

1.1. Η ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΤΗΣ ΟΙΚΟΛΟΓΙΑΣ

Η οικολογία είναι μία επιστήμη της ζωής. Αντίθετα, όμως, απ' ό,τι ισχύει για τις άλλες επιστήμες, το θεματικό της πεδίο για πολλούς είναι προφανές: συνδέεται με καταστροφές, διαταραχές, ρύπανση, μόλυνση ή αντίστροφα με την άγρια φύση, την προστασία, το πράσινο, το μη τεχνολογικό. Αλλά αυτές δεν είναι παρά μονοδιάστατες, απλοϊκές προσεγγίσεις που οφείλονται στο γεγονός ότι η λέξη έχει μπει στο καθημερινό μας λεξιλόγιο με περιεχόμενο που άπτεται αλλά καθόλου δεν ταυτίζεται με το επιστημονικό της ανάλογο.

Πεδίο δράσης της επιστήμης της Οικολογίας είναι η **βιόσφαιρα**, εκείνο δηλαδή το τμήμα του πλανήτη που συντηρεί ή μπορεί να συντηρήσει ζωή. Η βιόσφαιρα δεν είναι παρά μια πολύ λεπτή στιβάδα λίγο κάτω και λίγο πάνω από την επιφάνεια της Γης, στο έδαφος, στο νερό και στον αέρα. Περιλαμβάνει, δηλαδή, κομμάτια της λιθόσφαιρας, της υδρόσφαιρας και της ατμόσφαιρας. Ό,τι έχει σχέση με τη ζωή διεξάγεται μέσα στη βιόσφαιρα. Και ό,τι έχει σχέση με τη ζωή μεταβάλλεται. Οργανισμοί γεννιούνται και πεθαίνουν, μεταναστεύουν, αλληλεπιδρούν με άλλους, όμοιους ή διαφορετικούς, προσαρμόζονται, εξελίσσονται ή εξαφανίζονται, πάντα υπό την επίδραση παραγόντων του περιβάλλοντός τους.

Για να συναγάγει τα συμπεράσματά της σε σχέση με αυτά που συμβαίνουν στη βιόσφαιρα, η Οικολογία στηρίζεται σε στοιχεία που της παρέχουν οι άλλες βιολογικές επιστήμες, όπως η γενετική, η εξέλιξη, η φυσιολογία, η νηθολογία, αλλά και το σύνολο σχεδόν των φυσικών επιστημών, όπως η χημεία, η φυσική, η μετεωρολογία, η γεωλογία, τα μαθηματικά, κλπ. Οι μεθοδολογικές της προσεγγίσεις συχνά χαρακτηρίζονται από μεγάλη πολυπλοκότητα, αφού χρειάζεται να διερευνήσει όχι μόνο ιδιαίτερα πολύπλοκα αλλά και εξαιρετικά μεταβλητά συστήματα.

Ένα από τα στοιχεία που διαφοροποιούν την Οικολογία από τις άλλες βιολογικές επιστήμες είναι ότι αντιμετωπίζει τους οργανισμούς όχι απομονωμένα, αλλά πάντα σε σχέση με το περιβάλλον τους. Δεν είναι η πρώτη επιστήμη που αντιμετώπισε έτσι τη ζωή. Πρόγονος της Οικολογίας είναι η **Φυσική Ιστορία** (Natural History). Όπως όμως εξελίσσεται η ζωή, έτσι εξελίσσονται και τα παράγωγα της ανθρώπινης δραστηριότητας, ανάμεσά τους και οι επιστήμες αλλά και η ειδική τους ορολογία.

Η πρώτη φορά που χρησιμοποιήθηκε ο όρος **οικολογία** ήταν από τον Haeckel, το 1866. Όμως, τόσο αυτός όσο και τα παράγωγά του δεν άρχισαν να χρησιμοποιούνται ευρέως παρά μόνο μετά τα μέσα του 20^{ού} αιώνα. Ο Haeckel

όρισε την οικολογία ως την επιστημονική μελέτη των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των οργανισμών και του περιβάλλοντός τους. Καθώς τόνισαν αρκετοί, αν αυτό είναι οικολογία τότε πολύ λίγα απομένουν που δεν είναι οικολογία.

Επανελημμένες απόπειρες έγιναν έκτοτε ώστε να δοθεί ένας περισσότερο 'αυστηρός' και ταυτόχρονα περιεκτικός ορισμός της οικολογίας (π.χ. Elton 1927, Andrewartha 1961, Odum 1971, κλπ). Δεν θεωρούμε σκόπιμο να επεκταθούμε στις διαδοχικές αυτές προσπάθειες, πολύ περισσότερο που δεν οδήγησαν σε καθολικά αποδεκτό αποτέλεσμα. Θα σταθούμε, ωστόσο σ' αυτήν του Krebs (1972, από Krebs 2001), ο οποίος όρισε την οικολογία ως τον επιστημονικό κλάδο που μελετά τις αλληλεπιδράσεις που καθορίζουν τη διανομή και αφθονία των οργανισμών. Ο ορισμός αυτός επισημαίνει τον απώτερο στόχο της οικολογικής έρευνας που είναι η ερμηνεία της διανομής και αφθονίας των οργανισμών. Δηλαδή, πού υπάρχουν, πόσοι υπάρχουν, πώς μεταβάλλονται και γιατί. Αφήνει απ' έξω την έννοια *περιβάλλον*. Ωστόσο, το περιβάλλον ενός οργανισμού συνίσταται από όλους εκείνους τους παράγοντες, έξω από τον οργανισμό, που τον επηρεάζουν, ανεξάρτητα αν είναι φυσικοί ή χημικοί (αβιοτικοί) ή αν είναι άλλοι οργανισμοί (βιοτικοί). Οι αλληλεπιδράσεις, στον ορισμό του Krebs, αφορούν όλους αυτούς τους παράγοντες. Έτσι το περιβάλλον, παρότι ανομολόγητο, καταλαμβάνει κυρίαρχη θέση, όπως και στον πρωταρχικό ορισμό του Haeckel.

Οι *επιστήμες* όμως ούτε στατικές είναι ούτε απόλυτα περιχαρακωμένες. Έτσι υπάρχουν αξιοσημείωτες επικαλύψεις μεταξύ Οικολογίας και άλλων Βιολογικών Επιστημών, ενώ συνεχώς αναδύονται νέοι επιστημονικοί κλάδοι που κινούνται στη μεσόφαση τους διαφοροποιούμενοι με βάση την προσέγγιση που επιχειρούν ή την εστίασή τους. Η Περιβαλλοντική Φυσιολογία, η Γενετική Πληθυσμών, η Οικολογική Γενετική, η Ηθολογία, η Εξελικτική Οικολογία, η Χημική Οικολογία, κ.α. έχουν παραγάγει πλούτο πληροφοριών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ερμηνεία της αφθονίας και διανομής των οργανισμών. Οι κατευθύνσεις που έχει και παίρνει η οικολογική έρευνα σήμερα γίνονται εμφανείς και από τα έγκριτα διεθνή περιοδικά στα οποία δημοσιεύουν τα αποτελέσματά τους οι σχετικοί επιστήμονες. Στον Πίν. 1.1 δίνονται οι τίτλοι και η χρονολογία πρώτης κυκλοφορίας μερικών από αυτά. Το παλαιότερο 'American Naturalist' (Αμερικανός Φυσιολόγος) εμφανίστηκε το 1867 αντικατοπτρίζοντας και την ορολογία της εποχής, ενώ το πιο πρόσφατο 'Theoretical Ecology' (Θεωρητική Οικολογία), μόλις το 2008.

