

Vaclav Smil

**Πώς
λειτουργεί
πραγματικά
ο κόσμος**

Ένας επιστήμονας μιλάει
για το **παρελθόν**,
το **παρόν** και το **μέλλον**

δίοπτρα

Περιεχόμενα

Εισαγωγή:	
<i>Γιατί χρειάζεται αυτό το βιβλίο;</i>	9
1. Κατανοώντας την ενέργεια:	
<i>Καύσιμα και ηλεκτρισμός.</i>	25
2. Κατανοώντας την παραγωγή τροφίμων:	
<i>Τρώτε ορυκτά καύσιμα.</i>	71
3. Κατανοώντας τον κόσμο των υλικών:	
<i>Οι τέσσερις πυλώνες του σύγχρονου πολιτισμού</i>	119
4. Κατανοώντας την παγκοσμιοποίηση:	
<i>Κινητήρες, μικροσίπ και όχι μόνο</i>	159
5. Κατανοώντας τους κινδύνους:	
<i>Ιοί, διατροφή και ηλιακές εκλάμψεις</i>	205
6. Κατανοώντας το περιβάλλον:	
<i>Η μοναδική βιόσφαιρα που έχουμε.</i>	255
7. Κατανοώντας το μέλλον:	
<i>Μεταξύ Αποκάλυψης και Μοναδικότητας</i>	309
Παράρτημα: Κατανοώντας τους αριθμούς:	
<i>Τάξεις μεγέθους.</i>	345
Σημειώσεις	351
Ευχαριστίες	419
Ευρετήριο κύριων ονομάτων και όρων	421

Εισαγωγή

Γιατί χρειάζεται αυτό το βιβλίο;

Κάθε ιστορική εποχή έχει κάτι το μοναδικό και, παρότι οι εμπειρίες των τριών τελευταίων γενιών –ουσιαστικά οι δεκαετίες μετά τη λήξη του Β' Παγκοσμίου Πολέμου– ενδεχομένως να μην ήταν το ίδιο μεταμορφωτικές με εκείνες των τριών γενιών πριν από τον Α' Παγκόσμιο Πόλεμο, τα πρωτοφανή γεγονότα και οι σημαντικές εξελίξεις ήταν πολλές. Η βασικότερη και εντυπωσιακότερη είναι ότι πλέον πολύ περισσότεροι άνθρωποι απολαμβάνουν υψηλότερο βιοτικό επίπεδο για περισσότερα χρόνια, έχοντας καλύτερο επίπεδο υγείας από οποιαδήποτε άλλη ιστορική εποχή. Ωστόσο οι ωφελημένοι από αυτές τις προόδους συνιστούν ακόμη μειοψηφία (μόλις το ένα πέμπτο περίπου) του παγκόσμιου πληθυσμού, που αίσίως πλησιάζει τα οχτώ δισεκατομμύρια.

Το δεύτερο θαυμαστό επίτευγμα είναι η πρωτοφανής επέκταση της κατανόησης που έχουμε για τον φυσικό κόσμο και για όλες τις μορφές ζωής. Οι γνώσεις μας εκτείνονται από τα πολύπλοκα συστήματα συμπαντικής (γαλαξίες, άστρα) και πλανητικής (ατμόσφαιρα, υδρόσφαιρα, βιόσφαιρα) κλίμακας, έως τις διεργασίες που συντελούνται σε επίπεδο ατόμου και γονιδίων: το πάχος των γραμμών που χαράσσονται στην επιφάνεια των ισχυρότερων μικροεπεξεργαστών είναι μόλις δύο φορές μεγαλύτερο από τη διάμετρο του μορίου του ανθρώπινου DNA. Αυτή η κατανόηση έχει μεταφραστεί

σε μια μονίμως διευρυνόμενη γκάμα μηχανών, συσκευών, διαδικασιών, πρωτοκόλλων και παρεμβάσεων που κινούν τον σύγχρονο πολιτισμό και το σώμα των συσσωρευμένων γνώσεων – αλλά και οι τρόποι που τις θέτουμε στην υπηρεσία του ανθρώπου – ξεπερνάει κατά πολύ το διανοητικές ικανότητες οποιουδήποτε μεμονωμένου, όσο ιδιοφυής και αν είναι.

Πράγματι, μέχρι και τον δέκατο έκτο αιώνα συναντάει κανείς ενσαρκωτές του πνεύματος του αναγεννησιακού ανθρώπου στην Πιάτσα ντελά Σινιορία της Φλωρεντίας, οι οποίοι ωστόσο έκτοτε αρχίζουν να εκλείπουν, ενώ στα μέσα του δέκατου όγδοου μόνο δύο Γάλλοι λόγιοι, ο Ντενί Ντιντερό και ο Ζαν λε Ροντ ντ' Αλαμπέρ, κατόρθωσαν, επιλέγοντας μια ομάδα καταρτισμένων συντελεστών, να συνοψίσουν τις γνώσεις της εποχής στα αρκετά εκτενή λήμματα της πολύτομης *Εγκυκλοπαίδειάς* τους, της *Encyclopédie, ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers*. Έπειτα από μερικές γενιές το εύρος και η εξειδίκευση των γνώσεων αυξήθηκε κατά πολλές τάξεις μεγέθους με θεμελιώδεις ανακαλύψεις όπως η μαγνητική επαγωγή (Μάικλ Φαραντέι, 1831, στην οποία βασίζεται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας) και ο μεταβολισμός των φυτών (Γιούστους φον Λίμπιχ, 1840, που αποτελεί τη βάση της λίπανσης των καλλιεργειών) αλλά και οι θεωρίες του ηλεκτρομαγνητισμού (Τζέιμς Κλερκ Μάξγουελ, 1861, που έθεσαν τις βάσεις των ασύρματων επικοινωνιών).

Ήδη από το 1872, έναν αιώνα μετά την έκδοση του τελευταίου τόμου της *Εγκυκλοπαίδειας*, οποιαδήποτε απόπειρα ανθολόγησης γνώσεων αρκούσαν αναγκαστικά σε επιδερμικές πραγματεύσεις ενός ταχύτατα αυξανόμενου εύρους θεμάτων και πλέον, ενάμιση αιώνα μετά, είναι αδύνατον να συνοψίσουμε τη διαθέσιμη γνώση ακόμη και εντός στενά περιχαρακωμένων ειδικοτήτων: όροι όπως «φυσική» ή «βιολογία» αποτελούν πλέον χαρακτηρισμούς που στερούνται νοήματος και οι ειδικοί της σωματιδιακής φυσικής θα δυσκολευτούν

πολύ να κατανοήσουν ακόμη και την εισαγωγή μιας νέας ερευνητικής δημοσίευσης με θέμα την ανοσολογία των ιογενών λοιμώξεων. Προφανώς, αυτός ο κατακερματισμός της γνώσης δεν έχει κάνει ευκολότερη τη λήψη δημόσιων αποφάσεων. Οι υπερεξειδικευμένοι κλάδοι της σύγχρονης επιστήμης είναι πλέον τόσο απόκρυφοι, που πολλοί επιστήμονες πρέπει να εκπαιδευτούν μέχρι τα τριάντα τους για να κατορθώσουν να ενταχθούν στο νέο αυτό ιερατείο.

Και πολύ συχνά, παρά τη μακρόχρονη εκπαίδευσή τους, τυχαίνει να διαφωνούν σχετικά με τον βέλτιστο τρόπο δράσης. Η πανδημία του SARS-CoV-2 απέδειξε περίτρανα ότι οι διαφωνίες μεταξύ των ειδικών εκτείνονται ακόμη και σε φαινομενικά απλές αποφάσεις, όπως η χρήση μάσκας. Μέχρι τα τέλη Μαρτίου του 2020 (τρεις μήνες μετά το ξέσπασμα της πανδημίας) ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας δεν συνιστούσε τη χρήση μάσκας παρά μόνο σε περίπτωση που κάποιος είχε νοσήσει, με την αλλαγή στάσης να έρχεται μόλις στις αρχές Ιουνίου του 2020. Πώς μπορεί, λοιπόν, ο απλός κόσμος να πάρει θέση ή να κατανοήσει αυτές τις διαφωνίες, που συχνά καταλήγουν σε αναιρέσεις και στην κατάρριψη μέχρι πρότινος κυρίαρχων ισχυρισμών;

Ωστόσο αυτή η μόνιμη αβεβαιότητα και οι διαφωνίες δεν δικαιολογούν την άγνοια που έχουν πολλοί για το πώς λειτουργεί ο σύγχρονος κόσμος. Άλλωστε το να μάθει και να εκτιμήσει κανείς τον τρόπο που καλλιεργείται το σιτάρι (Κεφάλαιο 2) ή παράγεται ο χάλυβας (Κεφάλαιο 3) ή να συνειδητοποιήσει πως το φαινόμενο της παγκοσμιοποίησης δεν είναι ούτε πρόσφατο ούτε αναπόφευκτο (Κεφάλαιο 4) δεν είναι το ίδιο με το να του ζητάς να κατανοήσει τη φεμτοχημεία (τη μελέτη των χημικών αντιδράσεων σε χρονοκλίμακες της τάξης των 10-15 δευτερολέπτων, έργο που εξασφάλισε στον Αχμέντ Ζιγούαϊλ το βραβείο Νόμπελ του 1999) ή τις αλυσιδωτές αντιδράσεις πολυμεράσης (την ταχεία αντιγραφή του DNA, που οφείλουμε στον Κάρι Μάλινς που βραβεύτηκε με βραβείο Νόμπελ το 1993).

