

άρθρα & αναλύσεις

Του Άρα Πάνου Χατζηγκολάου*

Πόσο αξιόπιστα είναι τα παγκόσμια κλιματικά μοντέλα;

Με ποιο τρόπο γίνονται οι προβλέψεις για το πως η κλιματική αλλαγή θα εξελιχθεί και πόσο αξιόπιστα είναι; Τα κλιματικά μοντέλα πλανητικής κλίμακας (Global Climate Models ή GCMs) είναι τα κατ'εξοχήν εργαλεία που χρησιμοποιούνται ευρέως στις Εκθέσεις της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC). Αυτά είναι υπολογιστικά προγράμματα που περιγράφουν με μαθηματικές εξισώσεις τις διαδικασίες μεταφοράς, χημείας και ακτινοβολίας που λαμβάνουν χώρα στην ατμόσφαιρα και στον ωκεανό και αποτελούν τους βασικούς μηχανισμούς λειτουργίας του κλιματικού συστήματος. Τα μοντέλα αυτά, λαμβάνοντας υπ' όψη και τις συνεχώς αυξανόμενες συγκεντρώσεις των θερμοκηπικών αερίων (διοξειδίου του άνθρακα κλπ) λόγω των εκπομπών τους από τις ανθρώπινες δραστηριότητες, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη της θέρμανσης του πλανήτη στο μέλλον. Όταν τα GCMs συμπεριλάβουν και τις αλληλεπιδράσεις της ατμόσφαιρας και του ωκεανού με την βιόσφαιρα, τότε πλησιάζουν κατά πολύ σε μια ολοκληρωμένη αντιπροσώπευση του κλιματικού συστήματος και τότε ονομάζονται μοντέλα του γήινου συστήματος (Earth System Models ή ESMs).

«Σενάρια» εκπομπών

Άλλος ένας παράγοντας που περιορίζει την πρόβλεψη, με απόλυτη σιγουριά, της μελλοντικής εξέλιξης του κλίματος είναι και τα «σενάρια» εκπομπών των θερμοκηπικών αερίων που θερμαίνουν την ατμόσφαιρα. Αυτά στηρίζονται σε υποθέσεις για το πως θα εξελιχθεί ο πληθυσμός της γης και η οικονομική ανάπτυξη με την σχετι-

**Δυνατότητες
για προσομοιώσεις
του κλίματος με το ESM
του Ινστιτούτου
Ατμοσφαιρικής Χημείας
της Γερμανίας Max Planck
θα αποκτήσει και η Κύπρος**

την ύπαρξη μια σειράς σεναρίων, λιγότερο ή περισσότερο απαισιόδοξων, τα οποία καθορίζουν και τη σοβαρότητα της προβλεπόμενης κλιματικής αλλαγής.

Γίνεται φανερό από τα παραπάνω ότι ο βαθμός αξιοπιστίας των προβλέψεων των κλιματικών αλλαγών εξαρτάται κυρίως από δύο παράγοντες. Ο πρώτος είναι η ικανότητα των κλιματικών μοντέλων παγκόσμιας κλίμακας να αναπαράγουν το κλιματικό σύστημα και αυτή βελτιώνεται συνεχώς με την ολοένα αυξανόμενη πολυπλοκότητα των μοντέλων αυτών (που πρέπει όμως να συνοδεύεται και από αντίστοιχη αύξηση της υπολογιστικής ισχύος). Και ο δεύτερος πα-

Μαθηματικές εξισώσεις

Τα GCMs λύνουν τις μαθηματικές εξισώσεις για τις τρεις διαστάσεις της ατμόσφαιρας (γεωγραφικό μήκος και πλάτος και καθ' ύψος) η οποία χωρίζεται, για αυτό το σκοπό, σε πλεγμικά κουτιά (grid boxes) επιφανείας 150 x 150 χιλιομέτρων. Οι μαθηματικοί αυτοί υπολογισμοί πραγματοποιούνται ανά χρονικά διαστήματα της μίας ώρας και τα μοντέλα για να προσομοιώσουν το κλίμα μιας τριακονταετίας που τυπικά μελετάμε, χρειάζονται να κάνουν, για κάθε μία μόνο από τις διαδικασίες που προαναφέραμε, περίπου 50 δισ. υπολογισμούς.

Συνολικά αυτό απαιτεί τεράστια υπολογιστική δύναμη και τα GCMs (και των ακόμα μεγαλύτερων απαιτήσεων, πιο πολύπλοκα, ESMs) εφαρμόζονται σε υπερυπολογιστές των μεγάλων ερευνητικών κέντρων του εξωτερικού. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι παρόμοιες δυνατότητες για προσομοιώσεις του κλίματος με το ESM του Ινστιτούτου Ατμοσφαιρικής Χημείας της Γερμανίας Max Planck θα αποκτήσει και η Κύπρος, με την λειτουργία ενός υπέρ-υπολογιστή στο Κέντρο

Υπολογιστικής Επιστήμης και Τεχνολογίας του Ινστιτούτου Κύπρου (CaStoRC).

Τα τελευταία χρόνια έχει σημειωθεί μεγάλη πρόοδος στην βελτίωση των μοντέλων πλανητικής κλίμακας GCMs τα οποία μπορούν πλέον να αναπαράγουν σχετικά καλά το παγκόσμιο κλίμα κατά το πρόσφατο παρελθόν, αυξάνοντας την αξιοπιστία των προβλέψεων τους για το μέλλον. Διάφορες όμως αδυναμίες στην κατασκευή των μοντέλων αλλά και περιορισμοί στις υπάρχουσες δυνατότητες των υπέρ-υπολογιστών παραμένουν και απέχουμε ακόμα από μια πλήρη και απόλυτα ικανοποιητική προσομοίωση του κλιματικού συστήματος.

Για παράδειγμα, απαιτείται μεγαλύτερη κατανόηση (και κατά συνέπεια καλύτερη αναπαράσταση στα μοντέλα) των φυσικοχημικών μηχανισμών που σχετίζονται με τη συμπεριφορά των αερολυμάτων (σωματιδίων), την ανάπτυξη των νεφών, τη λειτουργία του υδρολογικού κύκλου και της αλληλεπίδρασής τους. Επίσης, κάθε προσομοίωση του κλίματος που «ξεκινάει» με λίγο διαφορετικές κάθε φορά «αρχικές μετεωρολογικές συνθήκες», θα δώσει, λόγω της χαοτικής φύσης των μετεωρολογικών εξισώσεων κίνησης, κάπως διαφορετική μελλοντική εξέλιξη των κλιματικών παραμέτρων (π.χ. θερμοκρασία αέρα).

Αυτό αντιμετωπίζεται με σύνολα (ensembles) προσομοιώσεων από τα οποία υπολογίζεται η μέση τιμή των προβλεπόμενων του.

ράγοντας, εξίσου σημαντικός (αλλά και πιο αβέβαιος) είναι τα σενάρια χρήσης των πηγών ενέργειας και των συνεπαγόμενων εκπομπών των θερμοκηπικών αερίων.

*Ερευνητής στο Κέντρο Έρευνας Ενέργειας, Περιβάλλοντος και Υδάτινου Πόρου (Energy, Environment, and Water Research Center - EEWRC) του Ινστιτούτου Κύπρου, www.cyl.ac.cy