

# Οι μεγάλες προκλήσεις: Ενεργειακή κρίση και κλιματική αλλαγή

## 1.1 Από την πρώτη φωτιά στα ορυκτά καύσιμα

Εδώ και δεκάδες χιλιάδες χρόνια ο άνθρωπος χρησιμοποιεί την *ενέργεια* για να κάνει τη ζωή του πιο εύκολη. Στην αρχή με τρόπο εντελώς παθητικό: εκμεταλλευόταν απλώς τη θερμότητα της ηλιακής ακτινοβολίας για να ζεσταθεί. Λίγο αργότερα έκαιγε ξύλα, δηλαδή τη *βιομάζα* που είχε δημιουργηθεί από το *νερό* και το *διοξείδιο του άνθρακα* με τη βοήθεια της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω μιας διεργασίας που ονομάζουμε σήμερα *φωτοσύνθεση*. Η μετάβαση από τη μια κατάσταση στην άλλη μέσω της ανακάλυψης της φωτιάς ήταν ένα τεράστιο βήμα στην ανθρώπινη ιστορία. Η σημασία του μύθου του Προμηθέα είναι εύλογη γιατί συμβολίζει την ενεργητική συμμετοχή του ανθρώπου στην αποδέσμευση της ενέργειας.

Η φωτιά, ωστόσο, χρησιμοποιήθηκε πολύ πιο πριν από τότε που ενδεχομένως υπαινίσσεται ο μύθος του Προμηθέα. Υποστηρίζεται ότι αυτό έγινε για πρώτη φορά πριν από 790.000 χρόνια στην Αφρική, αν και ορισμένοι το τοποθετούν 500.000 χρόνια πριν στην Ευρώπη. Σε κάθε περίπτωση, πολύ πριν εμφανισθεί ο σημερινός άνθρωπος, ο *Homo Sapiens* (ο Άνθρωπος ο σοφός). Είναι πολύ πιθανό ότι αυτό είχε γίνει ήδη από τον *Homo Erectus*, που έζησε πριν από 1,5 εκατομμύρια έως πριν από 200.000 χρόνια και που ανάβοντας την πρώτη φωτιά ανακάλυψε τη *βιοενέργεια*. Ωστόσο, η χρήση της φωτιάς για την παραγωγή ενέργειας γενικεύτηκε πριν από 200.000 έως 400.000 χρόνια, πιθανότατα από τον *Homo Sapiens*, που ζει τα τελευταία 250.000 χρόνια, και από τον *Homo Neάντερταλ*, που εμφανίσθηκε πριν από 250.000-200.000 χρόνια και εξαφανίσθηκε οριστικά πριν από 40.000 χρόνια. *Είναι χαρακτηριστικό ότι η ανακάλυψη της φωτιάς έγινε πολύ πριν από την ανακάλυψη της γλώσσας.*

Για τεράστιες χρονικές περιόδους ο άνθρωπος έκαιγε ξύλα για να ζεσταθεί, να ψήσει το φαγητό του και να λιώσει μέταλλα για να φτιάξει εργαλεία και

Εικόνα 1: Ο Προμηθέας, έργο του Γκυστάβ Μορώ (1868, λάδι σε καμβά, ιδιωτική συλλογή).



πολεμικά όπλα, χωρίς να γνωρίζει ότι κατά τη διάρκεια της πλήρους καύσης η βιομάζα μετατρέπεται σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό, δηλαδή στα μόρια που είχαν ακριβώς χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη των φυτών που τώρα έκαίγε για να πάρει την ενέργειά τους. Δεν μπορούσε προφανώς να αντιληφθεί ότι η ενέργεια της φωτιάς που τον ζέσταινε ήταν ακριβώς η ηλιακή ενέργεια η οποία είχε δεσμευτεί στα φυτά κατά τη φωτοσύνθεση. Δεν μπορούσε προπάντων να καταλάβει ότι η **καύση** ήταν η αντιστροφή της φωτοσύνθεσης. Παρ' όλη την απολύτως δικαιολογημένη άγνοια, η εκμετάλλευση της ενέργειας που παρήγε από την καύση της ξυλώδους βιομάζας γινόταν όλο και πιο εντατική.

Ύστερα ήρθε η ώρα των πρώτων **στερεών βιοκαυσίμων**, πολύ πριν από τα ορυκτά καύσιμα! Πριν από 30.000 χρόνια ο άνθρωπος παρήγαγε το πρώτο βιοκαύσιμο! Ήταν ο **ξυλάνθρακας** (charcoal), που σχηματίζεται από τη βραδεία καύση των ξύλων (καύση χωρίς ή με ελάχιστο αέρα). Τις πρώτες ενδείξεις για τη χρήση του ξυλάνθρακα τις βρίσκουμε στη ζωγραφική των σπηλαίων. Ήταν αυτό το βιοκαύσιμο που μαζί με την ακατέργαστη ξυλώδη βιομάζα επικρατούσε για τεράστιες χρονικές περιόδους. Δεν υπάρχει αμφιβολία πως προηγήθηκε η χρήση του ξυλάνθρακα από εκείνη του ορυκτού άνθρακα, που, όπως θα δούμε, γενικεύτηκε πολύ πολύ αργότερα. Ακόμη και κατά την αρχαιότητα, όπου είχε γίνει αντιληπτός ο ορυκτός άνθρακας, τον αντιμετώπιζαν ως ιδιαίζον πέτρωμα που περιέργως έμοιαζε με τον πολύ γνωστό τότε ξυλάνθρακα. Είναι χαρακτηριστικό πως ο Θεόφραστος (περ. 371-287 π.Χ.) περιέγραψε τον ορυκτό άνθρακα ως **λίθο ξυλάνθρακος**. Επίσης ο Ρωμαίος φυσιοδίφης Πλίνιος αναφέρει πως στη Θεσπρωτία υπάρχει ένα ορυκτό που ονομάζεται **ανθρακίτης** και μοιάζει με τον ξυλάνθρακα. Ο ξυλάνθρακας ήταν το πρώτο στερεό βιοκαύσιμο. Για τη γενικευμένη χρήση του πρώτου υγρού βιοκαυσίμου θα έπρεπε να περιμένουμε πολύ ακόμη.