Πίνακας 1.1. Ενδεικτικοί τίτλοι μερικών από τα σημαντικά διεθνή οικολογικά περιοδικά και χρονολογία έναρξης της κυκλοφορίας τους.

Περιοδικά	Χρονολογία κυκλοφορίας	Ελληνική απόδοση*
<i>Γενικής οικολογικής θεματολογίας</i>		
Advances in Ecological Research	1962	Πρόοδοι στην Οικολογική Έρευνα
American Naturalist	1867	Αμερικανός Φυσιολόγος
Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics	1970	Ετήσια Ανασκόπηση Οικολογίας, Εξέλιξης και Συστηματικής
Ecology	1920	Οικολογία
Journal of Ecology	1912	Αρχείο Οικολογίας
Ecology Letters	1998	Γράμματα Οικολογίας
Ecological Applications	1991	Οικολογικές Εφαρμογές
Ecological Monographs	1931	Οικολογικές Μονογραφίες
Ecography	1992	Οικογραφία
Oikos	1949	Οίκος
Oecologia	1963	Οικολογία
<i>Εστιασμένα</i>		
Behavioral Ecology	1990	Οικολογία Συμπεριφοράς
Conservation Biology	1987	Βιολογία Διατήρησης
Ecological Modelling	1975	Οικολογική Προτυποποίηση
Ecological Economics	1989	Οικολογική Οικονομολογία
Ecological Engineering	1995	Οικολογική Μηχανολογία
Ecotoxicology	1992	Οικοτοξικολογία
Evolutionary Ecology	1989	Εξελικτική Οικολογία
Functional Ecology	1987	Λειτουργική Οικολογία
Human Ecology	1972	Ανθρώπινη Οικολογία
Journal of Animal Ecology	1933	Αρχείο Οικολογίας Ζώων
Journal of Applied Ecology	1966	Αρχείο Εφαρμοσμένης Οικολογίας
Journal of Chemical Ecology	1975	Αρχείο Χημικής Οικολογίας
Journal of Freshwater Ecology	1981	Αρχείο Οικολογίας Γλυκών Υδάτων
Journal of Tropical Ecology	1985	Αρχείο Οικολογίας Τροπικών
Marine Ecology	1969	Θαλάσσια Οικολογία
Microbial Ecology	1975	Μικροβιακή Οικολογία
Molecular Ecology	1992	Μοριακή Οικολογία
Restoration Ecology	1993	Οικολογία Αποκατάστασης
Theoretical Ecology	2008	Θεωρητική Οικολογία
Trends in Ecology and Evolution	1986	Τάσεις σε Οικολογία και Εξέλιξη
Urban Ecology	1975	Αστική Οικολογία

* Δεν πρόκειται για επίσημη μετάφραση αλλά απόπειρα απόδοσης στα Ελληνικά των τίτλων των περιοδικών από τη συγγραφέα.

1.1.1. Ορισμοί και προσεγγίσεις

Όλες οι *βιολογικές επιστήμες* ασχολούνται με τη ζωή. Η καθεμιά, ωστόσο, εστιάζει σε διαφορετικά επίπεδα οργάνωσής της και τα προσεγγίζει με διαφορετικό τρόπο. Έτσι, η μοριακή βιολογία εστιάζει στο υποκυτταρικό επίπεδο, η κυτταρολογία στο κυτταρικό, ενώ η οικολογία στα επίπεδα του ατόμου και πάνω, συγκεκριμένα σε αυτά του πληθυσμού, της βιοκοινοτήτας, της μεγαδιάπλησσης, του τοπίου, της βιόσφαιρας. Με ανώτερα του ατόμου επίπεδα μπορεί να ασχολούνται κι άλλες επιστήμες. Όμως, η οικολογία τα αντιμετωπίζει πάντα σε σχέση με το περιβάλλον τους και προσπαθεί να ερμηνεύσει φαινόμενα και διεργασίες με όρους περιβαλλοντικούς.

Πληθυσμός είναι το σύνολο των ατόμων ενός είδους που απαντούν σε δεδομένο χώρο και χρόνο και έχουν δυνατότητα αναπαραγωγικής συνεύρεσης και επιτυχίας. Στον πληθυσμικό, η λέξη χρησιμοποιείται για να ορίσει ομάδες διαφορετικών ειδών που έχουν κοινή προέλευση (π.χ. ζωικοί πληθυσμοί) ή τόπο διαβίωσης (π.χ. εδαφικοί πληθυσμοί). Πληθυσμοί διαφορετικών ειδών, που συνυπάρχουν και αλληλεπιδρούν μεταξύ τους, συγκροτούν τη *βιοκοινότητα* (το βιοτικό στοιχείο του περιβάλλοντος). Η βιοκοινότητα μαζί με το αβιοτικό στοιχείο του περιβάλλοντος συγκροτούν το *οικοσύστημα*. Με τον όρο *μεγαδιάπλησση* (biomes) αναφερόμαστε σε τύπους οικοσυστημάτων που καλύπτουν ευρύτερες γεωγραφικές περιοχές, συχνά απομονωμένες μεταξύ τους αλλά με παρόμοια κλιματικά χαρακτηριστικά. Παραδείγματα μεγαδιάπλησσεων είναι η έρημος, η τούνδρα, το τροπικό βροχερό δάσος, κλπ. Τα *τοπία* (landscapes) πρόσφατα προστέθηκαν στην οικολογική ορολογία και περιγράφουν τη συνεύρεση διαφορετικών φυσικών ή και ανθρωπογενών συστημάτων σε δεδομένη περιοχή.

Τα επίπεδα οργάνωσης της ζωής είναι διαρθρωμένα με τέτοιο τρόπο ώστε το κατώτερο να εμπεριέχεται στο αμέσως ανώτερο (Πίν. 1.2). Μια τέτοια ιεραρχημένη οργάνωση, που μας είναι οικεία και από πλήθος άλλων επιστημονικών ή μη τομέων, συνοδεύεται από συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Καθώς οι επιμέρους δομές (ή υποσύνολα) συνδυάζονται μεταξύ τους παράγοντας ιεραρχικά ανώτερα λειτουργικά σύνολα, εμφανίζονται ιδιότητες που δεν ήταν παρούσες ή εμφανείς στο αμέσως κατώτερο επίπεδο. Αυτές οι *αναδυόμενες ιδιότητες* προκύπτουν ως αποτέλεσμα των σχέσεων των συστατικών στοιχείων του συγκεκριμένου επιπέδου. Συχνά δεν μπορούν να προβλεφθούν από πριν ούτε και να

προσδιοριστούν με βάση τα γνωρίσματα των συστατικών στοιχείων. 'Το όλο είναι περισσότερο από το άθροισμα των μερών του' είναι η φράση που περιγράφει με απλή και ίσως δυσερμήνευτα λόγια την κυρίαρχη συνέπεια της ιεραρχημένης οργάνωσης. Για να καταλάβουμε καλύτερα τι σημαίνει αυτό, μπορούμε να δανειστούμε ένα παράδειγμα από το πεδίο της Χημείας. Το οξυγόνο και το υδρογόνο είναι αέρια. Όταν όμως συνδυαστούν μεταξύ τους σε μια συγκεκριμένη δομική διαμόρφωση προκύπτει νερό, ένα υγρό με ιδιότητες τελείως διαφορετικές από εκείνες των αέριων συστατικών του.

