διαδικασία συνεχίζεται αδιάλειπτα. Με τον τρόπο αυτόν τα θερμοκηπικά αέρια εκπέμπουν τελικά προς το διάστημα λιγότερη ακτινοβολία από αυτή που δέχονται από τη γήινη επιφάνεια. Έτσι κατακρατούν μέρος αυτής της επανεκπεμπόμενης ακτινοβολίας από την επιφάνεια της Γης και αυτό ακριβώς συνιστά το φαινόμενο θερμοκηπίου. Η Εικ. 1-5 δείχνει ακριβώς αυτή τη διεργασία.



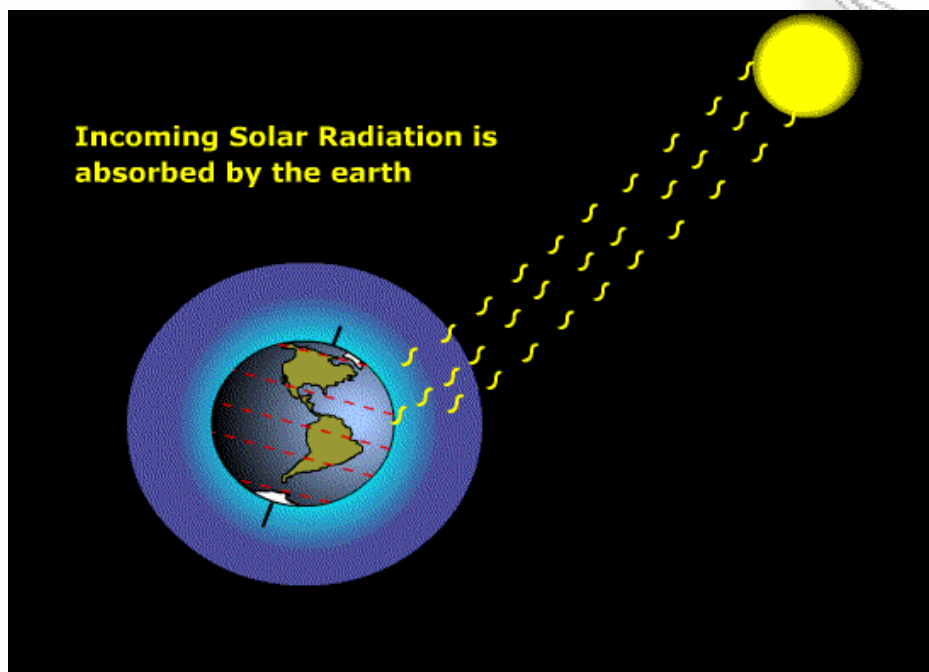
Εικόνα 1-1-5: σχηματική απεικόνιση του φαινομένου του θερμοκηπίου

Μιλώντας με ενεργειακούς όρους και συνοψίζοντας τα παραπάνω ας δούμε το ισοζύγιο ακτινοβολίας για το σύστημα Γης-Ατμόσφαιρας σε παγκόσμια και ετήσια βάση, που έχει ως εξής (βλεπτε Εικ. 1-6):

- Εισερχόμενη στο σύστημα ηλιακή ακτινοβολία, κατά το μεγαλύτερο ποσοστό της στην περιοχή των μεγάλων συχνοτήτων, η οποία αντιστοιχεί σε ροή  $236 \text{ W.m}^{-2}$ .
- Εκπεμπόμενη από την γήινη επιφάνεια ακτινοβολία, κατά το μεγαλύτερο ποσοστό στην περιοχή των μικρών συχνοτήτων, η οποία αντιστοιχεί σε ροή  $390 \text{ W.m}^{-2}$ .

Η αρχή διατήρησης της ενέργειας επιβάλλει ώστε η ακτινοβολία που εγκαταλείπει το σύστημα να αντιστοιχεί σε  $236 \text{ W.m}^{-2}$ . Έτσι ενώ η ακτινοβολία που εκπέμπεται από την γήινη επιφάνεια αντιστοιχεί σε  $390 \text{ W.m}^{-2}$  η παρεμβολή της ατμόσφαιρας την μειώνει σε  $236 \text{ W.m}^{-2}$ . Αυτή η μείωση της ακτινοβολίας μικρών συχνοτήτων αναφέρεται σαν φαινόμενο θερμοκηπίου και οφείλεται σε ορισμένα αέρια της τροπόσφαιρας

(θερμοκηπικά αέρια), κυρίως δε στους υδρατμούς και το διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ).



Εικόνα 1-1-3: ανάκλαση και απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας από τη Γη. Εικόνα παρμένη από το διαδικτυακό ιστότοπο [www.utoopia.duth.gr](http://www.utoopia.duth.gr).

Περίπου το 86%- 90% της κατακρατούμενης από την ατμόσφαιρα γήινης ακτινοβολίας, οφείλεται στην παρουσία υδρατμών ( $\text{H}_2\text{O}$ ), διοξειδίου του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) και νεφών. Οι υδρατμοί αποτελούν το πλέον ενεργό συστατικό, κατά ποσοστό 60%, ενώ μικρότερη συνεισφορά (περίπου 8%-10%) έχουν και τα αέρια μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ), οξείδια του αζώτου ( $\text{NO}_x$ , όπως  $\text{N}_2\text{O}$ ) και όζον ( $\text{O}_3$ ). Η συνεισφορά του διοξειδίου του άνθρακα στο φαινόμενο είναι της τάξης του 16 %. Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται τα αέρια που συμμετέχουν ενεργά στο Φαινόμενο Θερμοκηπίου, οι συγκεντρώσεις τους στην ατμόσφαιρα σε μέρη ανά εκατομμύριο(ppm) ή μέρη ανά δισεκατομμύριο(ppb) κατά το έτος 1750 και σήμερα, καθώς και η προέλευσή τους, φυσική ή ανθρωπογενής στους ακριβώς επόμενους πίνακες (Πίνακες 1-1, 1-2).

Πίνακας 1-1: Εξέλιξη των κυριότερων θερμοκηπικών αερίων από το 1750 ως σήμερα. Πίνακας παρμένος από το διαδικτυακό ιστότοπο [www.physics4u.gr](http://www.physics4u.gr).

Αέρια Θερμοκηπίου	Συγκέντρωση το 1750	Συγκέντρωση σήμερα	Ποσοστό μεταβολής
Διοξείδιο Άνθρακα	280ppm	360ppm	29%
Μεθάνιο	0,70ppm	1,70ppm	143%
Οξείδια Αζώτου	280ppb	310ppb	11%
CFCs (χλωροφθοράνθρακες)	0	900ppt	-
Όζον	Άγνωστο	Ποικίλλει	-

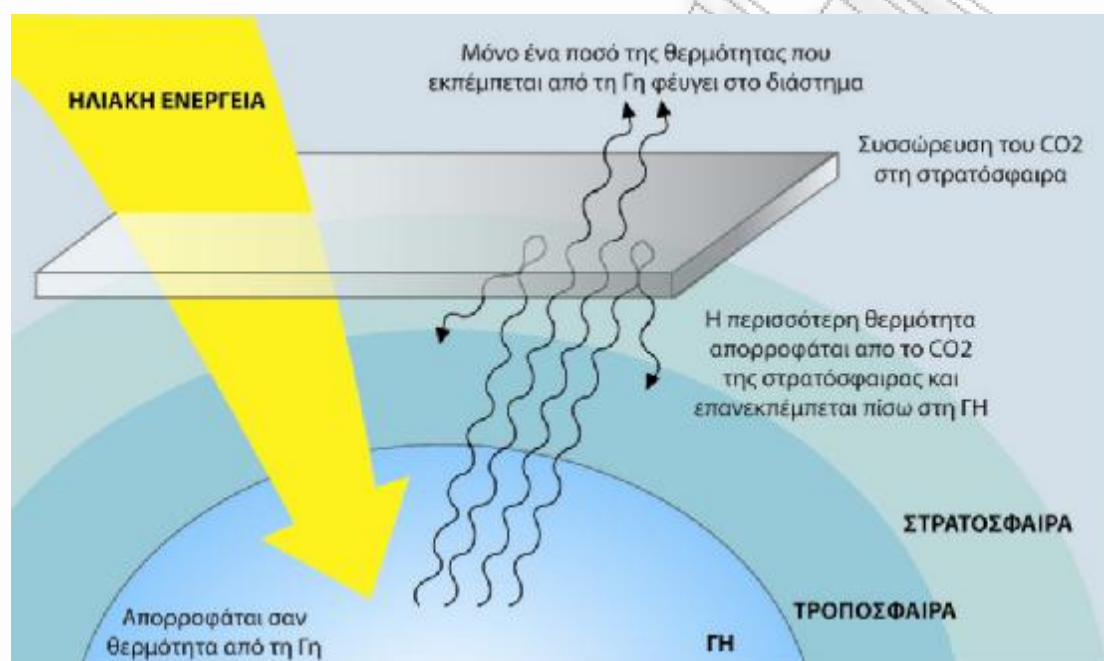
Πίνακας 1-2: Προέλευση των κυριότερων θερμοκηπικών αερίων. Πίνακας παρμένος από το διαδικτυακό ιστότοπο [www.physics4u.gr](http://www.physics4u.gr).

Αέρια Θερμοκηπίου	Προέλευση
Διοξείδιο Άνθρακα	Οργανική αποσύνθεση, Πυρκαγιές δασών, Ηφαίστεια, Καύσιμα Αποδοσώσεις, κ.λ.π.
Μεθάνιο	Υγρότοποι, Οργανική αποσύνθεση, Τερμίτες, Φυσικό αέριο – πετρελαιοπηγές, Καύση βιομάζας, Ρυζοκαλλιέργειες, Κτήνη, Σκουπιδοτόποι.
Οξείδια Αζώτου	Δάση, Λιβάδια, Ωκεανοί, Απορρίμματα, Καλλιέργειες, Λιπάσματα; Καύση Βιομάζας, Καύσιμα
CFC <sub>s</sub> (χλωροφθοράνθρακες)	Ψυγεία, Ψεκασμοί, Αεριοθούμενα, Απορρυπαντικά
Όζον	Δράση ηλιακής ακτινοβολίας επί μορίων Οξυγόνου και τεχνητή παραγωγή διά μέσου της φωτοχημικής αιθαλομίχλης

Το όνομά του το φαινόμενο αυτό το πήρε από το Γάλλο μαθηματικό J. Fourier στα 1822 εξαιτίας της ομοιότητάς του με αυτό που συμβαίνει στα θερμοκήπια των φυτών όπου οι καλλιέργειες καλύπτονται με υλικό που επιτρέπει μεν την είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας μεγάλων συχνοτήτων, αποτρέπει όμως την διαφυγή των μικρών συχνοτήτων της γήινης ακτινοβολίας. Η ενέργεια των ακτινοβολιών αυτών εγκλωβίζεται στο χώρο του θερμοκηπίου, με αποτέλεσμα την θέρμανση του αέρα και την επίτευξη συνθηκών ταχείας και πρόωρης αναπτύξεως των φυτών. Στο σημείο αυτό αξίζει να παρατηρήσουμε ότι σύμφωνα με νεότερες έρευνες (Βαρώτσος και Kondratiev, 1996) η δράση του θερμοκηπίου οφείλεται κυρίως στην

παρεμπόδιση της διάδοσης της θερμότητας ανάμεσα στο έδαφος και την ατμόσφαιρα με στροβίλους και στον περιορισμό της εξάτμισης και όχι τόσο στο ότι το πλαστικό ή γυάλινο σκέπαστρό του είναι αδιαφανές στη θερμική ακτινοβολία της Γης.

Ο όρος πάντως από τα μέσα της δεκαετίας του 1950 συνδέθηκε όχι μόνο με το προαναφερθέν φυσικό φαινόμενο αλλά και με τις κλιματικές αλλαγές και την παγκόσμια θέρμανση, αφού κύρια πιθανή αιτία της αναφέρεται η ένταση του φαινομένου του θερμοκηπίου λόγω της ρύπανσης της ατμόσφαιρας από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Στην Εικ. 1-7 φαίνονται αρκετά παραστατικά η επιπύπτουσα ηλιακή ακτινοβολία και η τύχη της σε σχέση με το στρώμα του διοξειδίου του άνθρακα, το οποίο αποτελεί σημαντικό ρύπτο ανθρωπογενούς προέλευσης, προϊόν καύσεως σε αυτοκίνητα και βιομηχανίες.



Εικόνα 1-1-4: παγίδευση της ακτινοβολίας από στρώμα διοξειδίου του άνθρακα.

Μια ειδική περίπτωση του φαινομένου του θερμοκηπίου είναι αυτή του Super Θερμοκηπίου (Βαρώτσος και Kondratiev, 1996). Ένας παρατηρητής κινούμενος από μικρές σε μεγάλες διαφορές θερμοκρασίας μεταξύ ξηράς και θάλασσας θα παρατηρήσει ισχυρό ατμοσφαιρικό φαινόμενο του θερμοκηπίου στη νέα του θέση. Αυτό σημαίνει ότι η παγίδευση του ατμοσφαιρικού θερμοκηπίου αυξάνει γρηγορότερα με τη χωρική αύξηση της διαφοράς θερμοκρασίας θάλασσας και ξηράς σε σχέση με την επιφανειακή εκπομπή δευτερογενούς ακτινοβολίας, κυρίως στο υπέρυθρο. Αυτό ονομάζεται Φαινόμενο του Super Θερμοκηπίου και συνήθως συμβαίνει σε περιοχές που χαρακτηρίζονται από μεγάλες και μικρές διαφορές θερμοκρασίας μεταξύ ξηράς και θάλασσας. Κάτω λοιπόν από καθαρό ουρανό οι παρατηρούμενες τιμές του ατμοσφαιρικού φαινομένου του θερμοκηπίου αυξάνονται απότομα με τη χωρικά αυξανόμενη διαφορά θερμοκρασίας ξηράς- θάλασσας.

Ενώ όμως στη Γη το φαινόμενο του θερμοκηπίου, όπως περιγράφηκε παραπάνω, παίζει σημαντικό ρόλο στον καθορισμό της επιφανειακής της

θερμοκρασίας στην ατμόσφαιρα του Τιτάνα, φυσικού δορυφόρου του πλανήτη Κρόνου, παρατηρείται το φαινόμενο του αντιθερμοκηπίου (Δανέζης και Θεοδοσίου, 1999). Στην περιοχή αυτή συναντάται ένα ομιχλώδες στρώμα οργανικών ενώσεων που απορροφούν μεγάλο μέρος των ορατών μηκών κύματος της ηλιακής ακτινοβολίας, με αποτέλεσμα την παρεμπόδιση της περαιτέρω αύξησης της επιφανειακής θερμοκρασίας του. Παρόμοια φαινόμενα συμβαίνουν και στη Γη όταν συσσωρεύεται ηφαιστειακή τέφρα και άλλα αερολύματα στην ατμόσφαιρά της μετά από ισχυρές ηφαιστειακές εκρήξεις, πρόσκρουση μεγάλων ουράνιων σωμάτων ή ύστερα από κάποιον πυρηνικό πόλεμο. Όπως θα δούμε παρακάτω, τέτοια φαινόμενα έπαιξαν και παίζουν σημαντικό ρόλο στις διάφορες κλιματικές αλλαγές στον πλανήτη μας.

### **1.3 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ.**

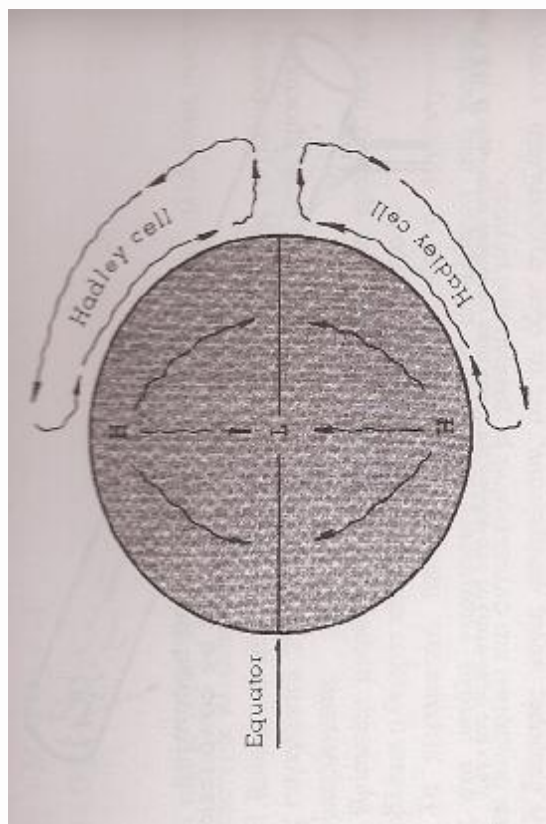
Η ατμόσφαιρα του πλανήτη μας δεν είναι ένα ακίνητο ρευστό σε ισορροπία. Μεγάλες αέριες μάζες μετατοπίζονται διαρκώς από το ένα μέρος στο άλλο για διάφορους λόγους. Ο όρος γενική κυκλοφορία αντιπροσωπεύει μόνο τη μέση ροή του αέρα γύρω από τον πλανήτη. Ο πραγματικός άνεμος σε έναν τόπο και σε μια δοσμένη χρονική στιγμή μπορεί να μεταβάλλεται σημαντικά γύρω από αυτήν την τιμή για διάφορους λόγους. Γενικά η μέση τιμή εκφράζει το γιατί και το πώς ο άνεμος πνέει κατά συγκεκριμένο τρόπο σε διάφορες περιοχές του πλανήτη.

Σε μια πρώτη απλή προσέγγιση κάνουμε τις ακόλουθες υποθέσεις (Βαρώτσος, 1997 και 2001):

- η γήινη επιφάνεια θεωρείται ομοιόμορφα καλυμμένη με νερό για να αποφύγουμε την επίδραση της διαφορετικής θέρμανσης της ξηράς από τη θάλασσα.
- ο Ήλιος κοιτά συνεχώς προς τον ισημερινό, οπότε αποφεύγεται η εποχική μεταβλητότητα.
- η Γη δεν περιστρέφεται, οπότε μας ενδιαφέρουν μόνο δυνάμεις σχετιζόμενες με διαφορές πίεσης.

Αυτές οι υποθέσεις οδηγούν στο συμπέρασμα ότι ο αέρας ανέρχεται στον ισημερινό, στη συνέχεια οδεύει προς τους δυο πόλους, όπου κατέρχεται και επιστρέφει πάλι στον ισημερινό. Με άλλα λόγια η γενική κυκλοφορία του αέρα παίρνει τη μορφή δυο κατακόρυφων συστημάτων ανακύκλωσης αέριων μαζών (ένα σε κάθε ημισφαίριο) οι οποίες αποκαλούνται κύτταρα (cells). Η φυσική αιτία αυτού του κυττάρου κυκλοφορίας σε κάθε ημισφαίριο, το οποίο είναι γνωστό ως Κύτταρο Hadley (Βαρώτσος, 1997 και 2001), είναι η μεγάλη θέρμανση στον ισημερινό, η οποία δημιουργεί στην εκεί γήινη επιφάνεια χαμηλή πίεση, συνδυασμένη με την ταυτόχρονη μεγάλη ψύξη στον Πόλο, η οποία δημιουργεί εκεί υψηλή πίεση. Με τον τρόπο αυτόν ανάμεσα στον ισημερινό και τους πόλους εμφανίζεται οριζόντια βαθμίδα πίεσης, με συνέπεια ο ψυχρός πολικός αέρας να ρέει προς τον ισημερινό, ενώ στα μεγαλύτερα

ύψη ο θερμός ισημερινός αέρας να ρέει προς τους πόλους. Με τον τρόπο αυτό μεταφέρεται περίσσεια ενέργειας από τον ισημερινό και γενικότερα από την τροπική ζώνη σαν αισθητή ή λανθάνουσα θερμότητα προς τους πόλους.

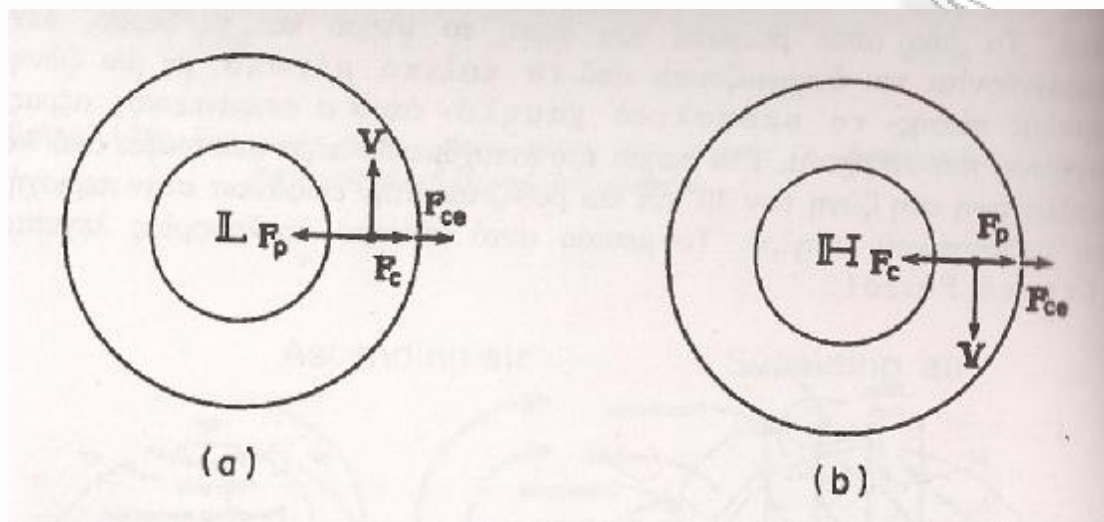


Εικόνα 1-1-5: σχηματική απεικόνιση του κυττάρου Hadley. Η εικόνα είναι παρμένη από το βιβλίο «Ατμόσφαιρα και Αεροπορική Κυκλοφορία», του Κ. Βαρώτσου, Συμμετρία (2001).

Στην πραγματικότητα βέβαια το παραπάνω μοντέλο αδυνατεί να περιγράψει τη μέση κυκλοφορία στον πλανήτη μας ορθά. Κύριος λόγος για αυτό φαίνεται ότι είναι η περιστροφή του, η οποία συνεπάγεται τη διατήρηση της συνολικής στροφορμής του συστήματος Γη- ατμόσφαιρα και εισάγει για τους γήινους παρατηρητές αδρανειακές δυνάμεις λόγω περιστροφής, τη δύναμη Coriolis και τη φυγόκεντρο. Η αδρανειακή δύναμη Coriolis αποκλίνει τη χαμηλή νότια ροή του βόρειου ημισφαιρίου προς τα δεξιά παράγοντας ανατολικούς επιφανειακούς ανέμους σε όλα τα γεωγραφικά πλάτη. Η φυγόκεντρος δύναμη τείνει να αποκλίνει τις αέριες μάζες από τις κυκλικές τους τροχιές. Μια πιο ρεαλιστική προσέγγιση είναι αυτή του λεγόμενου Τριπλού Κυττάρου (Βαρώτσος, 1997 και 2001). Αυτή προβλέπει στην επιφάνεια κάθε ημισφαιρίου, κατά τη διεύθυνση ενός μεσημβρινού, δύο κύριες περιοχές υψηλών πιέσεων (σε  $30^\circ$  γεωγραφικό πλάτος και στον πόλο) και δύο κύριες περιοχές χαμηλών πιέσεων (σε  $60^\circ$  γεωγραφικό πλάτος και στον ισημερινό). Ας δούμε πως γίνεται αυτό (Βαρώτσος, 1997 και 2001).

Στον ισημερινό ο θερμός αέρας ανέρχεται και συμπυκνώνει υδρατμούς, δημιουργώντας νέφη τύπου "cumulus" και απελευθερώνοντας μεγάλες ποσότητες λανθάνουσας θερμότητας. Αυτή κάνει τον αέρα πιο ανοδικό, ενισχύοντας το κύτταρο Haddley. Ο ανερχόμενος αέρας φτάνει στην τροπόπαυση, η οποία δρα σαν καπάκι καθοδηγώντας τον αέρα προς τους

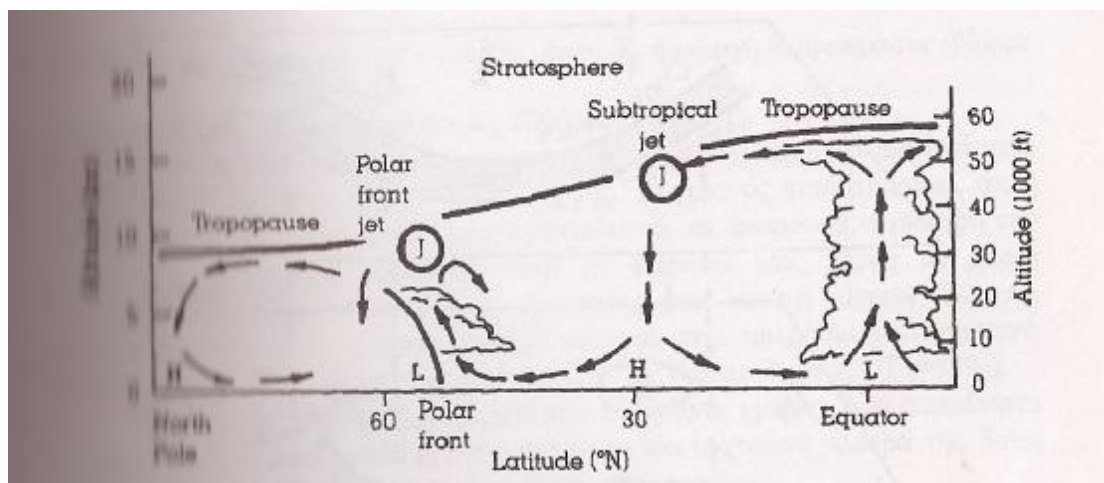
πόλους. Η αδραειακή δύναμη Coriolis όμως αποκλίνει αυτήν τη ροή προς τα δεξιά δημιουργώντας δυτικούς ανέμους ψηλά. Αυτοί οι άνεμοι φτάνουν στη μέγιστη ταχύτητά τους, παράγοντας αεροχείμαρους (jet streams) στα γεωγραφικά πλάτη  $30^\circ$  και  $60^\circ$  περίπου.



Εικόνα 1-1-6: δύναμη Coriolis και φυγόκεντρος δύναμη. Η εικόνα είναι παρμένη από το βιβλίο «Ατμόσφαιρα και Αεροπορική Κυκλοφορία», του Κ. Βαρώτσου, Συμμετρία (2001).

Οι αεροχείμαροι (jet streams) είναι αέρια ρεύματα μήκους χιλιάδων χιλιομέτρων, πλάτους εκατοντάδων χιλιομέτρων και πάχους μόνο μερικών χιλιομέτρων. Στον κεντρικό πυρήνα του αεροχείμαρου η ταχύτητα του ανέμου υπερβαίνει τα 100- 250 knots. Τέτοιους αεροχείμαρους συναντάμε συχνά στην τροπόπαυση, στο όριο δηλαδή μεταξύ στρατόσφαιρας και τροπόσφαιρας. Συγκεκριμένα, σε  $30^\circ$  και  $60^\circ$  γεωγραφικό πλάτος περίπου, όπου η τροπόσφαιρα παρουσιάζει ανοίγματα και το όριό της με τη στρατόσφαιρα είναι δυσδιάκριτο, υπάρχουν δυο αεροχείμαροι (αεροχείμαροι τροπόπαυσης). Ο πρώτος βρίσκεται σε ύψος 13 km περίπου στην υποτροπική ζώνη και ονομάζεται υποτροπικός αεροχείμαρος, ενώ ο δεύτερος σε ύψος 10 km σε βορειότερα γεωγραφικά πλάτη και ονομάζεται αεροχείμαρος πολικού μετώπου ή πολικός αεροχείμαρος. Ανάλογα με τη σχετική θέση της Γης ως προς τον Ήλιο οι αεροχείμαροι ενισχύονται, εξασθενούν ή μετακινούνται άλλοτε προς μεγαλύτερα και άλλοτε προς μικρότερα γεωγραφικά πλάτη, σηματοδοτώντας την εναλλαγή των εποχών.





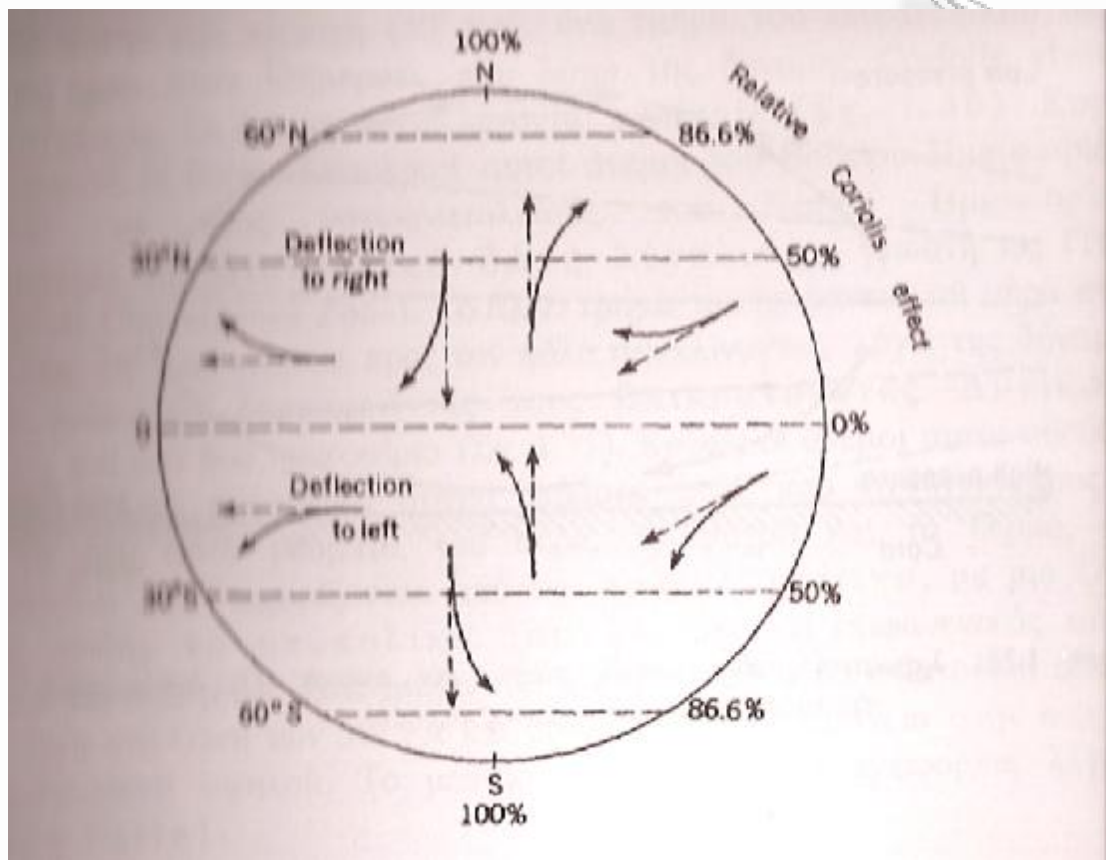
Εικόνα 1-1-7: αεροχείμαροι (jet- streams). Η εικόνα είναι παρμένη από το βιβλίο «Ατμόσφαιρα και Αεροπορική Κυκλοφορία», του Κ. Βαρώτσου, Συμμετρία (2001).

Ο αέρας τώρα κινούμενος προς τον πόλο από τα τροπικά γίνεται πυκνότερος, αφού ψύχεται σταδιακά. Φτάνοντας στα μέσα γεωγραφικά πλάτη συγκλίνει, παράγοντας υψηλότερες πιέσεις στην επιφάνεια. Εδώ συναντώνται τα υψηλά βαρομετρικά των υποτροπικών, όπου ο αέρας κατέρχεται, δημιουργώντας καθαρό ουρανό και θερμή επιφάνεια. Παράλληλα γίνεται ζεστός και ξηρός. Δεν είναι τυχαίο πως στην περιοχή αυτή εντοπίζονται οι μεγαλύτερες έρημοι στον πλανήτη, όπως η Σαχάρα (έκταση περίπου 8,6 εκατομμύρια τετραγωνικά χιλιόμετρα- <http://www.wikipedia.org>). Από την περιοχή αυτή (γεωγραφικό πλάτος περίπου 30°), ένα τμήμα του επιφανειακού αέρα επιστρέφει πίσω στον ισημερινό και γίνεται βορειοανατολικό λόγω της δύναμης Coriolis. Τέτοιοι άνεμοι λέγονται αληγείς. Κοντά στον ισημερινό οι βορειοανατολικοί αυτοί άνεμοι του βορείου ημισφαιρίου συγκλίνουν με τους νοτιοανατολικούς του νοτίου ημισφαιρίου, δημιουργώντας τη Διατροπική Ζώνη Σύγκλισης (Inertropical Convergence Zone, ITCZ). Εκεί επικρατούν τα μεγάλα τροπικά δάση της βροχής (Αμαζονία, Κεντρική Αφρική, Νοτιοανατολική Ασία). Η παραπάνω κυκλοφορία αποτελεί το τροποποιημένο Κύτταρο Hadley.

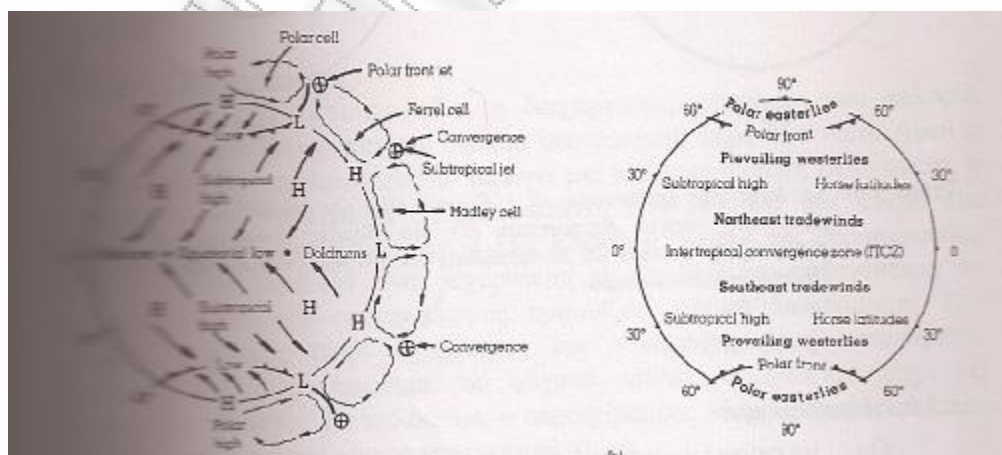
Το άλλο τμήμα του παραπάνω επιφανειακού αέρα κινείται προς τους πόλους, αποκλίνοντας λόγω της δύναμης Coriolis ανατολικά και δημιουργώντας τους επικρατούντες δυτικούς ανέμους στα δυο ημισφαίρια. Καθώς αυτοί οδεύουν προς τους πόλους, συναντούν ψυχρά ρεύματα, τα οποία κινούνται προς τα κάτω. Τα δυο αυτά ρεύματα του αέρα, το ψυχρό και το θερμό, δεν αναμιγνύονται αλλά διαχωρίζονται από το πολικό μέτωπο με μια ζώνη χαμηλής πίεσης, όπου ο επιφανειακός αέρας συγκλίνει και ανέρχεται, το υποπολικό χαμηλό. Ένα τμήμα του ανερχόμενου αέρα επιστρέφει από τα μεγάλα ύψη στη ζώνη με γεωγραφικό πλάτος 30° και βυθίζεται στην επιφάνεια στην περιοχή του υποτροπικού υψηλού. Το μεσαίο αυτό κύτταρο κυκλοφορίας λέγεται Κύτταρο Ferrel.

Τέλος στο πολικό μέτωπο, το οποίο συναντάται σε 60° γεωγραφικό πλάτος, ο ψυχρός αέρας από τον πόλο αποκλίνει λόγω της δύναμης Coriolis,

δημιουργώντας βορειοανατολική ροή (περιοχή πολικών ανατολικών ανέμων) αλλά και ένα ακόμα κύτταρο κυκλοφορίας, το πολικό.



Εικόνα 1-1-8: εκτροπή αερίων μαζών εξαιτίας της δύναμης Coriolis. Η εικόνα είναι παρμένη από το βιβλίο «Ατμόσφαιρα και Αεροπορική Κυκλοφορία», του Κ. Βαρώντσου, Συμμετρία (2001).



Εικόνα 1-1-9: σχηματική απεικόνιση μοντέλου του τριπλού κυττάρου. Η εικόνα είναι παρμένη από το βιβλίο «Ατμόσφαιρα και Αεροπορική Κυκλοφορία», του Κ. Βαρώντσου, Συμμετρία (2001).

Το παραπάνω μοντέλο συμφωνεί πλήρως με την παρατηρούμενη γενική κατανομή ανέμων και πιέσεων στην επιφάνεια της Γης, εξακολουθεί όμως να παρουσιάζει ορισμένες αποκλίσεις από την πραγματικότητα. Η σπουδαιότερη είναι ότι το μεσαίο κύτταρο κυκλοφορίας (κύτταρο Ferrel) προϋποθέτει ανατολικό άνεμο ψηλά, αφού η ροή του ανέμου είναι προς τον ισημερινό. Παρατηρήσεις όμως μας δείχνουν ότι εκεί ο άνεμος είναι δυτικός. Οι αποκλίσεις αυτές σημαίνουν πως παρά την αναμφισβήτητη πρόοδο που έχει συντελεστεί τα τελευταία εβδομήντα χρόνια στη μελέτη της ατμόσφαιρας του πλανήτη μας η κατανόηση των λειτουργιών της απέχει ακόμα από να θεωρείται ικανοποιητική.

## 1.4 ΧΑΟΣ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

Η θεαματική εξέλιξη-πρόοδος της επιστήμης στα χρόνια της επιστημονικής επανάστασης (17<sup>ος</sup>- 18<sup>ος</sup> μ.Χ. αιώνες) οδήγησε πολλούς σκεπτόμενους ανθρώπους να πιστέψουν στην καθολική ισχύ των νόμων της. Στη νευτώνεια φυσική οι κινήσεις προσδιορίζονται πλήρως με ντετερμινιστικούς νόμους, δηλαδή η κίνηση είναι πλήρως προβλέψιμη αν είναι γνωστές οι αρχικές της συνθήκες. Η όψη αυτή της πραγματικότητας οδήγησε τελικά στο συμπέρασμα ότι κάθετί που συμβαίνει στο Σύμπαν είναι συνέπεια των κινήσεων και των αλληλεπιδράσεων μεταξύ ατόμων (March, 1996). Στις αρχές του 19<sup>ου</sup> μ.Χ. αιώνα ο μαθηματικός και φυσικός Pierre- Simon de Laplace υπέθεσε πως αν κάποιος μπορούσε να παρατηρήσει κάποια χρονική στιγμή όλα τα άτομα που υπάρχουν στο σύμπαν και να καταγράψει τις κινήσεις τους, θα μπορούσε τόσο να ερμηνεύσει πλήρως το παρελθόν όσο και να προβλέψει το μέλλον (Μηχανιστικό Μοντέλο). Με άλλα λόγια τα πάντα στην ιστορία καθορίστηκαν μέχρι την τελευταία τους λεπτομέρεια τη χρονική στιγμή της δημιουργίας του σύμπαντος (March, 1996). Στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα η εμφάνιση μιας νέας φυσικής θεωρίας με ισχυρή πειραματική επιβεβαίωση, της Κβαντικής Μηχανικής, κλόνισε ισχυρά τις παραπάνω αντιλήψεις, τουλάχιστο στο επίπεδο του μικρόκοσμου. Διατήρησαν όμως την αίγλη τους για μερικές ακόμα δεκαετίες στην περιγραφή της συμπεριφοράς μακροσκοπικών συστημάτων, όπως η ατμόσφαιρα.

Τις δεκαετίες του 1950 και 1960 τα μέσα μαζικής ενημέρωσης έβριθαν από επιστημονικές διαβεβαιώσεις περί της δυνατότητας όχι μόνο ακριβούς πρόβλεψης του καιρού αλλά και της τροποποίησής του (Βαρώτσος, 2001). Οι μετεωρολόγοι πίστευαν δηλαδή ότι με κατάλληλες αεροπορικές πτήσεις και απελευθέρωση ειδικών ουσιών μπορούσαν πάντα να φέρουν σύννεφα και βροχή σε μια περιοχή ή να τη σταματήσουν. Ο έλεγχος του καιρού αποτελούσε πόλο έλξης για τους επιστήμονες της εποχής. Προτάθηκε μάλιστα ένα μοντέλο που χρησιμοποιούσε σύστημα 500.000 εξισώσεων. Για την αριθμητική επίλυσή του ο John von Neumann κατασκεύασε στο Maryland τον πρώτο του ηλεκτρονικό υπολογιστή μεγάλων δυνατοτήτων, με βάση αρχές που είχε διατυπώσει ο ίδιος σε προγενέστερη δημοσίευσή του (1946). Θεωρούσε ότι με έναν ισχυρό ηλεκτρονικό υπολογιστή θα ήταν δυνατή η επίλυση των εξισώσεων κίνησης του αέρα για αρκετές μέρες μετά από ένα σημείο αστάθειας, οπότε με αεροπλάνα τα οποία θα έριχναν προπετάσματα καπνού θα ήταν δυνατό να μεταβάλλει τον καιρό όπως επιθυμούσε (Βαρώτσος, 2001).

Τις επόμενες δυο δεκαετίες η διαθέσιμη υπολογιστική ισχύς αυξήθηκε περισσότερο από 100.000 φορές, ενώ οι μετεωρολογικοί δορυφόροι παρείχαν ακόμα πιο λεπτομερείς πληροφορίες για τον καιρό. Η ανάπτυξη ισχυρών υπερυπολογιστών μετέβαλε σταδιακά την πρόγνωση του καιρού από εμπειρική τέχνη σε επιστήμη. Για χρόνια τις πιο αξιόπιστες προγνώσεις τις έδινε το Ευρωπαϊκό Κέντρο Πρόγνωσης Καιρού Μέσης Κλίμακας στο Reading της Αγγλίας με τον υπερυπολογιστή Cray. Ακολουθούσε το Εθνικό Μετεωρολογικό Κέντρο με τον υπερυπολογιστή Cyber 205 Control Data. Παρόλα αυτά οι καλύτερες προβλέψεις του καιρού δεν ήταν δυνατό να υπερβούν σε διάρκεια τις δυο με τρεις ημέρες, ενώ ακόμα και σήμερα δε

φαίνεται εύκολο να υπερβούμε το όριο των πέντε με δέκα ημερών. Κύριο αίτιο για αυτό είναι πολύπλοκη συμπεριφορά της ατμόσφαιρας.

Το 1960 ο μετεωρολόγος Edward Lorenz (MIT) πειραματιζόμενος με αριθμητικά μοντέλα πρόγνωσης καιρού διάλεξε δώδεκα και αργότερα έξι εξισώσεις με μεταβλητές ατμοσφαιρικές παραμέτρους, ώστε να δημιουργήσει ένα απλό μοντέλο κυκλοφορίας της ατμόσφαιρας. Ο πρωτόγονος υπολογιστής του έλυσε το σύστημα κάθε λεπτό και τύπωνε αριθμούς που αντιστοιχούσαν στην πρόβλεψη ατμοσφαιρικών μεταβλητών μετά το πέρασμα μιας μέρας. Τον επόμενο χρόνο ο Lorenz επιχείρησε την πρόγνωση του καιρού πολλών ημερών. Έτρεξε πρώτα το πρόγραμμά του για συγκεκριμένο αριθμό ημερών και σημείωσε τα αποτελέσματα. Κατόπιν το έτρεξε πάλι από την αρχή και διέκοψε τη λειτουργία του υπολογιστή του, αντιγράφοντας τους αριθμούς που αντιστοιχούσαν στις τιμές ατμοσφαιρικών μεταβλητών ως την τελευταία ημέρα την οποία είχε προλάβει να τρέξει το πρόγραμμά του. Στη συνέχεια, αφού έθεσε σαν δεδομένα εισόδου στο μοντέλο του τις τιμές που είχε σημειώσει στη διακοπή συνέχισε μέχρι να συμπληρώσει το συνολικό αριθμό ημερών για τις οποίες είχε προγνώσει την πρώτη φορά. Προς μεγάλη του έκπληξη όμως τα αποτελέσματα της διακοπτόμενης ροής ήταν εντελώς διαφορετικά από αυτά της συνεχούς ροής του προγράμματος του (Βαρώτσος, 2001).

Κάτι τέτοιο σήμαινε όμως ότι η ελάχιστη διαφοροποίηση του σημείου εκκίνησης του μοντέλου ήταν καταστροφική για το τελικό αποτέλεσμα της πρόγνωσης του καιρού. Με άλλα λόγια η μακροπρόθεσμη πρόγνωση του καιρού ήταν καταδικασμένη σε αποτυχία, αφού, όπως έλεγε και ο ίδιος «κάθε φυσικό σύστημα συμπεριφερόμενο με απεριοδικό τρόπο δεν είναι προβλέψιμο». Πεπεισμένος λοιπόν για την απροθυμία του καιρού να μην επαναλαμβάνεται και την αδυναμία των επιστημόνων να τον προβλέψουν μακροπρόθεσμα, αντικατέστησε το σύστημα των δώδεκα εξισώσεων του με ένα άλλο, με τρεις μόνο μη γραμμικές εξισώσεις (Βαρώτσος, 2001).

Ασχολήθηκε επίσης με το πόσο ο καιρός στη Γη παρουσιάζει σε μεγάλη χρονική κλίμακα μια μέση συμπεριφορά. Αν και η απάντηση φαντάζει προφανής, αφού κάθε μετρήσιμη φυσική ποσότητα όσο και να αυξομειώνεται πρέπει να έχει μια μέση τιμή, δεν οδηγεί πάντα σε πραγματικά συμπεράσματα. Για παράδειγμα απέδειξε ότι ο μέσος καιρός των δώδεκα χιλιάδων τελευταίων ετών ήταν σημαντικά διαφορετικός από εκείνον των αμέσως προηγούμενων δώδεκα χιλιάδων ετών, οπότε μεγάλο μέρος του βόρειου ημισφαιρίου ήταν καλυμμένο από πάγους. Το ερώτημα που γεννιέται είναι μήπως υπάρχει ένα κλίμα μεγαλύτερης διάρκειας μέσα στο οποίο οι περίοδοι αυτές είναι απλά διακυμάνσεις ή μήπως ο καιρός δεν είναι δυνατό να συγκλίνει ποτέ σε μια μέση συμπεριφορά (Βαρώτσος, 2001).

Παράλληλα άνοιξε το δρόμο για τη μελέτη μιας νέας κατηγορίας συστημάτων, των «χαοτικών συστημάτων», στα οποία η Αρχή της Αβεβαιότητας του Heisenberg δεν παίζει καθοριστικό ρόλο αλλά η μακροπρόθεσμη πρόβλεψη της συμπεριφοράς τους είναι επισφαλής. Η θεωρία του Χάους έκανε τους επιστήμονες να συνειδητοποιήσουν ότι ελάχιστες διαφορές στην είσοδο απλών διαφορικών εξισώσεων μπορούσαν να οδηγήσουν σε τεράστιες διαφορές στις λύσεις τους. Για παράδειγμα οι

μικρές διαταραχές που δημιουργεί στον αέρα το πέταγμα μιας πεταλούδας μπορούν να μετατραπούν σε θυελλώδεις ανέμους μετά από πολλές ημέρες στη Νέα Υόρκη (Φαινόμενο της Πεταλούδας- March, 1996).

Σύμφωνα με το φυσικό Ilya Prigogine η ύλη μακριά από την ισορροπία αυτοοργανώνεται και εξελίσσεται μη αντιστρέψιμα, υπακούοντας στο 2<sup>ο</sup> Νόμο της Θερμοδυναμικής. Πέρα από το σημείο προβλεψιμότητας η μελλοντική της κατάσταση δεν προσδιορίζεται ντετερμινιστικά αλλά πιθανολογικά. Η οργάνωση αυτή γεννιέται από το χάος, με μια συγκεκριμένη κατεύθυνση εξέλιξης που την ονομάζουμε «βέλος του χρόνου». Η κλασσική φυσική μελετούσε κυρίως την ευστάθεια και την ισορροπία ενώ σύμφωνα με τον Ilya Prigogine οι αστάθειες και οι διακυμάνσεις διέπουν τη φύση και συνεπώς οι κλασσικοί νόμοι θα πρέπει να αναχθούν σε γενικευμένους, με πιθανολογική περιγραφή, οι οποίοι να εφαρμόζονται και σε πολύπλοκα συστήματα τα οποία δεν μπορούσε να περιγράψουν με επιτυχία οι παλιές φυσικές θεωρίες. Το σύμπαν μάλιστα με τη σημερινή του μορφή έχει προέλθει από διακυμάνσεις του κβαντικού κενού (προ- σύμπαν). Πρόκειται για ένα ζήτημα που δεν μπορεί να ενταχθεί στα πλαίσια των «Μεγάλων Ενοποιητικών Θεωριών», όπως η «Θεωρία των Πάντων» (Steven Hawking, Πανεπιστήμιο Cambridge- March, 1996).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: οι αιτίες της κλιματικής αλλαγής.

### 2.1 Η ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΚΛΙΜΑΤΟΣ ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΑ

Το κλίμα της Γης πάντα άλλαζε και πάντα θα αλλάζει. Στο παρελθόν, ήταν αποκλειστικά το αποτέλεσμα φυσικών αιτιών. Οι αλλαγές όμως του κλίματος που βλέπουμε τα τελευταία χρόνια και που θα δούμε τα επόμενα ογδόντα χρόνια, είναι κυρίως αποτέλεσμα της ανθρώπινης παρέμβασης. Όπως είναι γνωστό, ο άνθρωπος με τις δραστηριότητές του αλλάζει τη σύσταση της ατμόσφαιρας και αλλάζοντας της σύσταση μπορεί να αλλάξει και το κλίμα. Αρκετές έρευνες τις δεκαετίες του 1950 και 1960 (Βαρώτσος, 2001) έδειξαν ότι η ανθρώπινη παρέμβαση μπορεί να επηρεάσει σε κάποιο βαθμό ακόμα και τον καιρό. Το ζητούμενο όμως είναι το ποσοστό ευθύνης του ανθρώπου.

Οι παράγοντες που οδηγούν στην αλλαγή του κλίματος είναι πολλοί και όχι πάντοτε πλήρως κατανοητοί. Μπορούμε να τους κατατάξουμε σε δυο κατηγορίες:

- Αλλαγές που οφείλονται στο σύστημα ατμόσφαιρα- υδρόσφαιρα- γεώσφαιρα- βιόσφαιρα ή αλλαγές που οφείλονται σε πλανητικά δεδομένα (π.χ. μεταβολή στη μέση απόσταση ηλίου- γης και άλλες αλλαγές στην τροχιά της γης). Βασικό χαρακτηριστικό των φυσικών κλιματικών αλλαγών είναι ότι παρουσιάζουν γενικά μακροχρόνιες διακυμάνσεις.
- Αλλαγές που γίνονται από τον άνθρωπο, οι οποίες συνδέονται κυρίως με την καταστοφή της στιβάδας του όζοντος και την ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Η διαφορά των αλλαγών που γίνονται από τον άνθρωπο από τις αλλαγές της φύσης είναι ότι οδηγούν σε μονότονη αλλά ραγδαία αποσταθεροποίηση. Η ανθρώπινη παρέμβαση στη σύσταση της ατμόσφαιρας είναι θεαματική. Μέσα σε 30 χρόνια ο άνθρωπος κατέστρεψε τόσο όζον όσο έκανε η φύση να παραγάγει σε 2 δισεκατομμύρια χρόνια. Μέσα στα ίδια 30 χρόνια ο άνθρωπος αύξησε περίπου κατά 30% τα αέρια του θερμοκηπίου δημιουργώντας σωρεία προβλημάτων, όπως όξινη βροχή και τροποποίηση του μικροκλίματος των μεγαλουπόλεων, προβλήματα τα οποία η φύση δεν δημιουργεί (Fifor, 1992)

Σύμφωνα με αρκετές μετρήσεις και υπολογισμούς η Γη έχει ηλικία περίπου 4,6 δισεκατομμύρια χρόνια (Παπανικολάου και Σιδέρης, 2005). Οι ειδικοί επιστήμονες διαιρούν τη μεγάλη ιστορία της σε συγκεκριμένες και οριοθετημένες επιμέρους γαιοχρονολογικές ενότητες, άνισες μεταξύ τους (γαιολογικοί μεγααιώνες, αιώνες, περίοδοι κ.λ.π.), οι οποίες συναποτελούν ένα σύστημα παγκόσμια αποδεκτό, τη γαιοχρονολογική κλίμακα. Η σημερινή της μορφή (βλέπε Πίνακα 2-1) είναι προϊόν επίπονης και συλλογικής δουλειάς επιστημόνων σε διεθνείς επιτροπές και συνέδρια .

Πίνακας 2-1: η γαιοχρονολογική κλίμακα που ισχύει διεθνώς σήμερα. Ο πίνακας είναι από το βιβλίο «Γεωλογία, η επιστήμη της Γης», των Παπανικολάου Δ. Ι., Σιδέρη Χρ. Ι, Πατάκης (2005).

ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΜΕΓΑΛΙΩΝΕΣ	ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΑΙΩΝΕΣ	ΠΕΡΙΟΔΟΙ	ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΖΩΗΣ
Φανεροζωικός (από 540000000 μέχρι σήμερα)	Καινοζωικός (από 65000000 μέχρι σήμερα)	Τεταρτογενές (από 2000000 μέχρι σήμερα)	Εμφάνιση και εξέλιξη ανθρώπου
		Νεογενές (από 23000000 2000000)	Κυριαρχία θηλαστικών
		Παλαιογενές (από 65000000 23000000)	Εξαφάνιση των δεινοσαύρων
	Μεσοζωικός (από 250000000 μέχρι 650000000)	Κρητιδικό (από 145000000 650000000)	Εμφάνιση ανθοφόρων φυτών
		Ιουρασικό (από 200000000 145000000)	Εμφάνιση θηλαστικών
		Τριαδικό (από 250000000 200000000)	Εμφάνιση δεινοσαύρων
	Παλαιοζωικός (από 540000000 μέχρι 250000000)	Πέρμιο (από 300000000 250000000)	Εμφάνιση ερπετών
		Λιθανθρακοφόρο (από 360000000 μέχρι 300000000)	Εμφάνιση εντόμων-αμφιβίων
		Δεβόνιο (από 415000000 360000000)	Εμφάνιση εντόμων-αμφιβίων
		Σιλούριο (από 445000000 415000000)	Εμφάνιση χερσαίων φυτών
		Ορδοβίσιο (από 490000000 445000000)	Εμφάνιση οστρακόδερμων ψαριών
		Κάμβριο (από 540000000 490000000)	Εμφάνιση ασπόνδυλων με κέλυφος ή όστρακο
Προτεροζωικός (από 250000000000 μέχρι	Προκάμβριο (μέχρι 540000000)		Πανίδα Ediacara (από 630000000 μέχρι 540000000)



540000000)			
Αρχαϊκός (μέχρι 2500000000)	Προκάμβριο (μέχρι 540000000)		Εμφάνιση αρχέγονων μονοκύτταρων οργανισμών

Τα τελευταία πάντως 500 εκατομμύρια χρόνια, κατά τα οποία εξαπλώθηκαν οι σύνθετοι φυτικοί και ζωικοί οργανισμοί, συνέβησαν πέντε τουλάχιστο μαζικοί αφανισμοί οργανισμών, τους οποίους η επιστημονική έρευνα συσχετίζει με κλιματικές αλλαγές (Nielsen, 2007). Πιο συγκεκριμένα:

- Ø Πριν από 443 εκατομμύρια χρόνια, στον αρχαιοζωικό γεωλογικό αιώνα, το 60% των θαλάσσιων ειδών αφανίστηκε, χωρίς να μπορούμε ακόμα να πούμε με σιγουριά γιατί αυτό συνέβει. Άλλοι επιστήμονες υποστηρίζουν ότι η καταστροφή προκλήθηκε λόγω δραματικών αλλαγών στη στάθμη της θάλασσας ενώ κάποιοι πιστεύουν ότι η αιτία ήταν η ακτινοβολία από μια έκρηξη υπερκαινοφανούς αστέρα κοντά στο ηλιακό μας σύστημα. Δυστυχώς τα ελάχιστα πετρώματα που έφτασαν ως τις μέρες μας από τότε έχουν υποστεί παραμόρφωση, με αποτέλεσμα να χαθούν πολύτιμες πληροφορίες για την περίοδο αυτή, γεγονός που δυσκολεύει τις έρευνες (Nielsen, 2007).
- Ø Πριν από 364 εκατομμύρια χρόνια (παλαιοζωικός αιώνας) το 55% των θαλάσσιων ειδών αφανίστηκε. Ορισμένοι ερευνητές πιστεύουν ότι η αιτία ήταν μια πρόσκρουση αστεροειδούς στη Γη ενώ άλλοι υποστηρίζουν μια νέα θεωρία, η οποία εξηγεί την καταστροφή στη βάση της έντονης ενίσχυσης του φαινομένου του θερμοκηπίου και της συνακόλουθης έκλυσης υδρόθειου από τις θάλασσες (Nielsen, 2007).
- Ø Πριν από 251 εκατομμύρια χρόνια, κατά τη μετάβαση από το Πέρμιο στο Τριαδικό (από τον παλαιοζωικό στο μεσοζωικό αιώνα), αφανίστηκε το 90% των θαλάσσιων και το 70% των χερσαίων ειδών. Πριν από την καταστροφή, στις ρηχές θάλασσες κοντά στη στεριά κυριαρχούσαν ζώα που παρέμεναν ακίνητα στο βυθό ή ήταν προσκολλημένα σε αυτό με μίσχους. Τα περισσότερα από αυτά χάθηκαν για πάντα, μαζί με τα περισσότερα είδη ερπετών και αμφιβίων που ζούσαν στην ξηρά αλλά και μεγάλο μέρος της χλωρίδας. Επίσης εξαφανίστηκε το ένα τρίτο των εντόμων, παρά τη μεγάλη ανθεκτικότητά τους. Πολλοί θεωρούν ως αιτία της έντονη ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου και τη συνακόλουθη έκλυση υδρόθειου από τις θάλασσες (Nielsen, 2007).
- Ø Πριν από 200 εκατομμύρια χρόνια, κατά την τριαδική περίοδο (μεσοζωικός αιώνας), το 52% των ζωικών ειδών αφανίστηκε. Φαίνεται ότι και εδώ είχαμε έντονη ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου, αφού όμως είχε προηγηθεί ακραία ηφαιστειακή δραστηριότητα, συνοδευόμενη από μεγάλη έκλυση αερολυμάτων στην ατμόσφαιρα (Nielsen, 2007).

Ø Πριν από 65 εκατομμύρια χρόνια, κατά το τέλος της Κρητιδικής περιόδου (μετάβαση από το μεσοζωικό αιώνα στον καινοζωικό αιώνα) το 75% των θαλάσσιων ειδών αφανίστηκε, όπως και το 18% των χερσαίων σπονδυλωτών, συμπεριλαμβανομένων και των δεινοσαύρων. Ως πιθανή αιτία αναφέρεται η έντονη ενίσχυση του φαινομένου του αντιθερμοκηπίου (βλέπε κεφάλαιο 1) από αερολύμματα που προέκυψαν είτε μετά την πτώση μεγάλου αστεροειδούς στη Γη είτε από μεγάλες ηφαιστειακές εκρήξεις. Η πρώτη προτάθηκε όταν τη δεκαετία του 1980 οι γεωλόγοι Louis και Walter Alvarez ανακάλυψαν μεγάλες συγκεντρώσεις του χημικού στοιχείου ιρίδιου (Ir) σε πετρώματα από την περίοδο αμέσως μετά την εξαφάνιση των δεινοσαύρων. Το χημικό αυτό στοιχείο σπανίζει στη Γη αλλά είναι συνηθέστερο σε εξωγήινα πετρώματα, όπως οι μετεωρίτες. Επιπλέον έχει ήδη εντοπιστεί μεγάλος κρατήρας από την περίοδο αυτή στα ανοιχτά της χερσονήσου Γιουκατάν στο Μεξικό ενώ όλα τα στοιχεία οδηγούν στο συμπέρασμα ότι ο αφανισμός αυτός συνέβει σχετικά γρήγορα, πράγμα που ενισχύει την άποψη περί πρόσκρουσης αστεροειδούς (Nielsen, 2007).

Γεννάται από τα παραπάνω το ερώτημα με ποιον ακριβώς μηχανισμό άλλαξε το κλίμα μετά από περιόδους έντονης ηφαιστειακής δραστηριότητας. Τα τελευταία χρόνια η επιστήμη φαίνεται να είναι σε θέση να δώσει μια πειστική εξήγηση που να συμφωνεί με τα παλαιοντολογικά δεδομένα. Κατά τη διάρκεια μιας ηφαιστειακής έκρηξης εκτός από τη λάβα εκλύονται στην ατμόσφαιρα ποσότητες ηφαιστειακών αερολυμάτων πλούσιων σε θειούχες ενώσεις, οι οποίες έχουν την τάση να ψύχουν την ατμόσφαιρα, ανακλώντας μεγάλο μέρος της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας πίσω στο διάστημα. Εκλύονται επίσης σημαντικές ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) και μεθανίου (CH<sub>4</sub>), τα οποία ανήκουν στα αέρια του θερμοκηπίου. Ενώ όμως τα θειούχα αερολύματα σε παλαιότερες γεωλογικές περιόδους φαίνεται πως ξεπλένονταν σχετικά σύντομα από τη βροχή, τα θερμοκηπικά αέρια παρέμεναν για περισσότερο χρόνο στην ατμόσφαιρα χωρίς να προλάβουν να κατακρατηθούν από τα νερά των ωκεανών ή να δεσμευτούν από τους φυτικούς οργανισμούς. Υπολογίζεται ότι κατά τη διάρκεια των προαναφερθέντων φυσικών καταστροφών αυτού του είδους αλληπάλληλες σφοδρές ηφαιστειακές εκρήξεις, ίσως στην περιοχή της Σιβηρίας, με διάρκεια πάνω από μισό εκατομμύριο χρόνια, προκάλεσαν στην αρχή έντονη ψύξη και κατόπιν αύξηση της μέσης συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα και άνοδο της μέσης θερμοκρασίας της Γης κατά έξι περίπου βαθμούς (Nielsen, 2007).

Κατά τον παλαιοζωικό και το μεσοζωικό αιώνα τα νερά των ωκεανών δεν περιείχαν οξυγόνο όπως σήμερα. Τα ιζήματα του πυθμένα ήταν πλούσια σε υδρόθειο (H<sub>2</sub>S), το οποίο παραγόταν από χημειοσυνθετικά βακτήρια, με παράλληλη απόθεση μαύρου ιζήματος. Παρόμοια φαινόμενα, γνωστά με τον όρο «Ευξεινισμός», συμβαίνουν σήμερα στον πυθμένα του Εύξεινου Πόντου και σε άλλα σημεία στα βάθη των ωκεανών, κλειστών λιμνών, λιμνοθαλασσών και ελών, όπου το διαθέσιμο οξυγόνο για διάφορους λόγους (κυρίως κακή κυκλοφορία και αργή ανανέωση των υδάτων) δεν επαρκεί για τη συντήρηση αερόβιων οργανισμών (Nielsen, 2007). Πριν τη θέρμανση της Γης το όριο μεταξύ των πλούσιων και των φτωχών σε οξυγόνο στρωμάτων της θάλασσας

βρισκόταν αρκετά βαθιά. Μετά από αυτήν όμως το διαχωριστικό όριο ανάμεσα στα στρώματα αυτά άρχισε να ανεβαίνει, αφού το θερμό θαλασσινό νερό απορροφά λιγότερο οξυγόνο σε σχέση με το ψυχρό. Έτσι το πλούσιο σε τοξικό υδρόθειο νερό έφτασε κοντά στην επιφάνεια, όπου ζούσαν οι περισσότεροι μικροοργανισμοί και τα περισσότερα φυτά και ζώα και σκότωσε σχεδόν κάθε μορφή ζωής.

Έπειτα επήλθε κορεσμός των υδάτων σε υδρόθειο σε τέτοιο βαθμό που το τοξικό αέριο πέρασε στην ατμόσφαιρα, με αποτέλεσμα να εξολοθρευτεί μεγάλο μέρος της ζωής και στη στεριά. Επίσης το υδρόθειο έφτασε ως την κατώτερη στρατόσφαιρα, καταστρέφοντας και το στρώμα του όζοντος. Έτσι η επιβλαβής υπεριώδης ακτινοβολία περνούσε πλέον ανεμπόδιστα στη Γη, προκαλώντας το χαμό πολλών οργανισμών που είχαν επιβιώσει ως τότε. Η θεωρία αυτή ενισχύεται από παλαιοντολογικά δεδομένα (απολιθώματα, ιζηματογενή πετρώματα) που δείχνουν ότι τα χημειοσυνθετικά βακτήρια που προκαλούν την αναγωγή του υδρόθειου σε θείο αφθονούσαν στις αντίστοιχες περιόδους και ότι ο αφανισμός πολλών μορφών ζωής συντελέστηκε σταδιακά (Nielsen, 2007).

Άλλες γνωστές κλιματικές αλλαγές του παρελθόντος (Σαρπάκης, 1996 και Μαριολάκος, 2007) ήταν η εναλλαγή παγετώδων και μεσοπαγετώδων περιόδων κατά τη Λιθαναθρακοφόρο (360- 300 εκατομμύρια χρόνια πριν την εποχή μας) και την Περμία περίοδο (300- 250 εκατομμύρια χρόνια πριν την εποχή μας) στο νότιο ημισφαίριο και κατά την Ηώκαινο (56- 34 εκατομμύρια χρόνια πριν την εποχή μας) και την Πλειστόκαινο ή Διλούβιο περίοδο (2 εκατομμύρια- 10.000 χρόνια πριν την εποχή μας) στο βόρειο ημισφαίριο. Ο πρώτος που διατύπωσε τη υπόθεση ότι σε παλαιότερες γεωλογικές περιόδους μεγάλες περιοχές του πλανήτη σκεπάζονταν από πάγους ήταν ο Ελβετός γεωλόγος Louis Agassiz το 1840 στο γνωστό έργο του «Μελέτη για τους Παγετώνες». Οι Παγετώνες του Πλειστόκαινου, ως πιο πρόσφατοι, έχουν αφήσει αρκετά ίχνη τόσο στη διαμόρφωση του ανάγλυφου του βορείου ημισφαιρίου όσο και στα απολιθώματα. Έτσι οι παλαιοντολόγοι, οι παλαιοβιολόγοι και οι παλαιοανθρωπολόγοι τη διαιρούν σε παγετώδεις φάσεις, οι οποίες εναλλάσσονται με αντίστοιχες θερμές περιόδους.

Η ονομασία των παγετώνων δόθηκε αρχικά από τους ερευνητές Penck και Bruckner (1909), οι οποίοι προκειμένου να περιγράψουν τους τέσσερις μεγάλους παγετώνες της Ευρώπης κατά την Τεταρτογενή γεωλογική περίοδο, δανείστηκαν τα ονόματα τεσσάρων μεγάλων ποταμών της περιοχής των βορειοδυτικών Άλπεων (Guenz, Mindel, Riss και Wuerm), οι αποθέσεις των οποίων σχετίζονταν με την εμφάνιση των αντίστοιχων παγετώνων. Τα στάδια με θερμότερο κλίμα που μεσολαβούσαν μεταξύ δύο περιόδων Παγετώνων ονομάστηκαν Μεσοπαγετώδεις και καταγράφηκαν ως Guenz-Mindel, Mindel-Riss και Riss-Wuerm (Σαρπάκης, 1996, Gribbin 1992). Η τελευταία μεγάλη περίοδος της Πλειστόκαινου (άνωτερη Πλειστόκαινος) αρχίζει με την προτελευταία Μεσοπαγετώδη (Eemian), κατά τη διάρκεια της οποίας επικράτησαν και πάλι συνθήκες πυκνής βλάστησης και υγρασίας. Ακολούθησε η τελευταία μεγάλη Παγετώδης (Wuerm, 130.000-10.000 π.Χ.), με μέγιστη αύξηση των πάγων κατά το 18.000 π.Χ. Με την έναρξη της αμέσως επόμενης γεωλογικής περιόδου, της Ολόκαινου (10.000 π.Χ.), ξεκινά

και η τελευταία Μεσοπαγετώδης, την οποία διανύουμε και σήμερα (βλέπε Πίνακα 2-2).

Πίνακας 2-2: οι κλιματικές φάσεις της Πλειστόκαινης περιόδου. Εικόνα παρμένη από το διαδικτυακό ιστότοπο [www.physics4u.gr.gr](http://www.physics4u.gr.gr).

Υποπερίοδοι Πλειστόκαινου	Παγετών και Μεσοπαγετώδεις περίοδοι	Κύριες υποδιαιρέσεις	Χρονολογικός προσδιορισμός	
Κατώτερη Πλειστόκαινος	Ο Günz παγετώνας	Günz I Ενδοσταδιακή εποχή Günz II	Κ Α Τ Ω	380-320.000 π.σ.
	Η μεσο-παγετώδης περίοδος	Günz/Mindel	Τ Ε	
	Ο Mindel παγετώνας	Mindel I Ενδοσταδιακή Mindel II	Ρ Η	320-220.000 π.σ.
Μέση Πλειστόκαινος	Η «μεγάλη» μεσοπαγετώδης περίοδος που αναφέρεται συχνά ως Hochnian	Mindel/Riss	Π Α Λ.	220-200.000 π.σ.
	Ο Riss παγετώνας	Riss I Ενδοσταδιακή Riss II	Μ Ε Σ	200-180.000 π.σ. 180-130.000 π.σ. 120-100.000 π.σ.
Ανώτερη Πλειστόκαινος	Η τελευταία μεσοπαγετώδης, που συχνά αναφέρεται ως Eemian	Riss/Würm	Η Α Ν	90-80.000 π.σ.
	Ο Würm παγετώνας	Würm I (με δύο ενδοσταδιακά διαστήματα) Würm II (ο λεγόμενος Pleniglacial) Würm III (με δύο ενδοσταδιακά) (Υστεροπαγετωνική) Αρχαιότερη Δρυάς Allerød Νεότερη Δρυάς	Ω Τ Ε Ρ Η	80-12.000 π.σ. 12.300 π.σ. 12-10.800 π.σ. 10.800 -10.300 π.σ.

Σήμερα γνωρίζουμε (Gribbin 1992, Cox 2007) ότι η διαδοχή των φάσεων αυτών ήταν πιο σύνθετη από το αρχικό σχήμα των Penck και Bruckner, το οποίο είχε περιορισμένη εφαρμογή στην περιοχή των Άλπεων. Σήμερα χρησιμοποιούνται δυο κυρίως μέθοδοι για τον ακριβή χρονικό προσδιορισμό των παγετώδων φάσεων:

- 1) Μελέτη των πυρήνων ιζήματος βαθιάς θάλασσας (deep sea cores), που εξάγονται από τα βάθη των ωκεανών με ειδικά όργανα, τους πυρηνολήπτες. Από τα ιζήματα αυτά, τα λεγόμενα πηλώδη (oozies) περιέχουν σκελετούς μικρών θαλάσσιων οργανισμών (π.χ. τα τρηματοφόρα, foraminifera), η μελέτη των οποίων παρέχει πληροφορίες για τις αλλαγές της θερμοκρασίας στην Πλειστόκαινο. Δεδομένου ότι το κάθε είδος αναπτύσσεται σε διαφορετικές θερμοκρασίες, η αναγνώριση και η καταγραφή των ειδών σε κάθε στρώμα ιζήματος δίνει στοιχεία για τις θερμοκρασιακές μεταβολές κατά τη μακρά αυτή περίοδο.

2) Χρήση IRMS (Isotope Ratio Mass Spectrometry – Φασματομετρία Μάζας Λόγου Ισοτόπων) στα θαλάσσια ιζήματα. Συγκεκριμένα, ορισμένα είδη θαλάσσιων οργανισμών (τρηματοφόρων) δεσμεύουν οξυγόνο για τη δημιουργία του ασβεστιτικού τους κελύφους. Η ισοτοπική αναλογία  $^{16}\text{O}$  και  $^{18}\text{O}$  εντός του ανθρακικού ασβεστίου μεταβάλλεται συναρτησίως της θερμοκρασίας και της ισοτοπικής σύστασης του θαλάσσιου νερού κατά το σχηματισμό του κελύφους. Μετά τον θάνατο των τρηματοφόρων τα κελύφη τους αποτελούν μέρος του ιζήματος του ωκεάνιου πυθμένα, έτσι η χαρτογράφηση της μεταβολής της ισοτοπικής αναλογίας του οξυγόνου σε επιλεγμένα είδη τρηματοφόρων που απαντούν εντός μιας στρωματογραφικής στήλης επιτρέπει τον προσδιορισμό των συνθηκών θερμοκρασίας που επικρατούσαν κατά την περίοδο ζωής τους.

Κατά την κατώτερη Πλειστόκαινο, κυρίως στη διάρκεια των παγετώνων Guenz και Mindel, στον ελληνικό χώρο επικρατούσαν τροπικές συνθήκες σαβάνας (Σαρπάκης, 1996 και Μαριολάκος, 2007). Κατά τη μέση Πλειστόκαινο και ιδιαίτερα στη διάρκεια της μεγάλης Μεσοπαγετώδους περιόδου, γνωστής ως Hoxnian, επικράτησαν ηπιότερες κλιματικές συνθήκες, ενώ μόνο προς το τέλος της περιόδου επανήλθαν οι συνθήκες Παγετώδους (παγετώνας Riss I και II, 180.000- 130.000 π.Χ.). Η τελευταία μεγάλη περίοδος της Πλειστόκαινου (ανώτερη Πλειστόκαινος) αρχίζει με την προτελευταία Μεσοπαγετώδη (Eemian), κατά τη διάρκεια της οποίας επικράτησαν και πάλι συνθήκες πυκνής βλάστησης και υγρασίας. Τότε μάλιστα καλύφθηκε με βλάστηση ακόμα και το νησί Spitsbergen (Cox, 2007), κοντά στον Αρκτικό ωκεανό, το οποίο σήμερα είναι μόνιμα καλυμμένο με πάγους. Ακολούθησε η τελευταία μεγάλη Παγετώδης (Wurm, 130.000-10.000 π.Χ.), με μέγιστη αύξηση των πάγων κατά το 18.000 π.Χ. Με την έναρξη της αμέσως επόμενης γεωλογικής περιόδου, της Ολόκαινου (10.000 π.Χ.), ξεκινά και η τελευταία Μεσοπαγετώδης, την οποία μάλλον διανύουμε και σήμερα.

Τα αίτια αυτής της κλιματικής συμπεριφοράς ακόμα και στις μέρες μας δεν είναι απολύτως κατανοητά. Η έναρξη και το τέλος των εποχών του πάγου καθορίζονται από περιοδικές μεταβολές στην τροχιά της Γης και στον άξονα περιστροφής της, που είναι γνωστές ως Κύκλοι Milankovich, από το όνομα του Γιουκοσλάβου (Σέρβου) αστρονόμου και καθηγητή στο Πανεπιστήμιο του Βελιγραδίου Milutin Milankovich (1879-1958), ο οποίος τους ανακάλυψε και τους μελέτησε (1930-1935) (Gribbin, 1992). Αυτές προκαλούνται από την έλξη άλλων σωμάτων στο Ηλιακό Σύστημα. Μια περιοδική αλλαγή είναι η στρωφική ταλάντωση του άξονα περιστροφής της Γης, στην οποία μεταβάλλεται η θέση του νοητού σημείου που αυτός δείχνει, κάνοντας έναν πλήρη κύκλο σε 22.000 χρόνια. Επειδή η τροχιά της Γης είναι ελαφρώς ελλειπτική, αυτό αλλάζει την περίοδο κατά την οποία η Γη είναι πιο απομακρυσμένη από τον Ήλιο. Επίσης η κλίση του άξονα της Γης μεταβάλλεται εντός ενός κύκλου διάρκειας περίπου 41.000 ετών. Όταν αυτός γίνει σχεδόν κατακόρυφος οι δύο πόλοι έχουν πιο ψυχρό χειμώνα, καθιστώντας τη Γη πιο επιρρεπή σε παγετώνες.

Αυτό σε συνδυασμό με τις εναλλαγές στην ηλιακή δραστηριότητα, άρα και στην ακτινοβολία που φτάνει στη Γη, και στις συγκεντρώσεις αερίων του θερμοκηπίου στη γήινη ατμόσφαιρα ερμηνεύουν αρκετά ικανοποιητικά τις

παγετώδεις περιόδους της πλειστοκαινού. Επιπλέον η εκκεντρότητα της τροχιάς της Γης μεταβάλλεται ανά 100.000 χρόνια, αν και δεν είναι σαφές πώς συνδέεται με τις αλλαγές στο κλίμα. Ας σημειωθεί ότι οι γρήγορες ταλαντώσεις μεταξύ των εποχών του πάγου και των μεσοπαγετωνικών διαστημάτων απουσίαζαν κατά το Μεσοζωικό αιώνα και επαναλήφθηκαν πριν περίπου 2,5 εκατομμύρια χρόνια μόνο- πριν από τότε η Γη ήταν πολύ πιο ζεστή. Μια μακροπρόθεσμη τάση ψύξης τα τελευταία 55 εκατομμύρια χρόνια (Καινοζωικός αιώνας) θα μπορούσε να οφείλεται στην ανάδυση του Θιβετιανού οροπεδίου που αύξησε τη χημική διάβρωση των πετρωμάτων, η οποία απομακρύνει το CO<sub>2</sub> από την ατμόσφαιρα. Περισσότερα για την επίδραση των αστρονομικών παραγόντων στο Γήινο κλίμα θα δούμε στην επόμενη παράγραφο (Gribbin, 1992).

Σήμερα (Ολόκαινος ή Αλλούβιος περίοδος, τα τελευταία 10.000 χρόνια) πιστεύουμε ότι Γη διανύει μια μεσοπαγετώδη φάση, με σχετικά μικρές διακυμάνσεις του κλίματος. Ορισμένοι κλιματολόγοι λένε «Οι παγετώνες έχουν αργήσει στο ραντεβού τους και ίσως δεν είναι μακριά η εποχή που θα μας επισκεφτούν πάλι» (από διάλεξη του αναπληρωτή καθηγητή Π. Ιωάννου στους φοιτητές του τμήματος φυσικής του Πανεπιστημίου Αθηνών, Μάρτιος 2000). Πάντως αρκετές μελέτες που ασχολούνται με τη σύνθεση των παγετώνων, τους δακτυλίους της ετήσιας ανάπτυξης των δέντρων, το υψόμετρο των πάγων στους πόλους δείχνουν ότι από το 800 μ.Χ. μέχρι το 1350 μ.Χ. το κλίμα ήταν αρκετά θερμότερο από το σημερινό (Μεσαιωνική Θερμή Περίοδος). Σύμφωνα μάλιστα με ορισμένους μελετητές η θερμοκρασία ήταν ως και 5,5 βαθμούς ψηλότερη σε σχέση με σήμερα, αφού χρονογράφοι κάνουν λόγο για καλλιέργειες θερμόφιλων φυτών (π.χ. αμπέλια) σε χώρες όπως η Αγγλία ενώ τον 9<sup>ο</sup> μ.Χ. αιώνα κάποιοι χειμώνες στην Ελλάδα ήταν τόσο ζεστοί που τα δέντρα ξανάνθιζαν (Κορδάτος, 1959 και Καραγιαννόπουλος, 2001). Την ίδια περίοδο Βίκινγκς θαλασσοπόροι προερχόμενοι από τη Νορβηγία αποίκισαν την Ισλανδία και τη Γροιλανδία, φτάνοντας ως τις ακτές του Καναδά (Νέα Γη). Μαρτυρίες για τον εποικισμό αυτόν της Γροιλανδίας μας δίνουν, πέρα από την αρχαιολογική σκαπάνη, και τα έγγραφα του Βατικανού, τα οποία μιλούν για αποστολές ιερέων στο νησί και για συλλογή εκκλησιαστικών φόρων από τους εποίκους. Οι αποικίες αυτές χάθηκαν ξαφνικά στις αρχές του 14<sup>ου</sup> μ.Χ. αιώνα, γεγονός που συμπίπτει με το τέλος της θερμής περιόδου (Cox, 2007).

Στη συνέχεια η μέση θερμοκρασία στην επιφάνεια της Γης χαρακτηρίστηκε από ακανόνιστη αλλά σταθερή μείωση που την ακολούθησε μία «έντονη» αύξηση στη διάρκεια των τελευταίων 100 χρόνων, ίση περίπου με μισό βαθμό Κελσίου. Μάλιστα, στα τελευταία 10 χρόνια, σημειώθηκαν τα 4 θερμότερα χρόνια από το 1860 που υπάρχουν μετρήσεις. Μεγάλη συμβολή στη θέρμανση του πλανήτη μπορεί να έχει η ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου, η οποία οφείλεται στην αύξηση στην ατμόσφαιρα του CO<sub>2</sub> και των άλλων αερίων λόγω των ανεξέλεγκτων ανθρωπίνων δραστηριοτήτων. Τι πραγματικά όμως έχει φέρει τον πλανήτη σε αυτήν την κατάσταση; Ποια φαινόμενα- αίτια είναι αυτά που συντελούν στην αποδιοργάνωση του επιφέροντας κακή ποιότητα ζωής για τον άνθρωπο και τελικά ίσως και ολική καταστροφή του; Δυστυχώς, το θέμα των κλιματικών μεταβολών δεν είναι ένα απειλητικό ενδεχόμενο, αλλά μία πραγματικότητα. Σε αυτή λοιπόν την

πραγματικότητα συντελούν ορισμένοι παράγοντες, άλλοι φυσικοί και άλλοι ανθρωπογενείς (Gribbin, 1992), όπως

- Αστρονομικοί παράγοντες (κύκλοι Millankovich).
- Αλλαγές στην ηλιακή ακτινοβολία (ηλιακοί κύκλοι).
- Ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου.
- Αλλαγές στο στρώμα του όζοντος.

## **2.2 ΟΙ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΚΑΙ Η ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ**

Σήμερα γνωρίζουμε ότι οι εποχές προκαλούνται από την κλίση των  $23,4^\circ$  του άξονα περιστροφής της Γης ως προς την κάθετο στο επίπεδο της γήινης τροχιάς γύρω από τον ήλιο. Αν ο άξονας ήταν κάθετος στο επίπεδο της τροχιάς τότε δεν θα υπήρχαν εποχές (Gribbin, 1992).

Συγχρόνως ξέρουμε ότι ο άξονας της Γης δείχνει σήμερα προς το Πολικό Αστέρα και ότι η Γη είναι περίπου 150 εκατομμύρια χιλιόμετρα από τον ήλιο. Αυτά όμως τα γεγονότα δεν είναι απόλυτα ή σταθερά. Η αλληλεπίδραση μεταξύ της Γης και του Ήλιου, που είναι γνωστή ως τροχιακή παράλλαξη, αλλάζει τη διεύθυνση του άξονα, τις αποστάσεις ανάμεσα στη Γη και στον ήλιο από την αρχή της ιστορίας του πλανήτη μας, εδώ και 4,6 δισεκατομμύρια χρόνια. Μαζί όμως αλλάζει και το κλίμα της Γης (Gribbin, 1992).

Η Γη φθάνει στο περιήλιο της- το σημείο που είναι πιο κοντά στον ήλιο- στις 4 Ιανουαρίου, κάπου δύο εβδομάδες μετά από το ηλιοστάσιο 21 Δεκεμβρίου. Κατά συνέπεια ο χειμώνας αρχίζει στο Βόρειο ημισφαίριο την εποχή που η Γη είναι πλησιέστερα στον ήλιο. Είναι σημαντικό αυτό; Υπάρχει κανένας λόγος που οι ημερομηνίες του ηλιοστασίου και του περιηλίου είναι τόσο κοντά (Δανέζης και Θεοδοσίου, 1999);

Αποδεικνύεται (Δανέζης και Θεοδοσίου, 1999) όμως ότι αυτή η σχεδόν χρονική σύμπτωση των δύο γεγονότων (περιήλιο και ηλιοστάσιο) είναι μια σύμπτωση της εποχής που ζούμε. Η ημερομηνία του περιηλίου δεν παραμένει σταθερή, αλλά κατά τη διάρκεια πολύ μεγάλων χρονικών περιόδων, παλινδρομεί αργά μέσα στο χρόνο. Για παράδειγμα, την εποχή του αστρονόμου Ιππάρχου (2<sup>ος</sup> αιώνας π.Χ.) το περίγειο εμφανιζόταν κατά την φθινοπωρινή ισημερία. Υπάρχουν όμως αρκετά στοιχεία που δείχνουν ότι αυτή η μακροπρόθεσμη αλλαγή στην ημερομηνία που συμβαίνει το περιήλιο επηρεάζει το γήινο κλίμα.

Οι αλλαγές στην «κλίση» της Γης μπορούν να αλλάξουν το έντονο των εποχών- περισσότερη «κλίση» σημαίνει βαρύτερες εποχές - θερμότερα καλοκαίρια και πιο ψυχροί χειμώνες. Μικρότερη «κλίση» σημαίνει πιο δροσερά καλοκαίρια και ηπιότεροι χειμώνες. Αλλά και η αλλαγή στην εκκεντρότητα της τροχιάς της Γης καθώς και η αλλαγή στην κλίση της

εκλειπτικής συνεισφέρουν στο φαινόμενο της μεταβολής του κλίματος. Η αστρονομική θεωρία της κλιματικής αλλαγής ή θεωρία του Σέρβου αστρονόμου και αστροφυσικού Milankovitch είναι μια εξήγηση για αλλαγές στις εποχές, που οδηγούνται από τις αλλαγές στην τροχιά της Γης γύρω από τον Ήλιο (Gribbin, 1992).

Ο Milutin Milankovitch (βλέπε Εικ. 2-1), ο οποίος υπολόγισε τις αργές αλλαγές στη γήινη τροχιά μετά από προσεκτικές μετρήσεις της θέσης των αστεριών και μέσω εξισώσεων με τη χρήση της βαρυτικής έλξης άλλων πλανητών και άστρων βρήκε ότι η Γη «ταλαντεύεται» στην τροχιά της (Gribbin, 1992). Η γήινη «κλίση» είναι αυτό που προκαλεί τις εποχές, και οι αλλαγές στην κλίση της γήινης σφαίρας μεταβάλλει την ένταση των εποχών. Οι εποχές μπορούν επίσης να τονιστούν ή να τροποποιηθούν από την εκκεντρότητα της τροχιάς γύρω από τον ήλιο καθώς και την επίδραση μετάπτωσης, τη θέση των ηλιοστασίων στην ετήσια τροχιά.



Εικόνα 2.1: Milutin Milankovitch, Σέρβος Αστρονόμος και Αστροφυσικός (1879-1958). Ο Milankovitch αφιέρωσε τη σταδιοδρομία του στην ανάπτυξη μιας μαθηματικής θεωρίας για το κλίμα. Βασίστηκε δε στις εποχιακές καθώς και στις μεταβολές της ηλιακής ακτινοβολίας που πέφτει στη Γη ανάλογα με το πλάτος ενός τόπου. Η εικόνα είναι παρμένη από το διαδικτυακό ιστότοπο [www.physics4u.gr](http://www.physics4u.gr)

Η εργασία του Milankovitch ήταν μια προσπάθεια για την εξήγηση των Εποχών του Πάγου και την έχτισε πάνω σε προηγούμενες αστρονομικές θεωρίες για την μεταβολή του κλίματος, από τους Joseph Adhemar και James Croll τον 19ο αιώνα (1860). Η θεωρία Milankovitch, αναφέρει ότι καθώς η Γη κινείται στο διάστημα γύρω από τον ήλιο, συνδυάζονται οι περιοδικές μεταβολές τριών στοιχείων της γεωμετρίας Γης - Ήλιου, για να δημιουργήσουν περιοδικές μεταβολές στο ποσό της ηλιακής ενέργειας που φθάνει στη Γη (Gribbin, 1992):

- A. Μεταβολές στην εκκεντρότητα της γήινης τροχιάς, δηλαδή στη μορφή της ελλειπτικής τροχιάς της γύρω από τον ήλιο.
- B. Αλλαγές στην λόξωση της εκλειπτικής, δηλαδή αλλαγές στη γωνία που σχηματίζει ο γήινος άξονας με το επίπεδο της γήινης τροχιάς.
- C. Μετάπτωση των ισημεριών, δηλαδή η μεταβολή στην κατεύθυνση του γήινου άξονα της περιστροφής, δηλαδή ο άξονας της περιστροφής



συμπεριφέρεται όπως ο άξονας περιστροφής μιας σβούρας, σχηματίζοντας έναν κύκλο στην ουράνια σφαίρα σε 22.000 χρόνια.

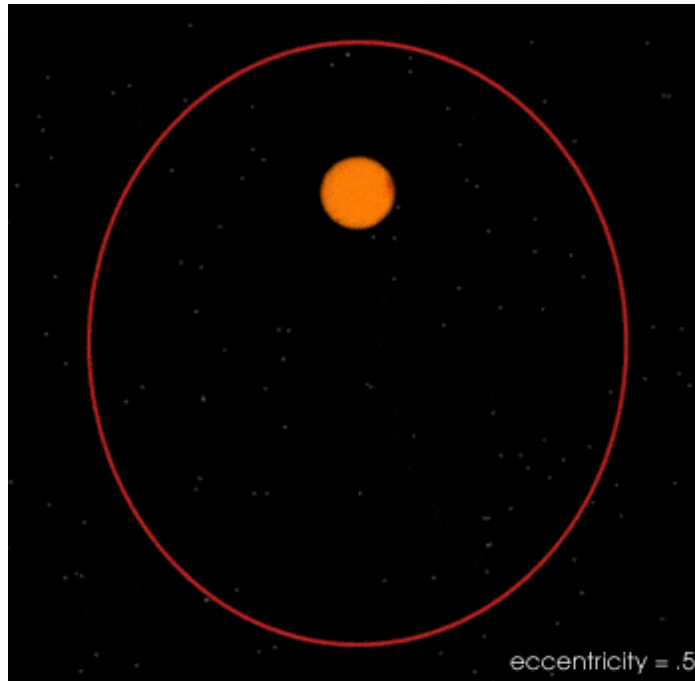
Οι περίοδοι των τριών αυτών τροχιακών κινήσεων μαζί έχουν γίνει γνωστές ως κύκλοι του Milankovitch. Αναλυτικότερα οι επιδράσεις τους στο γήινο κλίμα αναλύονται παρακάτω.

#### A. Μεταβολές στην εκκεντρότητα

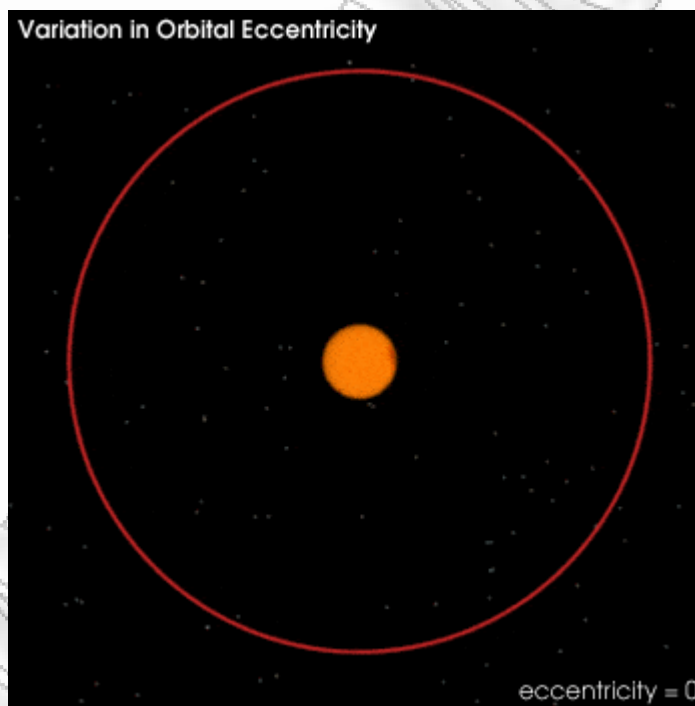
Η εκκεντρότητα είναι η αλλαγή στη μορφή της γήινης τροχιάς γύρω από τον ήλιο. Η μορφή της τροχιάς της Γης παρουσιάζει μια περιοδικότητα ανάμεσα σε μια ελλειπτική τροχιά υψηλής εκκεντρότητας μέχρι μιας σχεδόν κυκλικής (χαμηλή εκκεντρότητα). Η περίοδος της μεταβολής του σχήματος είναι μεταξύ 90.000 και 100.000 ετών. Όταν η τροχιά είναι ιδιαίτερα ελλειπτική, το ποσό της ηλιακής 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 (Gribbin, 1992).

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 (Gribbin, 1992).

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 (βλέπε Εικ. 2-2, 2.3). 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 αφήλιου 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 πιο κοντά στον Ήλιο (Gribbin, 1992).

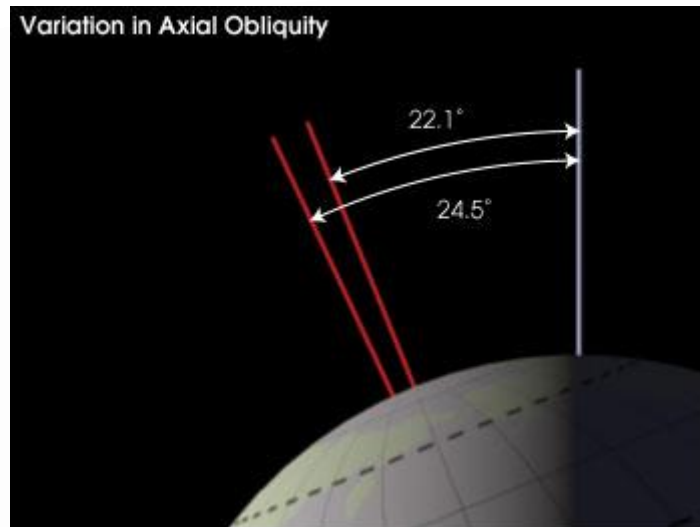


Εικόνα 2-2: ελλειπτική τροχιά της Γης με τον Ήλιο στη μια κύρια εστία της τροχιάς. Η εικόνα είναι παρμένη από το διαδικτυακό ιστότοπο [www.physics4u.gr](http://www.physics4u.gr).



Εικόνα 2-3: κυκλική τροχιά της Γης με τον Ήλιο στο κέντρο της τροχιάς. Η εικόνα είναι παρμένη από το διαδικτυακό ιστότοπο [www.physics4u.gr](http://www.physics4u.gr).

B. Αλλαγές στην κλίση του άξονα περιστροφής της Γης.



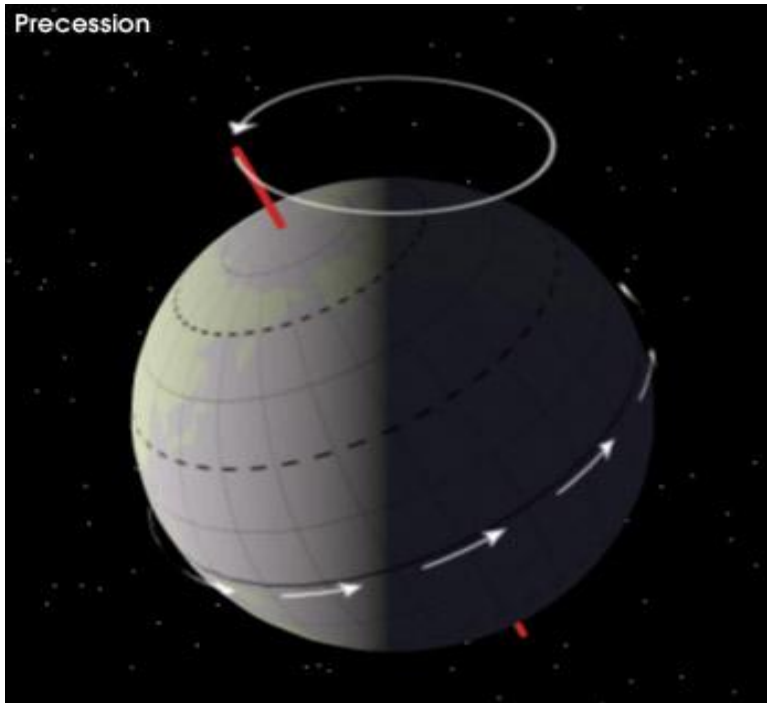
Εικόνα 2-4: αλλαγές στην κλίση του άξονα περιστροφής της Γης. Η εικόνα είναι παρμένη από το διαδικτυακό ιστότοπο [www.physics4u.gr](http://www.physics4u.gr).

Με μια περίοδο 41.000 ετών, η Γη ταλαντεύεται καθώς αλλάζει και η γωνία του άξονα της με το επίπεδο της εκλειπτικής (αιωνία μεταβολή της λοξότητας της εκλειπτικής), μεταβάλλεται δε μεταξύ  $22,1^\circ$  και  $24,5^\circ$ .

Η μείωση της γωνίας από την τρέχουσα τιμή των  $23,45^\circ$  σημαίνει λιγότερες εποχιακές διαφορές μεταξύ των βόρειων και νότιων ημισφαιρίων, ενώ μια μεγαλύτερη γωνία σημαίνει μεγαλύτερες εποχιακές διαφορές (δηλ. ένα θερμότερο καλοκαίρι και ένα πιο δροσερό χειμώνα). Καθώς δηλαδή η κλίση του άξονα αυξάνεται οι χειμώνες είναι πιο ψυχροί και τα καλοκαίρια είναι θερμότερα και στα δύο ημισφαίρια (Gribbin, 1992).

Επειδή λοιπόν η κλίση αλλάζει, οι εποχές μπορούν να διαφοροποιηθούν ως προς τα χαρακτηριστικά τους. 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 επίσης θετικές ανατροφοδοτήσεις στο σύστημα του κλίματος, επειδή μια Γη που καλύπτεται με περισσότερο χιόνι ανακλά περισσότερη ενέργεια του ήλιου στο διάστημα, προκαλώντας έτσι πρόσθετη ψύξη.

C. Μετάπτωση ισημεριών ή μεταβολές στην κατεύθυνση του άξονα περιστροφής της Γης.



Εικόνα 2-5: μετάπτωση των ισημεριών. Η εικόνα είναι παρμένη από το διαδικτυακό ιστότοπο [www.physics4u.gr](http://www.physics4u.gr).

Οι μεταβολές στην κατεύθυνση του άξονα της Γης αλλάζουν τις ημερομηνίες του περιηλίου και του αφηλίου, και επομένως αυξάνουν την εποχιακή αντίθεση στο ένα ημισφαίριο και μειώνουν την εποχιακή αντίθεση στο άλλο ημισφαίριο. Προκαλείται από τις βαρυτικές ροπές που ασκούνται από το φεγγάρι και τον ήλιο στην περιστροφή της ελαφρώς πεπλατυσμένης Γης. Σε 12.000 χρόνια από τώρα το βόρειο ημισφαίριο θα έχει καλοκαίρι το Δεκέμβριο και χειμώνα τον Ιούνιο, επειδή ο άξονας της Γης θα δείχνει στο αστέρι Βέγα αντί του Βόρειου Πολικού Αστήρα.

Αυτή η εποχιακή αντιστροφή δεν θα συμβεί ξαφνικά αλλά οι εποχές θα μετατοπιστούν βαθμιαία κατά τη διάρκεια μιας περιόδου χιλιάδων ετών. Η περίοδος της μετάπτωσης αυτής είναι περίπου 26.000 χρόνια και για πρώτη φορά μελετήθηκε από τον αστρονόμο Ίππαρχο το 120 π.Χ. Από την εποχή του Ιππάρχου πρέπει η μεταβολή να ισούται με 29 μοίρες, δεδομένου ότι κάθε χρόνο ο άξονας της Γης μετακινείται 50,26 δεύτερα ανά έτος. Άρα οι περιγραφές των αρχαίων αστρονόμων για την πορεία του ήλιου ανάμεσα στους αστερισμούς δεν ισχύουν σήμερα. Όταν δε χτίστηκαν οι πυραμίδες, γύρω στο 2.500 π.Χ. ο Πολικός ήταν κοντά στο αστέρι Thuban (άλφα Draconis- Δανέζης και Θεοδοσίου, 1999).

Ο Σέρβος αστροφυσικός Milutin 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 (Gribbi, 1992). 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. Αντίθετα, 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. Προσπάθησε, έπειτα, να συσχετίσει αυτές τις αλλαγές με την αύξηση και την υποχώρηση των εποχών πάγου. Για να το πετύχει υπέθεσε ότι οι αλλαγές στην ακτινοβολία σε μερικά γεωγραφικά πλάτη και οι εποχές είναι σημαντικότερες στην αύξηση και τη διάσπαση των παγόβουνων από αυτές σε κάποιες άλλες περιοχές (Gribbin, 1992).

Η θεωρία του προτείνει ότι η αρχική αιτία των Εποχών του Πάγου είναι η συνολική θερινή ακτινοβολία που πέφτει στις περιοχές γεωγραφικού πλάτους πάνω από  $65^{\circ}$ , όπου στο παρελθόν έχουν σχηματιστεί μεγάλα παγόβουνα. Οι προηγούμενες Εποχές του Πάγου συσχετίζονται αρκετά με την ηλιακή έκθεση στους  $65^{\circ}$  βόρεια. Οι αστρονομικοί υπολογισμοί δείχνουν ότι στους  $65^{\circ}$  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 (Gribbin, 1992), εξέτασε πυρήνες ιζημάτων βαθιάς θάλασσας και παρατήρησε ότι η θεωρία του Milankovitch 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 (εκκεντρότητα, λόξωση της εκλειπτικής και μετάπτωση) της γήινης τροχιάς και ότι οι εποχές πάγου συνέβησαν όταν η Γη προχωρούσε στα διαφορετικά στάδια της τροχιακής μεταβολής.

Αν και οι κύκλοι του Milankovitch εξηγούν μακροπρόθεσμες κλιματικές αλλαγές, αδυνατούν να περιγράψουν με ακρίβεια πως σχετικά μέτριες μεταβολές στην κατεύθυνση της τροχιάς και των αξόνων της Γης οδηγούν σε αποτελέσματα όπως οι Εποχές του Πάγου. 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 (Gribbin, 1992). Πρόσφατα στοιχεία, που δημοσιεύτηκαν το 2000, δείχνουν ότι το ατμοσφαιρικό διοξείδιο του άνθρακα μπορεί να διαδραματίζει έναν κύριο ενισχυτικό ρόλο στην τροχιακή επίδραση. Η αντίστοιχη θεωρία (Cox, 2007), η οποία σχετίζει τους αστρονομικούς κύκλους Milankovitch με τις διακυμάνσεις της δραστηριότητας των γήινων φυτικών οργανισμών και του ατμοσφαιρικού φαινομένου του θερμοκηπίου, είναι γνωστή με το όνομα «Θεωρία της Γαίας». Εντούτοις, μερικοί ερευνητές έχουν ακόμα αμφιβολίες για τη σύζευξη μεταξύ του κύκλου του κλίματος των 100.000 ετών και των

τροχιακών παραλλαγών. Κατά συνέπεια, παραμένουν αναπάντητα πολλά ζητήματα για τις μακροπρόθεσμες παραλλαγές του κλίματος και την ενδεχόμενη σχέση τους με αστρονομικές αιτίες.

### **2.3 Ο ΗΛΙΟΣ ΚΑΙ Η ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ.**

Σύμφωνα με έρευνες των τελευταίων χρόνων οι επιστήμονες φαίνεται να πιστεύουν βάση αποτελεσμάτων ότι το Φαινόμενο του Θερμοκηπίου δεν είναι το μόνο που συντελεί στην κλιματική αλλαγή αλλά και κάποιοι άλλοι παράγοντες κάποιους από τους οποίους δεν είναι δυνατόν να ελέγξει ο άνθρωπος. Υπάρχει μια άποψη (Gribbin, 1992) που τον τελευταίο καιρό αναπτύσσεται αρκετά, που υποστηρίζει ότι ο ήλιος είναι ένας σημαντικός παράγοντας στην αλλαγή του κλίματος. Ίσως και μεγαλύτερος απ' όσο οι ανθρώπινες δραστηριότητες, λόγω των αερίων που ελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα και της παγίδευσης μέσα σε αυτήν της θερμότητας. Αυτό συμβαίνει γιατί έχει παρατηρηθεί ότι ορισμένες διαδικασίες πάνω στον ήλιο, θα μπορούσαν να έχουν επίδραση στην θερμοκρασία της Γης, όπως και οι αυξανόμενες εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>).

Η ακτινοβολία που εκπέμπεται από τον Ήλιο δεν είναι σταθερή, μεταβάλλεται συνεχώς σε όλα τα μήκη κύματος και σε όλες τις χρονικές κλίμακες (από μερικά δευτερόλεπτα έως αιώνες). Οι μεταβολές αυτές εμφανίζουν μια περιοδικότητα με ελάχιστα και μέγιστα να εναλλάσσονται κυκλικά ανά περίπου 11, 22, 80, 200, αλλά και περισσότερα χρόνια (Gribbin, 1992). Μια τέτοια περιοδική συμπεριφορά παρουσιάζει και η εμφάνιση διαφόρων σχηματισμών πάνω στην επιφάνεια του Ηλίου. Οι πιο γνωστοί σχηματισμοί, που χρησιμοποιούνται ως δείκτες της ηλιακής δραστηριότητας, είναι οι ηλιακές κηλίδες, κυρίως γιατί ο αριθμός τους άρχισε να καταμετρείται, και άρα να μας είναι γνωστός, από τον 16ο αιώνα με την εμφάνιση του τηλεσκοπίου. Ως δείκτες της ηλιακής δραστηριότητας χρησιμοποιούνται επίσης οι μεταβολές διαφόρων σωματιδίων (πρωτόνια, ηλεκτρόνια), αλλά και η μεταβολή της ροής της κοσμικής ακτινοβολίας (Gribbin, 1992).

