

# **Οι προβλέψεις του κλίματος: Τα επιστημονικά δεδομένα, η ιστορική εμπειρία και η αλήθεια \***

Θ. ΞΑΝΘΟΠΟΥΛΟΣ - Δ. ΚΟΥΤΣΟΓΙΑΝΝΗΣ

Τομέας Υδατικών Πόρων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

## **1. Οι καταστροφολογικές προφητείες για το κλίμα**

Πολλές και διάφορες είναι οι εκτιμήσεις τα τελευταία χρόνια ως προς τις δυσμενείς για το κλίμα ανθρώπινες δραστηριότητες, ενοχοποιώντας συνήθως και κατά κύριο λόγο αυτές που προκαλούν το γνωστό φαινόμενο θερμοκηπίου. Επικαλούμενοι το φαινόμενο αυτό, και όχι μόνον, πολλοί από εμάς τους επιστήμονες παρασυρόμαστε σε εύκολες κατά κανόνα καταστροφολογικές προγνώσεις για το τι θα γίνει στο άμεσο ή το απώτερο μέλλον με το κλίμα, τους υδατικούς πόρους και τη βίοςφαιρα.

Παράλληλα, ως απλοί άνθρωποι με περιορισμένο κύκλο ζωής και μνήμης, δηλώνουμε σίγουροι ότι το μικροκλίμα της περιοχής που ζούμε έχει αλλάξει εξαιτίας μας τα τελευταία χρόνια προς το χειρότερο και προδικάζουμε και άλλα δεινά για το ορατό μέλλον.

Πόσο αξιόπιστες είναι αυτές οι «προφητείες»;

## **2. Το σωτήριο για τη βίοςφαιρα φαινόμενο του θερμοκηπίου**

Με τον όρο φαινόμενο θερμοκηπίου χαρακτηρίζεται το γεγονός ότι μεγάλο μέρος της υπέρυθρης ακτινοβολίας που εκπέμπεται από την επιφάνεια της Γης απορροφάται από ορισμένα αέρια της ατμόσφαιρας, τα αέρια θερμοκηπίου (CO<sub>2</sub> κτλ.) και τα σύννεφα, και επανεκπέμπεται προς την επιφάνεια. Με ευτυχή συνέπεια τη διάσωση του μεγαλύτερου μέρους της βίοςφαιρας: υπολογίζεται ότι χωρίς αυτό το προστατευτικό «θερμοκήπιο» (δηλαδή με την απουσία των CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O κτλ.) η επιφάνεια του πλανήτη μας θα ήταν μια απέραντη παγωμένη έκταση, αφιλόξενη για τα περισσότερα είδη της πανίδας και της χλωρίδας, με μέση θερμοκρασία 18°C κάτω από το μηδέν! Χάρη στο θερμοσυλλεκτικό αυτό σκέπασμα, η μέση πλανητική θερμοκρασία ανεβαίνει κατά 33°C και βρίσκεται στο πρόσφορο για τη βίοςφαιρα επίπεδο των 15°C.

Η παρουσία στην ατμόσφαιρα των αερίων θερμοκηπίου, και ειδικότερα του CO<sub>2</sub>, προφανώς και ευτυχώς προϋπήρχε της εμφάνισης του ανθρώπου. Η ανθρωπογενής επίδραση στο φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι σχετικά πρόσφατη και οφείλεται στις αυξημένες δραστηριότητες της βιομηχανικής και μεταβιομηχανικής κοινωνίας. Οι αυξανόμενες καύσεις άνθρακα και υδρογονανθράκων, π.χ., οδηγούν στην υπερσυγκέντρωση CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα και το γεγονός αυτό αποτελεί μια ανθρωπογενή διαταραχή η οποία, σύμφωνα με την κλασική

