

**ΤΙ ΜΑΣ
ΕΠΙΦΥΛΑΣΣΕΙ
Ο ΚΑΙΡΟΣ**

**Πόσο αξιόποτες
είναι τελικά οι
καταστροφολογικές
προβλέψεις
για επικείμενη
επιδείνωση
των καιρικών
φαινομένων**

Των Θ. ΞΑΝΘΟΠΟΥΛΟΥ
και Δ. ΚΟΥΤΣΟΓΙΑΝΝΗ

1 Οι καταστροφολογικές προφτείες για το κλίμα

Πολλές και διάφορες είναι οι εκτιμήσεις τα τελευταία χρόνια ως προς τις δυνημείς 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 παρασύρμαστε σε εύκολες – κατά κανόνα καταστροφολογικές – προγνώσεις για το τι θα γίνει στο άμεσο ή το απότερο μέλλον με το κλίμα, τους υδατικούς πόρους και τη βιόσφαιρα.

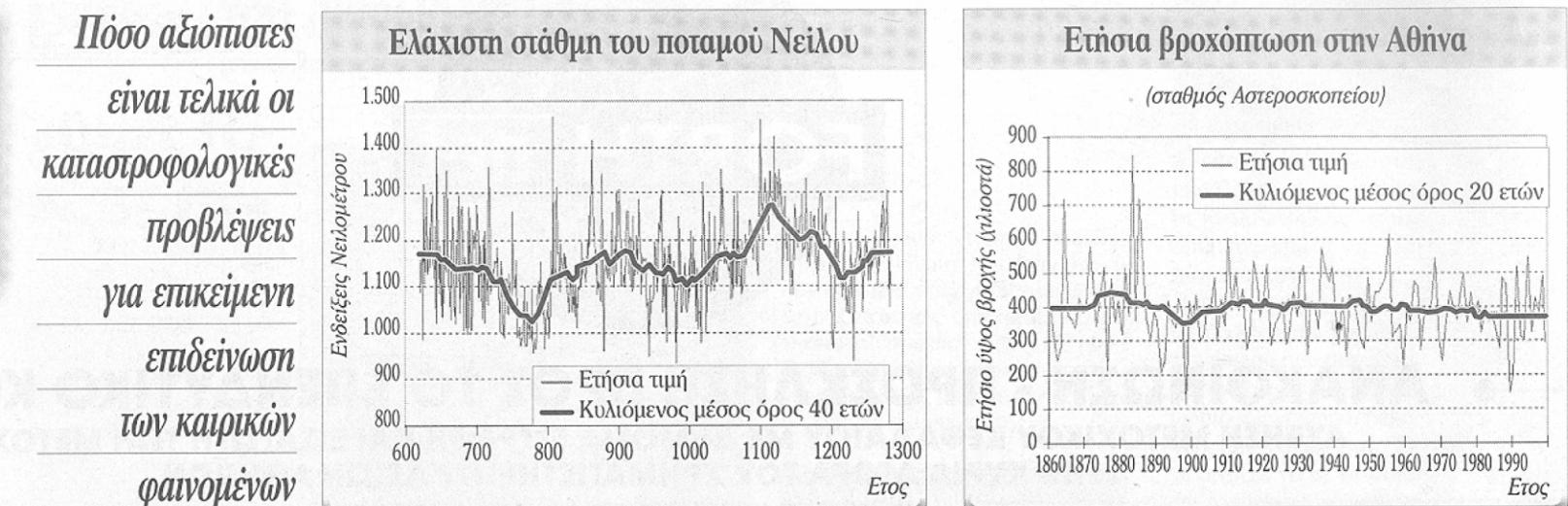
Παράλληλα, ως απλοί άνθρωποι με περιορισμένο κύκλο ζωής και μνήμης, δηλώνουν ότι σύγουροι ότι το μικροκλίμα της περιοχής που ζούμε έχει αλλάξει εξαιτίας μας τα τελευταία χρόνια προς το χειρότερο και προδικάζουμε και άλλα δεινά για το ορατό μέλλον.

