

# Προβλέποντας το μέλλον;

Υποδείγματα για το μέλλον του κλίματος,  
Σενάρια εκπομπών (κοινές κοινωνικο-οικονομικές διαδρομές) και  
Σενάρια συγκεντρώσεων (διαδρομές αντιπροσωπευτικών συγκεντρώσεων)

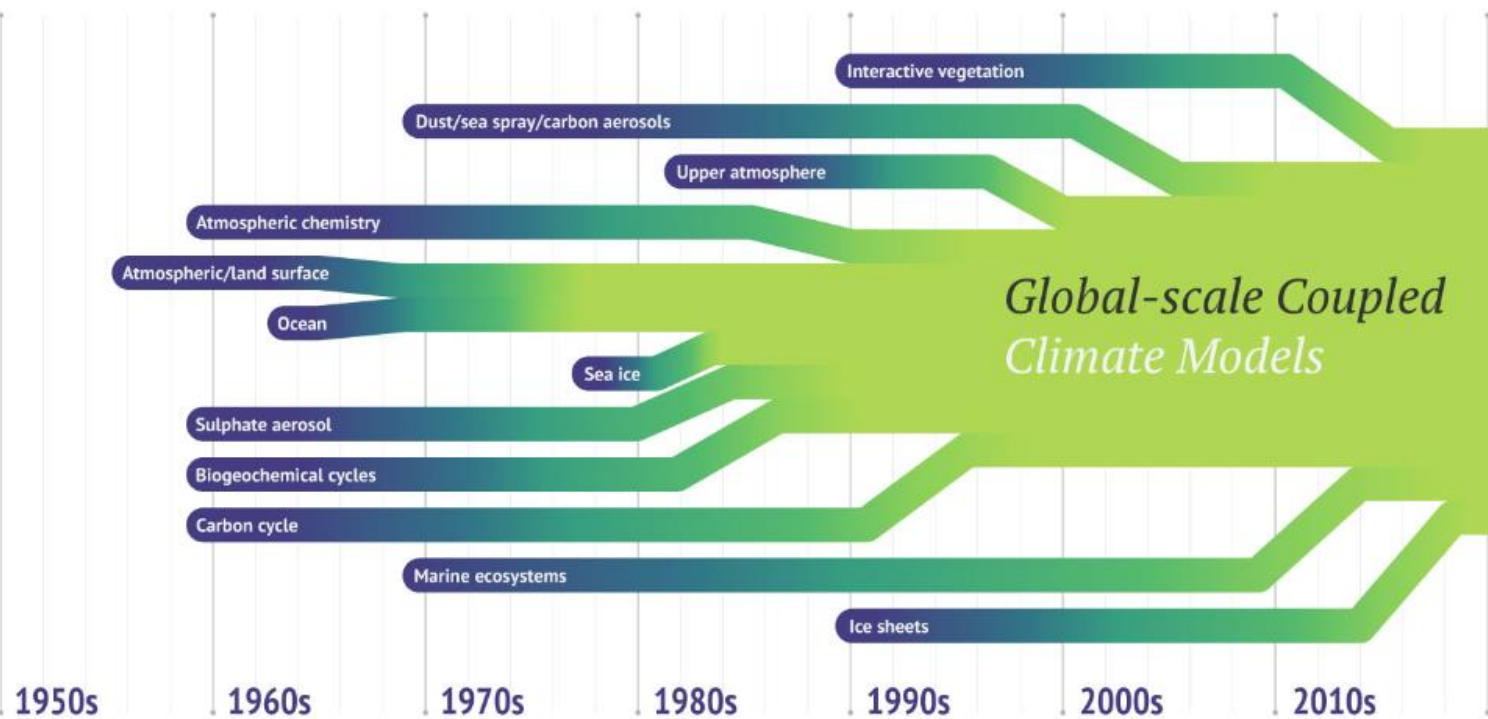
# Πως θα είναι το κλιματικό μας μέλλον και από τι εξαρτάται;