Πίνακας 1.2. Παραδείγματα ιεραρχημένης οργάνωσης δομών, από τα ανώτερα προς τα κατώτερα επίπεδα.

Οικολογία	Φυσιολογία	Ταξινόμια	Ανθρωπογεωγραφία
Βιόσφαιρα	Άτομο	Βασίλειο	Ανθρωπότητα
Μεγαδιάπλαση	Σύστημα	Φύλο	Ήπειρος
Τοπίο	Όργανο	Κλάση	Κράτος
Οικοσύστημα	Ιστός	Τάξη	Περιφέρεια
Βιοκοινότητα	Κύτταρο	Οικογένεια	Νομός
Πληθυσμός	Οργανίδιο	Γένος	Δήμος
Άτομο	Μόριο	Είδος	Συνοικία

Παρότι οι ανακαλύψεις που αφορούν ένα δεδομένο επίπεδο οργάνωσης βοηθούν στη μελέτη ενός άλλου, δεν μπορούν πλήρως να ερμηνεύσουν τα φαινόμενα που συμβαίνουν σ' αυτό. Για παράδειγμα, για να καταλάβουμε πώς λειτουργεί και επακόλουθα να διαχειριστούμε σωστά ένα δάσος, δεν αρκεί να ξέρουμε τις ιδιότητες και λειτουργίες των επιμέρους δένδρων. Χρειάζεται να εντοπίσουμε και τα κατανοήσουμε τα μοναδικά χαρακτηριστικά που το δάσος διαθέτει ως μια λειτουργική, ενιαία οντότητα.

Ορισμένα χαρακτηριστικά γίνονται περισσότερο πολύπλοκα και ευμετάβλητα καθώς προχωρούμε από ιεραρχικά κατώτερες προς ιεραρχικά ανώτερες ενότητες. Αντίθετα, οι ρυθμοί των μεταβολών γίνονται περισσότερο σταθεροί. Ο ρυθμός φωτοσύνθεσης ενός δάσους ή ενός σταγαρού είναι πολύ πιο σταθερός απ' ό,τι του κάθε ατόμου ή του κάθε ξεχωριστού φύλλου. Καθώς του ενός μειώνεται κάποιου άλλου αυξάνεται κατά τρόπο αντισταθμιστικό. Υπάρχουν ομοιοστατικοί (αναδραστικοί) μηχανισμοί που μειώνουν τις μεγάλες διακυμάνσεις, όπως ακριβώς ισχύει σε ένα ενδόθερμο οργανισμό, του οποίου η εσωτερική θερμοκρασία διατηρείται σταθερή παρά τις αυξομειώσεις της στο περιβάλλον.

Η **ανάδραση** είναι ο κύριος μηχανισμός ρύθμισης ή απορρύθμισης της ισορροπίας των συστημάτων. Με τον όρο αυτό εννοούμε τη διαδικασία εκείνη κατά την οποία μια αλληλαγή σε μια αρχική κατάσταση επενεργεί επί της αρχικής κατάστασης αυτής καθαυτής μεταβάλλοντας την ταχύτητα ή την πορεία των περαιτέρω αλληλαγών. Υπάρχουν δύο τύποι ανάδρασης, η θετική και η αρνητική. Η θετική ανάδραση οδηγεί σε αυτοτροφοδοτούμενη μεταβολή (αυξητική ή φθίνουσα). Η αρνητική εξασφαλίζει σταθεροποίηση σε κάποιο δυναμικό σημείο ισορροπίας, εξασφαλίζει δηλαδή **ομοιόσταση** (Σχ 1.1). Τέτοιοι ρυθμιστικοί μηχανισμοί καταφέρνουν, για παράδειγμα, να διατηρούν σταθερή τη συγκέντρωση των διαφόρων αερίων στην ατμόσφαιρα, παρά τις τεράστιες ποσότητες αερίων που εισέρχονται και εξέρχονται απ' αυτήν.

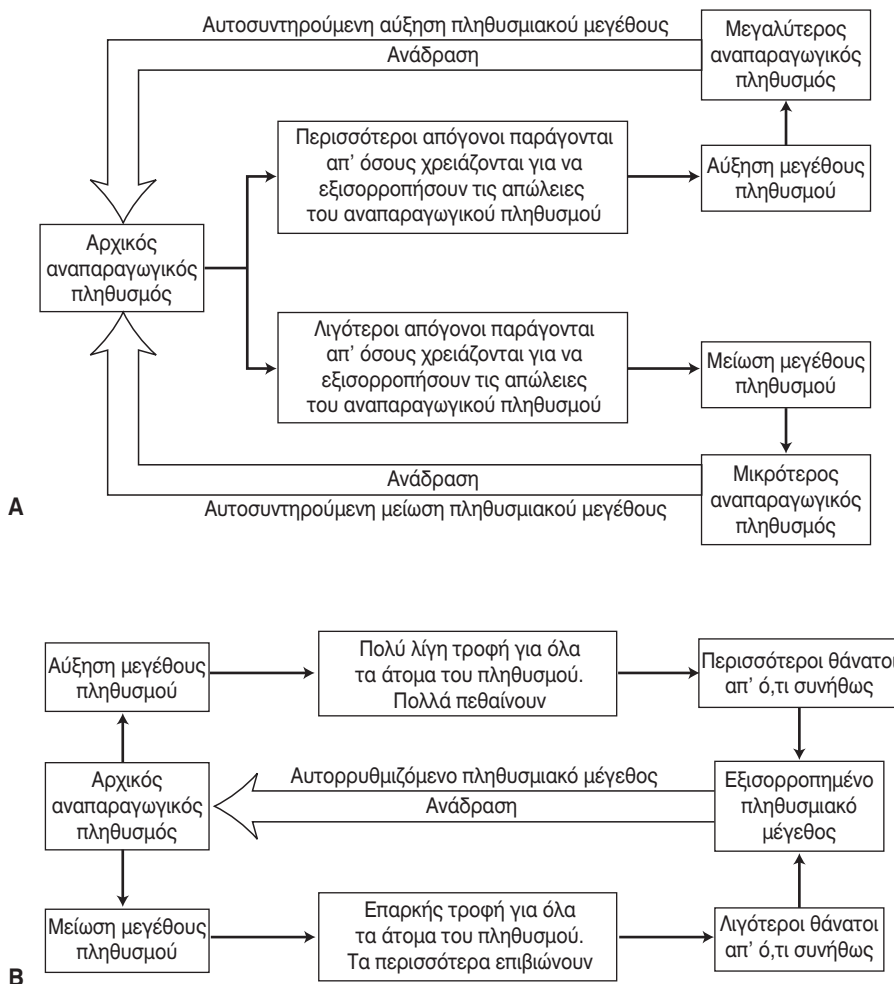
Πρακτικό αποτέλεσμα της ιεραρχημένης οργάνωσης, λειτουργικής ολοκλήρωσης και ομοιόστασης είναι ότι μπορούμε να διεξάγουμε έρευνα σε οποιοδήποτε επίπεδο οργάνωσης της ζωής, χωρίς να είμαστε υποχρεωμένοι να γνωρίζουμε τα πάντα για τα κατώτερα. Εκείνο που χρειάζεται είναι η διατύπωση κατάλληλων ερωτημάτων για το κάθε επίπεδο και η ανεύρεση κατάλληλων μεθόδων και εργαλείων μελέτης.