Πόσο αξιόποτες είναι αυτές οι «προφητείες»;

2 Το σωτήριο για τη βιόσφαιρα φαινόμενο του θερμοκηπίου

Με τόνο 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 άερια θερμοκηπίου (CO_2 κτλ.) και τα σύννεφα, και επανεκπέμπεται προς την επιφάνεια. Με ευτυχή συνέπεια τη διάσωση του μεγαλύτερου μέρους της βιόσφαιρας: υπολογίζεται ότι χωρίς αυτό το προστατευτικό «θερμοκήπιο» (δηλαδή με την απονοσία των CO_2 , H_2O 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 $18^{\circ}C$ κάτω από το μηδέν! Χάρη στο θερμοσυλλεκτικό αυτό σκέπασμα, η μέση πλανητική θερμοκρασία ανεβαίνει κατά $33^{\circ}C$ και βρίσκεται στο πρόσφορο για τη βιόσφαιρα επίπεδο των $15^{\circ}C$.

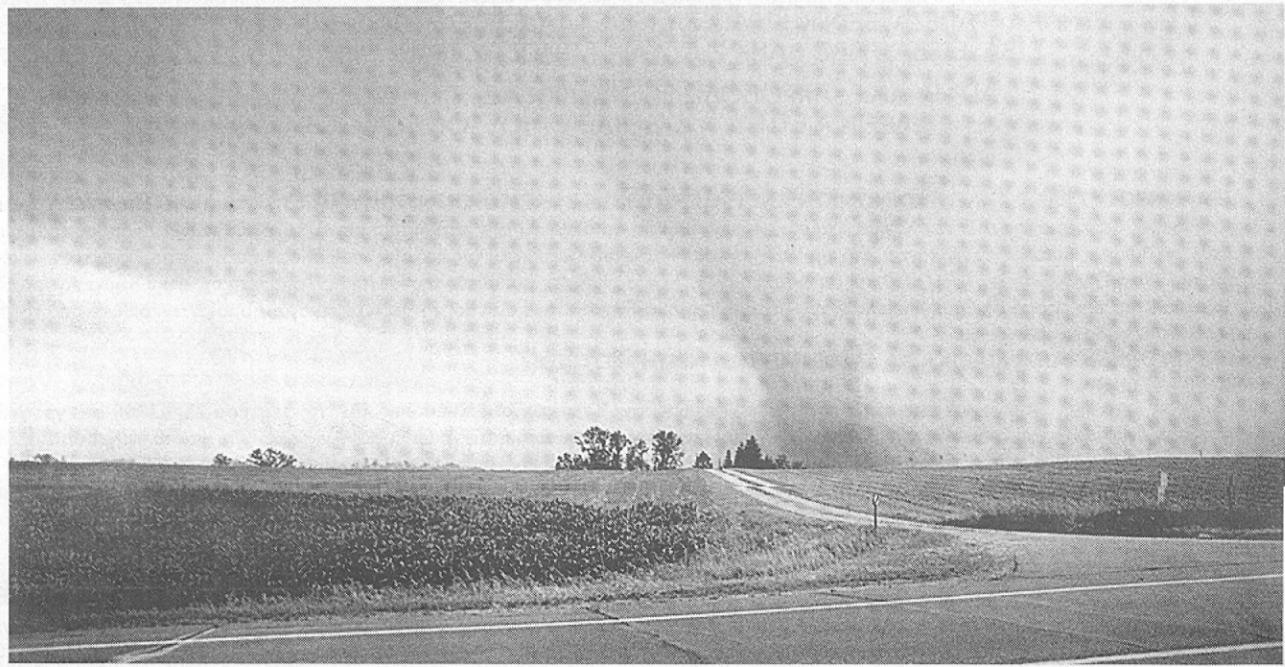
Η παρουσία στην ατμόσφαιρα των αερίων θερμοκηπίου, και ειδικότερα του CO_2 , προφανώς και ευτυχώς προϋπήρχε της εμφάνισης του ανθρώπου. Η ανθρωπογένης επί-



Οι ψευδοπροφήτες του

Τα επιστημονικά δεδομένα, η ιστορική εμπειρία και η αλήθεια

Ανεμοστρόβιλος σε πλήρη εξέλιξη στη Μινεσότα των ΗΠΑ. Τα ακραία καιρικά φαινόμενα μπορεί να συνεχιστούν όπως έκαναν και στο παρελθόν. Τίποτε όμως δεν προδικάζει ότι επικείται μονιμότερη επιδείνωση του κλίματος