Οι μεταβολές αυτές της ηλιακής ακτινοβολίας μετρούνται και από το έδαφος αλλά και από δορυφόρους. Έτσι βρέθηκε ότι η ενέργεια που εκπέμπει μεταβάλλεται σταθερά κατά 0,1% περίπου από το ελάχιστο στο μέγιστο του 11-ετούς κύκλου της ηλιακής δραστηριότητας. Και μπορεί αυτή η διαφορά να θεωρείται αμελητέα, είναι όμως δυνατόν να έχει σημαντικές επιπτώσεις στο κλίμα της Γης, αν λάβει κανείς υπόψη το τεράστιο ποσό της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από τον Ήλιο. Σημαντικό είναι επίσης ότι η εκπομπή στο υπεριώδες παρουσιάζει διακυμάνσεις της τάξεως του 1% μέσα σε 11 χρόνια (Gribbin, 1992).

Η ακτινοβολία αυτή είναι υπεύθυνη τόσο για την καταστροφή όσο και για την παραγωγή του όζοντος στη στρατόσφαιρα της Γης. Το όζον απορροφά την επικίνδυνη για τον ανθρώπινο οργανισμό υπεριώδη

ακτινοβολία. Εμποδίζει ιδιαίτερα την πλέον επικίνδυνη μορφή της, τη UV-B, που επιδρά κατ' ευθείαν στην έλικα του DNA διασπώντας την και προκαλώντας καρκίνο. Μείωση κατά 1% στο όζον της ατμόσφαιρας είναι δυνατόν να προκαλέσει αύξηση κατά 2% στους καρκίνους του δέρματος. Είχε βρεθεί παλαιότερα ότι το όζον αυξανόταν και μειωνόταν σύμφωνα με τον 11-ετή κύκλο της ηλιακής δραστηριότητας. Η γνώση επομένως του ρόλου της μεταβολής της ηλιακής υπεριώδους ακτινοβολίας στη μεταβολή του όζοντος θα μας βοηθήσει ώστε να μετρήσουμε καλύτερα την ελάττωση του που οφείλεται στις ανθρώπινες δραστηριότητες (Gribbin, 1992).

Είναι όμως φανερό ότι για να μπορέσουμε να μελετήσουμε τον ρόλο που παίζουν οι ανθρωπογενείς παράγοντες στην παρατηρούμενη σήμερα αύξηση της θερμοκρασίας ή στην καταστροφή του όζοντος και πώς αυτή θα εξελιχθεί μελλοντικά πρέπει να είμαστε σε θέση να πούμε αν σε αυτήν συνεισφέρει, και σε ποιον βαθμό, η μεταβαλλόμενη ηλιακή ακτινοβολία. Σήμερα οι μεταβολές τόσο της ηλιακής ακτινοβολίας όσο και του κλίματος της Γης στο παρελθόν είναι δυνατόν να αποκρυπτογραφηθούν με τη βοήθεια των αρχαίων στρωμάτων του πάγου που βρίσκονται στους πόλους. Επίσης, οι μεταβολές της ηλιακής δραστηριότητας στο παρελθόν είναι δυνατόν να εκτιμηθούν από την εναπόθεση του ποσού του ραδιενεργού άνθρακα στους δακτυλίους κάποιων δέντρων πεύκης ή από ένα ισότοπο του βηρυλλίου που εναποτίθεται στους πάγους (Cox, 2007).

Η κοσμική ακτινοβολία που έρχεται από το Διάστημα πέφτοντας στα άτομα του αέρα είναι δυνατόν να δημιουργήσει ραδιενεργό άνθρακα 14. Κατά τη διάρκεια αυξημένης ηλιακής δραστηριότητας οι κοσμικές ακτίνες εκτρέπονται από τη Γη λόγω του αυξημένου μαγνητικού πεδίου του Ηλίου. Έτσι σ' αυτές τις περιόδους υπάρχει λιγότερος άνθρακας 14 στον αέρα, ενώ το αντίστροφο συμβαίνει στις περιόδους χαμηλής ηλιακής δραστηριότητας. Καθώς είναι γνωστό το ποσοστό του άνθρακα 14 που μεταπίπτει σε άνθρακα 12, ανάλυση του λόγου αυτών των ατόμων στους δακτυλίους ενός δέντρου μπορεί να μας δώσει πόσος ραδιενεργός άνθρακας ήταν στον αέρα όταν δημιουργήθηκε ο δακτύλιος και κατά συνέπεια αν η ηλιακή δραστηριότητα τότε ήταν έντονη ή όχι. Η εναπόθεση του βηρυλλίου στους πάγους επηρεάζεται με τον ίδιο τρόπο από την κοσμική ακτινοβολία και μας δίνει επίσης πληροφορίες για το πώς μεταβαλλόταν η ηλιακή δραστηριότητα στο παρελθόν (Cox, 2007).

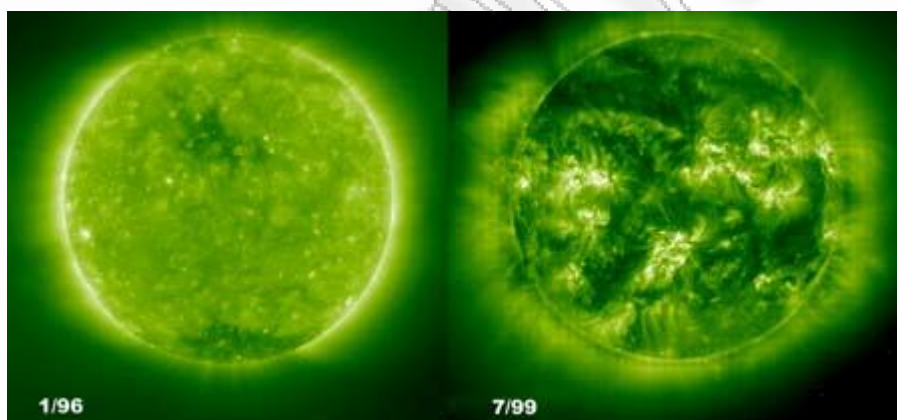
Έχει προταθεί ότι το μαγνητικό πεδίο του ήλιου και ο ηλιακός άνεμος<sup>1</sup> (Δανέζης και Θεοδοσίου, 1999) μπορούν να περιορίσουν τον αριθμό των κοσμικών ακτινών (μικροσκοπικά σωματίδια υψηλής ενέργειας) που εισέρχονται στη γήινη ατμόσφαιρα. Οι κοσμικές ακτίνες είναι αυτές που συγκρούονται με τα μόρια αέρα και παράγουν δευτερογενή σωματίδια τα οποία, λειτουργώντας ως πυρήνες συμπύκνωσης των υδρατμών, συμβάλλουν στη δημιουργία νεφών, τα οποία με τη σειρά τους ψύχουν τη Γη. Με άλλα λόγια, η αυξανόμενη ηλιακή δραστηριότητα σημαίνει λιγότερες

---

<sup>1</sup> Ηλιακός άνεμος: ηλεκτρόνια, πρωτόνια και άλλα φορτισμένα σωματίδια προερχόμενα από την ατμόσφαιρα που περιβάλλει τον Ήλιο, τα οποία κινούνται διαρκώς γύρω του με μεγάλες ταχύτητας εξαιτίας του μαγνητικού πεδίου που τον περιβάλλει.

κοσμικές ακτίνες, λιγότερα σύννεφα, και περισσότερη θέρμανση. Μερικοί επιστήμονες (Colbert, 2007) που ασχολούνται με το φαινόμενο του θερμοκηπίου υποστηρίζουν ότι αυτός ο συσχετισμός μεταξύ της γήινης θερμοκρασίας και της ηλιακής δραστηριότητας είναι καλύτερος και ομαλότερος απ' ό,τι ο οποιοσδήποτε συσχετισμός με το CO<sub>2</sub>.

Δορυφόροι παρακολουθούν καθημερινά τις δραστηριότητες του Ήλιου. Στην Εικ 2-6 μπορούμε να παρατηρήσουμε τις δραματικές αλλαγές στην ατμόσφαιρα του ήλιου από το ηλιακό ελάχιστο του 1996 (αριστερή εικόνα) μέχρι το ηλιακό μέγιστο του 2000 (δεξιά εικόνα). Οι ειδικοί επιστήμονες πάνω στο κλίμα έχουν παρατηρήσει ήδη τις αλλαγές που σχετίζονται με τη δραστηριότητα των κηλίδων του ήλιου - έναν κύκλο περίπου 11 ετών - και τις μακροπρόθεσμες αλλαγές στη φωτεινότητα του ήλιου, η οποία έχει έναν κύκλο που διαρκεί επί αιώνες. Όμως, είχαν απορρίψει την επίδραση και των δύο φαινομένων στην αύξηση της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια του τελευταίου αιώνα, είτε γιατί αυτές συμβαίνουν σε ένα πολύ μικρό χρονικό διάστημα ή γιατί είναι πάρα πολύ ασθενείς (Colbert, 2007).



Εικόνα 2.6: ελάχιστο ηλιακής δραστηριότητας (1996- αριστερά), μέγιστο της ηλιακής δραστηριότητας (1999- δεξιά) από το ηλιακό διαστημικό παρατηρητήριο SOHO. Η εικόνα είναι παρμένη από το διαδικτυακό ιστότοπο [www.physics4u.gr](http://www.physics4u.gr).

Μέχρι τώρα βέβαια είχαν παραλείψει να πάρουν υπόψιν τους δύο άλλους παράγοντες (Colbert, 2007):

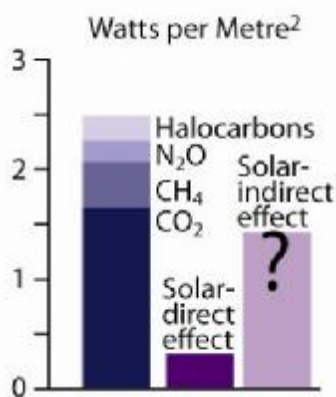
- Οι μεταβολές στην ποσότητα της υπεριώδους ακτινοβολίας που έρχεται από τον ήλιο έχουν επιπτώσεις στο στρώμα του όζοντος. Το στρώμα του όζοντος είναι ένα πολύ σημαντικό μέρος της ατμόσφαιρας γιατί εκεί γίνονται πολλές χημικές αντιδράσεις, που παίζουν ρόλο στον τρόπο που εξελίσσεται και η υπόλοιπη ατμόσφαιρα.
- Το μαγνητικό πεδίο του ήλιου και ο ηλιακός άνεμος- κυρίως υπό μορφή ηλεκτρονίων και πρωτονίων που εξέρχονται από τον ήλιο-προστατεύουν ολόκληρο το ηλιακό σύστημα ενεργώντας σαν ένα είδος ασπίδας εναντίον των κοσμικών ακτίνων (πολύ ενεργητικά σωματίδια αλλά και ακτινοβολία από το εξωτερικό διάστημα). Αυτή η ασπίδα δε σταματά, όμως, όλες τις κοσμικές ακτίνες από το να εισέλθουν μέσα στην ατμόσφαιρα, και η αποτελεσματικότητά της μεταβάλλεται ανάλογα



με τις μακροχρόνιες μεταβολές στη δραστηριότητα του ήλιου, η οποία μπορεί να αυξάνεται και ύστερα να πέσει σε μια χρονική κλίμακα πολλών αιώνων.

Μία από τις επιδράσεις που έχουν οι κοσμικές ακτίνες είναι ότι επηρεάζουν τη ποσότητα της νεφοκάλυψης, δηλαδή, πόσο νεφελώδης είναι η Γη. Έτσι εάν ο ήλιος υποστεί μακροχρόνιες αλλαγές στη δραστηριότητα του - που γίνεται - το ποσό των κοσμικών ακτινών που θα φθάνουν στη Γη επίσης θα μεταβάλλεται την ίδια χρονική περίοδο, άρα και η γενική νεφοκάλυψη του πλανήτη μας. Η ποσότητα των νεφών έχει επιπτώσεις στο ποσό της ακτινοβολίας που φθάνει από τον ήλιο στην επιφάνεια του πλανήτη μας, που στη συνέχεια έχει επιπτώσεις στην παγκόσμια θερμοκρασία. Τα στοιχεία που συλλέγονται από τους δορυφόρους δείχνουν ότι η ποσότητα των χαμηλών νεφών πάνω από τη Γη ακολουθεί στενά την ποσότητα των κοσμικών ακτινών που φθάνουν στη Γη (Colbert, 2007).

Η προκύπτουσα θέρμανση, λοιπόν, που οφείλεται σε αυτό το φαινόμενο κατά τη διάρκεια του τελευταίου αιώνα θα μπορούσε να συγκριθεί με την ποσότητα της θέρμανσης, που οι άνθρωποι νομίζουν ότι οφείλεται στην επίδραση του φαινομένου του θερμοκηπίου (βλέπε Εικ. 2-7). Αν προσθέσουμε σε αυτό το φαινόμενο και τις άλλες επιδράσεις που οφείλονται στον ήλιο τότε τα αέρια του θερμοκηπίου μπορεί να θεωρηθούν κατά 50% λιγότερο υπεύθυνα για τις αυξανόμενες παγκόσμιες θερμοκρασίες. Η άλλη πλευρά του νομίσματος είναι ότι η μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, θα έχει πολύ μικρότερη επίδραση στη σταθεροποίηση της θερμοκρασίας, από όσο νομίζουν μερικοί άνθρωποι, και δύσκολα μπορεί να έχει οποιαδήποτε επίδραση πάνω σε αυτό το φαινόμενο. Ίσως η συνεχιζόμενη χρήση ορυκτών καυσίμων θα μπορούσε να είχε μικρή επίδραση στο κλίμα. Η ενέργεια που εκπέμπεται από τον ήλιο είναι η κυρίως υπεύθυνη για το σύστημα του κλίματος, και οι φυσικές αλλαγές στη συμπεριφορά του ήλιου μπορούν να έχουν μια πολύ μεγαλύτερη επίδραση από ό,τι ανθρώπινη δραστηριότητα πάνω στο κλίμα.



Εικόνα 2-7: συγκριτική παρουσίαση των παραγόντων που επηρεάζουν τη θέρμανση. Τα αέρια του θερμοκηπίου (χλωροφθοράνθρακες, υποξείδιο του αζώτου, μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα), η άμεση επίδραση του ήλιου και η έμμεση.

Γερμανοί επιστήμονες έχουν βρει (Colbert, 2007) ένα σημαντικό κομμάτι από στοιχεία που συνδέουν τις κοσμικές ακτίνες με την κλιματική αλλαγή. Έχουν ανιχνεύσει σμήνη φορτισμένων σωματιδίων στο κατώτερο στρώμα της ατμόσφαιρας, που προκλήθηκαν πιθανώς από τη διαστημική- κοσμική ακτινοβολία (σωματίδια υψηλής ενέργειας από το αχανές διάστημα). Ισχυρίζονται δε ότι τα σμήνη αυτά μπορούν να οδηγήσουν σε συμπυκνωμένους πυρήνες, από τα οποία σχηματίζονται τα πυκνά νέφη. Αυτά παίζουν έναν σημαντικό, αλλά μέχρι τώρα όχι πλήρως κατανοητό ρόλο στη δυναμική του κλίματος, με μερικούς τύπους να ενεργούν για να ψύξουν τον πλανήτη και άλλους να τον θερμαίνουν. Το ποσό κοσμικών ακτίνων που φθάνουν στη Γη ελέγχεται κατά ένα μεγάλο μέρος από τον ήλιο, και πολλοί ηλιακοί επιστήμονες θεωρούν ότι η έμμεση επιρροή του άστρου μας στο Γήινο παγκόσμιο κλίμα έχει υποτιμηθεί. Μερικοί επιστήμονες (Colbert, 2007) σκέφτονται ότι ένα σημαντικό μέρος της ανόδου της παγκόσμιας αύξησης της τιμής της θερμοκρασίας σε παγκόσμια κλίμακα που καταγράφεται στον 20ό αιώνα, μπορεί στην πραγματικότητα να έχει την προέλευσή του στις αλλαγές της ηλιακής δραστηριότητας και όχι μόνο στην αύξηση στα αέρια του θερμοκηπίου που παράχθηκαν από τα ορυκτά καύσιμα.

Η Γερμανική ομάδα από το Ινστιτούτο Πυρηνικής Φυσικής Max Planck στη Χαϊδελβέργη χρησιμοποίησε ένα μεγάλο φασματόμετρο μάζας ιόντων, το οποίο ανυψώθηκε με ένα αεροσκάφος (Colbert, 2007). Ισχυρίστηκαν ότι ανίχνευσαν για πρώτη φορά στην ανώτερη τροπόσφαιρα θετικά ιόντα με μαζικούς αριθμούς μέχρι 2500. Οι παρατηρήσεις τους παρέχουν ισχυρά στοιχεία για το σχηματισμό ιόντων και την αύξηση σωματιδίων αερολυμάτων στην ανώτερη τροπόσφαιρα, υποστηρίζουν δε τη θεωρία ότι οι κοσμικές ακτίνες μπορούν να επηρεάσουν την κλιματική αλλαγή, αφού έχουν επιπτώσεις στην ανακλαστικότητα ή λευκαύγεια (Albedo) των νεφών, δηλαδή στην ικανότητα των νεφών να ανακλούν το φως. Η δραστηριότητα του Ήλιου επηρεάζει την ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας που φτάνει στη Γη. Συνεπώς, επειδή οι κοσμικές ακτίνες είναι η κύρια πηγή του ιονισμού στην ατμόσφαιρα της Γης, μπορεί να έχουν μια επίδραση στον σχηματισμό των νεφών. Σε γενικές γραμμές, όσο περισσότερες κοσμικές ακτίνες φθάνουν στη Γη, τόσο περισσότερα χαμηλά νέφη υπάρχουν. Έτσι, αυξημένη ηλιακή δραστηριότητα οδηγεί σε μειωμένη ροή κοσμικών ακτίνων και στο σχηματισμό λιγότερων χαμηλών νεφών.

Για τη σημασία και την πολυπλοκότητα του ρόλου των νεφών στο κλιματικό σύστημα γίνεται λόγος στις εργασίες του Κέντρου Tyndall για την Έρευνα της Κλιματικής Αλλαγής, του Βρετανικού Πανεπιστημίου της Ανατολικής Αγγλίας (University of East Anglia- U.E.A.). Σύμφωνα με αυτές η ανατροφοδότηση (feedback) του κλιματικού συστήματος μέσω των νεφών μπορεί να είναι μεγάλη, αφού τα νέφη επηρεάζουν έντονα τη διέλευση της ηλιακής ακτινοβολίας από τη γήινη ατμόσφαιρα (Cox, 2007). Αντανακλούν ένα μέρος της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας στη φασματική περιοχή των μικροκυμάτων προς τα πίσω στο διάστημα και απορροφούν ένα μέρος της εξερχόμενης επίγειας ακτινοβολίας δημιουργώντας ψύξη και θέρμανση, αντίστοιχα. Επιπλέον, τα υψηλά νέφη τείνουν να έχουν χαμηλότερη λευκάγεια- ανακλαστικότητα (albedo) και να ανακλούν λιγότερο ηλιακό φως προς τα πίσω στο διάστημα από τα χαμηλά (Cox, 2007). Έτσι τα χαμηλά νέφη τείνουν να ψύχουν ενώ τα υψηλά νέφη τείνουν να θερμαίνουν τη Γη.

Επιπλέον, οι ανακλαστικές και απορροφητικές ιδιότητες των νεφών μπορούν να αλλάξουν με την αλλαγή των κλιματικών συνθηκών όπως και με την επίδραση των ανθρωπογενών αερολυμάτων. Ανάλογα με ποιον τρόπο και κατά πόσον γίνονται οι μεταβολές στη νεφοκάλυψη, η θέρμανση λόγω της ανατροφοδότησης (feedback) του κλιματικού συστήματος από τα νέφη θα μπορούσε να διπλασιαστεί ή να μειωθεί στο μισό, λένε ορισμένοι επιστήμονες (Cox, 2007). Πολλοί από αυτούς (Colbert, 2007) μάλιστα συμφωνούν ότι η Γήινη επιφάνεια εμφανίζεται να είναι θερμότερη, ενώ οι χαμηλές θερμοκρασίες της ατμόσφαιρας παραμένουν αμετάβλητες.

Κατά συνέπεια, μερικοί άνθρωποι μπορεί να ρωτήσουν:

- «Αν είναι έτσι, γιατί να υπάρχει η ανησυχία του κόσμου για τα αέρια του θερμοκηπίου;»

- «Εξαιτίας του προβλήματος της παγκόσμιας ανόδου της θερμοκρασίας, γιατί να υπάρχει ένα τεράστιο κόστος στη βιομηχανία για να μειώσουν με ειδικά φίλτρα τις εκπομπές των αερίων αφού μπορεί να μην επηρεάζουν το κλίμα οι μειώσεις;»

Εάν ο ήλιος είναι πράγματι αυτός που κύρια συνεισφέρει στην πρόσφατη κλιματική αλλαγή, τότε τα χρήματα που ξοδεύονται για τη μείωση των εκπομπών μπορούν καλύτερα να ξοδευτούν για να δώσουν πιο καθαρό αέρα στις μεγάλες πόλεις και να καθαριστεί το πόσιμο νερό στον Τρίτο Κόσμο. Η απάντηση σε τέτοιου είδους ερωτήματα μπορεί να δοθεί ως εξής: προφανώς η Γη στη μακράιωνη ιστορία της έχει αναπτύξει φυσικούς μηχανισμούς ελέγχου και μεταβολής των κλιματολογικών της συνθηκών μέσα σε μεγάλες γεωλογικές περιόδους τους οποίους ακόμα δεν καταλαβαίνουμε πλήρως. Η εκούσια ή ακούσια αύξηση των ανθρωπίνων εκπομπών, κυρίως εξαιτίας της απληστίας και της αδιαφορίας των ιθύνοντων, μπορεί βραχυπρόθεσμα να τους υπερκαλύψει, προκαλώντας ανεπανάρθωτες ίσως καταστροφές στον πλανήτη μας.

## **2.4 ΤΑ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΑ ΑΕΡΟΛΥΜΜΑΤΑ ΚΑΙ Η ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ**

Η ιστορική μελέτη των ηφαιστειών και του ρόλου τους στην παγκόσμια κλιματική αλλαγή παρουσιάζει αρκετά προβλήματα λόγω της ανεπάρκειας ικανών διαθέσιμων ιστορικών δεδομένων, αφού ακόμα και στους παλαιότερους μετεωρολογικούς σταθμούς δεν υπάρχουν αξιόπιστα στοιχεία για παραπάνω από 200 χρόνια, αφού στις ηφαιστειακές εκρήξεις γινόταν απλή αναφορά. Σήμερα υπάρχει μόνο μια γενική ταξινόμηση του μεγέθους των εκρήξεων των ηφαιστειών και της σημασίας τους στη διαμόρφωση του κλίματος. Επιπλέον έχουν δημοσιευτεί αρκετές εργασίες οι οποίες αναφέρονται στις ηφαιστειακές εκρήξεις, στις καταστροφές που προκαλούν και στις ενδεχόμενες επιπτώσεις τους (Βαρώτσος και Kondratiev, 1996).

Οι πληροφορίες που παρέχουν οι διάφοροι δείκτες των ηφαιστειακών εκρήξεων είναι εξαιρετικά περιορισμένες, αφού αυτοί χαρακτηρίζουν μόνο εκπομπές αερίων από τις αντίστοιχες εκρήξεις (Βαρώτσος και Kondratiev, 1996). Είναι επίσης σημαντικό ότι η απόθεση υλικών προερχόμενων από ηφαιστειακές εκρήξεις σε δεδομένο παγοκάλυμμα ή παγετώνα, όπου μπορούμε να τα μελετήσουμε, εξαρτάται τόσο από τις μεταβολές της μεγάλης κλίμακας ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας κατά την εποχή της έκρηξης όσο και από τις τοπικές συνθήκες απόθεσης. Συνεπώς τα διάφορα αριθμητικά μοντέλα είναι απαραίτητο να προσομοιώνουν την πλήρη διαδοχή των γεγονότων από τις αρχικές εκπομπές των αερίων ενός ηφαιστείου στην ατμόσφαιρα μέχρι τις διαδικασίες μεταφοράς τους, τη μετατροπή τους σε σωματίδια στη στρατόσφαιρα και την τελική εναπόθεσή τους στη θάλασσα και στις επιφάνειες πάγου ή χιονιού (Βαρώτσος και Kondratiev, 1996).

Ο Αμερικανός Benjamin Franklin, πιο γνωστός για τις μελέτες του πάνω στον ηλεκτρισμό, ήταν μαλλον ο πρώτος επιστήμονας που προέβλεψε ότι «η μεγάλη ποσότητα καπνού και ξηρής ομίχλης» που ακολουθεί μια ηφαιστειακή έκρηξη ίσως επιδρούν στον καιρό. Στις 22 Δεκεμβρίου 1784 στο Philosophical School of Manchester παρουσίασε μια χαρακτηριστική περιγραφή που ερμήνευε τις χαμηλές θερμοκρασίες του καλοκαιριού, του φθινοπώρου και του χειμώνα του προηγούμενου έτους ως πιθανό επακόλουθο της παρεμπόδισης του ηλιακού φωτός από τον ηφαιστειακό καπνό μετά την έκρηξη του κρατήρα Laki στην Ισλανδία, η οποία είχε διάρκεια οκτώ μηνών. Στην εργασία του μάλιστα σημείωνε ότι οι ακτίνες του ήλιου έγιναν πολύ ασθενείς κατά τη διέλευσή τους μέσα από την ηφαιστειακή αχλύδα (Βαρώτσος και Kondratiev, 1996).

Μετά τις παρατηρήσεις του Franklin και άλλοι επιστήμονες μελέτησαν την επίδραση των ηφαιστειακών εκρήξεων στη γήινη ατμόσφαιρα. Οι περισσότερες από αυτές αναφέρονται σε στατιστικές συσχετίσεις ανάμεσα σε έντονα καιρικά φαινόμενα και στις απλές εκρήξεις ή ανάμεσα σε κλιματικές ανωμαλίες και σε μια σειρά ηφαιστειακών εκρήξεων. Αυτές οι εργασίες δείχνουν πράγματι ότι κατά τη διάρκεια ορισμένων ετών με ανώμαλες καιρικές συνθήκες, όπως το 1783 και το 1816, υπήρξαν ηφαιστειακά γεγονότα (έκρηξη ηφαιστείου Laki στην Ισλανδία το 1783, και του ηφαιστείου Tambora στην Ινδονησία το 1815, αντίστοιχα) ενώ επιπρόσθετα οι κύριες κλιματικές αλλαγές των τελευταίων 500- 600 ετών συνέβησαν πολλές φορές παράλληλα με μεταβολές στην ηφαιστειακή δραστηριότητα (Βαρώτσος και Kondratiev, 1996).

Οι εκρήξεις των ηφαιστείων μπορούν να έχουν σημαντικές και κάποτε αντικρουόμενες επιπτώσεις στο κλίμα της Γης, ιδιαίτερα σε ό,τι αφορά την επιφανειακή θερμοκρασία (Βαρώτσος και Kondratiev, 1996).

- Οι ηφαιστειακές εκρήξεις μπορούν να ενισχύσουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου προσθέτοντας διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) στην ατμόσφαιρα. Η ποσότητα, όμως, του  $\text{CO}_2$  από την ηφαιστειακή δραστηριότητα είναι γενικά πολύ μικρότερη (~150 φορές) από αυτήν που προσθέτουν κάθε χρόνο οι ανθρωπίνες δραστηριότητες και στις περισσότερες περιπτώσεις μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα. Από την άλλη μεριά, η συμβολή της ηφαιστειακής δράσης στην παγκόσμια θέρμανση αντισταθμίζεται από το φαινόμενο των

ηφαιστειακών χειμώνων, για τους οποίους θα μιλήσουμε στη συνέχεια. Πιστεύεται πάντως ότι η διαρκής αύξηση της θερμοκρασίας της Γης λόγω της ανθρωπογενούς ενίσχυσης του φαινομένου του θερμοκηπίου θα ήταν ακόμα μεγαλύτερη αν δεν υπήρχαν ηφαιστειακές εκρήξεις όπως αυτές των El Chichon (Μεξικό, 1982) και Pinatubo (Φιλιππίνες, 1991). Φαίνεται όμως ότι στη μακράιωνη ιστορία της Γης παρατηρήθηκαν και μεγάλης κλίμακας ηφαιστειακές εκρήξεις που είχαν σημαντική συνεισφορά στον εμπλουτισμό της ατμόσφαιρας της Γης με CO<sub>2</sub> (βλέπε παραπάνω για μαζικές εξαφανίσεις ειδών σε παλαιότερους γεωλογικούς αιώνες)- (Βαρώτσος και Kondratiev, 1996- Βαρώτσος, 2001- Nielsen, 2007).

- Τα ηφαιστειακά αερολύματα που περιέχουν μεγάλα σωματίδια (διαμέτρου πάνω από 1 μm) πυριτικών αλάτων μπορούν να προκαλέσουν υπέρυθρη θέρμανση στη γήινη επιφάνεια, λειτουργώντας παρόμοια με τα αέρια του θερμοκηπίου. Το γεγονός αυτό σε πολλές περιπτώσεις θα μπορούσε να αντισταθμίσει την ψύξη από τα αερολύματα θειικού οξέος. Η πολύ γρήγορη όμως απόθεση των παραπάνω σωματιδίων κάνει αυτή τη θέρμανση συνήθως μικρή ή αμελητέα (Βαρώτσος και Kondratiev, 1996- Βαρώτσος, 2001- Nielsen, 2007).
- Αιωρούμενα σωματίδια όπως η σκόνη και η στάχτη εμποδίζουν την ηλιακή ακτινοβολία να εισέλθει στην ατμόσφαιρα και έτσι προκαλούν πτώση της θερμοκρασίας της Γης. Η διασπορά αυτών των μικροσκοπικών (<2 μm) σωματιδίων στην στρατόσφαιρα και την ανώτερη τροπόσφαιρα συχνά δημιουργεί πανέμορφα ηλιοβασιλέματα λόγω της σκέδασης της ερυθρής ακτινοβολίας. Οι ηφαιστειακές εκρήξεις ενισχύουν αυτό το φαινόμενο, πολύ περισσότερο από ότι το φαινόμενο του θερμοκηπίου, προκαλώντας έτσι σημαντική πτώση της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας (Βαρώτσος και Kondratiev, 1996- Βαρώτσος, 2001- Nielsen, 2007).
- Τα θειούχα αέρια παίζουν πολύ πιο σημαντικό ρόλο. Το θείο ενώνεται με τους υδρατμούς στη στρατόσφαιρα και σχηματίζει SO<sub>2</sub>, το οποίο στη συνέχεια οξειδώνεται περαιτέρω και δίνει πυκνά νέφη από μικροσκοπικά σταγονίδια θειικού οξέος. Ο σχηματισμός στρατοσφαιρικών αερολυμάτων του θειικού οξέος οδηγεί σε αυξημένη οπισθοσκέδαση της ηλιακής ακτινοβολίας και επιφανειακή ψύξη. Στην τελευταία μπορεί επίσης να συνεισφέρει η στρατοσφαιρική απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας από τα ηφαιστειακά αερολύματα (Βαρώτσος και Kondratiev, 1996- Βαρώτσος, 2001- Nielsen, 2007). Για πολλά χρόνια επικρατούσε η άποψη ότι η κύρια συμβολή της ηφαιστειακής δραστηριότητας στις κλιματικές αλλαγές ήταν η εκπομπή της στάχτης, η οποία παρεμπόδιζε την ηλιακή ακτινοβολία να φτάσει στην κατώτερη ατμόσφαιρα. Αυτή η άποψη άλλαξε μετά τις εκρήξεις των ηφαιστειών της Αγίας Ελένης (ΗΠΑ, 1980) και El Chichon (Μεξικό, 1982). Η έκρηξη της Αγίας Ελένης το 1980 προκάλεσε πτώση της παγκόσμιας θερμοκρασίας κατά 0.1 °C. Εντούτοις η πολύ μικρότερη έκρηξη του El Chichon προκάλεσε πτώση της θερμοκρασίας 3-5 φορές μεγαλύτερη. Το ηφαιστειακό νέφος της

Αγίας Ελένης αποτελούνταν κυρίως από ηφαιστειακή στάχτη, ενώ αυτό του El Chichon περιείχε πολύ μεγαλύτερη ποσότητα (πάνω από 40 φορές) θειούχων αερίων (Βαρώτσος και Kondratiev, 1996).

- Μια ακόμα πτυχή του προβλήματος είναι η ηφαιστειακή επίδραση στις φωτοχημικές διαδικασίες στη στρατόσφαιρα, οι οποίες είναι υπεύθυνες για τη δυναμική του στρώματος του όζοντος και για την αλληλεπίδραση όζοντος- κλίματος. Αν και οι ισχύουσες απόψεις υποστηρίζουν την πρόωρη απομάκρυνση των αλογόνων από τις στήλες των ηφαιστειακών εκρήξεων λόγω της απορρόφησης τους από τα σωματίδια της ηφαιστειακής τέφρας, η τύχη των αλογόνων (φθόριο, χλώριο, βρώμιο, ιώδιο ) στην ατμόσφαιρα μετά από μια πολύ ισχυρή ηφαιστειακή έκρηξη δεν έχει ακόμα επαρκώς μελετηθεί. Πρόκειται όμως για ένα πολύ σημαντικό πρόβλημα κυρίως σε ότι αφορά την ηφαιστειακή επίδραση στη δυναμική του στρώματος του όζοντος, το οποίο ως γνωστόν καταστρέφεται από τη δράση των ενώσεων αλογόνων, κυρίως του χλωρίου. Έχουν δει όμως το φως της δημοσιότητας επιστημονικές μελέτες που συσχετίζουν ηφαιστειακές εκρήξεις όπως αυτή του Cerro- Hudson στη νότια Χιλή με την ελάττωση του στρώματος του όζοντος πάνω από την Ανταρκτική (Βαρώτσος και Kondratiev, 1996).

Τα τελευταία χρόνια αρκετές μελέτες υποδεικνύουν ότι αλλαγές στην ηφαιστειακή δράση μπορεί να έχουν σημαντικές επιδράσεις στο κλίμα, δεν υπάρχουν όμως αποδείξεις ότι οι ηφαιστειακές εκρήξεις προηγήθηκαν ή εγκαίνιασαν εποχές παγετώνων τα τελευταία 2.000.000 χρόνια ενώ αρκετές χρονιές με πλημμύρες και ισχυρό ψύχος συνέβησαν χωρίς την εμφάνιση κύριων ηφαιστειακών εκρήξεων. Σημαντικές πληροφορίες για τις κλιματικές επιπτώσεις των ηφαιστειακών εκρήξεων μπορούν να μας δώσουν τα παλαιοκλιματολογικά δεδομένα που προέρχονται από τους κορμούς των δέντρων και τη μελέτη των πυρήνων του πάγου από μεγάλους παγετώνες. Γενικά είναι πολύ πιο δύσκολο να διαχωριστεί το ηφαιστειακό κλιματικό σήμα σε σχέση με τις περιπτώσεις ανθρωπογενών κλιματικών αλλαγών (Βαρώτσος και Kondratiev, 1996).

Τα παραπάνω αποτελούν μια μόνο σύντομη αναφορά, η οποία επ' ουδενί δεν αποσκοπεί στην εξάντληση ενός ιδιαίτερα σημαντικού για την επιστημονική κοινότητα θέματος, απλώς σκιαγραφούν την πολυπλοκότητα του προβλήματος. Η ηφαιστειακή επίδραση στη γήινη ατμόσφαιρα περιλαμβάνει ένα μεγάλο αριθμό αλληλεπιδρώντων φυσικών, χημικών και φωτοχημικών διαδικασιών (Βαρώτσος και Kondratiev, 1996). Γενικά λοιπόν οι ηφαιστειακές εκρήξεις δεν είναι υπεύθυνες για το σύνολο των κλιματικών αλλαγών, εικάζεται όμως ότι προκαλούν αρκετές από αυτές (Βαρώτσος και Kondratiev, 1996).

## **2.5 ΟΙ ΩΚΕΑΝΟΙ ΚΑΙ Η ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ.**

Αν κοιτάξουμε τον πλανήτη μας από το διάστημα το χρώμα που κυριαρχεί στην επιφάνειά του είναι το ανοιχτό κυανό (γαλάζιο), γεγονός που του έδωσε και το προσωνύμιο «Γαλάζιος Πλανήτης». Πράγματι, τα δυο τρίτα περίπου του πλανήτη μας καλύπτονται από νερό, κυρίως με τη μορφή ωκεάνιων υδάτινων μαζών. Από τους ωκεανούς φαίνεται πως προήλθε η ζωή (Cousteau, 1971) και αυτοί φιλοξενούν το μεγαλύτερο ίσως μέρος της (θαλάσσιοι φυτικοί και ζωικοί οργανισμοί) ενώ ρυθμίζουν αποφασιστικά τις συνθήκες στον πλανήτη μας ώστε να παραμένει κατάλληλος για τη διατήρηση των έμβιων όντων. Ο πρωτοπόρος της εξερεύνησης των ωκεανών Jaque-Yves Cousteau έλεγε πως αν έπαυαν να είναι ζωντανοί οι ωκεανοί «τριάντα με πενήντα χρόνια μετά ο τελευταίος άνθρωπος στη Γη θα άφηνε την τελευταία του πνοή» λόγω δραματικών μεταβολών τόσο στη σύσταση της ατμόσφαιρας όσο και στο κλίμα της Γης (Cousteau, 1971).

Σε ότι αφορά την παγκόσμια κλιματική αλλαγή δεν πρέπει να ξεχνάμε πως οι ωκεανοί επιδρούν σε αυτήν με τέσσερις κυρίως τρόπους (Βαρώτσος, 2001):

- Τη θερμική τους αδράνεια, λόγω της μεγάλης ειδικής θερμοχωρητικότητας και της μάζας του νερού που περιέχουν.
- Την κατακράτηση μέρους του διοξειδίου του άνθρακα που διαλύεται στα νερά τους μέσω χημικών αντιδράσεων αλλά και με τη ρύθμιση της ποσότητας των υδρατμών στην ατμόσφαιρα.
- Τους φυτικούς οργανισμούς που φιλοξενούν, οι οποίοι παίζουν αποφασιστικό ρόλο στον κύκλο του άνθρακα στη φύση.
- Τα θαλάσσια ρεύματα.

Ας δούμε καθέναν από αυτούς πιο αναλυτικά.

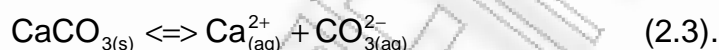
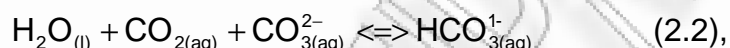
Ως γνωστόν το νερό έχει ειδική θερμοχωρητικότητα ανά μονάδα μάζας σε συνηθισμένες θερμοκρασίες (Young, 1991)

$$c = 4,182 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1} \quad (2.1).$$

Η τιμή αυτή είναι μια από τις μεγαλύτερες γνωστές στη φύση και τέσσερις φορές περίπου μεγαλύτερη από την αντίστοιχη της ξηράς. Αυτό σε συνδυασμό με τη μεγάλη υδάτινη μάζα που συγκεντρώνεται στους ωκεανούς και στις θάλασσες τους καθιστούν ρυθμιστικούς παράγοντες του κλίματος της Γης. Έτσι οι παραθαλάσσιες περιοχές έχουν ηπιότερο κλίμα, δηλαδή δροσερά καλοκαίρια και ζεστούς χειμώνες, σε σχέση με τις ηπειρωτικές περιοχές που βρίσκονται στο ίδιο γεωγραφικό πλάτος. Επιπλέον οι ωκεανοί είναι υπεύθυνοι για τη σταθερότητα του κλίματος της Γης αφού μπορούν να απορροφούν τεράστια ποσά θερμότητας χωρίς να μεταβάλλεται ουσιαστικά η μέση θερμοκρασία των υδάτων τους. Ο παράγοντας αυτός δεν είχε ληφθεί υπόψιν σε πολλά αριθμητικά μοντέλα κλιματικών μεταβολών, με συνέπεια μεγάλες αποκλίσεις των προβλέψεών τους από την πραγματικότητα (Gribbin, 1992).

Επιπλέον, αρκετά από τα θερμοκηπικά αέρια, όπως το CO<sub>2</sub> είναι διαλυτά στο νερό. Οι υδρατμοί μάλιστα, ίσως το σημαντικότερο αέριο του θερμοκηπίου, προέρχονται κατά το μεγαλύτερο μέρος τους από τους

ωκεανούς, τις μεγαλύτερες αποθήκες νερού στον πλανήτη, και σε αυτούς επιστρέφουν τελικά μέσα από διαδικασίες γνωστές με το συνολικό όνομα «κύκλος του νερού (υδρολογικός κύκλος)». Όσο για το διοξείδιο του άνθρακα, δε διαλύεται μόνο αλλά μετέχει και σε διάφορες χημικές ισορροπίες που λαμβάνουν χώρα στους ωκεανούς, οι σημαντικότερες από τις οποίες αφορούν στην καταβύθιση ή στην αναδιάλυση του ανθρακικού ασβεστίου ( $\text{CaCO}_3$ ), κύριου συστατικού τόσο των ασβεστολιθικών αποθέσεων και βράχων όσο και του κελύφους πολλών ζωντανών θαλάσσιων οργανισμών, όπως τα στρείδια και τα κοράλια. Αυτές περιγράφονται με τις χημικές εξισώσεις (Κατάκης και Πνευματικάκης, 1988)



Η εφαρμογή της Αρχής Le Chatelier- Van't Hoff (Κατάκης και Πνευματικάκης, 1988) στο παραπάνω σύστημα δίνει ότι αύξηση του διαθέσιμου  $\text{CO}_2$  στους ωκεανούς, λόγω χάριν εξαιτίας της αυξανόμενης χρήσης ορυκτών καυσίμων, προκαλεί αναδιάλυση των ασβεστολιθικών αποθέσεων. Υπολογίστηκε μάλιστα ότι αν ο θαλάσσιος βυθός αποτελούνταν μόνο από ασβεστολιθικά πετρώματα τότε σε 1500 χρόνια θα διαλυόταν από αυτόν ένα στρώμα πάχους περίπου 3 cm, και το  $\text{CO}_2$  θα μειωνόταν κατά 30% περίπου στην ατμόσφαιρα, χωρίς να ληφθούν υπόψιν άλλοι παράγοντες και χωρίς πρακτικά να αλλάξει το pH του θαλάσσιου νερού. Κάτι τέτοιο όμως θα οδηγούσε σε μαζική εξαφάνιση θαλάσσιων οργανισμών με ασβεστολιθικούς εξωσκελετούς ή κελύφη, με ανυπολόγιστες συνέπειες στα οικοσυστήματα.

Ευτυχώς το μεγαλύτερο μέρος του  $\text{CO}_2$  που καταλήγει στους ωκεανούς δεν παίρνει μέρος σε ισορροπίες σαν τις παραπάνω αλλά εντάσσεται και πάλι στον κύκλο του άνθρακα, μετατρέπόμενο σε ουσίες απαραίτητες στους ζωντανούς οργανισμούς. Αυτό το επιτυγχάνουν οι θαλάσσιοι αυτότροφοι οργανισμοί, οι οποίοι είναι πολύ περισσότεροι από τους αντίστοιχους της ξηράς. Πρόκειται όχι μόνο για μεγάλα θαλάσσια φυτά διάφορων κατηγοριών αλλά κυρίως για μικροσκοπικούς φυτικούς οργανισμούς αόρατους με γυμνό μάτι (φυτοπλαγκτόν). Οι διαδικασίες με τις οποίες συμβαίνει αυτό είναι αρκετά πολύπλοκες. Σε βάθη μέχρι περίπου τα 200 μέτρα, όπου φτάνει το ηλιακό φως, πραγματοποιείται φωτοσύνθεση, όπως στην ξηρά, ενώ σε μεγαλύτερα βάθη βακτηριοσύνθεση, σύνθεση δηλαδή οργανικών ενώσεων με τη βοήθεια βακτηρίων.

Οι παραπάνω τρόποι δεν είναι οι μοναδικοί με τους οποίους οι ωκεανοί επιδρούν στο κλίμα (Βαρώτσος, 2001). Στο τέλος του 20<sup>ου</sup> αιώνα έγινε πολύς λόγος για το ζεύγος φαινομένων «El- Nino» και «La Nina». Οι όροι αυτοί είναι ισπανικοί, ο πρώτος μάλιστα σημαίνει «μικρό αγόρι» και ο δεύτερος «μικρό κορίτσι, μικρούλα». Ιστορικά, οι αλιείς στις δυτικές ακτές της Νότιας Αμερικής και πιο συγκεκριμένα στο Περού και στον Ισημερινό, παρατήρησαν εδώ και πολλές δεκαετίες ότι κάθε δυο με τρία χρόνια, για μερικούς μήνες γύρω από την περίοδο των Χριστουγέννων τα ψάρια λιγόστευαν σε μεγάλο βαθμό. Την περίοδο αυτή ονόμασαν «El- Nino», προς τιμήν του «Θείου Βρέφους». Απέδιδαν δε την όχι καλή ψαριά σε ένα θερμό ρεύμα του Ειρηνικού ωκεανού,



το οποίο έφτανε στην περιοχή τους, αντικαθιστώντας το ευνοϊκό για τη θαλάσσια ζωή ψυχρό ωκεάνιο νερό. Ονόμασαν επίσης την αντίστροφη διαδικασία «La Nina». Πρόκειται δηλαδή για ένα φυσικό φαινόμενο, με ποικίλη ένταση και διάρκεια. Σύνήθως ξεκινά από την αρχή του έτους και μεγιστοποιείται ανάμεσα στον επόμενο Νοέμβριο και Ιανουάριο. Μερικές φορές, όταν τα ρεύματα του ειρηνικού είναι αρκετά θερμά, η περίοδος μπορεί να επεκταθεί ως το Μάιο ή ακόμη και τον Ιούνιο.

Τα τελευταία σαράντα χρόνια συνέβησαν 9 τουλάχιστον τέτοια φαινόμενα (Βαρώτσος, 2001). Τα περισσότερα από αυτά ανύψωσαν τη θερμοκρασία του νερού όχι μόνο στις ακτές αλλά και σε μια ζώνη 5000 μιλίων κατά μήκος του ισημερινού Ειρηνικού. Ένα μάλιστα από τα ισχυρότερα «El- Nino», εκείνο του 1982- 1983 άφησε τα ίχνη του όχι μόνο στην αλιεία και στον τοπικό καιρό (με ισχυρές βροχοπτώσεις) αλλά και σε παγκόσμια κλίμακα στις κλιματικές συνθήκες.

Το 1920 ο Βρετανός Gilbert Walker (Βαρώτσος, 2001) κατέληξε σε ένα συμπέρασμα για το αναπάντητο ως τότε ερώτημα του πώς σχετίζονται τα ωκεάνια ρεύματα με τους ανέμους και τις βροχοπτώσεις. Παρατήρησε ότι όταν η πίεση του αέρα μεγαλώνει (υψηλό βαρομετρικό, που συνεπάγεται ξηρασία) στην ανατολική πλευρά του Ειρηνικού τότε η πίεση πέφτει στη δυτική του πλευρά (χαμηλό βαρομετρικό, συνεπώς αρκετές κατακρημνίσεις) και αντίστροφα. Ονόμασε το φαινόμενο αυτό «Νότια Ταλάντωση» (Southern Oscillation- SO). Όταν η πίεση στην ανατολική πλευρά του Ειρηνικού είναι υψηλή τότε στη δυτική πλευρά είναι χαμηλή και αυτή η διαφορά οδηγεί στη δημιουργία ανατολικού επιφανειακού ανέμου. Αργότερα ο Bjerknes ανακάλυψε ότι τα θερμά νερά του «El- Nino» και η Νότια Ταλάντωση του Walker αποτελούν διαφορετικές όψεις του ίδιου φαινομένου, το οποίο ονόμασε με το ακρωνύμιο ENSO. Οι μελέτες του έδειξαν ότι οι ωκεανοί βρίσκονται σε συνεχή «διάλογο» με την ατμόσφαιρα. Ο ένας «ακούει» τι λέει ο άλλος και «απαντά». Συνεπώς η κίνηση ενός ανέμου κατά μήκος του ισημερινού θα εξαρτάται από τα θαλάσσια ρεύματα και αντίστροφα (Βαρώτσος, 2001).

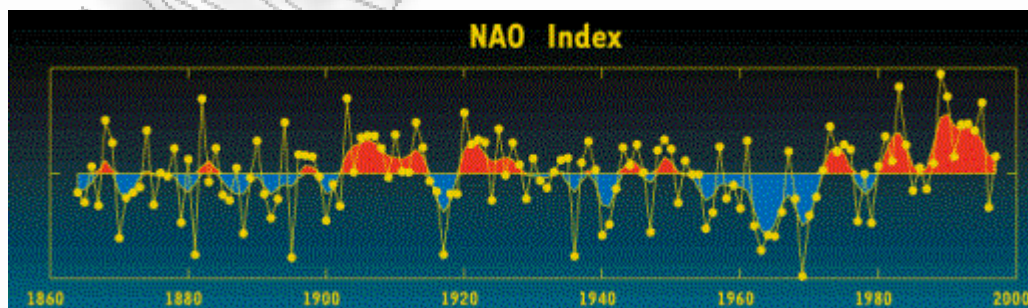
Ο κύριος λόγος που παρατηρούμε έντονα φαινόμενα ωκεάνιων ταλαντώσεων στον Ειρηνικό ωκεανό είναι το μεγάλο εύρος του σε σχέση με τους υπόλοιπους ωκεανούς (Βαρώτσος, 2001). Έτσι οι μεταβολές του ανέμου σε αυτόν δημιουργούν κύματα (πλανητικής κλίμακας ισημερινά κύματα) τα οποία θέλουν αρκετό χρόνο για να τον περάσουν, με συνέπεια αυτός να έχει χρόνο να προσαρμοστεί σε αυτά και να αναπτύσσονται τέτοια φαινόμενα. Έχει όμως αποδειχτεί ότι το σύνθετο φαινόμενο ENSO αφήνει ίχνη και στην ανώτερη ατμόσφαιρα, επηρεάζοντας τα συστήματα κυκλοφορίας και ειδικότερα τους αεροχειμάρρους. Στα μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη είναι μόνο ένας από τους πολλούς παράγοντες που επηρεάζουν το κλίμα. Όμως οι επιπτώσεις του «El- Nino» (ασυνήθιστα θερμά ωκεάνια ρεύματα) και του «La Nina» (ασυνήθιστα ψυχρά ωκεάνια ρεύματα) στα πλάτη αυτά φαίνονται εντονότερα κατά τη χειμερινή περίοδο.

Στην ηπειρωτική Αμερική κατά τα έτη του «El- Nino» οι θερμοκρασίες είναι ψηλότερες από τις κανονικές στη Βόρεια Αμερική και χαμηλότερες στη Νότια. Το αντίθετο συμβαίνει κατά τα έτη του «La Nina». Κατά τη διάρκεια

ενός ENSO μπορεί να παρατηρηθεί ξηρασία οπουδήποτε στον πλανήτη, σε διάφορες εποχές και με διάφορες εντάσεις, συνηθέστερα όμως αυτό συμβαίνει στην Αυστραλία, στη Νοτιοανατολική Ασία, στη Νότια Αμερική, στη Νότια Αφρική και στα Νησιά του Δυτικού Ειρηνικού. Πάντως η μεγαλύτερη επίδραση του ENSO συμβαίνει στα μικρά γεωγραφικά πλάτη και ειδικότερα στις τροπικές και υποτροπικές περιοχές. Μέχρι τώρα δεν έχει παρατηρηθεί κάποια ιδιαίτερη εκδήλωση του φαινομένου στα μέσα γεωγραφικά πλάτη. Οι περιοχές αυτές επηρεάζονται από άλλες παρόμοιες ωκεάνιες ταλαντώσεις, μικρότερης έντασης, όπως οι Ταλαντώσεις του Βορείου Ατλαντικού (<http://www.noaa.gov>).

Ταλαντώσεις του Βορείου Ατλαντικού (North Atlantic Oscillations- NAO) είναι το όνομα που οι επιστήμονες έχουν δώσει σε κλιματικές μεταβολές που κατά καιρούς παρατηρούνται στο Βόρειο Ατλαντικό Ωκεανό και ιδίως στην Ευρώπη και σε τμήματα της Βορείου Αμερικής (<http://www.noaa.gov>), επηρεάζοντας τα αλιευτικά αποθέματα του Βορείου Ατλαντικού. Τεχνικά, το NAO χαρακτηρίζεται από διακυμάνσεις πίεσης πάνω από την περιοχή που βρίσκεται πλησίον των Αζορών (Πορτογαλία) μέχρι την υποπολική περιοχή που βρίσκεται πλησίον της Ισλανδίας. Ανάλογα με την κατεύθυνση των μεταβολών της πίεσης ένα NAO θεωρείται ότι εκδηλώνεται είτε θετικά είτε αρνητικά. Κατά τη διάρκεια της θετικής φάσης του NAO, οι χειμώνες της Βόρειας Ευρώπης τείνουν να είναι πιο ζεστοί και πιο βροχεροί, ενώ οι μεσογειακές χώρες έχουν ξηρασία. Αντίθετα, αρνητική φάση του NAO σχετίζονται γενικά με έναν πιο κρύο χειμώνα σε όλη τη Βόρεια Ευρώπη και πιο βροχερό στις περιοχές της Μεσογείου.