Στο **επίπεδο** του **ατόμου**, τα ερωτήματα που τίθενται σχετίζονται με τον τρόπο με τον οποίο τα άτομα επηρεάζουν και επηρεάζονται από το βιοτικό και αβιοτικό τους περιβάλλον αναπτύσσοντας προσαρμογές (μορφολογικές, βιοχημικές, νηολογικές) που αυξάνουν τις πιθανότητες επιβιώσής τους.

Στο **επίπεδο** του **πληθυσμού**, μελετώνται ιδιότητες που σχετίζονται με την αφθονία των ατόμων και τις χωροχρονικές μεταβολές της και που σχετίζονται με τη γεννητικότητα, τη θνησιμότητα, το ρυθμό μεταναστεύσεων, τον ενδοειδικό ανταγωνισμό (μεταξύ των ατόμων του ίδιου είδους), κ.α.

Στο **επίπεδο** της **βιοκοινότητας**, κυρίαρχα ερωτήματα αφορούν τις αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στα διαφορετικά είδη με πλέον σημαντική αυτή της πρόσληψης και χρήσης των πόρων: ποιος τρώει τι, πώς κυκλοφορούν τα υλικά, πώς διαμοιράζονται οι πεπερασμένοι διαθέσιμοι πόροι ως προς το χρόνο και το χώρο, πώς οι επιμέρους πληθυσμοί ελέγχονται από την παρουσία των άλλων.

Στο **επίπεδο** του **οικοσυστήματος**, παραδοσιακά μελετώνται η ροή της ενέργειας και η ανακύκλωση των υλικών, μολονότι οι σύγχρονες τάσεις παρακάμπτουν την έννοια του οικοσυστήματος θεωρώντας ότι τα θέματα αυτά μπορούν κάλλιστα να διερευνηθούν και στο κατώτερο επίπεδο, αυτό της βιοκοινότητας.



Σχήμα 1.1. Σχηματική απεικόνιση της λειτουργίας αναδραστικών μηχανισμών στην περίπτωση της δυναμικής του πληθυσμού ενός είδους. Η θετική ανάδραση οδηγεί σε αυτοτροφοδοτούμενη αλλαγή, συνεχούς μείωσης ή αύξησης του πληθυσμού (A), η αρνητική σε ρύθμιση του μεγέθους του, δηλαδή σε κατάσταση ισορροπίας (B).

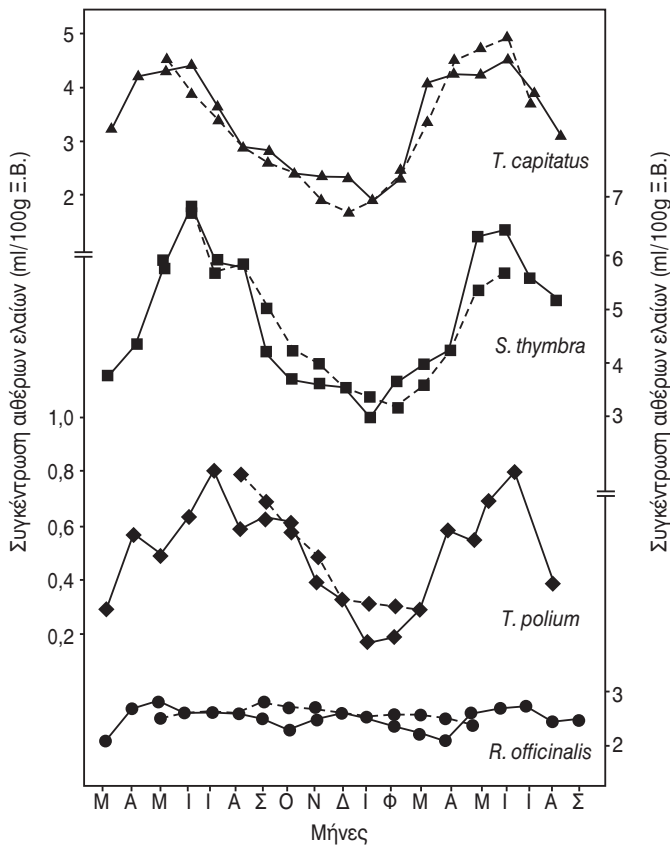
Τέλος, στο *επίπεδο* της *βιόσφαιρας* μελετώνται θέματα παγκόσμιας εμβέλειας, ανάμεσα στα οποία περιλαμβάνονται και αυτά που προέκυψαν από την ανθρώπινη δραστηριότητα, όπως το φαινόμενο του θερμοκηπίου, η όξινη βροχή, η εξασθένηση της στιβάδας του όζοντος, κ.α.

1.1.2. Στόχοι και εργαλεία

Βασικός στόχος κάθε επιστήμης, άρα και της οικολογίας, είναι η διατύπωση αρχών, κανόνων, σχεδίων, που ισχύουν στη γενικότητά τους και που η ισχύς τους επιβεβαιώνεται σε πληθώρα επιμέρους ιδιαίτερων καταστάσεων. Ο στόχος είναι να απαλλοθούμε από το 'θόρυβο' των λεπτομερειών και να ανιχνεύσουμε το ουσιαστικό. Αν μια επιστήμη φθάσει σ' ένα τέτοιο αποτέλεσμα, μπορεί ακολούθως και να προβλέψει. Η **ικανότητα πρόβλεψης** είναι από τις κύριες επιδιώξεις αληθιά και από τα σημαντικά επιτεύγματα οποιασδήποτε επιστήμης. Ιδιαίτερα στον τομέα της Οικολογίας, η ικανότητα πρόβλεψης αποτελεί ύψιστη αναγκαιότητα, δεδομένης της έντονης ανθρώπινης επέμβασης στο περιβάλλον. Με βάση τις ασφαλείς προβλέψεις μπορούμε να επιτύχουμε τον επόμενο στόχο, που είναι η **ικανότητα ελέγχου**. Για παράδειγμα, προσπαθούμε να ελαχιστοποιήσουμε τις επιπτώσεις από τις εξάρσεις ακρίδων προβλέποντας πότε θα εμφανιστούν και λαμβάνοντας κατάλληλα μέτρα αντιμετώπισής τους ή προσπαθούμε να διατηρήσουμε σπάνια είδη εφαρμόζοντας εκείνη την περιβαλλοντική πολιτική που προβλέπουμε ότι θα μας δώσει το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Για να προσεγγίσουν τα εξαιρετικά πολύπλοκα αληθιά και διαρκώς μεταβαλλόμενα βιολογικά συστήματα, οι οικολόγοι χρησιμοποιούν τη συνηθισμένη μέθοδο αντιμετώπισης οποιασδήποτε περίπλοκης κατάστασης. Την απλουστεύουν δίνοντας έμφαση στα πιο βασικά στοιχεία. Χρησιμοποιούν σειρά μεθόδων και εργαλείων για την επίτευξη των στόχων τους. Ανάμεσά τους, σημαντική θέση κατέχουν τα **μοντέλα (πρότυπα)**. Στην απλούστερη εκδοχή τους, μπορεί να είναι λεκτικά ή γραφικά, να αποτελούνται δηλαδή από σαφείς φράσεις ή παραστατικές εικόνες που επιχειρούν να περιγράψουν μια πραγματικότητα. Για παράδειγμα, το Σχ. 1.2 δείχνει πώς μεταβάλλεται η συγκέντρωση των αιθέριων ελαίων διαφόρων αρωματικών φυτών της χώρας μας στη διάρκεια του χρόνου. Αντί για το σχήμα, θα μπορούσαμε να περιγράψουμε και με λόγια τις μεταβολές, όπως τις καταγράψαμε μετά από παρατηρήσεις στο πεδίο. Μόνο που τότε θα χρειαζόμασταν πολύ περισσότερο χώρο απ' ό,τι με τη συνοπτική απεικόνιση του σχήματος.

