



ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ
ΝΕΟ ΨΗΦΙΑΚΟ ΠΛΑΝΗΤΑΡΙΟ

Η ανάλυση δειγμάτων πάγου από την Ανταρκτική και την Γροιλανδία, η μελέτη των δακτυλίων στους κορμούς των δέντρων, η ανάλυση των ιζημάτων από ποτάμια, λίμνες και θάλασσες, κρύβουν στοιχεία, που αποδεικνύουν ότι το παγκόσμιο κλίμα μεταβάλλεται. Σύμφωνα, μάλιστα, με τα ως τώρα δεδομένα, τις τελευταίες δεκαετίες λαμβάνει χώρα μία παγκόσμια κλιματική αλλαγή, που σε αντίθεση με τις προηγούμενες, δεν έχει φυσικά αίτια αλλά είναι ανθρωπογενής. Μια κλιματική αλλαγή, τα αποτελέσματα της οποίας είναι ήδη ορατά με τις υψηλότερες μέσες θερμοκρασίες και τις ξηρασίες, που πλήττουν μεγάλες περιοχές του πλανήτη, με την αύξηση της θερμοκρασίας των ωκεανών και την άνοδο της στάθμης των θαλασσών, την εκδήλωση περισσότερων ακραίων καιρικών φαινομένων και τη μείωση της παγοκάλυψης στους παγετώνες και στους πόλους. Η παράσταση του Νέου Ψηφιακού Πλανηταρίου του Ιδρύματος Ευγενίδου με τίτλο «*Το Περιβάλλον και Εγώ*» είναι μια σύντομη επισκόπηση του παγκόσμιου κλιματικού συστήματος, καθώς και των τρόπων με τους οποίους η ανθρώπινη παρέμβαση το επηρεάζει, αναδεικνύοντας παράλληλα τα προβλήματα της ρύπανσης, καθώς και την σημασία της ανακύκλωσης, των εναλλακτικών πηγών ενέργειας, του περιορισμού της σπατάλης νερού και ενέργειας κ.ά..

Οδηγός Παράστασης

ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΕΓΩ





ΊΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΑΔΟΥ
ΝΕΟ ΨΗΦΙΑΚΟ ΠΛΑΝΗΤΑΡΙΟ


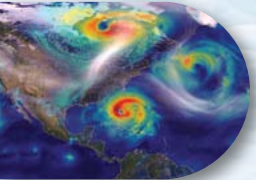





Οδηγός Παράστασης

ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΕΓΩ

ΒΑΣΙΛΗ ΚΩΣΤΟΠΟΥΛΟΥ
Προέδρου του Εθνικού Κέντρου
Βιώσιμης και Αειφόρου Ανάπτυξης

ΑΘΗΝΑ
2014

Περιεχόμενα

	Πρόλογος.....	4			
	Εισαγωγή: Το Γήινο Κλίμα και το Φαινόμενο του Θερμοκηπίου <i>(του Αλέξη Δεληβοριά)</i>	6		4. Καιρική Πρόγνωση, Κλιματολογικά Μοντέλα και Παλαιοκλιματολογία	44
	1. Το Γήινο Σύστημα και η Επιστήμη Συστημάτων της Γης	16		5. Οικοσυστήματα και Βιοποικιλότητα	52
	2. Το Παγκόσμιο Κλιματικό Σύστημα	24		6. Επίλογος: Ανθρωπογενείς Επιπτώσεις	62
	3. Παγκόσμιο Σύστημα Παρατήρησης και Κλιματική Αλλαγή	34		Βιβλιογραφία	72
				Συντελεστές παράστασης	73

Πρόλογος

Δέκα χρόνια μετά τα εγκαίνιά του, το Ευγενίδειο Πλανητάριο, παραμένει ακόμη και σήμερα το μεγαλύτερο και καλύτερα εξοπλισμένο ψηφιακό πλανητάριο στην Ευρώπη και την Αμερική. Διαθέτει όλες τις δημιουργικές και τεχνικές δυνατότητες που παρέχουν τα σύγχρονα οπτικοακουστικά μέσα και οι νέες τεχνολογίες, συνδυάζοντάς τις για να παρουσιάσει την ιστορία της επιστήμης μ' έναν συναρπαστικό τρόπο. Είναι ένα επιστημονικό κέντρο με την σημαντική αποστολή να κάνει γνωστά τα επιτεύγματα της επιστήμης στο ευρύ κοινό και να διαφωτίσει τον κόσμο σχετικά με τη φύση της επιστημονικής έρευνας και της τεχνολογίας. Δεν είναι, λοιπόν, καθόλου παράξενο που αποφασίσαμε να παρουσιάσουμε, στην πιο πρόσφατη παράστασή μας, τις δραματικές επιπτώσεις της παρουσίας του ανθρώπου σ' αυτόν τον πλανήτη, κυρίως κατά τη διάρκεια του τελευταίου αιώνα.

Ο Οδηγός αυτός αποτελεί μια σύντομη επισκόπηση του κλιματικού συστήματος, του παγκοσμίου συστήματος κλιματολογικής παρατήρησης που καταγράφει και παρακολουθεί συνεχώς το κλίμα και τις αλλαγές του καθώς και τα μοντέλα που χρησιμοποιούν οι επιστήμονες για τις κλιματολογικές τους προβλέψεις. Περιγράφονται επίσης απλά, αλλά όχι απλοϊκά, οι τρόποι με τους οποίους η ανθρώπινη παρέμβαση επιδρά στα οικοσυστήματα και στις κλιματολογικές αλλαγές. Στη σύγχρονη εποχή η διατύπωση όλων αυτών των θεμάτων, με τον γλαφυρό αλλά και λιτό λόγο του συγγραφέα, είναι αναγκαίο βοήθημα για όλους. Γιατί η κατανόηση των επιπτώσεων της ανεξέλεγκτης ανθρώπινης παρέμβασης στη φύση είναι υπόθεση όλων μας, αφού η αλόγιστη παρέμβαση του ανθρώπου στο περιβάλλον έχει κυριολεκτικά «βραχυκυκλώσει» τις φυσικές διαδικασίες ανακύκλωσης. Με άλλα λόγια η φύση είναι αδύνατον πλέον να μας προστατέψει από τον ίδιο μας τον εαυτό.

Κάθε χρόνο δεκάδες δισεκατομμύρια τόνοι ρυπογόνων αέριων ουσιών από τις ανθρώπινες δραστηριότητες ανέρχονται στην ατμόσφαιρα, και θα μας κατατρέχουν για δεκάδες χρόνια στο μέλλον. Σύμφωνα με τις τελευταίες επιστημονικές μελέτες η βλαπτική τους δράση συμβάλλει, μεταξύ των άλλων, και στο «φαινόμενο του θερμοκηπίου» με πρώτο και ορατό σε όλους αποτέλεσμα το λιώσιμο των πάγων στους πόλους και στις οροσειρές. Έτσι, η μέση στάθμη της θάλασσας θα αυξηθεί κατά μερικά μέτρα τις επόμενες χιλιετίες, με αποτέλεσμα οι παραθαλάσσιες περιοχές που βρίσκονται πολύ κοντά στη μέση στάθμη θάλασσας να αρχίσουν να κατακλύζονται από νερό. Επειδή όμως το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού της Γης κατοικεί σε παραθαλάσσιες περιοχές, όπου βρίσκονται άλλωστε και τα πιο εύφορα μέρη, είναι κατανοητό ότι θα αντιμετωπίσουμε άμεσα πρακτικά προβλήματα με ανυπολόγιστες οικονομικές, κοινωνικές και οικολογικές επιπτώσεις.

Όμως, η απειλή δεν προέρχεται μόνο από την άνοδο της στάθμης των υδάτων. Τυφώνες, καταιγίδες, ξηρασίες και άλλες φυσικές καταστροφές συνδέονται άμεσα με τις αλλαγές στο κλίμα. Εύκρατες περιοχές θα μετατραπούν σταδιακά σε ερήμους, όπως συνέβη πολλές φορές στην κλιματολογική ιστορία του πλανήτη μας. Τις κλιματολογικές αλλαγές που καθορίζει για εκατομμύρια χρόνια ο φυσικός μας κόσμος στην εποχή μας καθορίζεται σε σημαντικό βαθμό από τον άνθρωπο και αυτό πλέον όλοι το γνωρίζουμε από τα ευρήματα της επιστήμης. Πολλά είδη φυτών και ζώων αναμένεται να εξαφανιστούν καθώς δεν θα μπορέσουν να προσαρμοστούν στις

μεταβαλλόμενες θερμοκρασίες, ενώ η άνοδος της θερμοκρασίας θα δημιουργήσει ιδανικές συνθήκες για την εμφάνιση στις εύκρατες περιοχές ασθενειών, που παρουσιάζονται μόνο σε θερμές περιοχές. Και να σκεφτεί κανείς ότι όλα αυτά δεν αποτελούν τις μοναδικές επιστημονικές προβλέψεις. Ο ανά χειράς «Οδηγός» της ομώνυμης παράστασης του Πλανηταρίου αντιμετωπίζει με επιστημονική ακρίβεια και σαφήνεια όλα τα ανωτέρω πολύπλοκα και καυτά θέματα της επικαιρότητας.

Φυσικά ο «Οδηγός» αυτός αποσκοπεί στην παρουσίαση περισσότερων πρόσθετων πληροφοριών απ' όσες θα ήταν δυνατόν να παρουσιαστούν σ' ένα σενάριο 40 λεπτών. Ακόμη κι εδώ, όμως, δεν είναι δυνατόν να δώσουμε όλες τις πιθανές απαντήσεις και πληροφορίες που ίσως κάποιος θα ήθελε να μάθει γύρω από τα διάφορα θέματα που παρουσιάζονται στην διάρκεια της παράστασης. Η κλιματολογική έρευνα, άλλωστε, είναι μια συνεχής διαδικασία που έχει πολλά ακόμα να προσφέρει μελλοντικά, προκειμένου να αυξήσουμε τη γνώση μας γύρω από τον πλανήτη μας, όπως είναι και η φυσική ερμηνεία της επίδρασης της κοσμικής ακτινοβολίας στο κλιματολογικό μας σύστημα.

Παρ' όλα αυτά ελπίζουμε ότι το περιεχόμενο του οδηγού αυτού θα βοηθήσει τους επισκέπτες μας να αποκομίσουν μεγαλύτερα οφέλη από την εμπειρία τους στη διάρκεια της παράστασης. Το Νέο Ευγενίδειο Πλανητάριο, άλλωστε, είναι ένα μέσο ψυχαγωγικής επιμόρφωσης το οποίο, με την βοήθεια της εικονικής πραγματικότητας, δεν έχει πλέον κανέναν αντίζηλο. Το βασικό πλεονέκτημα των συστημάτων εικονικής πραγματικότητας είναι σε σχέση με τα άλλα σχετικά συστήματα η δυνατότητα να δημιουργεί την αίσθηση της ενσωμάτωσης στον εικονικό χώρο. Η ιδέα της «ενσωμάτωσης» είναι ακριβώς η αίσθηση ότι ο θεατής βρίσκεται πραγματικά στον προβολόμενο κόσμο, περιβαλλόμενος από τις εικόνες και τους ήχους του.

Κλείνοντας θέλω να ευχαριστήσω τον φίλο και συνάδελφο Βασίλη Κωστόπουλο, Πρόεδρο του Εθνικού Κέντρου Βιώσιμης και Αειφόρου Ανάπτυξης (ΕΚΒΑΑ), για την συγγραφή του παρόντος Οδηγού. Ευχαριστίες οφείλω επίσης και στον άμεσο συνεργάτη μου Αλέξη Δεληβοριά για την συγγραφή του εισαγωγικού κεφαλαίου του Οδηγού, καθώς και για την βοήθειά του στην επιλογή των φωτογραφιών και τις επεξηγηματικές τους λεζάντες, όπως και σε όλους τους φίλους-συνεργάτες της δημιουργικής μας ομάδας, που συμμετείχαν στην διαμόρφωση της νέας μας παράστασης τα ονόματα των οποίων παρατίθενται στην τελευταία σελίδα του παρόντος «Οδηγού». Ευχαριστίες οφείλω επίσης και στους συναδέλφους του Εκδοτικού Τμήματος, οι οποίοι για μία ακόμη φορά δημιούργησαν μία καλαίσθητη έκδοση.

Διονύσης Π. Σιμόπουλος
Διευθυντής Ευγενιδείου Πλανηταρίου



Εισαγωγή: Το Γήινο Κλίμα και το Φαινόμενο του θερμοκηπίου

του Αλέξη Δεληβοριά
(Αστρονόμου Ευγενιδείου Πλανηταρίου)

Ο καιρός καθημερινά μεταβάλλεται. Η θερμοκρασία και η πίεση, η ηλιοφάνεια και η νεφοκάλυψη, η βροχή και το χιόνι, με δυο λόγια όλες εκείνες οι ατμοσφαιρικές «μεταβλητές», που επικρατούν τοπικά σε μια δεδομένη χρονική στιγμή, διαμορφώνοντας τις καιρικές συνθήκες, δεν είναι ποτέ οι ίδιες. Το κλίμα, από την άλλη, δεν είναι παρά ο μέσος όρος των καιρικών συνθηκών που επικρατούν σε μια συγκεκριμένη περιοχή, σε μεγάλο βάθος χρόνου. Από τη παγωμένη Ανταρκτική στο θερμό και υγρό κλίμα των τροπικών, το γήινο κλίμα διαφέρει από περιοχή σε περιοχή. Σε γενικές γραμμές, όμως, η Γη διαθέτει σχετικά ήπιο κλίμα, που ευνόησε την εμφάνιση και την εξέλιξη της ζωής.

Η ανάλυση δειγμάτων πάγου από την Ανταρκτική και την Γροιλανδία, η μελέτη των δακτυλίων στα δέντρα, η ανάλυση των ιζημάτων από ποτάμια, λίμνες και θάλασσες, κρύβουν στοιχεία, που αποδεικνύουν ότι το παγκόσμιο κλίμα μεταβάλλεται. Υπήρξαν, για παράδειγμα, εποχές, κατά τις οποίες η μέση θερμοκρασία της Γης μειωνόταν σημαντικά, την ίδια στιγμή που μεγάλο μέρος της επιφάνειάς της καλυπτόταν από πάγους, τις οποίες διαδέχονταν θερμότερες απ' το μέσο όρο εποχές, όπως αυτή που διανύουμε τις τελευταίες χιλιετίες. Σύμφωνα, όμως, με τα ως τώρα δεδομένα, τις τελευταίες δεκαετίες λαμβάνει χώρα μία ακόμη παγκόσμια κλιματική αλλαγή, που σε αντίθεση με τις προηγούμενες, δεν έχει φυσικά αίτια αλλά είναι ανθρωπογενής. Μια κλιματική αλλαγή, τα αποτελέσματα της οποίας είναι ήδη ορατά από τις υψηλότερες μέσες θερμοκρασίες και τις ξηρασίες που πλήττουν μεγάλες περιοχές του πλανήτη, από την αύξηση της θερμοκρασίας των ωκεανών και την άνοδο της στάθμης των θαλασσών, από την εκδήλωση περισσότερων ακραίων καιρικών φαινομένων και τη μείωση τις παγοκάλυψης στους παγετώνες και στους πόλους. Προτού, όμως, δούμε αναλυτικότερα πού οφείλεται η παγκόσμια κλιματική αλλαγή που παρατηρείται στις μέρες μας, θα αναφερθούμε σε ορισμένους απ' τους βασικότερους φυσικούς παράγοντες, οι οποίοι, όχι μόνο προκάλεσαν τις μεγάλες και μικρές κλιματικές μεταβολές του παρελθόντος, αλλά και καθορίζουν σε βάθος χρόνου τις κλιματικές αλλαγές που θα ακολουθήσουν στο μέλλον.

Η αέναη εναλλαγή της μέρας με τη νύχτα και της μιας εποχής με την άλλη είναι ίσως ο γνωστότερος παράγοντας που προσδιορίζει το μέσο κλίμα

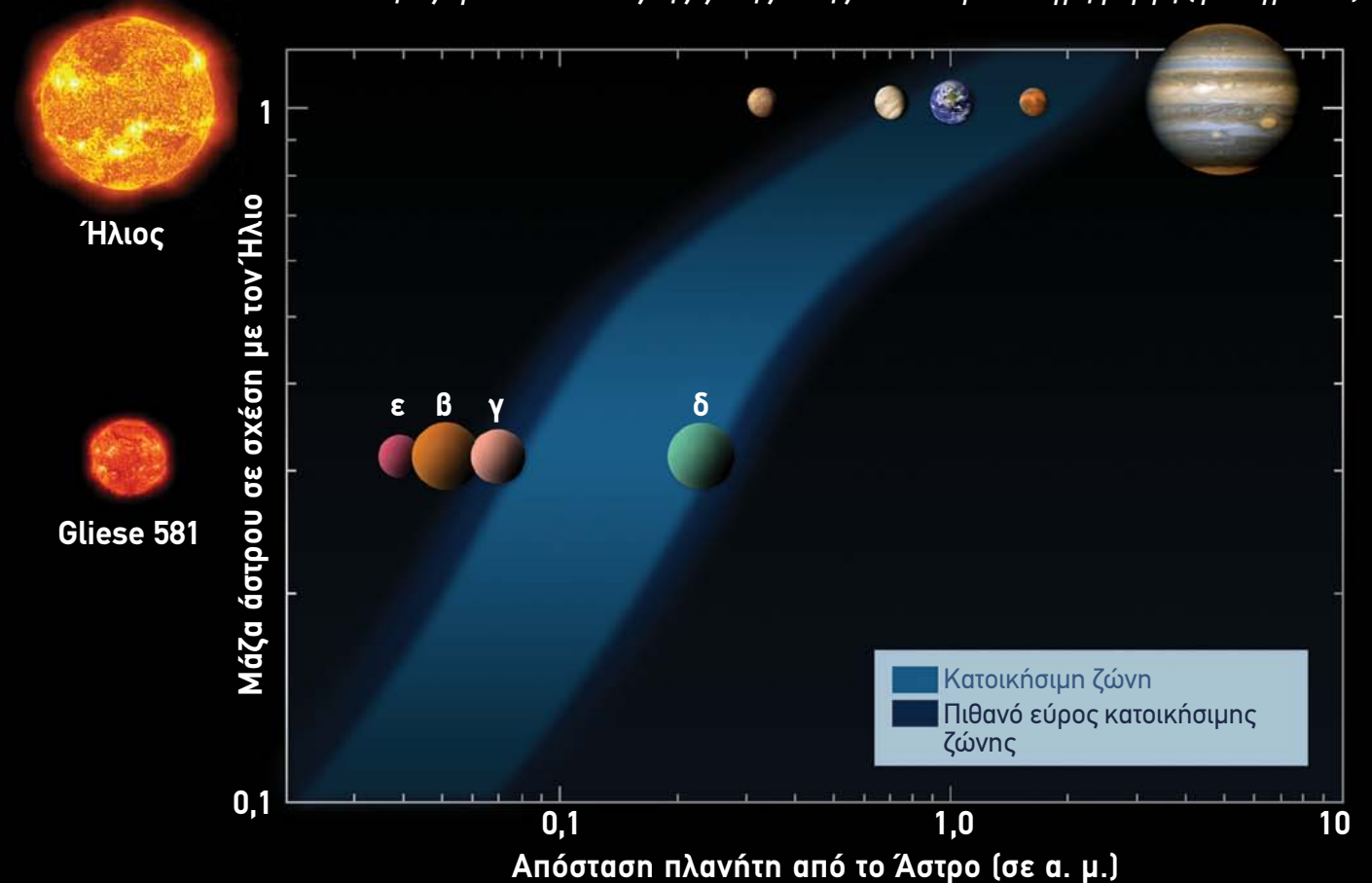
της Γης, καθώς μεταβάλλει σε καθημερινή και εποχιακή βάση τον τρόπο με τον οποίο η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει στην επιφάνειά της. Αυτό συμβαίνει διότι η 24ωρη περιστροφή της Γης, η ετήσια τροχιά της γύρω από τον Ήλιο και η κλίση που σχηματίζει ο άξονας περιστροφής της συμβάλλουν, ώστε η ηλιακή ακτινοβολία να προσπίπτει με διαφορετική γωνία στις διαφορετικές περιοχές του πλανήτη μας, τις οποίες και θερμαίνει με άνισο τρόπο. Όπως θα δούμε και στα επόμενα κεφάλαια, αυτή η άνιση κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας ενεργοποιεί, όχι μόνο τον κύκλο του νερού, δηλαδή την αέναη ανακύκλωσή του από τις υδάτινες επιφάνειες, στην ατμόσφαιρα και το έδαφος, αλλά και τους ανέμους. Οι άνεμοι, με τη σειρά τους, ενεργοποιούν τα επιφανειακά ωκεάνια ρεύματα, που αποτελούν τμήμα της **Παγκόσμιας Ωκεάνιας Κυκλοφορίας**, ενός τεράστιου συστήματος από θερμά επιφανειακά και βαθιά ψυχρά ωκεάνια ρεύματα, τα οποία εκτείνονται σ' ολόκληρη την υφήλιο. Η Παγκόσμια Ωκεάνια Κυκλοφορία μεταφέρει θερμότητα σ' ολόκληρο τον πλανήτη και σε συνδυασμό με τα ρεύματα του αέρα, τις παλίρροιες, τη γεωμορφολογία του εδάφους και του ωκεάνιου πυθμένα συμβάλλει καθοριστικά στη ρύθμιση του παγκόσμιου κλίματος, εξισορροπώντας όσο αυτό είναι δυνατό, τις θερμοκρασίες στην υφήλιο.

Απ' ό,τι φαίνεται, μάλιστα, οι κλιματικές αλλαγές που σχετίζονται με την εναλλαγή των ψυχρών και θερμών περιόδων που προαναφέραμε, οφείλονται σε περιοδικές διακυμάνσεις της γήινης τροχιάς, εξαιτίας των βαρυτικών αλληλεπιδράσεων που ασκούν στον πλανήτη μας ο Ήλιος, η Σελήνη και σε μικρότερο βαθμό οι άλλοι πλανήτες του Ηλιακού

μας συστήματος. Αργότερα, θα δούμε ότι οι σημαντικότερες απ' αυτές εμφανίζονται με περιοδικότητα της τάξης των δεκάδων χιλιάδων ετών και ότι παρατηρούνται στο σχήμα της γήινης τροχιάς γύρω από τον Ήλιο, στην κλίση του άξονα περιστροφής της Γης και στην μετάπτωση των ισημεριών. Αυτές οι μεταβολές, γνωστές ως **κύκλοι Milankovitch**, προς τιμή του Σέρβου αστρονόμου που πρώτος τις μελέτησε, μεταβάλλουν σε βάθος χρόνου το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που απορροφούν οι διαφορετικές περιοχές της Γης και κατά συνέπεια επηρεάζουν τη θερμοκρασία της.

Προφανώς, το κλίμα ενός πλανήτη επηρεάζεται και από τη μέση απόστασή του απ' τον Ήλιο. Πραγματικά, ο πλανήτης μας βρίσκεται σε τέτοια απόσταση από τον Ήλιο, ώστε ούτε «καίγεται», όπως ο Ερμής, ούτε όμως είναι παγωμένος, όπως ο Πλούτωνας. Η απόσταση, όμως, της Γης από τον Ήλιο δεν είναι ο μοναδικός παράγοντας που διαμορφώνει το κλίμα της γιατί, εάν ήταν έτσι, η Αφροδίτη, που βρίσκεται μακρύτερα απ' τον Ήλιο απ' ό,τι ο Ερμής, θα έπρεπε να έχει χαμηλότερη μέση θερμοκρασία απ' τον εσώτατο πλανήτη του

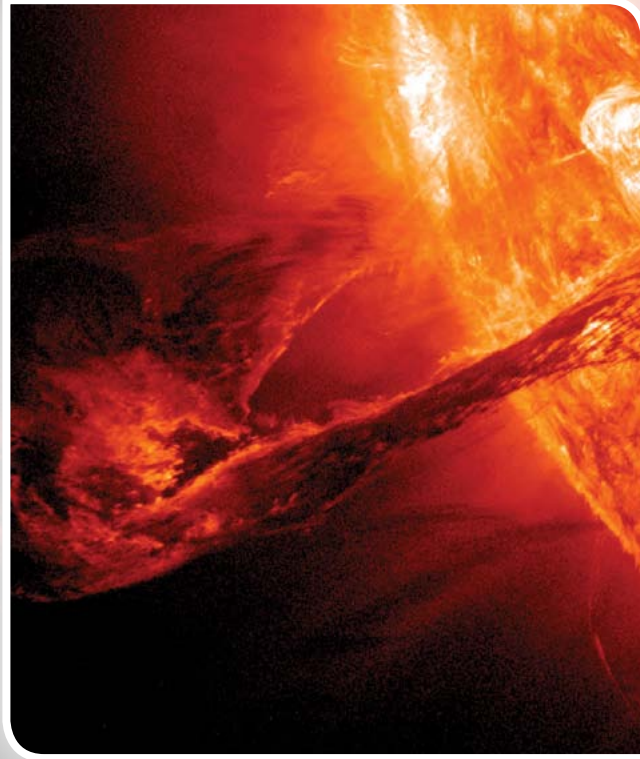
Απεικόνιση της «κατοικήσιμης ζώνης» του Ήλιου και του άστρου Gliese 581. Όσοι πλανήτες βρίσκονται εντός της ζώνης αυτής έχουν νερό σε υγρή μορφή (φωτογρ. ESO).



Ηλιακού μας Συστήματος.

Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει το γήινο κλίμα είναι ο ίδιος ο Ήλιος, κάτι απολύτως φυσιολογικό, εάν αναλογιστεί κάποιος ότι ο Ήλιος είναι η κύρια πηγή ενέργειας που ενεργοποιεί το γήινο κλίμα και κατά συνέπεια οποιοσδήποτε αλλαγές στην ενέργεια που εκπέμπει, θα το επηρέαζαν. Για παράδειγμα, είναι γνωστό ότι ο Ήλιος ακολουθεί μια περιοδική αυξομείωση της δραστηριότητάς του και ότι στο παρελθόν υπήρξαν εποχές, κατά τις οποίες η ηλιακή δραστηριότητα παρέμεινε ελάχιστη για ασυνήθιστα μεγάλο χρονικό διάστημα. Απ' ό,τι φαίνεται, κάτι τέτοιο παρατηρήθηκε για τελευταία φορά στα 1645-1715. Τα διαθέσιμα ιστορικά αρχεία δείχνουν ότι στη διάρκεια εκείνης της εποχής οι χειμώνες στην Ευρώπη και στη Βόρειο Αμερική ήταν ασυνήθιστα σφοδροί, γεγονός που ώθησε ορισμένους επιστήμονες να συσχετίσουν αιτιακά την ένταση της σφοδρότητάς τους με τη μειωμένη ηλιακή δραστηριότητα.

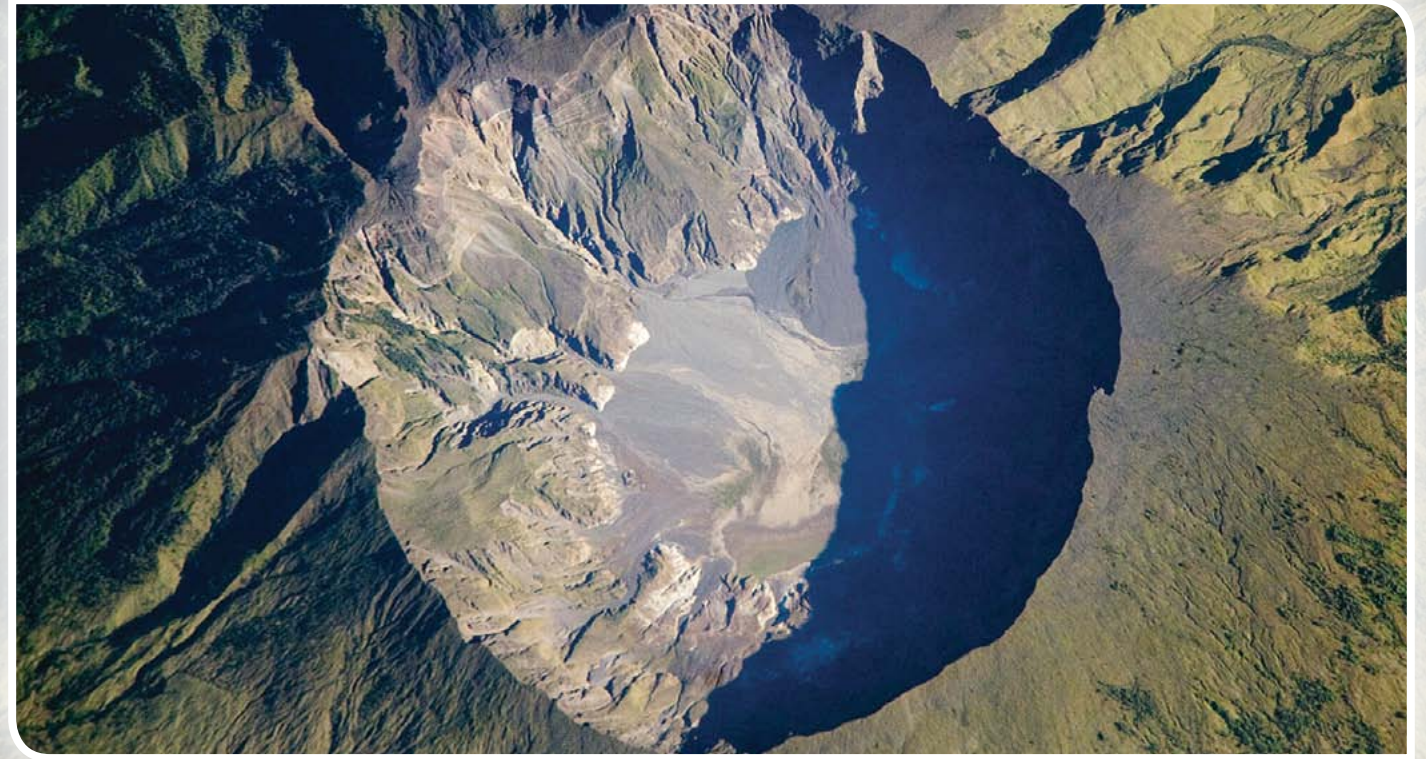
Στις μεγαλύτερες χρονικές κλίμακες, όμως, δηλαδή σ' αυτές που εκτείνονται σε δεκάετημύρια έτη, ο Ήλιος επιδρά στο γήινο κλίμα με έναν εντελώς διαφορετικό τρόπο, αφού όσο εξελίσσεται, τόσο αυξάνει η φωτεινότητά του και κατά συνέπεια τόσο περισσότερο θερμαίνει τη Γη. Είναι χαρακτηριστικό ότι στα πρώτα στάδια της γεωλογικής εξέλιξης του πλανήτη μας, η φωτεινότητα του Ήλιου δεν υπερέβαινε το 70% της σημερινής. Ούτε, όμως, η φωτεινότητα του Ήλιου αρκεί από μόνη της, προκειμένου να εξηγήσει τις κλιματολογικές μεταβολές που παρατηρούνται καθώς, δεδομένης της χαμηλότερης φωτεινότητας του Ήλιου στα πρώτα στάδια της εξέλιξης του Ηλιακού μας συ-



Η ηλιακή δραστηριότητα αυξομειώνεται σε ένταση (φωτογρ. NASA/SDO/AIA/GSFC).