Το πρώτο **υγρό βιοκαύσιμο** ήταν κάποιο φυτικό λάδι που χρησιμοποιούνταν στις πήλινες λυχνίες ήδη από την περίοδο των πρώτων ανθρώπων

πολιτισμών, γύρω στο 4000 π.Χ. Η χρήση των φυτικών ελαίων, κυρίως για φωτισμό, επικρατούσε για χιλιάδες χρόνια. Αργότερα χρησιμοποιήθηκαν και ζωικά λίπη που έχουν την ίδια περίπου χημική σύσταση με τα φυτικά έλαια. Είναι χαρακτηριστικό ότι έναν περίπου αιώνα πριν αρχίσει η εξόρυξη του αργού πετρελαίου στην παγκόσμια αγορά ανθούσε το εμπόριο του *λαδιού της φάλαινας* ως υγρού βιοκαυσίμου. Ήταν το πρώτο καύσιμο που την τιμή του διαπραγματεύονταν στην παγκόσμια αγορά. Το συνέλεξαν κυρίως στις ΗΠΑ, που η οικονομία τους εκείνη την εποχή επηρεαζόταν από το εμπόριο αυτού του καυσίμου. Θαλάσσιες μεταφορές λαδιού φάλαινας από το λιμάνι του Ναντάκετ (ανήκει στην πολιτεία της Μασαχουσέτης) προς την Ευρώπη σημειώνονται ήδη από το 1720, δηλαδή πριν από τον Πόλεμο της αμερικανικής Ανεξαρτησίας (1775-1783). Εκείνη την εποχή όλες σχεδόν οι μεγάλες ευρωπαϊκές πόλεις χρησιμοποιούσαν αυτό το καύσιμο για φωτισμό. Ο κυριότερος αποδέκτης αυτών των εξαγωγών των ΗΠΑ προς την Ευρώπη ήταν η Βρετανία. Μετά τον Πόλεμο της Ανεξαρτησίας η Βρετανία επέβαλε υψηλούς φόρους στις εισαγωγές αυτού του καυσίμου που έπληξαν την οικονομία των ΗΠΑ. Την ίδια εποχή στην Ευρώπη κυρίως άρχισαν να χρησιμοποιούν το *κραμβέλαιο* ως υγρό βιοκαύσιμο. Μετά τη Γαλλική Επανάσταση (1789-1799), και κατά τη διάρκεια των Ναπολεόντειων Πολέμων που ακολούθησαν, οι θαλάσσιες μεταφορές λαδιού φάλαινας προς τη Γαλλία διεκόπησαν πρακτικά και αυτό την έστρεψε προς τη χρήση κραμβέλαιου, που κατόπιν εξαπλώθηκε και στην υπόλοιπη Ευρώπη. Το κραμβέλαιο έγινε τότε το αγαπημένο καύσιμο των φάρων. Ήδη όμως από το 1878 ο Τόμας Τζέφερσον, περιγράφοντας τις διάφορες χρήσεις του λαδιού της φάλαινας στην αμερικανική χημική βιομηχανία και την παραγωγή ενέργειας, σημείωνε πως αναφορικά με την παραγωγή φωτεινής ενέργειας το λάδι της φάλαινας αντιμετωπίζει τον ανταγωνισμό των φυτικών ελαίων.

Παράλληλα με την καύση της ξυλώδους βιομάζας και τα πρώτα βιοκαύσιμα ο άνθρωπος χρησιμοποιούσε για τεράστιες χρονικές περιόδους και άλλες μορφές *ανανεώσιμης ενέργειας*, όπως η ενέργεια του ανέμου (ιστιοφόρα, ανεμόμυλοι) και η πτώση του νερού (νερόμυλοι). Σημειώνουμε ότι η χρήση της ενέργειας του ανέμου για την κίνηση πλοίων στο Νείλο πριν από 7.000 χρόνια είναι ίσως η δεύτερη ιστορικά χρήση ανανεώσιμης ενέργειας. Την ίδια περίοδο χρησιμοποιούσε την ενέργεια των ζώων για μεταφορές και αγροτικές εργασίες. Για τεράστιες χρονικές περιόδους τα παραπάνω αρκούσαν για να καλύψουν τις ενεργειακές του ανάγκες. Όμως οι ενεργειακές απαιτήσεις αυξάνονταν συνεχώς και η αναπτυσσόμενη τεχνολογία απαιτούσε νέες ενεργειακές πηγές.

Η γενικευμένη εξόρυξη και χρήση *ορυκτού άνθρακα* συνιστά τεράστια εξέλιξη από την άποψη της εκμετάλλευσης των ενεργειακών πηγών. Η διά-

δοσή του ξεκίνησε στα μέσα του 19ου αιώνα. Ως το 1875 η καύση της ξυλώδους βιομάζας κάλυπτε πάνω από το 75% των ενεργειακών αναγκών της ανθρωπότητας. Ο άνθρακας, μια πολύ βολική πρώτη ύλη για την παραγωγή ενέργειας, συνέβαλε σημαντικά στην ανάπτυξη της βιομηχανίας, κυρίως της βαριάς βιομηχανίας, και των μεταφορών. Τον ορυκτό άνθρακα τον διαδέχθηκε το *πετρέλαιο* και τα προϊόντα του ως βασικό ενεργειακό καύσιμο. Η πρώτη γεώτρηση για την αναζήτηση πετρελαίου έγινε από τον Έντγουιν Ντρέικ στην δυτική Πενσυλβανία τον Αύγουστο του 1859, σε βάθος 21 μέτρων. Αυτό άνοιξε το δρόμο στη βιομηχανία πετρελαίου. Την ίδια περίπου περίοδο πετρελαϊκά πεδία ανακαλύφθηκαν στην Ευρώπη και τη Μέση Ανατολή. Η προϊούσα εξάντληση των πετρελαϊκών αποθεμάτων συμπίπτει με την ανακάλυψη τεράστιων πηγών *φυσικού αερίου*, που σε αντίθεση με το πετρέλαιο, το οποίο αποτελείται από μείγμα υγρών κυρίως *υδρογονάνθρακων*, περιέχει κυρίως τον απλούστερο αέριο υδρογονάνθρακα, δηλαδή το *μεθάνιο*.

Αυτή είναι η μικρή ιστορία της εξέλιξης των ενεργειακών πηγών ως τη γενίκευση της χρήσης των λεγόμενων *ορυκτών καυσίμων*, που η καύση τους παράγει την αναγκαία ενέργεια για τη λειτουργία των σύγχρονων κοινωνιών. Από την άποψη της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης η ανακάλυψη και εξέλιξη του *ηλεκτρισμού* δεν άλλαξε την κατάσταση, καθώς για την παραγωγή του χρησιμοποιούμε κυρίως ορυκτό άνθρακα, πετρέλαιο και τελευταία φυσικό αέριο. Ας σημειώσουμε ότι ο σχηματισμός των ορυκτών καυσίμων ξεκίνησε με την παραγωγή βιομάζας, με φωτοσύνθεση, η οποία εγκλωβίστηκε στο εσωτερικό της Γης και κατά τη διάρκεια μεγάλων γεωλογικών περιόδων μετατράπηκε σε ορυκτά καύσιμα. *Ας σημειώσουμε ακόμη ότι τα ορυκτά καύσιμα από την ανακάλυψή τους ως τη βέβαιη εξάντλησή τους θα αποτελέσουν ένα σύντομο επεισόδιο στην ενεργειακή περιπέτεια της ανθρωπότητας.* Αν συμπίεζαμε την περίοδο της ζωής του σημερινού Ανθρώπου (*Homo Sapiens*, *Sapiens*) σε ένα χρόνο, τότε το διάστημα που χρησιμοποιεί η ανθρωπότητα ορυκτά καύσιμα θα ήταν μόλις 4,5 ώρες. Από τον άνθρωπο των σπηλαίων ως τον 20ό αιώνα, αυτό που δεσπόζει είναι η *βιοενέργεια*. Δηλαδή είτε η καύση της ξυλώδους βιομάζας είτε η καύση των βιοκαυσίμων που προκύπτουν άμεσα από αυτή.