Οι επιστήμονες δεν είναι ακόμα βέβαιοι για τον ακριβή μηχανισμό που προκαλεί την Ταλάντωση Βορείου Ατλαντικού (<http://www.noaa.gov>), ωστόσο γνωρίζουν ότι δεν είναι ένα καθαρά ατμοσφαιρικό φαινόμενο, αλλά αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης των ωκεανών και της ατμόσφαιρας. Τα τελευταία 30 χρόνια, η εμφάνιση των θετικών NAO φαίνεται να έχει αυξηθεί σημαντικά (βλέπε Εικ. 2-8). Το κατά πόσον η αύξηση αυτή είναι ένα φυσικό μέρος της λειτουργίας του κλίματος ή είναι αποτέλεσμα ανθρωπογενούς αιτίας αλλαγών στη χημική σύνθεση της ατμόσφαιρας (καταστροφή του όζοντος, αύξηση των επιπέδων του διοξειδίου του άνθρακα) είναι σήμερα ένα από τα μείζονα ζητήματα στο οποίο οι ερευνητές προσπαθούν να δώσουν απάντηση.



Εικόνα 2-8: συχνότητα εμφάνισης NAO από το 1860 και μετά. Η εικόνα είναι παρμένη από το διαδικτυακό ιστότοπο [www.physics4u.gr](http://www.physics4u.gr).

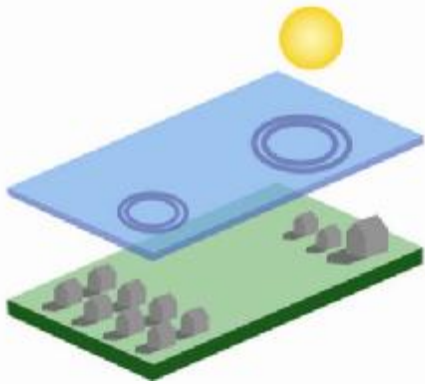
Πέρα από τα παραπάνω οι επιστήμονες τείνουν να πιστεύουν σήμερα πως ο ρόλος των ωκεάνιων ρευμάτων στην κλιματική αλλαγή περιλαμβάνει και άλλες παραμέτρους. Πιο συγκεκριμένα οι κλιματικές αλλαγές μπορούν να επηρεάσουν τα ρεύματα αυτά και αυτό να οδηγήσει σε μεταβολές του κλίματος με ρυθμούς δραματικά ταχύτερους από ότι αρχικά αναμενόταν (Cox, 2007). Ένα χαρακτηριστικό τέτοιο παράδειγμα είναι ο ρόλος του θαλάσσιου ρεύμα του Ατλαντικού (Thermohaline Current- THC).

Το THC είναι μια από τις βασικές μηχανές που κινούν το παγκόσμιο κλίμα (Cox, 2007). Πρόκειται ουσιαστικά για θαλάσσια ρεύματα ζεστού νερού με μεγάλη περιεκτικότητα σε αλάτι, τα οποία ξεκινούν από τον Ισημερινό, καταλήγουν στο βόρειο Ατλαντικό, και επιστρέφουν νοτιότερα, έχοντας μεταφέρει σημαντική θερμότητα και υγρασία σε περιοχές της Ευρώπης και της Βόρειας Αμερικής, καθιστώντας με αυτό τον τρόπο ηπιότερο το κλίμα των εν λόγω περιοχών. Σε περίπτωση μείωσης της ροής του THC (<http://www.NASA.gov>) θα επηρεασθούν όχι μόνον η Ευρώπη και η Βόρεια Αμερική, αλλά συνολικά το πλανητικό κλίμα, καθώς ο βόρειος Ατλαντικός είναι ουσιαστικά ένας παγκόσμιος κλιματικός ρυθμιστής. Αν το THC (ως αποτέλεσμα κλιματικών αλλαγών, ανθρωπογενούς ή όχι προέλευσης) παύσει να ρέει τα αποτελέσματα στο βόρειο ημισφαίριο μπορεί να είναι δριμύτεροι χειμώνες, μειωμένη εδαφική υγρασία, κατά πολύ δυνατώτερες καταιγίδες και εντονότεροι άνεμοι.

## **2.6 Η ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΗΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ**

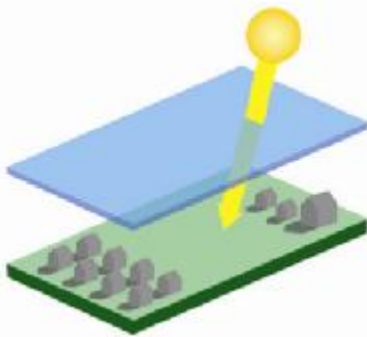
Τα τελευταία χρόνια οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες (βιομηχανίες, αυτοκίνητα κ.ά.) έχουν αυξήσει σημαντικά τις συγκεντρώσεις των αερίων των κατώτερων στρωμάτων της ατμόσφαιρας (αέρια θερμοκηπίου) με αποτέλεσμα την αύξηση της απορροφούμενης ακτινοβολίας και την επακόλουθη θερμοκρασιακή μεταβολή. Σύμφωνα με ορισμένους υπολογισμούς, η μέση θερμοκρασία της Γης έχει αυξηθεί κατά 0,5 με 0,6°C από το 1880, λόγω της έξαρσης του φαινομένου και μέχρι το έτος 2100, εάν δεν ληφθούν μέτρα, η αύξηση της θερμοκρασίας θα είναι από 1,5 έως 4,5°C (Fifor, 1992).

Τα αέρια του θερμοκηπίου είναι περίπου είκοσι (Fifor, 1992) και έχουν όγκο μικρότερο από 1% του συνολικού όγκου της ατμόσφαιρας. Τα σημαντικότερα είναι οι υδρατμοί (H<sub>2</sub>O), το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), το μεθάνιο (CH<sub>4</sub>), το υποξείδιο του αζώτου (N<sub>2</sub>O), οι χλωροφθοράνθρακες (CFCs) και το τροποσφαιρικό όζον (O<sub>3</sub>). Αυτά τα αέρια σχηματίζουν ένα φυσικό διαχωριστικό γύρω από τη Γη (Εικ 2-9).



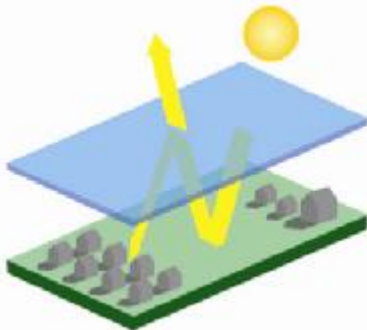
Εικόνα 2-9: τόπος δράσης των αερίων του θερμοκηπίου (I).

Η επιφάνεια της Γης θερμαίνεται από τον ήλιο (Σαχτούρη, 1989). Καθώς θερμαίνεται, ανακλά πίσω προς την ατμόσφαιρα θερμότητα (Εικ. 2-10).



Εικόνα 2-10: τόπος δράσης των αερίων του θερμοκηπίου (II).

Περίπου το 70% της ενέργειας του ήλιου επιστρέφει στο διάστημα. Αλλά κάποιο ποσό της υπέρυθρης ακτινοβολίας παγιδεύεται από τα αέρια του θερμοκηπίου, που θερμαίνουν ακόμη περισσότερο την ατμόσφαιρα.



Εικόνα 2-11: τόπος δράσης των αερίων του θερμοκηπίου (III).

Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, η Γη να διατηρείται θερμή και να εμφανίζεται το φαινόμενο της ζωής (Εικ. 2-11)- (Σαχτούρη, 1989). Την μεγαλύτερη συνεισφορά στο φαινόμενο του Θερμοκηπίου έχουν κατά σειρά οι υδρατμοί, το διοξείδιο του άνθρακος και τα νέφη, που δεν προέρχονται κατ' ανάγκη από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Συνεπώς το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι φυσικό φαινόμενο. Κάθε μεταβολή στις συγκεντρώσεις των αερίων του διαταράσσει το ενεργειακό ισοζύγιο, μπορεί επομένως να προκαλέσει μεταβολή της θερμοκρασίας και ως εκ τούτου κλιματικές αλλαγές.

Οι υδρατμοί, αν και απορροφούν το 65% της υπέρυθρης ακτινοβολίας, δεν φαίνεται να έχουν επηρεαστεί άμεσα από την ανθρώπινη δραστηριότητα (Σαχτούρη, 1989). Αντίθετα, οι συγκεντρώσεις των υπόλοιπων αερίων έχουν μεταβληθεί σημαντικά με σημαντικότερη τη μεταβολή του CO<sub>2</sub>, καθώς αποτελεί αέριο που διαφεύγει στην ατμόσφαιρα με την καύση του πετρελαίου, του κάρβουνου και άλλων ορυκτών καυσίμων. Η έντονη χρήση ορυκτών καυσίμων έχει οδηγήσει στην αύξηση του ποσού του CO<sub>2</sub> αλλά και άλλων αερίων όπως το μεθάνιο και οξείδια του αζώτου, που εκλύονται στην ατμόσφαιρα, καθώς και στην έκλυση νέων ιχνοστοιχείων, όπως οι χλωροφθοράνθρακες. Τέτοια αέρια όμως αυξάνουν την απορρόφηση της δευτερογενούς γήινης ακτινοβολίας, μειώνοντας την εκπομπή της προς το διάστημα. Με τον τρόπο αυτόν αυξάνει η διαθέσιμη ενέργεια στο πολύπλοκο σύστημα Γη- ατμόσφαιρα, απειλώντας να διαταράξει ευαίσθητες ισορροπίες και να οδηγήσει σε άνοδο της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας (Colbert, 2007) (Εικ. 2-12).



Εικόνα 2-12: Τόπος δράσης των αερίων του θερμοκηπίου (IV).

Δηλαδή οι ανθρώπινες δραστηριότητες, ενισχύουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου, δεν το προκαλούν. Η συσσώρευση κυρίως διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα πραγματοποιείται από την εποχή της Βιομηχανικής Επανάστασης τον 18<sup>ο</sup> αιώνα (Gribbin, 1992). Ο διάσημος Σουηδός χημικός Arrhenius και ο Αμερικανός γεωλόγος Thomas Chaberbain

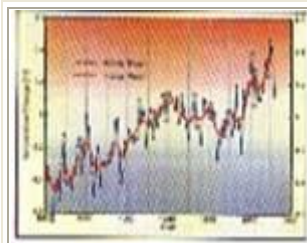
τον επόμενο αιώνα μάλιστα συνέδεσαν την αύξηση του διοξειδίου του άνθρακα με την θέρμανση του πλανήτη, θεωρώντας μάλιστα ότι αυτή θα μπορούσε να έχει ευεργετικές συνέπειες στη γεωργική παραγωγή των βορειότερων χωρών (Gribbin, 1992). Ωστόσο η ενίσχυση αυτή του φαινομένου του θερμοκηπίου σε συνδυασμό με άλλες καταστρεπτικές παρεμβάσεις του ανθρώπου στον πλανήτη που τον φιλοξενεί, συνιστά κίνδυνο ανατροπής της φυσικής οικολογικής ισορροπίας με ποικίλες συνέπειες, κάποιες από τις οποίες είναι ήδη είναι ορατές για πολλούς επιστήμονες.

Οι παράγοντες που ενισχύουν το φαινόμενο είναι οι πυρκαγιές των δασών, τα καυσαέρια των οχημάτων και των βιομηχανιών και η αλόγιστη καύση ορυκτών καυσίμων πετρελαίου και άνθρακα στις βιομηχανικές χώρες που συσσωρεύουν κυρίως διοξείδιο του άνθρακος στην ατμόσφαιρα (Colbert, 2007). 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 1998 (Πίνακας 2-3). Τα τρία τέταρτα της ανθρωπογενούς παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα, οφείλονται σε χρήση ορυκτών καυσίμων, ενώ το υπόλοιπο μέρος προέρχεται από αλλαγές που συντελούνται στο έδαφος, κυρίως μέσω της αποδάσωσης.

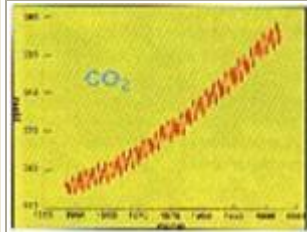
Πίνακας 2-3: Αέρια θερμοκηπίου με τη μεγαλύτερη αύξηση συγκέντρωσης σύμφωνα με τη διακυβερνητική επιτροπή για τις κλιματικές αλλαγές (I.P.C.C.). Ο πίνακας είναι παρμένος από το διαδικτυακό ιστότοπο [www.physics4u.gr](http://www.physics4u.gr).

<b>Αέριο</b>	<b>Επίπεδα 1998</b>	<b>Αύξηση από το 1750</b>	<b>Ποσοστό αύξησης</b>
<b>Διοξείδιο του άνθρακα</b>	365 ppm	87 ppm	31%
<b>Μεθάνιο</b>	1,745 ppb	1,045 ppb	150%
<b>Οξείδιο του Αζώτου</b>	314 ppb	44 ppb	16%

Όλα αυτά συμβάλλουν στην εκδήλωση του γνωστού ως «πρόβλημα Παγκόσμιας Θέρμανσης». Πολλοί επιστήμονες πιστεύουν ότι μέχρι το τέλος του αιώνα η θερμοκρασία του πλανήτη μπορεί ν' αυξηθεί κατά 1-4 °C εξ αιτίας των ανθρωπογενών ρύπων. Ήδη μάλιστα κάποιοι υποστηρίζουν ότι η μέση θερμοκρασία της επιφάνειας της Γης έχει αυξηθεί κατά 0.3 έως 0.8 °C κατά τα τελευταία 100 χρόνια (Colbert, 2007) (Εικ. 2-13).



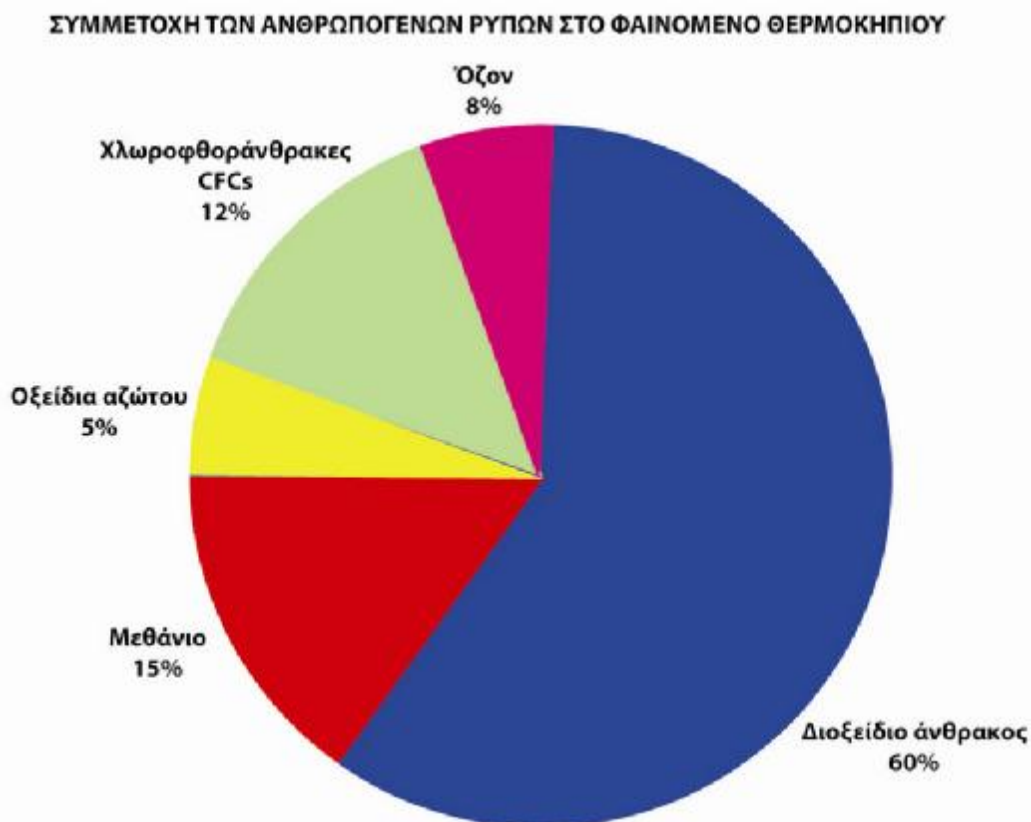
Στο σχήμα φαίνεται η αύξηση τής θερμοκρασίας τού αέρα σε παγκόσμια κλίμακα. Προκύπτει αύξηση τής τάξης τού 0.8 °C κατά την διάρκεια τού περασμένου αιώνα.



Στο διπλανό σχήμα φαίνεται η αύξηση τής συγκέντρωσης τού διοξειδίου τού άνθρακα από το 1958 κυρίως λόγω των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων.

Εικόνα 2-13: εξέλιξη της μέσης παγκόσμιας ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας και της ατμοσφαιρικής συγκέντρωσης του CO<sub>2</sub>. Η εικόνα είναι παρμένη από τό διαδικτυακό ιστότοπο [www.physics4u.gr](http://www.physics4u.gr).

Στο παρακάτω διάγραμμα (Εικ. 2-14) φαίνεται η συμμετοχή των ρύπων με ανθρωπογενή προέλευση στην ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου, για την οποία θα γίνει εκτενέστερα λόγος στο επόμενο κεφάλαιο. Επιπλέον στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 2-4) δίνεται μια σύντομη ιστορία των γνώσεών μας για τις κλιματικές αλλαγές τους τελευταίους δυο αιώνες.



Εικόνα 2-14: συμμετοχή των ανθρωπογενών ρύπων στην ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Πίνακας 2-4: Χρονολογικός πίνακας της ιστορίας της ανθρώπινης γνώσης για το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Ο πίνακας είναι παρμένος από το διαδικτυακό ιστότοπο [www.physics4u.gr](http://www.physics4u.gr).

#### Χρονολογικά γεγονότα του φαινομένου θερμοκηπίου

**1824** - Ο Γάλλος μαθηματικός Joseph Fourier θέτει το θέμα του ρόλου που παίζει η ατμόσφαιρα της Γης στη θερμοκρασία του πλανήτη, καθώς και της επιπτώσεις της βιομηχανίας στο κλίμα.

**1896** - Ο Σουηδός χημικός Svante Arrhenius υποστηρίζει ότι η θερμοκρασία του εδάφους επηρεάζεται από τα αέρια που συγκρατούν τη θερμότητα.

**1941** - Ο Σέρβος αστρονόμος και αστροφυσικός Milutin Milankovitch υποστηρίζει ότι η μεταβολή της τροχιάς της Γης, μας φέρνει κάθε 40.000 χρόνια την εποχή των παγετώνων.

**1957** - Ο Charles David Keeling μετράει την συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, από ένα παρατηρητήριο στη Χαβάη. Σε περίοδο έξι ετών, φαίνεται καθαρά η αύξηση της συγκέντρωσης του ποσοστού του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα.

**1980** - Ο Σουηδός Bert Bolin διαπιστώνει πως η θερμοκρασία της Γης αυξάνεται εδώ και ένα αιώνα.

**1988** - Ο Ο.Η.Ε. και ο Παγκόσμιος Οργανισμός Μετεωρολογίας συστήνουν την Διακυβερνητική Ομάδα Ειδικών για την εξέλιξη του κλίματος (IPCC).

**1992** - Στη σύνοδο του Ρίο 167 κράτη υπογράφουν τη μη δεσμευτική συνθήκη-πλαίσιο για τις κλιματικές αλλαγές.

**1997** - Στο Κιότο της Ιαπωνίας 38 βιομηχανικές χώρες δεσμεύονται να μειώσουν ως το 2010 τις εκπομπές αερίων που ενισχύουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου κατά 5.2% (μέσος όρος) σε σχέση με το 1990. Το πρωτόκολλο αυτό δεν έχει επικυρωθεί.

**2001** - Στη Βόννη της Γερμανίας, γίνεται το πρώτο βήμα για την επικύρωση του πρωτοκόλλου του Κιότο, χωρίς τη συμμετοχή των Η.Π.Α., αλλά με την συμμετοχή της Ιαπωνίας, Ρωσίας, των χωρών της Ε.Ε., συνολικά 178 χώρες.

## 2.7 Η ΤΡΥΠΑ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ



Όπως αναφέρθηκε στη στρατόσφαιρα υπάρχει το προστατευτικό στρώμα του όζοντος ( $O_3$ ) ή οζονόσφαιρα, το οποίο απορροφά τα μικρά μήκη κύματος της ηλιακής ακτινοβολίας (π.χ. υπεριώδεις ακτινοβολίες UV- A και UV- B) και είναι υπεύθυνο για το μέγιστο της θερμοκρασίας που παρατηρείται στη στρατόσφαιρα (διαχωριστικό στρώμα στρατόσφαιρας και μεσόσφαιρας) (Βαρώτσος, 2001). Η μέγιστη συγκέντρωση του όζοντος συναντάται φυσιολογικά μεταξύ 20 και 30 km. Είναι γνωστή στους περισσότερους ανθρώπους η ελάττωση του στρώματος του όζοντος από την ανεξέλεγκτη απελευθέρωση στην ατμόσφαιρα της Γης οργανοχλωριωμένων και οργανοβρωμιωμένων χημικών ενώσεων με μεγάλο χρόνο ζωής, όπως οι χλωροφθοράνθρακες (CFC's), οι οποίοι χρησιμοποιούνται ως ψυκτικά υγρά (freons), ως προωθητικά αέρια, ως διαλυτικά και ως συστατικά ορισμένων χρωμάτων. Μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος μπορεί να προέλθει επίσης από τα οξειδία του αζώτου που απελευθερώνονται κατά τις πτήσεις αεροσκαφών ψηλότερα ή κοντά στην τροπόσφαιρα, αλλά και από αερολύματα πλούσια σε οξειδία του αζώτου, υδρόθειο και αλογόνα που παράγονται κατά τις ηφαιστειακές εκρήξεις.

Εκείνο που δεν είναι ευρέως γνωστό είναι η σχέση ανάμεσα στην ελάττωση του προστατευτικού στρώματος του όζοντος και στις κλιματικές αλλαγές. Τόσο το όζον όσο και οι αλογονάνθρακες που το καταστρέφουν συγκαταλέγονται μεταξύ των αερίων του θερμοκηπίου. Όπως το διοξείδιο του άνθρακα, κατακρατούν ένα μέρος της δευτερογενούς ακτινοβολίας της Γης, βοηθώντας έτσι τη θέρμανση της κατώτερης ατμόσφαιρας. Παρόλα αυτά ούτε το όζον ούτε οι μεταβολές του διαταράσσονται ολικά. Έτσι η ενίσχυση της ακτινοβολίας είναι πιο περίπλοκη από εκείνη που προκαλούν άλλα βασικά αέρια του θερμοκηπίου, τα οποία έχουν μεγάλο χρόνο ζωής επιτρέποντας ακόμα και την ανάμειξή τους με άλλα συστατικά της τροπόσφαιρας. Γενικά η προσθήκη όζοντος στην τροπόσφαιρα, ως καυσαέριο μηχανών εσωτερικής καύσης, προκαλεί θέρμανση, ενώ η ελάττωση του στρατοσφαιρικού όζοντος προκαλεί ψύξη.

Μια ακριβής εκτίμηση της επίδρασης της ακτινοβολίας λόγω μεταβολών του όζοντος περιορίζεται από την έλλειψη λεπτομερών πληροφοριών σχετικά με τη διακύμανση της κατακόρυφης κατανομής του όζοντος με το γεωγραφικό μήκος και πλάτος. Παρόλα αυτά οι πρόσφατοι υπολογισμοί ενισχύουν παλαιότερα (Βαρώτσος, 2001) συμπεράσματα, δηλαδή ότι η μείωση της στιβάδας του όζοντος σε προηγούμενες δεκαετίες έχει ως αποτέλεσμα μια αρνητική ενίσχυση του ισοζυγίου της ακτινοβολίας (συνεπώς ψυχρότερο κλίμα) κατά 15- 20% της θετικής ενίσχυσης του φαινομένου του θερμοκηπίου λόγω των αυξημένων υπόλοιπων αερίων (Βαρώτσος, 2001). Η αύξηση όμως του τροποσφαιρικού όζοντος από τις ανθρώπινες δραστηριότητες δύναται να ενισχύσει την ολική ένταση του φαινομένου του θερμοκηπίου κατά 20% (Βαρώτσος, 2001). Θα μπορούσε κάποιος ίσως επιπρόλαια να ισχυριστεί ότι οι παραπάνω επιδράσεις αλληλοαναιρούνται. Δυστυχώς όμως δεν αφορούν το ίδιο στρώμα της ατμόσφαιρας, αφού η ψύξη αφορά τη στρατόσφαιρα και η θέρμανση την κατώτερη τροπόσφαιρα. Μπορούν να προκληθούν έτσι

σημαντικές αλλαγές στη θερμική δομή της ατμόσφαιρας (ψύξη στρατόσφαιρας και θέρμανση τροπόσφαιρας), επηρεάζοντας την ατμοσφαιρική κυκλοφορία (ενίσχυση ή εξασθένηση των κυττάρων ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας- βλέπε κεφάλαιο 1) και προκαλώντας απρόβλεπτες μέχρι τώρα μεταβολές στο κλίμα της Γης.

Επιπλέον αύξηση της βλαβερής υπεριώδους ακτινοβολίας UV- B που φτάνει στη Γη θα έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερους βαθμούς φωτοδιάσπασης των αερίων που ελέγχουν τις φυσικοχημικές διεργασίες στην τροπόσφαιρα, ενώ μεγάλο μέρος από το θαλάσσιο φυτοπλαγκτόν (μικροσκοπικοί δηλαδή θαλάσσιοι φυτικοί οργανισμοί αόρατοι με γυμνό μάτι) αλλά και άλλοι φυτικοί οργανισμοί θα απειληθούν με αφανισμό. Αυτοί όμως αποτελούν μια από τις βασικές «καταβόθρες» του διοξειδίου του άνθρακα και η ελάττωσή τους θα μπορούσε να επηρεάσει τη συγκέντρωσή του, άρα και το κλίμα της Γης (Gribbin, 1992). Ορισμένες από τις συνέπειες των παραπάνω επιπτώσεων μπορούν να είναι εξαιρετικά ευρείας κλίμακας, αν και δεν έχουν μελετηθεί ακόμα επαρκώς.

## 2.8 ΟΙ ΘΕΡΜΕΣ ΝΗΣΙΔΕΣ ΣΤΟ ΑΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Είναι γνωστό πως οι μεγαλουπόλεις είναι θερμότερες από την ύπαιθρο που τις περιβάλλει και μάλιστα αυτή η τάση γίνεται εντονότερη στις περιοχές των κέντρων τους. Συστηματικές επιστημονικές παρατηρήσεις στο χώρο του Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης (αστική περιοχή) και στο κοντινό αεροδρόμιο της Μίκρας (μη αστική περιοχή) έδειξαν πως κατά τη δεκαετία 1966- 1975 η θερμοκρασιακή διαφορά τους ανερχόταν στους  $0,75^{\circ}\text{C}$  ενώ κατά τους χειμερινούς μήνες μπορούσε να φτάσει και τους  $1,5^{\circ}\text{C}$  (Γεωργόπουλος, 1996). Στην περιοχή του λεκανοπεδίου Αττικής η αντίστοιχη θερμοκρασιακή διαφορά φτάνει τους  $3^{\circ}\text{C}$  (Γεωργόπουλος, 1996). Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό με τον όρο «θερμή αστική νησίδα» (Γεωργόπουλος, 1996).

Οι κυριότεροι λόγοι (Γεωργόπουλος, 1996) για τις παρατηρούμενες θερμοκρασιακές διαφορές είναι η παραγωγή θερμότητας με διάφορους τρόπους στο αστικό περιβάλλον, για οικιακή, βιομηχανική και εμπορική χρήση αλλά και τα αιωρούμενα μικροσωματίδια του αστικού νέφους, τα οποία παρουσιάζουν την τάση να απορροφούν τη δευτερογενή υπέρυθρη ακτινοβολία που εκπέμπει η Γη μετά τη θέρμανσή της από τον Ήλιο. Το πρόβλημα εντείνεται από την αυξημένη ειδική θερμοχωρητικότητα των δομικών υλικών (π.χ. τσιμέντο, στέγες και άσφαλτος), τα οποία λειτουργούν σαν αποθήκες θερμότητας, κάνοντας τη ζέστη κατά τους θερινούς μήνες αφόρητη.

Η θερμή αστική νησίδα σε συνδυασμό με την έλλειψη περιαστικών δασών, την ύπαρξη ρυπογόνων βιομηχανιών στις παρυφές των πόλεων και τη σε αρκετές περιπτώσεις κλειστή τοπογραφία της ευρύτερης περιοχής (π.χ. λεκανοπέδιο Αττικής- βλέπε Εικ. 2-15) συντελεί στην έντονη ρύπανση των πόλεων με τα παραπάνω χαρακτηριστικά (Γεωργόπουλος, 1996). Ο μηχανισμός που προκαλεί τα παραπάνω είναι ο εξής: λόγω του φαινομένου της θερμής αστικής νησίδας οι θερμές μάζες αέρα ανέρχονται στα κέντρα των πόλεων και τη θέση τους καταλαμβάνουν αέριες μάζες από τα περίχωρα, μεταφέροντας συγχρόνως και ρύπους, με συνέπεια τη διαρκή υποβάθμιση της ατμόσφαιρας στις περιοχές αυτές.

Με το φαινόμενο της θερμής νησίδας συνδέονται και αρκετές αλλαγές στο μικροκλίμα των μεγαλουπόλεων, όπως (Γεωργόπουλος, 1996):

- Μείωση της ταχύτητας των τοπικών ανέμων λόγω παρεμπόδισής τους από ψηλές ανθρώπινες κατασκευές.
- Ελαφρά αύξηση των βροχοπτώσεων (κατά 10% περίπου) και των νεφών λόγω της ύπαρξης πολλών αιωρούμενων σωματιδίων, τα οποία δρουν σαν πυρήνες συμπύκνωσης των υδρατμών.
- Μείωση της σχετικής υγρασίας κατά 6% περίπου εξαιτίας της αδυναμίας των δομικών υλικών να τη συγκρατήσουν.

- Μείωση του ποσοστού ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στο έδαφος ως αποτέλεσμα της αυξημένης συγκέντρωσης αιωρούμενων μικροσωματιδίων.

Κυρίως όμως πρέπει να έχουμε υπόψη μας ότι λόγω γειννίασης πολλών μετεωρολογικών σταθμών και αστεροσκοπείων με μεγάλα αστικά κέντρα το παραπάνω φαινόμενο υπεισερχόταν στις μετεωρολογικές και κλιματικές παρατηρήσεις για δεκαετίες χωρίς να γίνεται κατανοητός ο ρόλος του, τουλάχιστον ως τα τέλη της δεκαετίας του 1990. Έτσι οι ερευνητές οδηγούνταν σε συμπεράσματα και προβλέψεις για την επίδραση του ανθρώπου στην κλιματική αλλαγή τα οποία δεν επαληθεύονταν (Fifor, 1989).



Εικόνα 2-15: Θερμή αστική νησίδα- η Αθήνα το καλοκαίρι. Η εικόνα είναι παρμένη από το διαδικτυακό ιστότοπο [www.physics4u.gr](http://www.physics4u.gr).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: οι πιθανές συνέπειες της κλιματικής αλλαγής βάσει μοντέλων.

### 3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Η ποσότητα του διοξειδίου του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) έχει αυξηθεί κατά 30% τα τελευταία 200 χρόνια, λόγω αλλαγών στη χρήση της γης και στην αποψίλωση (δασών), την καύση ορυκτών καυσίμων σε ποικίλες ανθρώπινες δραστηριότητες, π.χ. στη βιομηχανία και στις μεταφορές. Η συγκέντρωσή του στην ατμόσφαιρα ήταν 280 μέρη ανά εκατομμύριο (ppm) πριν από τη βιομηχανική επανάσταση, ενώ σήμερα έχει ανέλθει στα 379 μέρη ανά εκατομμύριο (ppm) σύμφωνα με δημοσιευμένες μετρήσεις συγκεντρώσεων  $\text{CO}_2$  από το Παρατηρητήριο του Mauna Loa στη Χαβάι (<http://el.wikipedia.org>).

. Στη συνέχεια περιγράφονται πιθανές προβλέψεις για την πορεία των αερίων του θερμοκηπίου και των συνεπειών τους στο γήινο κλίμα και, κατ' επέκταση, στην ανθρώπινη ζωή, οικονομία και κοινωνία.

Σύμφωνα με όσα συζητήθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο το διοξείδιο του άνθρακα δεν είναι το μοναδικό αέριο που συνδέεται με το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Σημαντικό ρόλο σε αυτό μπορούν να παίξουν το μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ), τα οξειδία του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ) και οι χλωροφθοράνθρακες ( $\text{CFC}_s$ ). Επειδή όμως αποτελεί, μαζί με τους υδρατμούς, το αφθονότερο και σημαντικότερο από αυτά τα αέρια, αλλά και το πρώτο που μελετήθηκε συστηματικά από την εποχή ήδη του Σουηδού χημικού Svante Arrhenius, έχει αποτελέσει το επίκεντρο του ενδιαφέροντος και οι προβλέψεις οι σχετικές με την ένταση της επικείμενης παγκόσμιας υπερθέρμανσης γίνονται συχνά λαμβάνοντας υπόψη το «ισοδύναμο του διοξειδίου του άνθρακα», δηλαδή το πόσο διοξείδιο του άνθρακα προκαλεί ισόποση θέρμανση με αυτή μιας δοσμένης ποσότητας ενός άλλου θερμοκηπικού αερίου. Η παραπάνω προσέγγιση είναι αρκετά απλουστευτική, πλην όμως σε πολλές περιπτώσεις δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα (Gribbin, 1992).

Ο μόνος τρόπος για να προβλέψουμε πόσο διοξείδιο του άνθρακα θα απελευθερωθεί στην ατμόσφαιρα στα χρόνια που θα έρθουν είναι να υπολογίσουμε την ετήσια παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας καθώς και το ποσοστό αυτής που θα προέλθει από τους γαϊάνθρακες, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Αυτό όμως είναι πρακτικά αδύνατο, αφού η πρόβλεψη των ενεργειακών αναγκών προϋποθέτει ακριβή πρόβλεψη της οικονομικής ανάπτυξης και κατανόηση των πολύπλοκων σχέσεων μεταξύ αυτής και των βασικών ενεργειακών απαιτήσεων. Κανείς δε φαίνεται να μπορεί να κάνει αξιόπιστες προβλέψεις με ορίζοντα δεκαετίας- πόσο μάλλον για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα. Δεν ξέρουμε για παράδειγμα αν οι νέες τεχνολογικές εξελίξεις θα μεταβάλλουν τις ενεργειακές απαιτήσεις, πώς η εύθραυστη γεωπολιτική κατάσταση στη Μέση Ανατολή και αλλού θα επηρεάσει την τιμή

του πετρελαίου και του φυσικού αερίου, αν η ανακάλυψη νέων τεράστιων κοιτασμάτων γαιάνθρακα στην Αφρική ή στην Κίνα θα κάνουν την ενέργεια φθηνότερη ή αν η αυξανόμενη συνειδητοποίηση της σημασίας του φαινομένου του θερμοκηπίου οδηγήσει τις κυβερνήσεις παγκοσμίως στον περιορισμό της χρήσης ορυκτών καυσίμων.

Οι περισσότεροι ερευνητές που προσπαθούν να υπολογίσουν μεταβολές στη συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα προκειμένου να κάνουν κλιματικές προβλέψεις, προτιμούν να χρησιμοποιούν τη λέξη «σενάριο» (Gribbin, 1992). Ένα σενάριο δεν είναι η πρόβλεψη του πώς θα είναι ο κόσμος μας σε είκοσι, τριάντα ή πενήντα χρόνια αλλά μια εικόνα του πώς μπορεί να εξελιχθούν τα πράγματα στο μέλλον αν πραγματοποιηθούν συγκεκριμένες επιλογές στο παρόν. Τα πλέον χρήσιμα σενάρια δεν είναι αυτοεκπληρούμενα αλλά αυτοαναιρούμενα. Για παράδειγμα, αν ένα σενάριο προβλέπει ότι η συνεχιζόμενη ανεξέλεγκτη χρήση ορυκτών καυσίμων επιδεινώσει τόσο πολύ το κλίμα της Γης ώστε η ζωή σε αυτήν να καταλήξει ανυπόφορη, τότε είναι σχεδόν βέβαιο ότι θα ληφθούν μέτρα για τον περιορισμό αυτών των πηγών ενέργειας και ο κόσμος δε θα καταλήξει να συμπίσει με τις προβλέψεις του σεναρίου. Αυτό όμως δεν καθιστά το σενάριο ούτε εσφαλμένο ούτε λιγότερο χρήσιμο. Στην πραγματικότητα, σχεδόν όλα όσα θα ακολουθήσουν στο κεφάλαιο αυτό και στο επόμενο αποτελούν σενάρια, με τη σημασία που δώσαμε παραπάνω στον όρο.

Κανείς δεν μπορεί να προβλέψει με ακρίβεια πόσο ορυκτό καύσιμο θα καεί από σήμερα μέχρι λόγου χάρη το τέλος του εικοστού πρώτου αιώνα. Ο παγκόσμιος πληθυσμός αυξάνει ακόμα, έστω και με μειούμενο ρυθμό. Σύμφωνα με τις προβλέψεις του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών (Ο.Η.Ε.), τις οποίες οι περισσότεροι ερευνητές αποδέχονται σαν αξιόπιστες, μέχρι το 2100 θα υπάρχουν στη Γη  $10^{10}$  άνθρωποι (Gribbin, 1992). Παράλληλα οι λιγότερο αναπτυγμένες χώρες του κόσμου πασχίζουν να μιμηθούν τις πλουσιότερες, επιδιώκοντας την εκβιομηχάνιση και τη διαρκή βελτίωση του βιοτικού τους επιπέδου, πράγμα το οποίο απαιτεί μεγαλύτερη ενεργειακή κατανάλωση. Είναι λοιπόν δυνατό, αν και όχι ιδιαίτερα πιθανό, οι αναπτυγμένες χώρες να εξοικονομήσουν ενέργεια μειώνοντας λίγο το βιοτικό τους επίπεδο, ενώ οι φτωχότερες χώρες να εξελιχθούν και όλος ο κόσμος να φτάσει σε ένα ικανοποιητικό βιοτικό επίπεδο, όπως π.χ. αυτό που είχαν η Μεγάλη Βρετανία και η Γαλλία γύρω στα 1960. Στην περίπτωση αυτή, και με την προϋπόθεση ότι τα αναγκαία για αυτή τη σύγκλιση βήματα πραγματοποιηθούν αμέσως, ο κόσμος σαν σύνολο μπορεί το 2050 να μην καταναλώνει περισσότερα καύσιμα από όσα καταλάωνε το 1990. Η συγκεκριμένη πιθανότητα αποτελεί το- σχετικά απίθανο- «σενάριο χαμηλής ενέργειας» (Gribbin, 1992).

Ακόμα δυσκολότερος είναι όμως ο προσδιορισμός των ανώτερων δυνατών ορίων στα διάφορα ενεργειακά σενάρια. Η καλύτερη και η λιγότερο δυσνόητη μελέτη για τις προοπτικές του φαινομένου του θερμοκηπίου περιέχεται σε έναν ογκώδη τόμο που δημοσιεύτηκε από την Επιστημονική Επιτροπή για τα Προβλήματα του Περιβάλλοντος σαν η 29<sup>η</sup> σε μια σειρά μελετών σχετικών με τις ανθρωπογενείς περιβαλλοντικές μεταβολές. Η μελέτη αυτή, γνωστή και σαν SCOPE 29 (Gribbin, 1992), πραγματοποιήθηκε με τη συνεργασία των Ηνωμένων Εθνών, του Παγκόσμιου Μετεωρολογικού Οργανισμού και του Διεθνούς Συμβουλίου Επιστημονικών Ενώσεων. Εκεί,

λαμβάνοντας υπόψην όλες τις αβεβαιότητες και τα στοιχεία περισσότερων από δώδεκα ανεξάρτητων σεναρίων που είχαν ήδη επεξεργαστεί άλλοι ερευνητές, συμπέραναν ότι η αύξηση στη χρήση ορυκτών καυσίμων με ρυθμό 2,3% μέχρι το 2050 αντιστοιχεί στο ανώτατο όριο. Το σενάριο είναι τόσο ανέφικτο όσο και εκείνο της μηδενικής αύξησης των παγκόσμιων ενεργειακών αναγκών. Σύμφωνα όμως με αυτό κατά τη δεκαετία 2050- 2060 θα προστίθενται στη γήινη ατμόσφαιρα είκοσι δισεκατομμύρια τόννοι άνθρακα με τη μορφή διοξειδίου του άνθρακα, σε σύγκριση με τα περίπου 5,3 δισεκατομμύρια τόννους τα οποία απελευθερώνονται κάθε χρόνο σήμερα (Gribbin, 1992). Πώς μπορούμε να με τα παραπάνω στοιχεία να κάνουμε πιο ρεαλιστικές προβλέψεις για τις τάσεις που θα επικρατήσουν στο μέλλον αναφορικά με το διοξείδιο του άνθρακα;

Είναι πιθανό ότι η αύξηση στην κατανάλωση ενέργειας θα μπορούσε να επανέλθει στα υψηλά επίπεδα των δεκαετιών του 1960 και του 1970, με την προϋπόθεση ότι υπάρχουν στον κόσμο αρκετά ορυκτά καύσιμα σε προσπελάσιμες περιοχές. Τέτοια σενάρια θεωρούνται πλέον απίθανα γιατί σχετίζονται όχι μόνο με τη στάση της ανθρωπότητας αλλά και με φυσικούς περιορισμούς. Παρόλο που τα προσπελάσιμα αποθέματα πετρελαίου και φυσικού αερίου είναι απίθανο να φτάσουν μέχρι τα μέσα του 21<sup>ου</sup> αιώνα αν δε μειωθεί η χρήση τους σαν καύσιμες ύλες, υπάρχει ήδη πολύς γαιάνθρακας μέσα σε χρήσιμα κοιτάσματα που θα επαρκούσε για να ικανοποιήσει μια ετήσια αύξηση της τάξης του 5% της ενεργειακής κατανάλωσης μέχρι το τέλος του αιώνα μας. Επίσης, ο άνθρακας που υπάρχει στα γνωστά εκμεταλλεύσιμα κοιτάσματα είναι δεκαπλάσιος από αυτόν που ήδη υπάρχει στην ατμόσφαιρα ως διοξείδιο του άνθρακα. Επιπλέον, οι περιοχές όπου υπάρχουν τέτοια κοιτάσματα αντιπροσωπεύουν μόνο ένα μικρό τμήμα του στερεού φλοιού της Γης. Σε πολλά μέρη του κόσμου, όπως για παράδειγμα στην Αφρική και στη Σιβηρία δεν έχουν γίνει εκτεταμένες έρευνες για ανθρακοφόρα κοιτάσματα απλώς γιατί μέχρι τώρα δεν υπήρχε άμεση ανάγκη (Gribbin, 1992).

Με βάση τα παραπάνω και όλα σχεδόν τα διαθέσιμα στοιχεία μπορούμε να συμπεράνουμε ότι οι εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα θα συνεχίσουν να αυξάνονται στο άμεσο μέλλον. Μάλλον όμως δε θα παρατηρηθούν οι υψηλότεροι δυνατοί ρυθμοί αύξησης γιατί ορισμένες χώρες, όπως εκείνες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, αρχίζουν να θεωρούν την παγκόσμια κλιματική αλλαγή απειλή για τις ίδιες και προσαρμόζουν την πολιτική τους προς την κατεύθυνση της μείωσης ή τουλάχιστον της συγκράτησης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Υπάρχουν όμως και αναπτυσσόμενες χώρες, όπως η Ινδία και η Κίνα, οι οποίες προσπαθούν να βελτιώσουν το βιοτικό επίπεδο του διαρκώς αυξανόμενου πληθυσμού τους και δύσκολα θα πετύχουν μείωση των εκπομπών τους. Επιπλέον, μερικά κράτη θεωρούν ωφέλιμες τις επιπτώσεις της ενίσχυσης του φαινομένου του θερμοκηπίου και δεν επιθυμούν να τις περιορίσουν, παρά τις βλάβες που αυτές μπορεί να προκαλέσουν σε άλλες χώρες. Αν όμως δεν υπάρξει παγκόσμια συνεργασία για την αντιμετώπιση του προβλήματος οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα θα συνεχίσουν να αυξάνονται με τους σημερινούς περίπου ρυθμούς, οδηγώντας στο διπλασιασμό τους σε σχέση με τα προβιομηχανικά επίπεδα μέχρι το τέλος του 21ου αιώνα (Gribbin, 1992).

Ίσως ένας απλούστερος τρόπος μελέτης του προβλήματος του διοξειδίου του άνθρακα είναι να εξετάσουμε τις επόμενες δεκαετίες από τη σκοπιά των συνολικών εκπομπών μάλλον παρά από τη σκοπιά του ρυθμού πιθανής ετήσιας αύξησης των εκπομπών. Αν για παράδειγμα τα επόμενα εκατό χρόνια καίγονταν τα μισά από τα διαθέσιμα αποθέματα ορυκτών καυσίμων που είναι σήμερα γνωστά η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα θα ξεπερνούσε τα 1000 ppm. Από την άλλη πλευρά, αν η κατανάλωση ορυκτών καυσίμων απλά διπλασιαστεί στα επόμενα εκατό χρόνια, η συγκέντρωση του αερίου αυτού θα φτάσει τα 600 ppm, λίγο πάνω από το διπλάσιο της προβιομηχανικής συγκέντρωσης (280 ppm) (Gribbin, 1992). Οι αριθμοί αυτοί δεν αποτελούν οδηγό, ανεξάρτητα με το πόσο ακριβείς είναι σχετικά με την ετήσια αύξηση της συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα στη διάρκεια της ζωής μας. Ο λόγος είναι ότι η συνολική συγκέντρωση του κύριου αερίου του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα δεν καθορίζονται μόνο από το πόσο απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα κάθε χρόνο αλλά και από το ποσοστό που μπορούν να κατακρατήσουν οι ωκεανοί (με τους μηχανισμούς που περιγράψαμε στο κεφάλαιο 2). Το πρόβλημα είναι ότι οι επιστημονικοί υπολογισμοί δείχνουν πως οι ωκεανοί γίνονται λιγότερο αποτελεσματικές αντλίες διοξειδίου του άνθρακα όσο η συγκέντρωση του τελευταίου στην ατμόσφαιρα αυξάνει (Gribbin, 1992).

Στο σημείο αυτό δε θα πρέπει να ξεχνάμε ότι εκτός από το διοξείδιο του άνθρακα και τους υδρατμούς υπάρχουν και τρία άλλα «φυσικά» αέρια του θερμοκηπίου που συσσωρεύονται εξαιτίας της ανθρώπινης δραστηριότητας, το μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ), το υποξείδιο του αζώτου ( $\text{N}_2\text{O}$ ) και το τροποσφαιρικό όζον ( $\text{O}_3$ ), καθώς και μια οικογένεια αερίων που επίσης παγιδεύουν θερμότητα στη γήινη ατμόσφαιρα και παράγονται από τις χημικές βιομηχανίες, οι χλωροφθοράνθρακες ( $\text{CFC}_s$ ) (Βαρώτσος, 2001). Από αυτά σίγουρα πιο εύκολα κατανοητός είναι ο ρόλος του μεθανίου. Πρόκειται για τον πιο κοινό υδρογονάνθρακα στη γήινη ατμόσφαιρα και είναι απόβλητο της βιολογικής δραστηριότητας ορισμένων ειδών βακτηρίων που αποικοδομούν νεκρούς οργανισμούς. Πολλά από αυτά ζουν στα έλη και εκλύουν το προαναφερθέν αέριο με τη μορφή φυσαλίδων (αέριο των βάλτων). Άλλα πάλι τέτοια βακτήρια ζουν στα σπλάχνα κάποιων ζώων, συνήθως μηρυκαστικών, και συμβάλλουν στη διάσπαση της τροφής σε ενώσεις οι οποίες μπορούν να χωνευτούν. Οι αποικίες τερμιτών συνιστούν επίσης πλούσιες πηγές μεθανίου. Όπως και το διοξείδιο του άνθρακα έτσι και το μεθάνιο βρίσκεται παγιδευμένο σε φυσαλίδες αέρα μέσα στα μεγάλα πολικά παγοκαλύμματα της Γροιλανδίας και της Ανταρκτικής. Η ενδελεχής μελέτη τους έδειξε (Cox, 2007) ότι η συγκέντρωση του στον αέρα παρέμενε περίπου 0,7 ppm από τους πρώτους αιώνες της τρέχουσας μεσοπαγετωνικής περιόδου, η οποία άρχισε πριν από 10.000 χρόνια.

Η παρουσία όμως αυξημένων ποσοτήτων μεθανίου στην τροπόσφαιρα παρατηρήθηκε μετά το 1940, με τη βοήθεια φασματοσκοπικών μεθόδων και μόλις το 1960 έγιναν εφικτές ακριβείς μετρήσεις της συγκέντρωσής του στον αέρα. Από τότε παρατηρείται ρυθμός ετήσιας αύξησης της τάξης των 17 μερών ανά δισεκατομμύριο (ppb), δηλαδή περίπου 1% της τωρινής του συγκέντρωσης, η οποία υπολογίζεται σε 1,7 ppm. Επιπλέον ειδικοί επιστήμονες κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι τα τελευταία τριακόσια χρόνια η συγκέντρωσή του στην ατμόσφαιρα έχει αυξηθεί συμβαδίζοντας σχεδόν με



την ανάπτυξη του παγκόσμιου πληθυσμού (Gribbin, 1992). Ο λόγος για αυτό είναι ότι οι άνθρωποι ελέγχουν τις κυριότερες μεγάλες πηγές μεθανίου, δηλαδή τις εντατικές καλλιέργειες, τη μαζική, εσταβλισμένη κτηνοτροφία, κυρίως βοοειδών, τη χρήση των ξύλων σαν καύσιμη ύλη, την αποσύνθεση απορριμάτων και τα ορυκτά καύσιμα (φυσικό αέριο, πετρέλαιο, γαιάνθρακες). Συστηματικές επιστημονικές έρευνες έχουν δείξει επίσης ότι το 25% των παγκόσμιων εκπομπών μεθανίου προέρχεται από την αυξημένη βακτηριακή δραστηριότητα στους σκουπιδοτόπους, την καύση απορριμάτων και των δασών, ενώ το υπόλοιπο από διάφορες άλλες πηγές.

Σε άλλες πάλι εργασίες σημειώνεται ότι στην ατμόσφαιρα εντοπίζονται μεγάλες ποσότητες από μεθάνιο σχηματισμένο σε παλαιότερες γεωλογικές περιόδους, το οποίο δεν αντιστοιχεί στις αναμενόμενες εκπομπές των ανθρακωρυχείων και των πετρελαιοπηγών. Αυτό οδήγησε ερευνητές όπως ο R. Sitserone του Αμερικανικού Εθνικού Κέντρου Ατμοσφαιρικής Έρευνας στο συμπέρασμα ότι η παγκόσμια υπερθέρμανση προκαλεί απελευθέρωση αρχαίου μεθανίου από κάποιο φυσικό απόθεμα (Gribbin, 1992). Προτάθηκαν μάλιστα δυο υποψήφιες τέτοιες πηγές. Η μια είναι οι τούντρες, οι παγωμένες άδεντρες πεδιάδες γύρω από την Αρκτική (βλέπε Εικ. 3-1). Καθώς ο κόσμος θερμαίνεται, αυτές οι δεξαμενές τύρφης μπορούν να απελευθερώσουν μεγάλες ποσότητες αυτού του αερίου. Η άλλη δεξαμενή είναι ο ωκεάνιος βυθός, όπου το μεθάνιο βρίσκεται εγκλωβισμένο σε μεγάλες ποσότητες με τη μορφή ενώσεων ένταξης (υδριδίου του μεθανίου). Αυτές οι ενώσεις υπάρχουν στο βούρκο του πυθμένα του Ατλαντικού ωκεανού και στα βάθη των ωκεάνιων φαραγγίων. Διατηρούνται σταθερές χάρη στον κατάλληλο συνδυασμό υψηλών πιέσεων και χαμηλών θερμοκρασιών. Αν όμως αυτός ο συνδυασμός διαταραχθεί τότε αυτές διασπώνται και εκλύεται μεθάνιο. Σε κάθε περίπτωση πάντως η παγκόσμια υπερθέρμανση απελευθερώνει μεθάνιο και αυτό την ενισχύει περαιτέρω (θετική ανάδραση του αερίου αυτού με τη θερμοκρασία).



Εικόνα 3-1: η τούντρα το χειμώνα- στη μέση ένας τάρανδος. Η εικόνα είναι παρμένη από το διαδικτυακό ιστότοπο [www.physics4u.gr](http://www.physics4u.gr).