- Τι είναι τα κλιματικά υποδείγματα (climate models) και σε τι χρησιμεύουν;
- Ποιοι παράγοντες επηρεάζουν τις εκπομπές και ποιες είναι οι διαδρομές που οδηγούν σε κάποιες τυπικές μελλοντικές συγκεντρώσεις;
- Ποιες είναι οι διαφορετικές (εναλλακτικές;) κοινωνικο-οικονομικές διαδρομές που θα επηρεάσουν την κατάσταση του κλίματος και της οικονομίας στο μέλλον;

# Κλιματικά υποδείγματα

Ένα κλιματικό υπόδειγμα είναι μια προσομοίωση σε υπολογιστή του κλιματικού συστήματος της Γης, συμπεριλαμβανομένης της ατμόσφαιρας, του ωκεανού, της ξηράς και του πάγου. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αναδημιουργία του παρελθόντος κλίματος ή την πρόβλεψη του μελλοντικού κλίματος.

Η εξέλιξη των κλιματικών υποδειγμάτων από τα απλά υποδείγματα ενεργειακής ισορροπίας (Energy Balance Models - EBMs), στα υποδείγματα συναγωγής της ακτινοβολίας (Radiative Convective Models) που επεκτείνουν τα EBMs καθ' ύψος, στο επόμενο επίπεδο των υποδειγμάτων γενικής κυκλοφορίας (General Circulation Models - GCMs). Η επέκταση των GCMs συνδυάζει μοντέλα γενικής κυκλοφορίας ατμόσφαιρας-ωκεανού (Atmosphere-ocean general circulation models - AOGCMs), αλλά και "Earth System Models" - ESMs) που μπορούν να προσομοιώσουν τον κύκλο του άνθρακα, τον κύκλο του αζώτου, τη χημεία της ατμόσφαιρας, την οικολογία των ωκεανών και τις αλλαγές στη βλάστηση και τη χρήση γης, τα οποία επηρεάζουν τον τρόπο με τον οποίο το κλίμα ανταποκρίνεται στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που προκαλούνται από τον άνθρωπο. Έχουν βλάστηση που ανταποκρίνεται στη θερμοκρασία και τις βροχοπτώσεις και, με τη σειρά τους, αλλάζει την πρόσληψη και την απελευθέρωση άνθρακα και άλλων αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα.