δραστικά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι σχετικά πρόσφατη και οφείλεται στις αυξημένες δραστηριότητες της βιομηχανικής και μεταβιομηχανικής κοινωνίας. Οι αυξανόμενες καύσεις ανθρακα και υδρογονανθράκων, π.χ., οδηγούν στην υπερυγκέντρωση CO_2 στην ατμόσφαιρα και το γεγονός αυτό αποτελεί μια ανθρωπογένη διαταραχή η οποία, σύμφωνα με την κλασική λογική της αιτιολογίας, θα επισύρει κάποιες αλλαγές στο κλίμα. Το σαφές αίτιο των αλλαγών αυτών, δηλαδή η ανθρωπογενής αύξηση των αερίων θερμοκηπίου, αποτελεί όμως ένα αδιευκρίνιστου ύφους ποσοστό των αιτίων που επηρεάζουν καθοριστικά τις όποιες κλιματικές αλλαγές.

3 Η ιστορική εξέλιξη του πλανητικού κλίματος 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 επήσεις 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 παρατατικά 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 απότερο παρελθόν. Επινοήθηκαν διάφορες μέθοδοι, οι οποίες μπορούν να δώσουν έμμεσους κλιματικούς δείκτες στηριζόμενους 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 επήση αύξηση ή μείωση της πάχης δεν αποτελεί προκύπτει από την αντίστοιχη αύξηση ή μείωση του επήσουν ύφους βροχής στην περιοχή του δένδρου.

4 Ερμηνείες των κλιματικών αλλαγών

Γενικό συμπέρασμα των σχετικών ερευνών είναι ότι το κλί-

μα σε έναν τόπο δεν παραμένει σταθερό, όπως εσφαλμένα νομίζαμε πριν από μερικές δεκαετίες. Είναι χαρακτηριστικό και αποκαλυπτικό ότι πέρα από τις επήσεις – 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.

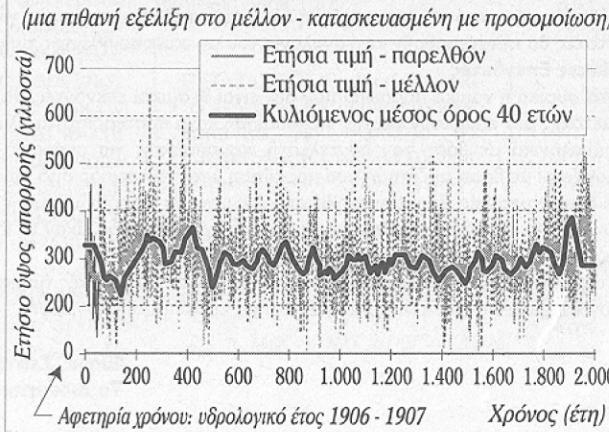
Η ιστορία δείχνει λοιπόν ότι οι κλιματικές αλλαγές αποτελούν ένα ισχυρό φυσικό καθεστώς ανεξάρτητο από την πρόσφατη ανθρωπογένη επέμβαση στη φύση τους απρόβλεπτες, με την έννοια της απροσδιοριστίας στην εξέλιξη του συνολικού φαινομένου. Ας θυμηθούμε εδώ και την άποψη του μετεωρολόγου Ed Lorenz για τις ενδεχόμενες απρόβλεπτες συνέπειες του χτυπήματος των φτερών μιας πεταλούδας. Τη γενικευση αυτής της νέας θεώρησης του κόσμου μας, με πρόσφορο πεδίο εφαρμογής τις κλιματικές αλλαγές, συνόψισε ο Ηγαπόγονος κατά την πρόσφατη τελετή της αναγόρευσής του ως επίτιμου διδάκτορα στο Μετσόβιο Πολυτεχνείο: Αποδεικνύεται, είπε, ότι αντίθετα με την ευστάθεια και την ισορροπία που πρέσβευε 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 αξιζει την προσοχή μας είναι ότι η φυσική κλιματική μεταβολή δεν συμβαίνει μόνο στην συνεπιγένεντη γεωλογική χρονική κλίμακα, όπως πιστεύαμε παλαιότερα, αλλά σε όλες τις χρονικές κλίμακες – όπως επιβεβαιώνεται και από τα διαγράμματα που προαναφέραμε.