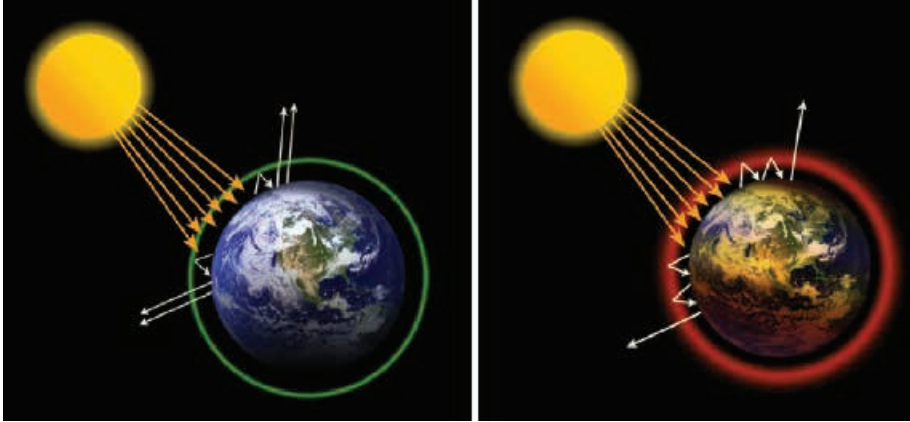
## 1.2 Το φαινόμενο του θερμοκηπίου

Το πέρασμα από τη βιομάζα στα ορυκτά καύσιμα συνδέθηκε με μια πολύ σημαντική μεταβολή που στην αρχή δεν την κατάλαβαν οι άνθρωποι ή, ακόμη και αν την κατάλαβαν, δεν της έδωσαν και πολύ σημασία. Όταν καίμε ορυκτά καύσιμα παίρνουμε επίσης διοξείδιο του άνθρακα και νερό, όπως ακριβώς και όταν καίμε βιομάζα. Υπάρχει όμως μια ουσιώδης διαφορά. *Το διοξείδιο του άνθρακα που αποδεσμεύεται από την καύση των ορυκτών καυσίμων, τα οποία*

είναι αποθηκευμένα στο εσωτερικό της Γης και έχουν παραχθεί σε μεγάλες γεωλογικές περιόδους, αυξάνει την περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε αυτό το αέριο. Αυτό δεν συμβαίνει με την καύση της βιομάζας, γιατί –όπως ήδη αναφέραμε– το παραγόμενο διοξείδιο του άνθρακα κατά την καύση της βιομάζας είχε ήδη απορροφηθεί από τη βιομάζα κατά την ανάπτυξη της φυτικής ύλης που καίμε για την παραγωγή ενέργειας. *Επομένως στην περίπτωση της βιομάζας δεν διαταράσσεται ο κύκλος του διοξειδίου του άνθρακα, όπως συμβαίνει στην περίπτωση των ορυκτών καυσίμων.*

Γιατί όμως θα πρέπει να ανησυχούμε για την αύξηση της ποσότητας του εκπεμπόμενου διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα; Η απάντηση είναι ότι αυτή η αύξηση επηρεάζει αρνητικά το *φαινόμενο του θερμοκηπίου*. Όλοι γνωρίζουμε τα θερμοκήπια που χρησιμοποιούν οι αγρότες μας. Το υλικό με το οποίο καλύπτονται επιτρέπει την είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας, που θερμαίνει τον εσωτερικό χώρο, αλλά εμποδίζει τη διαφυγή της θερμότητας προς το περιβάλλον. Έτσι η θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου αυξάνεται σημαντικά, κάτι που επιτρέπει την πρόωμη καλλιέργεια. Κάτι ανάλογο συμβαίνει και σε ολόκληρο τον πλανήτη, που είναι όμως λίγο πιο περίπλοκο. Ένα μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας απορροφάται από τη Γη και την ατμόσφαιρά της, περίπου 70%, ενώ το υπόλοιπο επανεκπέμπεται στο διάστημα. Αλλά η ηλιακή ακτινοβολία δεν είναι η μόνη που επανεκπέμπεται από τη Γη. Αυτή, επειδή βρίσκεται σε μια ορισμένη θερμοκρασία, εκπέμπει επίσης και *θερμική ακτινοβολία* που αντιστοιχεί σε μεγάλα μήκη κύματος. Η ατμόσφαιρα της Γης εξαιτίας της παρουσίας διαφόρων αερίων, ανάμεσα στα οποία και το διοξείδιο του άνθρακα, μπορεί και απορροφάει το 71% της μεγάλου μήκους κύματος γήινης θερμικής ακτινοβολίας. Η ατμόσφαιρα στη συνέχεια, λειτουργούσα ως δεύτερη, εκτός από τον ήλιο, πηγή θερμότητας, επανεκπέμπει θερμική ακτινοβολία προς τη Γη, μέρος της οποίας απορροφάται από την επιφάνεια της Γης, η οποία θερμαίνεται ακόμη περισσότερο. Η συνολική αυτή διεργασία κατά την οποία η ατμόσφαιρα της Γης συγκρατεί θερμότητα και συμβάλλει στην αύξηση της θερμοκρασίας της επιφάνειάς της είναι αυτό που ονομάζουμε *φαινόμενο του θερμοκηπίου*. Μια πολύ απλή απεικόνιση του φαινομένου του θερμοκηπίου μπορείτε να δείτε στην Εικόνα 2. Το φαινόμενο αυτό περιγράφηκε για πρώτη φορά το 1822 από τον βαρόνο Joseph Fourier. Η λειτουργία του φαινομένου είναι πολύ ευεργετική για την επιβίωση, καθώς ρυθμίζει τη μέση θερμοκρασία του πλανήτη στα σημερινά επίπεδα, δηλαδή στους 15°C. Χωρίς το φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου η μέση θερμοκρασία της γήινης επιφάνειας θα ήταν περίπου -18°C. Θα μιλούσαμε δηλαδή για έναν παγωμένο πλανήτη.

Καταλαβαίνουμε ότι η σημερινή μέση θερμοκρασία της Γης, που έχει επιτευχθεί κατά τη διάρκεια μεγάλων γεωλογικών περιόδων, θα μπορούσε να διατα-



Εικόνα 2: Απλή απεικόνιση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Όπως φαίνεται αριστερά, η ατμόσφαιρα ρυθμίζει τη γήινη θερμοκρασία συγκρατώντας ένα μέρος της ανακλώμενης ακτινοβολίας. Αν όμως, όπως φαίνεται στο δεξιό σχήμα, η ακτινοβολία εγκλωβιστεί σε μεγαλύτερο βαθμό, ο πλανήτης υπερθερμαίνεται.