---

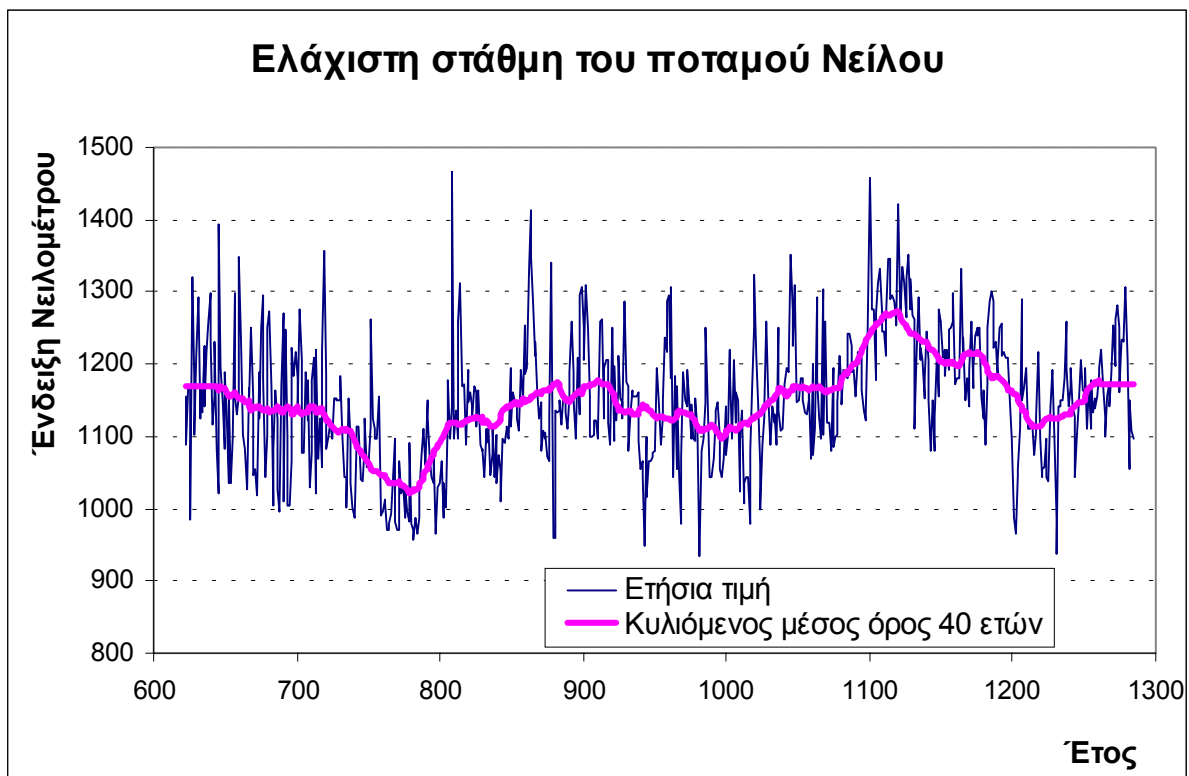
\* Το άρθρο δημοσιεύτηκε στην Εφημερίδα «Το Βήμα» της 17ης Σεπτεμβρίου 2000 (σελ. Α10-Α11) με τίτλο «Οι ψευδοπροφήτες του κλίματος: Τα επιστημονικά δεδομένα, η ιστορική εμπειρία και η αλήθεια».

λογική της αιτιοκρατίας, θα επισύρει κάποιες αλλαγές στο κλίμα. Το σαφές αίτιο των αλλαγών αυτών, δηλαδή η ανθρωπογενής αύξηση των αερίων θερμοκηπίου, αποτελεί όμως ένα αδιευκρίνιστου ύψους ποσοστό των αιτίων που επηρεάζουν καθοριστικά τις όποιες κλιματικές αλλαγές.

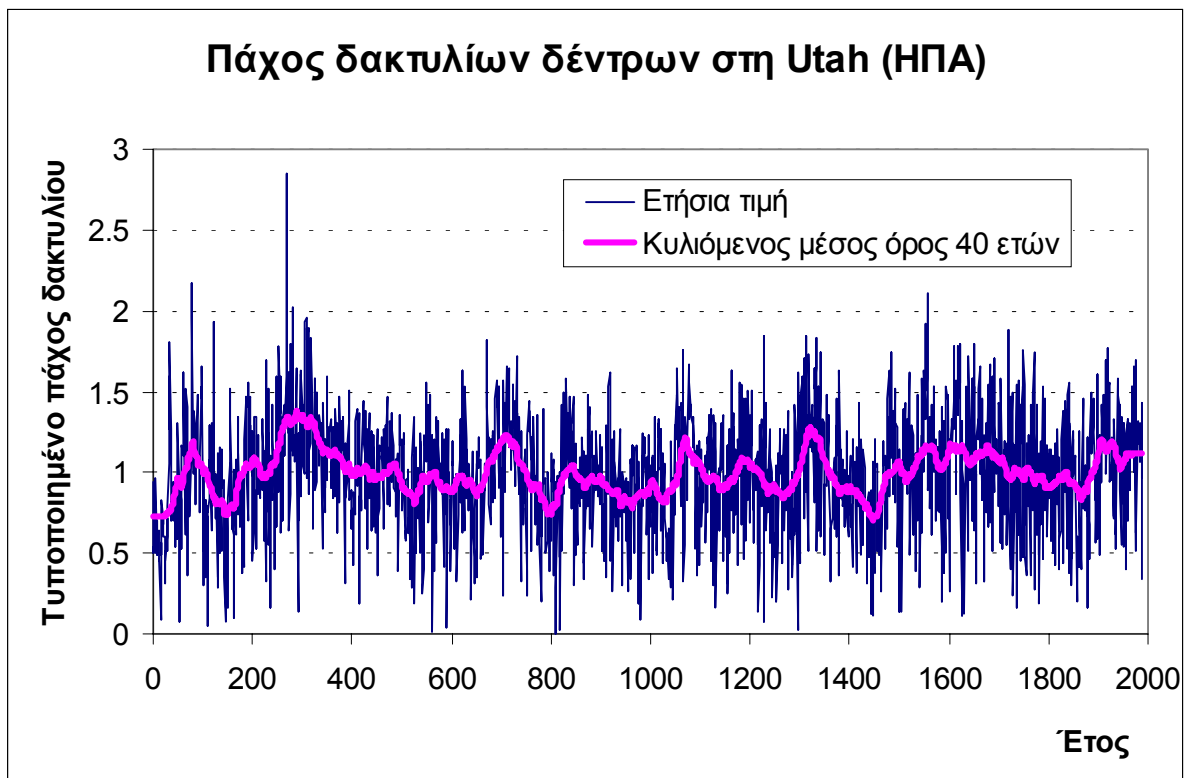
### 3. Η ιστορική εξέλιξη του πλανητικού κλίματός μας