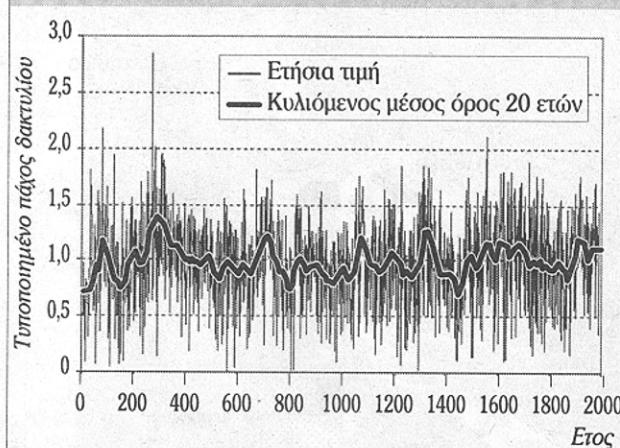
Το δεύτερο σημείο που αξιζει την προσοχή μας είναι ότι η φυσική κλιματική μεταβολή δεν συμβαίνει μόνο στην συνεπιγένεντη γεωλογική χρονική κλίμακα, όπως πιστεύαμε παλαιότερα, αλλά σε όλες τις χρονικές κλίμακες – όπως επιβεβαιώνεται και από τα διαγράμματα που προαναφέραμε.

Επίσια απορροή Βοιωτικού Κηφισού

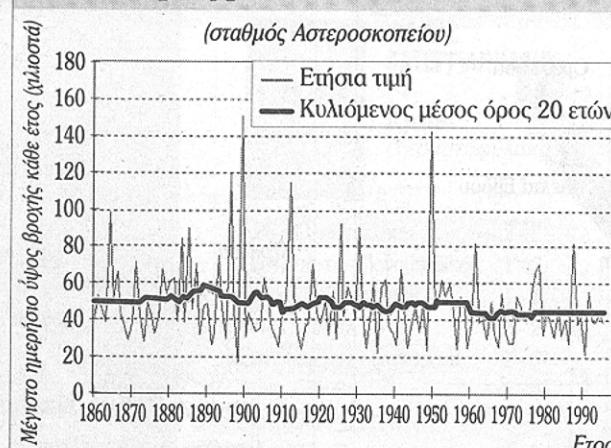
(μια πιθανή εξέλιξη στο μέλλον - κατασκευασμένη με προσμοίωση)



Πάχος δακτυλίων δέντρων στη Γιούτα (ΗΠΑ)



Ισχυρές βροχοπτώσεις στην Αθήνα



κλίματος

Αυτό που ίσως μας εμπόδιζε να διαγνώσουμε τη μεταβλητότητα του κλίματος και μας δημιουργούσε την φευδαίσθηση της σταθερότητας είναι το γενονός ότι τα ιστορικά υδρομετεωρολογικά δεδομένα των προηγουμένων 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 δεύμα 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 πιερήσια 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: «Ξέρα πάσα και ουκ ένυδρος».

Είναι χαρακτηριστικό ότι η διάτα 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 παρά-



πονα 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 πιερήσιου ύψους βροχής, 151 χιλιοστά, καταγράφηκε το 1899, ενώ η ελάχιστη τιμή του ετήσιου ύψους βροχής, 846 χιλιοστά, καταγράφηκε το 1898.

Αλλά ακόμη και εκεί όπου εμφανίζονται αξιοσημείωτες μεταβολές δεν δικαιολογείται η έκπληξη, σύμφωνα με όσα προαναφέραμε. Επι, στην υδρολογική λεκάνη του Βοιωτικού Κηφισού, μια από τις

λεκάνη του ποταμού Αλιάκμονα.

6 Το συμπέρασμα: Αβάσταχτη είναι η ελαφρότητα της προφτείας για συγκεκριμένη κλιματική επιδείνωση

Με το σημερινό γνωστολογικό υπόβαθρό μας, τα παραπάνω κάνονται 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 μας 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 πρόσδομοιώσεις για την εξέλιξη της απορροής του Βοιωτικού Κηφισού. Το διάγραμμα δείχνει ότι η πιωτική τάση της απορροής που προαναφέραμε μπορεί να συνεχίσει μερικά χρόνια ακόμη, αλλά το πιθανότερο είναι ότι κάποτε θα αντιστραφεί ακολουθόμενη από ανοδική τάση. Γενικότερα, οι πιωτικές 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.