ραχθεί σημαντικά αν άλλαζε η περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε διοξείδιο του άνθρακα, εξαιτίας της αυξανόμενης χρήσης ορυκτών καυσίμων. Αυτό είναι όντως ανησυχητικό γιατί η επιταχυνόμενη αύξηση της θερμοκρασίας της Γης συνδέεται με την εμφάνιση ολοένα και συχνότερων *κλιματικών διαταραχών* που σήμερα ονομάζουμε *κλιματική αλλαγή*. Ήδη τα πρώτα σημάδια της κλιματικής αλλαγής είναι σήμερα μπροστά μας. Ευαίσθητοι επιστήμονες είχαν πολλά χρόνια πριν προειδοποιήσει για τον κίνδυνο να αυξηθεί η θερμοκρασία στη Γη. Ήδη από το 1896 ο πολύ γνωστός Σουηδός φυσικοχημικός Svante Arrhenius προειδοποιούσε ότι η ρύπανση που προκαλεί η βιομηχανία θα μπορούσε μετά από αιώνες να διπλασιάσει την ποσότητα του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα και έτσι θα αυξανόταν η μέση θερμοκρασία του πλανήτη κατά 5°C. Οι προειδοποιήσεις του Arrhenius έγιναν αφού είχε ήδη εξελιχθεί η Βιομηχανική Επανάσταση, που ξεκίνησε στη Βρετανία γύρω στο 1760 και εξαπλώθηκε σε πολύ μεγάλο μέρος της ευρωπαϊκής ηπείρου ως το 1860.

### 1.3 Η επικίνδυνη αύξηση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα

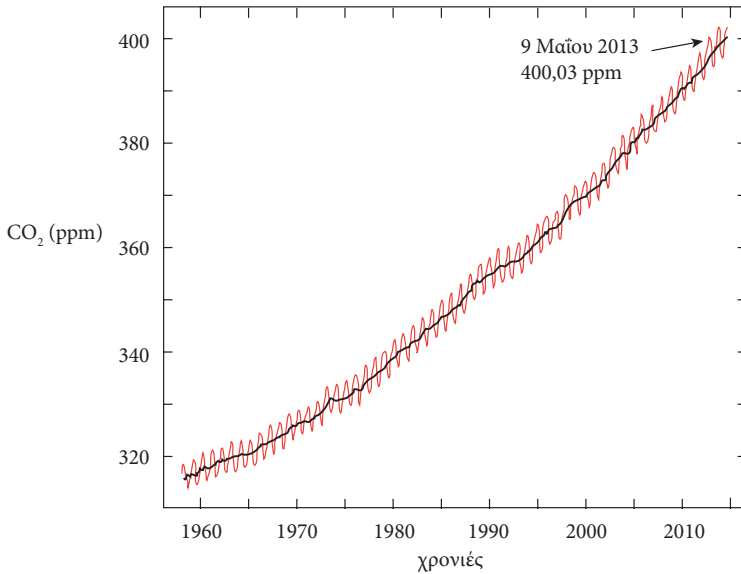
Οι προβλέψεις του Arrhenius σε ό,τι αφορά το διοξείδιο του άνθρακα σε μεγάλο βαθμό επαληθεύτηκαν. Κατά την προβιομηχανική περίοδο η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα ήταν γύρω στα 270-280 ppm (μέρη στο εκατομμύριο). Αυτό σημαίνει ότι σε έναν όγκο ατμοσφαιρικού αέρα που περιείχε ένα εκατομμύριο μόρια (κυρίως μόρια αζώτου και

οξυγόνου, από τα οποία αποτελείται ο ατμοσφαιρικός αέρας) μόνο 270-280 ήταν μόρια διοξειδίου του άνθρακα. Πού βρισκόμαστε σήμερα; Η επικεφαλής του τμήματος ατμοσφαιρικών ερευνών του Παγκόσμιου Οργανισμού Μετεωρολογίας Οξάνα Ταράσοβα ανακοίνωσε την άνοιξη του 2015 ότι οι συγκεντρώσεις ρύπων στην ατμόσφαιρα ξεπέρασαν για πρώτη φορά τα 400 ppm. Μήπως όμως αυτή η αύξηση είναι φυσιολογική και δεν οφείλεται στην καύση των ορυκτών καυσίμων; Το ερώτημα δεν είναι άνευ σημασίας αν λάβουμε υπόψη μας πως καθώς εξελίσσεται το κλίμα σε διάστημα πολύ μεγάλων χρονικών περιόδων θα μπορούσε να μεταβάλλεται και η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Πράγματι το κλίμα της Γης δεν είναι σταθερό για εξαιρετικά μεγάλες χρονικές περιόδους. Μόλις τα τελευταία 650.000 χρόνια σημειώθηκαν επτά μεγάλοι κύκλοι ανάπτυξης και υποχώρησης παγετώνων. Οι περισσότερες από αυτές τις κλιματικές αλλαγές οφείλονται σε πολύ μικρές μεταβολές στην τροχιά της Γης που αλλάζουν την ποσότητα της ηλιακής ενέργειας που φθάνει σε αυτήν. Το μάλλον απότομο τέλος της τελευταίας εποχής των παγετώνων, περίπου 7.000-5.000 χρόνια πριν, σηματοδοτεί την έναρξη της σύγχρονης κλιματικής εποχής και ταυτόχρονα του ανθρώπινου πολιτισμού.

Σήμερα, ωστόσο, η εξέλιξη της επιστήμης μας επιτρέπει να πάμε πολύ πίσω και να υπολογίσουμε τη διακύμανση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα για τεράστιες χρονικές περιόδους. Αυτό είναι πια εφικτό αφού μπορούμε να προσδιορίζουμε τη συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα εντός φυσαλίδων αερίου εγκλωβισμένων μέσα σε πυρήνες πάγου. Στην Εικόνα 3 παρατηρούμε τη διακύμανση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα για μια χρονική περίοδο που αρχίζει



Εικόνα 3: Διακύμανση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα τα τελευταία 400.000 χρόνια.

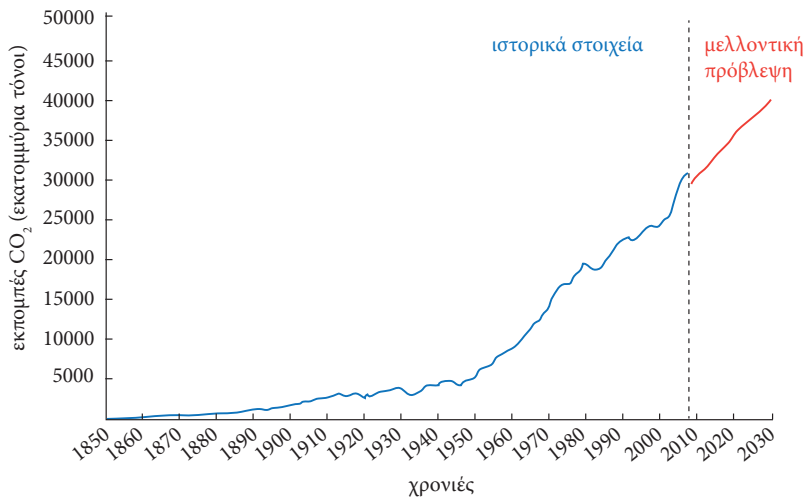


Εικόνα 4: Μεταβολή της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα από το 1958 έως το 2015.