Αναλογικά η συσσώρευση μεθανίου στην ατμόσφαιρα που οφείλεται σε ανθρώπινες δραστηριότητες είναι πολύ μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του διοξειδίου του άνθρακα (Gribbin, 1992). Χαρακτηριστικά αναφέρουμε ότι ο άνθρωπος θεωρείται υπεύθυνος για την αύξηση του διοξειδίου του άνθρακα

κατά 25% σε σύγκριση με τα θεωρούμενα ως φυσιολογικά επίπεδα της μεσοπαγετώδους περιόδου που διανύουμε ενώ έχει κάτι περισσότερο από διπλασιάσει το ποσοστό του μεθανίου στην ατμόσφαιρα. Κάτι τέτοιο όμως συνιστά διατάραξη της φυσικής ισορροπίας των πολυάριθμων χημικών διαδικασιών που σχετίζονται με το τελευταίο. Ας μην ξεχνάμε ότι κάθε μόριο μεθανίου μακροπρόθεσμα αντιδρά και μετατρέπεται σε κάτι άλλο αλλά η συνολική συγκέντρωση του αερίου αυτού εξακολουθεί να αυξάνει, πράγμα που σημαίνει ότι απελευθερώνεται πολύ περισσότερο από όσο καταστρέφεται. Επιπλέον, απορροφά ιδιαίτερα ισχυρά την υπέρυθη ακτινοβολία, καθιστώντας το ένα από τα σημαντικότερα θερμοκηπικά αέρια. Μάλιστα, η συστηματική μελέτη των στρωμάτων πάγου στη Γροιλανδία και στην Ανταρκτική (Cox, 2007) αποκάλυψε κάποιο ρόλο του στην πορεία μετάβασης από ψυχρότερες κλιματικές φάσεις σε θερμότερες.

Το υποξειδίο του αζώτου ή ιλαρό αέριο ( $N_2O$ ) είναι και αυτό ένα θερμοκηπικό αέριο που έχει την ιδιότητα να συσσωρεύεται στην ατμόσφαιρα, όχι όμως τόσο ραγδαία όσο το μεθάνιο (Gribbin, 1992). Κύριες φυσικές πηγές του είναι οι κεραυνοί και η βιολογική δραστηριότητα (αζωτοβακτήρια) στο έδαφος και τους ωκεανούς. Επιπλέον παράγεται όταν καίγεται οτιδήποτε παρουσία ατμοσφαιρικού αέρα σε συνθήκες πολύ υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας, οπότε ευνοούνται οι αντιδράσεις του μοριακού αζώτου ( $N_2$ ) με το οξυγόνο ( $O_2$ ). Τέτοιες συνθήκες επικρατούν στις μηχανές εσωτερικής και εξωτερικής καύσης που χρησιμοποιούνται σε οχήματα και θερμοηλεκτρικά εργοστάσια αντίστοιχα. Πάντως την κύρια ανθρωπογενή πηγή αυτού του αερίου αποτελεί η εντατική χρήση αζωτούχων λιπασμάτων στις αγροτικές καλλιέργειες.

Το υποξειδίο του αζώτου ανακαλύφθηκε στην ατμόσφαιρα μόλις το 1938 και μέχρι σήμερα υπάρχουν σχετικά λίγες ακριβείς μετρήσεις της συγκέντρωσής του από προηγούμενες δεκαετίες (Gribbin, 1992). Πάντως το 1976 αυτή ήταν 298 ppb στο νότιο ημισφαίριο και 299 ppb στο βόρειο. Μέχρι το 1980 αυτοί οι αριθμοί είχαν φτάσει τα 301 ppb και 302 ppb αντίστοιχα, πράγμα που σημαίνει μέση ετήσια αύξηση 0,2%. Με τη βοήθεια αυτών των τιμών και λαμβάνοντας υπόψη τις επιδράσεις της ανθρωπίνης δραστηριότητας οι ειδικοί συμπεραίνουν ότι η μέση προβιομηχανική συγκέντρωσή του ήταν γύρω στα 280 ppb. Λαμβάνοντας υπόψη τις πιθανότερες παραδοχές, δηλαδή ότι το ποσοστό των ορυκτών καυσίμων που καίγονται διπλασιάζεται στα επόμενα 100 χρόνια και ότι η χρήση αζωτούχων λιπασμάτων αυξάνει με μειούμενο ρυθμό, η συγκέντρωση του υποξειδίου του αζώτου στην ατμόσφαιρα θα φτάσει τα 360- 400 ppb ως το 2030, δηλαδή αύξηση κατά 30% σε σχέση με τα προβιομηχανικά επίπεδα. Εκτιμάται ότι αυτό θα προκαλέσει επίδραση στο ανθρωπογενές φαινόμενο του θερμοκηπίου ίση με τη μισή της αναμενόμενης για το μεθάνιο. Ιδιαίτερης προσοχής στο σημείο αυτό χρήζει το γεγονός ότι τα μόρια του υποξειδίου του αζώτου έχουν μεγάλο χρόνο ζωής στην ατμόσφαιρα (περίπου 170 χρόνια) καθώς την τάση να απορροφούν συχνότητες (υπέρυθρης) ακτινοβολίας στις οποίες άλλα αέρια συστατικά της ατμόσφαιρας είναι διαφανή.

Από όλα όμως τα φυσικά αέρια που συνδέονται με το φαινόμενο του θερμοκηπίου το πιο δύσκολο να συμπεριληφθεί σε οποιοδήποτε σενάριο υπερθέρμανσης είναι το όζον (Gribbin, 1992). Πρόκειται για τριατομικά μόρια οξυγόνου ( $O_3$ ), σε αντίθεση με το σύνθετο μοριακό οξυγόνο, το οποίο είναι διατομικό ( $O_2$ ). Το μεγαλύτερο μέρος του όζοντος (περισσότερο από 90%) συναντάται στη στρατόσφαιρα, δημιουργείται και καταστρέφεται με μια σειρά φωτοχημικών αντιδράσεων που σε κανονικές συνθήκες βρίσκονται σε σχετική ισορροπία. Είναι γνωστό ότι διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες διατάραξαν αυτές τις ισορροπίες (βλέπε κεφάλαιο 2), εξασθενώντας το προστατευτικό στρώμα του όζοντος πάνω από πολλές περιοχές. Στην τροπόσφαιρα παράγεται από αντιδράσεις που πραγματοποιούνται κυρίως στις μηχανές εσωτερικής καύσης και μεταξύ άλλων συμπεριλαμβάνουν οξειδία του αζώτου, μονοξείδιο του άνθρακα και μεθάνιο.

Είναι δραστικότερη ουσία και αντιδρά με τα περισσότερα συστατικά της ατμόσφαιρας. Έτσι η ζωή κάθε μορίου όζοντος στην τροπόσφαιρα διαρκεί μόνο λίγες εβδομάδες, για αυτό η συγκέντρωσή του δεν προλαβαίνει να σταθεροποιηθεί σε μια κοινή παγκόσμια τιμή (Gribbin, 1992). Συνεπώς οι ερευνητές αναγκάζονται να υιοθετήσουν μια εικονική τιμή της συγκέντρωσής του, προερχόμενη από πολλές ανεξάρτητες παρατηρήσεις, η οποία ανέρχεται σε 40 ppb. Με εκτιμώμενο ετήσιο ρυθμό αύξησης 1% περίπου η τιμή αυτή γύρω στο 2030 θα είναι κάπου 60 ppb, ενώ η αυξημένη αποτελεσματικότητά του στην απορρόφηση της υπέρυθρης ηλιακής ακτινοβολίας κάνει τη θέρμανση που αναμένεται να προκαλέσει μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του υποξειδίου του αζώτου και συγκρίσιμη με εκείνη του μεθανίου (Gribbin, 1992).

Φυσικά ο κατάλογος των θερμοκηπικών αερίων δεν τελειώνει εδώ. Υπάρχουν και άλλες ουσίες που συμβάλλουν ποικιλότροπα στο φαινόμενο (Βαρώτσος, 2001), άλλες φυσικές, όπως το διοξείδιο του θείου ( $SO_2$ ) και άλλες τεχνητές, όπως οι χλωροφθοράνθρακες ( $CFC_s$ ), τα υποκατάστατά τους ( $HCFC_s$ ,  $HFC_s$ ) και άλλες αλογονοενώσεις. Ο ρόλος μερικών από αυτές εξακολουθεί να αποτελεί αντικείμενο μελέτης. Ωστόσο η σημασία τους ως θερμοκηπικά αέρια περιορίζεται από την περιορισμένη παραγωγή και εκπομπή τους, τουλάχιστον προς το παρόν. Οι χλωροφθοράνθρακες μετά την εφαρμογή των διατάξεων του πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ είναι ουσιαστικά υπό κατάργηση, αφού καταστρέφουν το στρατοσφαιρικό όζον (Βαρώτσος, 2001). Γεγονός είναι ότι για την παγκόσμια κλιματική αλλαγή είναι υπεύθυνο κατά 60% το διοξείδιο του άνθρακα σε συνδυασμό με τους υδρατμούς και κατά 40% τα άλλα θερμοκηπικά αέρια.

Τα προαναφερθέντα καταδεικνύουν ότι η ατμόσφαιρα αποτελεί ένα εξαιρετικά πολύπλοκο φυσικό σύστημα και αν περιμένουμε να γίνουν αισθητές οι βλαβερές συνέπειες της ανθρωπογενούς ενίσχυσης του φαινομένου του θερμοκηπίου για να λάβουμε τα αναγκαία μέτρα θα είναι πολύ αργά, αφού αυτή δε θα επιστρέψει ποτέ στην προβιομηχανική της κατάσταση (Gribbin, 1992). Έτσι θεωρείται ιδιαίτερα σημαντικό γεγονός η προσπάθεια που καταβάλουν οι κλιματολόγοι να προτυπώσουν μελλοντικές κλιματικές τάσεις με βάση ήδη διαθέσιμες πληροφορίες. Μπορεί σενάρια όπως τα προαναφερθέντα, τα οποία ούτε λίγο ούτε πολύ προβλέπουν διπλασιασμό στη συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα σε 50- 75 χρόνια από τώρα, να αποτελούν μόνο έναν αδρό οδηγό για τις τάσεις της συγκέντρωσης των

θερμοκηπικών αερίων, αλλά αυτά είναι τα μόνα που διαθέτουμε. Η εξέτασή τους τονίζει τη σημασία του κλίματος του πλανήτη για όλες τις πλευρές της ζωής και της δραστηριότητας του ανθρώπου και την αναγκαιότητα λήψης μέτρων για την προστασία του (Gribbin, 1992).

### **3.2 ΠΩΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΖΕΤΑΙ ΕΝΑ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΤΟΥ ΚΛΙΜΑΤΟΣ**

Τα κλιματικά μοντέλα είναι κλιματικές προσομοιώσεις που χρησιμοποιούν τις βασικές εξισώσεις της φυσικής και της χημείας σε συνδυασμό με βιολογικές διαδικασίες, προκειμένου να προβλέψουν πως θα λειτουργήσουν τα καιρικά συστήματα ανα τον κόσμο για μεγάλες χρονικές περιόδους. Τέτοια μοντέλα άρχισαν να καταστρώνονται αφού εμφανίστηκαν σχετικά ισχυροί ηλεκτρονικοί υπολογιστές (computers). Όλα σχεδόν τα σημερινά μοντέλα προέρχονται από την πρωτοποριακή δουλειά των S.Manabe και R.Weatherald του Γεωφυσικού Εργαστηρίου Ρευστοδυναμικής στην Washington (Gribbin, 1992). Αυτοί διατύπωσαν μια θεωρία σχετικά με την παγκόσμια ενεργειακή ισορροπία μεταξύ του ποσοστού της θερμότητας που φτάνει στη Γη από τον Ήλιο, του ποσοστού που ακτινοβολείται από το έδαφος, του ποσοστού που παγιδεύεται στην ατμόσφαιρα και εκείνου που τελικά διαφεύγει στο διάστημα. Στην κατάσταση ισορροπίας το ποσοστό που φτάνει από τον Ήλιο και εκείνο που ακτινοβολείται στο διάστημα από τα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας είναι τα ίδια, οι ατμοσφαιρικές αναδράσεις όμως καθιστούν την επιφάνεια της Γης θερμότερη σε σχέση με το αν ο πλανήτης μας δεν είχε ατμόσφαιρα. Στην πρώτη τους μελέτη (1967) οι S.Manabe και R.Weatherald κατέληξαν ότι αν διπλασιαζόταν η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα η μέση παγκόσμια θερμοκρασία θα αύξανε κατά 2°C. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα σύγχρονα κλιματικά μοντέλα που καταστρώνονται με βάση τα ίδια χαρακτηριστικά του φαινομένου του θερμοκηπίου που χρησιμοποιήθηκαν στη δεκαετία του 1960, δίνουν παρόμοιες προβλέψεις. Δίκαια λοιπόν ο S.Manabe αποκαλείται «παππούς των κλιματικών προσομοιώσεων» (Gribbin, 1992).

Τα χρησιμοποιούμενα σήμερα κλιματικά μοντέλα ποικίλουν σημαντικά ως προς τις λεπτομέρειες που προσφέρουν, πράγμα το οποίο εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά και τις δυνατότητες του ηλεκτρονικού υπολογιστή που χρησιμοποιήθηκε για να τα «τρέξει» και από τα κλιματικά χαρακτηριστικά που μελετώνται (Gribbin, 1992). Για παράδειγμα, τα απλούστερα μοντέλα μπορούν να υπολογίσουν τη μέση θερμοκρασία στην επιφάνεια της Γης από τις εξισώσεις που περιγράφουν την ισορροπία μεταξύ ανακλαστικότητας-λευκαύγειας της Γης, του ποσοστού της ηλιακής ενέργειας που φτάνει σε αυτήν και των μέσων ιδιοτήτων της ακτινοβολίας της γήινης ατμόσφαιρας, δηλαδή ποιες συχνότητες της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας απορροφά και ποια αφήνει να περάσουν. Ένα τέτοιο μοντέλο ονομάζεται «αδιάστατο», επειδή η πραγματική θερμοκρασιακή κατανομή στην επιφάνεια της υφής αντικαθίσταται από ένα μοναδικό αριθμό, τη μέση τιμή της, σαν η υφή να

συρρικνωνόταν σε ένα μοναδικό αδιάστατο σημείο. Τέτοιου είδους μοντέλα είναι απλά αλλά πολύ χρήσιμα. Ερμηνεύουν για παράδειγμα γιατί η επιφάνεια της Γης είναι θερμότερη από αυτήν της Σελήνης και δείχνουν πώς δρα το φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου (Gribbin, 1992).

Στο αντίθετο άκρο, το τρισδιάστατο μοντέλο περιλαμβάνει ένα σετ αριθμών που αντιστοιχούν στη θερμοκρασία δυο διαφορετικών σημείων όχι μόνο στην επιφάνεια της Γης σε διαφορετικά γεωγραφικά πλάτη και μήκη αλλά και σε ποικίλα ύψη στην ατμόσφαιρα. Τα περιπλοκότερα από αυτά τα μοντέλα είναι γνωστά ως GCM (General Circulation Models) ή Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας (ΜΟ.ΓΕ.Κ.). Αν ένα ΜΟ.ΓΕ.Κ. τροφοδοτηθεί από μια ακολουθία αριθμών που αντιστοιχούν στη θερμοκρασία και σε άλλες φυσικές ιδιότητες της ατμόσφαιρας πάνω σε ένα τρισδιάστατο πλέγμα που καλύπτει όλη την υδρόγειο, θα υπολογιστεί πώς θα μεταβληθεί με την πάροδο του χρόνου η συνολική κατανομή της θερμοκρασίας, της υγρασίας, της διεύθυνσης και της ταχύτητας του ανέμου, του θαλάσσιου πάγου, της εδαφικής υγρασίας και άλλων κλιματικών μεταβλητών. Φυσικά όλα αυτά απαιτούν πολύ ισχυρούς ηλεκτρονικούς υπολογιστές, συνήθως με πολλούς επεξεργαστές και δυνατότητες παράλληλου προγραμματισμού, αλλά και πολύ χρόνο (Gribbin, 1992).

Τα πιο βελτιωμένα από αυτά τα μοντέλα περιλαμβάνουν όχι μόνο την αλληλεπίδραση ενός ή περισσότερων θερμοκηπικών αερίων με το γήινο κλίμα αλλά και το πώς οι κλιματικές αλλαγές που θα προκύψουν από το καθένα από αυτά μπορούν να επηρεάσουν τη συγκέντρωση των υπολοίπων και μέσω αυτής εκ νέου το κλίμα της Γης (φαινόμενο της ανάδρασης). Το πιο γνωστό από αυτά τα φαινόμενα είναι η θετική ανάδραση μεταξύ θερμοκρασίας και ατμοσφαιρικών υδρατμών (Gribbin, 1992). Αύξηση στη συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα οδηγεί σε θέρμανση της κατώτερης τροπόσφαιρας και ενίσχυση της εξάτμισης υδρατμών από τις μεγάλες ωκεάνιες επιφάνειες. Όμως οι υδρατμοί αποτελούν το ισχυρότερο αέριο του θερμοκηπίου, οπότε ενίσχυση της συγκέντρωσής τους προκαλεί επιπλέον θέρμανση και εξατμίσεις κ.ο.κ. Σε μερικά από τα πρώτα κλιματικά μοντέλα αυτή το φαινόμενο το αγνοούσαν ή το συμπεριλάμβαναν εκ των υστέρων στα αρχικά αποτελέσματα. Στον πραγματικό κόσμο όμως δεν μπορεί να θεωρηθεί αμελητέο, αφού ακριβέστερες προσομοιώσεις δείχνουν ότι με τη βοήθειά του το φαινόμενο του θερμοκηπίου εξαιτίας του διοξειδίου του άνθρακα γίνεται τρεις φορές ισχυρότερο.

Υπάρχουν και άλλες αναδράσεις που μπορούν να συμπεριληφθούν (Gribbin, 1992). Για παράδειγμα ο θαλάσσιος πάγος που καλύπτεται από χιόνι λειτουργεί όπως ένας πολύ καλός καθρέφτης και στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη ανακλά άφθονη εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία, ιδιαίτερα το χειμώνα. Η ανοιχτή θάλασσα απορροφά περίπου διπλάσια εισερχόμενη ηλιακή ενέργεια σε σχέση με τον πάγο. Μερικά ΜΟ.ΓΕ.Κ. συμπεριλαμβάνουν στους υπολογισμούς τους και τις επιπτώσεις από την αυξημένη τήξη του θαλάσσιου πάγου εξαιτίας της ανόδου της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας, όπως αυτή προβλέπεται από την άμεση ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου, έστω και αν λειτουργεί σε μια σχετικά περιορισμένη περιοχή στη Γη.

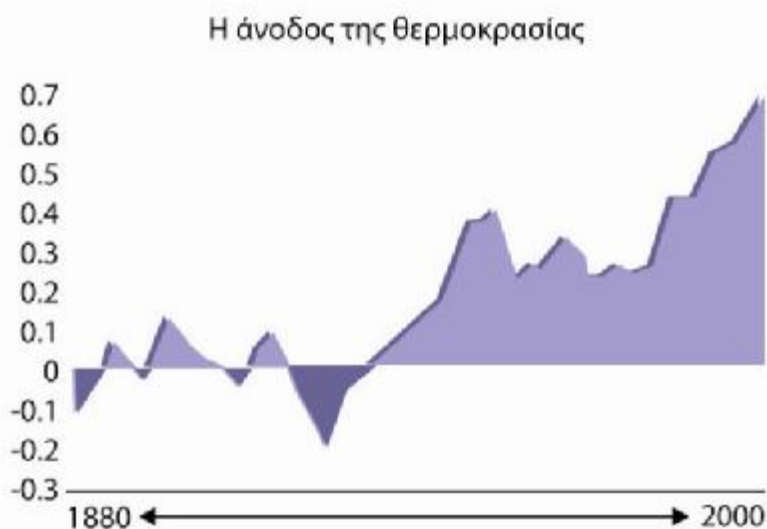
Μερικά μοντέλα προσπαθούν να λάβουν υπόψην τους και τις μεταβολές στη νεφοκάλυψη. Όπως ήδη αναφέραμε στο προηγούμενο κεφάλαιο τα νέφη παίζουν διπλό ρόλο στον καθορισμό της θερμικής ισορροπίας της υδρογείου. Από τη μια ανακλούν την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία ενώ ορισμένα είδη τους μπορούν να παγιδεύσουν ισχυρά την υπέρυθρη ακτινοβολία συμβάλλοντας στη θέρμανση της τροπόσφαιρας. Τα ΜΟ.ΓΕ.Κ. δεν τα καταφέρνουν καλά με τα νέφη, ίσως και γιατί ακόμα δεν κατανοούμε ικανοποιητικά το ρόλο τους, πράγμα που για αρκετούς ερευνητές (Βαρώτσος, 2001) αποτελεί την «Αχίλλειο πτέρνα» τους.

Επιπλέον, τα ΜΟ.ΓΕ.Κ. δεν αποτελούν παρά μόνο έναν πολύ γενικό οδηγό. Δεν μπορούν να φανερώσουν με λεπτομέρειες τι θα συμβεί στο εσωτερικό καθενός παραλληλεπίπεδου «κουτιού» στα οποία υποδιαιρεί το μοντέλο την υφήλιο (με τη βοήθεια του τρισδιάστατου πλέγματος για το οποίο έγινε λόγος πριν), ενώ πολλές χώρες έχουν έκταση μικρότερη από το εμβαδό της επιφάνειας ενός από αυτά τα νοητά «κουτιά». Παράλληλα, σημαντικά κλιματικά φαινόμενα όπως τα νέφη είναι πολύ μικρότερα από το μέγεθος κάθε «κουτιού», συνεπώς αντί για την αντίστοιχη νεφοκάλυψη πρέπει να χρησιμοποιηθεί η μέση τιμή της. Έτσι σε μια τέτοια προσομοίωση του κλίματος πάνω από την Ελλάδα ή τα νέφη απουσιάζουν εντελώς είτε εμφανίζονται ομοιόμορφα κατανεμημένα. Δηλαδή οι προσομοιώσεις αυτές αποτελούν έναν καλό οδηγό σχετικά με τις μέσες συνθήκες πάνω στη Γη, αδυνατούν όμως να δώσουν περισσότερες λεπτομέρειες (Gribbin, 1992).

Πριν ένα κλιματικό μοντέλο χρησιμοποιηθεί για μελλοντικές προγνώσεις δοκιμάζεται επισταμένως. Ο πρώτος έλεγχος στον οποίο υποβάλλεται είναι η δυνατότητα αναπαράστασης μοτίβων (σχεδίων με επαναλαμβανόμενο θέμα) του ανέμου, των βροχοπτώσεων και της θερμοκρασίας που παρατηρούμε στον πραγματικό κόσμο. Τα κλιματικά μοντέλα αναπαριστούν θαυμάσια τον κύκλο των εποχών και η κατανομή των θερμοκρασιών που «προβλέπουν» για την περίοδο Αυγούστου- Σεπτεμβρίου συμπίπτει απόλυτα με ένα ευρύ φάσμα χαρακτηριστικών του πραγματικού κόσμου για κάθε περιοχή της Γης. Ένας επιπλέον έλεγχος για να δούμε το βαθμό στον οποίο τα ΜΟ.ΓΕ.Κ. μπορούν όντως να χρησιμοποιηθούν για την κατανόηση του γήινου κλίματος είναι η ικανότητα αναπαράστασης παρελθόντων κλιματικών μοτίβων (σχεδίων με επαναλαμβανόμενο θέμα), όπως ήταν η σχετικά βραχύχρονη επιστροφή του ψυχρού κλίματος στην Ευρώπη πριν 11.000 χρόνια περίπου, γνωστή και ως «Νεώτερη Δρυάς» (από το όνομα ενός λευκού λουλουδιού των μισοπαγωμένων πεδιάδων), η θερμή περίοδος πριν από 6.000 χρόνια («κλιματικό βέλτιστο»), η μεσαιωνική θερμή περίοδος κ.λ.π. Σε αυτόν τον τομέα έχουν γίνει αρκετές προσπάθειες, άλλες περισσότερο (Gribbin, 1992) και άλλες λιγότερο αποδοτικές (Cox, 2007).

Όλα τα παραπάνω είναι οπωσδήποτε συναρπαστικά για τους ερευνητές, αφού συμβάλλουν στην κατανόηση παρελθόντων κλιματικών μεταβολών. Το σημαντικότερο όμως είναι πως μας δείχνουν ότι τα ΜΟ.ΓΕ.Κ. λειτουργούν αρκετά ικανοποιητικά και όταν τα χρησιμοποιούμε για τον υπολογισμό των αλλαγών στην κατανομή των θερμοκρασιών και των βροχοπτώσεων σε συνθήκες αυξημένης συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα, μπορούμε να θεωρήσουμε τις προβλέψεις τους για το πως θα αλλάξει ο πραγματικός κόσμος αρκετά ρεαλιστικές. Άλλωστε με τη βοήθεια αυτών είχε διατυπωθεί η

υπόθεση ότι ο κόσμος θα έπρεπε να έχει θερμανθεί κατά μέσο όρο 1°C τα τελευταία εκατό χρόνια, σαν αποτέλεσμα της ανθρωπογενούς ενίσχυσης του φαινομένου του θερμοκηπίου, πράγμα το οποίο, κατά μεγάλη μερίδα ερευνητών (Gribbin, 1992), συμπίπτει αρκετά με την πραγματικότητα, αν βέβαια ληφθούν υπόψη και παράγοντες όπως η θερμική αδράνεια των ωκεανών (βλέπε Εικ. 3-2).



Εικόνα 3-2: η εξέλιξη της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας την περίοδο 1880- 2000.

Συμπερασματικά, τα ΜΟ.ΓΕ.Κ. φαίνεται να μπορούν να αναπαραστήσουν τις σημερινές εποχιακές διακυμάνσεις, ιδιομορφίες κλιματικών αλλαγών της τελευταίας χιλιετίας και αδρά χαρακτηριστικά κλιματικών μεταβολών πριν από χιλιάδες χρόνια. Θα ήταν ενδιαφέρον να δούμε τι έχουν να μας πουν σχετικά με την εξέλιξη του κλίματος τις προσεχείς δεκαετίες. Στη συνέχεια μελετώνται πιθανά σενάρια και οι συνέπειές τους με τη βοήθεια αριθμητικών προσομοιώσεων διακεκριμένων ερευνητικών ομάδων από διάφορες χώρες του κόσμου (Gribbin, 1992 και <http://www.physics4u.gr>). Τα περισσότερα είναι σε γενικές γραμμές σύμφωνα με τις απόψεις της μεγάλης μερίδας κλιματολόγων, όπως διατυπώθηκαν στις Παγκόσμιες Διακυβερνητικές Διασκέψεις του Ο.Η.Ε. για το κλίμα, ενώ ένα περισσότερο αιρετικό εξετάζει ουσιαστικά την επικράτηση των φυσικών παραγόντων της κλιματικής αλλαγής έναντι των ανθρωπογενών και την έλευση μιας νέας εποχής παγετώνων.

### **3.3 ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΤΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΑ ΠΟΡΙΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΔΙΑΚΥΒΕΡΝΗΤΙΚΩΝ ΔΙΑΣΚΕΨΕΩΝ ΤΟΥ Ο.Η.Ε ΓΙΑ ΤΟ ΚΛΙΜΑ**

Όταν κατά τη σχεδίαση και υλοποίηση ενός Μοντέλου Γενικής Κυκλοφορίας (ΜΟ.ΓΕ.Κ.) ληφθούν υπόψη κατά το δυνατό όλες οι γνωστές αναδράσεις, προβλέπεται ότι ο διπλασιασμός της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα θα οδηγήσει σε αύξηση της μέσης

παγκόσμιας θερμοκρασίας κατά 3,5 °C - 4,5 °C. Αν πάλι αγνοηθούν μερικές ή όλες οι αναδράσεις τότε προκύπτει μικρότερη τιμή για την επικείμενη παγκόσμια υπερθέρμανση, με κατώτατη εκτίμηση 1,5 °C. Η διαφορά μεταξύ των ανωτέρω προβλέψεων κάνει πολλούς να εικάζουν την τιμή 3 °C σαν την πιθανότερη αύξηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας και το εύρος της αβεβαιότητας για την εκτίμηση αυτή 1,5 °C - 4,5 °C. Στην περίπτωση αυτή βέβαια γίνεται η αυθαίρετη παραδοχή ότι όλες οι εκτιμήσεις είναι εξίσου καλές. Στην πραγματικότητα, τα πιο τελειοποιημένα ΜΟ.ΓΕ.Κ., δηλαδή αυτά που περιλαμβάνουν τις περισσότερες αναδράσεις και «τρέχουν» στους καλύτερους ηλεκτρονικούς υπολογιστές, δίνουν τιμές κοντά στις υψηλότερες προβλεπόμενες (Gribbin, 1992).

Αφότου το πρόβλημα της ενίσχυσης του φαινομένου του θερμοκηπίου άρχισε να απασχολεί έντονα την παγκόσμια κοινότητα ο Ο.Η.Ε. συγκρότησε επιστημονικές επιτροπές από αναγνωρισμένου κύρους προσωπικότητες και τους ανέθεσαν να αξιολογήσουν τόσο τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων όσο και τα υπόλοιπα διαθέσιμα στοιχεία (Gribbin, 1992). Η προαναφερθείσα αναφορά SCOPE 29, αφού αξιολογεί την ισχύ και την αδυναμία των κυριότερων ως τότε κλιματικών μοντέλων καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η πιθανότερη αύξηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας αν διπλασιαστεί το ποσοστό του διοξειδίου του άνθρακα θα ήταν 3,5 °C με αντίστοιχο εύρος αβεβαιότητας από 2,5 °C μέχρι 4,5 °C, εφόσον βέβαια υπάρξει ο απαιτούμενος χρόνος για να περιέλθει ο κόσμος σε ισορροπία. Επίσης προέβλεπε αύξηση στα υδρομετέωρα (π.χ. βροχή, χιόνι, χαλάζι) σε παγκόσμια κλίμακα της τάξης του 7- 11% γιατί μέρος από τον επιπλέον υδρατμό που θα καταλήξει στην ατμόσφαιρα θα επιστρέψει στη γη καθώς το κλιματικό σύστημα θα προσπαθεί να εξισορροπήσει τις επιχειρούμενες αλλαγές. Όμως η κατανομή των βροχοπτώσεων δε θα είναι ομοιόμορφη, αφού οι παράκτιες περιοχές θα δέχονται περισσότερες βροχές σε σχέση με πριν ενώ οι ηπειρωτικές λιγότερες (Gribbin, 1992).

Στο μεταξύ το 2007 το Διακυβερνητικό Σώμα για τις Κλιματικές Αλλαγές του Ο.Η.Ε. (I.P.C.C.) έδωσε στη δημοσιότητα την περίληψη της νέας του έκθεσης, για την οποία εργάστηκαν κάπου 3.700 επιστήμονες σε πάνω από 130 χώρες. Περισσότεροι από 500 ειδικοί συνεδρίασαν στο Παρίσι κεκλεισμένων των θυρών για να οριστικοποιήσουν τη φρασεολογία της έκθεσης, οι προβλέψεις της οποίας είχαν ήδη διαρρεύσει στον Τύπο. Τα πλήρη κείμενα της έκθεσης του I.P.C.C. δημοσιεύτηκαν σε τρεις φάσεις. Το κεφάλαιο που δημοσιοποιήθηκε το Φεβρουάριο του 2007 αφορούσε την επιστημονική γνώση που είχε μέχρι τότε συγκεντρωθεί για την κλιματική αλλαγή. Το δεύτερο κεφάλαιο, το οποίο δόθηκε στη δημοσιότητα στις 2 Απριλίου 2007, αναφέρεται στις επιπτώσεις του φαινομένου, ενώ το τρίτο, το οποίο κοινοποιήθηκε το Μάιο του ίδιου έτους, προτείνει μέτρα για την αντιμετώπισή του (W.W.F., 2005). Στην έκθεση αυτή εκτιμάται, λαμβάνοντας υπόψη όλα τα μέχρι τότε διαθέσιμα στοιχεία, ότι στα επόμενα 100 χρόνια, η αναμενόμενη μέση αύξηση στην επιφάνεια της Γης θα είναι από 1 °C μέχρι 3,5 °C. Την ίδια περίοδο, προβλέπεται επίσης άνοδος της στάθμης των θαλασσών, από 15 μέχρι 95 εκ. Αλλά και ακραία καιρικά φαινόμενα, όπως έντονες βροχοπτώσεις και πλημμύρες αλλά και ξηρασίες αναμένεται να αυξηθούν τόσο σε συχνότητα όσο και σε διάρκεια (W.W.F., 2005).



Υπάρχει βέβαια και η άποψη που διατυπώνουν κάποιοι κλιματολόγοι ότι όλα είναι τυχαία και έχουν ξανασυμβεί στο παρελθόν, όμως οι περισσότεροι δε φαίνεται να τη συμμερίζονται. «Η άποψη αυτή, μου θυμίζει τις αντιρρήσεις που είχαν εκφραστεί στην περίπτωση της θεωρίας της αραίωσης του όζοντος, αντιρρήσεις οι οποίες κατέρρευσαν με την ανακάλυψη της περίφημης τρύπας στην Ανταρκτική», τονίζει χαρακτηριστικά ο καθηγητής στο Πανεπιστήμιο Αθηνών κύριος Χρήστος Ζερεφός (W.W.F., 2005). Σύμφωνα με τη νέα έκθεση του Ο.Η.Ε., πάνω στην οποία θα βασιστεί η διεθνής πολιτική για το φαινόμενο, η παρατηρούμενη κλιματική αλλαγή οφείλεται στον άνθρωπο με πιθανότητα 90% και οι επιπτώσεις της θα διαρκέσουν σίγουρα αιώνες. Πλημμύρες, ξηρασία και τυφώνες είναι οι ορατές συνέπειες.

Αναλυτικότερα, σύμφωνα με έκθεση του Ο.Η.Ε. οι σημαντικότερες προσβολές του περιβάλλοντος λόγω των ενεργειών του ανθρώπου είναι οι εξής (Colbert, 2007):

- Η μέση θερμοκρασία του πλανήτη θα αυξηθεί από 1,1 °C έως 6,4 °C έως το 2100, σε σχέση με τα επίπεδα του 1990, με πιθανότερη μια άνοδο κατά 1,8 °C έως 4 °C ανάλογα με τα μέτρα που θα ληφθούν. Το φαινόμενο είναι αναπόφευκτο και θα διαρκέσει έως και μια χιλιετία. Στη προηγούμενη έκθεσή του το 2001, το IPCC (Διακυβερνητική επιτροπή για την αλλαγή του κλίματος) πρόβαλε αύξηση από 1,4 °C έως 5,8 °C (Colbert, 2007).
- Η στάθμη των ωκεανών θα ανέβει έως το τέλος του αιώνα κατά 18- 59 cm, σε σχέση με το 1990, αν και η άνοδος θα μπορούσε να είναι μεγαλύτερη, σε περίπτωση που λιώσει το κάλυμμα πάγου στην Ανταρκτική και τη Γροιλανδία. Το 2001, το I.P.C.C. προέβλεπε άνοδο κατά 9- 88 cm (Colbert, 2007).
- Η δραστηριότητα των τροπικών κυκλώνων και τυφώνων θα ενταθεί, με πιθανότητα 66% (Colbert, 2007) .
- Το δεύτερο μισό του 21ου αιώνα το σχετικά λεπτό κάλυμμα επιπλέοντος πάγου θα εξαφανίζεται το καλοκαίρι από την Αρκτική, ενώ οι μεγαλύτεροι και παχύτεροι παγετώνες της Ανταρκτικής και της Γροιλανδίας μάλλον θα διατηρηθούν, η έκτασή τους όμως θα περιοριστεί σημαντικά. Ξηρασίες αναμένονται με αυξημένη συχνότητα σε όλο τον πλανήτη (Gribbin, 1992).

Ο τότε πρόεδρος των Η.Π.Α. George W. Bush είχε εγκρίνει χωρίς επιφυλάξεις τα αποτελέσματα της έκθεσης, καθορίζοντας ως στόχο τη μείωση κατά 18% των εκπομπών αερίων έως το 2012. Ο εκπρόσωπος του Λευκού Οίκου Tony Fratto δήλωσε μάλιστα ότι η έκθεση αυτή είναι εξαιρετικά πολύτιμη αφού συνεισφέρει με τον καλύτερο τρόπο στην κατανόηση των κλιματολογικών αλλαγών και των αποτελεσμάτων τους (<http://www.enet.gr>). Από την άλλη ο τέως πρόεδρος της Γαλλίας Jaques Shirac, έχοντας από καιρό εκφράσει τις ανησυχίες του σχετικά με τα

θέματα του περιβάλλοντος, δήλωσε ότι ο πλανήτης υποφέρει: «Γιατί είμαστε τόσο καθυστερημένοι στη λήψη των απαραίτητων μέτρων; Διότι μας καταλαμβάνει ο εγωισμός της ενοχής και αρνούμαστε να αποδεχθούμε τις επιπτώσεις της καταστροφής του περιβάλλοντος» (ορθότερο θα ήταν ίσως να πει πως μας έχει καταλάβει η απληστία για συσσώρευση υλικών αγαθών, χωρίς να παίρνουμε σοβαρά υπόψη τις συνέπειές της- Colbert, 2007).

Αν και η έκθεση του Ο.Η.Ε. προσφέρει τη συνολικότερη μέχρι σήμερα εικόνα για την πορεία της κλιματικής αλλαγής, οι προβλέψεις της θα μπορούσαν να αποδειχθούν υπεραισιόδοξες, εκτιμούν ορισμένοι επιστήμονες (Cox, 2007). Χαρακτηριστικά αναφέρουμε ότι έρευνα που δημοσιεύτηκε στο περιοδικό Science καταλήγει ότι στάθμη των ωκεανών ανυψώνεται ταχύτερα από τις προβλέψεις του Ο.Η.Ε. το 2001 (Cox, 2007). Από τις αρχές της δεκαετίας του 1990, η στάθμη ανεβαίνει με ρυθμό 3,3 mm ανά έτος, κατά μέσο όρο, συγκριτικά με 2 mm ανά έτος στην πρόβλεψη του Ο.Η.Ε .

Νέα, περισσότερο πολύπλοκα ΜΟ.ΓΕ.Κ. τα οποία επεξεργάζονται όλες τις διαθέσιμες πληροφορίες για να προβλεφθούν οι μελλοντικές κλιματικές αλλαγές, δείχνουν ότι η μέση θερμοκρασία της Γης θα αυξάνεται κατά μέσο όρο περίπου 0,3 °C ανά δεκαετία για τα επόμενα 100 χρόνια (Colbert, 2007). Αν συμβεί όμως μια τέτοια αύξηση, που φαινομενικά είναι μικρή, μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές κλιματικές αλλαγές με απρόβλεπτες συνέπειες. Οι τελευταίες διαθέσιμες προβλέψεις των μοντέλων προσομοίωσης του κλίματος σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές λένε επίσης πως μέχρι το τέλος του αιώνα η μέση παγκόσμια θερμοκρασία θα ανυψωθεί μέχρι 5,8 °C (Colbert, 2007).

Ωστόσο η μέση θερμοκρασία του πλανήτη ίσως αυξηθεί τις επόμενες δεκαετίες πολύ περισσότερο από ό,τι εκτιμούσαν μέχρι σήμερα οι επιστήμονες. Κάτι τέτοιο προκύπτει από τη μεγαλύτερη μέχρι σήμερα προσομοίωση του παγκόσμιου κλίματος, που πραγματοποιήθηκε μέσω του Διαδικτύου, γνωστή με το όνομα «Climateprediction.net», η οποία προβλέπει αύξηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας μέχρι 11°C, ενώ η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή του ΟΗΕ (I.P.C.C.) είχε προβλέψει άνοδο της θερμοκρασίας από 1,8 °C έως 4 °C μέχρι το τέλος του 21ου αιώνα (<http://www.physics4u.gr>).

Το πρόγραμμα «Climateprediction.net» ξεκίνησε από το Πανεπιστήμιο της Οξφόρδης (Oxford University). Τα υπολογιστικά μοντέλα του κλίματος που χρησιμοποιήθηκαν δεν έτρεχαν σε κάποιον υπερυπολογιστή, όπως συνήθως, αλλά στους προσωπικούς υπολογιστές 95.000 χρηστών του Διαδικτύου που δήλωσαν συμμετοχή στο πρόγραμμα. Την ώρα που δεν χρησιμοποιείται, κάθε υπολογιστής που συμμετέχει στο πρόγραμμα τρέχει ένα ελαφρώς διαφορετικό σενάριο για το κλίμα, βασισμένο σε διαφορετικές υποθέσεις για παραμέτρους όπως η νεφοκάλυψη, οι βροχοπτώσεις και η μεταφορά θερμότητας μέσω των ωκεάνιων ρευμάτων. Αντίθετα, οι παλαιότερες προβλέψεις για το κλίμα είχαν βασιστεί μόνο στα σενάρια που θεωρήθηκαν πιθανότερα. Από τις περίπου 2.000 διαφορετικές προσομοιώσεις που εξετάστηκαν προκύπτει ότι ο διπλασιασμός της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα θα προκαλέσει αύξηση της

θερμοκρασίας από 1,9°C έως 11,5°C, ενώ ο μέσος όρος των προβλέψεων είναι 3,4 °C, περίπου ο μέσος όρος των αυξήσεων που προβλέπει και η επιτροπή του Ο.Η.Ε. (<http://www.physics4u.gr>).

Η νέα πρόβλεψη δεν έχει συγκεκριμένο χρονικό ορίζοντα. Αφορά τη χρονική στιγμή κατά την οποία τα επίπεδα του ατμοσφαιρικού διοξειδίου του άνθρακα θα διπλασιαστούν σε σχέση με τα επίπεδα πριν από τη βιομηχανική επανάσταση. Αυτό εκτιμάται ότι θα συμβεί περίπου στα μέσα του αιώνα. Οι υπεύθυνοι ερευνητές δημοσίευσαν τα πορίσματα της εργασίας τους στο περιοδικό Nature (<http://www.physics4u.gr>), τονίζοντας ότι προς το παρόν καμία πρόβλεψη δεν μπορεί να θεωρηθεί ακριβής, καθώς ο βαθμός αβεβαιότητας για την πορεία του φαινομένου του θερμοκηπίου είναι μεγάλος. Η αβεβαιότητα αυτή εμποδίζει προς το παρόν τους επιστήμονες να καταλήξουν στο ποιο είναι το ανώτατο ασφαλές επίπεδο της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα. Θεωρούν όμως ότι ο βαθμός αβεβαιότητας των προβλέψεων ίσως μειωθεί στο μέλλον με τη χρήση βελτιωμένων μοντέλων για διαδικασίες όπως η μεταφορά θερμότητας στους ωκεανούς (<http://www.physics4u.gr>).

Οι επιπτώσεις της παγκόσμιας θέρμανσης ενδεχομένως είναι απρόβλεπτες, ιδιαίτερα στις κλιματικές επιπτώσεις και στην ανακατανομή της ποιότητας των εδαφών. Επιπλέον παραμένει άγνωστη η δυνατότητα προσαρμογής του ζωικού και φυτικού βασιλείου στις νέες συνθήκες. Σίγουρα πάντως θα οδηγήσει σε δραματικές αλλαγές στο φυσικό περιβάλλον, προκαλώντας καταστροφή φυσικών οικοσυστημάτων και αλυσιδωτά προβλήματα σε όλους τους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας. Πιο αναλυτικά αλλά με κάθε επιφύλαξη υπάρχουν τα εξής στοιχεία για τις επερχόμενες συνέπειες:

1. Λιώσιμο των πάγων (Gribbin, 1992). Υπολογίζεται ότι ως το 2050 το 75% των παγετώνων στις Άλπεις θα έχει λιώσει. Το πρόβλημα είναι ακόμα μεγαλύτερο στους πόλους της Γης. Η παγοκάλυψη στους πόλους έχει μειωθεί κατά 15-20% τα τελευταία 30 χρόνια και η τάση είναι αυτή η μείωση να επιταχύνεται. Το Σεπτέμβριο του 2007 και του 2008 η παγοκάλυψη στην Αρκτική έφτασε στο χαμηλότερο γνωστό ως σήμερα επίπεδο (4,13 εκατ. τετραγωνικά χιλιόμετρα). Υπολογίζεται ότι στα επόμενα 70 χρόνια οι πάγοι του Αρκτικού Ωκεανού θα έχουν λιώσει ολοκληρωτικά. Οι πολιτικές περιοχές ελέγχουν σε μεγάλο βαθμό τη στάθμη του νερού στον πλανήτη αφού λειτουργούν όπως οι αγωγοί υπερχειλίσσης στα φράγματα. Το λιώσιμο των πάγων συνεπάγεται την αύξηση της στάθμης της θάλασσας. Οι μέσες θερμοκρασίες της Αρκτικής έχουν αυξηθεί περίπου δύο φορές περισσότερο σε σύγκριση με τον παγκόσμιο μέσο ρυθμό αύξησης των τελευταίων 100 ετών.
2. Αύξηση της στάθμης της θάλασσας (Colbert, 1992). Παρατηρήσεις από το 1961 υποδεικνύουν ότι οι ωκεανοί απορροφούν ποσοστό μεγαλύτερο από 80% της θερμότητας που προστίθεται στο κλιματικό σύστημα και πως οι θερμοκρασίες τους έχουν αυξηθεί σε βάθος τουλάχιστον 3000 μέτρων, πράγμα που μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση

της μέσης στάθμης της θάλασσας. Αυτή η αύξηση θα οφείλεται στη θερμική διαστολή των ωκεανών και σε μικρότερο βαθμό στο λιώσιμο των πάγων της Γροιλανδίας και των ηπειρωτικών οροσειρών. Ειδικά στην Ανταρκτική ως το 2090 αναμένεται αύξηση της στάθμης της θάλασσας 1 με 1,5 m που θα οφείλεται στη θερμική διαστολή των ωκεανών αλλά και στο λιώσιμο των παγόβουνων. Προς το παρόν έχει παρατηρηθεί ότι η στάθμη της θάλασσας αυξάνεται κατά 1 με 1,5 mm τον χρόνο (Colbert, 2007).

3. Η σημαντική ανύψωση της στάθμης των θαλασσών (μερικά μοντέλα την εκτιμούν στα 65 cm μέχρι το τέλος του αιώνα) αυτονόητο είναι ότι θα οδηγήσει σε καταβύθιση ολόκληρων παράκτιων περιοχών συμπαρασύροντας μεγάλες πόλεις (Fifor, 1992) χτισμένες σε αυτές. Επιπλέον εκατομμύρια ανθρώπων εκτιμάται πως θα έρθουν αντιμέτωποι με πλημμύρες μέχρι το 2080. Οι περιοχές που αναμένεται να πληγούν περισσότερο από το φαινόμενο είναι αυτές της Νοτιοανατολικής Ασίας. Σύμφωνα με έκθεση που δόθηκε στη δημοσιότητα τον Δεκέμβριο του 2007 από τον Οργανισμό Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (Ο.Ο.Σ.Α.) οι πλημμύρες που θα προκληθούν από τα ακραία καιρικά φαινόμενα και την άνοδο της στάθμης των ωκεανών θα απειλήσουν ως το 2070 τριπλάσιο αριθμό ανθρώπων στα λιμάνια και στις παράκτιες πόλεις της Ασίας. Η αντίστοιχη μελέτη που διενεργήθηκε από τον Ο.Ο.Σ.Α. (Colbert, 2007) σε συνεργασία με πολλά ευρωπαϊκά ινστιτούτα έρευνα δείχνει ότι έως και 150 εκατομμύρια άνθρωποι μπορεί να πληγούν, έναντι 40 εκατομμυρίων σήμερα. Παράλληλα οι οικονομικές απώλειες αναμένεται να ανέλθουν σε 35 τρισεκατομμύρια δολάρια έναντι 400 δισεκατομμυρίων σήμερα (Colbert, 2007). Ο όρος «οικολογική μετανάστευση» προέκυψε ακριβώς για να περιγράψει την αναμενόμενη μετακίνηση πληθυσμών από παράκτιες περιοχές που θα καλυφθούν από νερό σε περιοχές με μεγαλύτερο υψόμετρο.
4. Η κατανομή και η συχνότητα των βροχοπτώσεων θα μεταβληθούν. Θα αυξηθούν οι πλημμύρες, οι καταιγίδες και γενικά τα ακραία καιρικά φαινόμενα θα είναι συχνότερα και εντονότερα (Gribbin, 1992). Μεσομακροπρόθεσμα θα μετακινηθούν οι ζώνες βροχόπτωσης από τον ισημερινό προς βορρά, πράγμα που θα έχει ως συνέπεια την ερημοποίηση εκτεταμένων περιοχών της εύκρατης ζώνης. Μεγάλες εκτάσεις δηλαδή, οι οποίες σήμερα είναι παραγωγικές και κατοικίσιμες θα μετατραπούν σε άγονες ερήμους.
5. Ένα ζήτημα ζωτικής σημασίας που προκύπτει είναι αυτό των αποθεμάτων νερού (Colbert, 2007). Σύμφωνα με την έκθεση της I.P.C.C. εκτιμάται με υψηλό επίπεδο εμπιστοσύνης (>80%) ότι μέχρι τα μέσα του 21ου αιώνα η μέση ετήσια απορροή των ποταμών και η διαθεσιμότητα νερού θα αυξηθεί κατά 10-40% στα υψηλότερα υψόμετρα και σε ορισμένες τροπικές περιοχές, ενώ θα μειωθεί κατά 10- 30% σε ξηρές περιοχές σε μέσο υψόμετρο (Colbert, 2007). Έτσι, με βάση τις παραπάνω προβλέψεις, θα παρατηρηθεί κατά τους θερινούς μήνες μείωση των βροχοπτώσεων κατά 25% σε ήδη ξηρές περιοχές, η οποία σε συνδυασμό με την κατά 80% μείωση της υδατικής απορροής

προς τους υδροφόρους ορίζοντες θα δημιουργήσει τεράστιο πρόβλημα λειψυδρίας στον πλανήτη. Ήδη η Αυστραλία, η οποία περιμένει μείωση κατά 20% των βροχοπτώσεων στο Νοτιοδυτικό της τμήμα μέχρι το 2040 (Colbert, 2007), προχώρησε στη λήψη μέτρων για την αντιμετώπιση της επερχόμενης λειψυδρίας (Colbert, 2007). Φυσικά, όπως είδαμε προηγουμένως, πολλά κλιματικά μοντέλα προβλέπουν αύξηση των χειμερινών βροχοπτώσεων, ιδίως στις παράκτιες περιοχές. Όμως το ευνοϊκό αυτό στοιχείο θα είναι χωρίς αντίκρουσμα αν δεν κατασκευαστούν νέοι, μεγαλύτερης χωρητικότητας υδάτινοι ταμιευτήρες για την ξηρή περίοδο και δεν αξιοποιηθεί ορθολογικά το διαθέσιμο νερό.

6. Μεγαλύτερες και συχνότερες πυρκαγιές στα δάση (Colbert, 2007). Χαρακτηριστικά παραδείγματα ήταν οι πυρκαγιές των τελευταίων ετών στην Καλιφόρνια των Η.Π.Α., στην Αυστραλία και στην Ελλάδα, οι οποίες αν και δε φαίνεται να μπορούν να συσχετιστούν με κλιματικές αλλαγές μας δίνουν ένα προμήνυμα των χειρότερων που πρόκειται να έρθουν.
7. Αύξηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας κατά 3°C μπορεί να προκαλέσει τη μετακίνηση των ειδών κατά 300 χιλιόμετρα βορειότερα ή κατά 500 μέτρα προς μεγαλύτερο υψόμετρο. Ήδη στις Ευρωπαϊκές θάλασσες πολλά είδη ζωοπλαγκτόν αλλά και ανώτερων θαλάσσιων ειδών έχουν εξαπλωθεί ως και 1000 χιλιόμετρα βορειότερα τα τελευταία 30 χρόνια (Colbert, 2007). Σύμφωνα με ορισμένες μελέτες (Colbert, 2007) δεν αποκλείεται μέχρι τα μέσα του 21<sup>ου</sup> αιώνα εξαιτίας της Παγκόσμιας Θέρμανσης νέες αμπελοφυτείες να μπορούν να εγκατασταθούν στην Ανατολική Ευρώπη, στα Βρετανικά νησιά, στη βόρεια Γερμανία ή σε πολύ ορεινές περιοχές της Ελλάδας ή της Ιταλίας.
8. Μείωση της βιοποικιλότητας (Colbert, 2007). Σύμφωνα με την έκθεση της Διακυβερνητικής Ομάδας Ειδικών για την εξέλιξη του κλίματος (I.P.C.C.) το 2007, υπάρχουν «ενδείξεις από όλες τις ηπείρους και τους περισσότερους ωκεανούς της Γης, πολλά οικοσυστήματα επηρεάζονται από τοπικές κλιματικές μεταβολές και ειδικότερα από την αύξηση της θερμοκρασίας». Σύμφωνα με τα πορίσματα της ίδιας έκθεσης, η πρόσφατη αλλαγή του κλίματος έχει ήδη ισχυρές επιδράσεις σε παγκόσμιο επίπεδο, στα οικοσυστήματα, στους υδάτινους πόρους και στις παράκτιες περιοχές (Colbert, 2007). Με βάση δεδομένα παρατηρήσεων από το 1970, θεωρείται πιθανό (>66%) πως η ανθρωπογενής θέρμανση έχει μέχρι σήμερα αισθητή επίδραση σε πολλά φυσικά και βιολογικά συστήματα. Περίπου 20-30% της γνωστής χλωρίδας και πανίδας είναι πιθανό να γνωρίσει αυξημένο κίνδυνο εξαφάνισης, εφόσον η αύξηση στην παγκόσμια θερμοκρασία ξεπεράσει τους 15-25°C.
9. Προβλήματα υγείας από επερχόμενους καύσωνες σε ευαίσθητους πληθυσμούς όπως οι ηλικιωμένοι και τα παιδιά (Colbert, 2007). Το 1987 καταγράφηκαν στην Ελλάδα 1000 νεκροί εξαιτίας του καύσωνα.