στήματος, οι ωκεανοί που κάλυπταν τον πλανήτη μας, όταν ήταν ακόμα νέος, θα έπρεπε να ήταν παγωμένοι. Σύμφωνα, όμως, με όλα τα διαθέσιμα γεωλογικά ευρήματα ήταν ρευστοί.

Ένα άλλο φυσικό φαινόμενο που επηρεάζει το γήινο κλίμα είναι οι ηφαιστειακές εκρήξεις, και ειδικότερα οι τεράστιες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα και άλλων ενώσεων που εκτινάσσουν στην ατμόσφαιρα. Αυτό, μάλιστα, έχει ήδη αποδειχθεί για ορισμένες απ' τις μεγαλύτερες ηφαιστειακές εκρήξεις του παρελθόντος, με χαρακτηριστικότε-



Ο κρατήρας του ηφαιστείου Ταμπόρα σήμερα (φωτογρ. ISS).

ρο ίσως παράδειγμα την κολοσιαία έκρηξη του ηφαιστείου Ταμπόρα στο νησί Sumbawa της Ινδονησίας, το 1815. Τα 160 κυβικά χιλιόμετρα ηφαιστειακών υλικών, που εκτιμάται ότι εκτινάχθηκαν στην ατμόσφαιρα, επηρέασαν βραχυπρόθεσμα το παγκόσμιο κλίμα, προκαλώντας έναν «ηφαιστειακό χειμώνα», εξαιτίας του οποίου το 1816 έμεινε γνωστό ως «η χρονιά χωρίς καλοκαίρι».

Και όμως, η κλιματική μεταβολή που παρατηρείται τις τελευταίες δεκαετίες είναι διαφορετική, καθώς, καμία από τις φυσικές αιτίες που την προκαλούν

δεν μπορεί από μόνη της ή και σε συνδυασμό με τις άλλες να την ερμηνεύσει πλήρως. Γι' αυτό και οι περισσότεροι επιστήμονες συμφωνούν ότι η κλιματική αλλαγή που βιώνουμε σήμερα δεν έχει τόσο φυσικά αίτια, αλλά είναι κατά βάση ανθρωπογενής και οφείλεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Ο τρόπος με τον οποίο το φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου θερμαίνει τον πλανήτη μας είναι ο ακόλουθος. Το μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας, που φτάνει στην Γη, ανακλάται στο

Διάστημα ή απορροφάται από την ατμόσφαιρά της, όπως συμβαίνει με τις ακτίνες Χ και με την υπεριώδη ακτινοβολία. Η γήινη ατμόσφαιρα, όμως, είναι διαφανής στο ορατό φως του Ήλιου το οποίο, αφού την διασχίσει, φτάνει στην επιφάνειά της και την θερμαίνει. Το έδαφος, στη συνέχεια, επανεκπέμπει θερμότητα με την μορφή της υπέρυθρης ακτινοβολίας. Ενώ, όμως η γήινη ατμόσφαιρα είναι διαφανής στην ορατή ακτινοβολία, δεν ισχύει το ίδιο για την υπέρυθρη. Διότι, τα αέρια του θερμοκηπίου που εμπεριέχει, κυρίως διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) και υδρατμοί, την παγιδεύουν, φυλακίζοντας παράλληλα και την θερμική ενέργεια που της αντιστοιχεί έτσι, ώστε ο πλανήτης μας να είναι αρκετά θερμότερος απ' όσο θα ήταν χωρίς το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Όσο μεγαλύτερη είναι η ποσότητα των αερίων του θερμοκηπίου τόσο μεγαλύτερη ποσότητα υπέρυθρης ακτινοβολίας παγιδεύεται στην ατμόσφαιρα και τόσο περισσότερο αυξάνει η θερμοκρασία.

Αυτή, όμως, είναι μόνο η μισή ιστορία, γιατί η Γη διαθέτει και έναν πολύπλοκο πλανητικό «θερμοστάτη» που, όταν λειτουργεί σωστά, αυξάνει την θερμοκρασία του πλανήτη μας όταν μειώνεται υπερβολικά και την μειώνει όταν αυξάνεται «επικίνδυνα». Ο «θερμοστάτης» αυτός, βασίζεται στην λειτουργία τουλάχιστον τριών φυσικών μηχανισμών, που αυξομειώνουν σε βάθος χρόνου το ποσοστό διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα: του κύκλου του νερού, του κύκλου του άνθρακα και της γεωτεκτονικής δραστηριότητας. Ο **κύκλος του νερού** είναι η αέναη ανακύκλωση και μεταφορά του από την ξηρά στους ωκεανούς, μέσω των τρεχούμενων υδάτων, εν συνεχεία από

τους ωκεανούς και τα επιφανειακά νερά στην ατμόσφαιρα, μέσω της εξάτμισης και εντέλει από την ατμόσφαιρα στην επιφάνεια της Γης, μέσω της συμπύκνωσης και κατακρήμνισης. Ο κύκλος του νερού, με τη σειρά του, συμβάλλει στην λειτουργία του κύκλου του άνθρακα, δηλαδή του βασικού μηχανισμού που ανακυκλώνει τον άνθρακα μεταξύ της ατμόσφαιρας, των ωκεανών, του εδάφους και του υπεδάφους, μεταβάλλοντας την περιεκτικότητά της ατμόσφαιρας σε CO₂ και ρυθμίζοντας συνεπώς τη μέση θερμοκρασία της. Ο κύκλος του άνθρακα θα παρουσιαστεί σε επόμενο κεφάλαιο, γι' αυτό και στην συνέχεια θα αναφερθούμε στον τρίτο μηχανισμό του «πλανητικού θερμοστάτη», δηλαδή στην **γεωτεκτονική δραστηριότητα**. Εξ αιτίας της κίνησης των τεκτονικών πλακών, τα επιφανειακά πετρώματα που απορροφούν το ατμοσφαιρικό CO₂ εισχωρούν στο υπέδαφος, όπου χάρη στις τεράστιες θερμοκρασίες και πιέσεις το αποδεσμεύουν. Από τα βάθη του γήινου φλοιού, τέλος, το CO₂ επιστρέφει στην ατμόσφαιρα μέσα από την ηφαιστειακή δραστηριότητα. Με δύο λόγια, οι τρεις αυτοί αλληλεξαρτούμενοι φυσικοί μηχανισμοί ρυθμίζουν το ποσοστό CO₂ στην ατμόσφαιρα, μεταφέροντάς το κατά περίπτωση στους ωκεανούς και τον γήινο φλοιό, απ' όπου επιστρέφει στην ατμόσφαιρα με τις ηφαιστειακές εκρήξεις.

Προκειμένου να κατανοήσουμε καλύτερα τον τρόπο με τον οποίο το κλίμα της Γης επηρεάζεται από το φαινόμενο του θερμοκηπίου, θα «επισκεφθούμε» την γειτονική μας Αφροδίτη. Πραγματικά, η ατμόσφαιρα της Αφροδίτης αποτελείται σχεδόν αποκλειστικά από CO₂ και είναι τόσο πυκνή, ώστε η πίεση στην επιφάνειά της υπερβαίνει αυτήν της

Γης κατά 90 φορές, ενώ η μέση θερμοκρασία της φτάνει τους 460°C. Κι όμως, δισεκατομμύρια χρόνια πριν, ο πλανήτης αυτός είχε χαμηλότερη θερμοκρασία, που ίσως και να ευνοούσε την ύπαρξη νερού σε υγρή μορφή. Οι περισσότεροι αστρονόμοι θεωρούν ότι η διαφορετική εξέλιξη της Αφροδίτης οφείλεται εν πολλοίς σ' ένα ανεξέλεγκτο και αυτοτροφοδοτούμενο φαινόμενο του θερμοκηπίου, που ανέβασε την θερμοκρασία της στα ύψη. Ακόμη, λοιπόν, και στην περίπτωση που η Αφροδίτη είχε ωκεανούς, η διαρκώς αυξανόμενη θερμοκρασία της επέτεινε την εξάτμιση τους, αυξάνοντας τους υδρατμούς στην ατμόσφαιρα, οι οποίοι με τη σειρά τους παγίδευαν ακόμη πιο αποτελεσματικά την υπέρυθρη ακτινοβολία κ.ο.κ., ώσπου εξατμίστηκαν εντελώς.

Επειδή, όμως, η Αφροδίτη, σε αντίθεση με την Γη, δεν έχει ασπίδα του όζοντος, που θα την προστατεύει από την υπεριώδη ακτινοβολία του Ήλιου, ούτε όμως και ισχυρό μαγνητικό πεδίο που θα την προστατεύει απ' τον ηλιακό άνεμο, οι υδρατμοί που ανήλθαν στα ανώτερα τμήματα της ατμόσφαιράς της διασπάστηκαν σε υδρογόνο και οξυγόνο. Στην συνέχεια, το ελαφρύτερο υδρογόνο παρασύρθηκε στο Διάστημα από τον ηλιακό άνεμο, ενώ το οξυγόνο σχημάτισε ενώσεις με άλλα στοιχεία. Κάπως έτσι, η Αφροδίτη έχασε εντελώς τα αποθέματά της σε νερό και μετατράπηκε στον άνυδρο πλανήτη, που γνωρίζουμε. Χωρίς, όμως τη πα-

ρουσία νερού, το CO₂, που συσσωρευόταν στην ατμόσφαιρά της από τις ηφαιστειακές εκρήξεις, δεν μπορούσε να επιστρέψει στο έδαφος και έτσι η συγκέντρωσή του και συνεπώς η θερμοκρασία της αυξανόταν συνεχώς.

Οι περισσότεροι αστρονόμοι θεωρούν ότι ένα τέτοιο εφιαλτικό σενάριο θα ισχύσει και στη Γη, καθώς η μοίρα του πλανήτη μας είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τον Ήλιο, ο οποίος όσο θα προσεγγίζει το στάδιο του κόκκινου γίγαντα, τόσο θα διογκώνεται και η φωτεινότητά του θα αυξάνει, ώσπου εντέλει οι ωκεανοί στην Γη θα εξατμιστούν. Αυτό, όμως, είναι μια άλλη ιστορία και σε κάθε περίπτωση δεν πρόκειται να συμβεί σε λιγότερο από τουλάχιστον 1 δισεκατομμύριο χρόνια. Γι αυτό και μεγαλύτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η βραχυπρόθεσμη εξέλιξη του γήινου κλίματος.

Ο πλανήτης Αφροδίτη (φωτογρ. NASA).



Τεράστιες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα εκλύονται στην ατμόσφαιρα απ' τις ανθρώπινες δραστηριότητες.

Πολύ περισσότερο, μάλιστα, τη στιγμή που οι τεράστιες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα, μεθανίου και άλλων ενώσεων, που εκλύονται στην ατμόσφαιρα από την καύση των ορυκτών υδρογονανθράκων, την αποψίλωση των δασών και τις άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες, απορρυθμίζουν τον πλανητικό μας θερμοστάτη, αυξάνοντας διαρκώς την ένταση του φαινομένου του θερμοκηπίου, και κατά συνέπεια τη μέση παγκόσμια θερμοκρασία.

Πραγματικά, η συγκέντρωση CO₂ στην ατμόσφαιρα αυξάνει διαρκώς. Αυτό έχει ήδη τεκμηριωθεί από χιλιάδες επιστημονικές έρευνες και αναλύσεις,

όπως εκείνες που καταγράφουν την εποχιακή διακύμανση της παγοκάλυψης στην Αρκτική και την Γροιλανδία, με την βοήθεια μετεωρολογικών δορυφόρων. Οι περισσότεροι επιστήμονες αναμένουν ότι αυτή η αυξητική τάση θα συνεχιστεί και στο μέλλον, με σοβαρότατες συνέπειες, για παράδειγμα περισσότερα και βιαιότερα ακραία καιρικά φαινόμενα, άνοδο της στάθμης των ωκεανών και επιτάχυνση της τήξης των πάγων στην Αρκτική και την Γροιλανδία, ενώ κανείς δεν γνωρίζει ακόμη με βεβαιότητα τον τρόπο που αυτό θα επηρεάσει την Παγκόσμια Ωκεάνια Κυκλοφορία.

Είναι αλήθεια ότι ο ακριβής μηχανισμός που ρυθμίζει σε βάθος χρόνου το κλίμα του πλανήτη μας δεν είναι απολύτως κατανοητός σε όλες του τις λεπτομέρειες. Ένας, ίσως, από τους λόγους που συμβαίνει αυτό είναι και η πληθώρα των παραγόντων που, αλληλεπιδρώντας ο ένας με τον άλλο, μεταβάλλουν το κλίμα, με τρόπο που είναι δύσκολο να προβλεφθεί με ακρίβεια. Η μεταβαλλόμενη κλίση του άξονα περιστροφής της Γης, η απόστασή της από τον Ήλιο, οι αλληλεξαρτώμενοι κύκλοι του άνθρακα και του νερού, η περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε CO₂ και υδρατμούς, η γεωτεκτο-

νική δραστηριότητα, η αένια κυκλοφορία των αέριων και ωκεάνιων ρευμάτων κι αυτή ακόμη η παρουσία της ζωής είναι μερικοί μόνο απ' τους παράγοντες που διαμορφώνουν τις κλιματικές μεταβολές του πλανήτη μας. Από την έναρξη, όμως, της βιομηχανικής επανάστασης και μετά, σ' αυτούς τους παράγοντες προστέθηκε άλλος ένας, δηλαδή οι εκατοντάδες χιλιάδες τόνοι CO₂ και άλλων ενώσεων που διοχετεύονται στην ατμόσφαιρα από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Δυστυχώς, εμείς και πολύ περισσότερο η γενιά που θα μας ακολουθήσει θα βιώσουν άμεσα τις δραματικές επιπτώσεις.



Το Γήινο Σύστημα και η Επιστήμη Συστημάτων της Γης

Τα τελευταία 60 περίπου χρόνια η εξέλιξη των επιστημών και τεχνολογιών παρατήρησης της Γης έχουν πολλαπλασιάσει το ρυθμό παραγωγής νέας γνώσης για τον πλανήτη. Επιστημονικές θεωρίες δεκαετιών εδραιώθηκαν, όπως αυτή που συσχετίζει την αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη με το διοξείδιο του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, που πρώτος επεσήμανε ο Svante Arrhenius (1859-1927) το 1896 ή η θεωρία της κίνησης των τεκτονικών πλακών, που διατυπώθηκε από τον Alfred Wegener (1880-1930) το 1912. Επιπλέον, έχουν προκύψει νέες θεωρίες και περιοχές συστηματικής έρευνας, όπως αυτή της καταστροφής του στρατοσφαιρικού όζοντος από τους χλωροφθοράνθρακες. Η γνώση μας για τη δυναμική λειτουργία του πλανήτη παρέχει απαντήσεις για το πώς δημιουργούνται οι σεισμοί, οι οροσειρές και τα ηφαίστεια, για την μορφή που έχει η γενική κυκλοφορία της ατμόσφαιρας και των ωκεάνιων ρευμάτων, για το DNA και για την βιοποικιλότητα, ενώ σημαντική βελτίωση έχει σημειωθεί και στην βραχυπρόθεσμη πρόγνωση του καιρού.

Παρατηρώντας τη Γη από το Διάστημα, διακρίνουμε ότι σχεδόν το 71% της επιφάνειάς της είναι καλυμμένη με νερό, που της προσδίδει ένα εντυπωσιακό γαλάζιο χρώμα, ενώ τα νεφικά συστήματα και οι παγετώνες μαζί με το χιονοσκεπές έδαφος «υφαίνουν» την επιφάνεια της Γης με λευκές αντανακλάσεις που μεταβάλλονται συνεχώς. Κάτω από την επίδραση της ατμόσφαιρας, η επιφάνεια του ωκεανού βρίσκεται σε συνεχή κίνηση με ισχυρά ρεύματα, που εκτείνονται για χιλιάδες χιλιόμετρα, και πανύψηλα κύματα. Κάτω από την επιφάνεια του ωκεανού βρίσκονται κρυμμένες οροσειρές, απέραντοι τάφροι χιλιάδων μέτρων βάθους, θερμές πηγές και ενεργά ηφαίστεια, δηλαδή ένας φυσικός χώρος που εν πολλοίς είναι ακόμη επιστημονικά ανεξερεύνητος, αλλά και ταυτόχρονα αποτελεί αναπόσπαστο μέρος του γήινου κλιματικού συστήματος.

Τα τελευταία 20 περίπου χρόνια έχει επικρατήσει στην διεθνή επιστημονική κοινότητα η αντίληψη ότι οι βασικές επιστήμες της Γης, που μετρούν και ερευνούν την ατμόσφαιρα, τους ωκεανούς, το γήινο φλοιό, τη χλωρίδα και την πανίδα, δηλαδή η Μετεωρολογία, η Ωκεανογραφία, η Γεωλογία, η Γεωργία και η Βιολογία, δεν μπορούν να ερμηνεύσουν από μόνες τους όλα όσα συμβαίνουν στο φυσικό μας κόσμο, αλλά αντίθετα ότι συνδέονται στενά μεταξύ τους στο επίπεδο της φυσικοχημικής διάδρασης της ατμόσφαιρας με την γη. Η αντίληψη αυτή υποστηρίζεται και από τις ραγδαίες εξελίξεις στην δυνατότητα συστηματικής επιστημονικής παρατήρησης των φυσικών φαινομένων με τη βοήθεια της δορυφορικής τεχνολογίας και της πληροφορικής, που μας επέτρεψαν να «μοντελοποιήσουμε» τον πλανήτη μας σε διαφορετικές κλίμακες. Παρ' όλες όμως

αυτές τις θετικές επιστημονικές εξελίξεις, έχουμε πολλά βήματα ακόμη να πραγματοποιήσουμε όσον αφορά στην συνθετική έρευνα για την Παγκόσμια Κλιματική Αλλαγή, δηλαδή για την αύξηση της ικανότητας πρόγνωσης των αποκλίσεων από τις μέσες και ακραίες τιμές των διαφόρων μετεωρολογικών, ωκεανογραφικών, γεωλογικών και βιολογικών παραμέτρων. Πριν από μόλις 10 χρόνια και μετά από απόφαση του G8, οι διεθνείς διακυβερνητικοί οργανισμοί της Μετεωρολογίας, της Ωκεανογραφίας και του Διαστήματος άρχισαν να κάθονται στο ίδιο τραπέζι με τα ιδρυτικά τους κράτη-μέλη, προκειμένου να διερευνήσουν από κοινού τις δυνατότητες βελτίωσης των περιβαλλοντικών παρατηρήσεων και της συλλογής πληροφοριών σε τοπική κλίμακα, αλλά και της σύνδεσής τους με κοινωνικοοικονομικά στοιχεία και δεδομένα τοπικού και περιφερειακού ενδιαφέροντος. Η σύνθεση αυτή των επιστημών της Γης κάτω από μια ενιαία επιστημονική προσέγγιση ονομάζεται **Επιστήμη των Συστημάτων της Γης** (Earth Systems Science) και εστιάζει στη μελέτη της λειτουργίας ολόκληρης της Γης, συμπεριλαμβανομένης της ατμόσφαιρας, της υδρόσφαιρας, της βιόσφαιρας και της γεώσφαιρας. Αυτές οι τέσσερις «σφαίρες» ή συστήματα συνδέονται μεταξύ τους και δημιουργούν μια μεγαλύτερη «μηχανή», δηλαδή ολόκληρο το γήινο σύστημα. Η επιστήμη των γήινων συστημάτων, ενσωματώνοντας και συνθέτοντας γνώση από την γεωλογία, τη μετεωρολογία, την ωκεανογραφία, τη βιολογία και τη γεωργία, διερευνά τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ αυτών των διαφορετικών σφαιρών, αλλά και το πώς αυτές επηρεάζουν τη λειτουργία του γήινου κλιματολογικού συστήματος.

Η ανάπτυξη, όμως, του τομέα της Επιστήμης των



Συστημάτων της Γης προέκυψε και από την αίσθηση της επείγουσας ανάγκης να γίνει πιο κατανοητή η δυναμική αλλά και οι συνδυαστικές διαδικασίες του παγκόσμιου κλιματικού συστήματος. Οι επιστημονικές παρατηρήσεις των αλλαγών στην ατμοσφαιρική σύνθεση, (μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος, αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου και των αερολυμάτων- αεροζόλ κ.λπ.), στους ωκεανούς (ρύπανση των υδάτων) και στη δασική κάλυψη καταδεικνύουν μια αύξηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας και μια άνοδο της στάθμης των ωκεανών, που δημιουργούν την υπόθεση για επερχόμενες αλλαγές στο παγκόσμιο κλιματικό σύστημα, ενδεχομένως μάλιστα με σοβαρές συνέπειες. Εάν κατορθώσουμε να κατανοήσουμε καλύτερα το κλιματικό σύστημα, θα μπορούμε να πραγματοποιούμε επιτυχεστέρες προβλέψεις για τις μελλοντικές αλλαγές του. Αυτό θα μας βοηθήσει να αποφασίσουμε τον τρόπο με τον οποίο είναι ανάγκη να αλλάξουμε πρώτα την προσωπική μας θεώρηση για τη φύση αλλά και να σχεδιάσουμε καλύτερα την ανάπτυξη, λαμβάνοντας υπόψη και τους πιθανούς τρόπους αντιμετώπισης των κλιματικών αλλαγών που έρχονται.

Εξαιτίας της ενιαίας προσέγγισης και της διεπιστημονικής της φύσης, η Επιστήμη των Συστημάτων της Γης απαιτεί λοιπόν μία ευρεία, ολιστική θεώρηση του πλανήτη μας, καθώς και τη συνέργειασύνδεση επιστημονικών κλάδων, που ήταν παραδοσιακά κάπως απομονωμένοι μεταξύ τους. Η έρευνα που διεξάγεται για την επίλυση ενός εξειδικευμένου και πολύ συγκεκριμένου προβλήματος είναι σαφώς πολύ σημαντική για την ανάπτυξη της γνώσης μας. Από την ίδια τη φύση της, όμως, αυτού του είδους η εξειδικευμένη έρευνα δεν αρκεί από μόνη της για να φωτίσει τις διασυνδέσεις και

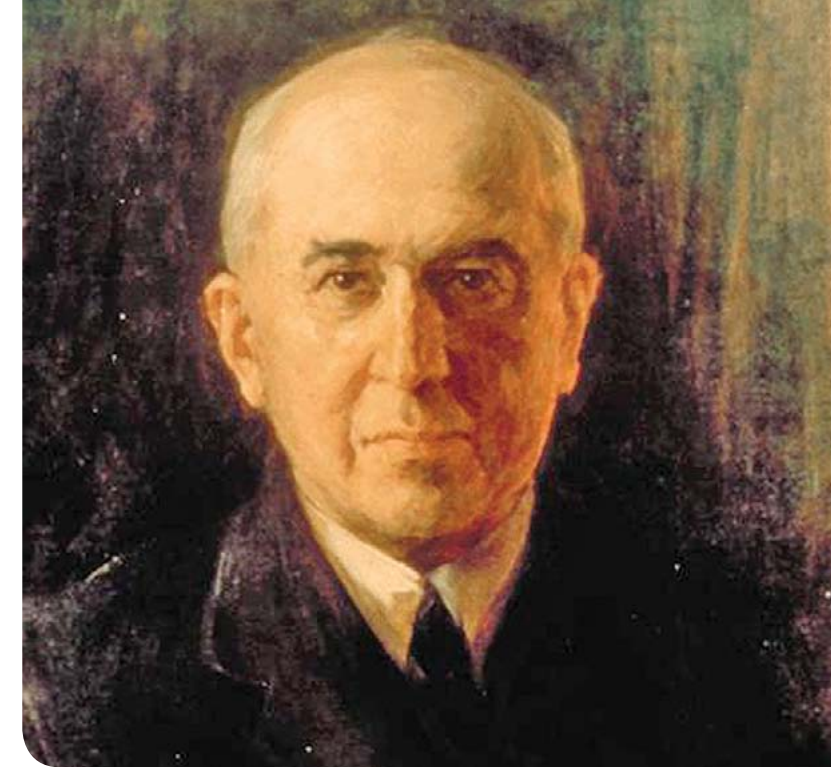
τους συσχετισμούς όλων εκείνων των επιστημονικών ευρημάτων, που είναι σημαντικοί, προκειμένου να κατανοήσουμε τον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί ολόκληρο το γήινο σύστημα. Η ολιστική θεώρηση, όμως, σε καμία περίπτωση δεν ακυρώνει τις σημαντικές θεωρίες και έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί από όλους τους υπο-κλάδους που περιλαμβάνονται στην Επιστήμη των Συστημάτων της Γης. Αντίθετα, στηρίζεται σε αυτήν την συσσωρευμένη γνώση, που οδήγησε στην ανάγκη ανάπτυξης του νέου αυτού διεπιστημονικού τομέα.

Εξίσου σημαντική, όμως, είναι και η συνεχής βελτίωση του Παγκόσμιου Συστήματος Κλιματολογικής Παρατήρησης της Γης (δορυφορικού και επίγειου), καθώς και η συνεχής βελτίωση των αριθμητικών προσομοιώσεων που χρησιμοποιούμε για την αναπαράσταση (μοντελοποίηση) του κλιματικού συστήματος, προκειμένου να είναι εφικτή η μελέτη του. Με άλλα λόγια η προσομοίωση είναι απλά ένας τρόπος δημιουργίας αριθμητικών, μαθηματικών μοντέλων που προσομοιάζουν στο αρχικό φυσικό σύστημα και χρησιμοποιούνται στη μελέτη ιδιαίτερα πολύπλοκων συστημάτων, όπως ο καιρός και το κλίμα. Δεν πρέπει να ξεχνάμε, άλλωστε, ότι η Γη παρουσιάζει μια συνεχή δυναμική συμπεριφορά με μεγάλη ποικιλία φυσικών διαδικασιών, που συμβαίνουν σε διαφορετικές χρονικές κλίμακες. Μερικές πτυχές της Γης, όπως ο καιρός, αλλάζουν εντυπωσιακά σε σύντομα χρονικά διαστήματα, άλλες, όπως η τήξη των πάγων στους πόλους μεταβάλλονται σε επίπεδο αιώνων, ενώ οι θέσεις και τα μεγέθη των ηπείρων παρουσιάζουν δραματική αλλαγή μόνο σε βάθος εκατοντάδων εκατομμυρίων ετών. Τα συστήματα που επιδεικνύουν μια τέτοια δυναμική συμπεριφορά ονομάζονται **Δυναμικά Συστήματα**. Το σχεδόν κλειστό, με τη σημερινή μας

γνώση, σύστημα της Γης, ενέχει έναν τέτοιο δυναμικό χαρακτήρα, με την έννοια της συνεχούς αλλαγής, αφού το ενεργειακό ισοζύγιο Ηλίου - Γης μεταβάλλεται συνεχώς σε σχέση με το χρόνο, ενώ εκδηλώνονται παράλληλα σημαντικές φυσικές μεταβολές, που σχετίζονται με άλλα φαινόμενα, όπως μεταξύ άλλων οι ηφαιστειακές εκρήξεις. Για παράδειγμα, η έκρηξη του ηφαιστείου Pinatubo στις Φιλιππίνες το 1991 δημιούργησε υψηλή συγκέντρωση διοξειδίων του θείου στην ατμόσφαιρα, που αύξησαν την ανακλαστικότητα της. Αυτό είχε ως συνέπεια να μειωθεί η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια της Γης, με αποτέλεσμα τη μείωση της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας του βορείου ημισφαιρίου κατά 0,5 °C, περίπου για δύο χρόνια. Πολύ σωστά οι γεωλόγοι υποστηρίζουν ότι μια τεράστια ηφαιστειακή έκρηξη, όπως αυτή της Σαντορίνης, θα μας βάλει για αρκετά χρόνια σε ένα κλίμα παγετωνικής περιόδου.