Γιατί, λοιπόν, οι περισσότεροι στις σύγχρονες κοινωνίες έχουν μια τόσο επιπόλαια αντίληψη του πώς λειτουργεί ο κόσμος; Μια προφανής απάντηση είναι ακριβώς η πολυπλοκότητα του σύγχρονου κόσμου: αλληλεπιδρούμε συνεχώς με «μαύρα κουτιά» που οι σχετικά απλές έξοδοί τους (outputs) απαιτούν ελάχιστη γνώση των συντελούμενων διεργασιών. Είναι κάτι που ισχύει τόσο για πολλές συσκευές ευρείας χρήσης, όπως τα κινητά τηλέφωνα και τα λάπτοπ (το μόνο που έχουμε να κάνουμε είναι να δακτυλογραφήσουμε κάτι που θέλουμε να αναζητήσουμε), όσο και για διαδικασίες μαζικής κλίμακας, όπως ο εμβολιασμός (αναμφίβολα το καλύτερο παράδειγμα του 2021, αφού το μοναδικό κατανοητό μέρος του είναι το σήκωμα του μανικιού). Αλλά οι λόγοι ύπαρξης αυτού του ελλείμματος κατανόησης δεν εξαντλούνται στο γεγονός ότι η ευρύτητα των γνώσεών μας ενθαρρύνει την εξειδίκευση, με την άλλη όψη του νομίσματος να είναι μια ολοένα ρηχότερη κατανόηση—ή ακόμη και άγνοια—βασικών πραγμάτων.

Η αστικοποίηση και η εκμηχάνιση είναι δύο βασικά αίτια αυτού του ελλείμματος κατανόησης. Από το 2007, ο μισός και πλέον πληθυσμός της γης ζει σε πόλεις (πάνω από 80% στις πλούσιες χώρες) και σε αντίθεση με τις εκβιομηχανισμένες πόλεις του δέκατου ένατου και των αρχών του εικοστού αιώνα, οι περισσότερες θέσεις εργασίας στις σύγχρονες αστικές περιοχές είναι κυρίως στον κλάδο των υπηρεσιών. Έτσι οι σύγχρονοι αστικοί πληθυσμοί είναι αποκομμένοι όχι μόνο από τη διαδικασία παραγωγής τροφίμων, αλλά και από εκείνη της κατασκευής των μηχανών και των συσκευών που χρησιμοποιούμε, ενώ ο συνεχής εκμηχανισμός της παραγωγικής διαδικασίας σημαίνει ότι μόνο ένα μικρό μέρος του παγκόσμιου πληθυσμού μετέχει πλέον στην παραγωγή της ενέργειας και των πρώτων υλών που συνθέτουν τον σύγχρονο κόσμο.

Στην Αμερική μόλις τρία εκατομμύρια άντρες και γυναίκες (ιδιοκτήτες αγροκτημάτων και εργάτες) απασχολούνται στην παραγωγή

τροφίμων –οργώνουν, σπέρνουν, ρίχνουν λίπασμα, ψεκάζουν με ζιζανιοκτόνα, θερίζουν (με τη συλλογή των σπυροκηπευτικών να είναι η πιο απαιτητική εργασία) και εκτρέφουν ζώα–, αριθμός που αντιστοιχεί σε κάτω από το 1% του πληθυσμού της χώρας. Επομένως δεν είναι παράξενο που οι περισσότεροι Αμερικανοί δεν έχουν ιδέα ή έχουν μια πολύ αφηρημένη ιδέα από πού προέρχεται το ψωμί ή το κρέας που καταναλώνουν. Οι θεριζοαλωνιστικές μηχανές θερίζουν το σιτάρι, αλλά πώς συλλέγονται η σόγια και οι φακές; Πόσο καιρό μεγαλώνει ένα μικρό γουρούνι για να φτάσει να γίνει παϊδάκια στο πιάτο μας: βδομάδες ή χρόνια; Οι περισσότεροι Αμερικανοί δεν έχουν ιδέα και δεν είναι οι μόνοι. Η Κίνα είναι η μεγαλύτερη παραγωγός χάλυβα στον κόσμο –κάθε χρόνο σχεδόν ένα δισεκατομμύριο τόνοι χάλυβα περνούν τα στάδια της τήξης, της χύτευσης και της έλασης–, αλλά στην παραγωγή εμπλέκεται μόλις το 0,25% του πληθυσμού της χώρας, που ξεπερνάει το 1,4 δισεκατομμύριο. Ένα απειροελάχιστο ποσοστό του κινεζικού πληθυσμού θα σταθεί μπροστά από υψικάμινο ή θα δει από κοντά μηχανή συνεχούς χύτευσης με τις «κορδέλες» πυρακτωμένου χάλυβα που διέρχονται από μέσα της. Και αυτή η αποσύνδεση από την παραγωγή είναι παγκόσμιο φαινόμενο.

Η άλλη βασική αιτία του ελλείμματος κατανόησης, το οποίο φαίνεται να είναι ακόμη μεγαλύτερο σε ό,τι έχει να κάνει με τις βασικές διεργασίες παραγωγής όλων των μορφών ενέργειας (από τα τρόφιμα μέχρι τα καύσιμα) και ανθεκτικών υλικών (μετάλλων, μη μεταλλικών ορυκτών ή σκυροδέματος), είναι ότι έχουν αρχίσει να θεωρούνται παρωχημένα –αν όχι ξεπερασμένα– και εξαιρετικά βαρετά σε σύγκριση με τον συναρπαστικό κόσμο της πληροφορίας, των αριθμητικών δεδομένων και των ψηφιακών εικόνων. Τα «δυνατότερα μυαλά» δεν σπουδάζουν εδαφολογία και δεν το βάζουν στόχο να βελτιώσουν τη σύνθεση του σκυροδέματος· αντίθετα, ασχολούνται με άυλες πληροφορίες που είναι απλώς ροές

ηλεκτρονίων σε χιλιάδες μικροσυσκευές. Οι δικηγόροι, οι οικονομολόγοι, οι προγραμματιστές και οι χρηματιστές αμείβονται δυσανάλογα πολύ για κάτι που είναι εντελώς αποκομμένο από την υλική πραγματικότητα της ζωής.

Επίσης, πολλοί λάτρεις των ψηφιακών δεδομένων και των πληροφοριών θεωρούν ότι οι συγκεκριμένες ροές ηλεκτρονίων θα μας απαλλάξουν από τις παραπάνω απαρχαιωμένες υλικές ανάγκες. Τις εκτάσεις γης θα αντικαταστήσει κάθετη, αστική γεωργία σε θερμοκήπια ουρανοξύστες και τελικά η τεχνητή σύνθεση τροφής θα εξαλείψει την ανάγκη των καλλιεργειών. Η αποϋλοποίηση, με καταλύτη την τεχνητή νοημοσύνη, θα βάλει τέλος στην εξάρτησή μας από τα μέταλλα και τα επεξεργασμένα ορυκτά και τελικά ίσως καταφέρουμε να ξεπεράσουμε και την εξάρτησή μας από το περιβάλλον της Γης: ποιος έχει ανάγκη τη Γη όταν μπορούμε να γαιοποιήσουμε τον Άρη; Φυσικά, όλα αυτά δεν συνιστούν απλώς εξαιρετικά πρώιμες προβλέψεις, αλλά φαντασιώσεις μιας κοινωνίας όπου τα *fake news* είναι κάτι κοινό και η πραγματικότητα και η επιστημονική φαντασία έχουν αναμειχθεί σε τέτοιο βαθμό, που όσοι έχουν την τάση να πείθονται εύκολα από τέτοιου είδους ευφάνταστα οράματα που θυμίζουν πνευματική αίρεση πιστεύουν πράγματα που παλιότερα οποιοσδήποτε οξυδερκής παρατηρητής θα αντιλαμβανόταν ότι αγγίζουν, ή και ξεπερνούν, τα όρια των ψευδαισθήσεων.