Καταφεύγουμε στα **μαθηματικά μοντέλα**, που κι αυτά είναι νοητικές κατασκευές, στην ανάγκη μας να αντιμετωπίσουμε ιδιαίτερα πολύπλοκα συστήματα. Τα μαθηματικά μοντέλα συμπυκνώνουν την ουσία των πραγμάτων σε πολύ λίγο χώρο (σε μερικές εξισώσεις). Όχι μόνον απεικονίζουν την πραγματικότητα αληθιά διαθέτουν και προβλεπτική ικανότητα (υπό την προϋπόθεση βέβαια ότι



Σχήμα 1.2. Μηνιαίες μεταβολές της συγκέντρωσης αιθέριων ελαίων τεσσάρων αρωματικών φυτών (από Vokou & Margaris 1986).

οι παραδοχές τους είναι σωστές, γεγονός που δεν ισχύει πάντα). Ακόμα όμως και τα πιο πολυπλοκά μαθηματικά μοντέλα δεν αποτελούν παρά απλουστευμένες εκδοχές των βιολογικών φαινομένων που περιγράφουν. Μπορούμε χρησιμοποιώντας κι επιλύοντας μια εξίσωση να περιγράψουμε το σχετικό ρυθμό φυτικής αύξησης του πουρναριού, για παράδειγμα, και να προβλέψουμε κατά προσέγγιση το μέγεθος της παραγωγής μετά κάποιο χρονικό διάστημα. Καμιά πληροφορία, όμως, δεν θα πάρουμε για το ποια κλαδιά θα αυξηθούν περισσότερο, ποια φύλλα θα φωτοσυνθέσουν περισσότερο, ποια θα είναι η ακριβής μορφή των θάμνων μετά την αύξησή τους. Αυτό δεν σημαίνει ότι το μοντέλο είναι ανεπαρκές. Απλά, αυτές οι ειδικές πληροφορίες δεν εντάσσονται μέσα στους στόχους κατασκευής του.

1.1.3. Περιβάλλον και προσαρμογές

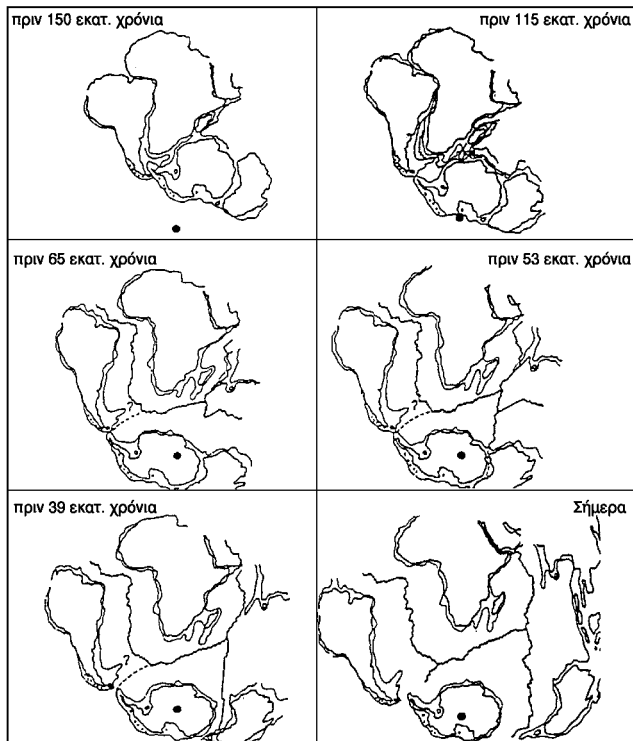
Ο όρος *προσαρμογή* είναι από τους κυρίαρχους στην Οικολογία. Ακούμε συχνά να λέγεται ότι 'ο τάδε οργανισμός είναι προσαρμοσμένος στο ...' και ακολουθεί περιγραφή των συνθηκών του περιβάλλοντος, στο οποίο απαντά, όπως ότι τα ψάρια είναι προσαρμοσμένα στο υδάτινο περιβάλλον ή οι κάκτοι στο ξηρό κλίμα της ερήμου. Τέτοιου τύπου δηλώσεις δημιουργούν την εσφαλμένη εντύπωση της πρόθεσης ή του σχεδιασμού. Όμως, οι οργανισμοί ούτε σχεδιάστηκαν ούτε αποφάσισαν να προσαρμοστούν στις ανάγκες του παρόντος ή του μέλλοντος. Ένα άτομο θα επιζήσει, θα αναπαραχθεί και θα αφήσει απογόνους μόνον εκεί όπου μπορεί, όπου οι ανάγκες του καλύπτονται, όπου οι συνθήκες που επικρατούν του το επιτρέπουν. Κατά συνέπεια, η φύση είναι εκείνη που επιλέγει. Τα περιβάλλοντα μπορούν να χαρακτηριστούν ως κατάλληλα ή ακατάλληλα και οι οργανισμοί ότι ταιριάζουν ή όχι σ' αυτά. Παρά την ευρύτατη χρησιμοποίηση των όρων προσαρμογή ή *προσαρμοσμένος*, που άλλωστε θα γίνει και στο πλαίσιο αυτού του βιβλίου, θα πρέπει να επισημάνουμε τον κίνδυνο να εκληφθούν με την κοινόχρηστη έννοιά τους, οδηγώντας σε λανθασμένες απόψεις.