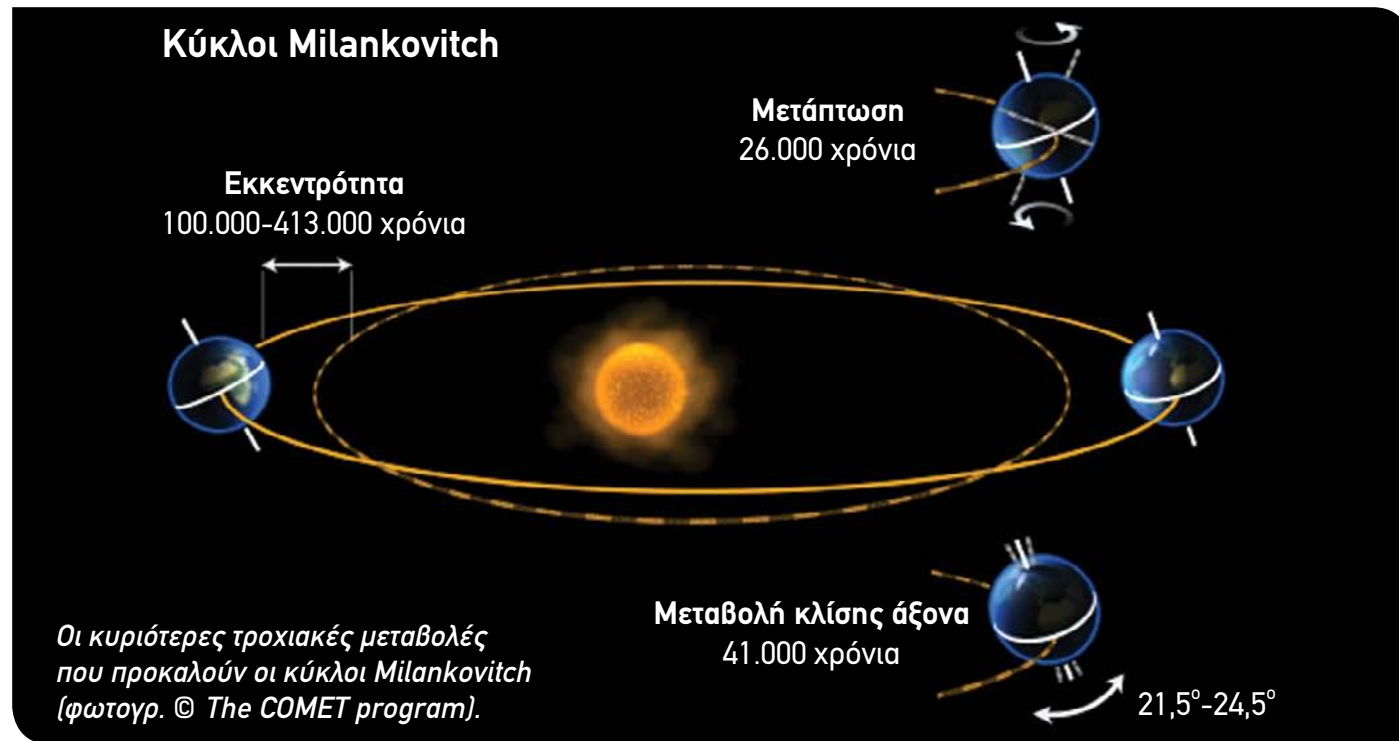
Ο Ήλιος παρέχει το 99,8% των ενεργειακών αναγκών της Γης, ενώ το υπόλοιπο 0,2% αντιπροσωπεύει τη συνεισφορά της γεωθερμικής ενέργειας που προέρχεται από το εσωτερικό της Γης. Η ποσότητα, όμως, της ηλιακής ακτινοβολίας που καταλήγει στο ανώτερο στρώμα της ατμόσφαιρας όταν η Γη βρίσκεται σε μέση απόσταση από τον Ήλιο, δεν είναι σταθερή αλλά μεταβάλλεται εξαιτίας των αστρονομικών κινήσεων της Γης σε σχέση με τον Ήλιο, καθώς και με άλλες περιοδικές ή τυχαίες διεργασίες του Ήλιου, όπως οι ηλιακές κηλίδες και ο ηλιακός άνεμος, που αποτελούν σημαντικό τομέα έρευνας των διαστημικών αποστολών τις τελευταίες δεκαετίες.

Η θεωρία του Σέρβου Αστρονόμου Milutin Milankovitch (1879-1958), που προτάθηκε για πρώτη



Ο Σέρβος αστρονόμος Milankovitch.

φορά το 1920, ερμηνεύει τη σχέση που έχει ο συνδυασμός των τροχιακών μεταβολών της Γης με τις παγετωνικές περιόδους που συμβαίνουν στον πλανήτη, καθώς προκαλούν συνεχείς μεταβολές στην εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία και κατά συνέπεια στο κλίμα της Γης. Οι κυριότερες απ' αυτές είναι η μεταβολή στην εκκεντρότητα της γήινης τροχιάς (με περίοδο περίπου 100.000 χρόνια), η μετάπτωση του άξονα περιστροφής (με περίοδο περίπου 23.000 χρόνια) και η μεταβολή στην κλίση του άξονα περιστροφής της Γης (με περίοδο περίπου 41.000 χρόνια). Σύμφωνα με όλα τα παλαιοκλιματολογικά επιστημονικά δεδομένα, το κλίμα της Γης ακολουθεί ένα συγκεκριμένο μοτίβο με μια επαναλαμβανόμενη περίοδο 120-125.000 ετών. Ειδικότερα, το κλιματικό μοτίβο του πλανήτη μας αποτελείται από μια περίοδο 100.000 περίπου ετών βραδείας πτώσης της παγκόσμιας θερμοκρασίας, που καταλήγει σε

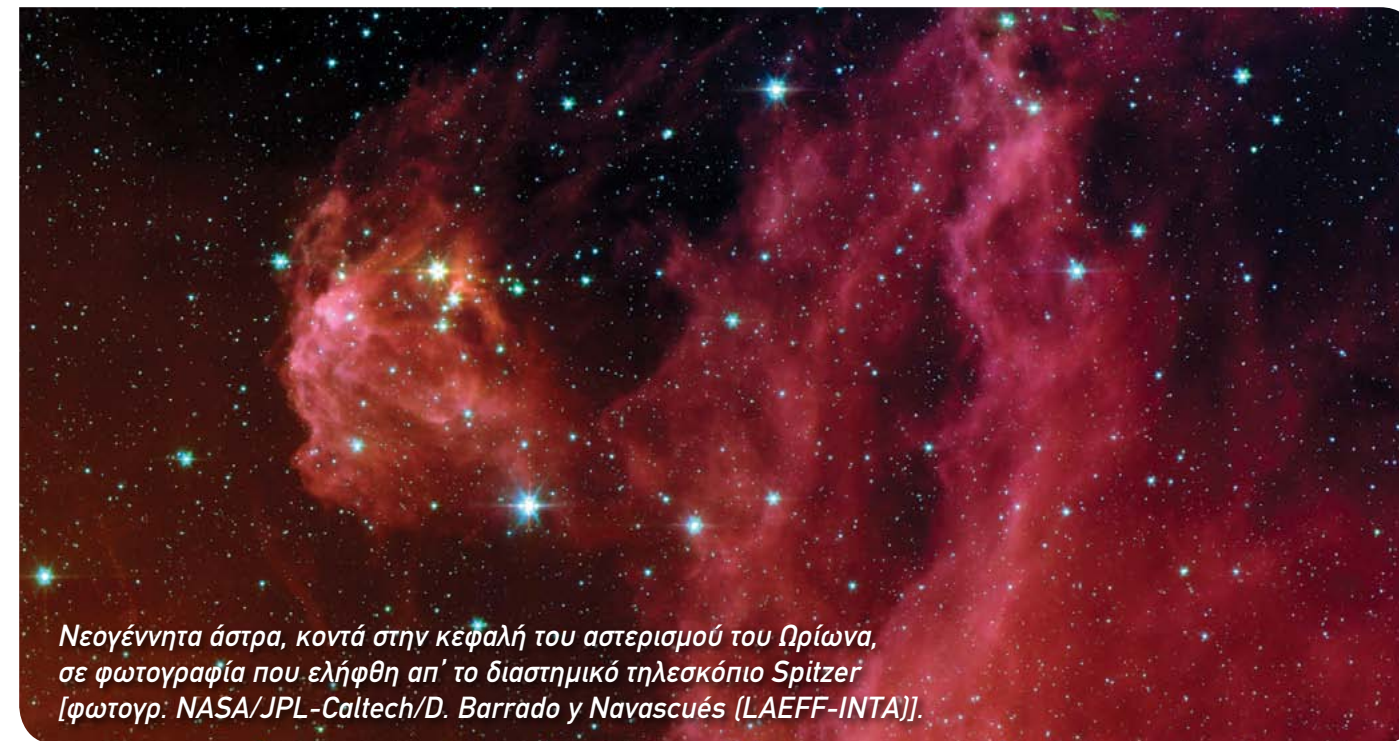


ό,τι αναφέρεται ως παγετωνική περίοδος (με ελάχιστο περίπου -5°C από την μέση παγκόσμια θερμοκρασία σήμερα) και από μια περίοδο 20.000 περίπου ετών αύξησης της θερμοκρασίας, στη μέση της οποίας είμαστε σήμερα (με μέγιστο περίπου $+5^{\circ}\text{C}$ από την μέση παγκόσμια θερμοκρασία σήμερα).

Η εκκεντρότητα είναι μία αριθμητική παράμετρος που καθορίζει την μορφή μιας έλλειψης, όπως αυτήν που σχηματίζει η τροχιά της Γης γύρω από τον Ήλιο. Όσο μεγαλώνει η εκκεντρότητα, τείνοντας προς την τιμή 1, τόσο πιο επιμήκης γίνεται η έλλειψη, ενώ όσο τείνει προς το μηδέν, τότε η έλλειψη τείνει να γίνει κύκλος. Όταν λοιπόν η τροχιά της Γης γίνεται πιο έκκεντρη, δηλαδή όταν λαμβάνει πιο ωοειδή μορφή, η διαφορά μεταξύ της από-

στασης της Γης από τον Ήλιο όταν ο πλανήτης μας βρίσκεται στο περιήλιο και στο αφήλιο της τροχιάς του (όταν δηλαδή βρίσκεται στη μικρότερη και στην μεγαλύτερη απόστασή του από τον Ήλιο) γίνεται όλο και μεγαλύτερη. Για παράδειγμα, όταν η τροχιά της Γης γίνει πολύ ελλειπτική (εκκεντρότητα 0,7) η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στο περιήλιο θα είναι 20% περίπου μεγαλύτερη από την προσπίπτουσα ακτινοβολία στο αφήλιο, οδηγώντας σ' ένα σημαντικά διαφορετικό κλίμα από αυτό που βιώνουμε στις μέρες μας, (όπου η ελλειπτική τροχιά της Γης σήμερα έχει εκκεντρότητα 0,17).

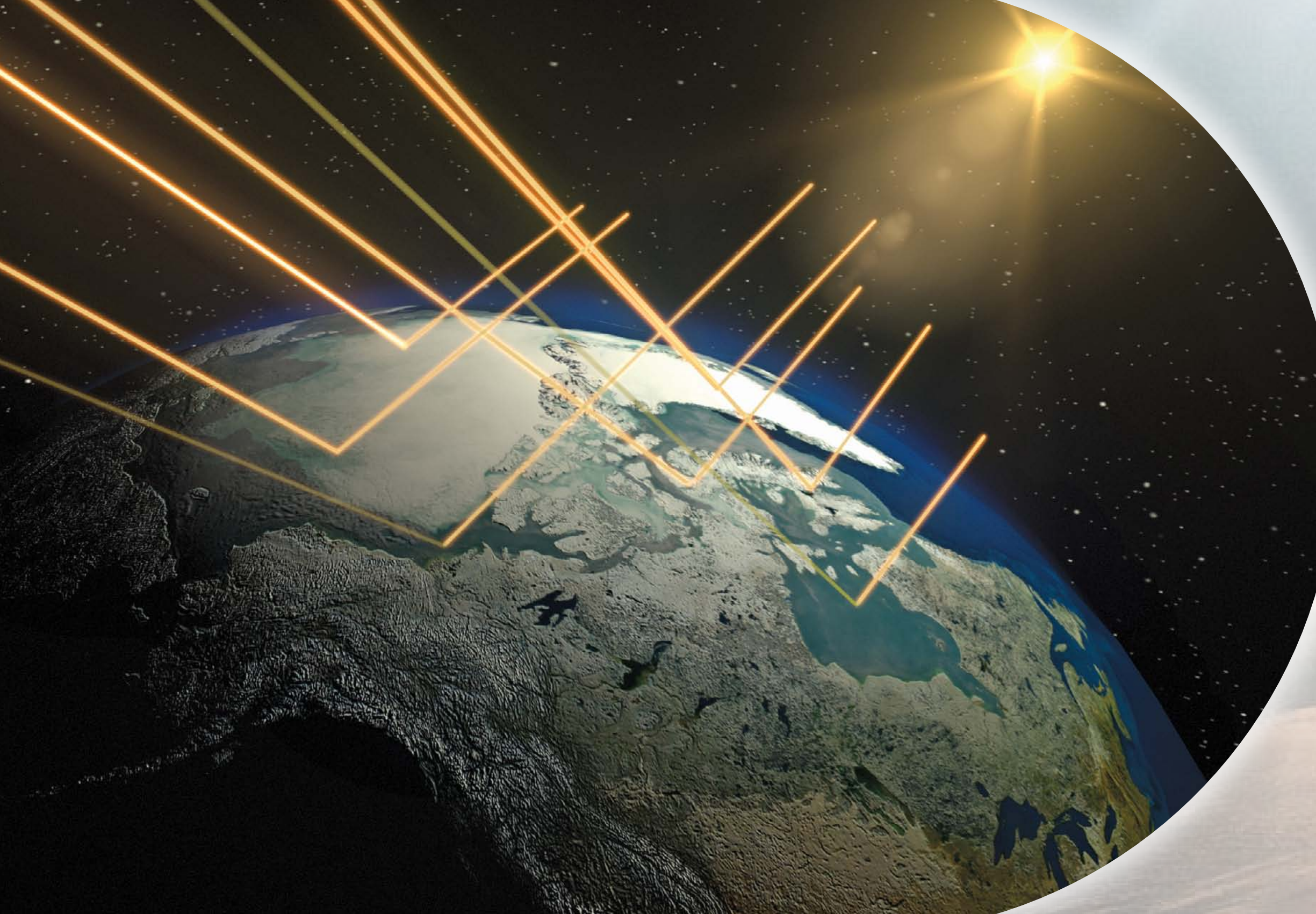
Η μετάπτωση του άξονα περιστροφής της Γης, από την άλλη, μεταβάλλει τον προσανατολισμό της Γης σε σχέση με το περιήλιο και το αφήλιο, μεταβάλ-



λοντας παράλληλα και την κατεύθυνση προς την οποία δείχνει σε σχέση με τα άστρα. Για παράδειγμα ο άξονας περιστροφής της Γης δείχνει τώρα προς τον Πολικό Αστέρα, στην ουρά του αστερισμού της Μικρής Άρκτου, ενώ σε 14.000 χρόνια θα δείχνει προς τον Βέγα, το λαμπρότερο άστρο στον αστερισμό της Λύρας. Για το λόγο αυτό ο Ωρίωνας π.χ. που είναι ορατός το χειμώνα, σε περίπου 10.500 χρόνια θα φαίνεται το καλοκαίρι. Όταν, όμως, το Βόρειο ημισφαίριο είναι προσανατολισμένο προς τον Ήλιο την εποχή του αφηλίου (το καλοκαίρι του Βορείου ημισφαιρίου συμβαίνει όταν η Γη βρίσκεται στο αφήλιο), το ίδιο ημισφαίριο θα στρέφεται μακριά από τον Ήλιο την εποχή του περιηλίου (ο χειμώνας του Βορείου ημισφαιρίου συμβαίνει όταν η Γη βρίσκεται στο περιήλιο) και οι εποχιακές

μεταβολές θα είναι πιο ακραίες. Η εποχιακή αυτή επίδραση της μετάπτωσης του άξονα περιστροφής της Γης στην προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία είναι αντίστροφη για το Νότιο ημισφαίριο.

Η αλλαγή, τέλος, στην κλίση του γήινου άξονα σε σχέση με το επίπεδο περιστροφής της Γης γύρω από τον Ήλιο (από τις $22,1^{\circ}$ στις $24,5^{\circ}$ με περίοδο 41.000 ετών) προκαλεί επίσης εποχιακές μεταβολές. Για παράδειγμα, όσο αυξάνει η κλίση του άξονα περιστροφής της Γης, τα εποχιακά φαινόμενα γίνονται περισσότερο έντονα, με ψυχρότερους χειμώνες και θερμότερα καλοκαίρια, ενώ όταν η κλίση μειώνεται τα εποχιακά χαρακτηριστικά είναι πιο ήπια. Η τρέχουσα αξονική κλίση είναι $23,5^{\circ}$. Σε αυτό το κλιματικό σύστημα επενέβη ο άνθρωπος.

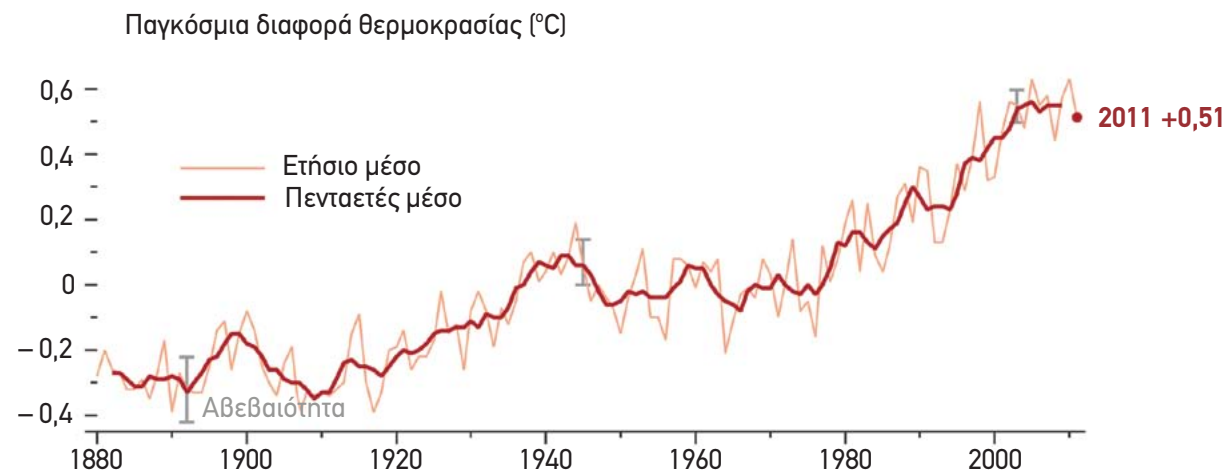


Το Παγκόσμιο Κλιματικό Σύστημα

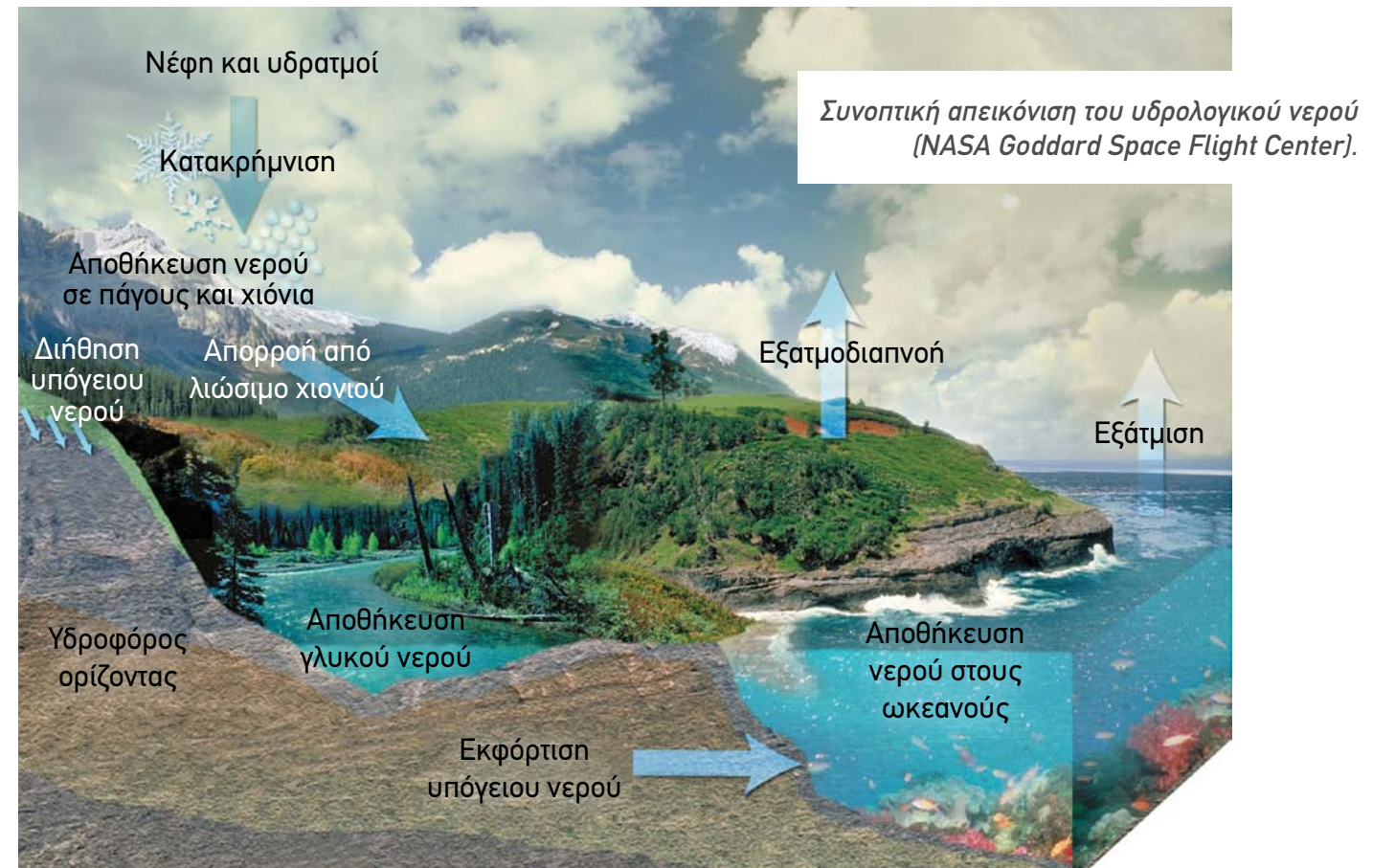
Το Παγκόσμιο Κλιματικό Σύστημα χαρακτηρίζεται από την αδιάκοπη ροή ενέργειας και ύλης μεταξύ της γεώσφαιρας, της ατμόσφαιρας, της υδρόσφαιρας και της βιόσφαιρας. Όλες αυτές οι συνιστώσες του κλιματικού συστήματος παίζουν σημαντικό ρόλο στον τρόπο, με τον οποίο η προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια απορροφάται, ανακλάται ή μετασχηματίζεται από τη μια μορφή ενέργειας στην άλλη, καθώς και στον τρόπο με τον οποίο οι συνεχείς ροές ενέργειας και ύλης μεταξύ της ατμόσφαιρας (που προκαλεί την παγκόσμια κλιματική αλλαγή) και του συστήματος ξηράς-θάλασσας θέτουν το πλανητικό σύστημα σε μια βιοχημική, δυναμική, ενεργειακή κίνηση, διατηρώντας τη ζωή στον πλανήτη.

Το κλίμα είναι οι μέσες καιρικές συνθήκες κάποιας περιοχής για μια σημαντική χρονική περίοδο. Εάν εξετάσουμε μια παράμετρο του παγκόσμιου κλίματος, όπως τη μέση παγκόσμια θερμοκρασία της Γης, από το 1880 που άρχισαν να διενεργούνται οι πρώτες συστηματικές μετεωρολογικές παρατηρήσεις μέχρι σήμερα, παρατηρούμε ότι η μέση παγκόσμια θερμοκρασία τον Αύγουστο του 2013 ισοβάθμισε ως η τέταρτη υψηλότερη μέτρηση όλης της χρονοσειράς των παρατηρήσεων (1880-2013), που μεταφράζεται σε 0,62 °C πάνω από την μέση παγκόσμια θερμοκρασία του 20^{ου} αιώνα. Το παγκόσμιο κλιματικό σύστημα παρατήρησης καταγράφει εδώ και 150 περίπου χρόνια τις κλιματολογικές παραμέτρους που συνεχώς αυξάνονται σε αριθμό και επιστημονική λεπτομέρεια, προσθέτοντας διαρκώς νέα γνώση για το κλίμα της Γης, το οποίο μεταβάλλεται σε μια χρονική κλίμακα που υπερβαίνει την ανθρώπινη κατά πολλές χιλιάδες χρόνια.

Η εισερχόμενη ηλιακή ενέργεια ή όπως την ονομάζουμε η ηλιακή ακτινοβολία, είναι πιο έντονη στον ισημερινό και είτε απορροφάται είτε ανακλάται από την ατμόσφαιρα, την υδρόσφαιρα και την ξηρά. Τα νέφη, για παράδειγμα, όπως εξάλλου ο πάγος και το χιόνι, είναι ιδιαίτερα ανακλαστικά στην εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία. Το έδαφος είναι γενικά πιο ανακλαστικό από τις υδάτινες επιφάνειες, ενώ οι έρημοι πιο ανακλαστικές από τα δάση. Οι θέσεις, όμως, και το είδος των νεφών, καθώς και η φύση και το ανάγλυφο της επιφάνειας του εδάφους είναι πολύ σημαντικές παράμετροι για το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που ανακλάται ή απορροφάται. Η θέση των ηπείρων παίζει κι αυτή σημαντικό ρόλο στο κλιματικό σύστημα, αφού μια επιφάνεια εδάφους στον ισημερινό ανακλά περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία από την ίδια επιφάνεια εδάφους στη Μεσόγειο. Η ηλιακή ακτινοβολία που δεν ανακλάται, απορροφάται από την επιφάνεια της Γης και τη



Όλα τα διαθέσιμα στοιχεία δείχνουν ότι η μέση παγκόσμια θερμοκρασία αυξάνει (φωτογρ. NASA Earth Observatory, Robert Simmon).



Συνοπτική απεικόνιση του υδρολογικού νερού (NASA Goddard Space Flight Center).

θερμαίνει. Η Γη, αφού θερμανθεί ακτινοβολεί στη συνέχεια σε ένα διαφορετικό μήκος κύματος (υπερυθρη-θερμική ακτινοβολία). Μεγάλο μέρος της θερμότητας αυτής μεταφέρεται στην ατμόσφαιρα από τις υδάτινες επιφάνειες, καθώς για τη διαδικασία της εξάτμισης χρησιμοποιείται η θερμική τους ενέργεια, προκειμένου να δημιουργηθούν υδρατμοί. Οι υδρατμοί με τη σειρά τους συμπυκνώνονται στην ατμόσφαιρα και δημιουργούν τα νέφη και τα υδρομετέωρα (βροχή, χιόνι, χαλάζι κ.λπ.), απελευθερώνοντας την ενέργεια αυτή στην ατμόσφαιρα.

Η εξάτμιση και η συμπύκνωση είναι μερικές μόνο από τις διαδικασίες που περιλαμβάνει ο **υδρολογικός κύκλος** ή κύκλος του νερού όπως ονομάζεται.

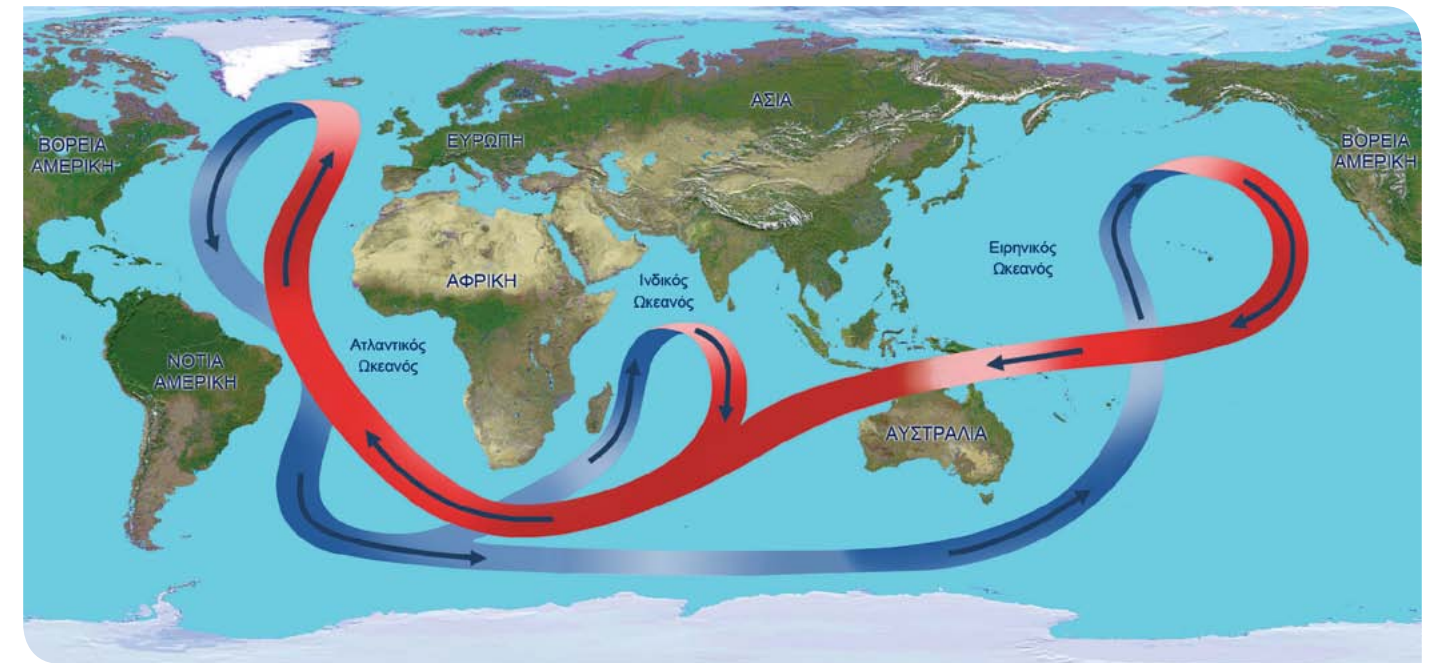
Ο κύκλος αυτός ενσωματώνει όλες τις φυσικές διαδικασίες της αδιάλειπτης ροής του υδάτινου στοιχείου (σε όποια φάση κι αν αυτό βρίσκεται, δηλαδή στερεά, υγρή ή αέρια) μεταξύ όλων των χερσαίων (επιφανειακών, υπόγειων και βιολογικών), των θαλάσσιων και των ατμοσφαιρικών υδατοδεξαμενών, στον πλανήτη.