Οι παγκόσμιες ανησυχίες για το φαινόμενο θερμοκηπίου πυροδότησαν εκτεταμένες έρευνες, τόσο γύρω από αυτό το ίδιο όσο και για την ιστορική εξέλιξη του κλίματος γενικότερα. Για τον λόγο αυτό ανασύρθηκαν οι παλαιότερες μετρήσεις κλιματικών και υδρολογικών παραμέτρων.

Δυστυχώς, οι συστηματικές μετρήσεις ξεκινούν μόλις στα μέσα του 18ου αιώνα και μόνο σε προηγμένες, ευρωπαϊκές κυρίως, χώρες. Υπάρχουν πολύ λίγες ευτυχείς εξαιρέσεις, όπως για παράδειγμα οι ελάχιστες ετήσιες στάθμες του ποταμού Νείλου, καταγραμμένες στο λεγόμενο «Νειλόμετρο» κοντά στο Κάιρο για 663 χρόνια, από το 622 μ.Χ. ως το 1284 μ.Χ., όπως παραστατικά φαίνονται στο σχετικό διάγραμμα.



Για τη συμπλήρωση της γνώσης μας, άρχισαν από καιρό και συνεχίζονται εντατικά πολλές προσπάθειες για την «αναδόμηση» μιας αξιόπιστης εικόνας της ιστορίας του κλίματος κατά το πρόσφατο και το απώτερο παρελθόν. Επινοήθηκαν διάφορες μέθοδοι, οι οποίες μπορούν να δώσουν έμμεσους κλιματικούς δείκτες στηριγμένους σε άλλους μετρήσιμους δείκτες που αναλύονται από τα κατάλληλα ευρήματα. Η δενδροκλιματολογία, για παράδειγμα, καταφέρνει να δώσει, υπό ορισμένες προϋποθέσεις, μια αρκετά καλή προσέγγιση κάποιων παραμέτρων του κλίματος στο παρελθόν, αναλύοντας τα πάχη των δακτυλίων των δένδρων. Στο σχετικό διάγραμμα φαίνεται ένα δείγμα παχών δακτυλίων για τα τελευταία δύο χιλιάδες χρόνια, που καταρτίστηκε μετά από έρευνες στη Γιούτα των ΗΠΑ. Είναι προφανές ότι η ετήσια αύξηση ή η μείωση του πάχους ενός δακτυλίου προκύπτει από την αντίστοιχη αύξηση ή μείωση του ετήσιου ύψους βροχής στην περιοχή του δένδρου.



#### 4. Ερμηνείες των κλιματικών αλλαγών

Γενικό συμπέρασμα των σχετικών ερευνών είναι ότι το κλίμα σε έναν τόπο δεν παραμένει σταθερό, όπως εσφαλμένα νομίζαμε πριν από μερικές δεκαετίες. Είναι χαρακτηριστικό και αποκαλυπτικό ότι πέρα από τις ετήσιες σχεδόν τυχαίες διακυμάνσεις, υπάρχουν σαφείς και σημαντικές ανοδικές και καθοδικές τάσεις στους κυλιόμενους μέσους όρους 40ετίας και στα δύο ιστορικά διαγράμματα των περιοχών του Νείλου και της Γιούτας: καταγράφονται δηλαδή με σαφήνεια ανοδικοί και καθοδικοί κύκλοι, οι οποίοι εναλλάσσονται χρονικά και διαρκούν από λίγες δεκαετίες ως και πάνω από δύο εκατονταετίες, χωρίς καμιά κανονικότητα.

Η ιστορία δείχνει λοιπόν ότι οι κλιματικές αλλαγές αποτελούν ένα ισχυρό φυσικό καθεστώς ανεξάρτητο από την πρόσφατη ανθρωπογενή επέμβαση στο φαινόμενο θερμοκηπίου. Πολύ λίγα είναι γνωστά για την ακριβή δομή των μηχανισμών που προκαλούν τις διάφορες κλιματικές μεταβολές σε όλη τη Γη, αλλά και τις εξαιρετικά ευαίσθητες μεταξύ τους αλληλεπιδράσεις. Χαρακτηριστική είναι η διατύπωση της επιτροπής του αμερικανικού National Research Council ότι το κλίμα «αλλάζει με ακανόνιστο τρόπο, για άγνωστους λόγους, σε όλες τις χρονικές κλίμακες».