Κανένας από τους αναγνώστες αυτού του βιβλίου δεν θα μετεγκατασταθεί στον Άρη· όλοι θα συνεχίσουμε να τρεφόμαστε με σιτηρά που καλλιεργούνται σε μεγάλες εκτάσεις γης και όχι στους ουρανοξύστες που φαντάζονται όσοι προωθούν την αποκαλούμενη αστική γεωργία· κανένας μας δεν θα προλάβει τον αποϋλοποιημένο κόσμο όπου οι βασικές λειτουργίες της φύσης, όπως η εξάτμιση των υδάτων ή η επικονίαση των φυτών, θα είναι περιττές. Ωστόσο η κάλυψη αυτών των απαραίτητων για την επιβίωση αναγκών θα

γίνεται ολοένα δυσκολότερη, γιατί μεγάλο μέρος της ανθρωπότητας ζει ακόμη σε συνθήκες που η πλούσια μειοψηφία άφησε πίσω της γενιές πριν και επειδή οι συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις για ενέργεια και πρώτες ύλες ασκούν έντονες πιέσεις στη βιόσφαιρα σε τόσο σύντομο διάστημα, που δεν της επιτρέπουν να διατηρήσει τις ροές και τα αποθέματά της σε όρια συμβατά με τη μακροπρόθεσμη βιωσιμότητά της.

Είναι χαρακτηριστικό ότι το 2020 η μέση ετήσια κατά κεφαλή προσφορά ενέργειας για το 40% του παγκόσμιου πληθυσμού (3,1 δισεκατομμύρια ανθρώπους, αριθμός που περιλαμβάνει σχεδόν όλους τους πληθυσμούς της Υποσαχάριας Αφρικής) δεν ήταν υψηλότερη απ' ό,τι της Γερμανίας και της Γαλλίας του 1860! Για να πλησιάσουν έστω τα όρια ενός αξιοπρεπούς βιοτικού επιπέδου, αυτοί οι 3,1 δισεκατομμύρια άνθρωποι θα πρέπει να διπλασιάσουν τουλάχιστον –αλλά κατά προτίμηση να τριπλασιάσουν– την κατά κεφαλή κατανάλωση ενέργειας και κατ' επέκταση να πολλαπλασιάσουν την προσφορά ηλεκτρικής ενέργειας, να δώσουν ώθηση στην παραγωγή τροφίμων και να κατασκευάσουν βασικές αστικές, βιομηχανικές και μεταφορικές υποδομές. Αναπόφευκτα, η αυξημένη ζήτηση θα οδηγήσει σε ακόμη μεγαλύτερη υποβάθμιση της βιόσφαιρας.

Και πώς θα αντιμετωπίσουμε την εξελισσόμενη κλιματική αλλαγή; Πλέον υπάρχει ομοφωνία ότι οφείλουμε να κάνουμε *κάτι* προκειμένου να αποτρέψουμε τις πολλές και εξαιρετικά δυσάρεστες συνέπειές της, αλλά ποιο είδος ενεργειών και ποιες αλλαγές συμπεριφοράς θα είναι αποτελεσματικότερες; Για όσους αγνοούν τις απαιτήσεις σε ενέργεια και υλικά του σύγχρονου κόσμου και, αντί να προσπαθήσουν να κατανοήσουν πώς φτάσαμε σε αυτό το σημείο, προτιμούν τα μάντρα των «πράσινων» λύσεων, η λύση είναι απλή: απανθρακοποίηση – να βάλουμε τέλος στην καύση γαιάνθρακα και να χρησιμοποιούμε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Όμως το πρόβλημα είναι πως όλες οι τεχνικές και επιστημονικές εξελίξεις του πολιτισμού μας, το βιοτικό επίπεδο και η ευημερία μας βασίζονται στην καύση τεράστιων ποσοτήτων γαιάνθρακα και είναι αδύνατον να κάνουμε στροφή από έναν τόσο καθοριστικό για το μέλλον μας παράγοντα μέσα σε λίγες δεκαετίες, πόσο μάλλον σε λίγα χρόνια.

Η πλήρης απανθρακοποίηση της παγκόσμιας οικονομίας μέχρι το 2050 μπορεί να επιτευχθεί μόνο με τίμημα μια ασύλληπτη παγκόσμια οικονομική οπισθοδρόμηση ή με ριζικότερες τομές που θα βασίζονται σε σχεδόν θαυματουργές τεχνικές προόδους. Αλλά ποιος θα μπει, σκόπιμα, σε μια τέτοια διαδικασία, όταν δεν έχουμε καμία πειστική, ρεαλιστική και οικονομικά βιώσιμη παγκόσμια στρατηγική και ούτε τα τεχνικά μέσα για να επιδιώξουμε τέτοιες προόδους; Άραγε τι θα συμβεί στην πραγματικότητα; Το χάσμα μεταξύ ευσεβών πόθων και πραγματικότητας είναι αγεφύρωτο, αλλά σε μια δημοκρατική κοινωνία ο ανταγωνισμός των ιδεών και των προτάσεων μπορεί να λάβει χώρα σε ορθολογικό πλαίσιο μόνο όταν οι διάφορες πλευρές διαθέτουν τουλάχιστον ένα ψήγμα πληροφοριών για το πώς λειτουργεί πραγματικά ο κόσμος. Διαφορετικά, απλώς θα συνεχίζουν να επαναλαμβάνουν τις μεροληπτικές αντιλήψεις τους και θα προβάλλουν ισχυρισμούς που είναι αποκομμένοι από το επίπεδο των υλικών δυνατοτήτων.

Στόχος αυτού του βιβλίου είναι να μειώσει αυτό το έλλειμμα κατανόησης και να εξηγήσει ορισμένα από τα θεμελιώδη ζητήματα που καθορίζουν την επιβίωση και την ευημερία μας. Στόχος μου δεν είναι να προβλέψω το μέλλον ούτε και να παρουσιάσω ουτοπικά ή δυστοπικά σενάρια. Θεωρώ ότι ένα ακόμη έργο αυτού του εξαιρετικά δημοφιλούς αλλά παντελώς αποτυχημένου συγγραφικού είδους δεν θα ωφελούσε σε τίποτα: μακροπρόθεσμα, οι πιθανές εξελίξεις είναι τόσο πολλές και απρόβλεπτες και οι αλληλεπιδράσεις τόσο

περίπλοκες, που είναι αδύνατον να προβλεφθούν από ένα άτομο ή ομάδα ατόμων. Ούτε και θα προκρίνω κάποια συγκεκριμένη (μεροληπτική) ερμηνεία της πραγματικότητας ως πηγή μελλοντικής απόγνωσης ή απεριόριστων προσδοκιών. Δεν είμαι ούτε αισιόδοξος ούτε απαισιόδοξος. Είμαι επιστήμονας που προσπαθεί να εξηγήσει πώς λειτουργεί πραγματικά ο κόσμος και με αυτή την κατανόηση θα προσπαθήσω να κάνω τους αναγνώστες να συνειδητοποιήσουν καλύτερα τους περιορισμούς και τις ευκαιρίες που επιφυλάσσει το μέλλον.

Στην απόπειρά μου αυτή θα πρέπει αναγκαστικά να είμαι επιλεκτικός, αλλά καθένα από τα επτά βασικά θέματα που επέλεξα να εξετάσω περνούν το κριτήριο της βασικής επιβιωτικής ανάγκης: δεν θα βρείτε ανάμεσά τους περιττά πράγματα. Το πρώτο κεφάλαιο εξηγεί πώς οι κοινωνίες μας με τις υψηλές απαιτήσεις σε ενέργεια αυξάνουν σταθερά την εξάρτησή τους από τα ορυκτά καύσιμα γενικά και συγκεκριμένα από την ηλεκτρική ενέργεια, την πλέον ευέλικτη μορφή ενέργειας. Είναι μια συνειδητοποίηση που λειτουργεί ως αναγκαίο αντισταθμιστικό μέτρο στους συχνούς πλέον ισχυρισμούς (που βασίζονται σε ελλιπή κατανόηση περίπλοκων καταστάσεων) ότι είναι δυνατόν να προχωρήσουμε σε ταχεία απανθρακοποίηση της παγκόσμιας προσφοράς ενέργειας και ότι σε δύο τρεις δεκαετίες θα βασιζόμαστε αποκλειστικά σε μετατροπές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Παρότι βασιζόμαστε ολοένα μεγαλύτερο μέρος της ηλεκτροπαραγωγής σε νέες ανανεώσιμες πηγές (ηλιακή και αιολική ενέργεια, σε αντιδιαστολή με την καθιερωμένη υδροηλεκτρική) και βγάζουμε περισσότερα ηλεκτρικά οχήματα στους δρόμους, η απανθρακοποίηση των οδικών, εναέριων και θαλάσσιων μεταφορών θα αποτελέσει πολύ μεγαλύτερη πρόκληση, όπως και η παραγωγή βασικών υλικών χωρίς τη χρήση ορυκτών καυσίμων.