Η θέρμανση των επιφανειακών υδάτινων δεξαμενών (ωκεανοί, θάλασσες, ποτάμια, λίμνες) από την ηλιακή ακτινοβολία προκαλεί εξάτμιση, δηλαδή μετατροπή του νερού από την υγρή στην αέρια κατάσταση, και δημιουργεί τους υδρατμούς οι οποίοι κατανέμονται κατά το συντριπτικό τους ποσοστό στην τροπόσφαιρα, δηλαδή στο χαμηλότερο τμήμα της γήινης ατμόσφαιρας, που εκτείνεται από την επιφάνεια της Γης μέχρι περίπου το ύψος των 12 km. Χάρη σε μια πληθώρα φυσικών και δυναμικών ατμοσφαιρικών διαδικασιών, οι υδρατμοί διαχέονται στην ατμόσφαιρα, η οποία περιστρέφεται γρηγορότερα από την ίδια τη Γη και σχηματίζουν νέφη, απ' τα οποία προέρχονται τα διάφορα υδρομετέωρα, μέσω των οποίων το νερό επιστρέφει στην Γη. Το χιόνι είναι δυνατόν να συγκεντρωθεί στις πολικές περιοχές ή σε οροσειρές και να μετατραπεί σε πάγο, μια κατάσταση, στην οποία μπορεί να παραμείνει για μεγάλες περιόδους. Όλες αυτές οι φυσικές διεργασίες, της ατμόσφαιρας, της θάλασσας, της ξηράς και του υπεδάφους, δηλαδή η εξάτμιση του νερού από τις υδάτινες δεξαμενές της Γης και από τα φυτά, η ανύψωση των υδρατμών στην ατμόσφαιρα, η δημιουργία των νεφών, η δημιουργία των υδρομετεώρων που επαναφέρουν το νερό στη Γη, καθώς και η διήθηση του νερού στο έδαφος, η διάβρωση, οι προκαλούμενες βιοχημικές διεργασίες της χλωρίδας και η επιφανειακή απορροή συνθέτουν τον υδρολογικό κύκλο. Οι αλλαγές στο είδος των φυτών που ευδοκimoούν σε μια περιοχή λόγω αλλαγών της μέσης επικρατούσας θερμοκρασίας και των μέγιστων-ελάχιστων τιμών ή της βροχής, μεταβάλλουν και την υδρολογική – ενεργειακή συνεισφορά της περιοχής στο κλιματικό σύστημα. Τα νέα είδη που θα επικρα-

τήσουν ή θα επεκταθούν θα έχουν διαφορετικά φύλλα και σχήμα και θα μεταβάλλουν τη ροή επιστροφής των υδρατμών στην ατμόσφαιρα από την χλωρίδα της περιοχής. Η συνεχής ροή του υδάτινου στοιχείου από τα φυτά στην ατμόσφαιρα ονομάζεται εξατμοδιαπνοή και για τους υπολογισμούς των αριθμητικών μοντέλων καιρού και κλίματος πραγματοποιούνται κλιματολογικές μετρήσεις της απευθείας εξάτμισης του νερού από τις υγρές επιφάνειες των φυτών, όπου κατακρατείται, και στην ταυτόχρονη απελευθέρωση υδρατμών από τους πόρους των φυλλωμάτων των φυτών.

Εάν θεωρήσουμε μια τυχαία υδρολογική λεκάνη, δηλαδή μια εδαφική έκταση στην οποία συγκεντρώνεται το σύνολο της απορροής ενός ποταμού, διαμέσου όλων των ρευμάτων, χειμάρων, παραποτάμων κ.λπ., μέχρι την εκβολή του στην θάλασσα, οι ανθρώπινες δραστηριότητες στην συγκεκριμένη λεκάνη καθορίζονται σε μεγάλο βαθμό από τον τοπικό υδρολογικό κύκλο. Η συμβολή, όμως, του ανθρώπου στις κλιματικές αλλαγές που υφίσταται η συγκεκριμένη λεκάνη είναι απειροελάχιστη, με βάση τον διαπιστωμένο αστρονομικό κύκλο του κλίματος, που προαναφέραμε.

Η ανομοιογενής θέρμανση της γήινης επιφάνειας από τον Ήλιο δημιουργεί περιοχές υψηλών και χαμηλών ατμοσφαιρικών πιέσεων, οι οποίες προκαλούν την κίνηση του ατμοσφαιρικού αέρα (άνεμοι), με κατεύθυνση από τις υψηλές στις χαμηλές πιέσεις, σε μια προσπάθεια εξίσωσης της ατμοσφαιρικής πίεσης μεταξύ των δύο αυτών συστημάτων. Οι άνεμοι, πάλι, είναι οι πρωταρχικοί παράγοντες που διαμορφώνουν την πορεία των επιφανειακών ωκεάνιων ρευμάτων (π.χ. το ρεύμα του κόλπου



Η Ωκεάνια Ζώνη Μεταφοράς (φωτογρ. NASA).

του Μεξικού) και από κοινού μεταφέρουν θερμότητα από τον Ισημερινό προς τους Πόλους. Οι κατακόρυφες, όμως, διαφορές της θερμοκρασίας και της αλμυρότητας του ωκεάνιου νερού δημιουργούν μια άλλου είδους κυκλοφορία στα βάθη των ωκεανών, που ονομάζεται θερμόαλος κυκλοφορία, ενώ τις τελευταίες δεκαετίες έχει επιβεβαιωθεί επιστημονικά η ύπαρξη της παγκόσμιας **Ωκεάνιας Ζώνης Μεταφοράς**, που εκτείνεται σε όλους τους ωκεανούς της Γης.

Η Ωκεάνια Ζώνη Μεταφοράς καθορίζει σε μεγάλο βαθμό το κλίμα της δυτικής Ευρώπης, εκλύοντας με την κίνηση των υδάτων θερμότητα στην ατμόσφαιρα. Τα θερμά και επιφανειακά ωκεάνια ρεύματα που κινούνται προς το Βορρά, ψύχονται συ-

νεχώ και η πυκνότητά τους αυξάνεται τόσο πολύ σε σχέση με τα υποκείμενα στρώματα νερού, που αρχίζουν να βυθίζονται. Στην συνέχεια, ταξιδεύουν σε μεγάλα βάθη προς Νότο και δημιουργούν την Ωκεάνια Ζώνη Μεταφοράς που εκτείνεται σε όλη την υδρόγειο. Εάν συνεχιστεί η τήξη των αρκτικών πάγων θα προκύψει, στις βόρειες πολικές περιοχές, μεγάλη ποσότητα επιφανειακών υδάτων με χαμηλή περιεκτικότητα σε άλατα, που θα αναμειχθούν με τις θερμές μάζες του επιφανειακού βορείου ρεύματος της Ωκεάνιας Ζώνης Μεταφοράς. Οι υδάτινες μάζες που θα σχηματισθούν κατ' αυτόν τον τρόπο θα είναι ψυχρότερες και με χαμηλότερη περιεκτικότητα σε άλατα, δηλαδή με μικρότερη πυκνότητα και γι' αυτό δεν θα βυθίζονται προς τον πυθμένα, όπως προηγουμένως, διαταράσσοντας



Η αψίδα Khazra στην Ιορδανία σχηματίστηκε μέσω της αποσάθρωσης.

έτσι την ανακύκλωση των υδάτων. Σύμφωνα με τις σχετικές προβλέψεις των κλιματολογικών μοντέλων, εάν η ροή στην Ωκεάνια Ζώνη Μεταφοράς διακοπεί εντελώς (κάτι που δεν θεωρείται απίθανο, αλλά που θα συμβεί σταδιακά και σε βάθος χρόνου), η θερμοκρασία στην Ευρώπη ενδέχεται να μειωθεί ακόμη και 6°C. Πραγματικά, χωρίς τη θερμότητα που παρέχει η Ωκεάνια Ζώνη Μεταφοράς, το μεγαλύτερο τμήμα του Βόρειου ημισφαιρίου κινδυνεύει να μετατραπεί σε παγωμένη τούντρα, ενώ η διακοπή της ροής της θα προκαλέσει όλο και περισσότερες ξηρασίες και πλημμύρες σε

άλλα μέρη του πλανήτη. Μπορούμε, λοιπόν, να χαρακτηρίσουμε την Ωκεάνια Ζώνη Μεταφοράς ως το «θερμοστάτη» της Γης.

Στο παγκόσμιο, όμως, κλιματικό σύστημα υπάρχουν και άλλες σημαντικές φυσικές διαδικασίες, όπως η αποσάθρωση και η μεταφορά. Η αποσάθρωση, δηλαδή η καταστροφή ενός πετρώματος μέσα από συγκεκριμένες φυσικοχημικές διεργασίες, διακρίνεται σε φυσική, χημική και οργανική. Η **φυσική** ή **μηχανική αποσάθρωση**, οφείλεται σε θερμοκρασιακές μεταβολές και στη δράση του νε-

ρού ή του ανέμου. Ουσιαστικά, αυτό που συμβαίνει είναι ότι καταθρυμματίζεται ο ιστός ενός πετρώματος, χωρίς όμως να μεταβάλλεται η χημική σύνθεση των συστατικών του. Ένας από τους κυριότερους παράγοντες της φυσικής αποσάθρωσης είναι η μεγάλη θερμοκρασιακή διακύμανση μεταξύ ημέρας και νύχτας που, μέσω της διαστολής-συστολής, μεταβάλλει τον όγκο των δομικών μονάδων ενός πετρώματος, προκαλώντας έτσι προοδευτική χαλάρωση στη συνοχή του και εντέλει τον καταθρυμματισμό του. Η φυσική αποσάθρωση μπορεί ακόμη να προκληθεί από την διαβρωτική δράση του νερού, όπως επίσης και από τον ισχυρό άνεμο, που συμπαρασύρει κόκκους άμμου.

Η **χημική αποσάθρωση**, από την άλλη, σχηματίζει νέα ορυκτολογικά συστατικά με διαφορετική χημική σύσταση και οφείλεται σε χημικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στη μάζα των πετρωμάτων μέσα από την επαφή τους με την όξινη βροχή ή εξαιτίας της ξηράς εναπόθεσης όξινων χημικών ενώσεων, που μεταφέρονται από τον ατμοσφαιρικό αέρα. Η **οργανική αποσάθρωση**, τέλος, οφείλεται στη δράση φυτικών και ζωικών οργανισμών που υπάρχουν πάνω ή μέσα στο πέτρωμα, όπως είναι τα φυτά και οι διάφοροι μικροοργανισμοί. Η μεταφορά των προϊόντων της αποσάθρωσης γίνεται κυρίως με το νερό της βροχής αλλά και με τον άνεμο. Τα προϊόντα της αποσάθρωσης, κατά τη μεταφορά τους από το νερό υφίστανται μια φυσική «διαλογή», με αποτέλεσμα τα μεγαλύτερα και βαρύτερα απ' αυτά να μην απομακρύνονται πολύ από τον τόπο της αρχικής τους γένεσης, ενώ οι μικρότεροι κόκκοι να μεταφέρονται σε μεγάλες αποστάσεις, μέχρι τις εκβολές ποταμών και στη συνέχεια στο βυθό των λιμνών και των ωκεανών, όπου και σχηματίζουν ιζήματα.

Η αποσάθρωση και η μεταφορά δεν φαίνεται να συνδέονται άμεσα με το παγκόσμιο κλιματικό σύστημα, εμπλέκονται όμως αθόρυβα στις αλλαγές που σχετίζονται με την ανακλαστικότητα της Γης και με την περιεκτικότητα CO₂ στην ατμόσφαιρα. Η φυσική αποσάθρωση, που αφορά στη θραύση των βράχων σε μικρότερα κομμάτια, μεταβάλλει την ανακλαστικότητα της επιφανείας του εδάφους, αφού αυτή εξαρτάται από το είδος του πετρώματος και τη δομική του επιφανειακή κατάσταση. Οι χημικές αντιδράσεις της χημικής αποσάθρωσης εξελίσσονται αργά και χρησιμοποιούν συχνά ασθενή οξέα που αιωρούνται στην ατμόσφαιρα, όπως είναι το ανθρακικό οξύ, που σχηματίζεται από το CO₂ και το νερό που εμπεριέχει η ατμόσφαιρα. Κατά συνέπεια, η χημική αποσάθρωση χρησιμοποιεί το ατμοσφαιρικό CO₂ και η μεταφορά απομακρύνει τα υποπροϊόντα της αποσάθρωσης, εκθέτοντας νέους βράχους στην επιφάνεια, έτσι ώστε να μπορούν με τη σειρά τους να αποσάθρωθούν. Τα υποπροϊόντα της αποσάθρωσης μεταφέρονται στη συνέχεια από τους ποταμούς στους ωκεανούς, όπου κάποια από αυτά χρησιμοποιούνται από το πλαγκτόν, για να δημιουργήσουν τους σκελετούς των μικροοργανισμών που το αποτελούν από ανθρακικό άλας (CaCO₃) και να εναποτεθούν όταν ολοκληρώσουν το κύκλο της ζωής τους στον ωκεάνιο πυθμένα, διαμορφώνοντας ιζηματώδεις βράχους (μεταφορά άνθρακα στους ωκεανούς).

Ο ρυθμός της χημικής αποσάθρωσης εξαρτάται από τη θερμοκρασία της επιφανείας της Γης, η οποία με τη σειρά της εξαρτάται από το ποσοστό του CO₂ που υπάρχει στην ατμόσφαιρα. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι, όταν η Γη είναι θερμότερη, η χημική αποσάθρωση επιταχύνεται, γεγονός που αφαιρεί

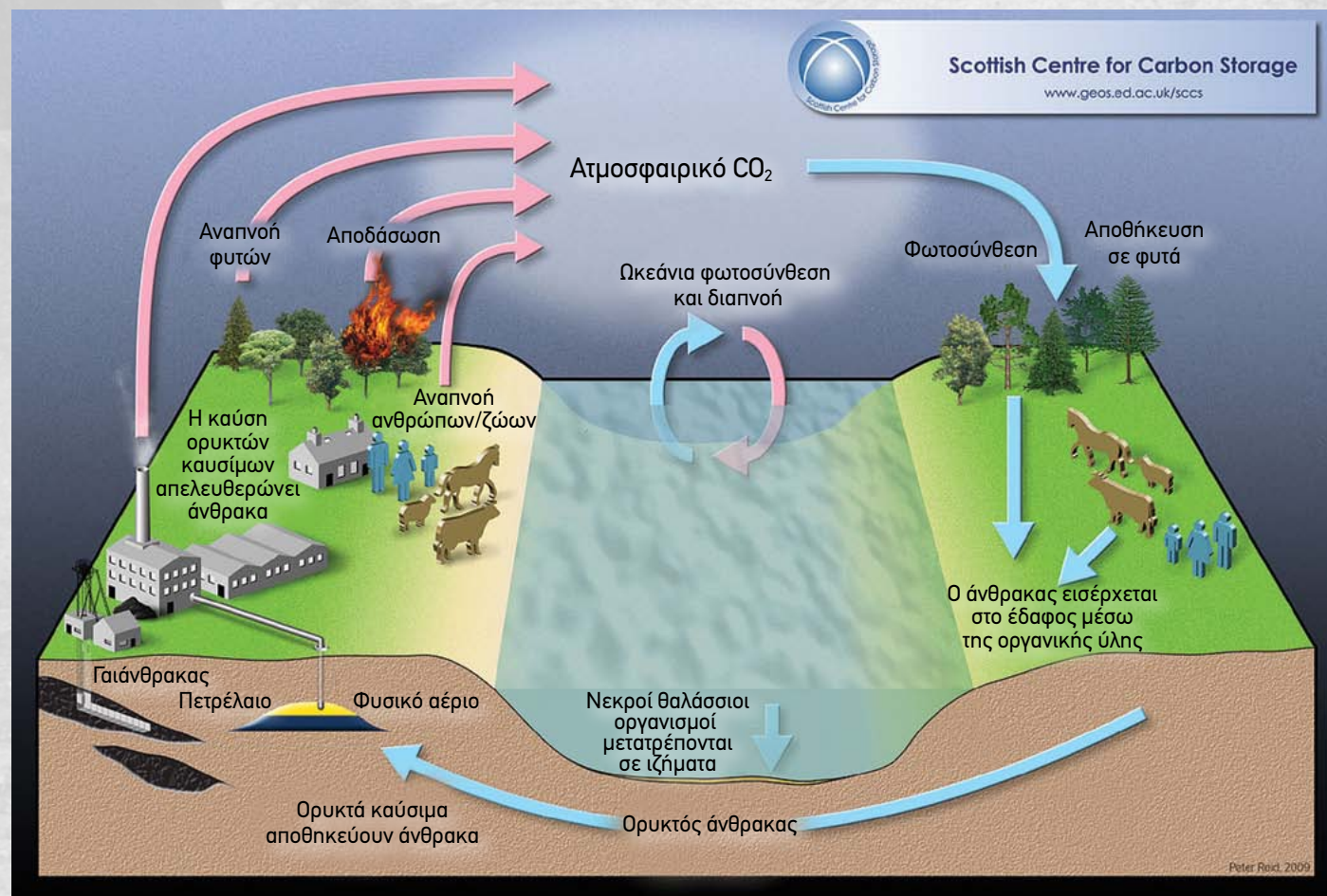
περισσότερο CO₂ από την ατμόσφαιρα, μειώνοντας έτσι την ένταση του φαινομένου του θερμοκηπίου και κατά συνέπεια τη μέση θερμοκρασία της Γης. Η διαδικασία αυτή είναι μια από τις πολλές που συμβαίνουν στο κλιματικό μας σύστημα και ο επονομαζόμενος **κύκλος του άνθρακα** είναι ένας από τους πολλούς βιοχημικούς κύκλους που λαμβάνουν χώρα στον πλανήτη, όπως είναι ο κύκλος του αζώτου, του φωσφόρου, του θείου και του μεθανί-

ου. Όπως, όμως, ο άνθρωπος επηρεάζει τον κύκλο του άνθρακα με την συνεχή αύξηση του CO₂ στην ατμόσφαιρα τα τελευταία 150 χρόνια, εξίσου επηρεάζει και τους άλλους βιοχημικούς κύκλους με την τοπική και κατακερματισμένη σε όλο τον πλανήτη παρέμβασή του. Οι διαταραχές, όμως, στους τοπικούς βιοχημικούς κύκλους, που προκαλούνται από την ανθρώπινη παρέμβαση σε έναν υγρότοπο, σε ένα δάσος ή σε μια υδρολογική λεκάνη από ένα

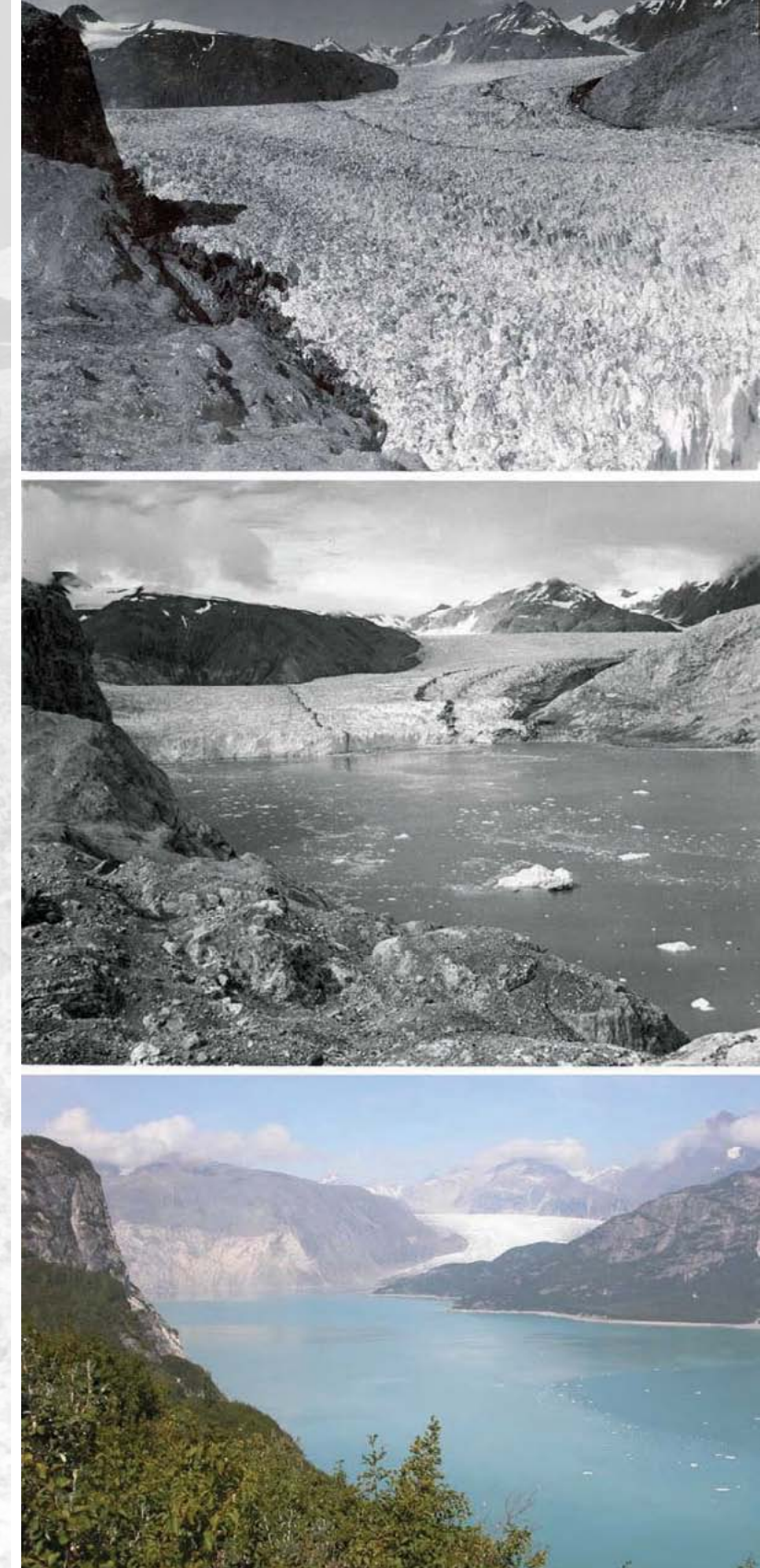
φράγμα, από ένα εργοστάσιο, από μια πόλη, από μια αποδάσωση ή από μια νέα οικιστική ανάπτυξη, προκαλούν με τη σειρά τους αθροιστικά τις παγκόσμιες αλλαγές στη χημική σύσταση και εντέλει στην χημική διάδραση της ατμόσφαιρας με την ξηρά και τη θάλασσα.

Οι αλλαγές στην ατμόσφαιρα καθοδηγούν την κλιματική αλλαγή που βλέπουμε στο λιώσιμο των πάγων, στην ερημοποίηση και στις περιόδους ξηρασίας και στους συχνούς καύσωνες. Η αλλαγή του μέσου καιρού, με άλλα λόγια του κλίματος, που συμβαίνει σε κάθε τόπο προέρχεται από τις αλλαγές στην γενική κυκλοφορία της ατμόσφαιρας, οι οποίες μεταβάλλουν τους τύπους αλλά και την κίνηση των συστημάτων καιρού χαμηλής και υψηλής βαρομετρικής πίεσης, που επικρατούν στην ευρύτερη περιοχή του κάθε τόπου. Οι αλλαγές στην θερμοκρασία και στην βροχή που παρατηρούνται στην ευρύτερη περιοχή της ανατολικής Μεσογείου και των Βαλκανίων, όπως εξάλλου και αυτές που παρατηρούνται σε κάθε άλλη περιοχή του πλανήτη, είναι το **αποτέλεσμα** και όχι το **αίτιο** της κλιματικής αλλαγής. Η παρακολούθηση του φυσικού αιτίου σε όλες τις κλίμακες οδηγεί στη γνώση και στη βελτίωση της ικανότητας πρόγνωσης των αριθμητικών μοντέλων καιρού και κλίματος και αυτό μας το παρέχει το Παγκόσμιο Σύστημα Κλιματολογικής Παρατήρησης.

Συνοπτική απεικόνιση του κύκλου του άνθρακα (φωτογρ. Scottish Centre for Carbon Storage).



Οι αποδείξεις για το λιώσιμο των πάγων είναι ήδη ορατές.





Παγκόσμιο Σύστημα Παρατήρησης και Κλιματική Αλλαγή

Η έρευνα και η μελέτη κάποιου φυσικού φαινομένου δεν γίνεται με τυχαίο τρόπο αλλά με βάση τις μεθόδους και σύμφωνα με την επιστημονική-τεχνική βιβλιογραφία που αφορά στις μετρήσεις των φυσικών παραμέτρων, οι οποίες προσδιορίζουν την μέση και τις ακραίες συμπεριφορές του κάθε φυσικού φαινομένου. Η συχνότητα και η ένταση άλλωστε όλων των φυσικών φαινομένων που μας επηρεάζουν, όπως οι σεισμοί, οι ηφαιστειακές εκρήξεις, οι ξηρασίες, οι καύσωνες, οι καταιγίδες και οι τυφώνες, οι κατολισθήσεις, οι χιονοστιβάδες και τα τσουνάμι είναι ό,τι αναζητούν να προβλέψουν όλες οι επιστήμες της Γης που τα παρακολουθούν.

Όσον αφορά στο κλίμα, για παράδειγμα, αυτό που τεκμηριώνει και προσδιορίζει τα πρότυπα για τις μετεωρολογικές-κλιματολογικές και υδρολογικές μετρήσεις είναι το **Παγκόσμιο Σύστημα Παρατήρησης** (Global Observing System-GOS), που χωρίς ίσως να το συνειδητοποιούμε, το χρησιμοποιούμε καθημερινά στις αεροπορικές και ακτοπλοϊκές μας μετακινήσεις, καθώς και για να πραγματοποιήσουμε τις όποιες άλλες δραστηριότητές μας. Το GOS άρχισε να σχεδιάζεται και να υλοποιείται από το 1873 και σ' αυτό περιλαμβάνονται όλες οι πλατφόρμες-τεχνολογίες παρατήρησης: μετεωρολογικοί-κλιματολογικοί-υδρολογικοί σταθμοί επίγειων μετρήσεων, καθώς και σταθμοί ανώτερης ατμόσφαιρας, ειδικοί σταθμοί και αισθητήρες που είναι εγκατεστημένοι σε εμπορικά πλοία και αεροσκάφη σημαντικών αεροπορικών εταιρειών, μετεωρολογικά ραντάρ, μετεωρολογικοί δορυφόροι, ερευνητικοί δορυφόροι παρατήρησης της γης, ανιχνευτές αστραπών κ.ά..

Το GOS βρίσκεται σε συνεχή επιχειρησιακή λειτουργία πραγματικού χρόνου και εξυπηρετεί σε παγκόσμια βάση τις ανάγκες του πολίτη, της Οικονομίας, της Αεροπλοΐας, της Ναυσιπλοΐας και της Άμυνας, σε περιπτώσεις μικρών ή μεγάλων φυσικών καταστροφών που σχετίζονται με τον καιρό και το κλίμα. Όλες οι μετρήσεις του GOS συλλέγονται σε εθνική βάση από τις Εθνικές Μετεωρολογικές Υπηρεσίες και είναι τεκμηριωμένες και κωδικοποιημένες με ενιαίο τρόπο για όλους, ενώ διαβιβάζονται σε σχεδόν πραγματικό χρόνο σε όλο τον κόσμο μέσω του Παγκόσμιου Τηλεπικοινωνιακού Συστήματος (Global Telecommunication System-GTS), που λειτουργεί εδώ και πολλές δεκαετίες, συνδέοντας όλες τις χώρες μεταξύ τους. Το GOS παρακολουθεί

και καταγράφει το κλίμα και τις αλλαγές του. Το κλίμα, όμως, δεν μεταβάλλεται από το τοπικό προς το μεσογειακό και προς το παγκόσμιο, αλλά οι μεταβολές του έχουν πάντα την αντίστροφη διαδρομή. Ο τοπικός ανθρωπογενής παράγοντας μπορεί να συμβάλλει αθροιστικά σε παγκόσμια κλίμακα στις κλιματικές μεταβολές, δεν είναι όμως αυτός που δημιουργεί τα τοπικά καιρικά φαινόμενα όπως τις καταιγίδες, τις ζώνες βροχόπτωσης, τις θαλάσσιες αύρες ή τις ψυχρές-θερμές εισβολές, που προσδιορίζουν το κλίμα κάθε τόπου.

Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στις σχετικές μετρήσεις και παρατηρήσεις οφείλουν να ακολουθούν τα γενικά πρότυπα που υιοθετεί ο Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός, τα οποία εκπονούνται σε συνεργασία με εξειδικευμένες ερευνητικές μονάδες από κορυφαία Πανεπιστήμια και Ερευνητικά Κέντρα, αλλά και με την βιομηχανία. Η ενσωμάτωση νέων διεθνών ή εθνικών υποδομών παρατήρησης στο GOS είναι μία συνεχής ερευνητική-τεχνολογική διαδικασία που συντονίζεται από τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό, τους Ευρωπαϊκούς Μετεωρολογικούς Οργανισμούς και τις Μετεωρολογικές Υπηρεσίες. Δηλαδή, δεν αναπτύσσονται αυτόνομα και διαφορετικής ποιότητας, τεχνολογίας και μεθοδολογίας συστήματα παρατήρησης, αλλά αντίθετα όλα συνλειτουργούν κάτω από ενιαία επιστημονική τεκμηρίωση και ενιαία επιχειρησιακή ή τακτική εκμετάλλευση και λειτουργία.