Ένας από τους στόχους της Οικολογίας είναι να ερμηνεύσει τη διανομή και αφθονία των ειδών αλλήλα και των οργανωμένων συνευρέσεων που αυτά συγκροτούν στις επιμέρους, μικρές ή μεγάλες, περιοχές του πλανήτη. Για μια τέτοια ερμηνεία επικαλείται την επίδραση περιβαλλοντικών παραγόντων. Μεγάλος αριθμός περιβαλλοντικών παραγόντων επηρεάζουν τη ζωή. Σε μεγάλη κλίμακα, καθορίζουν την εξάπλωση των ειδών στις διαφορετικές περιοχές του πλανήτη. Σε μικρή κλίμακα, υποχρεώνουν τους οργανισμούς να αποκριθούν απέναντί τους αναπτύσσοντας κατάλληλες προσαρμογές. Αν οι οργανισμοί δεν τα καταφέρουν, το τίμημα είναι βαρύ - είναι ο θάνατος κι η εξαφάνιση.

1.2. ΜΕΙΖΟΝΟΣ ΣΗΜΑΣΙΑΣ ΑΒΙΟΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

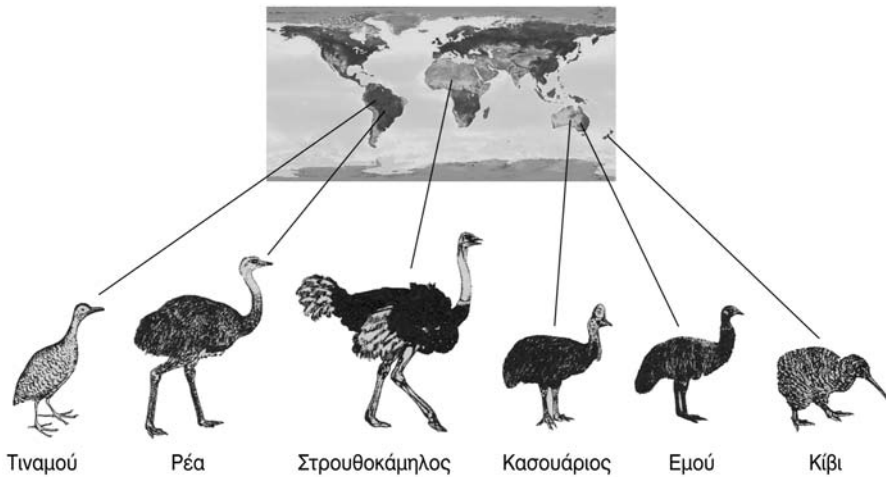
Γεγονότα του γήινου παρελθόντος έχουν αφήσει βαθιά σημάδια στο παρόν. Τα είδη βρίσκονται εκεί όπου ζουν όχι επειδή δοκιμάστηκαν επανειλημμένα μέχρι να βρεθεί το τέλειο περιβάλλον γι αυτά ούτε επειδή κάποιος αποφάσισε να τα τοποθετήσει εκεί. Τα αίτια μπορούν εν μέρει να αποδοθούν σε *ιστορικά ατυχήματα* (Begon et al 1986).

Το 1915, ο βιολόγος Wegener υποστήριξε τη θεωρία της μετακίνησης των ηπείρων στηρίζοντάς τη στη φαινομενικά ανεξήγητη και περίεργη κατανομή των οργανισμών στις ηπείρους. Η θεωρία δέχθηκε έντονη επίθεση μέχρις ότου γεωμαγνητικές έρευνες την έφεραν ξανά στο προσκήνιο. Η αποδοχή της μετακίνησης των τεκτονικών πλάκων - που είναι η κυρίαρχη σήμερα θεωρία στο χώρο της γεωλογίας - και της συνακόλουθης μετακίνησης των ηπείρων (Σχ. 1.3) συμφιλίωσε βιολόγους και γεωλόγους.



Σχήμα 1.3. Διαδοχικά στάδια αποκοπής χερσαίων μαζών από τη μία αρχική mega-ήπειρο, την Παγγαία, και ο συνακόλουθος σχηματισμός ωκεανών και ηπείρων (από Norton & Sclater 1979). Η μαύρη τελεία στα επιμέρους σχήματα αντιστοιχεί στο νότιο πόλο.

Ενώ μείζονες εξελικτικές διεργασίες συνέβαιναν στο φυτικό και ζωικό κόσμο, πληθυσμοί χωρίζονταν και διασκορπίζονταν και χερσαίες περιοχές μετακινούνταν κατά μήκος των κλιματικών ζωνών. Το Σχ. 1.4 είναι ένα μόνο από τα



Σχήμα 1.4. Η διανομή των πουλιών χωρίς ικανότητα πτήσης (ατροπίδωτων ή δρομέων) στις ηπείρους.

πολλά παραδείγματα ομάδων οργανισμών, που η διανομή τους αποκτά νόημα και δυνατότητα ερμηνείας μόνο κάτω από το φως της θεωρίας της μετακίνησης των ηπείρων. Αφορά την ομάδα των μεγάλων πουλιών που δεν έχουν ικανότητα πτήσης. Με τίποτα δεν μπορούμε να ισχυριστούμε ότι καθένα από αυτά βρίσκεται στο δεδομένο περιβάλλον επειδή ταιριάζει καλύτερα σ' αυτό. Απλά, το καθένα εξελίχθηκε και διαφοροποιήθηκε κάτω από την πίεση διαφορετικών περιβαλλοντικών δυνάμεων του παρελθόντος, στην ήπειρο όπου έτυχε να βρεθεί. Η διακριτή διανομή των πουλιών αυτών οφείλεται ουσιαστικά στις προϊστορικές μετακινήσεις των ηπείρων και στον επακόλουθο αποκλεισμό τους σ' αυτές, δεδομένης της φυσικής αδυναμίας τους να φθάσουν στο περιβάλλον των άλλων.

Η **γεωγραφική απομόνωση** περιοχών έχει καθοριστική σημασία για τα είδη που θα εμφανιστούν σε αυτές. Η χλωρίδα και η πανίδα ενός νησιού, για παράδειγμα, αποτελείται από είδη που τα ίδια ή κάποιος πρόγονός τους κατάφεραν να φτάσουν και να εγκατασταθούν εκεί. Η δυνατότητα μεταφοράς των ειδών εξαρτάται από την απόσταση του νησιού από την ηπειρωτική περιοχή (ή από άλλα νησιά) σε συνδυασμό με την ενδογενή ικανότητα διασποράς τους. Προφανώς ένα πουλί έχει μεγαλύτερη ικανότητα διασποράς πάνω από τη θάλασσα απ' ό,τι ένα χερσαίο θηλαστικό. Τα είδη αυτά βρίσκονται πλέον σε ένα καινούριο περιβάλλον. Η δυνατότητα συνεύρεσής τους με τα άτομα του πληθυ-

σμού από τον οποίο προέκυψαν μπορεί να είναι πολύ περιορισμένη ή ακόμα κι ανύπαρκτη. Αν η ανταλλαγή γενετικού υλικού (μέσω αναπαραγωγής) ανάμεσα στο νησιωτικό πληθυσμό και στο γονικό της ηπειρωτικής περιοχής είναι μικρή, ο νησιωτικός πληθυσμός θα αρχίσει να εξελίσσεται αυτόνομα προσαρμοζόμενος στις ειδικές συνθήκες του νέου περιβάλλοντος.