Το δεύτερο κεφάλαιο έχει ως θέμα τη βασικότερη από τις επιβιωτικές ανάγκες: την παραγωγή τροφίμων. Στόχος μου είναι να

δείξω ότι μεγάλο μέρος των βασικών για την επιβίωσή μας τροφίμων, από το σιτάρι και τις ντομάτες έως τις γαρίδες, έχουν ένα κοινό χαρακτηριστικό: απαιτούν σημαντικές εισόδους (inputs), άμεσες και έμμεσες, σε ορυκτά καύσιμα. Η συνειδητοποίηση της θεμελιώδους εξάρτησης που έχουμε από τα ορυκτά καύσιμα οδηγεί σε μια ρεαλιστική κατανόηση των συνεχών αναγκών μας σε ορυκτό άνθρακα: είναι σχετικά εύκολο να παράγουμε ηλεκτρική ενέργεια από ανεμογεννήτριες ή φωτοβολταϊκές κυψέλες αντί να καίμε άνθρακα και φυσικό αέριο, αλλά είναι πολύ δυσκολότερο να λειτουργούμε όλα τα γεωργικά μηχανήματα χωρίς υγρά ορυκτά καύσιμα και να παράγουμε τα λιπάσματα και τα υπόλοιπα αγροχημικά προϊόντα χωρίς φυσικό αέριο και πετρέλαιο. Με λίγα λόγια, για δεκαετίες ακόμη θα είναι αδύνατον να καλύψουμε τις διατροφικές ανάγκες του παγκόσμιου πληθυσμού χωρίς να χρησιμοποιούμε ορυκτά καύσιμα ως πηγή ενέργειας και πρώτων υλών.

Το τρίτο κεφάλαιο εξηγεί πώς και γιατί υλικά που παρήγαγε η ανθρώπινη επινοητικότητα είναι απαραίτητα για τη συντήρηση των σύγχρονων κοινωνιών, εστιάζοντας στους τέσσερις πυλώνες του σύγχρονου πολιτισμού, την αμμωνία, τον χάλυβα, το σκυρόδεμα και τα πλαστικά, και αποκαλύπτοντας πόσο παραπλανητικοί είναι οι πρόσφατοι, δημοφιλείς ισχυρισμοί για την αποϋλοποίηση των σύγχρονων οικονομιών που κυριαρχούνται από τον κλάδο των υπηρεσιών και τις μικροσκοπικές ηλεκτρονικές συσκευές. Η σχετική μείωση των υλικών απαιτήσεων ανά μονάδα τελικού προϊόντος σε πολλούς κλάδους υπήρξε μία από τις καθοριστικές τάσεις στην εξέλιξη των σύγχρονων βιομηχανιών. Ωστόσο, σε απόλυτους όρους, οι απαιτήσεις σε υλικά συνεχίζουν να αυξάνονται ακόμη και στις πλουσιότερες κοινωνίες, ενώ παραμένουν πολύ κάτω από οποιοδήποτε επίπεδο επάρκειας στις φτωχές χώρες όπου η ιδιοκτησία καλά κατασκευασμένων διαμερισμάτων, οικιακών

συσκευών και κλιματιστικών μονάδων (πόσο μάλλον αυτοκινήτων) παραμένει άφταστο όνειρο για δισεκατομμύρια ανθρώπους.

Το τέταρτο κεφάλαιο είναι η ιστορία της παγκοσμιοποίησης, δηλαδή πώς η επέκταση των μεταφορών και των επικοινωνιών έκανε τα πάντα στον κόσμο τόσο αλληλένδετα. Αυτή η ιστορική οπτική δείχνει πόσο παλιές (ή βασικά πόσο αρχαίες) είναι οι ρίζες της και πόσο πρόσφατη η κορύφωση και η παγκόσμια εξάπλωσή της. Επίσης μια βαθύτερη εξέταση αποκαλύπτει ότι δεν υπάρχει τίποτα το νομοτελειακό στο μέλλον αυτού του επίμαχου φαινομένου που τόσο έχει εκθειαστεί, αμφισβητηθεί και επικριθεί. Τα τελευταία χρόνια, παρατηρείται μια παγκόσμια τάση αναδίπλωσης και στροφής προς τον λαϊκισμό και τον εθνικισμό, αλλά δεν είναι ξεκάθαρο ούτε μέχρι που θα φτάσει, ούτε σε τι βαθμό ενδέχεται να επηρεαστεί από ένα συνδυασμό παραγόντων που έχουν να κάνουν με την οικονομία, την πολιτική και την εθνική ασφάλεια.

Το πέμπτο κεφάλαιο προσφέρει ένα ρεαλιστικό πλαίσιο εκτίμησης των κινδύνων που αντιμετωπίζουμε: οι σύγχρονες κοινωνίες έχουν καταφέρει να εξαλείψουν ή να μειώσουν σημαντικά πολλούς θανάσιμους ή παραλυτικούς κινδύνους –για παράδειγμα η πολιομυελίτιδα και οι κίνδυνοι του τοκετού–, αλλά κάποιοι κίνδυνοι είναι αδύνατον να εξαλειφθούν και φαίνεται να πέφτουμε διαρκώς έξω στις εκτιμήσεις μας, υποτιμώντας και υπερεκτιμώντας τους κινδύνους που αντιμετωπίζουμε. Με την ολοκλήρωση του κεφαλαίου, οι αναγνώστες θα αποκτήσουν επίγνωση των σχετικών κινδύνων στους οποίους έχουμε έκθεση ανοικιοθελώς ή λόγω ηθελημένων δραστηριοτήτων (από τις πτώσεις στο σπίτι έως τα αεροπορικά ταξίδια και από τους τυφώνες έως την ελεύθερη πτώση), ενώ, αφήνοντας κατά μέρος τις ανοησίες της βιομηχανίας της δίαιτας, θα εξετάσουμε ένα εύρος διατροφικών επιλογών που προάγουν τη μακροβιότητα.

Το έκτο κεφάλαιο ξεκινάει εξετάζοντας πώς οι περιβαλλοντικές

εξελίξεις ενδέχεται να επηρεάσουν τα τρία πράγματα που έχουμε ανάγκη για την επιβίωσή μας: το οξυγόνο, το νερό και τα τρόφιμα. Στη συνέχεια εστιάζει στην παγκόσμια υπερθέρμανση, τη μεταβολή που έχει κυριαρχήσει μεταξύ των πιο πρόσφατων περιβαλλοντικών ανησυχιών, οδηγώντας στην ανάδυση μιας νέας μορφής αποκαλυπτικού σχεδόν καταστροφισμού από τη μία πλευρά και μιας στάσης πλήρους άρνησης από την άλλη. Αντί να παρουσιάσω και να κρίνω τις δύο αυτές αντικρουόμενες θέσεις (κάτι που έχουν κάνει πολλά άλλα βιβλία), αυτό που θέλω να τονίσω είναι ότι, σε αντίθεση με ό,τι πιστεύεται, το συγκεκριμένο φαινόμενο δεν είναι καινούριο: οι βασικές διεργασίες του μας είναι γνωστές για περισσότερα από εκατόν πενήντα χρόνια.