Η διεθνής έρευνα αλλά και όλη η σχετική διεθνής βιβλιογραφία χρησιμοποιούν δεδομένα που προέρχονται αποκλειστικά από το GOS και από όσους φορείς ακολουθούν τις γενικές προδιαγραφές του σε ό,τι αφορά στις τεχνολογίες και κυρίως στην

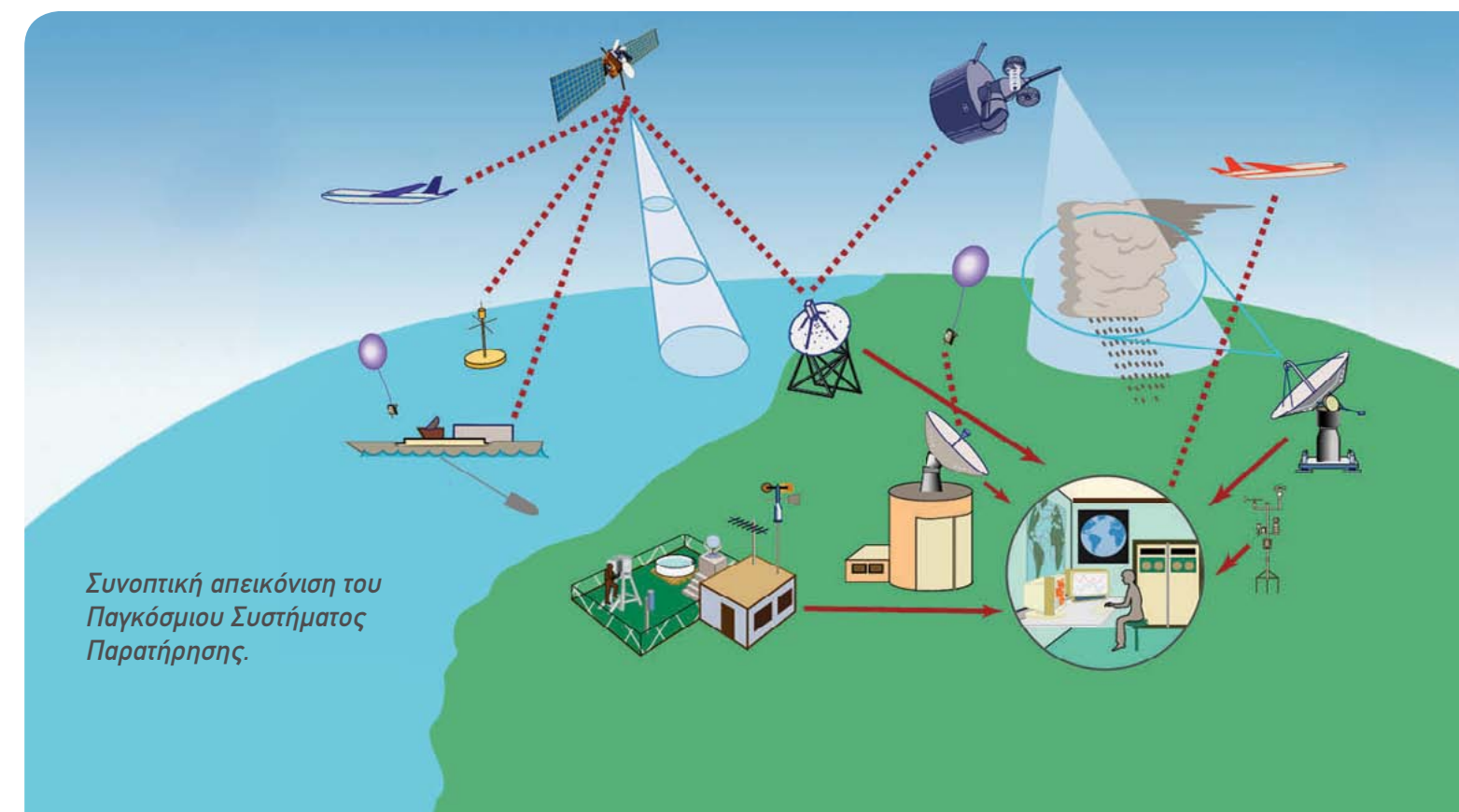
μεθοδολογία, τον χρόνο, την συλλογή, την αποθήκευση, τον ποιοτικό έλεγχο και την κλιματολογική επεξεργασία των μετρήσεων. Αυτού του είδους η «πιστοποίηση» παρέχεται από τις Μετεωρολογικές Υπηρεσίες και είναι συνεχής με βάση την συνεχή παρακολούθηση του καθημερινού καιρού και την ποιότητα των παρατηρήσεων. Για την βέλτιστη ερευνητική συνεργασία στην Ευρώπη δημιουργήθηκαν από τις Ευρωπαϊκές Μετεωρολογικές Υπηρεσίες, οκτώ εξειδικευμένες ερευνητικές μονάδες που καλύπτουν τις ανάγκες της παρατήρησης, της πρόγνωσης του καιρού και των «προγνώσεων» του κλίματος.

Το GOS επεκτείνεται συνεχώς σε μικρότερη κλίμακα με τα ίδια πάντα κλιματολογικά πρότυπα για όλες τις πλατφόρμες παρατήρησης (επίγειες δο-

ρυφορικές, εναέριες) και όλες οι χώρες από κοινού προσπαθούν να το βελτιώσουν (σε κλίμακα παρατήρησης και σε ακρίβεια μέτρησης).

Οι χρονοσειρές των δεδομένων, δηλαδή οι σειρές μετρήσεων ή παρατηρήσεων δεκαετιών, οι οποίες ισαπέχουν χρονικά μεταξύ τους, δεν έχουν επιστημονική αξία στην έρευνα και στην ανάπτυξη εάν δεν τηρούνται οι διεθνείς επιστημονικοί κανόνες και παραδοχές της «μετεωρολογικής παρατήρησης» που ακολουθούνται σύμφωνα με τις τεχνολογικές και επιστημονικές κατευθύνσεις του Παγκόσμιου Μετεωρολογικού Οργανισμού.

Υπεύθυνοι για την οργάνωση και τη λειτουργία του GOS είναι διεθνείς διακυβερνητικοί οργανισμοί και συνεργασίες, όπως ο Παγκόσμιος Με-



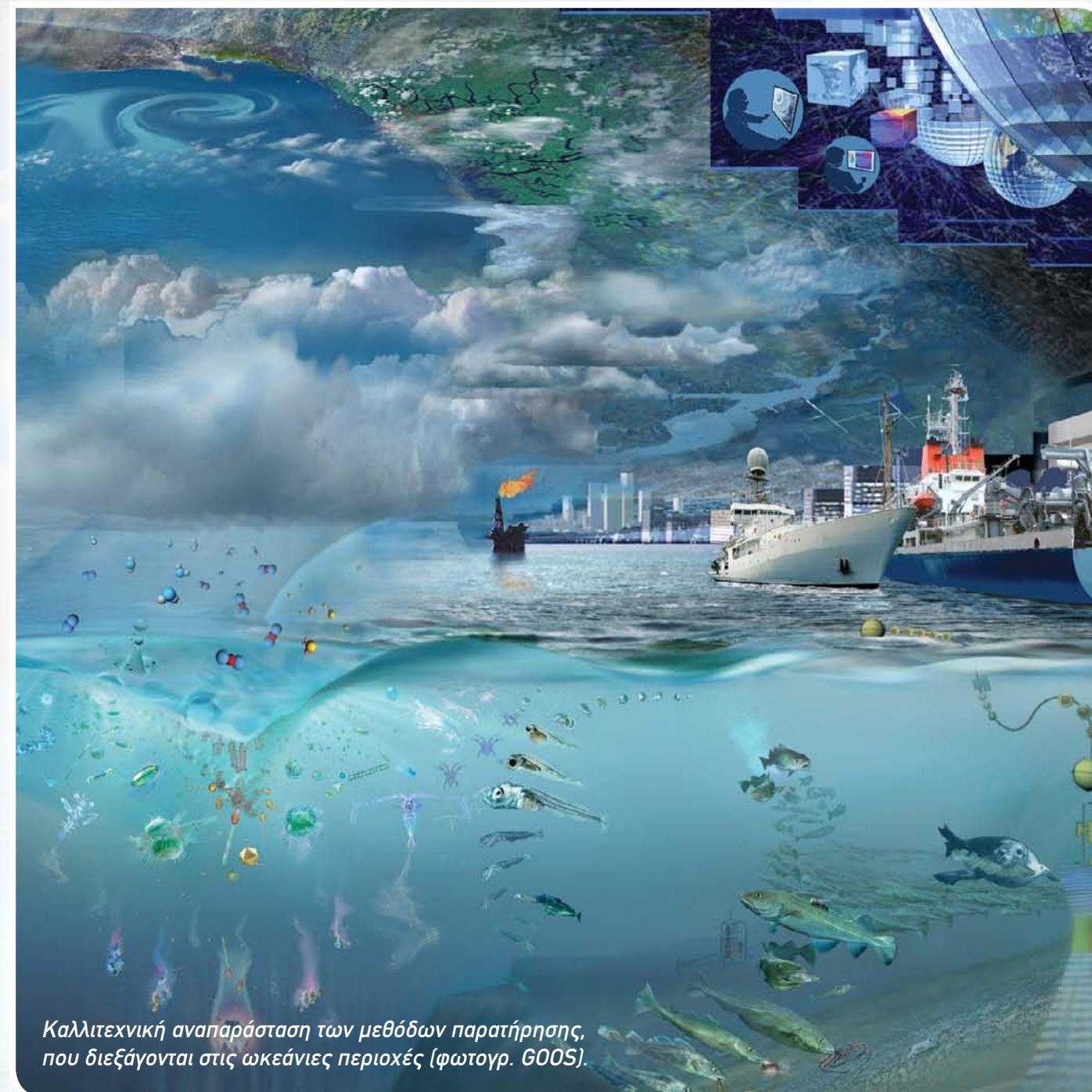
τεωρολογικός Οργανισμός (World Meteorological Organization-WMO), το Διεθνές Συμβούλιο Ωκεανογραφίας (International Oceanographic Commission-IOC), το Διεθνές Συμβούλιο Επιστημών (International Council for Science-ICSU), ο Οργανισμός Γεωργίας και Τροφίμων (Food and Agricultural Organization-FAO), το Περιβαλλοντικό Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών (United Nations Environmental Programme-UNEP), ο συνεταιρισμός για την Ολοκληρωμένη Στρατηγική Παγκόσμια Παρατήρησης (Integrated Global Observing Strategy-IGOS), η Ευρωπαϊκή Οργάνωση Διαστήματος (European Space Agency-ESA) και η Ευρωπαϊκή Οργάνωση Μετεωρολογικών Δορυφόρων (European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites-EUMETSAT).

Το GOS αποτελεί μοναδικό παράδειγμα επιστημονικής και επιχειρησιακής συνεργασίας όλων των χωρών του κόσμου και λειτουργεί ανεξάρτητα από τις όποιες εθνικές, πολιτικές και κοινωνικές αντιπαραθέσεις και διαφωνίες, ενώ βελτιώνεται συνεχώς για την καλύτερη προστασία της ζωής και της περιουσίας του πολίτη. Οι χρονοσειρές των διαφόρων περιβαλλοντικών παρατηρήσεων χρησιμοποιούνται ως βάση αναφοράς για τον σχεδιασμό της μελλοντικής αναπτυξιακής στρατηγικής, και για το «τρέξιμο» των κλιματολογικών μοντέλων, με την βοήθεια των οποίων προσπαθούμε να προβλέψουμε το μελλοντικό μας κλίμα. Σήμερα, το GOS υποδιαιρείται για πρακτικούς λόγους σε τρία υποσυστήματα παρατήρησης, τα οποία χρησιμοποιούν έναν αριθμό τεχνολογιών για τις διαφορετικές περιβαλλοντικές παρατηρήσεις που συγκεντρώνουν και παρέχουν συνεχώς από τη Γη και το Διάστημα παρατηρήσεις για τη

τρέχουσα κατάσταση της ατμόσφαιρας, των ωκεανών και του εδάφους.

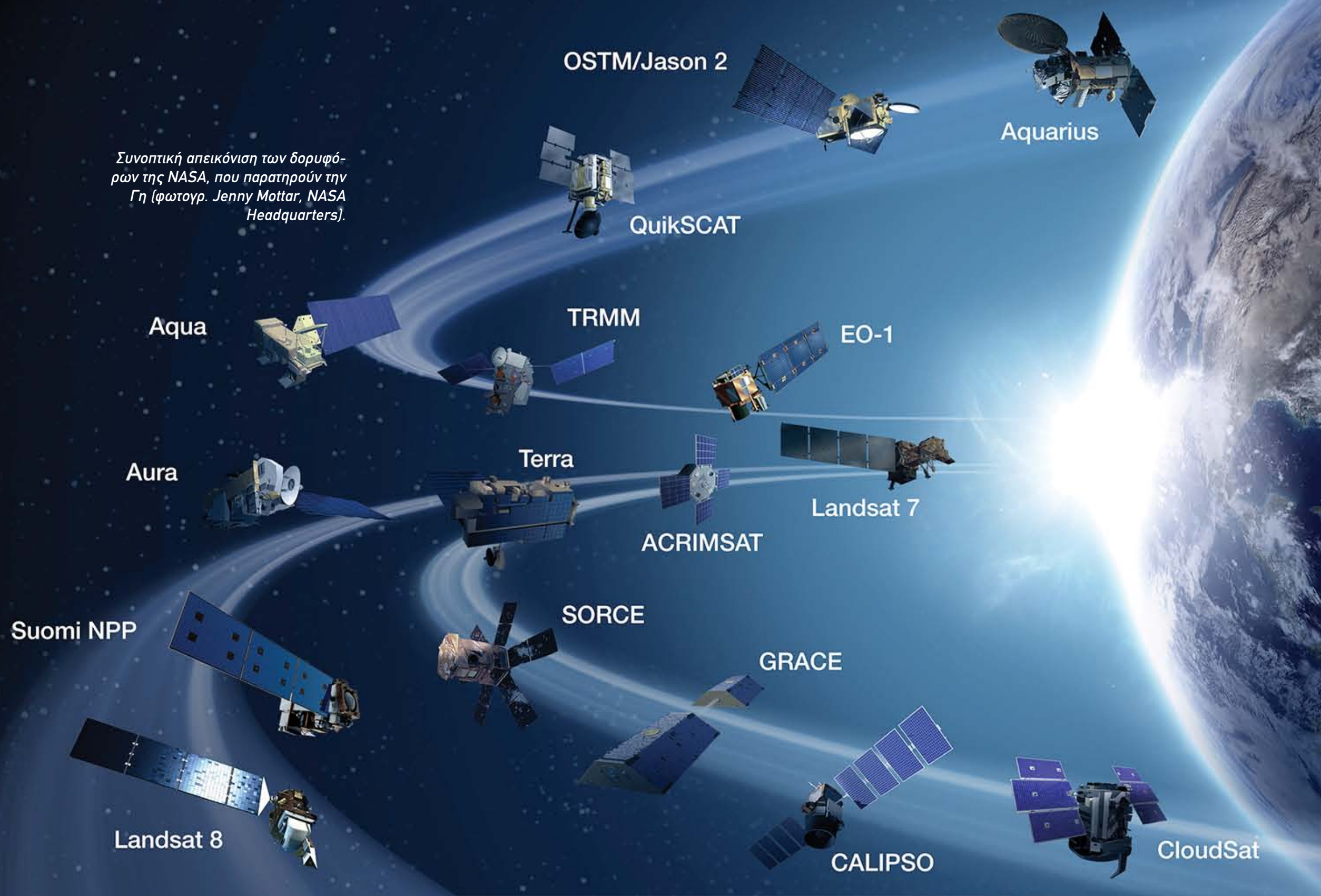
Οι παρατηρήσεις της επιφάνειας της Γης είναι η σπονδυλική στήλη του παγκόσμιου κλιματολογικού συστήματος παρατήρησης. Παρέχονται από 11.000 περίπου σταθμούς επιφανείας, που διενεργούν παρατηρήσεις τουλάχιστον κάθε τρεις ώρες, για περιβαλλοντικές/μετεωρολογικές παραμέτρους και συνθήκες, όπως η ατμοσφαιρική πίεση, η ταχύτητα και η κατεύθυνση του αέρα, η θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα, η σχετική υγρασία, ο υετός (υδρομετέωρα), οι καταιγίδες κ.ά.. Οι μετρήσεις αυτές συμπληρώνονται από ένα δίκτυο 900 περίπου επίγειων σταθμών ανώτερης ατμόσφαιρας που καθημερινά (0000 και 1200 ώρα Greenwich) εξαπολύουν στην ατμόσφαιρα ένα μικρό αερόστατο (μπαλόνι), το οποίο μεταφέρει μετρητικές συσκευές και παρακολουθείται συνεχώς από επίγεια συστήματα ραντάρ. Οι παρατηρήσεις ανώτερης ατμόσφαιρας καταγράφουν την ατμοσφαιρική πίεση, τη ταχύτητα και τη διεύθυνση του ατμοσφαιρικού αέρα, καθώς και την θερμοκρασία και υγρασία, από το έδαφος μέχρι περίπου το ύψος των 30 km. Στις ωκεάνιες περιοχές ειδικά πλοία εκτελούν συνεχώς παρατηρήσεις ανώτερης ατμόσφαιρας με αυτοματοποιημένα γυροσκοπικά συστήματα παρατήρησης, ενώ 3000 περίπου πολιτικά αεροσκάφη καταγράφουν με ειδικά όργανα τον άνεμο και τη θερμοκρασία σε διάφορα ύψη, προσθέτοντας πολύτιμα δεδομένα στο GOS, κυρίως για τις περιοχές εκείνες, στις οποίες δεν λειτουργούν σταθμοί ανώτερης ατμόσφαιρας.

Οι παρατηρήσεις από το Διάστημα περιλαμβάνουν συνεχείς μετρήσεις από τους μετεωρολογικούς δορυφόρους της Ωκεανογραφικής και Ατμοσφαι-



Καλλιτεχνική αναπαράσταση των μεθόδων παρατήρησης, που διεξάγονται στις ωκεάνιες περιοχές (φωτογρ. GOOS).

ρικής Υπηρεσίας των ΗΠΑ (National Oceanic and Atmospheric Administration-NOAA), της Ευρωπαϊκής Οργάνωσης Μετεωρολογικών Δορυφόρων (EUMETSAT) της Ιαπωνίας, της Ινδίας, της Κίνας, της Ρωσίας αλλά και από τους δορυφόρους της NASA, της Ευρωπαϊκής Οργάνωσης Διαστήματος (ESA) και του Καναδά. Τις τελευταίες δύο δεκαετίες νέες τεχνολογίες παρατήρησης ενσωματώθηκαν στο Παγκόσμιο Σύστημα Παρατήρησης, όπως οι αισθητήρες εντοπισμού ηλεκτρικών εκκενώσεων (αστραπών), που βελτιώνουν την έγκαιρη προειδοποίηση για φυσικές καταστροφές, αλλά κυρίως τα μετεωρολογικά ραντάρ που προσδιορίζουν με μεγαλύτερη ακρίβεια το σύνολο της βροχόπτωσης σε μια περιοχή, κάτι που δεν μπορούν να παρέχουν με χωροταξική ακρίβεια οι διάσπαρτοι επίγειοι μετεωρολογικοί υδρολογικοί σταθμοί. Αυτό συμβαίνει, διότι η βροχή δεν είναι ένα συνεχές φυσικό φαινόμενο όπως η θερμοκρασία ή η υγρασία, που αυξομειώνονται συνεχώς, αλλά μια δυαδική μέτρηση (βρέχει-δεν βρέχει). Για παράδειγμα, εάν βρέχει στο Ίδρυμα Ευγενίδου δεν σημαίνει ότι βρέχει σε όλο το λεκανοπέδιο, ενώ εάν η θερμοκρασία στο Ίδρυμα Ευγενίδου είναι 40°C «καίγεται η Αθήνα». Οι σύγχρονες απαιτήσεις για την ακριβέστερη πρόγνωση του κλίματος σε τοπικό επίπεδο συνίστανται σε πυκνότερες και περισσότερες παρατηρήσεις από πολλές περιοχές του πλανήτη. Περιλαμβάνουν επίσης κατά κύριο λόγο ένα ενιαίο σύστημα τεκμηρίωσης τεχνολογιών και μεθοδολογιών παρατήρησης για όλες τις νέες επιχειρησιακές υποδομές παρατήρησης που αναπτύσσονται σε κάθε χώρα, για την κοινή προσπάθεια μεγαλύτερης κατανόησης του κλιματικού μας συστήματος.

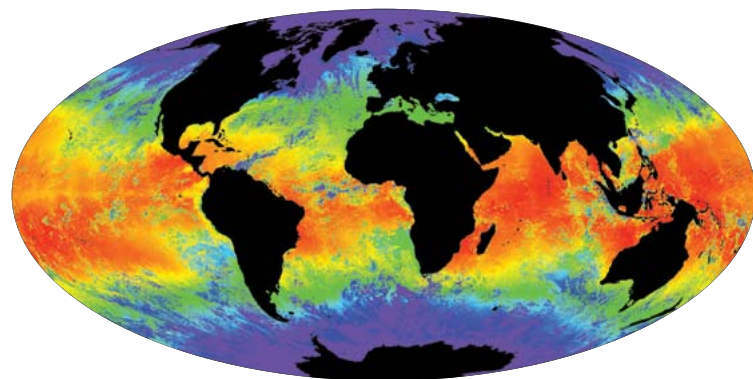


Η ζωή, όμως, στον πλανήτη έχει, μαζί με το κλίμα, μια μακρά ιστορία δισεκατομμυρίων ετών, την οποία πρέπει επίσης να γνωρίζουμε, εάν θέλουμε να βελτιώσουμε τις κλιματολογικές μας προβλέψεις των 2-3 επόμενων δεκαετιών στα ίδια επίπεδα που έχει σήμερα η βραχυπρόθεσμη πρόγνωση του καιρού για τις επόμενες 48 ή 72 ώρες. Η παλαιο-κλιματολογία είναι εκείνος ο κλάδος της κλιματολογίας, που ερευνά τις δυνατότητες δημιουργίας αρχείων κλιματολογικών δεδομένων από την ανάλυση ιστορικών αρχείων ή από τη μελέτη των φυσικών καταγραφών της μεταβλητότητας του κλίματος, όπως είναι τα κοράλλια, οι παγετώνες, τα απολιθώματα και οι δακτύλιοι των δένδρων. Τα δεδομένα τα οποία προκύπτουν από αυτού του είδους τις μελέτες αποτελούν ένα τοπικό κλιματολογικό αρχείο, το οποίο συγκροτείται, για την αναπαράσταση κλιματικών μεταβολών για εποχές οι οποίες προηγήθηκαν της δημιουργίας των δικτύων παρατήρησης.

Τα θαλάσσια κοράλλια, για παράδειγμα, αναπτύσσονται με βάση το ανθρακικό ασβέστιο που εξάγουν από τη θάλασσα. Το ανθρακικό ασβέστιο περιέχει ισότοπα του οξυγόνου (δηλ. άτομα οξυγόνου με διαφορετικό αριθμό νετρονίων στον πυρήνα τους) και ιχνοστοιχεία διαφόρων μετάλλων της εποχής της δημιουργίας των κοραλλιών. Επειδή το ελαφρύτερο ισότοπο του οξυγόνου O_{16} (με 8 πρωτόνια και 8 νετρόνια στον πυρήνα του) εξατμίζεται ευκολότερα από το βαρύτερο ισότοπο O_{18} (που έχει 2 επιπλέον νετρόνια), κατά τη διάρκεια μιας θερμής περιόδου με υψηλότερο ρυθμό εξατμίσσης, η αναλογία O_{18}/O_{16} μεγαλώνει. Οι διαφορετικές αναλογίες μεταξύ των ισωτόπων του οξυγόνου, που εντοπίζονται στα κοράλλια, μπορούν έτσι να χρησιμοποιη-

θούν, προκειμένου να καταγραφούν οι αλλαγές στη μέση θερμοκρασία των ωκεανών.

Οι παγετώνες είναι ένα ακόμη μέσο που χρησιμοποιείται ευρέως στην παλαιοκλιματολογία, αφού κάθε χρόνο οι χιονοπτώσεις προσθέτουν ένα νέο διακριτό στρώμα πάγου, που επικάθεται στα προηγούμενα, δημιουργώντας έτσι μια κατακόρυφη δομή ευπροσδιόριστων στρωμάτων. Κάθε τέτοιο στρώμα παγιδεύει μέσα του φυσαλίδες ατμοσφαιρικού αέρα από την εποχή που διαμορφώθηκε, οι οποίες παραμένουν ανεπηρέαστες από εξωτερικούς παράγοντες για χιλιάδες ή εκατομμύρια χρόνια. Με χρήση γεωτρυπάνων εξάγονται «πυρήνες» πάγου από βάθη εκατοντάδων μέτρων, οι οποίες μας παρέχουν στοιχεία και πληροφορίες για το κλίμα της Γης κατά το παρελθόν. Οι φυσαλίδες του ατμοσφαιρικού αέρα περιέχουν διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο και δευτέριο, το οποίο είναι ισότοπο του υδρογόνου και θεωρείται σημαντικός δείκτης για το προσδιορισμό των θερμών ή των ψυχρών

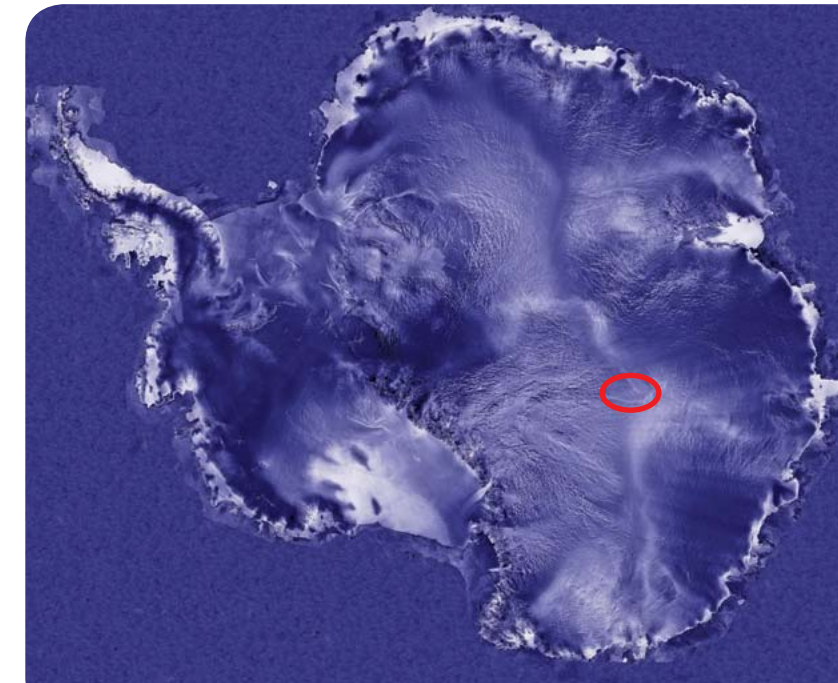


Χρωματικός χάρτης της επιφανειακής θερμοκρασίας των ωκεανών, όπου το κόκκινο αντιστοιχεί σε θερμότερες και το μπλε σε ψυχρότερες θερμοκρασίες (φωτογρ. MODIS Oceans Group, NASA Goddard Space Flight Center).

κλιματικών περιόδων, αφού η περιεκτικότητά του στην ατμόσφαιρα είναι ανάλογη με την θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Για παράδειγμα, η ψύξη του ατμοσφαιρικού αέρα κατά $1^{\circ}C$ έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του δευτερίου στην ατμόσφαιρα κατά 9 μέρη το εκατομμύριο. Η περιεκτικότητα του δευτερίου στις φυσαλίδες του ατμοσφαιρικού αέρα, που βρίσκονται εγκλωβισμένες στα στρώματα πάγου των παγετώνων, μας υποδεικνύει τις μεταβολές της θερμοκρασίας στη περιοχή αυτή.

Στη περιοχή Vostok της Ανταρκτικής έχει εγκατασταθεί μια ερευνητική μονάδα από τη Ρωσία η οποία, εδώ και αρκετά χρόνια σε συνεργασία με επιστήμονες άλλων χωρών, μελετά τους πυρήνες του παγετώνα. Τον Ιούνιο του 1999, έπειτα από μια γεώτρηση που έφτασε στα 3.600 m, δημοσιεύτηκαν στο περιοδικό Nature νέα στοιχεία με τα οποία επεκτάθηκε το ιστορικό αρχείο των προσεγγιστικών μετρήσεων θερμοκρασίας και των ατμοσφαιρικών συγκεντρώσεων του διοξειδίου του άνθρακα και του μεθανίου, σε 420.000 χρόνια στο παρελθόν. Τα νέα αυτά στοιχεία διπλασίασαν το μήκος του ιστορικού αρχείου της περιοχής και αποκάλυψαν τέσσερις παγετωνικές περιόδους στην πρόσφατη ιστορία της Γης.

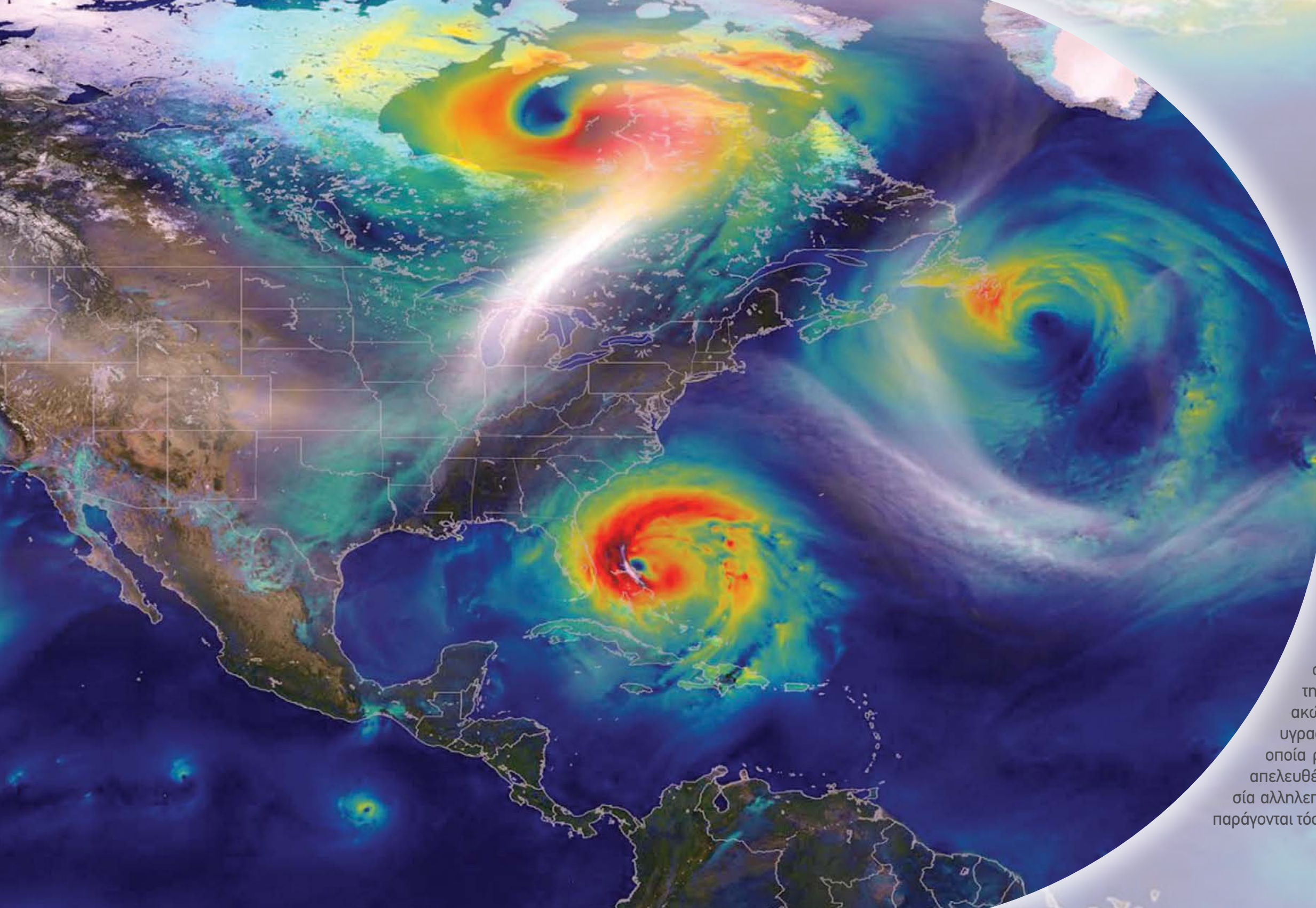
Μια άλλη τεχνική που χρησιμοποιείται για την αναπαραγωγή των κλιματικών συνθηκών προηγούμενων εποχών χρησιμοποιεί τα απολιθώματα, τα οποία περιέχουν ισότοπα του άνθρακα και του οξυγόνου. Τα απολιθώματα αυτά εμπεριέχονται σε στρωματώσεις από ιζήματα διαφορετικών εποχών, τα οποία συσσωρεύονται σε τεράστιες ποσότητες κάθε χρόνο στις λεκάνες των ωκεανών και των λιμνών, μέσα από τις διαδικασίες της αποσάθρωσης και της μεταφοράς. Η δένδροχρονολόγηση, τέλος,



Δορυφορική απεικόνιση της Ανταρκτικής, με σημειωμένη την θέση της λίμνης Vostok (φωτογρ. NASA-GISS).