Ένα πρώτο σημείο, άξιο σχολιασμού, σε αυτή τη συνοπτική διατύπωση είναι ότι οι κλιματικές μεταβολές με την παρούσα επιστημονική ανάλυση των μηχανισμών που τις προκαλούν δεν είναι προβλέψιμες. Ενδέχεται μάλιστα να αποδειχθεί ότι είναι και από τη φύση τους απρόβλεπτες, με την έννοια της απροσδιοριστίας στην εξέλιξη του συνολικού φαινομένου. Ας θυμηθούμε εδώ και την άποψη του μετεωρολόγου Ed Lorenz για τις ενδεχόμενες απρόβλεπτες συνέπειες του χτυπήματος των φτερών μιας πεταλούδας. Τη γενίκευση αυτής της νέας θεώρησης του κόσμου μας, με πρόσφορο πεδίο εφαρμογής τις κλιματικές αλλαγές, συνόψισε ο Pya Prigogine κατά την πρόσφατη τελετή της αναγόρευσής του ως επίτιμου διδάκτορα στο Μετσόβιο Πολυτεχνείο: Αποδεικνύεται, είτε, ότι αντίθετα με

την ευστάθεια και την ισορροπία που πρόσβευε η κλασική επιστήμη, οι αστάθειες, οι διακυμάνσεις, οι καινοτομίες και η εξέλιξη είναι τα κυρίαρχα χαρακτηριστικά της φύσης αλλά και της ανθρώπινης κοινωνίας. Εγκαταλείποντας τη βεβαιότητα των κλασικών νόμων, οι γενικευμένοι νόμοι των πολύπλοκων συστημάτων περιγράφονται με πιθανότητες, οι οποίες διέπουν την πραγμάτωση των δυνατοτήτων που μας προσφέρει το αενάως εξελισσόμενο σύμπαν.

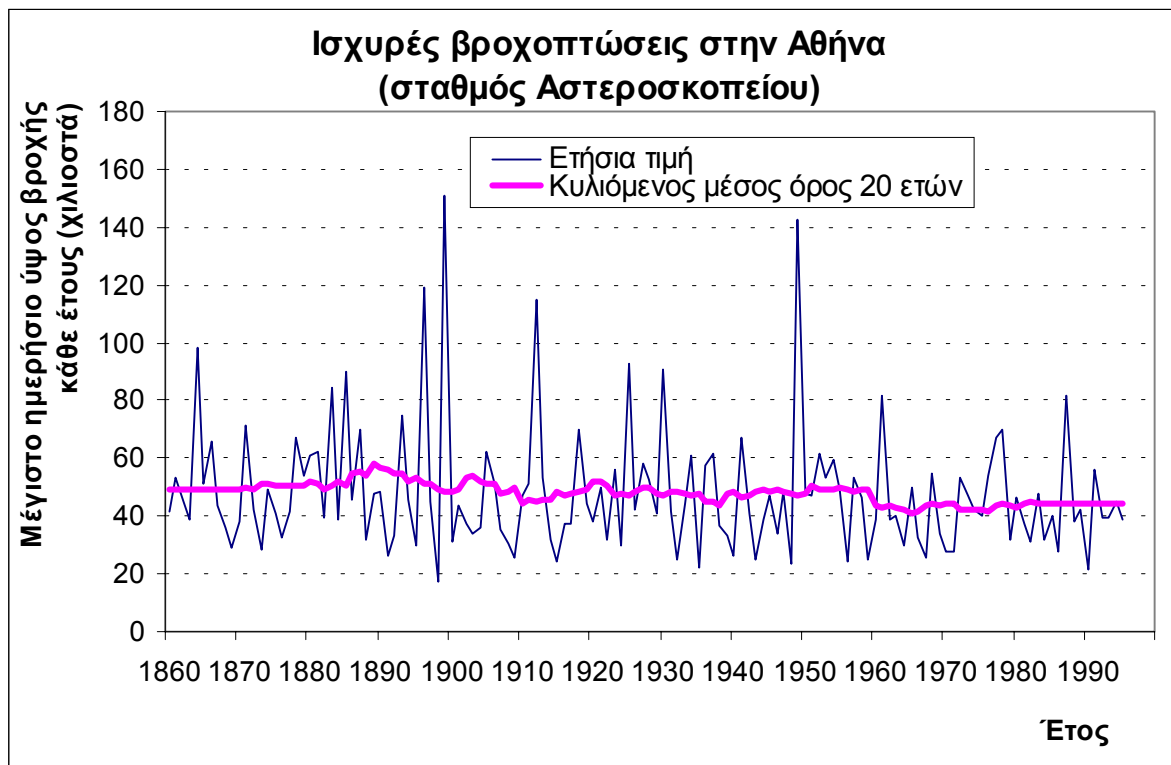
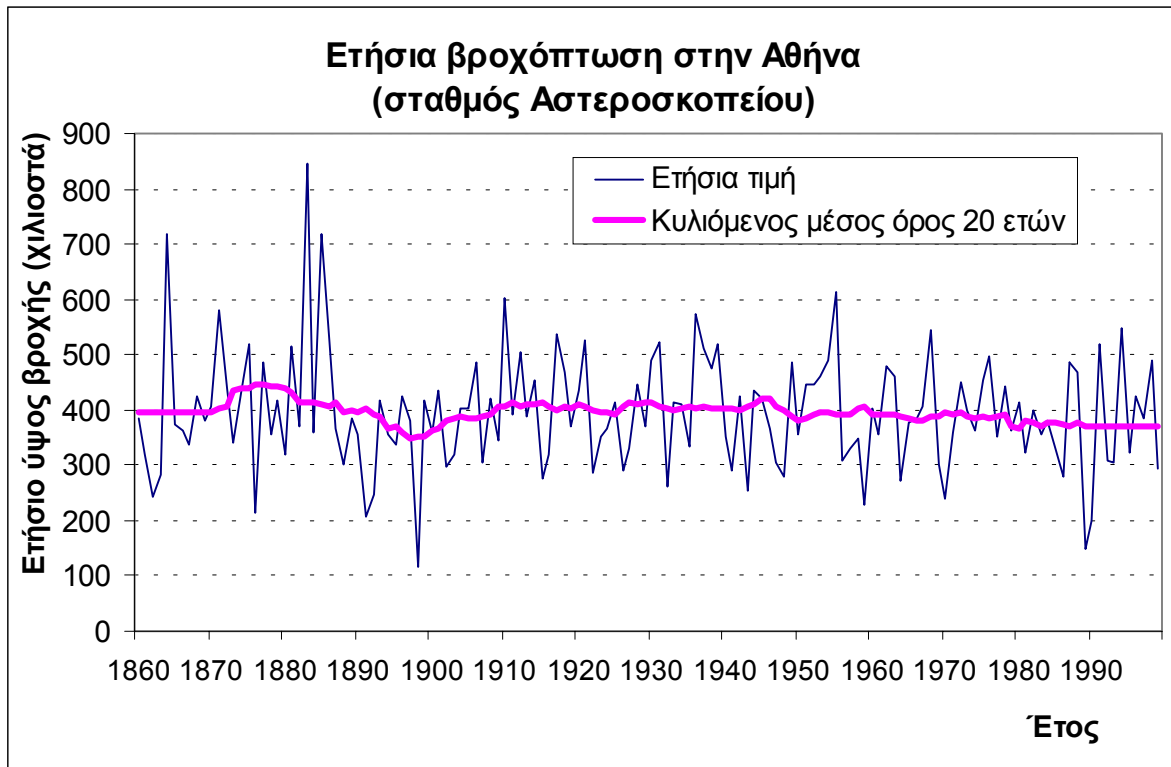
Το δεύτερο σημείο που αξίζει την προσοχή μας είναι ότι η φυσική κλιματική μεταβολή δεν συμβαίνει μόνο στην συνεπτυγμένη γεωλογική χρονική κλίμακα, όπως πιστεύαμε παλαιότερα, αλλά σε όλες τις χρονικές κλίμακες όπως επιβεβαιώνεται και από τα διαγράμματα που προαναφέραμε.