Επιπλέον, γνωρίζουμε τον βαθμό αύξησης της θερμοκρασίας που επιφέρει ο διπλασιασμός του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα για πάνω από έναν αιώνα και μας προειδοποίησαν σχετικά με την πρωτοφανή (και ανεπανάληπτη) φύση αυτού του «παγκόσμιου πειράματος» πριν από τουλάχιστον πενήντα χρόνια (η συστηματική, ακριβής μέτρηση των επιπέδων CO₂ ξεκίνησε το 1958). Ωστόσο έχουμε επιλέξει συνειδητά να αγνοήσουμε αυτές τις εξηγήσεις, τις προειδοποιήσεις και τα καταγεγραμμένα δεδομένα, αυξάνοντας ταυτόχρονα την εξάρτησή μας από την καύση ορυκτών καυσίμων με αποτέλεσμα να είναι δύσκολο και κοστοβόρο να εκμηδενιστεί. Και δεν είναι βέβαιο πόσο γρήγορα μπορεί να λάβει χώρα μια τέτοια μετάβαση. Προσθέτοντας, λοιπόν, σε αυτή και όλες τις υπόλοιπες περιβαλλοντικές ανησυχίες, καταλαβαίνουμε ότι το καίριο υπαρξιακό ερώτημα –μπορεί η ανθρωπότητα να πραγματοποιήσει τις φιλοδοξίες της εντός των ασφαλών ορίων της βιώσιμότητάς μας;– δεν έχει εύκολη απάντηση. Γι' αυτό και είναι ανάγκη να κατανοήσουμε τα πράγματα στη βάση τους, γιατί μόνο τότε θα είμαστε σε θέση να αντιμετωπίσουμε αποτελεσματικά το πρόβλημα.

Στο τελευταίο κεφάλαιο θα στραφώ στο μέλλον, συγκεκριμένα

στις πρόσφατες αντικρουόμενες τάσεις του καταστροφισμού από τη μία (όσους ισχυρίζονται ότι σε μερικά χρόνια πέφτει η αυλαία του σύγχρονου πολιτισμού) και του τεχνο-οπτιμισμού από την άλλη (όσους προβλέπουν ότι η ανθρώπινη ευρηματικότητα θα ανοίξει απεριόριστους ορίζοντες πέρα από τα στενά όρια της γης, μετατρέποντας όλες τις προκλήσεις που αντιμετωπίζει ο πλανήτης σε ασήμαντες υποσημειώσεις στις δέλτους της ιστορίας). Όπως θα μαντέψατε, δεν βλέπω χρησιμότητα σε καμία από τις δύο αυτές θεωρήσεις και η προσωπική οπτική μου δεν ευνοεί κανένα από τα δύο δόγματα. Δεν θεωρώ ότι θα βιώσουμε άμεσα οποιαδήποτε ιστορική τομή σε καμία από τις δύο κατευθύνσεις, δεν βλέπω καμία προκαθορισμένη έκβαση, αλλά αντίθετα μια περίπλοκη τροχιά που εξαρτάται από τις –κάθε άλλο παρά προκαθορισμένες– επιλογές μας.

Αυτό το βιβλίο βασίζεται σε δύο θεμέλια: τα άφθονα επιστημονικά ευρήματα και τον μισό αιώνα εμπειρίας μου στην επιστημονική έρευνα και τη συγγραφή βιβλίων. Στα επιστημονικά ευρήματα περιλαμβάνονται στοιχεία από τις πρώτες κλασικές συμβολές στον κλάδο, όπως οι πρωτοποριακές επεξηγήσεις των μετατροπών ενέργειας και του φαινομένου του θερμοκηπίου από τον δέκατο ένατο αιώνα, αλλά και οι πιο πρόσφατες εκτιμήσεις των παγκόσμιων προκλήσεων και των πιθανοτήτων κινδύνου. Και ένα βιβλίο με τέτοιο θεματικό εύρος θα ήταν αδύνατον να γραφτεί χωρίς δεκαετίες διεπιστημονικής μελέτης που αποτυπώνονται και σε πολλά από τα υπόλοιπα βιβλία μου. Αντί να καταφύγω στην πανάρχαια μεταφορά της αλεπούς και του σκαντζόχοιρου (η αλεπού γνωρίζει πολλά πράγματα, αλλά ο σκαντζόχοιρος γνωρίζει ένα πράγμα καλά), σκέφτομαι τους σύγχρονους επιστήμονες είτε ως σκαπανείς (πλέον η πεπατημένη που οδηγεί στην καταξίωση) είτε ως οραματιστές που στρέφουν το βλέμμα σε νέους ορίζοντες (η εξαίρεση).

Προσωπικά, η προσπάθεια να σκάψω τη βαθύτερη δυνατή τρύπα και η πλήρης γνώση του, κατ' ανάγκη, μικροσκοπικού μέρους του

ουρανού που διακρίνεται από το εσωτερικό της, ουδέποτε μου φαινόταν δελεαστική. Ανέκαθεν προτιμούσα να βλέπω όσο πιο μακριά και σε μεγαλύτερο εύρος μου επέτρεπαν οι περιορισμένες ικανότητές μου. Το βασικό επιστημονικό ενδιαφέρον μου όλα αυτά τα χρόνια ήταν ο κλάδος της ενέργειας, γιατί η κατανόηση αυτού του ιδιαίτερα ευρύ τομέα απαιτεί έναν συνδυασμό γνώσεων φυσικής, χημείας, βιολογίας, γεωλογίας και μηχανικής, αλλά και εστίαση σε ιστορικούς, κοινωνικούς, οικονομικούς και πολιτικούς παράγοντες.

Τα μισά περίπου από τα σαράντα και πλέον (κατά κύριο λόγο πιο ακαδημαϊκά) βιβλία μου παρουσιάζουν διάφορες πτυχές των ενεργειακών πόρων και της ενέργειας διαχρονικά, αλλά και μια πιο εστιασμένη ματιά σε συγκεκριμένες κατηγορίες καυσίμων (πετρέλαιο, φυσικό αέριο, βιομάζα) καθώς και συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και διεργασίες (πυκνότητα ισχύος, ενεργειακή μετάβαση). Τα υπόλοιπα έργα μου προδίδουν τις διεπιστημονικές ανησυχίες μου: έχω γράψει για θεμελιώδη φαινόμενα όπως η ανάπτυξη, σε όλες τις φυσικές και ανθρωπογενείς μορφές της, και για τον κίνδυνο· για το περιβάλλον (τη βιόσφαιρα, τους βιογεωχημικούς κύκλους, την παγκόσμια οικολογία, τη φωτοσυνθετική παραγωγικότητα και τις σοδειές), τη γεωργία και την παραγωγή τροφίμων, τα υλικά (κυρίως για τον χάλυβα και τα λιπάσματα), τις τεχνικές προόδους και την ακμή και παρακμή της βιομηχανικής παραγωγής, καθώς επίσης για την αρχαία ρωμαϊκή και σύγχρονη αμερικανική ιστορία, αλλά και την ιαπωνική κουζίνα.

Αναπόφευκτα, αυτό το βιβλίο –προϊόν του έργου μιας ζωής και γραμμένο για τον απλό αναγνώστη– αποτελεί μια συνέχιση της πολυετούς προσπάθειάς μου να κατανοήσω την πραγματική φύση της βιόσφαιρας, της ιστορίας και του κόσμου που έχουμε δημιουργήσει. Και θεωρώ ότι πετυχαίνει αυτό που έχω πετύχει κατ' επανάληψη όλες αυτές τις δεκαετίες: συμβάλλει στην

απομάκρυνση από ακραίες θέσεις. Οι σύγχρονοι (φανατικοί και ελαφρόμυαλοι) υποστηρικτές τους θα απογοητευτούν, γιατί εδώ δεν θα βρουν ούτε μοιρολατρικές πεποιθήσεις ότι ο κόσμος θα καταστραφεί το 2030 ούτε κάποια εμμονή με τις εκπληκτικές μεταμορφωτικές δυνάμεις της τεχνητής νοημοσύνης που θα αναπτυχθούν νωρίτερα απ' ό,τι πιστεύουμε. Αντίθετα, το βιβλίο μου προσπαθεί να βάλει τις βάσεις για μια πιο μετρημένη και κατ' ανάγκη αγνωστικιστική οπτική. Ελπίζω ότι η λογική, αντικειμενική προσέγγισή μου θα βοηθήσει τους αναγνώστες να κατανοήσουν πώς λειτουργεί πραγματικά ο κόσμος και τι πιθανότητες υπάρχουν να προσφέρουμε καλύτερες προοπτικές στις επόμενες γενιές.