πριν από 400.000 χρόνια. Βλέπουμε πως όντως η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα μεταβάλλεται σημαντικά κατά τη διάρκεια μεγάλων χρονικών περιόδων. Κατά τη διάρκεια των παγετώνων η συγκέντρωσή του είναι γύρω στα 200 ppm, ενώ κατά τη διάρκεια των πιο ζεστών μεσοπαγετωνικών περιόδων η συγκέντρωσή του φθάνει τα 280 ppm. Ασθενέστερες διακυμάνσεις παρουσιάζει η μεταβολή της συγκέντρωσης σε περιόδους με μικρότερες αλλαγές του κλίματος. Ωστόσο, ως το 1950 δεν είχε ποτέ ξεπεραστεί το όριο των 300 ppm. Μάλιστα μετά το 1950 η διακύμανση εκτροχιάζεται φθάνοντας το 2013 τα 400 ppm.

Μπορούμε να δούμε λίγο καλύτερα αυτή την εξέλιξη εστιάζοντας την προσοχή μας στα τελευταία πενήντα χρόνια (Εικόνα 4). Παρατηρούμε ότι, ενώ η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα το 1958 ήταν γύρω στα 315 ppm, τον Μάιο του 2013 φθάνει τα 400,03 ppm. Αυτό δεν μπορεί να μη συσχετισθεί με την εκτεταμένη χρήση ορυκτών καυσίμων με την προϋπόθεση ότι το 60% των εκπεμπόμενων καυσαερίων παραμένει στην ατμόσφαιρα. Πραγματικά, οι ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα εκτινάσσονται με τη χρήση των ορυκτών καυσίμων από το 1850 έως σήμερα και φθάνουν τα 35 έως και 40 δισεκατομμύρια μετρικούς τόνους, όπως μπορούμε να δούμε στην Εικόνα 5. Η ποσότητα του άνθρακα που υπάρχει σήμερα στην ατμόσφαιρα συνολικά υπό μορφή διοξειδίου του άνθρακα και οφείλεται τόσο στην ανθρωπογενή δραστηριότητα, με κυρίαρχη την καύση





Εικόνα 5: Ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από ανθρωπογενείς δραστηριότητες από τη βιομηχανική περίοδο έως σήμερα.

των ορυκτών καυσίμων, όσο και σε φυσιολογικές εκπομπές που εντάσσονται στον κύκλο του άνθρακα, ανέρχεται σε 750 δισεκατομμύρια τόνους. Η ποσότητα του διοξειδίου του άνθρακα είναι ασφαλώς μεγαλύτερη, καθώς το βάρος ενός ατόμου άνθρακα (C, ατομική μάζα = 12) είναι μικρότερο από το βάρος ενός μορίου διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>, μοριακό βάρος = 44).

Αν συνεχισθεί με τον ίδιο ρυθμό η χρήση των ορυκτών καυσίμων, η ποσότητα αυτή θα αυξηθεί θεαματικά στο μέλλον, όπως δείχνει το κόκκινο τμήμα της καμπύλης. Υποστηρίζεται πως αν η ανθρωπότητα συνεχίσει με τον ίδιο ρυθμό και εξαντλήσει τα γνωστά αποθέματα ορυκτών καυσίμων τους επόμενους δύο αιώνες, η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα θα φθάσει τα 1.500 ppm. Στην περίπτωση αυτή η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα δεν θα μπορεί να επανέλθει σε εκείνη της προβιομηχανικής εποχής, έστω και αν περάσουν δεκάδες χιλιάδες χρόνια. Βρισκόμαστε ήδη στο κατώφλι μιας νέας εποχής που ορίζεται ως *ανθρωπόκαινος* και στην οποία το κλίμα θα είναι πολύ διαφορετικό από εκείνο που είχαν βιώσει οι πρόγονοί μας.

Η αύξηση είναι όντως δραματική και οφείλεται αποκλειστικά στη αλόγιστη χρήση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας. Πραγματικά, το 73% των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα που διοχετεύτηκαν στην ατμόσφαιρα μεταξύ των ετών 1870-2013 προήλθε από την κατανάλωση ενέργειας. Με εκτιμήσεις του 2013 οι κλάδοι που ενοχοποιούνται περισσότερο για τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα είναι ο ηλεκτρισμός και η θέρμανση (42%), οι μεταφορές (23%), η βιομηχανία (20%) και η οικιακή χρήση (6%). Η Κίνα

ευθύνεται για το 27% των εκπομπών, με τις ΗΠΑ να κατέχουν τη δεύτερη θέση (14%) και την Ευρωπαϊκή Ένωση την τρίτη (9%).

Ταυτόχρονα αυξήθηκε και η συγκέντρωση του μεθανίου στην ατμόσφαιρα κατά 250 φορές σε σχέση με την προβιομηχανική εποχή. Το μεθάνιο είναι ακόμη πιο επικίνδυνο θερμοκηπικό αέριο, είκοσι φορές περισσότερο, σε σχέση με το διοξείδιο του άνθρακα. Εάν δεν ληφθούν μέτρα, οι εκπομπές των θερμοκηπικών αερίων αναμένεται να διπλασιαστούν ως το 2065. Ακόμη όμως και αν μειώναμε τις εκπομπές κατά 20% το χρόνο, σε σχέση με το παραπάνω σενάριο, θα είχαμε και πάλι διπλασιασμό των εκπομπών ως το 2075, θα κερδίζαμε δηλαδή μόνο μια δεκαετία. Είναι απαραίτητο λοιπόν να ληφθούν πολύ πιο δραστικά μέτρα για τη μείωση των εκπομπών. *Κατά τη διακυβερνητική επιτροπή του ΟΗΕ για την αλλαγή του κλίματος οι εκπομπές κατ' έτος και κατά κεφαλήν, που είναι σήμερα 5 μετρικοί τόνοι, θα πρέπει να μειωθούν σε λιγότερο από έναν τόνο μέχρι το 2075.* Αυτή η απολύτως αναγκαία μεταβολή είναι όντως πολύ δραστική. Σήμερα οι αντίστοιχοι αριθμοί εκπομπών είναι 17,7 και 6 μετρικοί τόνοι κατ' έτος και κατά κεφαλήν για τις ΗΠΑ, την Ευρώπη και την Κίνα αντίστοιχα.

#### 1.4 Η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη

Τι συμβαίνει όμως με τη θερμοκρασία; Η αύξηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα είχε όντως ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας; Μήπως αυτό είναι απλή θεωρητική πρόβλεψη; Ας δούμε τα δεδομένα. Από την πιο πρόσφατη εποχή των παγετώνων ως και το τέλος της προβιομηχανικής περιόδου, χονδρικά στα μέσα του 18ου αιώνα, δηλαδή για μια περίοδο 15.000 ετών περίπου, η θερμοκρασία της Γης είχε ανέβει κατά 5-6°C. Από τότε ο ρυθμός αύξησης επιταχύνεται επικίνδυνα και μέσα σε διάστημα δύο αιώνων περίπου έχει ανέβει κατά 0,75°C, με τη θέρμανση να είναι πιο μεγάλη στην ξηρά, στην Αρκτική και στην Ανταρκτική. Στην Εικόνα 6 παρατηρούμε τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας από το 1880 έως και το τέλος του 20ού αιώνα. Παρά τις ετήσιες και τις ανά πενταετία διακυμάνσεις της θερμοκρασίας η ανοδική της τάση είναι σαφής κατά τη διάρκεια του 20ού αιώνα. Σημειώνουμε ότι το μεγαλύτερο μέρος της αύξησης της θερμοκρασίας μετά το 1950 αποδίδεται σε εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που οφείλονται σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες.