10. Μείωση των εκτάσεων που είναι κατάλληλες για καλλιέργεια αλλά και μείωση των αποθεμάτων νερού για πότισμα αυτών των εκτάσεων που θα έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση της αγροτικής παραγωγής με φυσική συνέπεια την όξυνση του προβλήματος του υποσιτισμού του πληθυσμού, ιδιαίτερα στις χώρες του λεγόμενου «αναπτυσσόμενου κόσμου». Η Ινδία για παράδειγμα μπορεί να δει την παραγωγή δημητριακών να μειώνεται κατά 18% στα προσεχή χρόνια λόγω της κλιματικής αλλαγής (Colbert, 2007). Ας τονίσουμε στο σημείο αυτό πως ακόμα και αν τα δραματικότερα σενάρια που προαναφέρθηκαν δεν επαληθευτούν, αρκεί μια μικρή αύξηση της συχνότητας ορισμένων ακραίων καιρικών φαινομένων (π.χ. πλημμύρες ή καύσωνες) για να καταστραφούν σοδειές και να μειωθούν τόσο τα παγκόσμια αποθέματα τροφίμων όσο και το αγροτικό εισόδημα.

### 3.4 ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗ

Ένα μεγάλο ερώτημα είναι ποιες θα είναι οι πιθανές επιπτώσεις στο κλίμα της Ελλάδας και άλλων χωρών της Μεσογείου από την παγκόσμια υπερθέρμανση. Όλα τα συμπεράσματα των ΜΟ.ΓΕ.Κ. συμφωνούν (Gribbin, 2001 και <http://www.physics4u.gr>) πως η παγκόσμια κλιματική αλλαγή δε θα είναι ομοιόμορφη σε όλον τον πλανήτη αλλά θα παρατηρηθεί μεγαλύτερη αύξηση της θερμοκρασίας στις πολικές περιοχές και ελάχιστη στις τροπικές. Για τα μέσα γεωγραφικά πλάτη τα μέχρι τώρα στοιχεία δεν είναι ιδιαίτερα σαφή, σε κάποια σημεία τους μάλιστα εμφανίζονται αντικρουόμενα. Αρκετοί επιστήμονες (Mitchel and Hulme, 2000) προβλέπουν μακρές περιόδους ξηρασίας και ερημοποίηση πολλών περιοχών της νότιας Ελλάδας, ιδίως της νησιωτικής. Άλλοι πάλι (Gribbin, 1992) κάνουν λόγο σε δημοσιεύσεις τους για εντονότερη ζέστη τους καλοκαιρινούς μήνες και περισσότερες βροχοπτώσεις τους χειμερινούς, χωρίς όμως να μεταβληθούν τα βασικά χαρακτηριστικά του κλίματός της (εύκρατο- μεσογειακό).

Τα πορίσματα των υπολογιστικών μοντέλων έρχεται να συμπληρώσει ο επιστημονικός κλάδος της παλαιοκλιματολογίας (Gribbin, 1992), ο οποίος στηρίζεται σε γεωλογικές και άλλες πληροφορίες για να αναπαραστήσει το κλίμα μιας περιοχής σε διάφορες περιόδους του απώτατου παρελθόντος. Φαίνεται λοιπόν ότι το κλίμα των παραμεσόγειων περιοχών κατά τις μακράιωνες εναλλαγές ψυχρών και θερμών περιόδων κατά τη μέση και ανώτερη Πλειστόκαινο περίοδο παρέμενε αξιοσημείωτα σταθερό (Σαρπάκης, 1996 και Μαριολάκος, 2007) και όχι ριζικά διαφορετικό από το σημερινό. Υπήρχαν μεγάλα δάση φυλλοβόλων και κωνοφόρων δέντρων, ανάλογα με το υψόμετρο, και σε αυτά περιπλανιόνταν μικρά και μεγάλα ζώα, όπως ελάφια, λιοντάρια, ελέφαντες και ιπποπόταμοι. Κάτι τέτοιο θα μπορούσε σε γενικές γραμμές να επαναληφθεί και στις νέες συνθήκες που μπορεί να διαμορφωθούν στον 21<sup>ο</sup> αιώνα.

Επιφυλακτικός απέναντι σε όσους ισχυρίζονται ότι το κλίμα έχει αλλάξει στην Ελλάδα είναι ο επιστημονικός συνεργάτης του Εθνικού Αστεροσκοπείου, μετεωρολόγος κ. Κώστας Λαγουβάρδος. Σε πρόσφατη συνέντευξή του (Ιανουάριος 2009, [http://www.climate.noa.gr/Reports/CC\\_reports.htm](http://www.climate.noa.gr/Reports/CC_reports.htm)) υποστήριξε ότι πολλές φορές μιλάμε για μία πιθανή αλλαγή του κλίματος επειδή βλέπουμε να αυξάνονται οι καταστροφές από τα καιρικά φαινόμενα. Όμως μια δυνατή βροχή που πριν από τριάντα χρόνια δεν θα δημιουργούσε σημαντικά προβλήματα στην Αθήνα σήμερα μπορεί εύκολα να δημιουργήσει πλημμύρα. Αυτό όμως σχετίζεται με άλλους παράγοντες, όπως η έντονη αστικοποίηση, οι ελλιπείς υποδομές και η αποψίλωση των δασών. Ωστόσο, δεν αποκλείει την πιθανότητα αλλαγής του κλίματος στη χώρα μας μετά από 50 χρόνια.

Άλλοι ειδικοί είναι περισσότερο απαισιόδοχοι. Άλλωστε στις παλαιότερες παγετώδεις και μεσοπαγετώδεις κλιματικές φάσεις ο άνθρωπος, όταν υπήρχε, ήταν ένας σχετικά αδύναμος κυνηγός και συλλέκτης, ο οποίος αγωνιζόταν να

επιβιώσει, ενώ πλέον κρατά στα χέρια του το μέλλον του πλανήτη, χωρίς όμως να λειτουργεί υπεύθυνα. Ήδη η μέση μέγιστη θερμοκρασία της Αθήνας το καλοκαίρι έχει αυξηθεί κατά 1,9°C (W.W.F., 2005), ανεξάρτητα από τις πιθανές αιτίες της και εκφράζονται φόβοι ότι η θερμοκρασία στην Ελλάδα εξαιτίας της αλλαγής του κλίματος μπορεί να ανέβει κατά 3,1 °C - 5,1°C έως το 2100 (W.W.F., 2005 και [http://www.climate.noa.gr/Reports/CC\\_reports.htm](http://www.climate.noa.gr/Reports/CC_reports.htm)). Επιπλέον, η στάθμη της θάλασσας στο ίδιο χρονικό διάστημα μπορεί να ανέβει κατά 50 εκατοστά (W.W.F., 2005), δημιουργώντας σημαντικότερα προβλήματα στις παραθαλάσσιες περιοχές και τα οικοσυστήματα. Η Θεσσαλονίκη και γενικότερα η πεδιάδα της Κεντρικής Μακεδονίας θεωρούνται από τις πιο ευάλωτες περιοχές, μαζί με το Πόρτο Λάγος και το Δέλτα του ποταμού Έβρου (W.W.F., 2005).

Η παγκόσμια περιβαλλοντική οργάνωση W.W.F. σε συνεργασία με το Εθνικό Αστεροσκοπείο δημοσιοποίησε το 2005 έκθεση για τις επιπτώσεις που θα αντιμετωπίσει η Μεσόγειος, αν η θερμοκρασία αυξηθεί κατά 2°C σε παγκόσμιο επίπεδο (W.W.F., 2005 και [http://www.climate.noa.gr/Reports/CC\\_reports.htm](http://www.climate.noa.gr/Reports/CC_reports.htm)). Σύμφωνα με αυτήν, η Ελλάδα θα υφίσταται συχνότερα κύματα καύσωνα και ξηρασίας, περισσότερες πυρκαγιές (τις υφίσταται και τώρα, χωρίς ουσιαστικά καταγεγραμμένη κλιματική αλλαγή), προβλήματα επάρκειας πόσιμου νερού και ζημιές στις γεωργικές δραστηριότητες. Επιπλέον, οι νέες συνθήκες που θα επικρατήσουν στην Ευρώπη ενδέχεται να αποθαρρύνουν, άμεσα ή έμμεσα, τις καλοκαιρινές διακοπές στη Μεσόγειο, δηλαδή να πλήξουν τον τουρισμό.



### **3.5 Η ΕΛΕΥΣΗ ΜΙΑΣ ΝΕΑΣ ΕΠΟΧΗΣ ΠΑΓΕΤΩΝΩΝ**

Παρατηρώντας το κλίμα της Γης σε βάθος εκατομμυρίων χρόνων, παρατηρούμε ότι οι παγετωνικές περιόδους στη Γη εμφανίζονται με ένα τακτικό ρυθμό θα λέγαμε. Ο ρυθμός αυτός εμφάνισης των παγετώνων εξαρτάται από την, σε τακτά χρονικά διαστήματα, διατάραξη της τροχιάς και της ταχύτητας περιστροφής του πλανήτη μας. Έχουν βρεθεί δε ότι σημειώθηκαν στη Γη δέκα τέτοιες εποχές εξάπλωσης των πάγων και μείωσης του επιπέδου των θαλασσών το τελευταίο ένα εκατομμύριο χρόνια (Gribbin, 2001).

Στο χρονικό αυτό φάσμα μάλιστα το κρύο υπήρξε τόσο κυρίαρχο ώστε οι γεωφυσικοί να θεωρούν τις θερμές περιόδους όπως η τωρινή, γνωστή και ως Ολόκαινος, εξαιρέσεις. Άλλωστε το ίδιο το όνομα που χρησιμοποιούν για αυτές τις περιόδους είναι εύγλωττο της ιδιαιτερότητας των ζεστών εποχών: διαπαγετωνικές. Η συστηματική μελέτη του παγιδευμένου αέρα στους παγετώνες της Ανταρκτικής και της Γροιλανδίας αλλά και των ωκεάνιων ιζημάτων έδειξαν ότι προηγούμενες εξαπλώσεις και υπαναχωρήσεις των παγετώνων πραγματοποιήθηκαν σε πολύ μικρές χρονικές περιόδους (περίπου 50 χρόνων) Το τωρινό κλίμα είναι ένα σχετικά σύντομο θερμό διάλειμμα. Η επόμενη Εποχή των Παγετώνων είναι σχεδόν σίγουρο ότι θα φθάσει την κορύφωση της σε περίπου 80.000 χρόνια (Kookla, 2003).

Αυτό που είναι συζητήσιμο είναι το πόσο σύντομα θα αρχίσει. Η τελευταία θεωρία (Kookla, 2003) που εμφανίστηκε για το θέμα διατείνεται ότι η επίδραση των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στην ατμόσφαιρα θα καθυστερήσει σημαντικά το πέρασμα στη νέα εποχή. Αυτό έχει μεγάλη σημασία για την ανθρωπότητα. Οι σταθερές συνθήκες του Ολοκαινίου, που έχουν διατηρηθεί εδώ και 10.000 χρόνια, είναι αυτές που επέτρεψαν την εμφάνιση της γεωργίας, της τεχνολογίας, των μεταφορών και της επακόλουθης πληθυσμιακής έκρηξης που έχουν καταστήσει το ανθρώπινο είδος κυρίαρχο του πλανήτη. Κάθε ουσιαστική αλλαγή του κλίματος θα μας έφερνε πλέον μπροστά σε τεράστιες - έστω και όχι ανυπέρβλητες - προκλήσεις. Μόλις πριν από 30 χρόνια, έπειτα από μια παρατεταμένη περίοδο ψυχρών ετών, αρκετοί μετεωρολόγοι - περιλαμβανομένων κάποιων που τώρα πιστεύουν ότι ο πλανήτης θερμαίνεται - αποφάνθηκαν ότι η Γη ίσως έχει αρχίσει το πέρασμα της στην επόμενη μεγάλη κατάψυξη (Kookla, 2003). Δείγματα από τα ιζήματα των θαλασσών και άλλες πηγές επέμεναν να ορίζουν τη διάρκεια της προηγούμενης θερμής εποχής στα 10.000 χρόνια. Άρα υπέθεταν ότι παρόμοια θα ήταν και η διάρκεια του τωρινού Ολόκαινου.

Η θεώρηση ότι το κρύο ήταν προ των πυλών και αναπόφευκτο συνάντησε ισχυρό αντίλογο πριν από κάποια χρόνια. Νεότερα ευρήματα σχετικά με την προηγούμενη θερμή περίοδο - που σημειώθηκε πριν από 130.000 χρόνια- έδειχναν ότι διήρκεσε 20.000 χρόνια, δηλαδή το διπλάσιο από ό,τι πιστεύαμε. Επίσης άλλοι επιστήμονες εισηγήθηκαν ότι η προ-προηγούμενη θερμή περίοδος- που διήρκεσε 30.000 χρόνια, άρα το τριπλάσιο - ήταν

καταλληλότερο μοντέλο για το Ολόκαινο (Kookla, 2003). Ωστόσο υπάρχουν ακόμη πολλοί ειδικοί που είναι αμετάπειστοι και υποστηρίζουν ότι το τωρινό θερμό κλίμα θα τελειώσει ακολουθώντας πιστά την περιοδικότητα της τροχιακής διαταραχής. Πότε; «Σε μία από τις αμέσως επόμενες χιλιετίες», λέει ο Richard A. Muller, ένας φυσικός του Πανεπιστημίου της Καλιφόρνιας στο Berkeley (Muller and Rhode, 2006). Βεβαίως ο πλανήτης αισθάνεται αναμφισβήτητα και μια νέα επίδραση: αυτή των ανθρώπων.

Όπως υποστηρίζουν αρκετοί μετεωρολόγοι (<http://www.NASA.gov> και <http://www.physics4u.gr>), οι άνθρωποι πρόκειται να καθυστερήσουν την αρχή των παγετώνων για μία, δύο ή και περισσότερες χιλιετίες, ενόσω συνεχίζουν να καίνε τα αποθέματα ορυκτών καυσίμων του πλανήτη, απελευθερώνοντας δισεκατομμύρια τόνους διοξειδίου του άνθρακα και άλλων αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου, που παγιδεύουν τη θερμότητα. «Η μονωτική κουβέρτα που δημιουργούν οι άνθρωποι με τα αέρια του θερμοκηπίου<sup>2</sup> έχει μεγαλύτερη επίδραση στο κλίμα από ό,τι η μικρή διαφοροποίηση στην εισροή ηλιακής ενέργειας που επιφέρουν οι αλλαγές στον προσανατολισμό της Γης ως προς τον Ήλιο», λέει ο δρ. James A. Hansen (Hansen, 2008 και <http://www.NASA.gov>), διευθυντής του Ινστιτούτου Διαστημικών Μελετών Goddard της NASA. «Έχουμε αποκτήσει τον έλεγχο των μηχανισμών που καθορίζουν τις αλλαγές του κλίματος» (Hansen, 2008 και <http://www.NASA.gov>), συμπληρώνει.

Πολλοί όμως επιστήμονες, ενώ συμφωνούν ως προς τη βραχυπρόθεσμη επίδραση, αναφέρουν σε δημοσιεύσεις τους (<http://www.NASA.gov> και <http://www.physics4u.gr>) ότι μακροπρόθεσμα οι ιδιότητες θερμοχωρητικότητας της ατμόσφαιρας, των ωκεανών και της Γης θα επαναφέρουν το ισοζύγιο, επιστρέφοντας τον περισσότερο από τον εκπεμπόμενο άνθρακα στις αποθήκες του (φυσικοί αποδέκτες, όπως, π.χ. τα δάση και οι ωκεανοί) και επιτρέποντας στον τροχιακό ρυθμό των εποχών να κυριαρχήσει ξανά. «Οι τροχιακές αλλαγές έχουν αρχίσει να σέρνουν τον χορό τους αργά αργά και θα τον κορυφώσουν σε 80.000 χρόνια από σήμερα, τονίζει ο δρ Eric J. Barron, κοσμήτορας του Κολεγίου Γεωλογίας και Ορυκτολογίας στο Πανεπιστήμιο της Πενσυλβανίας. «Δύσκολα μπορώ να φαντασθώ ότι η επίδραση του ανθρώπου δεν θα έχει εξαντληθεί ως τότε», λέει (Lamrtey, Barron and Polard, 2005)

Μπορεί να μας φαίνεται ότι η εξαιτίας του ανθρώπου υπερθέρμανση του πλανήτη, έστω και αν συνιστά καταστροφή στην κλίμακα των αιώνων, θα μας είναι χρήσιμη αν καθυστερήσει τους παγετώνες έστω και για κάποιες χιλιετίες. Πολλοί μετεωρολόγοι όμως σημειώνουν ότι γνωρίζουμε ελάχιστα για την πολύπλοκη συσχέτιση μεταξύ των αερίων του θερμοκηπίου, των τροχιακών αλλαγών και άλλων επιδράσεων με το κλίμα. Υπάρχει πιθανότητα να

---

<sup>2</sup> Η θέρμανση της Γης την μετατρέπει σε πομπό επανεκπομπής ακτινοβολίας μεγάλου κυρίως μήκους κύματος (π.χ. υπέρυθρης) στο διάστημα. Στην τροπόσφαιρα υπάρχουν κάποια αέρια (θερμοκηπικά αέρια) που απορροφούν μεγάλο μέρος της εκπεμπόμενης από τη Γη ακτινοβολίας και το επανεκπέμπουν στο διάστημα. Τελικά όμως ακτινοβολούν λιγότερη ακτινοβολία από αυτή που δέχονται από τη γήινη επιφάνεια και αυτό ακριβώς συνιστά το φυσικό φαινόμενο θερμοκηπίου. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να ενισχυθεί εξαιτίας διάφορων ανθρώπινων δραστηριοτήτων.

καταλήξει η ανθρωπογενής υπερθέρμανση σε επιβράδυνση ή και διακοπή της λειτουργίας των ωκεάνιων ρευμάτων που διατηρούν το κλίμα του βορείου ημισφαιρίου θερμότερο από ό,τι διαφορετικά θα ήταν. Το αποτέλεσμα τότε θα είναι μία ταχύτερη μετάπτωση σε Εποχή Παγετώνων παρά η καθυστέρηση της.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΡΑΙΑ

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: τα μέτρα για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και οι συνέπειές τους.

### 4.1 ΓΕΝΙΚΕΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ

Επειδή ο άνθρωπος δεν μπορεί να ελέγξει ούτε τον ήλιο, ούτε τις τροχιακές μεταπτώσεις αλλά ούτε και τις κοσμικές ακτίνες το ενδιαφέρον του θα πρέπει να επικεντρωθεί στην αποτροπή της ενίσχυσης του ατμοσφαιρικού Φαινομένου Θερμοκηπίου, σε όλους τους παράγοντες και τις δραστηριότητες που το προκαλούν και στα μέτρα που θα πρέπει να πάρει προκειμένου να αντιμετωπίσει την υπάρχουσα κατάσταση.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, παράγοντες που ενισχύουν το φαινόμενο είναι οι ανθρώπινες δραστηριότητες που αυξάνουν τα θερμοκηπικά αέρια, κυρίως το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) και το μεθάνιο (CH<sub>4</sub>). Σε αυτές περιλαμβάνονται η αλόγιστη χρήση ορυκτών καυσίμων (γαιανθράκων, πετρελαίου, φυσικού αερίου) στις βιομηχανικές χώρες για τις ανάγκες των μεταφορών και της βιομηχανίας, η βιομηχανοποιημένη γεωργία και κτηνοτροφία, οι οποίες συσσωρεύουν μεθάνιο (CH<sub>4</sub>) στην ατμόσφαιρα, αλλά και η καταστροφή των δασών, ιδιαίτερα με πυρκαγιές. Η λύση του προβλήματος βεβαίως λέγεται «ΗΠΙΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ». Δηλαδή η χρήση της ηλιακής, της γεωθερμικής, της αιολικής, της βιομάζας αλλά και της πυρηνικής ενέργειας (Young, 1991 και Γεωργόπουλος, 1996). Η αντικατάσταση των συμβατικών καυσίμων και η καθιέρωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι εφικτή στις μέρες μας, αφού η απαραίτητη τεχνολογία και τεχνογνωσία υπάρχουν και προβλέπεται να εξελιχθούν περαιτέρω. Κύριο εμπόδιο για αυτό, το οποίο πρέπει το ταχύτερο να εξουδετερωθεί, είναι τα τεράστια συμφέροντα των πολυεθνικών εταιριών, ιδίως των πετρελαϊκών, που καταδυναστεύουν τους λαούς.

Αλλά και πριν ακόμα περάσουμε στην χρήση αυτών των μορφών ενέργειας, είναι δυνατόν να επιβραδύνουμε τουλάχιστον τις αρνητικές επιπτώσεις του φαινομένου, αρκεί τα κράτη να επιβάλλουν εκσυγχρονισμό των βιομηχανιών και των οχημάτων αλλά και περιορισμό της υπερκαταναλωτικής μανίας των πολιτών τους. Όλες οι σκέψεις και οι δράσεις μας, τόσο σε ατομικό όσο και σε συλλογικό επίπεδο, αν θέλουμε να έχουμε μέλλον, πρέπει να διέπονται από το ακόλουθο τρίπτυχο (<http://www.greenpeace.org>):

Εξοικονόμηση- Επαναχρησιμοποίηση- Ανακύκλωση.

Στη συνέχεια θα δούμε πως το παραπάνω τρίπτυχο μπορεί να εξιδικευτεί σε συγκεκριμένες περιβαλλοντικές δράσεις για καθέναν από τους κύριους εμπλεκόμενους παράγοντες στο πρόβλημα, δηλαδή τους ιθύνοντες της παγκόσμιας οικονομίας (κυβερνήσεις- διεθνείς οργανισμοί), βιομηχανίες, γεωργία και απλοί πολίτες.

#### **4.2 ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΟΝ ΤΡΟΠΟ ΣΚΕΨΗΣ ΤΩΝ ΙΘΥΝΟΝΤΩΝ ΤΗΣ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ**

Η αλλαγή του κλίματος είναι ένα ζήτημα που λόγω της φύσης του θα μας απασχολεί για πολύ καιρό. Τα μακροπρόθεσμα ενεργειακά σενάρια που έχουμε διερευνούν πώς στο πρώτο μισό του αιώνα μας το παγκόσμιο σύστημα της ενέργειας θα καταφέρει να ανταποκριθεί στην πρόκληση της στήριξης της αυξανόμενης ευμάρειας χωρίς σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, ιδίως από την άποψη του κλίματος. Το ερώτημα εάν οι μελλοντικές ενεργειακές ανάγκες μπορούν να ικανοποιηθούν με ασφάλεια εμπεριέχει απροσδιοριστίες τόσο όσον αφορά τις επιδράσεις στο περιβάλλον όσο και τις ενεργειακές ανάγκες. Πότε μπορούμε να πούμε ότι τα επίπεδα των περιβαλλοντικών επιπτώσεων είναι επικίνδυνα; Πόση ενέργεια απαιτείται για τη διατήρηση της παγκόσμιας ευμάρειας;

Τα σενάρια εξερευνούν κόσμους στους οποίους η ανησυχία για την ενδεχόμενη αλλαγή του κλίματος συνυπάρχει με μια μυριάδα άλλων ζητημάτων που καλούνται να αντιμετωπίσουν κυβερνήσεις, επιχειρήσεις και μεμονωμένα άτομα. Τα σενάρια δεν έχουν εκπονηθεί με βάση την αλλαγή του κλίματος αλλά αμφότερα εξερευνούν πιθανές πορείες που είναι συμβατές με τη σταθεροποίηση του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα σε επίπεδα που κατά κοινή παραδοχή δεν θα οδηγήσουν σε καταστρεπτική μεταβολή του κλιματικού συστήματος. Οι αναπτυξιακές προσπάθειες με μακροπρόθεσμο προσανατολισμό πρέπει να στοχεύουν και στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Ο σχεδιασμός αυτών παραδοσιακά αποτελούσε μέλημα των εθνικών κυβερνήσεων, αν και τα τελευταία χρόνια ενισχύεται ο ρόλος των διάφορων διακρατικών και διεθνών οικονομικών οργανισμών, όπως η Παγκόσμια Τράπεζα, το Διεθνές Νομισματικό Ταμείο, η Ευρωπαϊκή Ένωση κ.λ.π.

Σε κάθε περίπτωση όλοι οι παραπάνω χρειάζεται να προωθήσουν ενέργειες και δράσεις που να στοχεύουν στον περιορισμό των εκπομπών θερμοκηπικών αερίων. Οι κυριότερες από αυτές είναι (Gribbin, 1992 και Γεωργόπουλος, 1996):

- 1) Υπογραφή και ουσιαστική τήρηση των ποικίλων διεθνών συμφωνιών για τον περιορισμό των εκπομπών θερμοκηπικών αερίων (Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ για τα CFC<sub>s</sub> και Πρωτόκολλο του Κιότο). Αυτό επιβάλλεται να συνδυαστεί με τη δημιουργία ενός σταθερού παγκόσμιου ρυθμιστικού καθεστώτος που να περιλαμβάνει βιομηχανικές και μη πηγές εκπομπών, να μη στρεβλώνει τις αγορές και να ενθαρρύνει τις επιχειρήσεις και ιδιώτες να προβαίνουν σε

μακροπρόθεσμες επενδύσεις για το μετριασμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, επιβραβεύοντας παράλληλα την έγκαιρη ανάληψη δράσης.

- 2) Εξασφάλιση της συνεργασίας των αναπτυσσόμενων χωρών και παροχή βοήθειας προς αυτές ώστε να ακολουθήσουν μια ενεργειακή πορεία περιορισμένων εκπομπών, λόγου χάρη, μέσω του Μηχανισμού Καθαρής Ανάπτυξης (Gribbin, 1992 και Γεωργόπουλος, 1996). Ας τονιστεί εδώ ότι οι ευέλικτοι μηχανισμοί της αγοράς, όπως τα προγράμματα εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπών τύπου «ανωτάτου ορίου και εμπορίου» (cap and trade) (<http://www.enet.gr>), μπορούν να συμβάλλουν στη διαχείριση της παρούσας κατάστασης, σε καμμία περίπτωση όμως δεν αποτελούν πανάκεια. Το πρόβλημα αφορά όλη την υφήλιο και η ολοκληρωμένη αντιμετώπισή του απαιτεί τη διεθνή συνεργασία.
- 3) Ενίσχυση των χερσαίων και θαλάσσιων μέσων μαζικής μεταφοράς, τόσο για αστικές όσο και για υπεραστικές μεταφορές, ιδιαίτερα των κάθε είδους τραίνων και των λεωφορείων. Καταναλώνουν πολύ λιγότερη ενέργεια σε σχέση με τα αυτοκίνητα ή τα αεροπλάνα, αν μάλιστα είναι και ηλεκτροκίνητα περιορίζεται δραστικά το νέφος των μεγαλουπόλεων. Οι υπεραστικοί σιδηρόδρομοι μπορούν να είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικοί και στην ταχεία και ασφαλή μεταφορά εμπορευμάτων.
- 4) Συντονισμός και καταβολή άσκων προσπάθειών για τον έλεγχο των εκπομπών θερμοκηπικών αερίων που προκαλούνται από υπερεθνικές πηγές, όπως είναι η εμπορική και ποντοπόρος ναυτιλία ή οι αερομεταφορές.
- 5) Ποικιλότροπη στήριξη ηθική, νομοθετική και οικονομική των ήπιων και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπου αυτό είναι εφικτό, ακόμα και για την παραγωγή ζεστού νερού και ηλεκτρισμού για οικιακή κατανάλωση. Οι ήπιες μορφές ενέργειας ή «ανανεώσιμες πηγές ενέργειας» (Α.Π.Ε.) ή «νέες πηγές ενέργειας» είναι μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχεται από διάφορες φυσικές διαδικασίες, όπως ο άνεμος, η γεωθερμία, η κυκλοφορία του νερού και άλλες. Ο όρος «ήπιες» αναφέρεται σε δυο βασικά χαρακτηριστικά τους. Καταρχήν, για την εκμετάλλευσή τους δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση, όπως εξόρυξη, άντληση, καύση, όπως με τις μέχρι τώρα χρησιμοποιούμενες πηγές ενέργειας (πετρέλαιο, φυσικό αέριο, γαιάνθρακες, ουράνιο), αλλά απλώς η εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στη φύση. Δεύτερον, πρόκειται για «καθαρές» μορφές ενέργειας, πολύ φιλικές στο περιβάλλον, που δεν αποδεδμεύουν υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα ή τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα όπως οι υπόλοιπες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα. Ως «ανανεώσιμες πηγές» θεωρούνται γενικά οι εναλλακτικές των παραδοσιακών πηγών ενέργειας (π.χ. του πετρελαίου ή του άνθρακα). Οι κυριότερες είναι η ηλιακή ενέργεια, η αιολική ενέργεια, οι υδατοπτώσεις, η βιομάζα, η γεωθερμική ενέργεια, η ενέργεια από παλίρροιας, από θαλάσσια κύματα και ωκεανούς. Ο χαρακτηρισμός «ανανεώσιμες» είναι κάπως

καταχρηστικός, μια και ορισμένες από αυτές τις πηγές, όπως η γεωθερμική ενέργεια δεν ανανεώνονται σε κλίμακα χιλιετιών.

- 6) Ολοκληρωμένη διαχείριση των απορριμάτων. Η αποτέφρωση, η «υγειονομική ταφή» και πολύ περισσότερο οι ανεξέλεγκτοι χώροι διάθεσης (χωματερές) δε συμβαδίζουν με τις απαιτήσεις και τις ανάγκες του περιβάλλοντος και της κοινωνίας στις αρχές του 21<sup>ου</sup> αιώνα, ενώ οδηγούν σε μη αξιοποιήσιμη κατάσταση υλικά για τα οποία απαιτήθηκε χρόνος, σπάνιες πρώτες ύλες και πολύτιμη ενέργεια για να παραχθούν, γεμίζοντας συχνά την ατμόσφαιρα με μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα και μεθανίου. Τα περισσότερα από αυτά που καταλήγουν στα σκουπίδια μπορούν να ανακυκλωθούν, ιδίως τα μέταλλα, το γυαλί, το πλαστικό, τα ελαστικά και το χαρτί (εκτός των ειδών προσωπικής υγιεινής), ενώ τα υπόλοιπα μπορούν να μετατραπούν σε οργανικό εδαφοβελτιωτικό (κομπόστ), με παράλληλη συλλογή του πλούσιου σε μεθάνιο εκλυόμενου βιοαερίου για να χρησιμοποιηθεί σαν καύσιμο.
- 7) Ενίσχυση κάθε δράσης που θα μπορούσε να συμβάλει στην εξοικονόμηση ενέργειας και πρώτων υλών, όπως η αλλαγή των παλιού τύπου λαμπτήρων πυράκτωσης με λαμπτήρες φθορισμού και των παλιού τύπου ηλεκτρικών συσκευών με νέες, οικονομικότερες. Από την άλλη, με κατάλληλη αποτρεπτική- φορολογική πολιτική θα έπρεπε να αποθαρρύνονται ενέργειες που προκαλούν μεγάλη ρύπανση χωρίς λόγο, όπως η αγορά ιδιωτικής χρήσης επιβατικών αυτοκινήτων πολύ μεγάλου κυβισμού (μεγαλύτερου από 3 l).
- 8) Επένδυση στην έρευνα τόσο πάνω στις κλιματικές αλλαγές και στις αιτίες τους όσο και στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και στις τεχνικές εξοικονόμησής της. Η πληρέστερη κατανόηση του φαινομένου θα μας επιτρέψει τουλάχιστον να μην το επιδεινώσουμε, ενώ οι άλλοι δυο τομείς θα μας δώσουν τα μέσα για να το πετύχουμε.

Το σημαντικότερο όμως είναι η αλλαγή οικονομικής νοοτροπίας. Μέχρι τώρα καλλιεργείται και επιδιώκεται η ανεξέλεγκτη διακίνηση αγαθών και υπηρεσιών, με αποκλειστικό σκοπό το κέρδος, ιδιαίτερα των μεγάλων πολυεθνικών επιχειρήσεων. Τα περισσότερα καταναλωτικά αγαθά παράγονται μαζικά σε μεγάλα εργοστάσια, οπότε το κόστος παραγωγής τους μειώνεται δραστικά και η αξία των πρώτων υλών τους ελάχιστα συμμετέχει στην τιμή του τελικού προϊόντος. Άλλωστε οι τιμές των κυριότερων από αυτές καθορίζονται στα ανά τον κόσμο χρηματιστήρια με βάση το «Νόμο της Προσφοράς και της Ζήτησης», δηλαδή ουσιαστικά με βάση την απόφαση κάποιων επενδυτικών κύκλων να δημιουργήσουν ή όχι απόθεμα από αυτές για να το πουλήσουν στο μέλλον. Έτσι οι παραγωγικές μονάδες εγκαθίστανται συνήθως εκεί όπου τα ημερομίσθια είναι όσο το δυνατόν χαμηλότερα, η περιβαλλοντική και εργατική νομοθεσία ελαστικότερη και η νομισματική μονάδα περισσότερο υποτιμημένη, όπως στην Κίνα και γενικότερα στην Άπω Ανατολή.

Αυτό μπορεί να έχει βραχυπρόθεσμα ωφελήσει κλάδους, ιδιαίτερα τη σύγχρονη τεχνολογία, τις τηλεπικοινωνίες και την πληροφορική, μακροπρόθεσμα όμως μπορεί να απειλήσει την ίδια την ύπαρξη του ανθρώπινου γένους, πέρα από τα ποικίλα κοινωνικά προβλήματα που εμφανώς προκαλεί (ανεργία σε κάποια κράτη, παιδική εργασία σε άλλα). Πουθενά δεν κοστολογείται η μη ανανεωσιμότητα των πρώτων υλών (ορυκτά καύσιμα, μέταλλα) ή η ρύπανση που προκαλεί η παραγωγή, η χρήση και τελικά η απόρριψη στο περιβάλλον των τελικών προϊόντων. Επίσης η μεταφορά αγαθών επιβαρύνει την ατμόσφαιρα (ο τομέας των μεταφορών έρχεται δεύτερος στις εκπομπές θερμοκηπικών αερίων μετά τον τομέα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας- E.U., 2006, Energy and Transport 2006 in figures) αλλά αυτό ελάχιστα επηρεάζει την τελική τιμή τους γιατί κάποιοι αυθαίρετα (πολυεθνικές εταιρείες) αποφάσισαν ότι η τιμή του πετρελαίου πρέπει να είναι σχετικά χαμηλή. Ας τονιστεί στο σημείο αυτό ότι καμμία αυστηρή περιβαλλοντική νομοθεσία δεν έχει νόημα αν οι επιχειρήσεις μπορούν να την αποφύγουν μεταφέροντας τις δραστηριότητές τους σε κράτη όπου αυτή δεν ισχύει και στη συνέχεια ανενόχλητες και με μεγαλύτερο οικονομικό όφελος πουλούν τα προϊόντα τους όπου επιθυμούν.

Φυσικά δεν ισχυριζόμαστε ότι οι επιχειρηματίες δεν πρέπει να κερδίζουν, δεν μπορεί όμως η διαρκής αύξηση των κερδών τους να αποτελεί το κύριο μέλημα της κοινωνίας μας διότι πολύ απλά όχι μόνο η κοινωνία αλλά και ο πλανήτης δεν το ανέχεται (ο παγκόσμιος πληθυσμός αυξάνει και οι φυσικοί πόροι δεν είναι ανεξάντλητοι). Αντί για την παρούσα κατάσταση απαιτείται ένα νέο σύστημα οικονομικών αξιών, αν είναι δυνατόν παγκόσμιας ισχύος, στηριγμένο σε σταθερές κόστος προϊόντων και πρώτων υλών με βάση κυρίως τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις τους και στην περιβαλλοντική αρχή «Ο ρυπαίνων πληρώνει». Επιπλέον, τα βασικά καταναλωτικά αγαθά πρέπει να καταβάλλεται προσπάθεια να παράγονται όσο το δυνατόν πιο κοντά στους τόπους κατανάλωσής τους για να περιοριστούν οι άσκοπες μεταφορές.

#### **4.3 ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ**

Οι βιομηχανίες είναι καιρός να αρχίσουν να συμμερίζονται τη γενική ανησυχία για τις πιθανές αλλαγές που επιφέρουν στο παγκόσμιο κλίμα τα προερχόμενα από ανθρώπινες δραστηριότητες αέρια του θερμοκηπίου. Αυτό αφορά ιδιαίτερα τις πλέον ρυπογόνες μονάδες, δηλαδή τα θερμοηλεκτρικά εργοστάσια ηλεκτροπαραγωγής, τα διυλιστήρια, τις μεταλλουργίες, τις τσιμεντοβιομηχανίες, τις χημικές βιομηχανίες και τη χαρτοποιία, αφού συμβάλλουν καθοριστικά στην παραγωγή και εκπομπή τέτοιων ουσιών. Θα πρέπει να αναληφθεί άμεσα δράση προκειμένου να τεθούν τα θεμέλια για τη σταθεροποίηση των συγκεντρώσεων αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα κατά δίκαιο και οικονομικά βιώσιμο τρόπο. Είναι καιρός να εφαρμοστούν σταθερές πολιτικές που θα βοηθήσουν τους καταναλωτές και τους προμηθευτές ενέργειας να επιδιώξουν καινοτόμες ενεργειακές λύσεις.



Τα ορυκτά καύσιμα φαίνεται πως θα εξακολουθούν και αυτό τον αιώνα να καλύπτουν σημαντικό κομμάτι των ολοένα αυξανόμενων παγκόσμιων ενεργειακών αναγκών, αφού τα θερμοηλεκτρικά εργοστάσια αποτελούν τον ασφαλέστερο τρόπο παραγωγής της απαραίτητης ηλεκτρικής ενέργειας ώστε να φτάνει αδιάλειπτα σχεδόν σε κάθε σπίτι μέσα από εκτεταμένα δίκτυα διανομής. Ωστόσο ο ρόλος τους μπορεί να περιοριστεί σημαντικά (σε πολλές περιπτώσεις πάνω από 50%- Gribbin, 1992) με τη διάδοση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Α.Π.Ε.). Η Έκθεση Renewables 2007 Global Status Report που ετοιμάστηκε από το Renewable Energy Network for the 21st Century σε συνεργασία με το Worldwatch Institute (<http://www.shell.com>), παρουσιάζει μια εικόνα ταχείας ανάπτυξης για τον τομέα των Α.Π.Ε. καθώς και αντίστοιχες πολιτικές και εφαρμογές. Από τα στοιχεία της έκθεσης ξεχωρίζουν και δείχνουν τη δυναμική των νέων ενεργειακών πηγών τα ακόλουθα:

- Οι «νέες» Α.Π.Ε. (ηλιακή, αιολική ενέργεια κ.λ.π.) συνεισφέρουν το **3,4% της παγκόσμιας παραγωγής ηλεκτρισμού** (το ένα τέταρτο της παγκόσμιας πυρηνικής ηλεκτροπαραγωγής) με ένα πρόσθετο 15% να προέρχεται από μεγάλους υδροηλεκτρικούς σταθμούς.
- Η εγκατεστημένη ισχύς **αιολικών** πάρκων αυξήθηκε κατά 25% το 2007 φθάνοντας τα 95.000 MW. Η τεχνολογία με το μεγαλύτερο ρυθμό αύξησης (50%) είναι τα **φωτοβολταϊκά** συνδεδεμένα στο δίκτυο (7.700 MW) ενώ άλλα 2700 MW βρίσκονται σε αυτόνομα συστήματα.
- Η εγκατεστημένη ισχύς **ηλιακών θερμικών συστημάτων** αυξήθηκε κατά 19% φθάνοντας τα 105.000 MW. Το 70% αυτών είναι εγκατεστημένα σε αναπτυσσόμενες χώρες. Παράλληλα  $5 \cdot 10^7$  κτίρια παγκοσμίως εξασφαλίζουν ζεστό νερό από τον ήλιο.
- Πάνω από  $5 \cdot 10^6$  συστήματα με **γεωθερμικές αντλίες θερμότητας** είναι εγκατεστημένα παγκοσμίως.
- Η παραγωγή **βιοκαυσίμων** αυξήθηκε κατά 43% τα 2 τελευταία χρόνια φθάνοντας τα  $5,3 \cdot 10^7$  τόνους.
- Οι συνολικές **επενδύσεις** στις ΑΠΕ έφτασαν τα 71 δις δολάρια (το 47% των οποίων για αιολικά, το 30% για φωτοβολταϊκά). Επιπλέον, 15-20 δις δολάρια επενδύθηκαν για μεγάλα υδροηλεκτρικά.
- Οι **θέσεις εργασίας** για παραγωγή-λειτουργία-συντήρηση Α.Π.Ε. έφτασαν τα 2,4 εκατομμύρια το 2006.

Στο σημείο αυτό χρειάζεται να γίνει λόγος για τα βιοκαύσιμα, αφού παρατηρείται τελευταία μεγάλο ενδιαφέρον και για αυτά διεθνώς. Με τον όρο βιοκαύσιμα (Colbert, 2007) εννοούμε υποκατάστατα των ορυκτών καυσίμων που παρασκευάζονται απευθείας από φυτικές ή ζωικές πρώτες ύλες, συνήθως με κάποια διαδικασία ζύμωσης. Ως βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς συνήθως αναφέρονται εκείνα τα οποία παράγονται απευθείας με κατεργασία και ζύμωση καρπών καλλιεργούμενων φυτών ενώ βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς θεωρούνται εκείνα που παράγονται από υποπροϊόντα βιομηχανιών τροφίμων ή απορρίματα. Τα κυριότερα από αυτά είναι:

- Το βιοαέριο (<http://www.greenpeace.org>). Το κυριότερο συστατικό του είναι το μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ). Παράγεται κατά την αποικοδόμηση ή λιπασματοποίηση οργανικών απορριμάτων και συλλέγεται με

κατάλληλες εγκαταστάσεις. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υποκατάστατο του φυσικού αερίου σε πολλές εφαρμογές, έχει όμως περιορισμένη θερμαντική ικανότητα αφού έχει μικρότερη περιεκτικότητα σε μεθάνιο.

- Η βιαιθανόλη (<http://www.greenpeace.org>). Πρόκειται για αιθανόλη-οινόπνευμα ( $C_2H_5OH$ ) που παράγεται με αλκοολική ζύμωση πλούσιων σε ζάχαρη ή άμυλο φυτών, συνήθως μεγάλης καλλιέργειας, και κλασματική απόσταξη του μίγματος που προκύπτει. Εναλλακτικά την πρώτη ύλη της μπορεί να αποτελέσει η μελάσσα, υποπροϊόν της βιομηχανίας ζάχαρης. Χρησιμοποιείται ως εναλλακτικό καύσιμο της αμόλυβδης βενζίνης σε βενζινοκινητήρες.
- Η βιομεθανόλη (<http://www.greenpeace.org>). Πρόκειται για μεθανόλη-ξυλόπνευμα ( $CH_3OH$ ) που παράγεται με ξηρά απόσταξη ξύλων. Χρησιμοποιείται και αυτή ως εναλλακτικό καύσιμο της αμόλυβδης βενζίνης σε βενζινοκινητήρες.
- Το βιοντίζελ (<http://www.greenpeace.org>). Είναι μίγμα υδρογονανθράκων, σύστασης παρεμφερούς με το αερίελλαιο (καύσιμο μηχανών Diesel), αλλά παράγεται με κατάλληλη επεξεργασία λαδιών (συνήθως σπορελαίων), αλλοιωμένων ή χρησιμοποιημένων. Χρησιμοποιείται ως εναλλακτικό καύσιμο πετρελαιοκινητήρων.

Από την παραπάνω παρουσίαση εύκολα γίνεται κατανοητό ότι τα βιοκαύσιμα είναι ασύμφορα από άποψη συμβατικού και οικολογικού κόστους, ιδιαίτερα αν για την καλλιέργειά τους χρησιμοποιηθούν εντατικές μέθοδοι και παραγωγικά εδάφη. Η διάδοσή τους υπό αυτές τις συνθήκες μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της παγκόσμιας διαθεσιμότητας των τροφίμων. Λύση σε αυτό το πρόβλημα είναι η χρήση ως πρώτων υλών τους υποπροϊόντων και απορριμάτων ή η καλλιέργεια των αντίστοιχων φυτών σε εδάφη και περιοχές όπου άλλες χρήσεις γης δεν είναι αποδοτικές. Σε κάθε περίπτωση αποτελούν ένα βελτιωμένο ή εφάμιλλης αξίας υποκατάστατο ορισμένων ορυκτών καυσίμων. Μπορούν να συμβάλλουν στον περιορισμό της εξάρτησης από εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα, στη δημιουργία στρατηγικών αποθεμάτων για περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης (π.χ. πόλεμοι) και σε εφαρμογές στις οποίες οι μηχανές εσωτερικής καύσης είναι δύσκολο να αντικατασταθούν (κίνηση γεωργικών ελκυστήρων και μηχανημάτων), όχι όμως στο δραστικό περιορισμό των θερμοκηπτικών αερίων, αφού εξακολουθούν να εκπέμπουν τέτοια.

Ο επόμενος στόχος πρέπει να είναι, με δεδομένη την ανάγκη έστω και περιορισμένης χρήσης ορυκτών ή άλλης προέλευσης καυσίμων, ο περιορισμός των βιομηχανικών εκπομπών σε θερμοκηπτικά αέρια. Για το σκοπό αυτόν χρειάζεται (<http://www.shell.com>):

- 1) Η μέτρηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τις βιομηχανικές μονάδες σε όλο τον κόσμο, με διασφάλιση της εγκυρότητας αυτής από ανεξάρτητους φορείς.

- 2) Η παύση της ανεξέλεγκτης καύσης (venting) του πτωχού αερίου, υποπροϊόντος κατά την εξόρυξη και την κλασματική απόσταξη του πετρελαίου.
- 3) Ο συνυπολογισμός του κόστους των μελλοντικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σε όλες τις νέες επενδύσεις.
- 4) Η εφαρμογή νέων επιθετικών προγραμμάτων εξοικονόμησης ενέργειας. Απαιτείται πλέον συνολική προσέγγιση του θέματος από την παραγωγή των καυσίμων έως την κατανάλωσή τους, με παράλληλη ενθάρυνση των παραγωγών και των καταναλωτών ενέργειας να λαμβάνουν μέτρα που θα έχουν ως αποτέλεσμα χαμηλότερες εκπομπές. Πιο συγκεκριμένα αυτές επιτυγχάνονται με:
  - τη χρήση καυσίμων που παράγουν χαμηλότερες εκπομπές και καυσίμων κατάλληλων για κινητήρες χαμηλότερων εκπομπών.
  - τη χρήση αποδοτικού εξοπλισμού και συμπεριφοράς.
  - τη χρήση καινοτόμου τεχνολογίας για τη δημιουργία προϊόντων και υπηρεσιών που εξασφαλίζουν χαμηλές εκπομπές άνθρακα.
  - την προώθηση του φυσικού αερίου ως πιο καθαρή εναλλακτικής λύσης για την ηλεκτροπαραγωγή, τη θέρμανση και τις μεταφορές αφού είναι αποδοτικότερο από τα υπόλοιπα και παράγει αναλογικά λιγότερο CO<sub>2</sub> κατά την καύση του.
  - χρήση του υδρογόνου (H<sub>2</sub>) ως εναλλακτικού καυσίμου, που το μοναδικό σχεδόν προϊόν της καύσης του είναι το νερό. Το πρόβλημα είναι πως προς το παρόν δεν είναι διαθέσιμη ενεργειακά συμφέρουσα τεχνολογία παραγωγής του και χρησιμοποιούμε μόνο όσο παράγεται ως υποπροϊόν της πετροχημικής βιομηχανίας και από την κλασματική απόσταξη του ατμοσφαιρικού αέρα. Είναι επίσης ιδιαίτερα εύφλεκτο.

Ένας ακόμα πολλά υποσχόμενος τομέας για τον περιορισμό των θερμοκηπικών αερίων είναι η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών για τη συλλογή και την αποθήκευση του παραγόμενου διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) από διάφορες διεργασίες ώστε να μη συσσωρεύεται ανεξέλεγκτα στην ατμόσφαιρα (Gribbin, 1992 και <http://www.shell.com>). Οι μέχρι σήμερα γνωστές είναι συνοπτικά οι ακόλουθες:

- 1) Απομόνωση (sequestration) του διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) είναι η μακροπρόθεσμη αποθήκευση του CO<sub>2</sub> μέσα σε κάποιο μέσο ως εναλλακτική λύση στην εκπομπή του στην ατμόσφαιρα. Είναι μια σημαντική επιλογή ανάμεσα στις τεχνολογίες που ο κόσμος έχει διαθέσιμες για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Η άμεση απομάκρυνση καθιστά πιθανή την παραγωγή του υδρογόνου από την καύση ορυκτών καυσίμων χωρίς εκπομπές CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να διαδραματίσει ένα σημαντικό ρόλο στη διευκόλυνση της μετάβασης σε ένα ενεργειακό σύστημα καυσίμων χαμηλού ή μηδενικού άνθρακα που χρησιμοποιεί το υδρογόνο ως ενεργειακό μεταφορέα (Gribbin, 1992 και <http://www.shell.com>).

- 2) Η βιολογική απομάκρυνση χρησιμοποιεί το φυσικό κύκλο ζωής του άνθρακα για να αποθηκεύσει το CO<sub>2</sub> μέσα στο φυτικό ιστό μέσω της αλλαγής χρήσης του εδάφους και της αναδάσωσης. Δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να διαχειριστεί τις άμεσες εκπομπές από μια εγκατάσταση, αλλά χρησιμοποιείται έμμεσα για να απομακρύνει ένα ισοδύναμο ποσό του CO<sub>2</sub> σε μια άλλη θέση και σε κάποιο άλλο χρόνο. Η βιολογική απομάκρυνση είναι μια σημαντική επιλογή, δυστυχώς όμως ακόμα περιορισμένης χρήσης. Ωστόσο, θα μπορούσε να προσφέρει ένα πρόσθετο όφελος συνδεδεμένο με τη συντήρηση των οικοσυστημάτων (Gribbin, 1992 και <http://www.shell.com>).
- 3) Η επιφανειακή μεταλλοποίηση περιλαμβάνει τη χημική σταθεροποίηση διοξειδίου του άνθρακα στα ανόργανα ανθρακικά άλατα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τα οικοδομικά και άλλα υλικά αγαθά μεγάλου χρόνου ζωής (Gribbin, 1992 και <http://www.shell.com>).
- 4) Η ωκεάνια απομάκρυνση περιλαμβάνει την απόθεση του CO<sub>2</sub> υψηλής καθαρότητας σε βαθιά μέρη των ωκεανών όπου μπορεί να παραμείνει σε υγρή κατάσταση σε χαμηλή θερμοκρασία και σε υψηλή πίεση. Αυτή είναι μια τεχνολογία που βρίσκεται ακόμα στα σπάργανα, και απαιτεί ιδιαίτερη έρευνα για την επίλυση ζητημάτων, όπως ο αντίκτυπος στο οικοσύστημα και η μακροζωία της αποθήκευσης (Gribbin, 1992 και <http://www.shell.com>).
- 5) Η γεωλογική απομάκρυνση περιλαμβάνει την έγχυση του CO<sub>2</sub> σε γεωλογικούς σχηματισμούς ή εγκαταλειμμένων ορυχείων κάτω από την επιφάνεια της Γης (<http://www.shell.com>). Εάν η πηγή του CO<sub>2</sub> δεν είναι ικανοποιητικής καθαρότητας, πρέπει πρώτα να πραγματοποιηθεί διαχωρισμός. Μεγάλες πετρελαϊκές πολυεθνικές εταιρείες όπως η Shell υποστηρίζουν και εμπλέκονται στην ανάπτυξη και την επέκταση της γεωλογικής απομάκρυνσης ως ένα ασφαλές, αξιόπιστο και τελικά οικονομικά αποδοτικό μηχανισμό για να μειώσουν τις βιομηχανικές εκπομπές του CO<sub>2</sub>. Η τεχνολογία που απαιτείται για τη γεωλογική απομάκρυνση είναι αποδεκτή και σε ευρεία χρήση στη βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου για την αυξημένη ανάκτηση πετρελαίου. Επιπλέον, η σχετική έρευνα επεκτείνει την υπάρχουσα γνώση μας στην κατανόηση των υπεδάφινων δομών και διαδικασιών. Η διαδεδομένη και μεγάλη ικανότητα αποθήκευσης έχει προσδιοριστεί ότι είναι επαρκής για να αποθηκεύσει σημαντικά ποσά των παγκόσμιων εκπομπών του CO<sub>2</sub> κατά τη διάρκεια του επόμενου αιώνα. Έρευνα έχει αποδείξει ότι το CO<sub>2</sub> μπορεί να αποθηκευτεί ασφαλώς για χιλιάδες έτη ή και περισσότερο. Εργασίες και υπαίθριες δοκιμές βρίσκονται σε εξέλιξη για την περαιτέρω διευκρίνιση των σχετικών κινδύνων (Gribbin, 1992 και <http://www.shell.com>).