αποτελεί ένα ακόμη χρήσιμο μέσο για την έρευνα των χωρικών και των χρονικών χαρακτηριστικών του γήινου κλίματος και βασίζεται στην συσχέτιση του ρυθμού ανάπτυξης (πάχος) των δακτυλίων των δέντρων με τα επίπεδα θερμοκρασίας και βροχόπτωσης που επικράτησαν κατά το παρελθόν σε διαφορετικές περιοχές.

Όλες οι επιστημονικές τεχνικές που χρησιμοποιεί το GOS για την ατμόσφαιρα, την ξηρά και την θάλασσα, αλλά και το υπέδαφος, εξελίσσονται ενσωματώνοντας τις νέες τεχνολογίες παρατήρησης αλλά και μεθοδολογίες που διεθνώς προκαλούνται κατά την δυναμική και διεθνή διαδικασία της έρευνας και όχι τοπικά σε κάθε χώρα.



Καιρική Πρόγνωση, Κλιματολογικά Μοντέλα και Παλαιοκλιματολογία

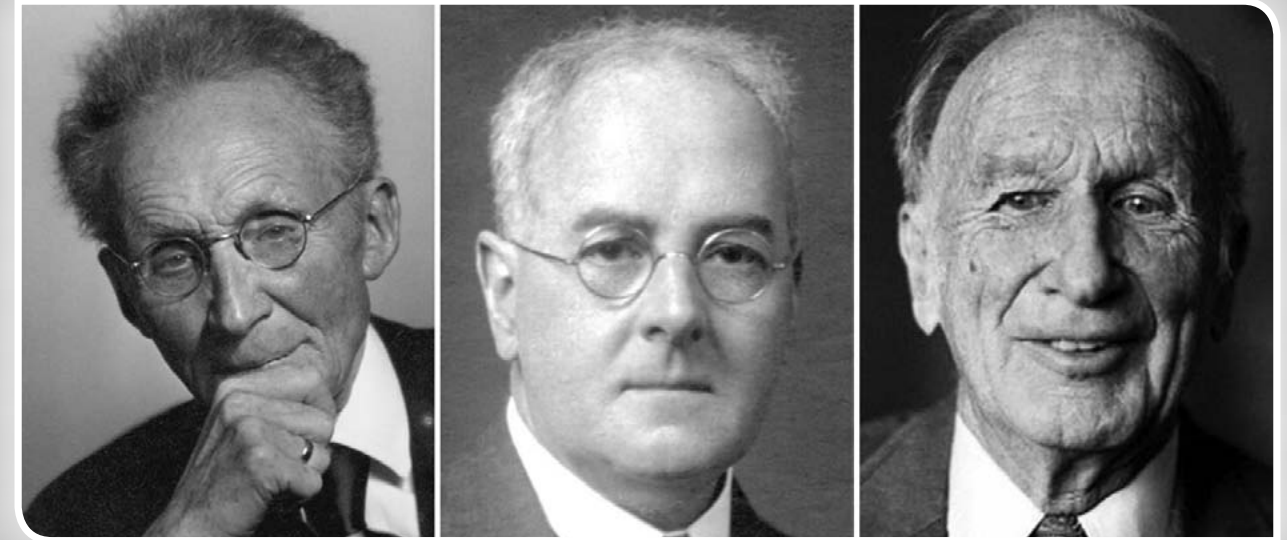
Η ατμόσφαιρα αλληλεπιδρά με την επιφάνεια της Γης με τέσσερις τρόπους. Ο πρώτος είναι η ανταλλαγή ακτινοβολίας μεταξύ τους, που εξαρτάται από το είδος της βλάστησης και τη γεωμορφολογία του εδάφους. Οι τοπικοί αυτοί παράγοντες καθορίζουν το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που απορροφάται από την επιφάνεια της Γης. Μια δεύτερη αλληλεπίδραση είναι η δύναμη της τριβής που ασκείται στο χαμηλότερο στρώμα της ατμόσφαιρας (στρώμα τριβής) εξ αιτίας της μορφής και της τραχύτητας στοιχείων του εδάφους, που παρεμβάλλονται στις τροχιές των αερίων μαζών (βλάστηση, βουνά, ύψος θαλάσσιων κυμάτων, ανθρώπινες κατασκευές). Η τρίτη αλληλεπίδραση της επιφάνειας της Γης με την ατμόσφαιρα σχετίζεται με το ρυθμό εξάτμισης των θαλασσίων επιφανειών, ο οποίος εξαρτάται από τη θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα και των επιφανειακών υδάτων. Σχετίζεται επιπλέον και με τη διαθεσιμότητα της υγρασίας του εδάφους για τη διαδικασία της εξατμοδιαπνοής, η οποία ρυθμίζεται από την αντίσταση των διαφόρων φυτών στην απελευθέρωση της υγρασίας στην ατμόσφαιρα. Η τέταρτη διαδικασία αλληλεπίδρασης σχετίζεται με τις ροές των αερίων στοιχείων που παράγονται τόσο από τη φύση όσο και από την ανθρώπινη δραστηριότητα.

Οι παγκόσμιες μετεωρολογικές και κλιματολογικές παρατηρήσεις αποτυπώνουν την γενική κυκλοφορία της ατμόσφαιρας, καθώς και τα συστήματα καιρού που συνδέονται μ' αυτή. Η λειτουργία των μετεωρολογικών σταθμών, που πραγματοποιούν τις παρατηρήσεις αυτές ήδη από τα μέσα του 19^{ου} αιώνα, βοήθησε να γίνει μία συστηματική προσπάθεια προσδιορισμού και καταγραφής των τύπων καιρού με σκοπό την απόκτηση τεχνογνωσίας στην παρακολούθηση των κλιματολογικών φαινομένων.

Έναν περίπου αιώνα πριν, το 1904, ο Νορβηγός επιστήμονας Vilhelm Bjerknes (1862-1951) πρότεινε ότι ο καιρός θα μπορούσε να προβλεφθεί με την εφαρμογή των γνωστών τότε εξισώσεων της υδροδυναμικής των ρευστών στην ατμόσφαιρα, σε μια σειρά αρχικών συνθηκών της ατμόσφαιρας. Δυστυχώς, όμως, δεν είχε στην διάθεσή του τα μέσα για να κάνει τις οποιοσδήποτε ποσοτικές προβλέψεις, γι' αυτό και υιοθέτησε την ποιοτική – πιλοτική προσέγγιση, η οποία έμεινε γνωστή ως η *σχολή του Bergen*. Την εποχή εκείνη η προσέγγιση ήταν μόνο θεωρητική γιατί η πρόγνωση του καιρού δεν πραγματοποιούνταν από την **τοπική** κλίμακα μιας υδρολογικής λεκάνης στη **μέση** κλίμακα μιας χώρας, στην **συνοπτική** της Ευρώπης και στην **παγκόσμια** κλίμακα της πλανητικής κυκλοφορίας της ατμόσφαιρας, αλλά απολύτως αντίστροφα, αφού εξίσου αντίστροφος (δηλ. από την παγκόσμια προς την τοπική κλίμακα) είναι και ο μηχανισμός που διαμορφώνει τον τοπικό καιρό της κάθε περιοχής. Αυτό συμβαίνει γιατί ο τοπικός καιρός προκαλείται από τα ατμοσφαιρικά συστήματα μέσης κλίμακας, τα οποία με τη σειρά τους δημιουργούνται από τα κλιματολογικά συστήματα συνοπτικής κλίμακας, που ποδηγετούνται από την γενική κυκλοφορία της

ατμόσφαιρας σε όλο τον πλανήτη και κάθε στιγμή. Δεν πρέπει ποτέ να μας διαφεύγει ότι ο Ήλιος είναι ο δημιουργός της ζωής στον πλανήτη και όποιες αλλαγές στο κλίμα εκδηλωθούν στο μέλλον, με τη μορφή ακραίων καιρικών φαινομένων, όπως ξηρασίες, ισχυρές καταιγίδες και αύξηση της συχνότητας διαταραχών μικρής κλίμακας, (π.χ. ανεμοστρόβιλοι), είναι πρόδρομα φαινόμενα της ερμαιοποίησης και της μετακίνησης των ορίων των διάφορων κλιματολογικών ζωνών, δηλαδή της αρκτικής, της ηπειρωτικής, της τροπικής, της ερήμου, της Μεσογειακής κ.λπ..

Την δεκαετία του '20 είχε δημιουργηθεί και λειτουργούσε με μετρήσεις από όλες τις χώρες του κόσμου το GOS, σχεδόν αποκλειστικά για τους σκοπούς της ναυτιλίας, του στρατού και στην συνέχεια της αεροπλοΐας. Εκείνη την εποχή (1922) ο Βρετανός μετεωρολόγος Lewis Fry Richardson (1881-1953) χρησιμοποίησε στοιχεία από την εργασία του Bjerknes και ήταν ο πρώτος που εφάρμοσε την επονομαζόμενη μέθοδο πεπερασμένων διαφορών που χρησιμοποιείται και στις ημέρες μας, για την αριθμητική πρόβλεψη του καιρού. Η εργασία του ξεπέρασε την εποχή του, αφού ο χρόνος που χρειαζόταν για τους απαραίτητους «με το χέρι» υπολογισμούς και την επίλυση των σχετικών εξισώσεων, σε μια προ-ηλεκτρονικών υπολογιστών εποχή ήταν τόσο μεγάλος, που η λύση θα βρισκόταν πολύ αργότερα από την ίδια την εξέλιξη του καιρού, για να είναι χρήσιμη στην πρόγνωσή του. Ο Richardson υπολόγισε ότι θα χρειαζόταν 64.000 μαθηματικούς, προκειμένου να προηγηθεί η πρόβλεψη του μελλοντικού καιρού από την άφιξή του, διατυπώνοντας όμως την άποψη ότι «στο μακρινό μέλλον το ανθρώπινο γένος θα έχει τη δυνατότητα να ολοκλη-



Ο Νορβηγός επιστήμονας Vilhelm Bjerknes (αριστερά), ο Βρετανός μετεωρολόγος Lewis Fry (κέντρο) και ο Αμερικανός μετεωρολόγος Edward Lorenz (δεξιά).

ρώνει τους υπολογισμούς για την αριθμητική πρόγνωση του καιρού γρηγορότερα από ό,τι κινείται και συνεχώς μεταβάλλεται ο ίδιος ο καιρός».

Μετά τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο δύο τεχνολογικές εξελίξεις δημιούργησαν το κατάλληλο περιβάλλον για την αριθμητική πρόγνωση του καιρού: η ανάπτυξη ενός παγκόσμιου δικτύου σταθμών παρατήρησης της ανώτερης ατμόσφαιρας από τις Μετεωρολογικές Υπηρεσίες και η ανάπτυξη των πρώτων ηλεκτρονικών υπολογιστών. Το 1950 ο μετεωρολόγος Jule Charney (1917-1981) και η ομάδα του χρησιμοποίησαν ηλεκτρονικό υπολογιστή και δημιούργησαν τη πρώτη 24ωρη αριθμητική πρόβλεψη της ανώτερης ατμόσφαιρας με εξαιρετική επιτυχία. Το 1963 ο μετεωρολόγος Edward Lorenz (1917-2008) κατάφερε με τον πρωτόγονο υπολογιστή του να ανακαλύψει ότι πολύ μικρές αλλαγές στα

αρχικά στοιχεία που υπεισέρχονται στις εξισώσεις της ατμόσφαιρας είχαν ως αποτέλεσμα τεράστιες διαφορές στα αποτελέσματα του μοντέλου και διατύπωσε τη θεωρία του χάους για τη πρόγνωση του καιρού. Η θεωρία αυτή αποδίδεται συνοπτικά με το γνωστό απόφθεγμα ότι «το φτερούγισμα μιας πεταλούδας στη Βραζιλία μπορεί να προκαλέσει έναν ανεμοστρόβιλο στο Τέξας».

Στις μέρες μας, οι υπερυπολογιστές «τροφοδοτούν» τις εξισώσεις με τις αρχικές παρατηρήσεις (μετρήσεις), προκειμένου να υπολογίσουν την αναμενόμενη (μελλοντική) συμπεριφορά της ατμόσφαιρας. Στην πράξη, όμως, οι Μετεωρολογικές Υπηρεσίες δεν είναι σε θέση να παράγουν επιτυχείς καιρικές προβλέψεις για χρονικές περιόδους μεγαλύτερες των 7-10 ημερών. Ο λόγος φυσικά είναι ότι είναι αδύνατο να πραγματοποιηθούν με-



Η «καρδιά» του υπερυπολογιστή Discover στο Κέντρο Κλιματικής Προσομοίωσης της NASA (φωτογρ. NASA/Pat Izzo).

τρήσεις με απόλυτη ακρίβεια και μια μικρή ανακρίβεια θα οδηγούσε την αριθμητική πρόγνωση του καιρού σε διαφορετικές μελλοντικές τιμές από αυτές που θα σημειωθούν στην πραγματικότητα. Τέτοιου είδους ανακρίβειες οφείλονται μεταξύ άλλων σε απειροελάχιστα σφάλματα των οργάνων μέτρησης, στην ανέγερση κτηρίων ή άλλων υποδομών στο εγγύς περιβάλλον του σταθμού παρατήρησης κ.ά.. Με την σημερινή τεχνολογία, λοιπόν, ο καιρός δεν μπορεί να προβλεφθεί με απόλυτη ακρίβεια και, ενώ για το πρώτο 24ωρο η μέση επιτυχία των προγνώσεων ανέρχεται στο 87%-90%, τα επόμενα 24ωρα μειώνεται σταδιακά και μετά την πέμπτη ημέρα, και σε ορισμένες συνοπτικές ατμοσφαιρικές καταστάσεις, η επιτυχία ανέρχεται μόλις στο 55-60%. Σε γενικές γραμμές, τέτοια χασοκά συστήματα, όπως ο καιρός, δεν είναι τυχαία, αλλά προβλέψιμα, χωρίς όμως να μπορούν να προβλεφθούν πλήρως εάν δεν υπάρχει απόλυτη ακρίβεια στα δεδομένα που τα τροφοδοτούν.

Η χασοκά αυτή συμπεριφορά του καιρού αναδεικνύει και τη σπουδαιότητα των μετρήσεων του Παγκόσμιου Συστήματος Παρατήρησης, που τροφοδοτούν κάθε αριθμητικό μοντέλο με τα αρχικά δεδομένα ή τις αρχικές τιμές των διαφόρων μετεωρολογικών-κλιματολογικών μεταβλητών από την ατμόσφαιρα, την επιφάνεια της Γης, τη θάλασσα και το υπέδαφος. Η ατμόσφαιρα, όπως και η θάλασσα, βρίσκονται σε διαρκή κίνηση και επηρεάζονται σε διαφορετική χρονική κλίμακα από ό,τι επηρεάζεται η επιφάνεια της Γης και η βιοποικιλότητα. Η αναλυτική παρουσίαση του τρόπου με τον οποίο πραγματοποιούνται οι απαιτούμενοι υπολογισμοί για την αριθμητική πρόγνωση του καιρού και την πρόβλεψη του κλίματος, μέσα από την επίλυση των σχετικών υπολογιστικών μοντέλων, υπερβαίνουν τους ειδικότερους στόχους αυτού του Οδηγού Παράστασης. Θα πρέπει, εντούτοις, να σημειωθεί ότι τα μοντέλα γενικής κυκλοφορίας της ατμόσφαιρας, που αντιπροσωπεύουν και την συ-

νοπτική κλίμακα, χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα, τόσο για την πρόγνωση του καιρού όσο και για την πρόγνωση του κλίματος.

Τα αποτελέσματα των κλιματικών αλλαγών που πραγματοποιούνται στις ατμοσφαιρικές κλίμακες αποτυπώνονται σε εμάς και στην επιφάνεια της γης ως μεταβολές στην μέση θερμοκρασία, στις βροχές, στις ξηρασίες, στα χιόνια, στον ετήσιο αριθμό καταιγίδων κ.λπ.. Οι αρχικές συνθήκες που χρησιμοποιούνται στα κλιματολογικά μοντέλα είναι επιλεγμένα data sets από τις κλιματολογικές συνθήκες μιας δεκαετίας ή μιας τριακονταετίας αναφοράς. Αυτά προέρχονται από τις ποιοτικά ελεγμένες χρονοσειρές του GOS για κάθε τόπο αλλά δεν έχουν την πολυτέλεια της μηνιαίας ή της ετήσιας ποιοτικής επικαιροποίησης, όπως συμβαίνει στην καθημερινή αριθμητική πρόγνωση του καιρού. Στις περιοχές έρευνας που σχετίζονται με την αποτύπωση του φυσικού κλιματολογικού συστήματος του πλανήτη και την μελλοντική πρόγνωση του κλίματος περιλαμβάνεται και η ακρίβεια στην αποτύπωση των κλιματικών αλλαγών που θα συμβούν στην επιφάνεια της γης (ξηρά και θάλασσα). Αυτές όμως θα επηρεάζουν αθροιστικά την διάδραση με την ατμόσφαιρα και την «προγνωστικότητα» των ίδιων των κλιματικών μοντέλων.

Ως αποτέλεσμα, τα σημερινά κλιματολογικά μοντέλα που ολοκληρώνουν τις εξισώσεις για να υπολογίσουν τις μέσες τιμές της θερμοκρασίας ή της βροχής για τις δεκαετίες του 2030 ή του 2040 για μια περιοχή, χρησιμοποιούν ως αρχικές συνθήκες ένα data set του 20^{ου} αιώνα. Αυτό αποτυπώνει την μέση διάδραση της ατμόσφαιρας με την ξηρά και την θάλασσα η οποία όμως θα έχει μεταβληθεί την δεκαετία του 2010 χωρίς αυτό να αποτυπώνεται με

ακρίβεια στα κλιματολογικά μοντέλα.

Ζητούμενο, επομένως, για την βελτίωση της προγνωστικότητας των κλιματικών μοντέλων μέσης κλίμακας είναι ένα αντίστοιχο δυναμικό μοντέλο της επιφανείας της Γης (είδος εδάφους, μικρές ή μεγάλες υδατοδεξαμενές και χλωρίδα) που θα αποτυπώνει με μεγαλύτερη χωροταξική ακρίβεια τις εποχιακές ή ετήσιες αλλαγές τους.

Η όσο το δυνατόν λεπτομερέστερη αποτύπωση του φυσικού ανάγλυφου της Γης αλλά και του κοντινού υπεδάφους, είναι μια πολύ σημαντική διαδικασία για τα αριθμητικά μοντέλα, αφού οι οροσειρές, τα δάση και τα οικοσυστήματα, παίζουν σημαντικότατο ρόλο στην συνολική ακρίβεια των προγνώσεων καιρού και κλίματος. Η βελτίωση, επομένως, των αποτελεσμάτων των αριθμητικών μοντέλων πρόγνωσης καιρού και κλίματος είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τη βελτίωση των συστημάτων παρατήρησης της ξηράς και της θάλασσας, αλλά και των μεθοδολογιών ενσωμάτωσης των παρατηρήσεων στις αρχικές συνθήκες των μοντέλων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα βελτίωσης της προγνωστικότητας της αριθμητικής πρόγνωσης των μοντέλων αποτελεί η ενσωμάτωση των δορυφορικών παρατηρήσεων από τους αισθητήρες των μετεωρολογικών και περιβαλλοντικών δορυφόρων στη διαδικασία αφομοίωσης του Ευρωπαϊκού Μοντέλου Πρόγνωσης από τη δεκαετία του '80 και μετά, όταν και η επιτυχία της πρόγνωσης του καιρού βελτιώθηκε μεσοσταθμικά πάνω από 20%.

Για τη μελέτη της κλιματικής αλλαγής, ο Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός και ο Οργανισμός Περιβαλλοντικού Προγράμματος του ΟΗΕ ίδρυσαν το 1988 το Διακρατικό Όργανο Μελέτης της Αλλαγής

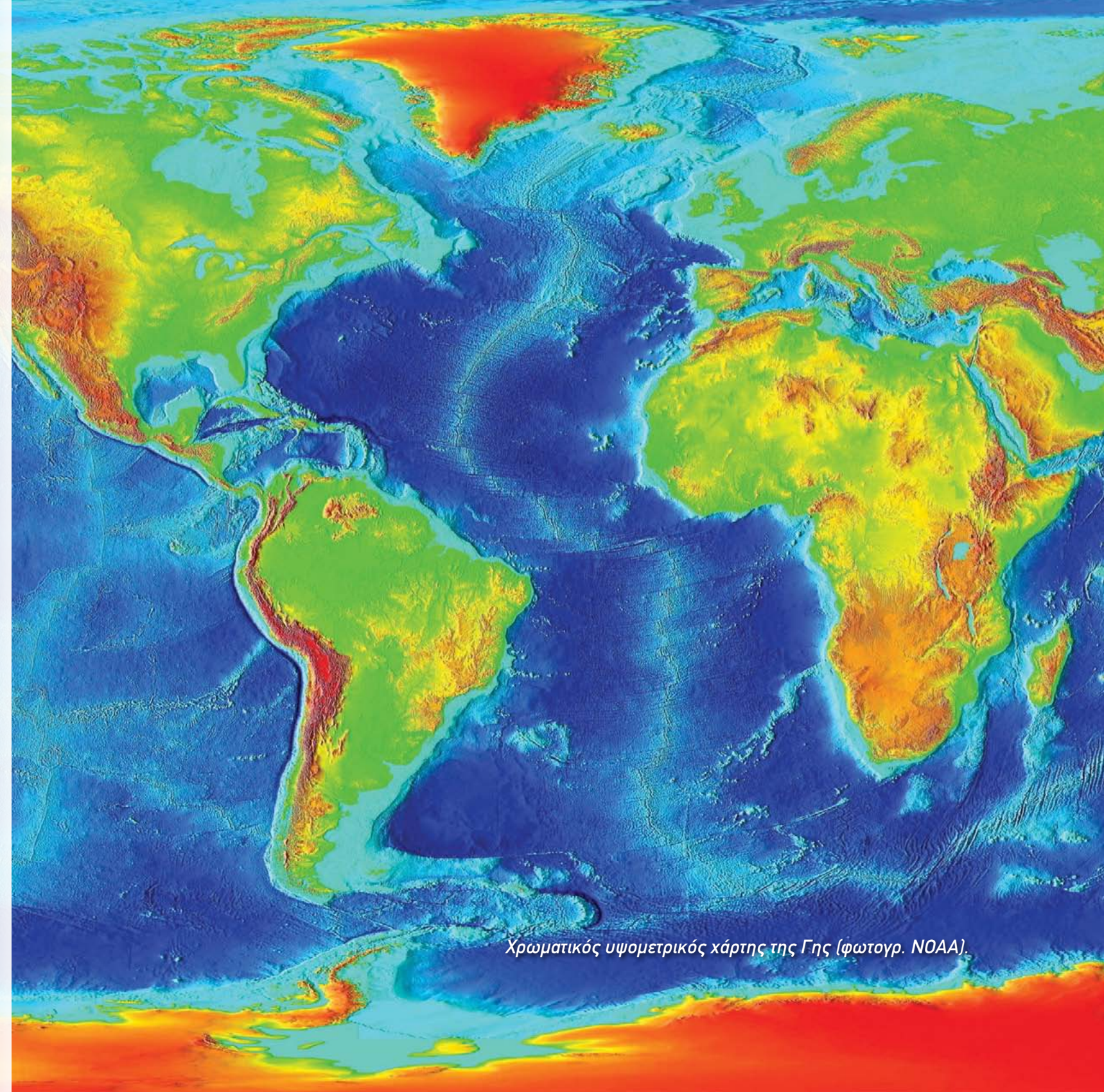
του Κλίματος (Intergovernmental Panel on Climate Change- IPCC). Από το 1990 το IPCC έχει διατυπώσει σενάρια παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής που απεικονίζουν την διαφορετικότητα στην οικονομική ανάπτυξη (π.χ περιβαλλοντική, λιγότερο περιβαλλοντική, όπως τον 20^ο αιώνα) και χρησιμοποιούνται στο «τρέξιμο» των μοντέλων κλίματος.

Σύμφωνα με τις χρονοσειρές των μετρήσεων από τους σταθμούς παρατήρησης, η μέση γήινη θερμοκρασία στην επιφάνεια της Γης αυξάνεται και ένα ποσοστό από αυτή τη θέρμανση προκαλείται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες, ενώ ένα άλλο από τη φυσική μεταβλητότητα του κλίματος. Οι ανθρώπινες δραστηριότητες έχουν αλλάξει τη χημική σύνθεση της ατμόσφαιρας, αυξάνοντας τη συγκέντρωση των αερίων του θερμοκηπίου και των αεροζόλ, όπως έχουν αλλάξει και συνεχώς αλλάζουν το μικροκλίμα μιας περιοχής με τις κατασκευές και τις αλλαγές χρήσης γης. Οι αλλαγές στη συγκέντρωση των αερίων του θερμοκηπίου αλλά και η ύπαρξη νέων χημικών ενώσεων στην ατμόσφαιρα, την ξηρά και τη θάλασσα μεταβάλλουν τις ενεργειακές και βιοχημικές ισορροπίες, εισάγοντας το ανθρώπινο γένος σε μια νέα πραγματικότητα επιρροής της φύσης. Μια επιρροή πολύ μεγαλύτερη από την αντίστοιχη προβιομηχανική, η οποία μαζί με τις φυσικές κλιματικές αλλαγές προκαλεί μεταβολές στα πρότυπα καιρού και στους εποχιακούς κλιματολογικούς κύκλους της κάθε περιοχής, που με τη σειρά τους επηρεάζουν τελικά σε βάθος χρόνου την βιωσιμότητα των τοπικών φυσικών οικοσυστημάτων και τον εφοδιασμό σε νερό.

Η πρόγνωση του μελλοντικού κλίματος είναι μια σύγχρονη ανάγκη της ανθρώπινης κοινωνίας, που ακολούθησε την ανάγκη της πρόγνωσης του και-

ρού. Σε αντίθεση, όμως, με τα αριθμητικά μοντέλα του καιρού που αξιολογούνται καθημερινά, τα κλιματικά μοντέλα δεν έχουν αυτή τη δυνατότητα, αφού το προγνωστικό τους προϊόν θα μπορεί να επαληθευτεί μόνο μετά από αρκετές δεκαετίες. Επί πλέον, οφείλουμε να αναγνωρίσουμε ότι αρκετές από τις κλιματολογικές διαδικασίες δεν είναι ακόμα απολύτως κατανοητές. Για παράδειγμα, εάν η θερμοκρασία αρχίσει να αυξάνεται λόγω της αύξησης των αερίων του θερμοκηπίου και κυρίως του CO₂, αντίστοιχα θα αυξηθεί και ο ρυθμός της εξάτμισης και της εξατμοδιαπνοής, με αποτέλεσμα την αύξηση των νεφών στην ατμόσφαιρα. Τα νέφη, όμως, διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με το ύψος τους στην ατμόσφαιρα και έτσι ταξινομούνται σε χαμηλά, μεσαία και υψηλά. Από τις τρεις αυτές κατηγορίες, τα χαμηλά νέφη παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη ανακλαστικότητα στην ηλιακή ακτινοβολία και εάν η αύξηση της θερμοκρασίας έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του ποσοστού των χαμηλών νεφών, αυτό θα προκαλέσει ψύξη στην επιφάνεια της Γης. Υπάρχουν επομένως ερευνητικά ερωτήματα σχετικά με τη φυσιολογική και ανθρωπογενή μεταβλητότητα του κλίματος που δεν έχουν ακόμα απαντηθεί.

Μια μέθοδος επαλήθευσης της δυνατότητας των κλιματικών μοντέλων να προβλέψουν με ακρίβεια το μελλοντικό μας κλίμα είναι προφανώς η διερεύνηση του κατά πόσο τα μοντέλα αυτά μπορούν να αναπαράγουν το κλίμα των αμέσως προηγούμενων δεκαετιών, για τις οποίες υπάρχουν παρατηρήσεις από μετεωρολογικά όργανα. Τα τελευταία χρόνια γίνεται μια σημαντική προσπάθεια για τη βελτίωση του κλιματολογικού αρχείου της Γης, προκειμένου να ενισχυθεί η δυνατότητα επαλήθευσης των κλιματολογικών μοντέλων αλλά και να γνωρίσουμε καλύτερα τη φυσική μεταβλητότητα του κλίματος.