Αυτό που ίσως μας εμπόδιζε να διαγνώσουμε τη μεταβλητότητα του κλίματος και μας δημιουργούσε την ψευδαίσθηση της σταθερότητας είναι το γεγονός ότι τα ιστορικά υδρομετεωρολογικά δεδομένα των προηγούμενων δεκαετιών πράγματι εμφάνιζαν μια σχετική σταθερότητα. Στην πραγματικότητα, και σύμφωνα με τις απόψεις κλιματολόγων και υδρολόγων, η περίοδος 1931-1960 ήταν κατ' εξαίρεση σταθερή και, συνεπώς, λόγω ακριβώς της κλιματικής σταθερότητάς της, ήταν μια από τις πιο ανώμαλες κλιματικές περιόδους της τελευταίας χιλιετίας!

## 5. Το κλίμα στον ελλαδικό χώρο

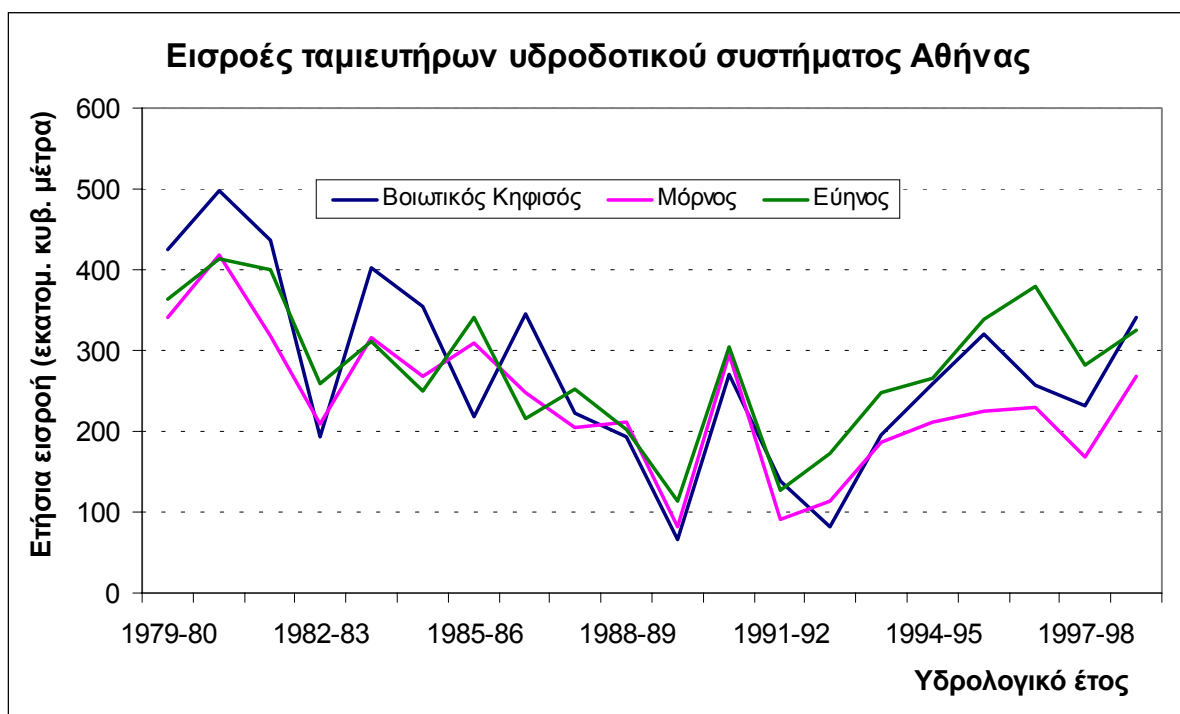
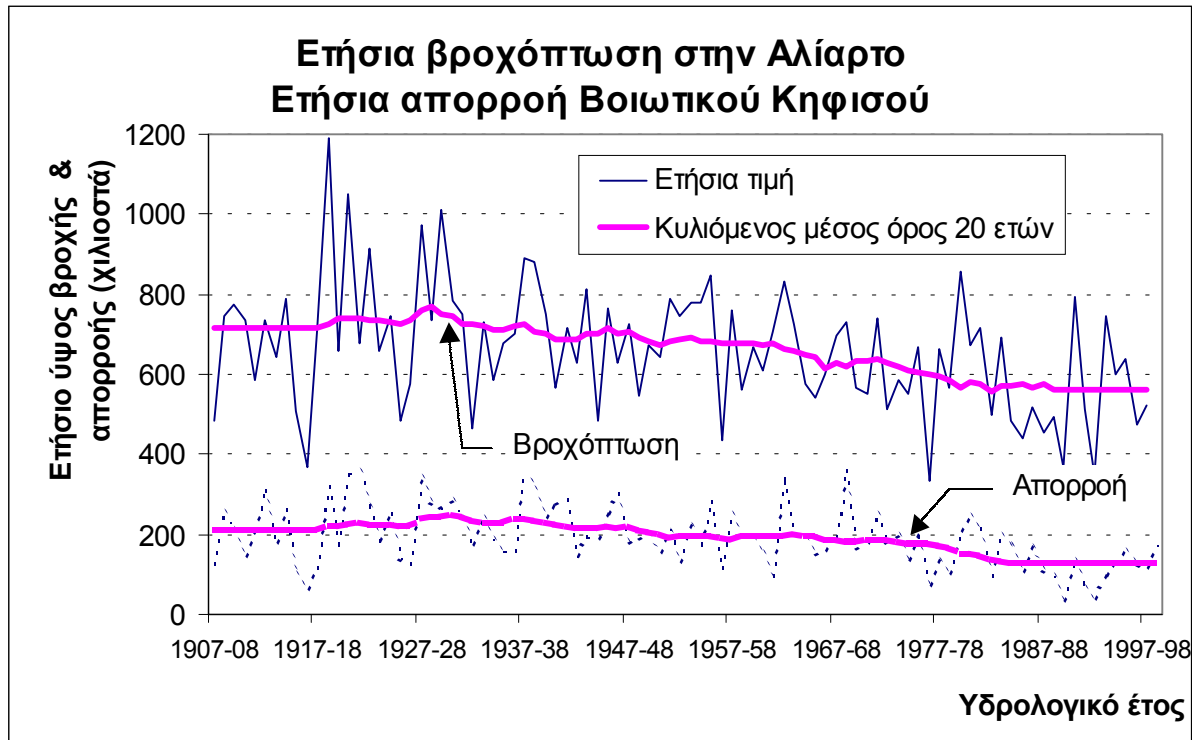
Στην Ελλάδα, το μεγαλύτερο σε μήκος δείγμα υδρομετεωρολογικών μετρήσεων είναι αυτό του Αστεροσκοπείου Αθηνών, που ξεκινά από το 1860. Σε δύο σχετικά διαγράμματα φαίνονται αφενός τα ετήσια ύψη βροχής του σταθμού αυτού, τα οποία αποτελούν δείκτη του συνολικού υδατικού δυναμικού κάθε έτους, και αφετέρου τα μέγιστα ημερήσια ύψη βροχής που καταγράφηκαν κάθε έτος, τα οποία αποτελούν δείκτη της πλημμυρικής επικινδυνότητας. Και στα δύο διαγράμματα είναι εμφανής η σταθερότητα (ως προς τους κυλιόμενους μέσους όρους) των δεικτών σε όλη τη διάρκεια των παρατηρήσεων, αλλά σίγουρα τα 140 χρόνια είναι λίγα για να εξαγάγουμε ασφαλή συμπεράσματα. Πάντως, από ποιοτική άποψη φαίνεται ότι τίποτε σημαντικό δεν άλλαξε στο κλίμα του Λεκανοπεδίου, όπως λακωνικά και ανάγλυφα τεκμηριώνεται στον ορισμό του Πλάτωνα για την αττική γη: «Ξηρά πάσα και ουκ ένυδρος».