Μπορεί οι επιχειρήσεις να θεωρούν ότι το περιβάλλον αποτελεί πηγή δυσκολιών και κόστους βραχυπρόθεσμα αλλά μεσοπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα είναι πηγή πλεονεκτημάτων τόσο σε οικονομικό όσο και σε εμπορικό επίπεδο. Πράγματι, η ανάγκη τήρησης ορισμένων περιβαλλοντικών δεσμεύσεων οδηγεί στην **τόνωση της έρευνας και της καινοτομίας** και στη δημιουργία νέων αγορών. Η ίδια ανάγκη υπαγορεύει και την αναδιοργάνωση

των επιχειρήσεων, με τελικό αποτέλεσμα την εξοικονόμηση πόρων. Στον τομέα της ενέργειας, για παράδειγμα, με τον εξορθολογισμό της δραστηριότητας μιας επιχείρησης επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας, και με τη χρήση ανανεώσιμων ενεργειακών πηγών αντιμετωπίζεται ο κίνδυνος αφενός της αύξησης του κόστους της ενέργειας από μη ανανεώσιμες πηγές, αφετέρου της εξάντλησης των ενεργειακών πόρων.

Άλλωστε, οι καταναλωτές προσανατολίζουν όλο και περισσότερο τις επιλογές τους σε προϊόντα ή υπηρεσίες που σέβονται τα κοινωνικά ή περιβαλλοντικά πρότυπα, γεγονός που από μόνο του αποτελεί επαρκές κίνητρο για πολυάριθμες επιχειρήσεις να επενδύουν στην τήρηση αυτών των προτύπων. Ως προς το θέμα αυτό, η Ευρωπαϊκή Ένωση πρόσφατα καθιέρωσε ένα **οικολογικό σήμα** που απονέμεται σε προϊόντα που ευθύνονται λιγότερο για την υποβάθμιση του περιβάλλοντος σε σύγκριση με άλλα προϊόντα της ίδιας κατηγορίας.

#### **4.4 ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ**

Σύμφωνα με όλες τις μελέτες (Gribbin, 1992) που έχουν δει το φως της δημοσιότητας ο πρωτογενής τομέας και ιδιαίτερα η γεωργία και η κτηνοτροφία θα δεχτούν τα μεγαλύτερα πλήγματα από τις επερχόμενες κλιματικές αλλαγές, θέτοντας σε κίνδυνο την επιβίωση εκατομμυρίων ανθρώπων, ιδιαίτερα στις υποανάπτυκτα κράτη. Από την άλλη, όπως συζητήθηκε στο κεφάλαιο 2, συμβάλλουν και αυτές στην παραγωγή θερμοκηπικών αερίων, ιδιαίτερα μεθανίου, έστω και σε μικρότερο βαθμό από τη βιομηχανία και τις μεταφορές (Gribbin, 1992). Για να περιοριστεί η βλαβερή επίδρασή τους στο κλίμα της γης αλλά και να προσαρμοστούν στα νέα δεδομένα, παράγοντας επαρκή και ποιοτικά αγαθά, είναι απαραίτητη η ανάληψη ορισμένων δράσεων:

- 1) Διεύρυνση της χρήσης ανακυκλωμένου νερού στη γεωργία, έτσι ώστε όλες οι παραγόμενες ποσότητες να αξιοποιούνται αποδοτικότερα. Επίσης, να εντατικοποιηθεί η ενημέρωση των αγροτών σχετικά με την ορθολογική χρήση και διαχείριση του νερού άρδευσης (Gribbin, 1992).
- 2) Αξιοποίηση και υποβαθμισμένων εδαφών για γεωργική παραγωγή, έτσι ώστε να αποθηκεύεται στο έδαφος άνθρακας, μειώνοντας ταυτόχρονα τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου αλλά και της συγκέντρωσης τους στην ατμόσφαιρα. Για παράδειγμα η εφαρμογή φυτικών υπολειμμάτων σε τέτοια εδάφη θα μπορούσε να αποτελέσει ένα μέτρο προς αυτή την κατεύθυνση (Gribbin, 1992).
- 3) Στις καλλιεργούμενες εκτάσεις να εφαρμόζονται συστήματα παραγωγής χαμηλών εισροών λιπασμάτων και γεωργικών φαρμάκων, όπως για παράδειγμα η Βιολογική Γεωργία και τα Συστήματα Ολοκληρωμένης Διαχείρισης Παραγωγής (Gribbin, 1992).
- 4) Αξιοποίηση του παραδοσιακού φυτικού γενετικού υλικού που διαθέτουν διάφορες χώρες για την προώθηση προσαρμοσμένων καλλιεργειών σε συνθήκες ξηρασίας ακόμη και για χώρους πρασίνου.

Η επιτυχής και συχνά μακραίωνη προσαρμογή του σε μεταβαλλόμενες κλιματικές συνθήκες αποτελεί εγγύηση για ένα επιτυχές αποτέλεσμα (<http://www.enet.gr>). Η άλλη διαφανόμενη εναλλακτική λύση, η χρήση δηλαδή γενετικά τροποποιημένων ποικιλιών με μεθόδους της γενετικής μηχανικής, βρίσκεται ουσιαστικά σε πειραματικό στάδιο και κανείς δεν είναι σε θέση να βεβαιώσει για τις πιθανές συνέπειές τους στη βιοποικιλότητα ή στην ανθρώπινη υγεία (Gribbin, 1992).

- 5) Περαιτέρω βελτίωση των συνθηκών ενσταβλισμού/στέγασης και εκτροφής των αγροτικών ζώων. Επιπρόσθετα, στα προγράμματα γενετικής βελτίωσης αγροτικών ζώων να επιλέγονται ζώα και με κριτήριο τις δυνατότητες προσαρμογής τους στις πιθανές νέες κλιματικές συνθήκες. Επίσης, να μεγιστοποιηθεί η παραγωγή σανού και άλλων ζωοτροφών από καλλιέργειες όπως το κριθάρι (Gribbin, 1992).
- 6) Βελτιστοποίηση και επέκταση των συστημάτων διαχείρισης αποβλήτων των κτηνοτροφικών μονάδων, με ιδιαίτερη έμφαση στην παραγωγή βιοαερίου. Το μέτρο πρέπει να συνδυαστεί με την αξιοποίηση της παραγόμενης ζωικής κοπριάς για τη λίπανση των καλλιεργειών (Gribbin, 1992).
- 7) Αύξηση των κονδυλίων για την έρευνα που αφορά την επίδραση και την προσαρμογή της γεωργίας στις επερχόμενες κλιματικές αλλαγές. Επιπρόσθετα, η γεωργική έρευνα, τόσο η βασική όσο και η εφαρμοσμένη, πρέπει να εντατικοποιηθεί έτσι ώστε τα αποτελέσματα της να αξιοποιηθούν με τον καλύτερο δυνατό τρόπο και να χρησιμοποιηθούν ως εργαλεία για τη χάραξη στρατηγικών αντιμετώπισης των κλιματικών αλλαγών (Gribbin, 1992).

#### **4.5 ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΗΝ ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΗ ΖΩΗ ΜΑΣ**

Ύστερα από τα παραπάνω είναι εύλογο καθένας να αναρωτηθεί τι μπορεί να κάνει για να συμβάλει στην αποτροπή της ανθρωπογενούς ενίσχυσης του φαινομένου του θερμοκηπίου. Αρκετοί εντελώς επιπόλαια θα σκεφτούν πως την κύρια ευθύνη για την προστασία του περιβάλλοντος έχουν οι διεθνείς οργανισμοί, οι κυβερνήσεις και οι μεγάλες βιομηχανίες. Αυτό όμως δεν είναι αλήθεια. Οι καθημερινοί άνθρωποι έχουν μεγάλη δύναμη, τόσο σαν πολίτες όσο και σαν καταναλωτές, ιδιαίτερα όταν δρουν υπεύθυνα και συλλογικά-άλλο ότι τις περισσότερες φορές την αφήνουν να πάει χαμένη. Υπάρχουν πολλά πράγματα που ο καθένας μπορεί να κάνει. Γενικά, όλοι πρέπει να γίνουμε περισσότερο ενεργοί πολίτες και όχι παθητικοί αποδέκτες γεγονότων που μας παρουσιάζονται σαν τελελεσμένα. Στη συνέχεια παρατίθενται δεκαπέντε δράσεις (<http://www.dei.gr>, <http://www.enet.gr> και <http://www.greenpeace.org>) στα πλαίσια του γνωστού τρίπτυχου (εξοικονόμηση- επαναχρησιμοποίηση- ανακύκλωση) με τις οποίες μπορούμε να βοηθήσουμε τον πλανήτη μας. Το σημαντικό με αυτές είναι ότι έχουν ελάχιστο κόστος, απαιτούν μικρή προσπάθεια και- το σημαντικότερο-

μπορούν να αρχίσουν από τώρα, χωρίς να περιμένουμε τα αποτελέσματα ατελείωτων διασκέψεων:

- 1) Εξοικονομούμε με κάθε δυνατό τρόπο ενέργεια. Δεν ξεχνάμε τους λαμπτήρες φωτισμού και τις άλλες ηλεκτρικές συσκευές αναμμένες ή σε κατάσταση αναμονής. Αντικαθιστούμε τους παλιούς λαμπτήρες πυράκτωσης με νέας γενιάς ηλεκτρονικούς λαμπτήρες φθορισμού. Επιλέγουμε όπου αυτό είναι δυνατόν ηλεκτρικές συσκευές ενεργειακής κλάσης A.
- 2) Περιορίζουμε τη χρήση ηλεκτροβόρων ηλεκτρικών συσκευών και ιδιαίτερα αυτών που ζεσταίνουν το νερό (ηλεκτρικοί θερμοσίφωνες, ταχυθερμοσίφωνες) μόνο όταν είναι απόλυτη ανάγκη και αφού τις γεμίσουμε τελείως.
- 3) Δε γεμίζουμε την μπανιέρα με νερό όταν κάνουμε μπάνιο, αφού το νερό που χρησιμοποιούμε απαιτεί ενέργεια για να ζεσταθεί. Άλλωστε είναι και αυτό πολύτιμο για τη ζωή.
- 4) Αποφεύγουμε την αγορά φρούτων και λαχανικών εκτός εποχής ή εισαγόμενων. Για να παραχθούν καταναλώνεται ενέργεια είτε στα θερμοκήπια όπου παράγονται είτε για τη μεταφορά τους από ξένες χώρες.
- 5) Περιορίζουμε την άσκοπη κατανάλωση κάθε είδους χαρτιού. Η παραγωγή του είναι μια αρκετά ενεργοβόρα δραστηριότητα ενώ έχει και άλλες παρενέργειες στο περιβάλλον (καταστροφή δασών, ρύπανση υδάτων κ.λ.π.).
- 6) Αποφεύγουμε τα προϊόντα μιας χρήσης. Όλη η ύλη και η ενέργεια που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή τους καταλήγει στα απορρίμματα και χάνεται κατά μικρότερο ή μεγαλύτερο ποσοστό.
- 7) Αποφεύγουμε όπου αυτό είναι δυνατόν τις παραπανίσιες και περιττές συσκευασίες στα τρόφιμα. Αγοράζουμε χύμα προϊόντα.

- 8) Προτιμάμε τις μεγάλες οικογενειακές συσκευασίες για τα προϊόντα που αγοράζουμε.
- 9) Αποφεύγουμε να τρώμε σε ταχυφαγεία αλλά και να αγοράζουμε έτοιμο μαγειρεμένο φαγητό. Περιορίζουμε έτσι την αδικαιολόγητη σπατάλη ειδών συσκευασίας.
- 10) Αγοράζουμε προϊόντα όπως ποτά και αναψυκτικά σε επιστρεφόμενες και επαναχρησιμοποιούμενες συσκευασίες. Επαναχρησιμοποιούμε ό,τι μπορούμε από τα υλικά συσκευασίας που φτάνουν στα χέρια μας.
- 11) Συμμετέχουμε στην ανακύκλωση συσκευασιών κάθε είδους, μετάλλων, χαρτιού, μπαταριών και μελανοδοχείων εκτυπωτών. Όσες ατέλειες και αν έχουν τα σχετικά προγράμματα ανακύκλωσης είναι ένα σημαντικό πρώτο βήμα προς την ολοκληρωμένη διαχείριση των απορριμμάτων.
- 12) Προτιμάμε τα προϊόντα σε ανακυκλωμένες ή και ανακυκλώσιμες συσκευασίες καθώς και το ανακυκλωμένο χαρτί.
- 13) Περιορίζουμε τον αριθμό των μετακινήσεών μας με αυτοκίνητο ή μηχανή. Προτιμάμε το περπάτημα, το ποδήλατο και τα επίγεια μέσα μαζικής μεταφοράς, τα οποία συμβάλλουν πολύ πιο λίγο στην επιβάρυνση του περιβάλλοντος. Αποφεύγουμε επίσης τα αεροπορικά ταξίδια ως ιδιαίτερα ενεργοβόρα.
- 14) Φροντίζουμε για τη σωστή μόνωση και κατασκευή των σπιτιών μας. Εκμεταλλευόμαστε όσο είναι δυνατόν τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Σε χώρες μάλιστα με μεγάλη ηλιοφάνεια σαν την Ελλάδα η εγκατάσταση μικρών συστοιχιών φωτοβολταϊκών κυψελίδων στις ταράτσες των σπιτιών μπορεί να καλύψει σημαντικό μέρος των ενεργειακών αναγκών τους.
- 15) Προστατεύουμε με κάθε μέσο τα δάση, μόνοι μας ή και σε συνεργασία με άλλους. Φυτεύουμε και διατηρούμε το πράσινο όπου μπορούμε. Τα δέντρα και τα άλλα φυτά, έχουν την ικανότητα να κατακρατούν μέσω της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης διοξείδιο του άνθρακα και να το



μετατρέπουν σε ενώσεις απαραίτητες για τη ζωή (σάκχαρα διάφορων τύπων)

Εγείρεται φυσικά το ερώτημα αν και σε ποιο βαθμό τα παραπάνω μέτρα είναι αποτελεσματικά. Οι ειδικοί πιστεύουν (<http://www.enet.gr>) ότι μπορούν να παίξουν αποφασιστικό ρόλο στις εξελίξεις όταν εντάσσονται στον τρόπο ζωής ολοένα και πιο πολλών πολιτών. Το θέμα είναι ότι αρκετοί δεν έχουν συνειδητοποιήσει ότι τα χρονικά περιθώρια που έχει η ανθρωπότητα για να αντιδράσει στενεύουν όσο περνά ο καιρός (<http://www.enet.gr>).

ΓΑΛΕΡΙΟ ΤΗΛΩΟ ΓΕΡΑΝΙ

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: η στάση των επιμέρους χωρών απέναντι στο πρόβλημα.**

### **5.1 ΟΙ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΟΙ ΑΕΡΙΩΝ ΠΟΥ ΣΥΜΒΑΛΛΟΥΝ ΣΤΗΝ ΑΛΛΑΓΗ ΤΟΥ ΚΛΙΜΑΤΟΣ**

Σε έναν κόσμο στον οποίο κυριαρχούν οι κάθε είδους ανισότητες δε θα ήταν φυσιολογικό η συμμετοχή των χωρών στις εκπομπές θερμοκηπικών αερίων να είναι απλώς ανάλογη του πληθυσμού τους. Μόλις 22 βιομηχανικές χώρες ευθύνονταν για το 80% της ρύπανσης διοξειδίου του άνθρακα το 2003, ενώ η κατάσταση δεν έχει αλλάξει ουσιαστικά μέχρι σήμερα. Ανάλογη είναι η κατάσταση και για τα άλλα θερμοκηπικά αέρια (<http://www.greenpeace.org>). Οι κυριότεροι υπεύθυνοι για τη ρύπανση της ατμόσφαιρας είναι κατά σειρά (<http://www.greenpeace.org>):

- 1. Οι Η.Π.Α. (23,5% της παγκόσμιας εκπομπής)
- 2. Η Κίνα (13,6% της παγκόσμιας εκπομπής)
- 3. Η Ρωσία (6,2% της παγκόσμιας εκπομπής)
- 4. Η Ιαπωνία (5% της παγκόσμιας εκπομπής)
- 5. Η Ινδία (4,2% της παγκόσμιας εκπομπής)
- 6. Η Γερμανία (3,5% της παγκόσμιας εκπομπής)
- 7. Η Βρετανία (2,2% της παγκόσμιας εκπομπής)
- 8. Ο Καναδάς (2,2% της παγκόσμιας εκπομπής)
- 9. Η Νότιος Κορέα (1,9% της παγκόσμιας εκπομπής)
- 10. Η Ιταλία (1,8% της παγκόσμιας εκπομπής)
- 11. Η Γαλλία (1,6% της παγκόσμιας εκπομπής)

### **5.2 ΟΙ ΔΙΕΘΝΕΙΣ ΔΙΑΣΚΕΨΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ ΚΛΙΜΑ**

Το 1990, τα Ηνωμένα Έθνη, ανταποκρινόμενα στον προβληματισμό για την αλλαγή του κλίματος εξαιτίας των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, ξεκίνησαν μια διαδικασία διαπραγματεύσεων που κατέληξε το 1992 (<http://www.enet.gr>) στη θέσπιση της σύμβασης-πλαισίου του ΟΗΕ για την αλλαγή του κλίματος (U.N.F.C.C.C.). Από τότε που υπεγράφη η σύμβαση, τα συμβαλλόμενα μέρη συνέχισαν τις διαπραγματεύσεις, αρχικά (1992) στο Ρίο ντε Τζανέιρο της Βραζιλίας και πέντε χρόνια αργότερα (1997) στο Κιότο της Ιαπωνίας, προκειμένου να συμφωνήσουν επί των αποφάσεων και των συμπερασμάτων εκείνων που θα προάγουν την εφαρμογή της.

Παρατηρήθηκε μια κινητικότητα, φάνηκε ότι έγινε αντιληπτός ο κίνδυνος και πολλά κράτη και διάφοροι φορείς άρχισαν να ευαισθητοποιούνται. Τα μέτρα όμως που ελήφθησαν ήταν μάλλον αποσπασματικά και δε βοηθούσαν στη ριζική αντιμετώπιση του προβλήματος. Οι ιθύνοντες φαίνεται ότι έχουν σε

πρώτη προτεραιότητα τα κέρδη ενώ η λήψη των αναγκαίων μέτρων έχει άμεσο οικονομικό κόστος. Έτσι να μην συνέρχονται σε παγκόσμιες συσκέψεις με στόχο την προστασία του περιβάλλοντος, τα συμφέροντα όμως δεν επιτρέπουν την λήψη αποτελεσματικών μέτρων. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι η παγκόσμια διάσκεψη σταθμός, του Ρίο Ντε Τζανέιρο της Βραζιλίας το 1992, όπου συνήλθαν 176 αρχηγοί κρατών, και του Κιότο της Ιαπωνίας το 1997 (<http://www.enet.gr>). Τα αποτελέσματα σίγουρα δεν ήταν τα αναμενόμενα, αφού οι μεν αναπτυσσόμενες χώρες και κυρίως οι Η.Π.Α. αρνήθηκαν σθεναρά να μειώσουν τις εκπομπές καυσαερίων και να περιστεύουν την υπερκαταναλωτική μανία των πολιτών τους, οι δε υπό ανάπτυξη χώρες αρνούνται και αυτές να ανακόψουν τους καταστροφικούς για το περιβάλλον ρυθμούς ανάπτυξης, στην προσπάθειά τους να βελτιώσουν το δικό τους βιοτικό επίπεδο.

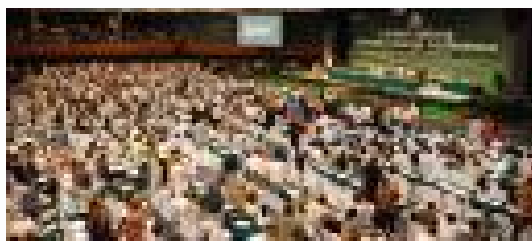
Οι τελευταίες διαπραγματεύσεις κατέληξαν στην έγκριση του πρωτοκόλλου του Κιότο κατά την τρίτη διάσκεψη των συμβαλλομένων μερών (COP 3) που πραγματοποιήθηκε στο Κιότο τον Δεκέμβριο του 1997 (<http://www.enet.gr>). Ωστόσο, το πρωτόκολλο πήρε την οριστική του μορφή στην έβδομη διάσκεψη των συμβαλλόμενων μερών (COP7) που πραγματοποιήθηκε στο Μαρακές στα τέλη του 2001. Το επόμενο βήμα είναι η επικύρωσή του σε εθνικό επίπεδο. Οι περισσότερες βιομηχανικές χώρες έχουν συμφωνήσει -βάσει του πρωτοκόλλου του Κιότο και της σύμβασης-πλαίσιο για την αλλαγή του κλίματος- να μειώσουν έως τα έτη 2008-2012 τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 5% σε σχέση με τον μέσο όρο των επιπέδων του 1990 (<http://www.enet.gr>). Κάθε χώρα που υπέγραψε το πρωτόκολλο είναι υπεύθυνη για τη θέσπιση τρόπων και μέσων για την επίτευξη των στόχων, σε συνεργασία με τη βιομηχανία και τους καταναλωτές.

Ορισμένα κράτη όπως οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής επέλεξαν να μην υιοθετήσουν το πρωτόκολλο, ωθώντας αρκετούς να παρατηρήσουν ότι πρόκειται για ένα μετέωρο πρώτο βήμα (<http://www.enet.gr>). Η συμφωνία του Κιότο σηματοδοτεί ωστόσο μια σημαντική αλλαγή στη στάση των κρατών και μαρτυρά την αποφασιστικότητά τους για την αντιμετώπιση της αλλαγής του κλίματος. Η επίτευξη των στόχων του Κιότο, ωστόσο, δεν αναμένεται να δώσει οριστική λύση στο πρόβλημα και οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου αναμένεται να συνεχίσουν να αυξάνονται σε όλη τη διάρκεια του αιώνα που διανύουμε. Μελλοντικά θα καταστεί απαραίτητη η λήψη περαιτέρω μέτρων και για το σκοπό αυτό οι διεθνείς διαπραγματεύσεις για την περίοδο μετά το 2012 έχουν ήδη ξεκινήσει.

Το 2007 ήταν η χρονιά στην οποία το ζήτημα της κλιματικής αλλαγής φάνηκε να παίρνει επιτέλους μια θέση που του αξίζει στην ενημέρωση και την πολιτική ατζέντα. Καταρχάς, οι εκθέσεις της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή (I.P.C.C.) που δημοσιεύτηκαν μέσα στο 2007 δεν αφήνουν πια κανένα περιθώριο για δικαιολογίες ή καθυστερήσεις: αν δεν αλλάξει η σημερινή κατάσταση, μας περιμένει ένα ζοφερό μέλλον με ανυπολόγιστες επιπτώσεις στο περιβάλλον, την κοινωνία και την οικονομία, ενώ για να αποτραπούν αυτές, οι παγκόσμιες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου πρέπει να πέσουν τουλάχιστον στο ένα τρίτο των σημερινών πριν τα μέσα του αιώνα (<http://www.enet.gr>). Ταυτόχρονα, η κλιματική αλλαγή

για πρώτη φορά συζητήθηκε στο Συμβούλιο Ασφαλείας του Ο.Η.Ε., ήταν το κεντρικό θέμα της συνόδου των οκτώ πλουσιότερων κρατών της Γης (G8), αποτελεί πλέον κεντρική προτεραιότητα της πολιτικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ε.Ε.) και ήταν από τις βασικές αιτίες για την ήττα της κυβερνώσας παράταξης της Αυστραλίας στις βουλευτικές εκλογές.

Σε ένα τέτοιο κλίμα, η χρονιά (2007) έκλεισε με την Συνδιάσκεψη του Ο.Η.Ε. στο Μπαλί της Ινδονησίας για το κλίμα (βλέπε Εικ. 5-1). Η ανθρωπότητα περίμενε από τους εκπροσώπους των κυβερνήσεων του πλανήτη να δρομολογήσουν μια παγκόσμια συμφωνία-διάδοχο του Πρωτοκόλλου του Κιότο, δεσμευτική για όλα τα κράτη που με δίκαιο τρόπο θα εξασφάλιζε τις απαιτούμενες μειώσεις στις παγκόσμιες εκπομπές. Τα αντικρουόμενα συμφέροντα όμως των χωρών που συμμετείχαν στη διάσκεψη λίγο έλειψε να την οδηγήσουν σε ναυάγιο. Από τη μια η Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.) ζητούσε σαφή δέσμευση των βιομηχανικά ανεπτυγμένων χωρών για μείωση των εκπομπών αερίου από 25% έως 40% με χρονικό ορίζοντα το 2020 (<http://www.enet.gr>). Η κίνηση αυτή προκάλεσε την έντονη αντίδραση των Η.Π.Α., αλλά και άλλων χωρών όπως ο Καναδάς και η Ιαπωνία.



Εικόνα 5-1: από τη συνδιάσκεψη για την κλιματική αλλαγή στο Μπαλί. Η εικόνα είναι παρμένη από το διαδικτυακό ιστότοπο [www.enet.gr](http://www.enet.gr).

Τελικά, μετά από πολυήμερες άκαρπες διαπραγματεύσεις, οι 180 χώρες - μεταξύ αυτών και οι ΗΠΑ- αποφάσισαν στις 14 Δεκεμβρίου του 2007 να υιοθετήσουν έναν «Οδικό Χάρτη», ο οποίος περιλαμβάνει διαπραγματεύσεις δύο ετών με στόχο μία νέα Συνθήκη το 2009 (<http://www.enet.gr>). Μόλις ο πρόεδρος της Διάσκεψης και υπουργός περιβάλλοντος της Ινδονησίας Ραχμάτ Βιτοελάρ κήρυξε τη λήξη της διάσκεψης η αίθουσα πλημμύρισε από επευφημίες, χειροκροτήματα και ζητωκραυγές για την επίτευξη της συμφωνίας. Όπως μετέδωσε το Β.Β.С. (<http://www.enet.gr>), στο τελικό κείμενο γίνεται αναφορά στην ανάγκη περιορισμού των εκπομπών αερίου και στη χρηματοδότηση των φτωχών του πλανήτη, ώστε να υιοθετήσουν «καθαρότερες» μορφές τεχνολογίας. Ο «Οδικός Χάρτης» αναμένεται να οδηγήσει σε μία νέα Διάσκεψη για το Κλίμα, περί τα τέλη του 2009, στη Δανία. Επίσης, για πρώτη φορά γίνεται αναφορά στο θέμα της αποψίλωσης των δασών, ενώ δημιουργείται Ταμείο για τη στήριξη των θυμάτων των κλιματικών αλλαγών. Στο τελικό κείμενο της συμφωνίας απουσιάζει οποιαδήποτε αναφορά σε συγκεκριμένα ποσοστά μείωσης των εκπομπών θερμοκηπικών αερίων.

Αρκετές οργανώσεις που μάχονται για την προστασία του περιβάλλοντος, αλλά και εκπρόσωποι χωρών εξέφρασαν την άποψη ότι το αποτέλεσμα της Διάσκεψης του Μπαλί είναι φτωχό, αφού δεν τέθηκε δεσμευτικός στόχος για τη μείωση αερίων του θερμοκηπίου. Χαρακτηριστικά, η υφυπουργός Περιβάλλοντος της Γαλλίας Ναταλί Μοριζέ αναγνώρισε (<http://www.enet.gr>)

ότι το τελικό κείμενο της συμφωνίας είναι ανεπαρκές και δεν εκφράζει τις προσδοκίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης αλλά θεωρεί σημαντικό γεγονός ότι για πρώτη φορά οι Η.Π.Α. προσήλθαν στο τραπέζι των διαπραγματεύσεων για την κλιματική αλλαγή. Έντονο σκεπτικισμό για τα αποτελέσματα της Διάσκεψης εξέφρασε επίσης και η Διεθνής Περιβαλλοντική Οργάνωση Greenpeace. «Δυστυχώς οι σύνεδροι δεν άκουσαν τις προειδοποιήσεις για τις καταστροφικές συνέπειες των κλιματικών αλλαγών της βραβευμένης με Νόμπελ Ειρήνης Διακυβερνητικής Επιτροπής για τις Κλιματικές αλλαγές. Επίσης, δεν έλαβαν υπόψη τους τις τελευταίες πληροφορίες σύμφωνα με τις οποίες η Αρκτική ενδέχεται να απωλέσει το κάλυμμα πάγου, κατά τους θερινούς μήνες, μέσα στα επόμενα 5 με 6 χρόνια, ενώ οι επιστήμονες αποκαλύπτουν πως το 2007 ήταν η έβδομη θερμότερη χρονιά στην ιστορία. Τώρα, για τα επόμενα δύο χρόνια, θα χρειαστεί μεγάλη πίεση από πολίτες, επιστήμονες και οργανώσεις, ώστε να εξασφαλίσουμε ότι το 'νέο Κίото' θα περιλαμβάνει φιλόδοξους ποσοτικούς στόχους και αυστηρά χρονοδιαγράμματα» αναφέρεται στη σχετική ανακοίνωση (<http://www.enet.gr>).

Στις επόμενες ενότητες θα εξετάσουμε αναλυτικά τη στάση των μεγαλύτερων παραγωγών θερμοκηπικών αερίων στον κόσμο, δηλαδή των Η.Π.Α. και της Ε.Ε., σχολιάζοντας τα τυχόν μέτρα που έχουν λάβει. Ακόμα θα παρουσιάσουμε την υφιστάμενη κατάσταση για τα θερμοκηπικά αέρια στην Ελλάδα αλλά και σε μερικές αναπτυσσόμενες χώρες, αξιολογώντας τις μέχρι τώρα επιδόσεις τους στον τομέα αυτόν (δυστυχώς οι ελληνικές δε φαίνεται να αποτελούν παράδειγμα προς μίμηση).

### **5.3 ΗΝΩΜΕΝΕΣ ΠΟΛΙΤΕΙΕΣ ΑΜΕΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ**

Οι Η.Π.Α. είναι αναμφισβήτη η μεγαλύτερη παγκόσμια δύναμη στον τομέα της βιομηχανίας και όχι μόνο. Δυστυχώς αυτή η υπερανάπτυξή της την καθιστά σαν έναν από τους κυριότερους υπαίτιους της παγκόσμιας υπερθέρμανσης. Αυτή τη στιγμή οι Η.Π.Α. έχουν τη μεγαλύτερη παγκόσμια συνεισφορά στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Το θέμα όμως είναι ότι ενώ οι ιθύνοντες γνωρίζουν πολύ καλά την συμμετοχή τους σε αυτή την κατάσταση αλλά και τις συνέπειες που προκαλούν, αρνούνται να λάβουν αυστηρά μέτρα για τη μείωση των αντίστοιχων εκπομπών ή να εφαρμόσουν τις διεθνείς Συνθήκες για την προστασία του περιβάλλοντος. Όλα αυτά, όπως είναι φανερό, συμβαίνουν γιατί η χώρα δεν θα ήθελε σε καμιά περίπτωση να χάσει την δύναμη και την οικονομική ισχύ που έχει. Και φυσικά αυτό συμβαίνει εις βάρος του πλανήτη και της ποιότητας ζωής των ανθρώπων. Χαρακτηριστική είναι η δήλωση του G. W. Bush για την συνθήκη του Κίото πριν από μερικά χρόνια (<http://www.enet.gr>): «...δέχομαι να μειωθούν οι ατμοσφαιρικοί ρύποι αλλά αρνούμαι να δεχτώ μια Συνθήκη που θα βλάψει την οικονομία της χώρας μου».

Παρόλο που οι Η.Π.Α. λοιπόν φαίνεται να είναι αδιάφορες μπροστά σε αυτό το φαινόμενο τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει κάποια θετικά βήματα τα οποία ξεκίνησαν επί προεδρίας W.Klinton. Ο Αμερικανός πρόεδρος (<http://www.enet.gr>) έχει δηλώσει ότι «η θέρμανση του πλανήτη απειλεί το περιβάλλον και την οικονομία των ΗΠΑ» και συμπλήρωσε ότι οι επιστήμονες θεωρούν ότι «ίσως υπάρξουν και πολλές άλλες επιπτώσεις που απλά δεν μπορούμε να προβλέψουμε». Έπειτα από μια αναφορά στις προσπάθειες που ο ίδιος και ο αντιπρόεδρος Al Ghor είχε καταβάλει για την αντιμετώπιση του προβλήματος, ο William (Bill) Klinton δήλωσε ότι πρέπει να ληφθούν νέα μέτρα για τη μείωση της εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα, διοξειδίου του θείου, υδραργύρου και οξειδίων του αζώτου από τις ηλεκτροπαραγωγικές μονάδες και τις βιομηχανίες των Η.Π.Α.

Στη σύνοδο της Χάγης του Ο.Η.Ε. για το περιβάλλον οι Η.Π.Α. είχαν προωθήσει μια σειρά μέτρων για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα σε παγκόσμιο επίπεδο, ανάμεσα στα οποία περιλαμβάνονται η αναζήτηση φιλικών προς την αγορά μέτρων για την καταπολέμηση του φαινομένου του θερμοκηπίου, η επιβολή κυρώσεων σε όσους υπερβαίνουν τα ανώτερα επίπεδα εκπομπών και η παροχή βοήθειας προς τα αναπτυσσόμενα κράτη για την ενίσχυση των υποδομών παραγωγής «καθαρής» ενέργειας. Παρόλες όμως τις ενέργειες αυτές επί προεδρίας Bush σημειώθηκε σημαντική οπισθοδρόμηση (<http://www.enet.gr>) της πολιτικής των Η.Π.Α. σε αυτά τα θέματα, αφού προσπάθησαν ποικιλοτρόπως να εμποδίσουν την εφαρμογή του Πρωτοκόλλου του Κιότο.

Τους τελευταίους μήνες του 2008 όμως είχαμε ελπιδοφόρες εξελίξεις στις ΗΠΑ σχετικά με μέτρα αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής (<http://www.enet.gr>) :

- 1) Η Βουλή των Αντιπροσώπων πέρασε νόμο σύμφωνα με τον οποίο οι εταιρείες ηλεκτρισμού θα πρέπει να παράγουν το 15% της ενέργειάς τους από ΑΠΕ το 2020 ενώ ακύρωσε φοροελαφρύνσεις ύψους 16 δις δολαρίων προς τις πετρελαϊκές εταιρείες, μεταφέροντας τα κονδύλια ως ενίσχυση στις Α.Π.Ε. Ο Λευκός Οίκος δήλωσε πως θα ασκήσει βέτο καθώς ο νόμος αυτός θα οδηγήσει σε αύξηση των τιμών της ενέργειας.
- 2) Οι Γερουσιαστές Lieberman και Warner κατέθεσαν πρόταση νόμου για περιορισμό των εκπομπών των ΗΠΑ κατά 70% το 2050.
- 3) Ο τότε πρόεδρος G. W. Bush συγκάλεσε παγκόσμια σύσκεψη κορυφής στα τέλη Σεπτεμβρίου 2008 για την κλιματική αλλαγή.

Μεγαλύτερη αισιοδοξία επικρατεί στην παγκόσμια κοινή γνώμη ύστερα από τις εκλογές του Νοεμβρίου του 2008, οι οποίες ανέδειξαν στην Προεδρία των Η.Π.Α, μεσούσης της Παγκόσμιας Οικονομικής Κρίσης, ένα νέο πολιτικό αφροαμερικανικής καταγωγής, τον Barack Husein Obama (ανέλαβε επισήμως τα καθήκοντά του τον Ιανουάριο του 2009). Οι απόψεις που έχει εκφράσει για φλέγοντα ζητήματα που απασχολούν όχι μόνο τους κατοίκους της χώρας του αλλά και όλον τον πλανήτη (<http://www.enet.gr>), συμπεριλαμβανομένης και της κλιματικής αλλαγής, κάνουν αρκετούς να πιστεύουν πως κάτι μπορεί να αλλάξει στην πολιτική σκέψη της υπερδύναμης. Ωστόσο η μέχρι τώρα εμπειρία δείχνει ότι οι ελπίδες τους μάλλον θα διαψευστούν, αφού το πολιτικό

και οικονομικό κατεστημένο της χώρας αυτής δεν αποδέχεται εύκολα αλλαγές στις στρατηγικές του επιλογές και τεχνοκράτες- σύμβουλοι των εκάστως κυβερνήσεων με συγκεκριμένες απόψεις παίζουν πρωταγωνιστικό ρόλο στη λήψη των περισσότερων αποφάσεων. Η γενική εντύπωση είναι πως οι Αμερικάνοι ιθύνοντες δηλαδή ακόμη και την στιγμή που καταστρέφεται εξαιτίας τους ο πλανήτης ανησυχούν για το μέλλον της οικονομίας της χώρας τους παρόλο που δεν γνωρίζουν αν θα μπορέσουν και οι ίδιοι να επιβιώσουν στις νέες συνθήκες- ένα φοβερό μίγμα αποκτήνωσης και αναισθησίας!

#### **5.4 ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ**

Οι Ευρωπαίοι φαίνεται να έχουν συνειδητοποιήσει περισσότερο την σοβαρότητα της κατάστασης του παγκόσμιου κλίματος, αφού προσπαθούν να κάνουν κάτι για να την αντιμετωπίσουν, χωρίς να λείπουν όμως και από εδώ χώρες που προκαλούν «προβλήματα». Το 62% των Ευρωπαίων πολιτών πιστεύει πως το σοβαρότερο πρόβλημα που αντιμετωπίζει ο πλανήτης, μετά τη φτώχεια, είναι η κλιματική αλλαγή, σύμφωνα με τα στοιχεία του ειδικού ευρωβαρόμετρου (<http://www.enet.gr>). Ειδικά στην Ελλάδα, το 95% των ερωτηθέντων θεωρεί την κλιματική αλλαγή «πολύ σοβαρό πρόβλημα», ενώ το 84% (το δεύτερο υψηλότερο ποσοστό στην Ε.Ε. μετά τη Λετονία) υποστηρίζει ότι η ελληνική κυβέρνηση δεν λαμβάνει μέτρα για την αντιμετώπιση του προβλήματος.

Η δημοσίευση του Ευρωβαρόμετρου έγινε σε μια ιδιαίτερα κρίσιμη χρονική στιγμή, καθώς πολλά από τα μέτρα που ανακοίνωσε τον περασμένο Ιανουάριο η Κομισιόν -η μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα κατά 20% και η αύξηση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο 20% μέχρι το 2020- προωθούνται προς ψήφιση στο Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και προς διαπραγμάτευση στο Ευρωπαϊκό Συμβούλιο. Το γεγονός ότι οι περισσότεροι πολίτες της Ένωσης αντιμετωπίζουν την κλιματική αλλαγή ως σοβαρό πρόβλημα είναι ενθαρρυντικό, παράλληλα όμως οι περισσότεροι πιστεύουν σαφώς ότι κανείς δεν λαμβάνει επαρκή μέτρα για να το αντιμετωπίσει. «Το μήνυμα είναι ότι η πλειοψηφία των πολιτών υποστηρίζει τους στόχους που έχουμε θέσει και περιμένει από εμάς ακόμη περισσότερα», δήλωσε κατά την παρουσίαση της έρευνας ο επίτροπος για το Περιβάλλον κ. Σταύρος Δήμας.

Για του λόγου το αληθές το 76% των ερωτηθέντων κατηγορεί τις βιομηχανίες και τις επιχειρήσεις ότι δεν λαμβάνουν μέτρα κατά της κλιματικής αλλαγής, το 67% μέμφεται για τον ίδιο λόγο τους συμπολίτες του, το 64% τις εθνικές κυβερνήσεις και το 58% την Ε.Ε. Στην Ελλάδα το 97% θεωρεί ότι οι επιχειρήσεις και οι βιομηχανίες πρέπει να λάβουν αυστηρότερα μέτρα, το 84% πιστεύει το ίδιο για την ελληνική κυβέρνηση, το 78% περιμένει περισσότερα από τους συμπολίτες του και το 71% από την Ε.Ε. Τα ποσοστά αυτά είναι από τα υψηλότερα στην Ευρώπη, γεγονός που υποδηλώνει ότι οι πολίτες της χώρας μας περιμένουν περισσότερα από όλες τις πλευρές.

Εκτός όμως από την απόδοση ευθυνών, οι Ευρωπαίοι πολίτες εμφανίζονται έτοιμοι να αναλάβουν δράση για να αντιμετωπίσουν την

κλιματική αλλαγή. Το 61%, υποστηρίζει ότι ανακυκλώνει και προσπαθεί να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας. Ποσοστό 44% απαντάει ότι θα πλήρωνε μέχρι και 30% περισσότερο για «πράσινη» ενέργεια, το 30% λέει ότι δεν θέλει να πληρώσει περισσότερο απ' όσα πληρώνει τώρα και το 26% δεν εκφέρει γνώμη. Τέλος, περισσότεροι από τέσσερις στους δέκα Ευρωπαίους λένε ότι δεν είναι επαρκώς πληροφορημένοι για τις αιτίες και τις συνέπειες της κλιματικής αλλαγής και υποστηρίζουν ότι αυτός είναι ένας από τους λόγους που δεν αναλαμβάνουν δράση.

Στις 23 Ιανουαρίου 2009 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή (<http://www.enet.gr>) έδωσε στη δημοσιότητα τις προτάσεις της για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και την προώθηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε.). Οι προτάσεις έχουν σκοπό να καθορίσουν με πιο συγκεκριμένο τρόπο θα επιτευχθούν οι δεσμευτικοί στόχοι τους οποίους αποφάσισαν οι αρχηγοί κρατών της ΕΕ το Μάρτιο του 2007 και αφορούσαν στη μείωση των συνολικών εκπομπών της ΕΕ κατά 20% το 2020 σε σχέση με το 1990 και επίτευξη συνεισφοράς των ΑΠΕ κατά 20% της συνολικής καταναλισκόμενης ενέργειας, πάλι το 2020.

Η δέσμη προτάσεων της Επιτροπής περιλαμβάνει:

- 1) τροποποίηση των κανόνων και των στόχων του Ευρωπαϊκού Συστήματος Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπής (Ε.Σ.Ε.Δ.Ε.) για την περίοδο 2013-2020. Πιο συγκεκριμένα, σε ό,τι αφορά το ΕΣΕΔΕ προτείνεται:
  - η επέκτασή του ώστε αυτό να περιλαμβάνει και άλλους τομείς (αλουμίνιο, πετροχημικά, αμμωνία, αερομεταφορές) καθώς και αέρια του θερμοκηπίου πέραν του CO<sub>2</sub> (οξείδιο του αζώτου, υδροφθοράνθρακες).
  - η κατάργηση των επιμέρους Εθνικών Σχεδίων Κατανομής Δικαιωμάτων με το συνολικό προς διάθεση πλήθος δικαιωμάτων και τη μεθοδολογία κατανομής να καθορίζονται πλέον σε πανευρωπαϊκό επίπεδο από την Επιτροπή.
  - Οι συνολικές επιτρεπόμενες εκπομπές των καλυπτόμενων εγκαταστάσεων (δηλαδή το πλήθος των διαθέσιμων δικαιωμάτων εκπομπής) να μειώνονται ετησίως ώστε το 2020 να είναι κατά 21% μικρότερες των αντίστοιχων εκπομπών του 2005.
  - οι εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής υποχρεούνται να αγοράσουν το σύνολο των δικαιωμάτων εκπομπής (τα οποία κατά κανόνα τους δίδονται δωρεάν μέχρι το 2012). Ο πλειστηριασμός δικαιωμάτων θα εφαρμόζεται σταδιακά και στους υπόλοιπους τομείς με το 100% των δικαιωμάτων να πωλούνται από το 2013.
- 2) επιμερισμό για κάθε κράτος μέλος των απαιτούμενων μειώσεων εκπομπών από τους κλάδους που δεν καλύπτονται από το Ε.Σ.Ε.Δ.Ε. (όπως οι μεταφορές, τα κτίρια, οι υπηρεσίες, η γεωργία και τα απόβλητα). Πιο συγκεκριμένα οι εκπομπές αυτών των κλάδων σε Ευρωπαϊκό επίπεδο θα πρέπει να μειωθούν κατά 10% έως το 2020 σε



σχέση με τα επίπεδα του 2005. Η Επιτροπή προτείνει για κάθε κράτος μέλος ξεχωριστό στόχο μείωσης υπολογισμένο ανάλογα με το (Ακαθάριστο Εθνικό Προϊόν) Α.Ε.Π. κάθε χώρας (μεγαλύτερες μειώσεις θα απαιτηθούν από τα πλουσιότερα κράτη). Για την Ελλάδα, ο στόχος αυτός είναι 4%.

- 3) επιμερισμό για κάθε κράτος μέλος του μεριδίου των Α.Π.Ε. στην τελική κατανάλωση ενέργειας. Ειδικότερα, για την προώθηση των ΑΠΕ και την επίτευξη της συνεισφοράς τους κατά 20% στην συνολική κατανάλωση ενέργειας το 2020, προτείνονται διαφοροποιημένοι στόχοι για κάθε κράτος- μέλος. Για την Ελλάδα προτείνεται μερίδιο των ΑΠΕ 18%. Ταυτόχρονα προτείνεται το 10% των καυσίμων μεταφορών να προέρχεται από βιοκαύσιμα. Να επισημάνουμε πως το μερίδιο των ΑΠΕ αφορά τη συνολική κατανάλωση ενέργειας σε όλους τους τομείς κι επομένως εύλογα προκύπτει πως το μερίδιο τους στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 30%. Χαρακτηριστικό είναι πως το ποσοστό αυτό (συμπεριλαμβανομένων των μεγάλων υδροηλεκτρικών σταθμών) στην Ελλάδα το 2007 ήταν κάτω από 9%.

Οι προτάσεις της Επιτροπής κινούνται σε θετική κατεύθυνση. Όμως μόνο και μόνο το γεγονός ότι στόχος τους είναι η μείωση των ευρωπαϊκών εκπομπών κατά 20% το 2020 (και όχι κατά 25-40% όπως προτείνουν οι επιστήμονες και ήταν η διαπραγματευτική θέση της Ε.Ε. στη συνδιάσκεψη του Μπαλί) κάνει τις προτάσεις αυτές ανεπαρκείς ενώ ταυτόχρονα υπονομεύει τις δρομολογημένες διεθνείς διαπραγματεύσεις για το διάδοχο του Πρωτοκόλλου του Κιότο προδιαθέτοντας το ύψος των απαιτούμενων μειώσεων εκπομπών. Τέλος, υπό το πρίσμα αρκετών πρόσφατων εκθέσεων και μελετών που αμφισβητούν τη φιλικότητα προς το περιβάλλον των βιοκαυσίμων, είναι ανησυχητική η πρόταση για δεσμευτικό μερίδιο βιοκαυσίμων στα καύσιμα μεταφορών.

Επιπλέον, ολοκληρώθηκε η διαδικασία έγκρισης από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή των Σχεδίων Κατανομής Δικαιωμάτων Εκπομπής CO<sub>2</sub> που είχαν υποβάλει τα κράτη μέλη για την περίοδο 2008-2012 (<http://www.enet.gr>). Η Επιτροπή απαίτησε συνολικά μειώσεις στις εκπομπές που τα κράτη μέλη επιθυμούσαν να επιτρέψουν στις καλυπτόμενες επιχειρήσεις τους κατά 244 εκατομμύρια τόνους CO<sub>2</sub> (ή ποσοστό 10,5%) το χρόνο. Το ποσό αυτό είναι σχεδόν το διπλάσιο των συνολικών εθνικών εκπομπών της Ελλάδας.

Η αυστηρότητα της Επιτροπής αν και καλοδεχούμενη ήταν αναμενόμενη καθώς την πρώτη πιλοτική περίοδο του Συστήματος Εμπορίας Εκπομπών, η κατανομή δικαιωμάτων ήταν αρκετά γενναιόδωρη ώστε οι καλυπτόμενες εγκαταστάσεις να εκπέμπουν συνολικά λιγότερα κι από όσο τους είχε επιτραπεί. Επιπλέον, με το 2008-12 να συμπίπτει με την πρώτη περίοδο εφαρμογής του Πρωτοκόλλου του Κιότο, είναι δεδομένες οι μειώσεις εκπομπών που τα κράτη μέλη πρέπει να πραγματοποιήσουν προκειμένου να επιτύχουν το στόχο τους. Ας επισημάνουμε πάντως την πιο συνεπή φιλοπεριβαλλοντική στάση των «διορισμένων τεχνοκρατών των Βρυξελλών» σε σχέση με αυτή των άμεσα εκλεγμένων εθνικών κυβερνήσεων.

Εκτός από μέτρα οικονομικού χαρακτήρα, η Ένωση διαθέτει και άλλα μέσα για την προώθηση της βιώσιμης ανάπτυξης των επιχειρήσεων και την τόνωση της περιβαλλοντικής τους δράσης (<http://www.enet.gr>). Στηρίζει τη διάδοση πληροφοριών και βέλτιστων πρακτικών, δημιουργώντας δίκτυα όπως τα Ευρωπαϊκά Κέντρα Πληροφόρησης και ενθαρρύνοντας τις επιχειρήσεις να δημοσιεύουν τις περιβαλλοντικές επιδόσεις τους. Παρέχει επίσης οδηγούς, ώστε οι επιχειρήσεις να διαχειρίζονται τις δραστηριότητές τους με οικολογικά υπεύθυνο τρόπο. Εξάλλου, μέσω του συστήματος οικολογικής διαχείρισης και οικολογικού ελέγχου (E.M.A.S.), η Ε.Ε. έχει οργανώσει την αναγνώριση και τη διάδοση πληροφοριών για τις επιχειρήσεις που σέβονται το περιβάλλον. Τέλος, για να ενισχύσει και να προβάλλει, τόσο στις αγορές όσο και στους καταναλωτές, την εικόνα των επιχειρήσεων με αποδεδειγμένη περιβαλλοντική δράση, η Ε.Ε. διοργανώνει διάφορες εκδηλώσεις, όπως, η απονομή των «Ευρωπαϊκών επιχειρηματικών βραβείων για το περιβάλλον».

Την ίδια στιγμή όμως κυβερνητικοί φορείς μπουκοτάρουν τους στόχους για τη κλιματική αλλαγή. Στις 15 Ιουλίου του 2008 η Επιτροπή Βιομηχανίας του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου προσπάθησε να αποδυναμώσει το Ευρωπαϊκό Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών (E.T.S.) και να μπουκοτάρει τους στόχους του 2020 για τη κλιματική αλλαγή, ύστερα από την ψηφοφορία της 11ης Σεπτεμβρίου για την αναθεώρηση του συστήματος εμπορίας εκπομπών στην μετά Κιότο περίοδο (2013-2020). Η επιτροπή ψήφισε υπέρ της καθυστέρησης ή ακόμα και της αποτροπής της προγραμματισμένης αλλαγής του στόχου μείωσης των εκπομπών από 20% στο 30%, υπό τον όρο να επιτευχθεί μια διεθνής συμφωνία την επόμενη χρονιά.

## **5.5 ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ**

Η καύση ορυκτών πόρων ευθύνεται για την κλιματική αλλαγή. Όλα τα κράτη του κόσμου συντελούν στην υπερθέρμανση του πλανήτη, και από τη λίστα αυτή δε θα μπορούσε να λείπει η Ελλάδα. Φυσικά η κοινωνικοοικονομική της ανάπτυξη και το μέγεθός της δεν την κατατάσσουν στις χώρες με τις μεγαλύτερες εκπομπές CO<sub>2</sub>. Όμως έχει κι αυτή σημαντικό μερίδιο ευθύνης. Η χώρα μας είναι από τις ελάχιστες χώρες της Ε.Ε. που επιτρέπεται να αυξήσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (αύξηση κατά 25% έως το 2010 σε σχέση με το έτος βάσης 1990), σύμφωνα με το πρωτόκολλο του Κιότο. Παράλληλα προβλέπεται ότι το 20,1% της ηλεκτρικής ενέργειας θα προέρχεται από ΑΠΕ έως το 2010. Όμως η σημερινή κατάσταση δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ιδανική. Το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών εκτίμησε ([http://www.climate.noa.gr/Reports/CC\\_reports.htm](http://www.climate.noa.gr/Reports/CC_reports.htm)) ότι αν συνεχιστεί ο ρυθμός αύξησης των εκπομπών, η Ελλάδα δεν πρόκειται να εκπληρώσει τις υποχρεώσεις της απέναντι στο Πρωτόκολλο του Κιότο. Κάτω από τις παρούσες συνθήκες, η συνολική αύξηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου θα ανέλθει σε +34,7% το 2010 ([http://www.climate.noa.gr/Reports/CC\\_reports.htm](http://www.climate.noa.gr/Reports/CC_reports.htm)).