Χρωματικός υψομετρικός χάρτης της Γης (φωτογρ. NOAA).



Οικοσυστήματα και Βιοποικιλότητα

Η λειτουργία των οικοσυστημάτων και η ζωή στη Γη βασίζεται σε μια κυκλική αλυσίδα βιοχημικών αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα στον επιφανειακό φλοιό της Γης και ονομάζονται **βιοχημικοί κύκλοι**, κυριότεροι απ' τους οποίους είναι ο κύκλος του νερού, ο κύκλος του άνθρακα, ο κύκλος του αζώτου, ο κύκλος του φωσφόρου και ο κύκλος του θείου, που διαπερνούν την ατμόσφαιρα, την υδρόσφαιρα και την γεώσφαιρα, διατηρώντας τη ζωή στον πλανήτη.

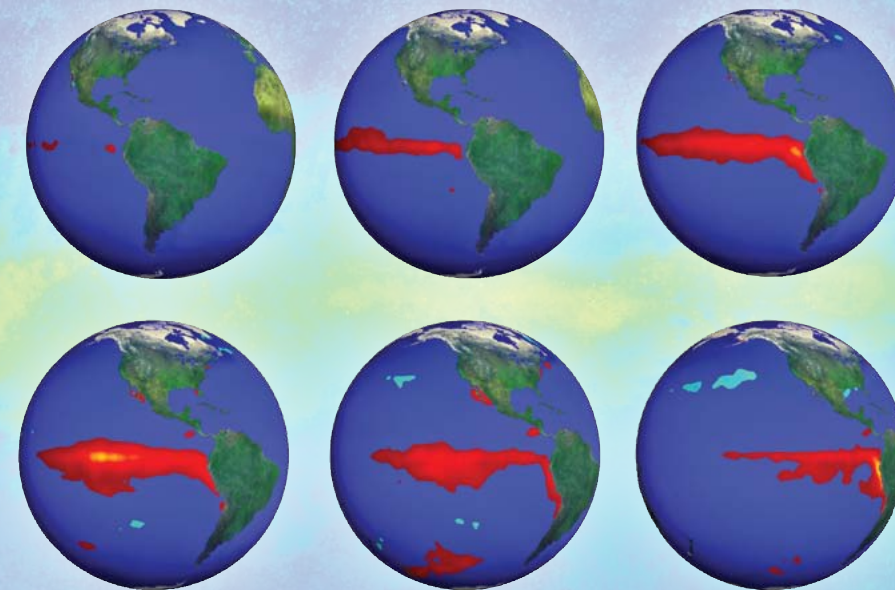
Ένα από τα οφέλη της παρατήρησης και μελέτης της δυναμικής των γήινων συστημάτων είναι ότι μας οδηγούν σε μια καλύτερη κατανόηση του κάθε οικοσυστήματος, δηλαδή του τρόπου με τον οποίο δημιουργήθηκε, διατηρείται και αλλάζει, με βάση τις φυσικές κλιματολογικές διαδικασίες, αλλά και του τρόπου με τον οποίο το επηρεάζουν οι δραστηριότητες του ανθρώπου. Η διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο το κάθε οικοσύστημα μεταβλήθηκε στο παρελθόν και θα συνεχίσει να μεταβάλλεται στο μέλλον, επηρεάζοντας διαρκώς τη συμπεριφορά του, συνδέεται με τη διερεύνηση της λειτουργίας των βιοχημικών κύκλων. Η επιστήμη των συστημάτων της Γης θεωρεί τους βιοχημικούς κύκλους ως θεμελιώδες και αναπόσπαστο τμήμα των οικοσυστημάτων και έχει ως στόχο να κατανοήσει την λειτουργία τους μέσα στα διαφορετικά οικοσυστήματα, όπως επίσης και την δυναμική τους, δηλαδή το πώς μεταβάλλονται με την πάροδο του χρόνου. Η προσέγγιση της μετεωρολογικής και κλιματολογικής επιστήμης είναι πως οι βιοχημικές αυτές διαδικασίες που πραγματοποιούνται στην μικροκλιματική κλίμακα του κάθε τόπου, θα ποσοτικοποιηθούν με μεγάλη ακρίβεια στη κλίμακα των μοντέλων.

Ο φυσικός κόσμος και το παγκόσμιο κλιματολογικό σύστημα βρίσκεται σε μια συνεχή κατάσταση μεταβολών. Οι μεταβολές αυτές μπορούν να παρατηρηθούν σε διάφορα χρονικά διαστήματα, μικρής ή μεγάλης διάρκειας. Οι βραχυπρόθεσμες μεταβολές, που είναι αισθητές στους ανθρώπους, παρουσιάζουν κυκλική μορφή και είναι προβλέψιμες: η ημέρα και η νύχτα για τη φωτοσύνθεση και την αναπνοή των φυτών, ο μηνιαίος κύκλος των παλιρροιών, η ετήσια αλλαγή των εποχών, η



Το οικοσύστημα της Αρκτικής είναι ιδιαίτερα ευαίσθητο στις κλιματικές αλλαγές.

γέννηση, η αναπαραγωγή και ο θάνατος των έμβιων όντων. Σε αυτά τα χρονικά επίπεδα πολλά οικοσυστήματα, όταν δεν διαταράσσονται από τους ανθρώπους, φαίνονται σταθερά και αμετάβλητα, παραμένοντας σε ισορροπία με μόνη πιθανή αιτία μεταβολής τους τις φυσικές καταστροφές. Εντούτοις, τις πιο μακροπρόθεσμες μεταβολές, που εκδηλώνονται σε διάστημα αιώνων, χιλιετιών και εκατομμυρίων ετών, μόλις πρόσφατα αρχίσαμε να παρακολουθούμε συστηματικά και να αντιλαμβανόμαστε. Στην επιφάνεια της Γης, η θερμοκρασία, οι βροχοπτώσεις και οι εποχές, όπως αυτές εμφανίζονται στη παρούσα περίοδο της ανθρώπινης ιστορίας, είναι οι τρεις πιο σημαντικοί παράγοντες για τη «χωροθέτηση» των διαφόρων οικοσυστημάτων. Οι αλλαγές σε οποιονδήποτε από αυτούς τους παράγοντες μπορούν να έχουν μακρόχρονη επίδραση. Στον πρόσφατο γεωλογικό χρόνο το πιο



Απεικόνιση του φαινομένου El Niño (NASA/Goddard Space Flight Center, Scientific Visualization Studio).

σημαντικό παράδειγμα είναι αδιαμφισβήτητα, η εμφάνιση διακριτών παγετωνικών περιόδων που χαρακτηρίζουν μεγάλο μέρος της πλειστόκαινης εποχής. Οι παρατεταμένες αυτές περιόδους παγκόσμιας ψύξης είχαν μια σημαντική επίδραση στα παγκόσμια οικοσυστήματα, προκαλώντας την εξάπλωση της κάλυψης με πάγο στα βόρεια γεωγραφικά πλάτη και τη συρρίκνωση άλλων οικοσυστημάτων. Η γεωλογική αναζήτηση και έρευνα έχει αναδείξει παλαιολογικά ευρήματα στα σύγχρονα οικοσυστήματα, που αποδεικνύουν την ύπαρξη διαφορετικών οικοσυστημάτων σε άλλες εποχές.

Την τελευταία τριακονταετία άρχισαν να γίνονται περισσότερο κατανοητές οι κλιματολογικές διακυμάνσεις μεγάλης κλίμακας της ατμόσφαιρας, όπως η διακύμανση του Νότου, που εκδηλώνεται με τα δύο φαινόμενα El Niño και La Niña, καθώς

και η διακύμανση του Βόρειου Ατλαντικού που δημιουργεί περιόδους ξηρασίας στην Μεσόγειο και τη Νότια Ευρώπη. Οι ετήσιες καιρικές συνθήκες σε ορισμένες περιοχές μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια των διακυμάνσεων των φαινομένων αυτών, γεγονός που είναι απολύτως φυσιολογικό και που συνδέεται με τις αλλαγές, οι οποίες προκύπτουν στην ατμοσφαιρική κυκλοφορία ως αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης ξηράς, θάλασσας και ατμόσφαιρας.

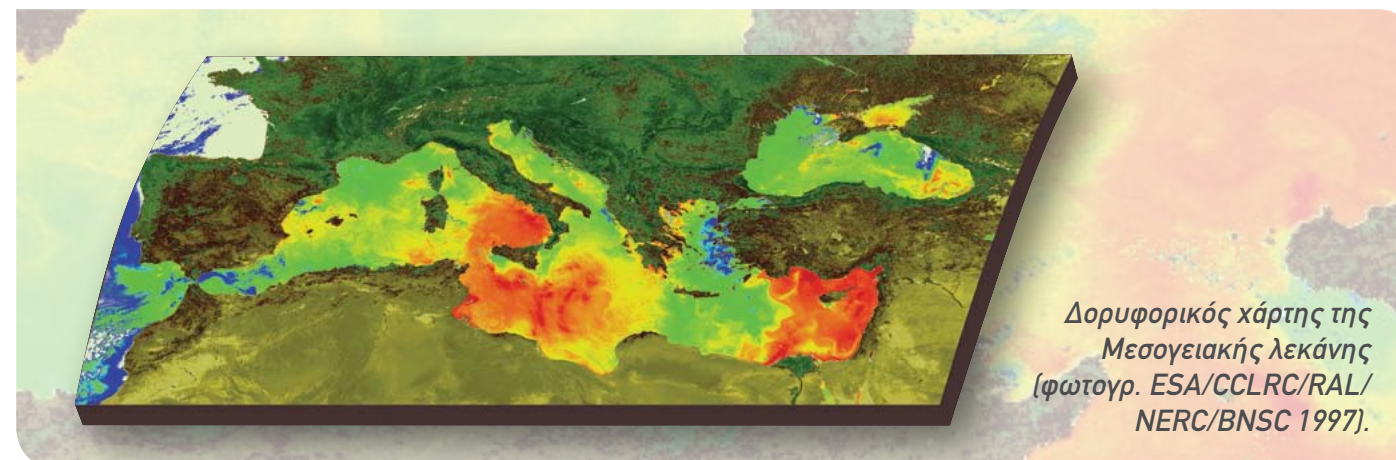
Ενώ, όμως, οι αστρονομικοί κύκλοι Milankovitch είναι η σημαντικότερη αιτία φυσικής μεταβλητότητας του κλίματος σε μία κλίμακα χιλιάδων ετών, οι ατμοσφαιρικές διακυμάνσεις, που ακόμα δεν είναι δυνατό να προβλεφθούν χρονικά ως προς το έτος εμφάνισής τους, είναι η σημαντικότερη αιτία φυσικής μεταβλητότητας του κλίματος στη συνοπτική

κλίματα κάθε δεκαετίας. Αυτή η φυσική και εποχική μεταβλητότητα του κλίματος επηρεάζει τα τοπικά οικοσυστήματα και τη λειτουργία των διαφόρων βιοχημικών κύκλων τοπικά. Οι διάφορες ροές, από την ατμόσφαιρα προς τους ωκεανούς και την ξηρά, αλλά και αντιστρόφως, ρυθμίζονται από τη θερμοκρασία και από τη διαθεσιμότητα των υδρατμών ή άλλων αερίων. Διάφορα τοπικά φαινόμενα μπορούν επίσης να έχουν σημαντικές επιπτώσεις στα οικοσυστήματα. Οι πυρκαγιές, οι πλημμύρες, οι ξηρασίες και οι καθιζήσεις του εδάφους είναι φυσικά φαινόμενα που μπορούν να προκαλέσουν τεράστιες καταστροφές στα τοπικά οικοσυστήματα.

Η βιοποικιλότητα που χαρακτηρίζει κάθε περιο-

χή του πλανήτη και τα οικοσυστήματα που αυτή προσδιορίζει έχουν απασχολήσει τη διεθνή κοινότητα εδώ και δεκαετίες. Με πρωτοβουλία του ΟΗΕ έχει συναφθεί ένας σημαντικός αριθμός διεθνών συμβάσεων για την προστασία της βιοποικιλότητας, της άγριας ζωής, των προστατευομένων περιοχών RAMSAR και NATURA (πρωτοβουλία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής), των βιοτόπων κ.ά.. Η χώρα μας, ειδικότερα, ανήκει στη Μεσογειακή λεκάνη, μια από τις σημαντικότερες περιοχές βιοποικιλότητας στον κόσμο, και χαρακτηρίζεται από σημαντικό αριθμό ενδημικών ειδών, αλλά και από σημαντικές απώλειες του αρχέτυπου πληθυσμού των ειδών της. Οι αλλαγές στα χαρακτηριστικά της βιοποικιλότητας και στους πληθυσμούς των ει-

Οι πυρκαγιές προκαλούν τεράστιες καταστροφές στα οικοσυστήματα.



δών εξαρτώνται από την ευαισθησία της κάθε περιοχής στις κλιματικές αλλαγές και από τους φυσικούς νόμους της «εξέλιξης των ειδών», αλλά και από τις ανθρώπινες παρεμβάσεις, καθώς και την κουλτούρα της κάθε περιοχής. Πολλές, από τις περιοχές και τα οικοσυστήματα που βλέπουμε και θαυμάζουμε σε όλο τον κόσμο θα υποβαθμιστούν ή θα εξαφανιστούν μετά από 50 ή 100 χρόνια με την συνεχή κλιματική αλλαγή. Ήδη έχουμε αντιληφθεί το δυσάρεστο αποτέλεσμα της σύγκρουσης του ανθρώπου με τη μητέρα Γη.

Η βιοποικιλότητα και το κλίμα κάθε τόπου είναι αλληλένδετα σε μια συνεχή φυσική διεργασία. Η συμπεριφορά της ατμόσφαιρας αλλάζει το παγκόσμιο κλίμα και οι παγκόσμιες αλλαγές επιδρούν τοπικά στο κάθε οικοσύστημα, μεταβάλλοντας σταδιακά την φύση του και κατά συνέπεια τις ροές ύλης και ενέργειας μεταξύ του κάθε οικοσυστήματος και της ατμόσφαιρας, μεταβάλλοντας έτσι και το παγκόσμιο «παζλ» του κλιματικού συστήματος. Η βιοποικιλότητα και το κλίμα συνδέονται προφανώς και με την ποιότητα των γεωργικών,

κτηνοτροφικών και αλιευτικών «πρωτογενών» προϊόντων. Η Μεσογειακή Διατροφή, για παράδειγμα, έχει αναδειχθεί τις τελευταίες δεκαετίες, μέσα από πληθώρα κλινικών και επιδημιολογικών μελετών, ότι παίζει σημαντικό ρόλο τόσο στην πρόληψη όσο και στην έκβαση πολύπλοκων ασθενειών, όπως οι καρδιαγγειακές παθήσεις. Η Μεσογειακή Διατροφή, με τα άφθονα θρεπτικά της συστατικά, τη σωστή αναλογία γευμάτων και το άφθονο ελαιόλαδο έχει διαπιστωμένη παγκόσμια αξία στην υγεία και στην ευεξία μας. Η βιοποικιλότητα, όμως, του κάθε τόπου, εκτός από τη παροχή πρώτων υλών άμεσης κατανάλωσης από την φύση (γεωργία, αλιεία, κτηνοτροφία), υποστηρίζει και έχει δημιουργήσει και πιο εξειδικευμένες περιοχές ανθρώπινων δραστηριοτήτων, όπως τη φαρμακευτική, την ποτοποιία, τη δημιουργία αρωμάτων, την τυποποιημένη διατροφή με ιδιαίτερη ονομασία προέλευσης, τη δημιουργία διατροφικών αποσταγμάτων και πιο πρόσφατα τη βιο-μυμητική.

Η φράση που αποδίδεται στον Αϊνστάιν, ότι «αν

κάποτε οι μέλισσες εκλείψουν, το ανθρώπινο είδος δεν θα αργήσει να τις ακολουθήσει», ισχύει προφανώς για αμέτρητα είδη του ζωικού βασιλείου, που είτε μας παρέχουν τρόφιμα, είτε ευεργετικές και θεραπευτικές ουσίες. Η σύγχρονη φαρμακολογία, για παράδειγμα, ως συνέχεια της βοτανικής, χρησιμοποιεί τα συστατικά των φυτών για πολλά εξειδικευμένα φάρμακα που σώζουν ζωές και φροντίζουν την υγεία μας.

Η βιο-μιμητική, από την άλλη, πηγάζει από την διαχρονική προσπάθεια του ανθρώπου να αντιγράψει τη φύση, είτε στην αεροπλοΐα, είτε στη ναυσιπλοΐα, είτε στην επιλεκτική αναπαραγωγή των ειδών. Πραγματικά, υπάρχουν ακόμα πολλά μυστικά της φύσης που θα ήταν χρήσιμο να μιμηθούμε. Με άλλα λόγια, ο σύγχρονος τομέας της βιο-μιμητικής έχει ως στόχο να αντιγράψει διαδικασίες της φύσης σε τεχνολογικές εφαρμογές. Ας αναλογισθούμε για παράδειγμα, ότι οι πρωτεϊνούχες ίνες του ιστού της αράχνης επιδεικνύουν όριο θραύσης αντίστοιχο με το ασάλι που παράγει η χαλυβουργία μας. Η «τεχνητή» φωτοσύνθεση, πάλι, χρησιμοποιεί την ηλιακή ακτινοβολία για το διαχωρισμό του νερού σε οξυγόνο και υδρογόνο, το οποίο θα είναι το επόμενο καθαρό καύσιμο για τα αυτοκίνητά μας. Η πράσινη φωσφορίζουσα πρωτεΐνη GFP που παρατηρείται στις μέδουσες χρησιμοποιείται σαν βιοχημικό διαγνωστικό εργαλείο για τη χαρτογράφηση βιολογικών δραστηριοτήτων του οργανισμού μας. Το δέρμα του καρχαρία ενέπνευσε την κατασκευή ειδικών μαγιό, που χρησιμοποιήθηκαν για πρώτη φορά στους Ολυμπιακούς Αγώνες του 2008, τα οποία όμως απαγορεύτηκαν στη συνέχεια από επίσημους αγώνες, και ήδη υπάρχουν αντί-



Η πρωτεΐνη GFP χρησιμοποιείται ως βιοχημικό διαγνωστικό εργαλείο.

στοιχες εφαρμογές στα ύφαλα των πλοίων. Ο Ελβετός μηχανικός George de Mestral (1907-1990), αφού αφαίρεσε τα αγκαθωτά φυτά που είχαν αγκυλωθεί στο τρίχωμα του σκύλου του εμπνεύστηκε το γνωστό κούμπωμα τύπου VELCRO.

Ένα άλλο παράδειγμα βιο-μιμητικής προέρχεται από τις φωλιές των τερμιτών, οι οποίες διατηρούν στο εσωτερικό τους σταθερές θερμοκρασίες, παρόλο που η ημερήσια διαφορά θερμοκρασίας έξω απ' αυτές μπορεί να υπερβαίνει τους 20 °C. Ο αρχιτέκτονας και μηχανικός Mick Pearce από την Zimbabwe, εμπνευσμένος από τη δομή που έχουν οι φωλιές των τερμιτών, κατασκεύασε ένα τεράστιο κτήριο γραφείων, όπου χρησιμοποιεί πολύ λιγότερη ενέργεια για ψύξη και θέρμανση. Το κτήριο έχει καμινάδες που αναρροφούν ψυχρό αέρα κατά την διάρκεια της νύκτας, ο οποίος χρησιμοποιείται προκειμένου να μειώσει τη θερμοκρασία στα δάπεδα, όπως ακριβώς συμβαίνει στις φωλιές των τερμιτών. Κατά τη διάρκεια της ημέρας τα δάπεδα διατηρούν μια ψυχρή σχετικά



Φωλιά τερμιτών.



Άποψη του κτηριακού συγκροτήματος που κατασκεύασε ο Mick Pearce.

επιφάνεια που μειώνει τις ανάγκες για χρήση κλιματιστικού.

Το 2004 επιστήμονες από τα πανεπιστήμια Duke και West Chester, καθώς και από την Ναυτική Ακαδημία των ΗΠΑ, ανακάλυψαν ότι τα «σαμαράκια» που υπάρχουν στα ακροπτερυγία των φαλαινών μειώνουν την τριβή κατά 32% και αυξάνουν την άνωση κατά 8%. Εταιρείες ήδη δανείζονται την βέλτιστη αυτή πρακτική στη σχεδίαση πτερυγίων για τουρμπίνες, αυξάνοντας με αυτό το τρόπο την αποτελεσματικότητα της παραγόμενης από την τουρμπίνα ενέργειας. Τα πουλιά που ταξιδεύουν μεγάλες αποστάσεις, πετούν αρκετά συχνά σε ένα σχηματισμό αγγλικού V. Επιστήμονες έχουν ανακαλύψει ότι σ' αυτήν την διάταξη το φτερούγισμα του κάθε πουλιού δημιουργεί ένα μικρό ανοδικό ρεύμα το οποίο «ανυψώνει» το πουλί που ακολουθεί. Επιστήμονες από το Πανεπιστήμιο Stanford υποστηρίζουν ότι εάν τα επιβατικά αεροπλάνα, που διανύουν μεγάλες αποστάσεις πετούσαν σε ένα αντίστοιχο σχήμα V αντί να πετούν μεμονωμένα, θα εξοικονομούσαν ακόμη και το 15% των καυσίμων τους.

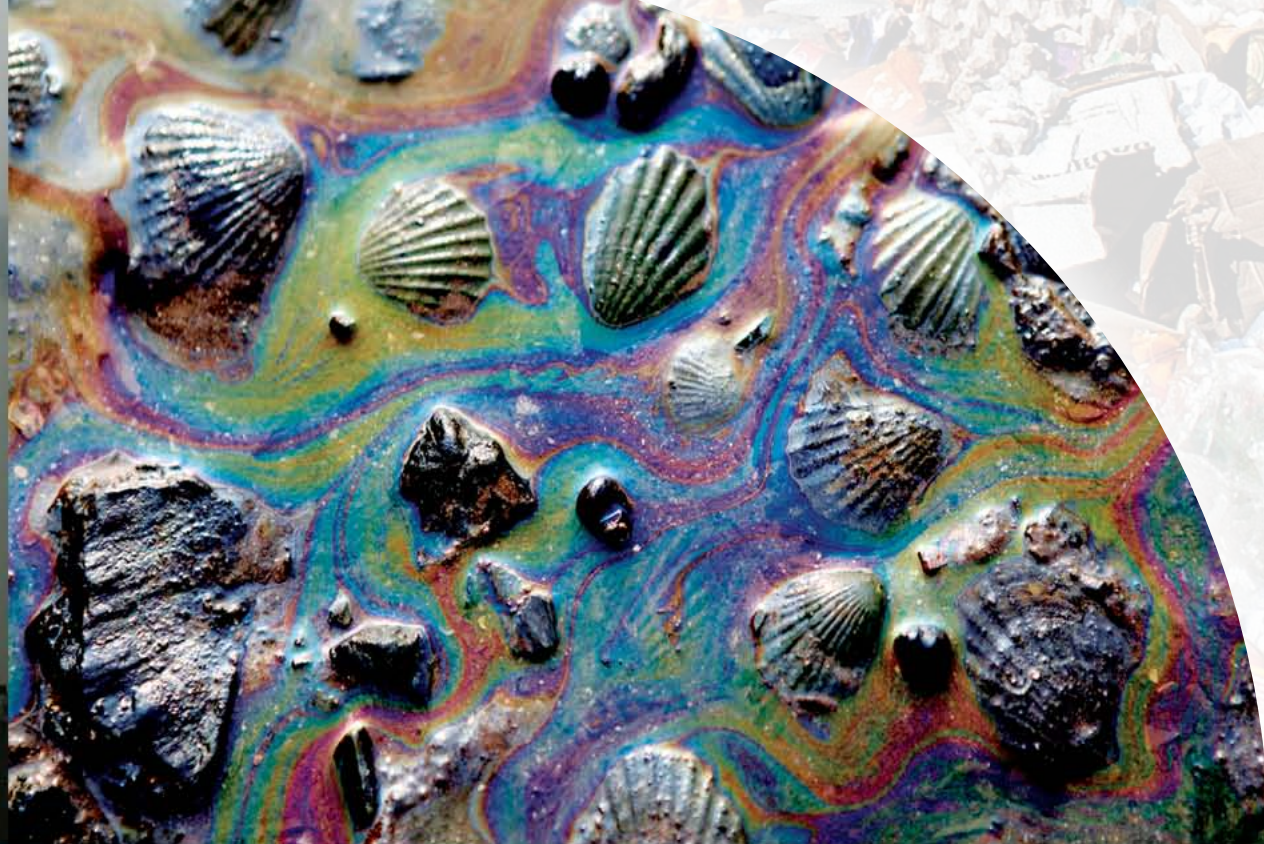
Το λουλούδι του λωτού έχει μια επιδερμίδα που απωθεί τη σκόνη και τα μικροσωματίδια του ατμοσφαιρικού αέρα και τα πετάλια του λαμποκοπούν. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στις μικροσκοπικές

προεξοχές που έχει η επιδερμίδα των πεταλιών οι οποίες απωθούν τους κόκκους της σκόνης, που τελικά απομακρύνονται από το νερό της βροχής. Η γερμανική εταιρεία Isro επένδυσε 4 χρόνια έρευνας και δημιούργησε εξωτερικές βαφές με αντίστοιχα χαρακτηριστικά, που διατηρούν την εξωτερική εμφάνιση των σπιτιών πιο «καθαρή». Το σκαθάρι *Stenocara*, πάλι, είναι «ειδικός» στη συλλογή νερού. Η επιβίωσή του στο απόλυτα ξηρό περιβάλλον της ερήμου δεν θα ήταν δυνατή χωρίς τις μικρές προεξοχές που έχει η ράχη του, οι οποίες λειτουργούν ως συλλέκτες νερού από την ατμόσφαιρα. Ερευνητές από το MIT κατασκεύασαν ένα αντίστοιχο υλικό, το οποίο συλλέγει νερό από την ατμόσφαιρα με μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα από ό,τι αντίστοιχο έχουμε κατασκευάσει έως τώρα.

Συμπερασματικά, έχουμε πολλά ακόμη να μάθουμε από την μελέτη της φύσης και των κλιματικών αλλαγών που την επηρεάζουν. Η δυνητική συνεισφορά της βιοποικιλότητας στην τοπική οικονομία προσδιορίζει σύγχρονες και επικεντρωμένες δράσεις αναπτυξιακού ενδιαφέροντος και κυρίως τοποθετεί την περιφέρεια, την τοπική παράδοση, τα οικοσυστήματα και τις κλιματικές αλλαγές στο επίκεντρο του προγραμματισμού βιώσιμων παραγωγικών δραστηριοτήτων και θέσεων εργασίας στην ύπαιθρο.

Σμήνος πουλιών που πετά σε σχηματισμό V.





Επίλογος: Ανθρωπογενείς Επιπτώσεις

Τα σύγχρονα θέματα της προστασίας του περιβάλλοντος και της αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής αφορούν σε όλες τις πολυποίκιλες ανθρώπινες δραστηριότητες που προκαλούν ρύπανση στον πλανήτη, ενεργειακή υπερκατανάλωση, περιορισμό των οικοσυστημάτων και μείωση της βιοποικιλότητας, αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου και μεταβολή των κλιματολογικών προτύπων. Η σημερινή, όμως, παγκόσμια εικόνα που μεταδίδεται σχεδόν ομοιόμορφα από όλα τα μέσα μαζικής ενημέρωσης δεν είναι τυχαία, αλλά προϊόν της διαχρονικής εξέλιξης της ανθρώπινης κοινωνίας με την αντίστοιχη θεώρηση της φύσης ως πόρου συνεχούς εκμετάλλευσης.

Με την οργανωμένη γεωργία και με τη συγκέντρωση του ανθρώπινου πληθυσμού σε πόλεις, οι δραστηριότητες του ανθρώπου μετακινήθηκαν από τη σφαίρα της ατομικής στην κοινωνική τους διάσταση. Από τότε αρχίσαμε να επεμβαίνουμε στο φυσικό μας κόσμο. Οι αρχαίοι Έλληνες φιλόσοφοι πρώτοι διατύπωσαν έννοιες σεβασμού προς το περιβάλλον ταυτόχρονα με την επιστημονική αναζήτηση του φυσικού μας κόσμου. Οι βασικές αρχέτυπες περιβαλλοντικές αξίες της δημόσιας υγιεινής τέθηκαν στον Ελληνικό και Ρωμαϊκό Κόσμο μαζί με την οργάνωση των πρώτων πόλεων.

Τα θέματα προστασίας του περιβάλλοντος, όμως, ελάχιστα απασχόλησαν τις Ευρωπαϊκές χώρες πριν από το 18^ο αιώνα. Το πρώτο, παγκοσμίως, δι-

άταγμα για την προστασία της ορνιθοπανίδας έγινε το 676 μ.Χ. από τον μοναχό Cuthbert για τα Αγγλικά νησιά Farne. Το Παρίσι το 1366 εξέδωσε διάταγμα που υποχρέωνε τους εκδορείς να μεταφέρουν τα απορρίμματά τους έξω από την πόλη. Τα δάση προσέλκυσαν στη συνέχεια το ενδιαφέρον και με την εγκαθίδρυση των Νορμανδών στην Αγγλία εμφανίστηκαν τα πρώτα «διατάγματα» για την αποκλειστική χρήση πολλών δρυμών από τους Βασιλείς και την αριστοκρατία για κυνήγι και αναψυχή. Το 1184 ο Ερρίκος II συγκέντρωσε κάθε άλλη προηγούμενη διάταξη και υπέγραψε τη Διάταξη των Δασών (Assize of the Forest) με αυστηρές ποινές στους λαθροκυνηγούς. Στη Γερμανία και στη Γαλλία από τον 14^ο αιώνα εκδόθηκαν κώδικες προστασίας δασών που αφορούσαν στη χρηστή διαχείριση του αποθέ-

Τα νησιά Farne.