Αλλά προτού αρχίσουμε να εξετάζουμε τα συγκεκριμένα θέματα, θέλω να διατυπώσω μια παράκληση και ταυτόχρονα μια προειδοποίηση. Το βιβλίο είναι γεμάτο αριθμητικά στοιχεία (όλα σε μετρικό σύστημα) γιατί η πραγματική εικόνα του σύγχρονου κόσμου δεν μπορεί να γίνει κατανοητή μέσα από ποιοτικές περιγραφές. Αναπόφευκτα πολλοί από τους αριθμούς είναι υπερβολικά μικροί ή μεγάλοι και έτσι είναι ευκολότερο να προσεγγίζονται μέσα από τις τάξεις μεγέθους και τα καθιερωμένα προθέματα. Αν δεν είστε εξοικειωμένοι με όλα αυτά, το παράρτημα για την κατανόηση μικρών και μεγάλων αριθμών θα σας βοηθήσει και, άρα, ορισμένοι αναγνώστες ίσως ωφεληθούν περισσότερο ξεκινώντας να διαβάζουν το βιβλίο από το τέλος. Διαφορετικά, θα σας δω στο Κεφάλαιο 1 για μια βαθύτερη οπτική των θεμάτων της ενέργειας βασισμένη σε επιστημονικά στοιχεία, οπτική που όσο ισχυρές και αν είναι οι αντίθετες τάσεις δεν πρέπει επ' ουδενί να επιτρέψουμε να εκλείψει.

1. Κατανοώντας την ενέργεια

Καύσιμα και ηλεκτρισμός

Σκεφτείτε ένα σχετικά ακίνδυνο σενάριο επιστημονικής φαντασίας: όχι ταξίδια σε μακρινούς πλανήτες σε αναζήτηση άλλων μορφών ζωής, αλλά τη Γη και τους κατοίκους της ως στόχο παρακολούθησης κάποιου νοήμονα πολιτισμού που στέλνει ερευνητικά διαστημικά σκάφη σε κοντινούς γαλαξίες. Γιατί να κάνει κάτι τέτοιο ένας άλλος πολιτισμός; Πρώτα απ' όλα, για χάρη της συστηματικής κατανόησης, αλλά ενδεχομένως και για να αποφύγει δυνητικά επικίνδυνες εκπλήξεις σε περίπτωση που ο τρίτος πλανήτης που περιστρέφεται γύρω από ένα κατά τα άλλα συνηθισμένο άστρο ενός ελικοειδούς γαλαξία αποτελέσει απειλή ή που χρειαστεί να φύγουν από τον δικό τους πλανήτη. Έτσι, κατά περιόδους, ο μακρινός αυτός πολιτισμός παρακολουθεί τη Γη.

Ας φανταστούμε ότι ένα ερευνητικό σκάφος πλησιάζει τον πλανήτη μας μία φορά κάθε εκατό χρόνια και ότι είναι προγραμματισμένο να κάνει δεύτερο πέρασμα (λεπτομερέστερο έλεγχο) μόνο όταν εντοπίζει κάποιο είδος μετατροπής ενέργειας –μετασχηματισμό από μία μορφή σε κάποια άλλη– που δεν είχε παρατηρηθεί έως τότε ή κάποια νέα μορφή ζωής που βασίζεται σε αυτό. Σύμφωνα με τους θεμελιώδεις νόμους της φυσικής, οποιαδήποτε διεργασία –η βροχή, μια ηφαιστειακή έκρηξη, η ανάπτυξη των φυτών, η θήρευση ζώων ή η ανάπτυξη της ανθρώπινης νοημοσύνης– μπορεί

να οριστεί ως μια ακολουθία ενεργειακών μετατροπών και για ένα διάστημα αρκετών εκατοντάδων εκατομμυρίων ετών κατά τον σχηματισμό της Γης οι μόνες εικόνες που θα λάμβαναν τα σκάφη θα ήταν των διαφορετικών αλλά εντέλει μονότονων ηφαιστειακών εκρήξεων, σεισμικών δονήσεων και ατμοσφαιρικών καταιγίδων.

Θεμελιώδεις αλλαγές

Οι πρώτοι μικροοργανισμοί δημιουργούνται πριν από περίπου τέσσερα δισεκατομμύρια χρόνια. Ωστόσο τα ερευνητικά σκάφη δεν εντοπίζουν τη συγκεκριμένη εξέλιξη, αφού ως μορφή ζωής σπανίζουν και είναι καλά κρυμμένα, βαθιά, στις υποθαλάσσιες υδροθερμικές πηγές. Η πρώτη περίπτωση που απαιτείται προσεκτικότερη διερεύνηση είναι πριν από περίπου 3,5 δισεκατομμύρια χρόνια, όταν ένα διερχόμενο σκάφος καταγράφει τα πρώτα απλά, μονοκύτταρα φωτοσυνθετικά βακτήρια στα αβαθή των θαλασσών: απορροφούν ακτινοβολία στα όρια του ορατού και υπέρυθρου φάσματος και δεν παράγουν οξυγόνο.¹ Έπειτα περνούν εκατοντάδες εκατομμύρια χρόνια χωρίς καμία αισθητή μεταβολή, έως ότου τα κυανοβακτήρια αρχίσουν να χρησιμοποιούν την ενέργεια της ορατής ηλιακής ακτινοβολίας για να μετατρέψουν το διοξείδιο του άνθρακα και το νερό σε νέες οργανικές ενώσεις απελευθερώνοντας οξυγόνο.²

Πρόκειται για μια καθοριστική εξέλιξη που θα δημιουργήσει την οξυγονωμένη ατμόσφαιρα της Γης, αλλά θα περάσει μεγάλο διάστημα προτού εμφανιστούν νέοι πιο περίπλοκοι υδρόβιοι οργανισμοί, πριν από περίπου 1,2 δισεκατομμύρια χρόνια, όταν τα ερευνητικά σκάφη καταγράφουν την εμφάνιση και εξάπλωση των κόκκινων (λόγω της φωτοσυνθετικής χρωστικής ουσίας φυκοερυθρίνης) και των πολύ μεγαλύτερων σε μέγεθος καφετί αλγών. Τα πράσινα άλγη εμφανίζονται έπειτα από σχεδόν μισό

δισεκατομμύριο χρόνια και λόγω του νέου πολλαπλασιασμού των θαλάσσιων φυτών τα ερευνητικά σκάφη εξελίσσουν τα όργανά τους ώστε να παρακολουθούν τον θαλάσσιο πυθμένα. Αυτό αποδίδει καρπούς πριν από εξακόσια περίπου εκατομμύρια χρόνια όταν κάνουν μια ακόμη μνημειώδη ανακάλυψη: τους πρώτους οργανισμούς που αναπτύχθηκαν από διαφοροποιημένα κύτταρα. Αυτοί οι επίπεδοι μαλακοί οργανισμοί που κατοικούν στον θαλάσσιο πυθμένα (γνωστοί ως πανίδες της Εντιακάρα λόγω της αυστραλιανής καταγωγής τους) είναι το πρώτο απλό είδος πανίδας που απαιτεί οξυγόνο για τον μεταβολισμό του και, σε αντίθεση με τα άλγη, που είναι έρμαιο των θαλάσσιων κυμάτων και ρευμάτων, διαθέτουν την ικανότητα κίνησης.³

Και τότε τα ερευνητικά σκάφη αρχίζουν να εντοπίζουν σχετικά ταχείες αλλαγές: αντί να περνούν πάνω από άψυχες ηπείρους και να περιμένουν εκατοντάδες εκατομμύρια χρόνια για την επόμενη σημαντική μεταβολή, αρχίζουν να καταγράφουν κύματα εμφάνισης, εξάπλωσης και εξαφάνισης τεράστιας ποικιλίας ειδών. Αυτή η περίοδος ξεκινάει με την καμβριανή έκρηξη, την εμφάνιση μικρών οργανισμών που κατοικούν στον θαλάσσιο πυθμένα (πριν από πεντακόσια σαράντα ένα εκατομμύρια χρόνια, με πρώτο κυρίαρχο είδος τους τριλοβίτες) και φτάνει μέχρι την εμφάνιση των πρώτων ψαριών, αμφιβίων, χερσαίων φυτών και των πρώτων τετράποδων (και επομένως εξαιρετικά ευκίνητων) ζώων. Οι περιοδικές εξαφανίσεις μειώνουν ή ορισμένες φορές εξαλείφουν εντελώς αυτά τα είδη και ακόμη και πριν έξι εκατομμύρια χρόνια τα ερευνητικά σκάφη δεν βρίσκουν κανέναν συγκεκριμένο οργανισμό να κυριαρχεί στον πλανήτη.⁴ Έπειτα από σύντομο σχετικά διάστημα, συντελείται μια μεταβολή μηχανικής φύσης με τεράστιες συνέπειες από άποψη ενέργεια που όμως παραλίγο να μη αντιληφθούν τα ερευνητικά σκάφη: πολλά τετράποδα αρχίζουν να στέκονται, περιστασιακά και για σύντομα διαστήματα, ή να περπατούν στα δύο πόδια και