Σημειωτέον ότι οι εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν τη βασική πηγή εκπομπών, μιας κι ευθύνονται για την έκλυση του 43% των αερίων θερμοκηπίου. Όσον αφορά την ηλεκτροπαραγωγή, το 2006 (EU, 2006, Energy and Transport 2006 in Figures) περίπου το 60% της ηλεκτρικής ενέργειας προήλθε από την καύση λιγνίτη, 14% από την καύση πετρελαίου, το 10% από ανανεώσιμες πηγές (συμπεριλαμβανομένων και των μεγάλων υδροηλεκτρικών), το 15% από φυσικό αέριο (βλέπε Εικόνα 5-2). Οι επιδόσεις μας σχετικά με την κλιματική αλλαγή είναι σχεδόν απογοητευτικές, και τα στοιχεία είναι αδιαμφισβήτητα (<http://www.enet.gr>):

- Έχουμε αγγίξει τα όρια εκπομπών που έθεσε το Πρωτόκολλο του Κιότο (αύξηση εκπομπών 24,6% το 2006, σε σχέση με το 1990-<http://www.enet.gr>). Οι εκπομπές CO<sub>2</sub> στην Ελλάδα το 2005 ήταν αυξημένες κατά 25,4% σε σχέση με το έτος βάσης. Ο στόχος του Πρωτοκόλλου του Κιότο είναι να περιορισθεί η αύξηση στο 25% έως το 2010 σε σχέση με το έτος βάσης, κάτι που εμείς ήδη ξεπεράσαμε.
- Δεν θα πιάσουμε το στόχο για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (<http://www.enet.gr>) το 2010. Ο στόχος για την Ελλάδα ήταν το 20,1% του ηλεκτρισμού να παράγεται από ΑΠΕ έως το 2010. Σήμερα το ποσοστό αυτό κυμαίνεται μόλις στο 9-10% περίπου (συμπεριλαμβανομένων και των μεγάλων υδροηλεκτρικών έργων, τα οποία όμως δεν συμπεριλαμβάνονται στις προωθούμενες Α.Π.Ε.).
- Η συνολική κατανάλωση ενέργειας στη χώρα μας αυξάνεται κατά σχεδόν 2,7% κάθε χρόνο.
- Για κάθε μονάδα ΑΕΠ παράγουμε 37% περισσότερες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου σε σχέση με τις υπόλοιπες 27 χώρες της Ε.Ε.
- Για κάθε παραγόμενη kWh στη χώρα μας εκλύονται 777 g CO<sub>2</sub>, πράγμα που μας φέρει σε μια από τις χειρότερες θέσεις παγκοσμίως, ξεπερνώντας ακόμα και την Κίνα (771 g/kWh) (<http://www.enet.gr>).
- Κάθε Έλληνας παράγει σχεδόν 12,5 τόνους αερίων του θερμοκηπίου κάθε χρόνο, δηλαδή 12% πιο πάνω από το μέσο Ευρωπαϊκό όρο (<http://www.enet.gr>).
- Έχουμε τη μεγαλύτερη εξάρτηση από πετρέλαιο μεταξύ των χωρών-μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης (<http://www.enet.gr>). Το 2004 αυτή έφτανε το 65% και τίποτε δεν έχει γίνει ουσιαστικά για να αλλάξει αυτή η κατάσταση.
- Η χώρα μας έχει το θλιβερό προνόμιο να διαθέτει τις δυο πιο ρυπογόνες μονάδες παραγωγής ηλεκτρισμού σε όλη την Ευρώπη (Αγ. Δημήτριος και Καρδιά στο Νομό Κοζάνης- <http://www.enet.gr>).
- Η κυβέρνηση απάλλαξε το λιγνίτη και το λιθάνθρακα, που αποτελούν τα πλέον ρυπογόνα καύσιμα, από κάθε φόρο. Η κυβέρνηση προχώρησε σε εξαίρεση του λιγνίτη από τον ειδικό φόρο κατανάλωσης, δίνοντας στις λιγνιτικές μονάδες της Δ.Ε.Η. ένα δώρο της τάξεως των 105.000.000 €
- Τα κίνητρα για την εξοικονόμηση ενέργειας και την εισαγωγή Α.Π.Ε. στον οικιακό τομέα είναι σχεδόν μηδαμινά (<http://www.enet.gr>).
- Δεν έχουμε εφαρμόσει ακόμα την Οδηγία 2002/91 της Ε.Ο.Κ. που αφορά την ενεργειακή αποδοτικότητα κτιρίων. Επισήμως θα έπρεπε να έχει υιοθετηθεί έως τον Ιανουάριο του 2006. Αντί αυτού η χώρα μας ζήτησε τριετή παράταση, κι όπως όλα δείχνουν οδηγούμαστε σε μια

ακόμα παραπομπή στο Ευρωπαϊκό Δικαστήριο λόγω παραβίαση του Κοινοτικού Δικαίου (<http://www.enet.gr>).

- Καταλαμβάνουμε την 41η θέση επί συνόλου 53 χωρών, αναφορικά με τα μέτρα που έχουμε λάβει για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής (<http://www.enet.gr>).

Σύμφωνα με τον έλεγχο και τους υπολογισμούς από το U.N.F.C.C.C. (Σύμβαση-Πλαίσιο του ΟΗΕ για την Κλιματική Αλλαγή), οι πραγματικές εκπομπές βάσης της Ελλάδας στο πλαίσιο του Πρωτοκόλλου του Κιότο είναι κατά 3,7% μικρότερες από αυτές που είχαμε δηλώσει, με αποτέλεσμα και ο εθνικός μας στόχος (αύξηση εκπομπών μέχρι 25% ως το 2012) να πρέπει να γίνει αντίστοιχα χαμηλότερος κατά 5 εκατομμύρια τόνους ετησίως! Βέβαια ακόμα και τον πλασματικά υψηλότερο στόχο τον έχουμε ήδη υπερβεί από το 2005 (<http://www.enet.gr>).

Τα προβλήματα της Ελλάδας που συντελούν στην αδυναμία περιορισμού των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου σχετίζονται άμεσα με το λανθασμένο ενεργειακό μοντέλο που εφαρμόζει. Η χώρα μας χαρακτηρίζεται από υψηλή ενεργειακή ένταση (παραγόμενες kWh ανά μονάδα Α.Ε.Π.), υψηλή εξάρτηση από πετρέλαιο και λιγνίτη που αποτελούν τα πλέον ρυπογόνα καύσιμα, και άσκοπη κατανάλωση ενέργειας στον οικιακό και τριτογενή τομέα. Ιδιαίτερα ο τομέας παραγωγής ηλεκτρισμού είναι ο τομέας με την μεγαλύτερη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας και τις περισσότερες εκπομπές αερίων και ρύπων. Στην Ελλάδα ο τομέας αυτός ευθύνεται για το 53% των συνολικών εθνικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) που είναι το πιο σημαντικό αέριο του θερμοκηπίου ενώ είναι με διαφορά ο πιο ρυπογόνος από τους τομείς ηλεκτροπαραγωγής όλων των χωρών της Ε.Ε. (<http://www.enet.gr>).

Όπως προκύπτει από την ετήσια Έκθεση για τους αέριους ρύπους στην ΕΕ που δημοσίευσε το 2007 η Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Περιβάλλοντος (<http://www.enet.gr>), ο ελληνικός τομέας ηλεκτρισμού για την περίοδο 1990-2005 αύξησε τις εκπομπές οξειδίων του αζώτου (NO<sub>x</sub>) κατά 60% και τις εκπομπές διοξειδίου του θείου (SO<sub>2</sub>) κατά 38%. Χαρακτηριστικό είναι, πως το 16% των συνολικών εκπομπών διοξειδίου του θείου από όλες τις μονάδες ηλεκτροπαραγωγής της ΕΕ των 15 προέρχεται από την Ελλάδα (!!!). Σύμφωνα με τα στοιχεία του φορέα- Διαχειριστή του Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (Δ.Ε.Σ.Μ.Η.Ε.) τα στοιχεία παραγωγής-κατανάλωσης του διασυνδεδεμένου Συστήματος για το 2007 δείχνουν ότι (δυστυχώς ανάλογες ή χειρότερες ήταν οι επιδόσεις μας και τα επόμενα χρόνια-<http://www.enet.gr>):

A. Η καθαρή εγχώρια κατανάλωση ηλεκτρισμού αυξήθηκε κατά 3,1% (4,0% αν συνυπολογίσουμε και τις καταναλώσεις των αντλιοστασίων).

- Στο σύνολό της η αύξηση αυτή οφειλόταν στην αύξηση κατανάλωσης της Μέσης και της Χαμηλής Τάσης (αύξηση 3,9%). Οι καταναλωτές Υψηλής Τάσης (οι 30 μεγαλύτερες βιομηχανίες της χώρας) που ευθύνονται για το 14% της συνολικής κατανάλωσης στο ηπειρωτικό

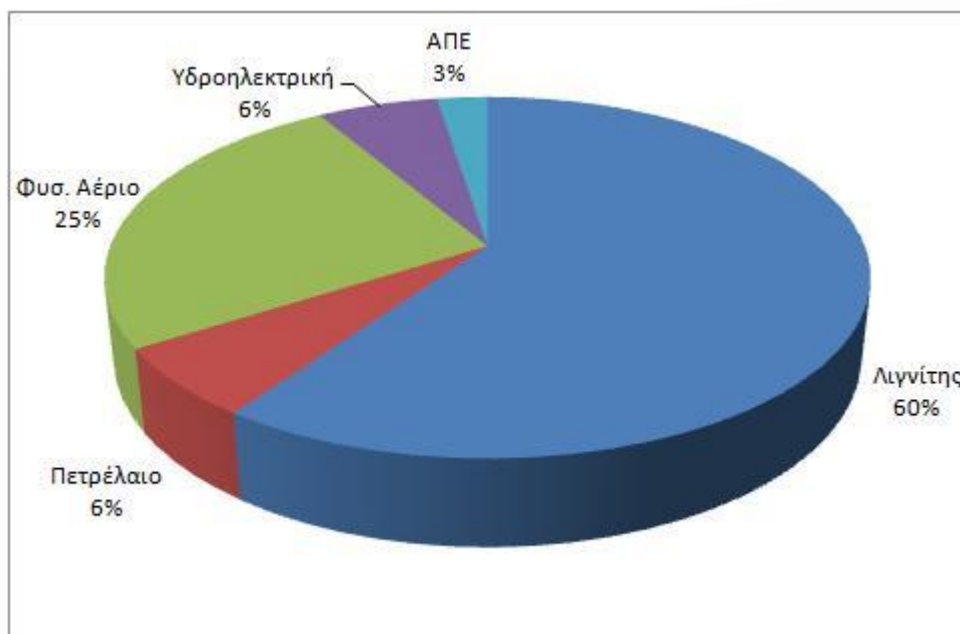
Σύστημα, κράτησαν την κατανάλωσή τους σταθερή σε σχέση με το 2006.

- Οι εισαγωγές ηλεκτρισμού αυξήθηκαν κατά 3,6% καλύπτοντας πλέον το 7,9% της καθαρής κατανάλωσης. Χαρακτηριστικό είναι πως την τετραετία 2004-2007 οι εισαγωγές έχουν αυξηθεί κατά 54%.
- Η εγχώρια παραγωγή χαρακτηρίστηκε από μια δραματική μείωση της υδροηλεκτρικής παραγωγής στο μισό των επιπέδων του 2006 λόγω της ανομβρίας του προηγούμενου χειμώνα. Αξιοσημείωτη ήταν και η σημαντική αύξηση της παραγωγής των λιγνιτικών μονάδων κατά 6,6%. Η παραγωγή από φυσικό αέριο αυξήθηκε σημαντικά κατά 29,9%, η πετρελαϊκή ηλεκτροπαραγωγή σημείωσε ελαφρά πτώση (-1,4%) ενώ η παραγωγή από ΑΠΕ αυξήθηκε κατά 15,9%. Χαρακτηριστικό είναι πως σε απόλυτα μεγέθη η αύξηση της ηλεκτροπαραγωγής από λιγνίτη ήταν κατά 47% μεγαλύτερη από την συνολική παραγωγή από ΑΠΕ.

Β. Το μερίδιο κάθε καυσίμου για το 2007 στην εγχώρια ηπειρωτική ηλεκτροπαραγωγή διαμορφώθηκε όπως φαίνεται στον Πίνακα 5-1 (<http://www.enet.gr>).

Πίνακας 5-1: ποσοστό συμμετοχής των διάφορων ενεργειακών πηγών στην εγχώρια ηλεκτροπαραγωγή. Ο πίνακας είναι παρμένος από το διαδικτυακό ιστότοπο [www.enet.gr](http://www.enet.gr).

Λιγνίτης	60,4%
Φυσικό Αέριο	25,7%
Πετρέλαιο	6,3%
Υδροηλεκτρικά	6,1%
ΑΠΕ	2,5%



Εικόνα 5-2: ποσοστό συμμετοχής διάφορων πηγών ενέργειας στην εγχώρια ηλεκτροπαραγωγή (2007). Η εικόνα είναι παρμένη από το διαδικτυακό ιστότοπο [www.enet.gr](http://www.enet.gr).

Στη δυσμενή κατάσταση προστίθεται η έλλειψη στρατηγικής για το ενεργειακό μέλλον (<http://www.enet.gr>) που έχει ως αποτέλεσμα την «προστασία» των πιο ρυπογόνων επιχειρήσεων, μικρή διείσδυση των Α.Π.Ε., έλλειψη κινήτρων για εξοικονόμηση ενέργειας, μηδαμινή καινοτομία για τη δημιουργία ενεργειακά αποδοτικών προϊόντων. Την κατάσταση δυσχεραίνει η αδυναμία εκπόνησης προγραμμάτων προσαρμογής των οικοσυστημάτων και της κοινωνίας στην κλιματική αλλαγή. Στα μέτρα αυτά θα έπρεπε οπωσδήποτε να περιλαμβάνονται σχέδια προστασίας των σημαντικών οικοσυστημάτων της χώρας, αλλαγές στις γεωργικές καλλιέργειες, διαχειριστικά πλάνα για τους υδάτινους πόρους, μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας για ψύξη-θέρμανση, προώθηση καινοτόμων καθαρών τεχνολογιών, δημιουργία υποδομών για την αντιμετώπιση ακραίων καιρικών φαινομένων, συστήματα επίβλεψης των δασών ανά την επικράτεια, δράσεις καταπολέμησης της ερημοποίησης, εκστρατείες ευαισθητοποίησης της Ελληνικής κοινωνίας.

Τα μέτρα που κατά καιρούς η Ελληνική πολιτεία έχει εξαγγείλει δε φαίνεται να αλλάζουν την κατάσταση. Παρά το ότι μέχρι σήμερα δεν έχουν καταγραφεί άμεσες πιέσεις από τις Η.Π.Α. για αποχώρηση από το Πρωτόκολλο του Κιότο, φαίνεται ότι η επιρροή των τελευταίων στη χώρα μας (και συνακόλουθα των μεγάλων πετρελαϊκών εταιρειών) είναι ιδιαίτερα ισχυρή και αποθαρρύνει τους εκάστοτε κυβερνώντες από τη λήψη σοβαρών μέτρων για εξοικονόμηση και εναλλακτικές πηγές ενέργειας. Οι προτάσεις για κατασκευή πυρηνικών εργοστασίων που ακούγονται τελευταία (<http://www.enet.gr>) σε μια χώρα σεισμογενή και με μη εντοπισμένα εκμεταλλεύσιμα κοιτάσματα πυρηνικών καυσίμων (<http://www.enet.gr>) μάλλον ως κακόγουστο αστείο μπορούν να εκλαμβάνονται. Αν δεν ληφθούν σήμερα γενναία πολιτικά μέτρα προώθησης των Α.Π.Ε. και εξοικονόμησης ενέργειας, αν δεν εξορθολογιστεί η πολιτική των μεταφορών στη χώρα μας, αν δεν καταρτιστεί μια σιβαρή και φιλόδοξη ενεργειακή ατζέντα η Ελλάδα θα παραμείνει ουραγός στις εξελίξεις, και θα

συνεχίσει να προκαλεί σοβαρές βλάβες στο περιβάλλον και στην ευημερία των πολιτών.

## **5.6 ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΕΣ ΧΩΡΕΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ**

Η σχέση των αναπτυσσόμενων χωρών με την κλιματική αλλαγή είναι ένα αρκετά πολύπλοκο πρόβλημα. Ο πληθυσμός τους αυξάνει ραγδαία, ενώ το μέσο βιοτικό επίπεδο είναι σημαντικά χαμηλότερο από αυτό των Η.Π.Α. και της Ε.Ε. και αποτελεί για αυτές στόχο η βελτίωσή του. Στην προσπάθειά τους αυτή βλέπουν ως αρωγό τους τις ξένες επενδύσεις, ενώ στη συντριπτική τους πλειοψηφία ακολουθούν το λανθασμένο αναπτυξιακό μοντέλο που εφάρμοσαν οι πλούσιες χώρες τα τελευταία 150 χρόνια. Προς το παρόν μόνο η Κίνα και η Ινδία (<http://www.enet.gr>) έχουν μεγάλη βιομηχανική παραγωγή και πληθυσμό τέτοιο ώστε η παραγωγή θερμοκηπικών αερίων να είναι συγκρίσιμη με αυτή των ανεπτυγμένων κρατών (Η.Π.Α., Ε.Ε., Ιαπωνία, Ρωσία). Η κατάσταση αναμένεται να αλλάξει σημαντικά όμως, καθώς χώρες όπως η Βραζιλία και το Μεξικό εξελίσσονται σταδιακά σε σημαντικά οικονομικά και βιομηχανικά κέντρα.

Από την άλλη φαίνεται πως οι συνέπειες των κλιματικών αλλαγών για αυτές θα είναι σοβαρότερες σε σχέση με τις ανεπτυγμένες χώρες. Ο λόγος δεν είναι η τόσο η διαφαινόμενη ένταση των αλλαγών αυτών, η οποία αναμένεται μεγαλύτερη στην πολική και στην εύκρατη ζώνη, αλλά η ανεπάρκεια τεχνογνωσίας και μέσων που θα επιτρέψουν την προσαρμογή στη νέα κατάσταση (<http://www.enet.gr>). Έτσι για παράδειγμα οι ευρωπαϊκές χώρες έχουν τη δυνατότητα να επενδύσουν σε αντιπλημμυρικά έργα και φράγματα για να αντιμετωπίσουν τη διαφαινόμενη αύξηση της μέσης στάθμης της θάλασσας, ενώ αντίθετα στην Αφρική ή στα πυκνοκατοικημένα παράλια της Νοτιοανατολικής Ασίας κάτι τέτοιο ισοδυναμεί με ανθρωπιστική καταστροφή, αφού εκατομμύρια άνθρωποι θα αναγκαστούν να εγκαταλείψουν τα σπίτια τους. Παρόμοια, ένα έτος ξηρασίας στην Ευρώπη είναι απλά ένα πρόβλημα, αντίθετα για την υποσαχάρια Αφρική σημαίνει εκατομμύρια νεκρούς από πείνα.

Γενικά οι κυβερνήσεις τους δεν εμφανίζονται αντίθετες στη λήψη μέτρων για την προστασία του περιβάλλοντος και τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Διατείνονται όμως πως οι ανάγκες του διαρκώς αυξανόμενου πληθυσμού τους απαιτούν ενίσχυση της αναπτυξιακής προσπάθειας και ότι δεν μπορούν να ακολουθήσουν ένα εναλλακτικό αναπτυξιακό μοντέλο ή να προασπίσουν αποτελεσματικά το φυσικό τους περιβάλλον χωρίς γενναία οικονομική βοήθεια από τα αναπτυγμένα κράτη. Τα τελευταία όμως, παρά τις κατά καιρούς φραστικές υποσχέσεις τους, ενδιαφέρονται κυρίως για την απόκτηση φτηνών πρώτων υλών και την εξεύρεση νέων αγορών για τα προϊόντα τους ή περιοχών εγκατάστασης των ρυπογόνων βιομηχανιών τους, όχι για την ουσιαστική στήριξη των αναδυόμενων οικονομιών.

Ωστόσο, παρά τις αντιξοότητες, δε λείπουν και οι κυβερνήσεις που προσπαθούν να διασώσουν την περιβαλλοντική κληρονομιά των χωρών τους.

Ο Ισημερινός (Εκουαδór) στη Νότια Αμερική, μια πετρελαιοπαραγωγός χώρα, αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα (<http://www.enet.gr>). Μπορεί οι εξαγωγές πετρελαίου να αποτελούν πολύτιμο εισόδημα για την κυβέρνηση της φτωχής αυτής χώρας, το παράπλευρο κόστος όμως είναι τεράστιο: κατεστραμμένα τροπικά δάση, μια έκταση 4,5 χιλιάδων τετραγωνικών χιλιομέτρων μολυσμένη με τοξικά, δηλητηριασμένα ποτάμια και αφανισμένες κοινότητες ιθαγενών. Μάλιστα στο Εκουαδór έχει συντελεστεί ίσως η μεγαλύτερη περιβαλλοντική καταστροφή σχετική με το πετρέλαιο. Το 2003, 30 χιλιάδες ιθαγενείς κατέθεσαν αγωγή ενάντια στην Chevron Texaco για την καταστροφή που υπέστησαν από την συνειδητή απόρριψη στην περιοχή τους 18,5 δισεκατομμυρίων γαλονιών καρκινογόνων τοξικών αποβλήτων το διάστημα 1964-1992.

Πρόσφατα ανακαλύφθηκε στο υπέδαφος του εθνικού πάρκου Yasuni στο δάσος του Αμαζονίου, ένα μεγάλο κοίτασμα πετρελαίου το οποίο εκτιμάται σε 1 δις βαρέλια και η εξόρυξη του οποίου αναμένεται να αποφέρει ετησίως στην κυβέρνηση περίπου 700 εκ. δολάρια. Το πάρκο αυτό είναι γνωστό για τον τεράστιο πλούτο βιοποικιλότητας που διαθέτει. Χαρακτηριστικά αναφέρεται πως σε δέκα στρέμματα του δάσους αυτού υπάρχουν περισσότερα είδη δέντρων από όσα στις ΗΠΑ και τον Καναδά μαζί.

Τον Ιούνιο του 2008 η κυβέρνηση του Εκουαδór (<http://www.enet.gr>), ανήσυχη για τις περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιπτώσεις που θα είχε μια επένδυση στο πάρκο Yasuni, κατέθεσε μια εντυπωσιακή πρόταση: αν πλούσιες χώρες δεχτούν να της πληρώνουν το μισό από το αναμενόμενο εισόδημά της από την εξόρυξη του πετρελαίου (350 εκ δολάρια ετησίως), αυτή θα εξασφαλίσει πως καμία σχετική επένδυση δεν θα πραγματοποιηθεί στο πάρκο και το πετρέλαιο θα μείνει στη θέση του. Ήδη οι κυβερνήσεις της Γερμανίας και της Νορβηγίας εκδήλωσαν ενδιαφέρον για την πρόταση όπως και βουλευτές του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου καθώς και η Παγκόσμια Τράπεζα. Η εξέλιξη της ιδέας αυτής είναι σίγουρα πολύ ενδιαφέρουσα ως πιθανό εργαλείο που θα συνδυάζει προστασία του περιβάλλοντος με εξασφάλιση εισοδήματος προς λιγότερο αναπτυγμένες χώρες.



## **ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΣΥΣΧΕΤΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΜΕ ΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΤΗΣ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ**

Το κλίμα της γης πάντα άλλαζε και πάντα θα αλλάζει. Στο παρελθόν η κλιματική αλλαγή ήταν αποτέλεσμα καθαρά φυσικών αιτιών. Για παράδειγμα μετά από περιόδους έντονης ηφαιστειακής δραστηριότητας εκτός από τη λάβα απελευθερώνονταν στον αέρα αερολύματα πλούσια σε θειούχες ενώσεις οι οποίες έψυχαν την ατμόσφαιρα και σημαντικές ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα και μεθανίου, αέρια δηλαδή του θερμοκηπίου που απορροφούν μεγάλο μέρος της εκπεμπόμενης από τη Γη ακτινοβολίας με αποτέλεσμα να θερμαίνουν την ατμόσφαιρα. Επίσης ο ηφαιστειακός καπνός (σκόνη και στάχτη) μετά από εκρήξεις παρεμπόδιζε το ηλιακό φως με αποτέλεσμα χαμηλές θερμοκρασίες. Άλλα παραδείγματα κλιματικών αλλαγών εξαιτίας του παράγοντα «φύση» αποτελούν η εναλλαγή παγετώδων και μεσοπαγετώδων περιόδων με θερμές περιόδους, αστρονομικοί παράγοντες καθώς και αλλαγές στην ηλιακή ακτινοβολία.

Στις παραπάνω περιπτώσεις που η φύση «έχει τον λόγο», ο άνθρωπος εμφανίζεται ανίσχυρος: δεν μπορεί να εμποδίσει τα πολύπλοκα φυσικά φαινόμενα να συμβούν ή ακόμα και να τα προβλέψει με ακρίβεια. Αν και έχουν γίνει σοβαρές προσπάθειες μελέτης της ατμόσφαιρας, (οι οποίες αναλύονται στο τέλος του πρώτου κεφαλαίου) η κατανόηση των λειτουργιών της δεν είναι ακόμα ικανοποιητική. Από τις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα γίνονταν προσπάθειες πρόβλεψης του καιρού, παρ' όλα αυτά η μακροπρόθεσμη πρόγνωση του ήταν καταδικασμένη σε αποτυχία: «Κάθε φυσικό φαινόμενο που συμπεριφέρεται με μη περιοδικό τρόπο δεν είναι προβλέψιμο».

Υπάρχει όμως και η αντίθετη περίπτωση όπου ο άνθρωπος φαίνεται πως είναι πολύ ισχυρός και η δύναμη του να επιδρά στο κλίμα της Γης είναι θεαματική. Μάλιστα σε αυτή την περίπτωση η αποσταθεροποίηση του κλίματος είναι ραγδαία και σωρεία προβλημάτων εμφανίζονται, τέτοια προβλήματα και σε τέτοιο βαθμό που η φύση δεν δημιουργεί.

Το θέμα είναι αρκετά πολύπλοκο. Κάποιοι επιστήμονες υποστηρίζουν ότι η ενέργεια που εκπέμπεται από τον Ήλιο είναι η κυρίως υπεύθυνη για το σύστημα του κλίματος και οι φυσικές αλλαγές στη συμπεριφορά του Ήλιου μπορούν να έχουν μια πολύ μεγαλύτερη επίδραση από ότι η ανθρώπινη δραστηριότητα πάνω στο κλίμα. Από την άλλη μεριά έχει βρεθεί ότι η ποσότητα του διοξειδίου του άνθρακα που εκλύεται από την ηφαιστειακή δραστηριότητα είναι αμελητέα μπροστά σε αυτήν που εκλύεται στις μέρες μας από την ανθρώπινη. Και ότι τα διάφορα ωκεάνια φαινόμενα αλληλοεπιδρούν με την ατμόσφαιρα και επηρεάζουν τις κλιματολογικές συνθήκες, π.χ. η κίνηση του ανέμου εξαρτάται από τα θαλάσσια ρεύματα και αντίστροφα αλλά είναι ως τώρα άλυτο το αν η αύξηση κάποιων ωκεάνιων φυσικών φαινομένων είναι κάτι φυσιολογικό ή προκαλείται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Για παράδειγμα στην περίπτωση του φαινομένου του θερμοκηπίου γνωρίζουμε ότι οι ανθρώπινες δραστηριότητες ενισχύουν το φυσικό αυτό φαινόμενο - δεν το προκαλούν. Το σίγουρο είναι ότι η Γη διαθέτει τους φυσικούς μηχανισμούς ελέγχου των κλιματολογικών της συνθηκών και μπορεί να διατηρεί τις ισορροπίες ενώ αντίθετα οι βλάβες που προκαλούν οι άνθρωποι στην

κλιματική ισορροπία με τις δραστηριότητες τους υπερνικούν αυτούς τους μηχανισμούς με ανεπαισθητά συνέπειες για τον πλανήτη.

Η φύση όπως αναφέρω παραπάνω έχει φροντίσει να εξασφαλίσει ισορροπία για να μπορεί ο άνθρωπος να ζει αρμονικά. Υπάρχουν φαινόμενα που παρατηρούνται στη φύση, αλλά είναι αρκετά δύσκολο να εξηγηθούν, χάρη στα οποία υπάρχει ζωή στον πλανήτη. Ο άνθρωπος όμως δρα αυτοκαταστροφικά και ανεύθυνα. Η φύση του έχει χαρίσει μια τεράστια πηγή ζωής: τα δάση, αλλά εκείνος τα καίει. Στη φύση υπάρχουν αποθέματα ορυκτού πλούτου μη ανεξάντλητα που όμως ο άνθρωπος χρησιμοποιεί αλόγιστα και τα εξαντλεί. Και τα έμμεσα αποτελέσματα αυτών των ενεργειών του: οι πυρκαγιές των δασών και η αλόγιστη χρήση ορυκτών καυσίμων πετρελαίου και άνθρακα συσσωρεύουν διοξείδιο του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, μεταβάλλεται δηλαδή η συγκέντρωση αυτού του θερμοκηπικού αερίου, διαταράσσεται το ενεργειακό ισοζύγιο και προκαλείται μεταβολή της θερμοκρασίας και έτσι κλιματικές αλλαγές. Αυτό είναι ένα μόνο παράδειγμα από τα δεκάδες που έχουν να κάνουν με λάθος ανθρώπινους χειρισμούς και τις συνέπειες τους στην ίδια τους την ζωή.

Οι εκπομπές θερμοκηπικών αερίων θα συνεχίσουν να αυξάνονται στο άμεσο μέλλον όχι όμως με τους υψηλότερους δυνατούς ρυθμούς αύξησης γιατί κάποιες χώρες θεωρούν την κλιματική αλλαγή απειλή και έχουν αρχίσει να εφαρμόζουν «οικολογική» πολιτική. Χρειάζεται παγκόσμια συνεργασία, ευαισθητοποίηση μέσω της ενημέρωσης, λίγοι πιστεύω είναι εκείνοι που κατανοούν την έκταση του προβλήματος και τον αντίκτυπο που θα έχει στη ζωή στον πλανήτη. Δεν πρέπει να περιμένουμε να γίνουν αισθητές οι βλαβερές συνέπειες στο περιβάλλον μας για να λάβουμε τα αναγκαία μέτρα. Έτσι λοιπόν κρίθηκε απαραίτητη η χρήση κλιματικών μοντέλων τα οποία προβλέπουν τα καιρικά συστήματα ανά τον κόσμο (θερμοκρασία, υγρασία, άνεμος, πάχος κ.ά.) μακροπρόθεσμα και υπολογίζουν τις αλλαγές στην κατανομή των θερμοκρασιών και των βροχοπτώσεων με αυξημένη συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα, δείχνουν δηλαδή πως δρα το φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου και θεωρούνται αξιόπιστα (αναλυτικά αναφέρονται στο 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο).

Τα αξιόπιστα αυτά σενάρια προβλέπουν αύξηση της θερμοκρασίας περίπου 3,4<sup>ο</sup> C με συνέπεια το λιώσιμο των πάγων στους πόλους άρα αύξηση της στάθμης της θάλασσας άρα καταβύθιση παράκτιων περιοχών και πλημμύρες, μετακίνηση πληθυσμών (ανθρώπων και ειδών του ζωικού βασιλείου) και οικονομικές απώλειες. Τα καιρικά φαινόμενα θα είναι ακραία: Οι εκτεταμένες πλημμύρες θα μετατρέψουν παραγωγικές εκτάσεις σε άγονες ερήμους ενώ η μεγάλη ξηρασία θα προκαλέσει λειψυδρία, μείωση της αγροτικής παραγωγής εξαιτίας της έλλειψης νερού για πότισμα των καλλιεργήσιμων εκτάσεων και πυρκαγιές δασικών περιοχών. Η μείωση της αγροτικής παραγωγής θα ενισχύσει το πρόβλημα του υποσιτισμού και το αγροτικό εισόδημα θα μειωθεί με αποτέλεσμα την περαιτέρω μετακίνηση του πληθυσμού στις ήδη πολυπληθείς αστικές περιοχές. Ο κίνδυνος να πληγεί ο τουρισμός με τις νέες συνθήκες είναι μεγάλος. Θα υπάρξουν προβλήματα στα οικοσυστήματα, πολλά είδη χλωρίδας και πανίδας θα εξαφανιστούν, οι άνθρωποι θα αντιμετώπιζον προβλήματα υγείας εξαιτίας του καύσωνα. Το συμπέρασμα

είναι πως μία σειρά αλυσιδωτών προβλημάτων έχει αρχίσει να παίρνει ανεξέλεγκτες διαστάσεις.

Στα τρία πρώτα κεφάλαια έγινε εκτενής αναφορά και ανάλυση του φαινομένου αλλαγής του κλίματος ώστε αυτό να γίνει όσο το δυνατόν κατανοητό και να μας προτρέψει να κάνουμε αυτό που μπορούμε από την πλευρά μας: να μην το επιδεινώσουμε. Υπάρχουν και τα μέσα και οι τρόποι να το πετύχουμε αρκεί οι χώρες να τηρήσουν τις διεθνείς συμφωνίες για τον περιορισμό των εκπομπών θερμοκηπικών αερίων, οι αναπτυσσόμενες χώρες να βοηθηθούν ώστε να ακολουθήσουν μια ενεργειακή πολιτική περιορισμένων εκπομπών, χρήση ήπιων και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας δηλαδή εκμετάλλευση ροής ενέργειας στη φύση (ηλιακή, γεωθερμική, αιολική, βιομάζας κ.ά.) που δεν αποδεσμεύουν υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα ή τοξικά και προέρχονται από φυσικές διαδικασίες. Επίσης η διαχείριση και αξιοποίηση των απορριμάτων για επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση π.χ. πλαστικό, γυαλί, χαρτί, μέταλλα, αλλαγή παλιού τύπου ηλεκτρικών συσκευών με νέες οικονομικότερες. Το τρίπτυχο: Εξοικονόμηση-Επαναχρησιμοποίηση-Ανακύκλωση θα πρέπει να μας γίνει τρόπος ζωής. Οι διεθνείς περιβαλλοντικές συμφωνίες θα πρέπει να τηρούνται από όλους χωρίς εξαιρέσεις. Δεν έχει νόημα η Ευρωπαϊκή κοινότητα να έχει πάρει μέτρα περιορισμού των εκπομπών και γι αυτό οι επιχειρήσεις να στρέφονται σε χώρες όπως η Κίνα και η Ινδία σαφώς ελαστικότερες και έτσι ανενόχλητες και με μεγαλύτερο οικονομικό όφελος να πουλούν τα προϊόντα τους όπου επιθυμούν. Τέλος ειδική αναφορά θα ήθελα να γίνει στον τομέα των θαλάσσιων μεταφορών, στο μερίδιο ευθύνης που φέρουν και στα μέτρα που πρέπει να παρθούν.

Τα κυριότερα περιβαλλοντικά ζητήματα που προκύπτουν από την εμπορική και ποντοπόρο ναυτιλία και πως αυτά προκαλούνται:

- Εκπομπές στον αέρα, κυρίως αέρια του θερμοκηπίου (δηλαδή υδρατμοί, διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο, χλωροφθοράνθρακες κλπ.) από εξατμίσεις και αέρια που εκπέμπονται από πλοία.
- Αποβολές βλαβερών ουσιών στη θάλασσα, καταπονώντας έτσι την οικολογική ισορροπία των ωκεανών, είτε αυτό συμβαίνει κατά την λειτουργία των μηχανών των πλοίων είτε τυχαία είτε από ατυχήματα.
- Ρύπανση του νερού και του εδάφους η οποία προκαλείται από την κακή διαχείριση των αποβλήτων από βιομηχανίες καθώς και από τα ναυπηγεία διάλυσης πλοίων.
- Κατανάλωση μέχρι εξαντλήσεως των φυσικών πόρων, κυρίως υδρογονανθράκων.
- Έκθεση της υγείας των ανθρώπων, ξεκινώντας από το τι αναπνέουμε, τρώμε και πίνουμε έως το τι συνθήκες εργασίας απολαμβάνουμε.
- Λειτουργικές και τεχνολογικές εξελίξεις από τις οποίες θα προκληθούν μελλοντικά επιπλέον περιβαλλοντικά προβλήματα.

Πιο αναλυτικά:

Οι εκπομπές στον αέρα οδηγούν σε υπερθέρμανση του πλανήτη και κατά συνέπεια επηρεάζουν το περιβάλλον

Η Ναυτιλία είναι υπεύθυνη για:

- 2-4% των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα
- Κοντά στο 15% των εκπομπών οξειδίου του αζώτου
- Περίπου 6% των εκπομπών οξειδίου του θείου και άλλα

Το θετικό γεγονός είναι ότι η Ναυτιλία

- Απασχολεί το 80% του παγκόσμιου εμπορίου
- Είναι σαφώς ο πιο αποτελεσματικός και ασφαλής τρόπος μεταφοράς και προκαλεί λιγότερο από κάθε άλλο παράγοντα ρύπανση του περιβάλλοντος αναλογικά βέβαια με το μέγεθος του στόλου που χρησιμοποιείται (αριθμός πλοίων εν πλω).
- Δεν μπορεί να αντικατασταθεί με κανένα άλλο μέσο μεταφοράς.

Παρ' όλα αυτά το μερίδιο της Ναυτιλίας στις διάφορες προαναφερόμενες εκπομπές προβλέπεται ότι θα αυξηθεί σημαντικά αφού από το 2025 ο αριθμός των εμπορικών πλοίων αναμένεται να διπλασιαστεί. Τρία σημεία που αναφέρονται παρακάτω θα χρειαστεί ο ναυτιλιακός τομέας και κάθε εταιρία ξεχωριστά να προσέξει ιδιαίτερα ώστε να βελτιωθεί η κατάσταση σχετικά με την ρύπανση του αέρα:

- Να εφαρμόζεται η νέα τεχνολογία και στα καινούρια πλοία και αν είναι εφικτό και στα υπάρχοντα.
- Να μειωθεί η κατανάλωση ενέργειας μέσω διάφορων μέτρων που θα παρθούν σχετικά με τη λειτουργία των μηχανημάτων στα πλοία.
- Να αυξηθούν οι επενδύσεις στην έρευνα και στη καινοτομία.

Η ρύπανση της θάλασσας οδηγεί σε αλλαγές στο θαλάσσιο περιβάλλον

Η ναυτιλία συνεισφέρει αρνητικά κατά πολύ στη μόλυνση του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Οι συνέπειες της Ναυτιλίας δεν εξαπλώνονται ομοιόμορφα στους ωκεανούς αλλά συγκεντρώνονται κυρίως στις ναυτιλιακές γραμμές με έντονη δραστηριότητα. Κυρίως

- Ø anti-fouling προϊόντα όπως το Tributyltin (TBT) έχει βρεθεί ότι έχει τις πιο σοβαρές επιπτώσεις σε διάφορα θαλάσσια είδη.
- Ø 10 δισεκατομμύρια τόνοι έρματος μεταφέρονται παγκοσμίως σε ετήσια βάση. Αυτό το νερό περιέχει χιλιάδες θαλάσσια είδη τα οποία μεταφέρονται σε νέο περιβάλλον και αλλάζουν ολόκληρη την τοπική οικολογία.
- Ø 20% από τα πλαστικά απόβλητα προέρχονται από τα πλοία και μολύνουν τα θαλάσσια οικοσυστήματα σε μόνιμη βάση καθώς επίσης αποτελούν απειλή για τα είδη στην κορυφή της τροφικής αλυσίδας.

- Ø Λάδια και χημικά απόβλητα προερχόμενα από ατυχήματα ή από τις μηχανές των πλοίων έχουν φοβερές συνέπειες στις θαλάσσιες περιοχές που αποβάλλονται.
- Ø Η ηχορύπανση επιδρά αρνητικά στη θαλάσσια ζωή και επηρεάζει την αναπαραγωγή των ειδών.

### Οι επικίνδυνες ουσίες στο έδαφος οδηγούν σε μόλυνση του νερού και της βλάστησης

Βιομηχανίες, ναυπηγεία, πλοία σε λειτουργία καθώς και παλιοσίδερα από παροπλισμένα πλοία ευθύνονται για την αποβολή στο περιβάλλον επικίδυνων ουσιών, όπως αυτές χαρακτηρίζονται από τον IMO (International Maritime Organization) όπως οι εξής: αμίαντος, μόλυβδος, κασσίτερος, κάδμιο, πλαστικά, υλικά που περιέχουν PCB, PCT, PPB και διάφορα χημικά.

### Η εξάντληση των φυσικών πόρων οδηγεί σε λιγότερους πόρους για τις επόμενες γενιές

2-4% των εμπορικών πλοίων διαλύεται σε παλιοσίδερα κάθε χρόνο δηλαδή 6-700 πλοία (15-20 εκατ. DWT). Κάθε ένα από αυτά τα πλοία έχει καταναλώσει τεράστιες ποσότητες ενέργειας, ασαλιού και υλικών μερικά από αυτά πολύ σπάνια για να κατασκευαστούν. Τα βασικά σημεία που θα πρέπει να δοθεί ειδική σημασία για να μειωθεί η κατανάλωση ενέργειας και η εξάντληση των φυσικών πόρων είναι τα εξής:

- Ø Ανακύκλωση-επαναχρησιμοποίηση του κύτους των πλοίων (hull)
- Ø Επισκευή μηχανημάτων σύμφωνα με τις απαιτήσεις ποιότητας και ασφάλειας από τον κατασκευαστή.
- Ø Επαναχρησιμοποίηση δηλαδή παρατεταμένη ζωή των προϊόντων-υλικών που μπορεί ή όχι να απαιτούν κάποια αναβάθμιση.
- Ø Μείωση κατανάλωσης ενέργειας δηλαδή επεξεργασία υπαρχόντων ουσιών, υλικών και προϊόντων και επαναχρησιμοποίηση τους.

Έχει παρατηρηθεί ότι η επαναχρησιμοποίηση του μετάλλου προερχόμενου από παροπλισμένα πλοία μπορεί να εξοικονομήσει ενέργεια έως και 70% από αυτήν που χρειάζεται για μια νέα μεταλλική παραγωγή-κατασκευή. Άρα υπάρχουν πολύ καλοί λόγοι για τους οποίους χρησιμοποιημένα προϊόντα θα επαναχρησιμοποιούνται όλο και συχνότερα σε νεόκτιστα πλοία.

### Η φτώχεια και οι κακές συνθήκες εργασίας οδηγούν σε υποβάθμιση της ανθρώπινης υγείας

Υπάρχουν πολυάριθμες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία εξαιτίας της μόλυνσης του αέρα, του νερού, του εδάφους και γενικά του περιβάλλοντος. Για παράδειγμα:

- Ø Οι εκπομπές διάφορων κόκκων σκόνης και άλλων σωματιδίων προκαλεί καρκίνο του πνεύμονα και βρογχίτιδα.
- Ø Οι εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα προκαλεί πονοκεφάλους και ζαλάδες.
- Ø Το PCB μεταφέρεται στι μητρικό γάλα και επηρεάζει την γονιμότητα.

- Ø Κακής ποιότητας νερό προκαλούν στομαχικές διαταραχές, εμετούς και αφυδάτωση.
- Ø Όταν τα μέτρα ασφαλείας δεν παίρνονται όπως πρέπει, τα εργασιακά ατυχήματα είναι συνισμένο φαινόμενο στα πλοία.
- Ø Οι δυνατοί ήχοι και οι δονήσεις προκαλούν πονοκέφαλο και κούραση.
- Ø Ιατρική περίθαλψη και ασφάλεια ζωής είναι απαραίτητα για τους εργαζόμενους και τις οικογένειες τους.

Οι απαιτήσεις όσον αφορά στους κινδύνους-ασφάλεια και στα θέματα υγείας των πληρωμάτων έχουν αυξηθεί τις τελευταίες δεκαετίες σε πολύ μεγάλο βαθμό και θα συνεχίζουν να αυξάνονται. Κι αυτό λόγω του αυξανόμενου επιπέδου των απαιτήσεων διαβίωσης των εργαζομένων και των παγκοσμίου εμβέλειας κινητοποιήσεων σωματείων για τα δικαιώματα των εργαζομένων και την εκμετάλλευση τους.

### Νέες προηγμένες τεχνολογίες θα πάνε μπροστά την Εμπορική Ναυτιλία του μέλλοντος

#### Τεχνολογία

Δηλαδή εφαρμογή της νέας τεχνολογίας στο μέγιστο βαθμό τόσο στα υπάρχοντα πλοία όσο και στις νέες κατασκευές.

#### Κατανάλωση ενέργειας

Μειωμένη κατανάλωση ενέργειας μέσω λειτουργικών μέτρων, αλλαγή από χαμηλής σε υψηλότερης ποιότητας καύσιμα, αντί για υπολείμματα χρήση καθαρών, αποσταγμένων καυσίμων και τέλος χρήση φυσικών πηγών ενέργειας όπως φυσικό αέριο, αιολική και ηλιακή ενέργεια.

Διαπιστώνουμε λοιπόν ότι αν και τα πλοία σαν μέσα μεταφοράς καταναλώνουν πολύ λιγότερη ενέργεια σε σχέση με τα αυτοκίνητα ή τα αεροπλάνα θα πρέπει να γίνουν και εκεί προσπάθειες ελέγχου των εκπομπών θερμοκηπικών αερίων και γενικότερα το καλύτερο θα ήταν τα βασικά τουλάχιστον καταναλωτικά αγαθά να παράγονται όσο το δυνατόν πιο κοντά στους τόπους κατανάλωσης τους ώστε να αποφεύγονται οι άσκοπες μεταφορές.

Αν οι διαστάσεις των προβλημάτων που προκαλούνται από την κλιματική αλλαγή γίνουν γνωστές και τα αναγκαία μέτρα για την αποτροπή της περαιτέρω επιδείνωσης τους παρθούν από όλους σίγουρα θα βελτιωθεί η ποιότητα ζωής μας βραχυπρόθεσμα και η ομαλή φυσική εξέλιξη του κλίματος μακροπρόθεσμα. Ελπίζω η εργασία αυτή να έχει μία ελάχιστη έστω συμβολή σε αυτό.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Colbert E, *Ημερολόγιο μιας καταστροφής (άνθρωπος, φύση και κλιματική αλλαγή)*, Εκδόσεις Αβγό- Ωκεανίδα, Αθήνα (2007)
2. Cousteau, J. Y., Cousteau, P., Dirole. P., «Οι υποβρύχιες ανακαλύψεις του J. Y. Cousteau» (Εισαγωγή και τόμοι 1-8), Εκδόσεις Αλκυών, Αθήνα (1971).
3. Cox J. D., *Η κατάρευση του κλίματος (η αιφνίδια κλιματική αλλαγή και όσα συνεπάγεται για το μέλλον μας)*, Εκδόσεις Ενάλιος, Αθήνα (2007)
4. DNV Managing Risk, It is more than global warming, The environmental challenges, Maritime 2009
5. EU, 2006. ENERGY & TRANSPORT 2006 IN FIGURES. Part 2: ENERGY. Directorate-General for Energy and Transport in cooperation with Eurostat (2006\_energy\_en.pdf)
6. Fifer J., *Η ατμόσφαιρα αλλάζει: μια παγκόσμια πρόκληση*, Εκδόσεις Π. Τραυλός- Ε. Κωσταράκη, Αθήνα (1992)
7. Gribbin J., *Το θερμοκήπιο Γη (Η παγκόσμια υπερθέρμανση και η Γαία)*, Εκδόσεις Ωρόρα, Αθήνα (1992)
8. Hansen J., «Tipping Point», στο E. Fearn & K.H. Redford (επιμ.), *The State of the Wild 2008*, Island Press, Washington (2008)
9. Kookla, G., *Nature*, 2003
10. Lamptey, B.L., Barron, E.J., and Pollard, D., *Simulation of the relative impact of land cover and carbon dioxide to climate change from 1700 to 2100*, *Journal of Geophysical Research*, 110, D20103, doi:10.1029/2005JD005916.
11. March R., *Η Φυσική για ποιητές*, Εκδόσεις Δίαυλος, Αθήνα (1996)
12. Mitchell, T. and Hulme, M., A country-by-country analysis of past and future warming rates. Tyndall Centre Internal Report, 2000
13. Muller, R., Rhode, R., *Nature*, 2006
14. Nielsen, R. H., *Νέα θεωρία: το φαινόμενο του θερμοκηπίου αφάνισε τη ζωή*, *Περιοδικό Science Illustrated* (Νοέμβριος 2007): 71-74.
15. Segre E., *Ιστορία της Φυσικής (τόμοι Α΄, Β΄)*, Εκδόσεις Δίαυλος, Αθήνα (1997)
16. Tassios D. P., *Εφαρμοσμένη Θερμοδυναμική Χημικής Μηχανικής*, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε. Μ. Π., Αθήνα (2001)
17. W.W.F., *Climate change impacts in the Mediterranean resulting from a 2 degrees C global temperature rise*, 2005
18. W.W.F., *Europe feels the heat*, Αύγουστος 2005
19. Young H. D., *Πανεπιστημιακή Φυσική (τόμος II: Ηλεκτρομαγνητισμός, Οπτική, Σύγχρονη Φυσική)*, Εκδόσεις Παπαζήση, Αθήνα (1991)
20. Βαρώτσος Κ., Kondratiev K., *Φυσικοχημεία Περιβάλλοντος (τόμος I: Ακτινοβολία- Θερμοκήπιο- Κλιματική Αλλαγή)*, Εκδόσεις Π. Τραυλός- Ε. Κωσταράκη, Αθήνα (1996)
21. Βαρώτσος Κ., *Ατμόσφαιρα και Αεροπορική Κυκλοφορία*, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα (2001)

22. Βαρώντος Κ., *Σημειώσεις Εισαγωγής στη Φυσική της Ατμόσφαιρας*, Έκδοση Πανεπιστημίου Αθηνών, Αθήνα (1997)
23. Βλάχος Γ.Π., Σαμιώτης Γ.Δ., *Διεθνής Ναυτιλιακή Πολιτική- Νέα Σύμβαση για το Δίκαιο της Θάλασσας*, Εκδόσεις Σακκούλας, Αθήνα-Κομοτηνή (1997)
24. Γεωργόπουλος Α., *Γη, ένας μικρός και εύθραυστος πλανήτης*, Εκδόσεις Gutenberg, Αθήνα (1996)
25. Δανέζης Μ., Θεοδοσίου Ε., *Το Σύμπαν που αγάπησα*, τόμοι Α΄ και Β΄, Εκδόσεις Δίαυλος, Αθήνα (1999)
26. Καραγιαννόπουλος Ι., *Το Βυζαντινό Κράτος*, Εκδόσεις Βάνιας, Θεσσαλονίκη (2001),
27. Κατάκης Δ., Πνευματικάκης Κ., *Πανεπιστημιακή Ανόργανος Χημεία*, τόμος Α΄, Εκδόσεις Ο.Ε.Δ.Β., Αθήνα (1988)
28. Κορδάτος Ι., *Μεγάλη Ιστορία της Ελλάδας*, τόμος 7 (Βυζαντινή Α΄, 395-1204 μ.Χ.), εκδόσεις 20<sup>ος</sup> Αιώνας, Αθήνα 1959
29. Μαριολάκος Η., *Περίοδοι Ξηρασίας κατά τους Ιστορικούς και Προϊστορικούς χρόνους στις χώρες της Ανατολικής Μεσογείου*, παρουσίαση στα πλαίσια συνεδρίου για την ολοκληρωμένη διαχείριση των υδάτων του ποταμού Ευρώτα, Σπάρτη (2007)
30. Παναγόπουλος, *Δίκαιο Περιβάλλοντος*, Εκδόσεις Σταμούλης, Αθήνα (2004)
31. Παπανικολάου Δ., Σιδέρης Χρ., *Γεωλογία, η επιστήμη της Γης*, Εκδόσεις Πατάκη, Αθήνα (2005)
32. Σακελλαριάδου Φ., *Ρύπανση και Ναυτιλία (Σημειώσεις)*, Έκδοση Πανεπιστημίου Πειραιά, Πειραιάς (2008)
33. Σαρπάκη Α., *Το περιβάλλον κατά τη διάρκεια της Πλειστόκαινου περιόδου: Τα φυτά της φύσης*, Αρχαιολογία και Τέχνες 58, 1996, σ. 41
34. Σαχσαμάνογλου Χ. Σ., Μακρογιάννης Τ. Ι., *Γενική Μετεωρολογία*, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη (1998)
35. Σαχτούρη Ε., *Γαία: το ανθρώπινο ταξίδι από το χάος στον κόσμο*, Εκδόσεις Νέα Σύνορα, Αθήνα (1989)

## ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΟΙ ΙΣΤΟΤΟΠΟΙ

36. Διαδικτυακή εγκυκλοπαίδεια <http://www.wikipedia.org>
37. Ελληνικός διαδικτυακός ιστότοπος Φυσικής <http://www.physics4u.gr>
38. Ιστοσελίδα National Oceanic and Atmospheric Administration (NOOA)-Υπουργείο Εμπορίου Η.Π.Α., <http://www.noaa.gov>
39. Ιστοσελίδα Εθνικού Αστεροσκοπείου: [http://www.climate.noa.gr/Reports/CC\\_reports.htm](http://www.climate.noa.gr/Reports/CC_reports.htm)
40. Ιστότοπος NASA <http://www.NASA.gov>
41. Ιστότοπος της διεθνούς περιβαλλοντικής οργάνωσης «Greenpeace» <http://www.greenpeace.org>
42. Ιστότοπος της Ειδικής Υπηρεσίας Διαχείρισης Επιχειρησιακού Προγράμματος <http://www.infosoc.gr>
43. Ιστότοπος της εταιρείας Δ.Ε.Η. <http://www.dei.gr>
44. Ιστότοπος της εταιρείας πετρελαιοειδών «Shell» <http://www.shell.com>
45. Ιστότοπος της εφημερίδας «Ελευθεροτυπία» <http://www.enet.gr>
46. Ιστότοπος: Βουδούρη Γεωθερμία <http://www.boudouri.gr>