Κατά την πρώτη δεκαετία του 21ου αιώνα η αύξηση της θερμοκρασίας φαίνεται να επιταχύνεται. Είναι χαρακτηριστικό ότι το 2015 είναι ο θερμότερος χρόνος στην ιστορία από τότε που υπάρχουν στοιχεία (1880). Επιπλέον, η πενταετία 2011-2015 ήταν η θερμότερη που έχουμε καταγράψει έως τώρα. Ο σημερινός στόχος να περιορίσουμε την αύξηση στους ήδη μεγάλο ρίσκου 2°C,



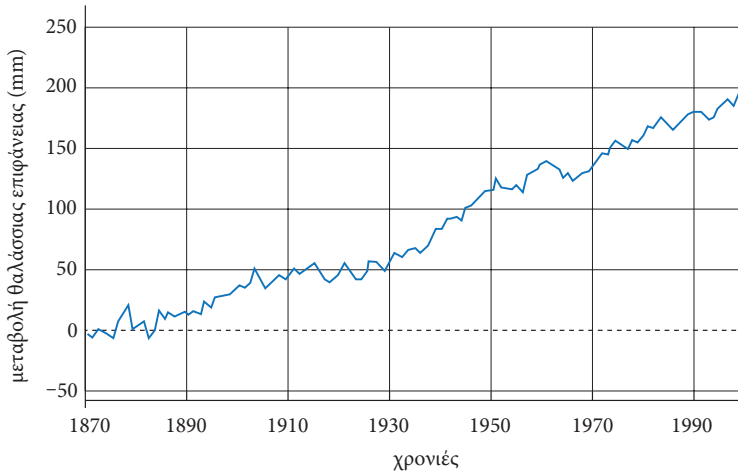
Εικόνα 6: Διακύμανση των διαφορών θερμοκρασίας από το 1880 έως το 2000.

που είναι το όριο για να ελέγξουμε κάπως την κλιματική αλλαγή, δεν φαίνεται να επιτυγχάνεται με το σημερινό βαθμό αύξησης της συγκέντρωσης θερμοκηπικών αερίων στην ατμόσφαιρα. Όπως αναφέραμε, η θερμοκρασία έχει ήδη ανέβει κατά  $0,75^{\circ}\text{C}$ . Αν δεν ληφθούν έγκαιρα πολύ δραστικά μέτρα πολύ μεγάλης κλίμακας για τον περιορισμό των εκπομπών θερμοκηπικών αερίων, θα πρέπει να αντιμετωπίσουμε το ενδεχόμενο αύξησης της θερμοκρασίας ακόμη και κατά  $5-6^{\circ}\text{C}$ , με δραματικές επιπτώσεις στο κλίμα και στην ικανότητα της Γης να υποστηρίξει τη διαβίωση δισεκατομμυρίων ανθρώπων, όπως θα δούμε στη συνέχεια.

### 1.5 Η τήξη των πάγων και η αύξηση της μέσης θαλάσσιας στάθμης

Ποια θα είναι η πρώτη μεγάλη συνέπεια από την επιταχυνόμενη αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της Γης; Αναμφίβολα το λιώσιμο των πάγων και η αύξηση της μέσης θαλάσσιας στάθμης. Μήπως όμως και αυτό είναι απλώς μια θεωρητική πρόβλεψη και δεν ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα; Ας δούμε τα δεδομένα. Στην Εικόνα 7 παρατηρούμε μια συνεχή αύξηση της μέσης θαλάσσιας στάθμης από το 1880, μετά τη γενίκευση της χρήσης ορυκτών καυσίμων, και σε όλη τη διάρκεια του 20ού αιώνα.

Η άνοδος της θαλάσσιας στάθμης κατά την πρώτη δεκαετία του 21ου αιώνα φαίνεται να επιταχύνεται. Το λιώσιμο των πάγων στους πόλους



Εικόνα 7: Άνοδος της θαλάσσιας στάθμης από το 1880 ως το 2000.

και την Ανταρκτική είναι κάτι παραπάνω από εμφανές (Εικόνα 8). Για παράδειγμα, το μέγεθος του παγετώνα solheimajokull στην Ισλανδία έχει μειωθεί κατά ένα χιλιόμετρο από το 1931.



Εικόνα 8: Μία μόνο συνέπεια από την τήξη των πάγων στους πόλους.

### 1.6 Η επιτάχυνση της κλιματικής αλλαγής και ο ρόλος των νεφών

Όπως είδαμε, η κύρια αιτία για την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη είναι η αυξημένη περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε διοξείδιο του άνθρακα, εξαιτίας της αυξανόμενης χρήσης ορυκτών καυσίμων. Δυστυχώς οι επιπτώσεις από την υπερθέρμανση αναμένεται να δράσουν κυκλικά επιταχύνοντας την κλιματική αλλαγή. Για παράδειγμα, η αύξηση της θερμοκρασίας

της Γης αναμένεται να προκαλέσει την εκπομπή στο περιβάλλον τεράστιων ποσοτήτων διοξειδίου του άνθρακα που είναι διαλυμένο στους ωκεανούς, και αυτό γιατί η διαλυτότητά του μειώνεται καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία. Αυτό με τη σειρά του θα προκαλέσει και νέα αύξηση της θερμοκρασίας με συνεχώς επιταχυνόμενους κύκλους καταλήγοντας σε μια σπείρα κλιματικής καταστροφής. Επιπλέον, το λιώσιμο των πάγων θα επιταχύνει την υπερθέρμανση, γιατί οι πάγοι, που είναι τεράστιες λευκές επιφάνειες, αντανακλούν στο διάστημα μεγάλο τμήμα της ηλιακής ακτινοβολίας συμμετέχοντας αποφασιστικά στη σημερινή θερμική ισορροπία. Η περαιτέρω υπερθέρμανση, με τη σειρά της, θα προκαλέσει και νέα τήξη των πάγων επιταχύνοντας την πορεία των κλιματικών αλλαγών. Ακόμη, όσο περισσότερο θερμαίνεται ο αέρας τόσο αυξάνεται το ποσό της υγρασίας το οποίο μπορεί να συγκρατήσει. Αν τα επίπεδα του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα ξεπεράσουν τα 500 ppm, θα εγκλωβιστούν στην ατμόσφαιρα τεράστιες ποσότητες υδρατμών. Αυτοί δρώντας ως αέριο του θερμοκηπίου θα επιταχύνουν δραματικά την υπερθέρμανση σε μια αυτοτροφοδοτούμενη πλέον πορεία προς την καταστροφή του κλίματος.