πριν από λίγο περισσότερα από τέσσερα εκατομμύρια χρόνια αυτή η μορφή κίνησης γίνεται ο κανόνας για τα μικρά πιθηκοειδή, που αρχίζουν να περνούν περισσότερο χρόνο στο έδαφος απ' ό,τι στα δέντρα.⁵

Πλέον οι περίοδοι μεταξύ αξιοσημείωτων μεταβολών τις οποίες αναφέρουν στον πλανήτη τους μειώνονται από εκατοντάδες εκατομμύρια σε εκατοντάδες χιλιάδες χρόνια. Τελικά οι απόγονοι των πρώτων αυτών δίποδων (που ονομάζονται Ανθρωπίνοι και ανήκουν στο γένος *Homo*, στη μακρά εξελικτική γραμμή των προγόνων μας) κατορθώνουν κάτι που επιταχύνει την κυριάρχησή τους στον πλανήτη. Πριν από αρκετές εκατοντάδες χιλιάδες χρόνια, τα ερευνητικά σκάφη εντοπίζουν τις πρώτες εξωσωματικές χρήσεις ενέργειας –δηλαδή οποιαδήποτε μετατροπή ενέργειας πέρα από τον μεταβολισμό τροφής– όταν κάποια από αυτά τα δίποδα τιθασεύουν τη φωτιά και τη χρησιμοποιούν για την προετοιμασία τροφής, για προστασία και για να ζεσταίνονται.⁶ Αυτή η ελεγχόμενη καύση, που μετατρέπει τη χημική ενέργεια των φυτών σε θερμική ενέργεια και φως, δίνει τη δυνατότητα στους Ανθρωπίνους να καταναλώνουν μέχρι πρότινος δύσπεπτες τροφές, να ζεσταίνονται τα κρύα βράδια και να κρατούν μακριά τα επικίνδυνα ζώα.⁷ Πρόκειται για τα πρώτα βήματα συνειδητής διαμόρφωσης και ελέγχου του περιβάλλοντος σε πρωτοφανή κλίμακα.

Αυτή η τάση εντείνεται με την επόμενη αξιοσημείωτη μεταβολή, την εμφάνιση της γεωργίας. Πριν από δέκα περίπου χιλιετίες, τα ερευνητικά σκάφη καταγράφουν τις πρώτες εκτάσεις καλλιεργημένων φυτών καθώς ένα ελάχιστο μέρος της συνολικής φωτοσυνθετικής δραστηριότητας της Γης ελέγχεται από τους ανθρώπους που προχωρούν σε εξημέρωση –επιλογή, σπορά, καλλιέργεια, θερισμό– φυτών προς (μεταγενέστερο) όφελός τους.⁸ Σύντομα ακολουθεί και η πρώτη εξημέρωση ζώων. Ωστόσο, πριν από αυτή, οι ανθρωπίνοι μύες που μετέτρεπαν τη χημική ενέργεια της τροφής σε κινητική

(μηχανική) ενέργεια έργου αποτελούσαν τον μοναδικό κινητήριο μηχανισμό. Η εξημέρωση των αγροτικών ζώων, ξεκινώντας από τα βοοειδή πριν από εννέα χιλιάδες χρόνια, παρέχει την πρώτη εξωσωματική μορφή ενέργειας στον άνθρωπο που τα χρησιμοποιεί για γεωργικές εργασίες, για άντληση νερού από πηγάδια, για έλξη ή μεταφορά φορτίων και ως μέσο προσωπικής μετακίνησης.⁹ Και αρκετά αργότερα έρχονται οι πρώτοι τεχνητοί κινητήριοι μηχανισμοί: ιστία, πριν πέντε και πλέον χιλιετίες· υδροτροχοί, πριν από δύο πλέον χιλιετίες· και ανεμόμυλοι, πριν από μία και πλέον χιλιετία.¹⁰

Από εκείνο το σημείο και μετά τα ερευνητικά σκάφη δεν έχουν και πολλά να καταγράψουν, αφού εισερχόμαστε σε μία ακόμη περίοδο (σχετικής) επιβράδυνσης: για αιώνες παρατηρείται μόνο επανάληψη, στασιμότητα ή υπερβολικά αργή ανάπτυξη και διάδοση των ήδη καθιερωμένων μετατροπών ενέργειας. Στην Αμερική και στην Αυστραλία (ελλείπει αγροτικών ζώων και ακόμη και των απλούστερων τεχνητών κινητήριων μηχανισμών), όλες οι εργασίες πριν από την έλευση των Ευρωπαίων γίνονται από ανθρώπους. Σε ορισμένες προβιομηχανικές περιοχές του Παλαιού Κόσμου, τα ζώα, ο άνεμος και το νερό αποτελούν πηγή ενέργειας για πολλούς αλευρόμυλους, ελαιοτριβεία, αλεστικούς μύλους και για τη σιδηρουργία, ενώ τα γεωργικά ζώα (άλογα, μουλάρια κτλ.) καθίστανται αναντικατάστατα στην εκτέλεση των βαριών γεωργικών εργασιών (πάνω από όλα το όργωμα, αφού ο θερισμός γίνεται ακόμη με το χέρι), τη μεταφορά εμπορευμάτων και τη διεξαγωγή πολέμων.

Ωστόσο ακόμη και σε κοινωνίες με εξημερωμένα ζώα και τεχνητούς κινητήριους μηχανισμούς, οι περισσότερες εργασίες συνεχίζουν να επιτελούνται από ανθρώπους. Η εκτίμησή μου, χρησιμοποιώντας κατ' ανάγκη προσεγγίσεις για τον συνολικό αριθμό αγροτικών ζώων και ανθρώπων και υποθέτοντας κανονικούς καθημερινούς ρυθμούς εργασίας με βάση τις σύγχρονες μετρήσεις καταβολής σωματικής προσπάθειας, είναι ότι, είτε στις

αρχές της δεύτερης χιλιετίας της Κοινής Εποχής είτε πεντακόσια χρόνια αργότερα (το 1500, στο ξεκίνημα της Πρώιμης Σύγχρονης Εποχής) πάνω από το 90% της εκμεταλλεύσιμης μηχανικής ενέργειας παρέχεται από έμβια όντα, η μισή περίπου από ζώα και η μισή από ανθρώπους, ενώ η θερμική ενέργεια εξολοκλήρου από την καύση φυτικών καυσίμων (κυρίως ξύλα και κάρβουνο, αλλά επίσης άχυρου και ξηραμένης κοπριάς).

Και τότε το 1600 το εξωγήινο σκάφος θα εντοπίσει κάτι πρωτοφανές. Αντί να συνεχίσει να βασίζεται αποκλειστικά στο ξύλο, μια νησιωτική κοινωνία αρχίζει να καίει γαιάνθρακα, καύσιμη ύλη που δημιουργήθηκε από τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης πριν από δεκάδες ή εκατοντάδες εκατομμύρια χρόνια και απολιθώθηκε από τις υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις που επικρατούσαν κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Οι ακριβέστερες ιστορικές προσεγγίσεις δείχνουν ότι στην Αγγλία ο γαιάνθρακας ξεπερνάει ως πηγή θερμότητας τη χρήση της βιομάζας περίπου το 1620 (ενδεχομένως και νωρίτερα)· το 1650 τα δύο τρίτα της συνολικής θέρμανσης προέρχονται από καύση ορυκτού άνθρακα και το 1700 το ποσοστό φτάνει το 75%.¹¹ Η Αγγλία έχει ένα εκπληκτικό προβάδισμα: όλες οι ανθρακοφόρες εκτάσεις που τον δέκατο ένατο αιώνα κάνουν το Ηνωμένο Βασίλειο την πρώτη οικονομία στον κόσμο παράγουν γαιάνθρακα ήδη πριν από το 1640.¹² Και τότε, στις αρχές του δέκατου όγδοου αιώνα, ορισμένα αγγλικά ορυχεία αρχίζουν να βασίζονται σε ατμομηχανές, τον πρώτο κινητήριο μηχανισμό που τροφοδοτείται με καύση ορυκτών καυσίμων.