Η γεωγραφική απομόνωση οδηγεί σε *αναπαραγωγική απομόνωση* κι αυτό είναι ουσιαστικής σημασίας βήμα προς την κατεύθυνση της *ειδογένεσης* (δηλαδή, της εμφάνισης νέων ειδών). Με τον τρόπο αυτό μπορούμε να ερμηνεύσουμε σε σημαντικό βαθμό γιατί τα νησιά περιέχουν πολλή είδη που απαντούν μόνο σ' αυτά (στενοενδημικά) ή φέρουν χαρακτηριστικά που τα κάνουν να διαφέρουν από τα ομοειδή τους της ηπειρωτικής χώρας (χωρίς όμως να μπορούν να χαρακτηριστούν ως ξεχωριστά είδη και περιγράφονται ως υποείδη ή ποικιλίες). Χαρακτηριστική είναι η περίπτωση της Ελλάδας, με τον έντονο *ενδημισμό*, που οφείλεται σε διάφορα αίτια, ανάμεσα στα οποία και στη νησιωτική της σύνθεση.

Το πότε μια περιοχή απομονώθηκε έχει καθοριστική σημασία για την ερμηνεία των χαρακτηριστικών των ειδών της. Για παράδειγμα, το τόξο Κρήτης-Καρπάθου αποσπάστηκε από τη Μικρά Ασία πριν από περίπου 12 εκατομμύρια χρόνια. Τα νησιά αυτά χαρακτηρίζονται από έντονο ενδημισμό. Υπάρχουν πλήθος φυτικών ειδών που απαντούν μόνον εκεί (ενδημικά της Κρήτης ή Καρπάθου) και πουθενά αλλού στον κόσμο. Αντίθετα, στα νησιά των Δαληματικών ακτών, που σχηματίστηκαν μόλις πριν από 1 εκατομμύριο χρόνια, δεν απαντούν ενδημικά είδη. Ο χρόνος αυτός δεν ήταν επαρκής για τη δημιουργία νέων ειδών, παρά τις συνθήκες απομόνωσης.

Πέραν των μεγάλων γεωλογικών ανακατατάξεων, μεγάλες *κλιματικές αλλαγές* συνέβησαν επανειλημμένα στην ιστορία της Γης αφήνοντας έντονα σημάδια. Πολλές από τις διανομές των ειδών που βλέπουμε σήμερα αντιπροσωπεύουν φάσεις ανάκαμψης από κλιματικές μεταβολές του παρελθόντος, κατ'εξοχήν από τις περιόδους παγετώνων του Πλειστόκαινου (2 εκ. έως 20.000 χρόνια πριν).

Μια κλασική περίπτωση διανομής ειδών που ερμηνεύεται με όρους έντονων κλιματικών μεταβολών είναι η παρουσία απομονωμένων πληθυσμών αγχειόσπερμων, ανθεκτικών στο ψύχος, που περιλαμβάνονται στην *αρκτική* και *αλπική* (δηλαδή, σε μεγάλο γεωγραφικό πλάτος ή σε μεγάλο υψόμετρο) *χλωρίδα* της Ευρώπης και Αμερικής. Συνήθως, τέτοια είδη βρίσκονται μόνο σε μια τοποθεσία. Ωστόσο, υπάρχουν περιπτώσεις που απαντούν σε δύο ή περισσό-

τερες, απομονωμένες μεταξύ τους θέσεις, παρουσιάζοντας με τον τρόπο αυτό δικεντρική ή πολυκεντρική διανομή. Αυτή η περίεργη διανομή θα μπορούσε να θεωρηθεί εν μέρει ως τυχαίο γεγονός, ότι δηλαδή, τα είδη περιορίστηκαν σ' αυτές τις θέσεις επειδή μόνον εκεί βρήκαν κατάλληλο περιβάλλον για να αναπτυχθούν. Μοιλονότι θα μπορούσαν να αποικίσουν και άλλες θέσεις, με παρόμοια χαρακτηριστικά, δεν το έκαναν γιατί απλά δεν έτυχε να φτάσουν σ' αυτές. Μία άλλη πιθανή ερμηνεία, όμως, είναι ότι η σημερινή διανομή αυτών των ειδών είναι το απομεινάρι μιας πολύ ευρύτερης διανομής κατά το μακρινό παρελθόν. Καθώς τα κύματα παγετώνων κατέβαιναν από το Βορρά, μερικές περιοχές παρέμεναν ακάλυπτες από πάγο. Σε τέτοιες θέσεις επέζησαν πληθυσμοί ορισμένων ειδών που μετά την αποχώρηση των παγετώνων έδωσαν τη σημερινή εικόνα της απομόνωσης. Μεταξύ άλλων, η *Jankaia heldreichii*, ενδημικό φυτό του Ολύμπου, απομεινάρι του Τριτογενούς (65 εκ. - 2 εκ. χρόνια πριν), θεωρείται ότι επέζησε μέχρι τις μέρες μας μέσα από τέτοιες διαδικασίες.

1.3. ΒΙΟΠΟΙΚΙΛΟΤΗΤΑ

Το *βιοτικό στοιχείο* του περιβάλλοντος μπορούμε να το προσεγγίσουμε από πολλές πλευρές εστιάζοντας σε διαφορετικά χαρακτηριστικά του κάθε φορά. Μία από αυτές είναι μέσω της βιοποικιλότητάς του.

Με τον όρο *βιοποικιλότητα* εκφράζουμε την ποικιλία μορφών ζωής σε όλα τα επίπεδα οργάνωσής της - σε επίπεδο οργανικών μορίων, γονιδίων και χρωμοσωμάτων, σε επίπεδο είδους, σε επίπεδο βιοκοινοτήτων, σε επίπεδο τοπίου, σε επίπεδο μεγαδιαπλάσεων. Από τα διαφορετικά επίπεδα οργάνωσης της ζωής στα οποία αναφέρεται η βιοποικιλότητα, αυτό που σχεδόν μονοπωλεί το ενδιαφέρον είναι το επίπεδο των ειδών.

Μέχρι τα τέλη της δεκαετίας 1980-1990, ο όρος *βιοποικιλότητα* ήταν ανύπαρκτος στη διεθνή βιβλιογραφία. Αλλά από το 1990 και μετά παρατηρείται εκπληκτική αύξηση του αριθμού των εργασιών που δημοσιεύονται στα διεθνή περιοδικά σχετικά με αυτό το θέμα. Αυτό συνέβη επειδή ούτε το περιεχόμενο της έννοιας ούτε και οι μέθοδοι προσέγγισης του ερευνητικού της πεδίου ήταν καινούρια. Η έννοια *ποικιλότητα* στην Οικολογία (βλ. Ενότητα 3.1) όχι μόνον προϋπήρχε της βιοποικιλότητας, αλλά και αποτελεί ιδιαίτερα δυναμική ερευνητικά περιοχή. Η προσθήκη του 'βιο' δεν συνεισέφερε ουσιαστικά στην επιστήμη. Βρήκε, όμως, ανταπόκριση σε ένα ευρύτερο κοινό. Είναι ένα παράδειγμα αυτού που

θα χαρακτηρίζαμε ως 'μόδα', 'του συρμού', στην επιστημονική κοινότητα και στις δραστηριότητές της. Το θετικό είναι πως αυτός ο μάλλον γενικός όρος απέκτησε μια εκπληκτική δυναμική και έχει συνδεθεί, περισσότερο ίσως από οποιονδήποτε άλλο, με πλήθος ευρύτερων δραστηριοτήτων, σε εθνικό και υπερεθνικό επίπεδο, για την αποτελεσματική προστασία του φυσικού περιβάλλοντος.