Ευτυχώς ένα πολύ μεγάλο μέρος από τους υδρατμούς συμπυκνώνεται σχηματίζοντας τα νέφη. Στη μελέτη των μοντέλων για την κλιματική αλλαγή και την υπερθέρμανση σημαντικό ρόλο παίζει η μελέτη του σχηματισμού των νεφών. Γιατί όμως; Όπως ήδη αναφέραμε, ένα μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας απορροφάται από τη Γη και την ατμόσφαιρά της, περίπου το 70%, ενώ το υπόλοιπο 30% επανεκπέμπεται στο διάστημα. Από αυτό, το 50% περίπου ανακλάται από τα νέφη που καλύπτουν τη Γη. Επομένως η ύπαρξη των νεφών επιβραδύνει κατά κάποιον τρόπο την υπερθέρμανση. Αυτό, ωστόσο, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το χρώμα των νεφών. Είναι προφανές ότι τα λευκά σύννεφα ανακλούν την ηλιακή ακτινοβολία, ενώ τα μαύρα την απορροφούν. Το χρώμα των νεφών εξαρτάται από τη δομή τους. Όταν αυτά αποτελούνται από σχετικά μικρές σταγόνες είναι λευκά. Όταν, αντίθετα, αποτελούνται από μεγαλύτερες σταγόνες είναι πιο σκούρα. Από τι όμως καθορίζεται κυρίως το μέγεθος των σταγόνων; Θα φανεί ίσως περίεργο αλλά προσδιορίζεται από τη συγκέντρωση *αερολυμάτων* στην ατμόσφαιρα. Τα αερολύματα είναι μικρά στερεά σωματίδια τα οποία παρασυρόμενα από αέρια ρεύματα φθάνουν στην ατμόσφαιρα. Τέτοια σωματίδια μπορεί να προκύπτουν από καύσεις (σωματίδια άνθρακα), ή από άλλες ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Όταν βρεθούν σε ατμοσφαιρικές περιοχές με σχετικά υψηλή συγκέντρωση υδρατμών και κατάλληλη θερμοκρασία και πίεση, χρησιμεύουν ως πυρήνες δημιουργίας σταγόνων. Στην επιφάνειά τους συμπυκνώνονται υδρατμοί δημιουργώντας ένα λεπτό στρώμα που περιβάλλει το σωματίδιο και στη συνέχεια πάνω σε αυτό το στρώμα εναποτίθενται επιπλέον υδρατμοί δημιουργώντας τη σταγόνα. Όταν η συγκέντρωση των σωματιδίων των αερολυμάτων είναι σχετικά μικρή, όπως

συμβαίνει σε καθαρή ατμόσφαιρα, τότε ο πληθυσμός των σταγόνων είναι σχετικά μικρός και έτσι οι σχηματιζόμενες σταγόνες έχουν αναγκαστικά σχετικά μεγάλο μέγεθος, αφού οι υπάρχοντες υδρατμοί τροφοδοτούν μικρό πληθυσμό σταγόνων. Στην περίπτωση αυτή το χρώμα των σχηματιζόμενων νεφών είναι σκούρο και αυτό δεν διευκολύνει την ανάκλαση της ηλιακής ακτινοβολίας. Επιπλέον, από τα σύννεφα αυτά προκαλείται βροχή εξαιτίας του μεγάλου σχετικού βάρους των σταγόνων. Είναι κάπως παράδοξο να διαπιστώνει κανείς ότι η καθαρή από αερολύματα ατμόσφαιρα διευκολύνει την υπερθέρμανση. Μια λιγότερο καθαρή ατμόσφαιρα στην οποία η συγκέντρωση των *αιωρούμενων σωματιδίων* είναι σχετικά μεγάλη είναι σαφώς μη επιθυμητή γιατί τα σωματίδια με μικρό μέγεθος εισπνέονται από τους ανθρώπους προκαλώντας σοβαρά προβλήματα στην πνευμονική και καρδιακή λειτουργία. Αιωρούμενα σωματίδια με μέγεθος στην περιοχή 100 nm-2,5 μm (PM<sub>2,5</sub>) θεωρούνται ως τα πλέον επικίνδυνα. Από την άποψη όμως της υπερθέρμανσης η μεγάλη συγκέντρωση αερολυμάτων στην ατμόσφαιρα έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μεγάλου πληθυσμού μικρών σχετικά σταγόνων, που προσδίδουν λευκό χρώμα στα σύννεφα διευκολύνοντας την ανάκλαση της ηλιακής ακτινοβολίας. Αυτό είναι όντως μια αναπάντεχη εξέλιξη που προκαλεί η εκπομπή σωματιδίων και η οποία καθυστερεί κάπως την υπερθέρμανση. Αν όμως σκεφτούμε ότι η εκπομπή των αερολυμάτων εξαιτίας καύσεων συμβαίνει παράλληλα με την εκπομπή μεγάλων ποσοτήτων διοξειδίου του άνθρακα, που ευνοεί την υπερθέρμανση, η καθαρή επίδραση της μόλυνσης αναμένεται να είναι αρνητική στο μέλλον. Επομένως η μείωση των εκπομπών είναι όντως μονόδρομος, ακόμη και αν δεν λάβουμε υπόψη τις επιπτώσεις της μεγάλης συγκέντρωσης αερολυμάτων στην ανθρώπινη υγεία.

### 1.7 Σενάρια επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής

Δεν είναι σήμερα εύκολο να εκτιμήσουμε τις επιπτώσεις από την προϊούσα κλιματική αλλαγή εξαιτίας της αυξανόμενης μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη. Η μετακίνηση των ζωνών βροχόπτωσης από τον Ισημερινό προς τον Βορρά, με συνέπεια την ερημοποίηση του κάτω τμήματος της εύκρατης ζώνης, η άνοδος της στάθμης των θαλασσών, που θα πλημμύριζε εύφορες πυκνοκατοικημένες περιοχές οι οποίες βρίσκονται κοντά στο επίπεδο της θάλασσας και πιθανότατα θα εξαφάνιζε μικρά νησιά, οι αυξανόμενες ανάγκες άρδευσης, η αποσταθεροποίηση του κλίματος με τη συχνή εμφάνιση του *Ελ Νίνιο*, η υπερβολική αύξηση της θερμοκρασίας σε ορισμένες εποχές, που θα καθιστούσε πολύ δύσκολη την επιβίωση και, τέλος, η τήξη των πάγων στους πόλους είναι ορισμένες μόνο από τις πιθανολογούμενες καταστροφικές επιπτώσεις.