Είναι χαρακτηριστικό ότι η δίαιτα της βροχής στη δική μας γενιά δεν παρουσιάζει κάποια ιδιαιτερότητα σε σχέση με τις προηγούμενες πέντε γενιές, παρ' όλο που συχνά γίνεται λόγος για το αντίθετο: οι μέσοι όροι αλλά και οι διακυμάνσεις της βροχής κατά την εποχή των Βαλκανικών Πολέμων και της Μεγάλης Ελλάδας, π.χ., όχι μόνο δεν διαφέρουν, αλλά εμφανίζουν και μεγάλη σύγκλιση με τα αντίστοιχα μεγέθη της τρέχουσας εποχής. Επιπλέον, τα παράπονα και οι ανησυχίες όλων μας για ακραία φαινόμενα πολυομβρίας ή ξηρασίας κατά την τελευταία δεκαετία είναι όχι μόνον αδικαιολόγητα αλλά και ανιστόρητα. Οι βροχές στην τρέχουσα δεκαετία ούτε ιδιαίτερα αυξημένες είναι ούτε ιδιαίτερα μειωμένες, σε αντίθεση με τις ακρότητες που παρουσιάστηκαν προς το τέλος του 19ου αιώνα. Κατά τα τελευταία 140 χρόνια, η μέγιστη τιμή του ετήσιου ύψους βροχής, 846 χιλιοστά, καταγράφηκε το 1883, η μέγιστη τιμή του μέγιστου ημερήσιου ύψους βροχής, 151 χιλιοστά, καταγράφηκε το 1899, ενώ η ελάχιστη τιμή του ετήσιου ύψους βροχής, 115 μόλις χιλιοστά, δηλαδή ξηρασία επιπέδου ερημικών περιοχών, καταγράφηκε το 1898.



Αλλά ακόμη και εκεί όπου εμφανίζονται αξιοσημείωτες μεταβολές δεν δικαιολογείται η έκπληξη, σύμφωνα με όσα προαναφέραμε. Έτσι, στην υδρολογική λεκάνη του Βοιωτικού Κηφισού, μια από τις τρεις κύριες λεκάνες που υδροδοτούν την Αθήνα, δεν μας εκπλήσσει η σαφής μεταβλητότητα της βροχής (μετρημένης στην Αλίαρτο από το 1907 ως σήμερα), αλλά και της απορροής (μετρημένης στην έξοδο του ποταμού προς την Υλίκη την ίδια περίοδο