Θα προσεγγίσουμε τη βιοποικιλότητα σε δύο επίπεδα, σε επίπεδο ειδών και σε επίπεδο συστημάτων (χερσαίων και υδάτινων), καθώς και σε δύο κλίμακες, σε κλίμακα πλανήτη και σε κλίμακα Ελλάδας.

1.3.1. Βιοποικιλότητα σε επίπεδο ειδών

Αν προσπαθήσουμε να συγκεντρώσουμε όλες τις πληροφορίες, όλα τα καταγεγραμμένα στοιχεία για το πόσα και ποια είδη υπάρχουν στον πλανήτη, θα οδηγηθούμε στη μάλλον δυσάρεστη διαπίστωση ότι δεν ξέρουμε. Χρησιμοποιώντας διάφορα κριτήρια, προσπαθούμε τουλάχιστον να εκτιμήσουμε τον αριθμό τους. Οι *εκτιμήσεις* αυτές διαφέρουν σε τεράστιο βαθμό, καθώς κυμαίνονται από 5 μέχρι 100 εκατομμύρια είδη. Η τεράστια αυτή απόκλιση οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στη σχεδόν άγνοιά μας για μια μεγάλη αληθιά ουσιαστικά ανεξερεύνητη ταξινομική ομάδα, αυτή των ασπονδύλων ζώων, και στην πολύ ανεπαρκή γνώση μας για τα συστήματα που περικλείουν τη μέγιστη βιοποικιλότητα, συγκεκριμένα για τα βροχερά τροπικά δάση (βλ. Ενότητα 1.3.2.4).

Οι πλούσιες σε είδη περιοχές δεν είναι τυχαία διανεμημένες στον πλανήτη. Κατά κανόνα, η βιοποικιλότητα σε επίπεδο είδους μειώνεται όσο μεγαλώνει το γεωγραφικό πλάτος, ενώ για δεδομένο γεωγραφικό πλάτος μειώνεται όσο αυξάνει το υψόμετρο. Πέραν όμως αυτών των γενικών τάσεων, υπάρχουν έντονες διαφορές μεταξύ περιοχών ίδιου γεωγραφικού πλάτους και υψομέτρου. Έτσι, έχουν εντοπιστεί στον πλανήτη *καυτές περιοχές* (hotspots) ή αλλιώς *κέντρα βιοποικιλότητας* (Myers et al 2000), όπου η βιοποικιλότητα ειδών είναι πολύ υψηλή, γεγονός που μπορεί να ερμηνευθεί με βάση την ιστορία τους - τη γεωλογική, την κλιματική, αληθιά και την ανθρώπινη.

Η βιοποικιλότητα σε επίπεδο φυτικών ειδών μεγιστοποιείται στα βροχερά τροπικά δάση, στα οποία συναντώνται περίπου 65% των καταγεγραμμένων ειδών. Μια αληθινή 'καυτή' ομάδα συγκροτείται είτε από Μεσογειακές ή από μη Μεσογειακές, αληθιά με μεσογειακό κλίμα περιοχές. Σε μικρή κλίμακα, η μεγαλύτερη καταγεγραμμένη φυτική ποικιλότητα στον κόσμο ανήκει στο Ισραήλ, σε

μια 'κατσκοφαγωμένη', σχεδόν ερημοποιημένη περιοχή, όπου απειροελάχιστου μεγέθους άτομα εκπροσωπούν περισσότερα από 250 είδη σε επιφάνεια 1000 τ.μ (ή ανά 0,1ha, όπως συμβατικά εκτιμάται). Σε μεγάλη κλίμακα, η περιοχή του Ακρωτηρίου της Καλής Ελπίδας (με έκταση λίγο μικρότερη της Ελλάδας) είναι μοναδική και ασυναγώνιστη ακόμα και σε σύγκριση με άλλες 'καυτές' τροπικές περιοχές όσον αφορά την ποικιλότητα φυτικών ειδών. Σε επιφάνεια μικρότερη από 100.000 km², περιλαμβάνει 8.600 είδη, από τα οποία τα 5.800 είναι ενδημικά (Crawley 1997).

Τα **νησιά** αποτελούν ιδιαίτερη περίπτωση καθώς λειτουργούν είτε ως καταφύγια ειδών που είχαν πολύ ευρύτερη εξάπλωση στο παρελθόν ή ως περιοχές εμφάνισης νέων που είναι αποτέλεσμα της αυτόνομης εξέλιξης των πληθυσμών των ηπειρωτικών ειδών που κατάφεραν να φθάσουν σ' αυτά. Τα νησιά της Χαβάης αφενός και η Κρήτη αφετέρου ανήκουν στα πλέον πολυσυζητημένα παραδείγματα. Στους απηλθισάστους, απόκρημνους βράχους της Κρήτης, βρήκαν καταφύγιο και ασφάλεια, τόσο από τ' αγρίμια όσο και από τις εξημερωμένες κασίκες, τα χασμόφυτα (φυτά των βράχων), πολλά εκ των οποίων είχαν πολύ ευρύτερη εξάπλωση στο παρελθόν σε ολόκληρη τη Βαλκανική χερσόνησο. Από την άλλη, νέα είδη δημιουργήθηκαν εκεί κάνοντας το νησί μοναδικό στον κόσμο.

Η καταγραφή ειδών στον πλανήτη (βλ. Πίν. 1.4) έχει σχεδόν ολοκληρωθεί για τα θηλαστικά, τα ψάρια και τα ερπετά. Λιγότερο ολοκληρωμένη είναι για τα πουλιά και ακόμα λιγότερο για τα ανώτερα φυτά. Ελάχιστα είναι γνωστά για τα ασπόνδυλα ζώα. Ωστόσο, όλα μαζί τα θηλαστικά, τα πουλιά, τα ερπετά, τα αμφίβια και τα ψάρια δεν φαίνεται να αποτελούν παρά ισχνή μειοψηφία των ζωικών ειδών (<3%). Αυτό σημαίνει ότι ο τεράστιος πλούτος μορφών με τις οποίες εκφράζεται η ζωή παραμένει ακόμη ουσιαστικά ανεξερεύνητος. Κι όχι μόνο μας είναι άγνωστες οι μορφές αλλά μας διαφεύγουν και οι ρόλοι αυτών που γνωρίζουμε. Για τα περισσότερα είδη, δεν ξέρουμε πώς ακριβώς λειτουργούν, πώς αλληλεπιδρούν με τα άλλα μέλη της βιοκοινότητας, ποια τα όρια και ποιες οι αντοχές τους.

1.3.2. Βιοποικιλότητα σε επίπεδο συστημάτων

Υπάρχει μια τεράστια ποικιλία συστημάτων στη Γη. Η πρώτη αδρή διάκρισή τους μπορεί να γίνει σε σχέση με το μέσο στο οποίο αναπτύσσονται, δηλαδή σε χερσαία και υδάτινα συστήματα. Και των δύο η διανομή ελέγχεται από αβιοτικούς παράγοντες, όμως, πολύ διαφορετικούς.