Η απόδοση των πρώτων αυτών ατμομηχανών είναι τόσο χαμηλή που μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο σε ορυχεία όπου το απόθεμα καυσίμου είναι άμεσα διαθέσιμο και δεν απαιτείται μεταφορά του.¹³ Και το Ηνωμένο Βασίλειο παραμένει για γενιές το πλέον ενδιαφέρον κράτος για το εξωγήινο ερευνητικό σκάφος χάρη στην τόσο πρώιμη υιοθέτηση της συγκεκριμένης πηγής ενέργειας.

Ακόμη και το 1800, η συνολική εξόρυξη γαιάνθρακα στις λιγοστές ευρωπαϊκές χώρες που υιοθετούν τη συγκεκριμένη πρακτική και στις Ηνωμένες Πολιτείες είναι απειροελάχιστη συγκριτικά με την παραγωγή της Βρετανίας.

Αλλά οποιοδήποτε ερευνητικό σκάφος διέσχιζε τον πλανήτη το 1800 θα διαπίστωνε ότι τα φυτικά καύσιμα παρέχουν ακόμη πάνω από το 98% της θέρμανσης και του φωτός που χρησιμοποιούν τα κυρίαρχα δίποδα και το μυϊκό σύστημα των ανθρώπων και των ζώων πάνω από το 90% της συνολικής μηχανικής ενέργειας που απαιτείται στη γεωργία, τις κατασκευές και την παραγωγή. Στο Ηνωμένο Βασίλειο, όπου τη δεκαετία του 1770 ο Τζέιμς Βατ εισάγει μια βελτιωμένη εκδοχή της ατμομηχανής, η εταιρεία Boulton & Watt ξεκινάει να κατασκευάζει μηχανές που η μέση ισχύς τους ισούται με είκοσι πέντε άλογα, αλλά μέχρι και το 1800 δεν καταφέρνει να πουλήσει πάνω από πεντακόσιες τέτοιες μηχανές και επομένως να μειώσει έστω ελάχιστα τη συνολική ισχύ που παρέχουν τα άλογα και οι χειρώνακτες εργάτες.¹⁴

Ακόμη και το 1850, η αυξανόμενη εξόρυξη γαιάνθρακα στην Ευρώπη και στη Βόρεια Αμερική παρέχει μόλις το 7% της ενέργειας που προέρχεται από καύσιμα, η μισή σχεδόν αξιοποιήσιμη κινητική ενέργεια προέρχεται από τα γεωργικά ζώα, το 40% από τους ανθρώπους και μόλις το 15% από τα τρία είδη κινητήριων μηχανισμών: τους υδροτροχούς, τους ανεμόμυλους και τις ατμομηχανές που έχουν αρχίσει σιγά σιγά να διαδίδονται. Ο κόσμος του 1850 μοιάζει πολύ περισσότερο με εκείνον του 1700 ή ακόμη και του 1600 παρά με του 2000.

Αλλά στις αρχές του εικοστού αιώνα, το παγκόσμιο μερίδιο τόσο των ορυκτών όσο και των ανανεώσιμων καυσίμων και των κινητήριων μηχανισμών αλλάζει σημαντικά, καθώς σύγχρονες πηγές ενέργειας (γαιάνθρακας και εν μέρει αργό πετρέλαιο) παρέχουν τη μισή πρωτογενή ενέργεια και τα παραδοσιακά καύσιμα (ξύλο,

κάρβουνο, άχυρο) την άλλη μισή. Οι υδροστρόβιλοι στους υδροηλεκτρικούς σταθμούς παράγουν την πρώτη πρωτογενή ηλεκτρική ενέργεια τη δεκαετία του 1880· αργότερα έρχεται η γεωθερμική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και μετά το τέλος του Β' Παγκοσμίου Πολέμου η πυρηνική, ηλιακή και αιολική ηλεκτροπαραγωγή (οι νέες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας). Αλλά έως και το 2020 η μισή και πλέον ηλεκτρική ενέργεια του πλανήτη θα παράγεται από καύση ορυκτών καυσίμων, κυρίως γαιάνθρακα και φυσικού αερίου.

Το 1900, οι τεχνητοί κινητήριιοι μηχανισμοί παρέχουν περίπου τη μισή από τη συνολική μηχανική ενέργεια: οι ατμομηχανές που χρησιμοποιούν άνθρακα έχουν τη μεγαλύτερη συμβολή και ακολουθούνται από τους βελτιωμένους υδροτροχούς και τους νέους υδροστρόβιλους (που εισάγονται τη δεκαετία του 1830), τους ανεμόμυλους και τους νέους ατμοστρόβιλους (από τα τέλη της δεκαετίας του 1880) και τις μηχανές εσωτερικής καύσης (βενζινοκινητήρες, που εισάγονται και αυτοί τη δεκαετία του 1880).¹⁵

Το 1950, τα ορυκτά καύσιμα (με κυρίαρχο ακόμη τον άνθρακα) παρέχουν σχεδόν τα τρία τέταρτα της πρωτογενούς ενέργειας και οι τεχνητοί κινητήριιοι μηχανισμοί –με τους βενζινοκινητήρες και πετρελαιοκινητήρες εσωτερικής καύσης να έχουν την πρωτοκαθεδρία– παρέχουν πάνω από το 80% της συνολικής μηχανικής ενέργειας. Και το 2000 μόνο οι φτωχοί πληθυσμοί χωρών με χαμηλά εισοδήματα εξαρτιόνται από τη βιομάζα, με το ξύλο και το άχυρο να παρέχουν περίπου το 12% της πρωτογενούς ενέργειας παγκοσμίως. Οι έμψυχοι κινητήριιοι μηχανισμοί, αντιστοιχούν περίπου στο 5% της μηχανικής ενέργειας, καθώς το μηχανικό έργο ανθρώπων και ζώων έχει σχεδόν αντικατασταθεί στο σύνολό του από μηχανές υγρών καυσίμων ή ηλεκτροκινητήρες.

Έτσι, τους δύο τελευταίους αιώνες, τα εξωγήινα ερευνητικά σκάφη έχουν καταγράψει την ταχύτατη αντικατάσταση παγκοσμίως των πρωτογενών πηγών ενέργειας και τη συνοδευόμενη

διεύρυνση και διαφοροποίηση της προσφοράς ενέργειας από ορυκτά καύσιμα, καθώς και την εξίσου ταχεία εισαγωγή, υιοθέτηση και ανάπτυξη των δυνατοτήτων των νέων άβιων κινητήριων μηχανισμών – πρώτα των ατμομηχανών που κινούνται με άνθρακα, ύστερα των μηχανών εσωτερικής καύσης (πιστόνια και στρόβιλοι). Και στην πιο πρόσφατη επίσκεψή τους θα γίνουν μάρτυρες μιας πραγματικά παγκόσμιας κοινωνίας που δομείται και ορίζεται γύρω από τις μαζικής κλίμακας, στατικές και κινούμενες, μετατροπές ορυκτού άνθρακα που χρησιμοποιούνται παντού εκτός από τις ακατοίκητες περιοχές του πλανήτη.

Σύγχρονες χρήσεις ενέργειας

Αλλά τι διαφορές επέφερε αυτή η κινητοποίηση εξωσωματικών μορφών ενέργειας; Η παγκόσμια παροχή πρωτογενούς ενέργειας συνήθως αναφέρεται στη συνολική (καθαρή) παραγωγή, αλλά είναι πιο διαφωτιστικό να εξετάσουμε την ενέργεια που είναι διαθέσιμη για μετατροπή σε χρήσιμες μορφές. Έτσι, πρέπει να αφαιρέσουμε τις απώλειες προ κατανάλωσης (κατά τα στάδια διαλογής και καθαρισμού του άνθρακα, της επεξεργασίας του αργού πετρελαίου και του φυσικού αερίου), τις μη ενεργειακές χρήσεις (κυρίως ως πρώτες ύλες της χημικής βιομηχανίας και επίσης ως λιπαντικά για μηχανές από αντλίες μέχρι κινητήρες αεροσκαφών, αλλά και ως υλικά οδόστρωσης), και τις απώλειες κατά τη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας. Με αυτές τις προσαρμογές –και με αρκετή στρογγυλοποίηση για να μη δώσω την εντύπωση ενός ανύπαρκτου βαθμού ακρίβειας– οι υπολογισμοί μου δείχνουν ότι η χρήση ορυκτών καυσίμων εξηνταπλασιάστηκε κατά τον δέκατο ένατο αιώνα, δεκαεξαπλασιάστηκε κατά τον εικοστό αιώνα και αυξήθηκε χίλιες πεντακόσιες φορές περίπου τα τελευταία διακόσια είκοσι χρόνια.¹⁶