Το εύρος των επιπτώσεων αυτών συνδέεται ασφαλώς με το ρυθμό αύξησης της μέσης θερμοκρασίας της Γης, που προκαλεί αύξηση της στάθμης των θαλασσών, με ρυθμό όμως που μόνο πολύ χονδρικά μπορούμε να εκτιμήσουμε. Παρ' όλα αυτά, σύμφωνα με μελέτη της οργάνωσης Climate Central, ακόμη και στο πολύ αισιόδοξο σενάριο ότι θα μπορέσουμε να συγκρατήσουμε την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της Γης στους 2°C, η στάθμη της θάλασσας αναμένεται να ανέβει κατά 4,7 μέτρα κατά μέσο όρο και να καλύψει περιοχές που κατοικούνται από 280 εκατομμύρια ανθρώπους. Ακόμη και σε αυτή την πολύ αισιόδοξη εκδοχή ορισμένες πολύ μεγάλες παραθαλάσσιες πόλεις, για παράδειγμα η Σαγκάη, το Χονγκ Κονγκ στην Κίνα και η Βομβάη στην Ινδία θα κινδυνεύσουν από την αναμενόμενη αύξηση της στάθμης της θάλασσας. Σε μια κάπως ρεαλιστική προοπτική η αύξηση της θερμοκρασίας θα συγκρατηθεί στους 3°C και θα προκαλέσει μέση αύξηση της μέσης στάθμης των θαλασσών κατά 6,4 μέτρα. Σε αυτή την περίπτωση προβλέπεται ότι θα καλυφθούν περιοχές που κατοικούνται από 400 εκατομμύρια κατοίκους. Το σενάριο να ανέβει ακόμη περισσότερο η θερμοκρασία φαίνεται εφιαλτικό, καθώς για μια αύξηση της τάξεως των τεσσάρων βαθμών η μέση στάθμη των θαλασσών εκτιμάται ότι θα ανέβει κατά 8,9 μέτρα με ανυπολόγιστες συνέπειες. Θα ήταν προφανώς απολύτως επιθυμητό να ικανοποιηθεί το αίτημα των ευάλωτων χωρών για τη συγκράτηση της ανόδου στον ενάμιση βαθμό· ωστόσο, ακόμη και τότε η προβλεπόμενη αύξηση της μέσης θαλάσσιας στάθμης θα ήταν 2,9 μέτρα και θα επηρέαζε τη ζωή περισσότερων από 100 εκατομμυρίων ανθρώπων. Σημειώστε ότι κάποιες χώρες κινδυνεύουν να σβηστούν κυριολεκτικά από το χάρτη. Πάρτε για παράδειγμα την Τουβαλού, ένα νησί του Ειρηνικού στο οποίο το υψηλότερο σημείο από την επιφάνεια της θάλασσας φθάνει μόλις τα 5 μέτρα.

Όπως ήδη αναφέραμε, περισσότερο αναμένεται να πληγούν από τις κλιματικές αλλαγές οι φτωχές χώρες στις τροπικές και υποτροπικές περιοχές. Είκοσι από τις πιο ευάλωτες χώρες στην κλιματική αλλαγή συγκρότησαν την *ομάδα των V20* (V από τη λέξη vulnerability: ευπάθεια, τρωτότητα), κατά αντιστοιχία προς την *ομάδα των G20*, όπου μετέχουν οι πλουσιότερες οικονομίες του πλανήτη, πολλές από τις οποίες ενοχοποιούνται για την εκπομπή μεγάλων ποσοτήτων διοξειδίου του άνθρακα. Οι χώρες των V20 (Αγία Λουκία, Αιθιοπία, Ανατολικό Τιμόρ, Αφγανιστάν, Βανουάτου, Βιετνάμ, Γκάνα, Κένυα, Κόστα Ρίκα, Μαδαγασκάρη, Μαλδίδες, Μπαγκλαντές, Μπαρμπάντος, Μπουτάν, Νεπάλ, Ρουάντα, Τανζανία, Τουβαλού, Φιλιππίνες), εκπροσωπώντας 700 εκατομμύρια ανθρώπους, ζητούν από τις μεγάλες και πλούσιες χώρες να ληφθούν αποτελεσματικά μέτρα για την προστασία από την κλιματική αλλαγή και προπάντων να εφαρμοσθούν.

## 1.8 Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην παγκόσμια οικονομία

Ορισμένοι θεωρούν τη μετάβαση από τα ορυκτά καύσιμα στην ανανεώσιμη ενέργεια ως οικονομικά ασύμφορη. Ισχυρίζονται ότι τα μέτρα περιορισμού των εκπομπών θερμοκηπικών αερίων θα επιβραδύνουν την οικονομική ανάπτυξη και θα πλήξουν την ανταγωνιστικότητα των χωρών που θα τα εφαρμόσουν. Εξάλλου, αμφισβητούν τη σοβαρότητα των επιπτώσεων από την κλιματική αλλαγή στην παγκόσμια οικονομία. Ακριβώς η αντίληψη ότι οικονομική ανάπτυξη και οικολογική ισορροπία συνιστούν αντίθετες επιδιώξεις είναι η αιτία που καθιστά δυσχερή τη δέσμευση των κρατών για την εφαρμογή μέτρων περιορισμού των εκπομπών. Αλλά ισχύει ακριβώς το αντίθετο. Η κλιματική αλλαγή αναμένεται να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα στην παγκόσμια οικονομία. Οι επιπτώσεις της υπερθέρμανσης του πλανήτη θα είναι όντως καταλυτικές. Αυτό που ήδη ζούμε σήμερα το αποδεικνύει. Οι όλο και συχνότεροι καύσωνες πλήττουν τη γεωργία και αυξάνουν το κόστος της ιατρικής περίθαλψης και τη δαπάνη ενέργειας για κλιματισμό. Τα όλο και πιο συχνά εμφανιζόμενα ακραία καιρικά φαινόμενα (τυφώνες, πλημμύρες από καταιγίδες) προκαλούν μεγάλες ζημιές που πλήττουν την οικονομία. Αν συγκρίνει κανείς τις υλικές ζημιές από ακραία καιρικά φαινόμενα που καταγράψαμε στη δεκαετία 2005-2015, θα διαπιστώσει ότι είναι τριπλάσιες σε σχέση με τη δεκαετία 1980-1990.

Σύμφωνα με μελέτη των Πανεπιστημίων Στάνφορντ και Μπέρκλεϋ η υπερθέρμανση του πλανήτη εκτιμάται ότι θα επιφέρει επιβράδυνση της αύξησης του παγκόσμιου εισοδήματος κατά 23% έως το τέλος του αιώνα. Αυτή θα πλήξει πρωτίστως το 40% των φτωχότερων χωρών, που θα αντιμετωπίσουν μια επιβράδυνση στην οικονομική τους ανάπτυξη κατά 75%, ενώ αντίθετα, για το 20% των πιο αναπτυγμένων χωρών δεν θα υπάρξει ουσιαστικά επιβράδυνση ως το τέλος του αιώνα. Επομένως θα αυξηθούν ακόμη περισσότερο οι οικονομικές ανισότητες σε παγκόσμια κλίμακα. Είναι ασφαλώς πολύ άδικο καθώς ο μισός πληθυσμός της Γης (3,5 δισεκατομμύρια άνθρωποι), που ενοχοποιείται μόνο για το 10% των εκπομπών, πρόκειται να βιώσει με πολύ πιο δραματικό τρόπο τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Αντίθετα, για το 10% των πιο πλούσιων χωρών, που ευθύνονται για τις μισές περίπου εκπομπές, δεν θα υπάρξει κάποια επίπτωση. Οι παραπάνω προβλέψεις είναι μάλλον αισιόδοξες, καθώς λαμβάνουν υπόψη τους μόνο τις επιπτώσεις της υπερθέρμανσης στην παραγωγικότητα και όχι τις επιπτώσεις από τα ακραία καιρικά φαινόμενα. Αλλά βέβαια οι επιπτώσεις της υπερθέρμανσης στο παγκόσμιο ΑΕΠ εξαρτώνται από την αύξηση της θερμοκρασίας. Χωρίς την υπερθέρμανση, αυτό θα αυξανόταν από 80 τρις δολάρια το 2015 σε 260 τρις δολάρια το 2060, με τα δύο τρίτα αυτής της αύξησης να αφορούν τις αναπτυσσόμενες χώρες. Σύμ-