ματος της ξυλείας. Η προστασία, όμως, των δασών στην Αγγλία οδήγησε στη χρήση μιας διαδεδομένης μορφής ορυκτού άνθρακα που βρισκόταν σε μεγάλες ποσότητες σαν βότσαλο στις παραλίες, το οποίο έγινε το κύριο καύσιμο για την θέρμανση και τη μεταλλουργία. Η επιλογή αυτή υποβάθμισε σημαντικά την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα στο Λονδίνο, προκαλώντας αναπνευστικά προβλήματα στους κατοίκους. Το 1271 ο Εδουάρδος I εξέδωσε αυστηρή διάταξη που απαγόρευε την πώληση και την καύση αυτού του ορυκτού. Παρόλο που η διάταξη εφαρμόστηκε βίαια και ο πρώτος Λονδρέζος που συνελήφθη εκτελέστηκε για παραδειγματισμό, η έλλειψη εναλλακτικής λύσης σε καύσιμα για τους κατοίκους οδήγησε στη ματαίωση της εφαρμογής. Η αιθαλομίχλη που σχηματιζόταν στο Λονδίνο, όταν επικρατούσαν οι κατάλληλες μετεωρολογικές συνθήκες, θα συνεχίσει να αποτελεί σημαντικό περιβαλλοντικό πρόβλημα για πολλούς αιώνες.

Μέχρι το τέλος του Μεσαίωνα, η διαβίωση στις μεγάλες πόλεις της Ευρώπης ήταν προβληματική από την άποψη της διαχείρισης των απορριμμάτων και της υγιεινής και η βουβωνική πανώλη βρήκε πρόσφορο έδαφος να θερίσει πάνω από το 30% του πληθυσμού της Ευρώπης μέσα σε λίγα χρόνια. Το αγγλικό κοινοβούλιο το 1388 εξέδωσε διάταγμα που απαγόρευε την απόρριψη ακαθαρσιών και σκουπιδιών στα ποτάμια, στα ρυάκια και στις λίμνες. Η περιβαλλοντική προστασία με την έννοια της υγιεινής και της διαχείρισης των απορριμμάτων ενσωματώθηκε υποχρεωτικά στις διατάξεις λειτουργίας των Ευρωπαϊκών πόλεων.

Η ραγδαία εξέλιξη της επιστημονικής σκέψης κατά την Αναγέννηση και κυρίως τον 16^ο, 17^ο και 18^ο αι-



Ο Ερρίκος II (φωτογρ. © National Portrait Gallery, London) (πάνω), ο Εδουάρδος I (κάτω).

ώνα ανέπτυξε τις θετικές επιστήμες και τις σύγχρονες μεθοδολογίες παρατήρησης και καταγραφής του φυσικού μας κόσμου. Οι τομείς της αστρονομίας, της μετεωρολογίας και της βοτανικής βρέθηκαν στο άμεσο και συνεχές ενδιαφέρον των επιστημόνων. Η προσπάθεια των ναυτικών δυνάμεων της Αγγλίας, της Ισπανίας και της Πορτογαλίας να αυξήσουν τις εμπορικές συναλλαγές με τις πλουτοπαραγωγικές περιοχές, συνοδεύτηκε με την πρώτη συστηματική καταγραφή των ειδών. Στις αρχές του 18^{ου} αιώνα 20.000 περίπου είδη είχαν καταγραφεί σε ειδικούς καταλόγους από τους εξερευνητές της εποχής. Η Βοτανική, με την σημερινή έννοια της παρακολούθησης και της καταγραφής της βιοποικιλότητας, άρχισε να οργανώνεται συστηματικά και στις ημέρες μας έχουν καταγραφεί και ταξινομηθεί περίπου 1.800.000 είδη.

Η προστασία της φύσης και του περιβάλλοντος φαίνεται να αρχίζει να απασχολεί τους Ευρωπαίους πολίτες από τα μέσα του 19^{ου} αιώνα και οι Φίλοι του Μέλανος Δρυμού (The Schwarzwaldverein), που ιδρύθηκαν το 1864 και σήμερα αριθμούν πάνω από 90.000 μέλη, είναι η πρώτη κοινωνική προσπάθεια προστασίας των δασών στην Ευρώπη. Οι Schwarzwaldverein, έχουν αναγνωρισμένες αρμοδιότητες στη χάραξη και τη συντήρηση των μονοπατιών, στην ανάδειξη της τοπικής κοινωνικής και πολιτισμικής κουλτούρας και στην περιβαλλοντική προστασία του Δρυμού.

Όπως είναι φυσικό οι Ευρωπαϊκοί και οι Παγκόσμιοι Πόλεμοι, οι εδαφικές διαμάχες και διαφορές σταμάτησαν κάθε δραστηριότητα προστασίας της φύσης στην Ευρώπη για πολλές δεκαετίες και οι κοινωνίες, μπροστά στη φρίκη των πολέμων και

της επιβίωσης, σταμάτησαν κάθε δραστηριότητα που αφορούσε στην προστασία του περιβάλλοντος. Τα σύγχρονα θέματα της προστασίας της φύσης, της βιοποικιλότητας και της αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής έχουν εδραιωθεί πλέον στην ευρωπαϊκή πολιτική agenda και όλοι οι πολιτικοί σχηματισμοί διακηρύσσουν σε όλους τους τόνους τη περιβαλλοντική τους ευαισθησία. Για την ιστορία πρέπει να γνωρίζουμε ότι η θεσμική προστασία της φύσης, των οικοσυστημάτων και της βιοποικιλότητας δεν ξεκίνησε από τον πολιτικό στίβο και τα Εθνικά Κοινοβούλια ή την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, αλλά από τον Οργανισμό Ηνωμένων Εθνών (ΟΗΕ).

Ο ΟΗΕ από τα τέλη της δεκαετίας του '60 άρχισε να επεξεργάζεται τα διάφορα περιβαλλοντικά θέματα και σταδιακά προώθησε με απόλυτη επιτυχία ένα σημαντικό αριθμό παγκόσμιων συνθηκών (εκτός της συνθήκης για την κλιματική αλλαγή), που αφορούν στην προστασία της φύσης και της βιοποικιλότητας, όπως οι ακόλουθες:

1. Η Σύμβαση RAMSAR για την προστασία των διεθνούς ενδιαφέροντος υγροτόπων και βιοτόπων (1971).
2. Η Σύμβαση για την προστασία της παγκόσμιας φυσικής και πολιτιστικής κληρονομιάς (Παρίσι 1972).
3. Η Σύμβαση για την πρόληψη της ρύπανσης της θάλασσας από απορρίψεις καταλοίπων και άλλων ειδών (Λονδίνο 1972).
4. Η Σύμβαση για τη διατήρηση της άγριας ζωής και του φυσικού περιβάλλοντος της Ευρώπης (Βέρνη 1979).
5. Η Σύμβαση για την προστασία της στοιβά-

δας του όζοντος και το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ, το 1987.

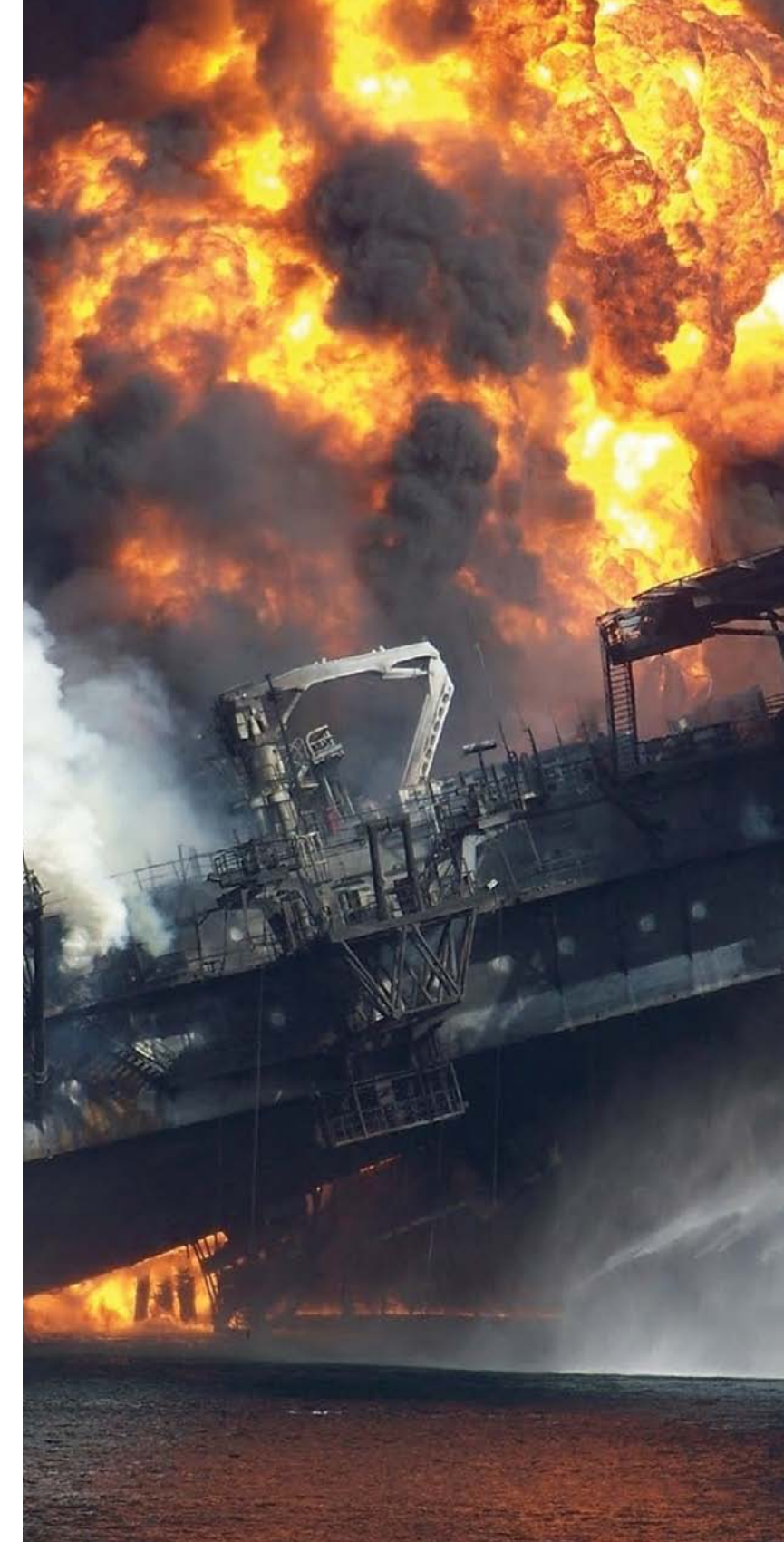
6. Η Σύμβαση για την προστασία και χρήση των διασυνοριακών υδάτων και των διεθνών λιμνών (Ελσίνκι 1992).
7. Η Σύμβαση για την Προστασία της Βιοποικιλότητας (Ρίο 1992).

Στο χώρο της Ευρωπαϊκής πολιτικής, το περιβάλλον άρχισε να αναδεικνύεται ως θέμα αρκετά αργότερα, αφού το πρώτο «Πράσινο» Κόμμα της Ευρώπης δημιουργήθηκε στη Γερμανία το 1980 και έγινε κυρίως γνωστό για τον αγώνα του κατά της πυρηνικής ενέργειας. Τις δεκαετίες που ακολούθησαν όλα τα Ευρωπαϊκά πολιτικά κόμματα άρχισαν να διατυπώνουν «πράσινες» θέσεις στα καταστατικά τους κείμενα και στις πολιτικές τους.

Η ανθρωπογενής ρύπανση του φυσικού περιβάλλοντος μέσω μιας σειράς ρύπων-ζιζανιοκτόνων, φυτοφαρμάκων, λιπασμάτων, πετρελαιοκηλίδων, βιομηχανικών και οικιακών αποβλήτων είναι μορφές καταστροφικής παρέμβασης στο φυσικό περιβάλλον. Οι ρύποι στην ατμόσφαιρα και την υδρόσφαιρα είναι συχνά αόρατοι και τα αποτελέσματά τους μπορεί να μην είναι αμέσως εμφανή, ωστόσο η καταστροφή είναι μακροπρόθεσμη και δύσκολα αναστρέψιμη.

Ο άνθρωπος, όμως, μπορεί να επηρεάσει την βιοποικιλότητα σε ένα οικοσύστημα με την εισαγωγή σ' αυτό νέων ζώων και φυτών. Έχει παρατηρηθεί ότι αρκετά από τα νέα είδη που εγκλιματίζονται εί-

Η ρύπανση του φυσικού περιβάλλοντος είναι καταστροφική.





Ερυθρά παλίρροια σε ακτή του Τέξας (φωτογρ. Chase Fountain, Texas Parks & Wildlife).

ναι δυνατό μέσω της θήρευσης και του ανταγωνισμού για την επιβίωση, να προκαλέσουν περιορισμό ή και εξαφάνιση γηγενών ειδών ιδιαίτερα σε οικοσυστήματα όπως οι νησιωτικές περιοχές, όπου τα αυτόχθονα είδη έχουν εξελιχθεί σε απομόνωση.

Η απομάκρυνση υπερβολικού αριθμού ζώων ή φυτών από ένα σύστημα μπορεί να προκαλέσει μεγάλες οικολογικές αλλαγές, αφού μεταβάλλεται η τροφική αλυσίδα. Το σημαντικότερο παράδειγμα σήμερα είναι η υπεραλίευση των ωκεανών και η συνεχώς παρατηρούμενη μείωση των αποθεμά-

των σε διάφορα είδη ψαριών, γεγονός που επηρεάζει την ισορροπία των θαλάσσιων οικοσυστημάτων.

Η επίδραση του ανθρώπου στους βιοχημικούς κύκλους έχει προφανώς πρόδρομα αποτελέσματα όπως η όξινη βροχή, ο ευτροφισμός και η ερυθρά παλίρροια (μεγάλη αύξηση της συγκέντρωσης φυτοπλαγκτόν) που καταστρέφουν τα οικοσυστήματα. Μόνο από την επέμβαση στην υπεδάφια συστασία του υδρολογικού κύκλου με τις επαναλαμβανόμενες αντλήσεις νερού, αλατούχα ύδατα από τους πυθμένες των λιμνών ή των ποταμών



Το ηλιακό εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας Gemasolar στην Σεβίλλη της Ισπανίας (φωτογρ. Copyright © 2010 Torresol Energy Investments, S.A.).

μεταφέρονται στις υπόγειες υδατοδεξαμενές που προοδευτικά εμπλουτίζονται με σημαντικές ποσότητες αλάτων, με σημαντικές επιπτώσεις στην τοπική χλωρίδα.

Κατά τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα καταλάβαμε σιγά-σιγά το πόσο ευμετάβλητο είναι το περιβάλλον στο οποίο ζούμε και έχουμε αναγνωρίσει μια σειρά από καλές πρακτικές που θα βοηθήσουν στον περιορισμό της επίδρασής μας στο περιβάλλον, όπως είναι η επαναχρησιμοποίηση και η ανακύκλωση, η ενεργειακή αποτελεσματικότητα, η χρήση φιλικότε-

ρων προς το περιβάλλον τεχνολογιών μετακίνησης, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας κ.ά.. Ανεξάρτητα, όμως, του τι γνωρίζουμε ή πιστεύουμε, το περιβάλλον στο οποίο ζούμε υποβαθμίζεται. Αυτό οφείλεται στις δραστηριότητές μας και θα μας απασχολεί για πάρα πολύ καιρό ακόμα, ίσως και συνέχεια.

Η «Οικονομία» που αφορά στην προστασία του περιβάλλοντος είναι σημαντική και οι συμβάσεις των Ηνωμένων Εθνών συνοδεύονται από ένα σημαντικό οικονομικό κόστος ενεργειών και δράσεων για τους συνυπογράφοντες. Τα τελευταία 25 πε-



Το τάνκερ Exxon Valdez (φωτογρ. NOAA).

ράδειγμα, μπορεί να αποδοθεί στο ατύχημα του Chernobyl ή σε μια πολυετή περίοδο ξηρασίας; Ακόμα και στην περίπτωση των πετρελαιοκηλίδων που θεωρούνται από τις σημαντικότερες περιβαλλοντικές κρίσεις, οι αρχικές οικονομικές απαιτήσεις μετά από πολυετείς δικαστικούς αγώνες μειώνονται σημαντικά. Ας θυμηθούμε ότι οι αποζημιώσεις για το ατύχημα του Exxon Valdez στην Αλάσκα το 1989 κατέληξαν μετά από 20 χρόνια δικαστικών αγώνων σε 507 εκ. δολάρια από 2,5 δισ. δολάρια, που ήταν οι αρχικές απαιτήσεις. Οι αποζημιώσεις που αφορούν στις πετρελαιοκηλίδες συνδέονται με την απώλεια εισοδήματος των πληγέντων, αφού το κόστος των απωλειών σε βιοποικιλότητα και σπάνια οικοσυστήματα δύσκολα αποτιμάται.

Οι 33.000 πληγέντες (κυρίως ψαράδες) από το ατύχημα Exxon Valdez άρχισαν να αποζημιώνονται από την πολυεθνική εταιρεία μετά από 20 χρόνια και όλοι αντιλαμβανόμαστε τι σημαίνει αυτό για την πραγματική οικονομία μιας περιοχής και τη βιωσιμότητα των κατοίκων της.

Αναμφίβολα, όμως, η πιο επιτυχημένη από τις προαναφερόμενες Συμβάσεις είναι η Σύμβαση για τη προστασία της στοιβάδας του όζοντος χάρη στην οποία σταμάτησε η παραγωγή και η χρήση των χλωροφθορανθράκων. Όπως μάλιστα ευελπιστούν οι επιστήμονες η στοιβάδα του όζοντος αναμένεται να επανέλθει στα κανονικά ατμοσφαιρικά επίπεδα σε 50 περίπου χρόνια. Είναι προφανές ότι η «οικονομία» και το κόστος των περιβαλλοντικών συμβάσεων είναι σύνθετοι μηχανισμοί, που σχετίζονται με την πρόληψη αλλά και τη σταθερότητα στην εφαρμογή της νομοθεσίας. Οι καθυστερήσεις στην εφαρμογή της νομοθεσίας αυξάνουν το κόστος που απαιτείται για την αποκατάσταση και χρονικά την επεκτείνουν σε μακροοικονομικό ορίζοντα. Το κόστος της προστασίας της βιοποικιλότητας και των περιοχών NATURA για παράδειγμα θα είναι συνεχές και «αιώνιο», ενώ η σημερινή οικονομική κρίση όπως και άλλες του παρελθόντος ξεπερνιέται ανεξάρτητα εάν αφήνει θύματα και εάν τα τοκοχρεολύσια συνεχίζονται για μερικά ακόμη χρόνια.

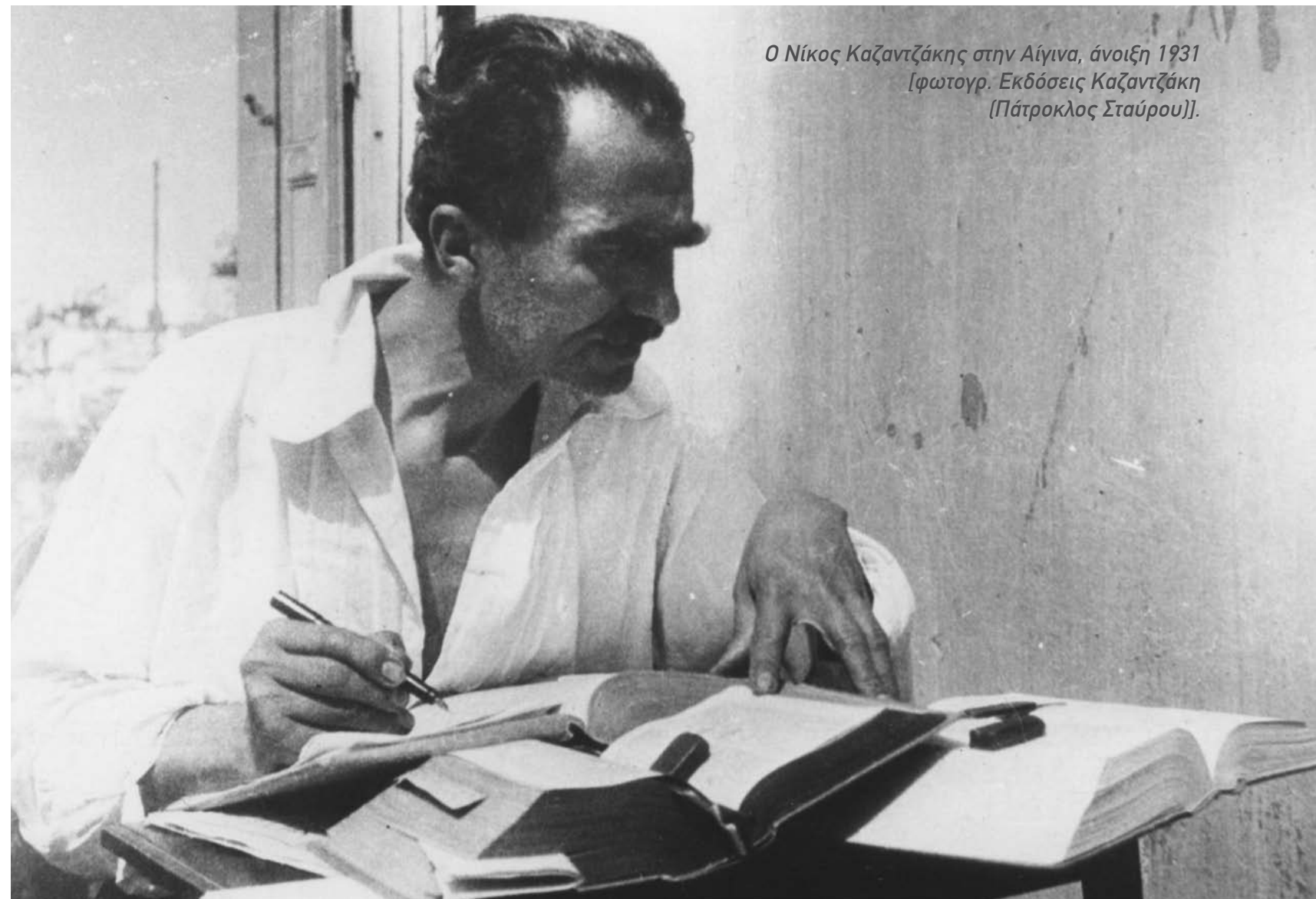
Τα περιβαλλοντικά προβλήματα, όπως και τα κλιματολογικά φαινόμενα, εμφανίζονται σε διάφορες χωρικές και χρονικές κλίμακες και επηρεάζουν όλη την κοινωνία, αλλά κυρίως τα ασθενέστερά της στρώματα που δεν έχουν την δυνατότητα προστασίας. Η κατάσταση πιθανώς να αναστραφεί εάν βαδίσουμε προς τη σωστή κατεύθυνση.

Ας θυμηθούμε τα λόγια του Νίκου Καζαντζάκη στην Ασκητική του για την φύση:

«Ένα σύνθημα, σα συνωμότες, ένα λόγο απλό να προφτάσω να πω στους συντρόφους! Ναι, σκοπός της Γης δεν είναι η ζωή, δεν είναι ο άνθρωπος. Έζησε χωρίς αυτά, θα ζήσει χωρίς αυτά. Είναι σπιθες εφήμερες της βίαιης περιστροφής της. Ας ενωθούμε, ας πιαστούμε σφιχτά, ας σμίξουμε τις

καρδιές μας, ας δημιουργήσουμε εμείς, όσο βαστάει ακόμα η θερμοκρασία τούτη της Γης, όσο δεν έρχονται σεισμοί, κατακλυσμοί, πάγοι, κομήτες να μας εξαφανίσουν, ας δημιουργήσουμε έναν εγκέφαλο και μιαν καρδιά στη Γη ας δώσουμε ένα νόημα ανθρώπινο στον υπερανθρώπινον αγώνα!».

[Νίκου Καζαντζάκη, Ασκητική, Εκδόσεις Καζαντζάκη (Πάτροκλος Σταύρου), Αθήνα 2005]].



Ο Νίκος Καζαντζάκης στην Αίγινα, άνοιξη 1931 [φωτογρ. Εκδόσεις Καζαντζάκη (Πάτροκλος Σταύρου)].

Βιβλιογραφία

- Archer, David, The long thaw: how humans are changing the next 100.000 years of earth's climate, Princeton University Press, 2009.
- Coley, David A., Energy and climate change: creating a sustainable future, Wiley, 2008.
- Condie, Kent C., Earth as an evolving planetary system, Elsevier/Academic Press, 2011.
- Cotton, William R., Human impacts on weather and climate, Cambridge University Press, 2007.
- Deacon, Margaret, Understanding the oceans: a century of ocean exploration, UCL Press, 2001.
- Dow, Kirstin, Άτλας των κλιματικών αλλαγών: χαρτογραφώντας τη μεγαλύτερη παγκόσμια πρόκληση, Polaris, 2008.
- Fortey R., Life: a natural history of the first four billion years of life on Earth, New York: Alfred A. Knopf, 1998.
- Gautier, Catherine, Oil, water, and climate : an introduction, Cambridge University Press, 2008.
- Graedel, Thomas E., Atmosphere, climate, and change, Scientific American Library, 1995.
- Harrington, Jonathan Henry, The climate diet: how you can cut carbon, cut costs and save the planet, Earthscan, 2008.
- Hill, Marquita K., Understanding environmental pollution: a primer, Cambridge University Press, 2008.
- Houghton, John T., Global warming: the complete briefing, Cambridge University Press, 2009.
- Kolbert, Elizabeth, Ημερολόγιο μιας καταστροφής: άνθρωπος, φύση και κλιματική αλλαγή, Ωκεανίδα /ΑΒΓΟ, 2007.
- Lang, Kenneth R., Sun, earth and sky, Berlin: Springer, 1997.
- Linacre, Edward, Climates and weather explained, Taylor & Francis/Routledge, 1997.
- Lionello, Piero, The climate of the Mediterranean Region: from the past to the future, Elsevier, 2012. Megascience, the OECD Forum, Global change of planet earth, OECD, 1994.
- Moldwin, Mark, An introduction to space weather, Cambridge University Press, 2008.
- Potter, Thomas D., Handbook of weather, climate, and water: dynamics, climate, physical meteorology, weather systems, and measurements, Wiley/Interscience, 2003.
- Worldwatch Institute , Η κατάσταση του κόσμου 2009: η κλιματική αλλαγή μόλις άρχισε Ευ-ώθυμος Οικολογική Βιβλιοθήκη, 2009.
- Young, Helen, Οργισμένη φύση: από τις χιονοστιβάδες έως τους κυκλώνες, Σαββάλας, 2002.
- Ζαφειρόπουλος, Δημήτρης, Ο γαλάζιος πλανήτης μια εισαγωγή στην ωκεανογραφία, Αθήνα: Leader Books, 2001.
- Μάργαρης, Ν. Σ., Περιβάλλον: η υγεία του πλανήτη, Δημοσιογραφικός Οργανισμός Λαμπράκη, 2002.

Συντελεστές παράστασης

αφήγηση

ΑΦΡΟΔΙΤΗ ΣΗΜΙΤΗ

σκηνοθετική επιμέλεια

GUY BROCHARD
ΕΥΓΕΝΙΑ ΤΙΚΤΑΠΑΝΙΔΟΥ
The Earth and Me
MICHAEL DAUT

Ice Worlds

σκηνοθετική προσαρμογή

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΣΙΜΟΠΟΥΛΟΣ

μουσική

ΚΩΣΤΑΣ ΧΑΤΖΟΠΟΥΛΟΣ (ΑΝΕΜΟΣ)

κείμενο αφήγησης

ΑΛΕΞΗΣ ΔΕΛΗΒΟΡΙΑΣ
ΕΥΓΕΝΙΑ ΤΙΚΤΑΠΑΝΙΔΟΥ

επιστημονική επιμέλεια

ΒΑΣΙΛΗΣ ΚΩΣΤΟΠΟΥΛΟΣ
ΑΛΕΞΗΣ ΔΕΛΗΒΟΡΙΑΣ

εκτέλεση παραγωγής

ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ Π. ΣΙΜΟΠΟΥΛΟΣ

διεύθυνση παραγωγής

ΜΑΝΟΣ ΚΙΤΣΩΝΑΣ

3D animation & computer graphics

GUY BROCHARD
ΕΥΓΕΝΙΑ ΤΙΚΤΑΠΑΝΙΔΟΥ

additional animation

KEN CARLSON
MARTY SISAM
DON DAVIS
MATHIJS BRUSSAARD
JOHANNES BEVELANDER
PETER GEERTS
KEES VAN DER VIJVER

post-production video

ΓΙΑΝΝΗΣ ΒΑΜΒΑΚΑΣ

fulldome technical support

ΦΙΛΙΠΠΟΣ ΛΟΥΒΑΡΗΣ
ΧΡΗΣΤΟΣ ΧΡΗΣΤΟΓΙΩΡΓΟΣ

σχεδιασμός & μίξη ήχου

ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ Κ. ΚΑΤΣΑΡΗΣ

ενορχήστρωση

ΚΩΣΤΑΣ ΧΑΤΖΟΠΟΥΛΟΣ (ΑΝΕΜΟΣ)

φωνητικά

ΚΑΤΕΡΙΝΑ ΝΙΤΣΟΠΟΥΛΟΥ (ΑΝΕΜΟΣ)

συμμετέχουν οι μουσικοί

ΔΗΜΗΤΡΗΣ ΓΟΥΖΙΟΣ

τσέλο

ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ ΚΑΛΤΣΑΣ

μπάσο

ΚΩΣΤΑΣ ΚΑΡΑΚΑΤΣΑΝΗΣ

φυσσαρμόνικα

ΚΩΣΤΑΣ ΧΑΤΖΟΠΟΥΛΟΣ

κιθάρα, synth, φλάουτο

computer graphics & 3D animation services

THE ANIMONAUTES
Θεσσαλονίκη

EVANS & SUTHERLAND
Salt Lake City, Utah

MIRAGE 3D STUDIO
The Hague, Netherlands

fulldome & post-production video services

ΕΥΓΕΝΙΔΕΙΟ ΠΛΑΝΗΤΑΡΙΟ

post-production audio services

STARGAZER AUDIO
Ιδρύματος Ευγενίδου

θερμές ευχαριστίες

EUROPEAN SPACE AGENCY
NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE
ADMINISTRATION

παραγωγή

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ
THE ANIMONAUTES

© 2014





ΣΕΛΙΔΟΠΟΙΗΣΗ - ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ ΕΚΔΟΣΕΩΣ: ΕΚΔΟΤΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