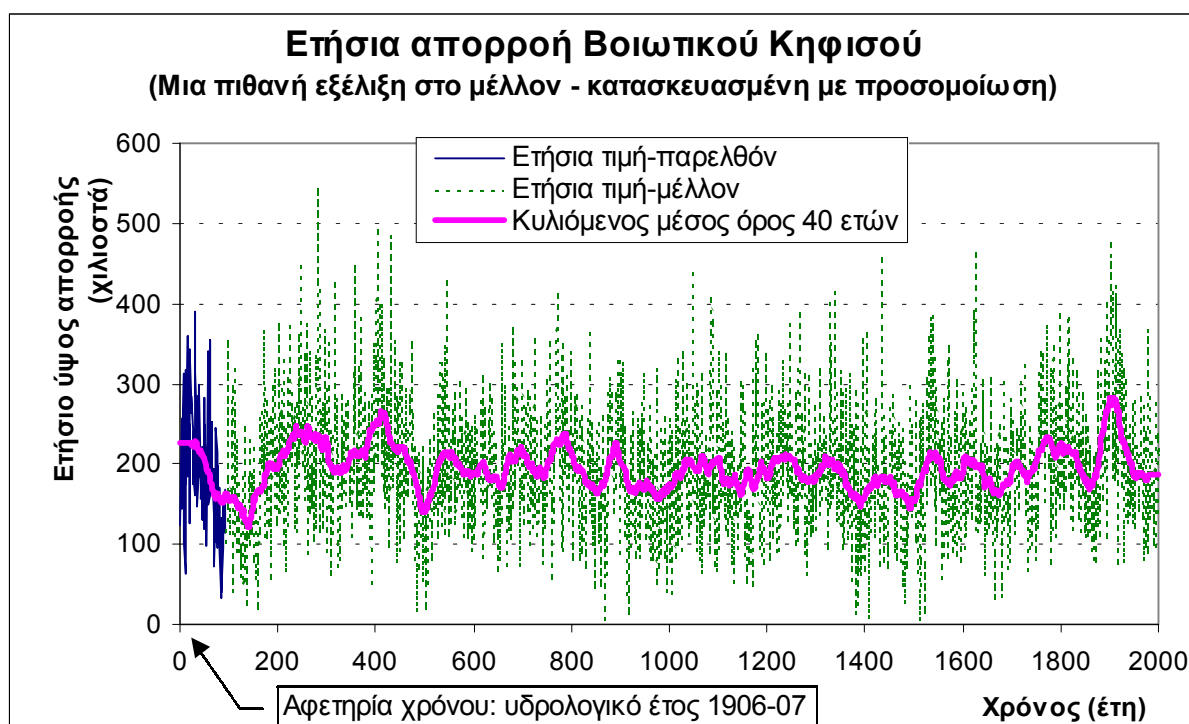
που, ως σημειωθεί, είναι η μεγαλύτερη περίοδος μετρήσεων παροχής ποταμών στον ελληνικό χώρο, όπως φαίνεται στο σχετικό διάγραμμα). Είναι εμφανής η γενική πτωτική τάση και των δύο μεγεθών από τη δεκαετία του '20 και μετά. Ιδιαίτερα στο τέλος της δεκαετίας του '80 και στις αρχές της επομένης έχουν μετρηθεί τα απόλυτα αρνητικά ρεκόρ στην απορροή του Βοιωτικού Κηφισού αλλά και των άλλων δύο ποταμών, Μόρνου και Ευήνου, που υδροδοτούν την Αθήνα, όπως χαρακτηριστικότερα φαίνεται στο σχετικό διάγραμμα. Ανάλογα φαινόμενα παρατηρούνται και στις περιοχές της Βόρειας Ελλάδας, π.χ. στην υδρολογική λεκάνη του ποταμού Αλιάκμονα.



## 6. Το συμπέρασμα: Αβάσταχτη είναι η ελαφρότητα της προφητείας για συγκεκριμένη κλιματική επιδείνωση

Με το σημερινό γνωσιολογικό υπόβαθρό μας, τα παραπάνω κάνουν σαφή την αναξιοπιστία της μακροπρόθεσμης πρόγνωσης για συγκεκριμένη και μονιμότερη επιδείνωση στο κλίμα υπό τη γενική έννοια, στην οποία περιλαμβάνονται οι υδρολογικές παράμετροι και συνακόλουθα η εξέλιξη των υδατικών πόρων μιας περιοχής. Το μόνο βέβαιο μέχρι στιγμής είναι η αβεβαιότητα ως προς τις αλλαγές του κλίματος, σε κάθε χρονική κλίμακα.

Η επιστήμη είναι σε θέση να ποσοτικοποιήσει την αβεβαιότητα αυτή χρησιμοποιώντας, κατά κύριον λόγο, τη θεωρία πιθανοτήτων και τη στατιστική και αξιοποιώντας κατάλληλα υπολογιστικά (στοχαστικά, όπως λέγονται) μοντέλα προσομοιώσεων. Στο σχετικό διάγραμμα, για παράδειγμα, δίνονται τα αποτελέσματα μιας από τις πολλές και διαφορετικές προσομοιώσεις για την εξέλιξη της απορροής του Βοιωτικού Κηφισού. Το διάγραμμα δείχνει ότι η πτωτική τάση της απορροής που προαναφέραμε μπορεί να συνεχίσει μερικά χρόνια ακόμη, αλλά το πιθανότερο είναι ότι κάποτε θα αντιστραφεί ακολουθούμενη από ανοδική τάση. Γενικότερα, οι πτωτικές και ανοδικές τάσεις θα διαδέχονται, μάλλον, η μία την άλλη με ακανόνιστο τρόπο, υπόθεση η οποία είναι συμβατή με τις προηγούμενες παρατηρήσεις.



Βεβαίως, τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων αυτής της μορφής υπόκεινται και σε μια άλλη μορφή αβεβαιότητας, τη στατιστική αβεβαιότητα: οφείλεται στο πολύ μικρό διαθέσιμο ιστορικό δείγμα απορροής των 92 ετών (έστω και αν αυτό είναι το μεγαλύτερο σε μήκος στην Ελλάδα). Και ακόμη, σε αυτή την προσομοίωση δεν έχουν ληφθεί υπόψη οι επιδράσεις του ανθρωπογενούς φαινομένου του θερμοκηπίου. Μπορούμε όμως να πούμε για τις τελευταίες αυτές επιδράσεις ότι ασφαλώς συμβάλλουν στην αύξηση της αβεβαιότητας.

Ας είμαστε λοιπόν φειδωλοί, προς το παρόν, στη διατύπωση συγκεκριμένων προφητειών για κλιματική αλλαγή. «Κρείττον εστί το σιγάν του λαλείν», προς όφελος και της αξιοπιστίας της διεθνούς επιστημονικής μας κοινότητας.