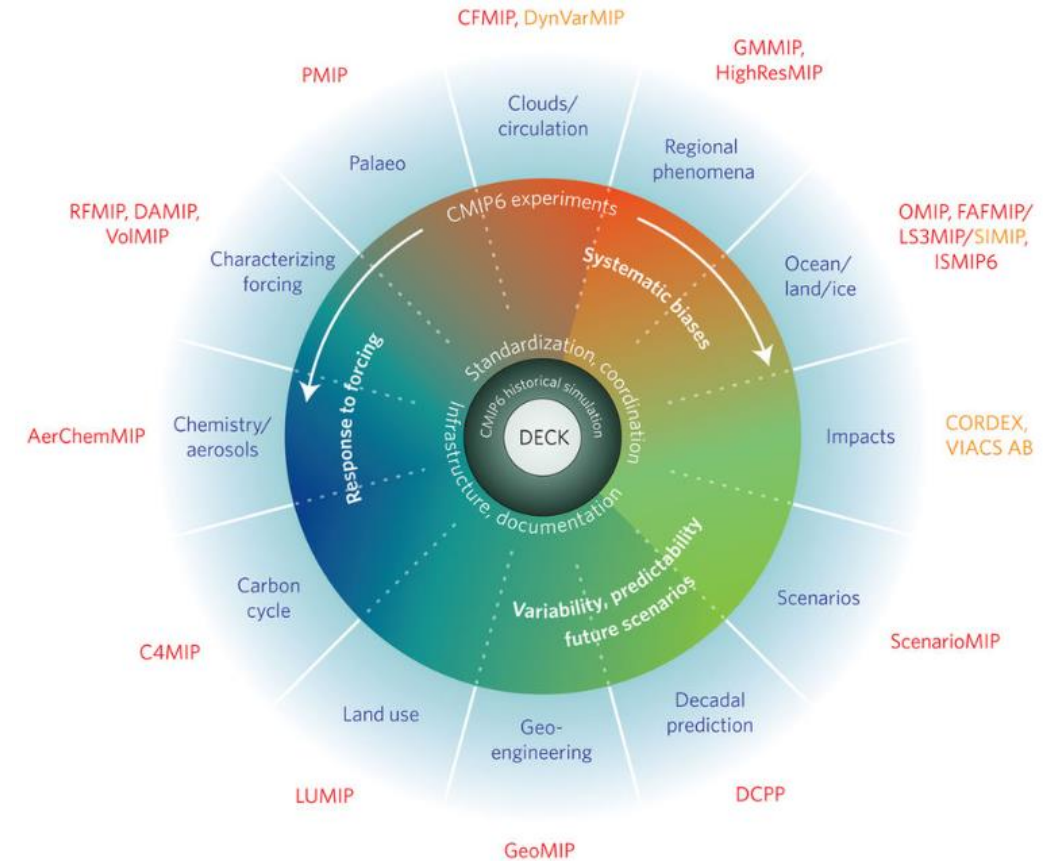


# Σήμερα:

## Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6)

Με τόσα πολλά ερευνητικά ιδρύματα να αναπτύσσουν και να λειτουργούν κλιματικά μοντέλα, υπήρχε ο κίνδυνος κάθε ομάδα να προσεγγίσει το υπόδειγμά της με διαφορετικό τρόπο, και έτσι μειωνόταν η δυνατότητα σύγκρισης των αποτελεσμάτων.

Εκτός από το βασικό σετ υποδειγμάτων-πειραμάτων «DECK» (Διαγνωστική, Αξιολόγηση και Χαρακτηρισμός του Κλίματος (Diagnostic, Evaluation, and Characterisation of Klima), το CMIP6 έχει επίσης ένα σύνολο πρόσθετων πειραμάτων για να απαντήσει σε επιστημονικές ερωτήσεις. Αυτά χωρίζονται σε μεμονωμένα Έργα Διασύγκρισης Μοντέλων ή (Model Intercomparison Projects – MIP).



Simpkins, G. Progress in climate modelling. Nature Climate Change 7, 684–685 (2017). <https://doi.org/10.1038/nclimate3398>

# Σε τι χρησιμεύουν τα κλιματικά υποδείγματα;

- Τα κλιματικά υποδείγματα βοηθούν τους επιστήμονες να κατανοήσουν το κλιματικό σύστημα και να προβλέψουν μελλοντικές αλλαγές στο κλίμα.
- Μια προσομοίωση της ατμόσφαιρας πάνω από την Ελλάδα επιτρέπει την σύγκριση των αποτελεσμάτων με πραγματικές παρατηρήσεις της ατμόσφαιρας πάνω από την Ελλάδα. Αυτό θα έδειχνε πόσο ακριβές είναι η προσομοίωση του υπολογιστή τους ή πού χρειάζεται βελτίωση.
- Οι επιστήμονες χρησιμοποιούν επίσης κλιματικά μοντέλα για να προβλέψουν το μελλοντικό κλίμα. Για παράδειγμα, μπορούν να εισάγουν διαφορετικά σενάρια για την υπερθέρμανση του πλανήτη και να δουν τις επιπτώσεις στο κλίμα μας. Έτσι γνωρίζουμε ποιες είναι οι πιθανές επιπτώσεις της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή διερεύνησε πρόσφατα τις επιπτώσεις της θέρμανσης κατά  $1,5^{\circ}\text{C}$  πάνω από τις προβιομηχανικές θερμοκρασίες χρησιμοποιώντας κλιματικά υποδείγματα.
- Είναι αξιόπιστα τα κλιματικά μοντέλα;
- Οι επιστήμονες είναι βέβαιοι ότι τα κλιματικά μοντέλα αντιπροσωπεύουν με ακρίβεια το κλιματικό μας σύστημα, επειδή βασίζονται σε θεωρίες που έχουν γίνει κατανοητές εδώ και πολλά χρόνια, επαληθεύονται έναντι των παρατηρήσεων του πραγματικού κόσμου και κάνουν ακριβείς προβλέψεις.

# Ποιες είναι οι εισροές των κλιματικών υποδειγμάτων;

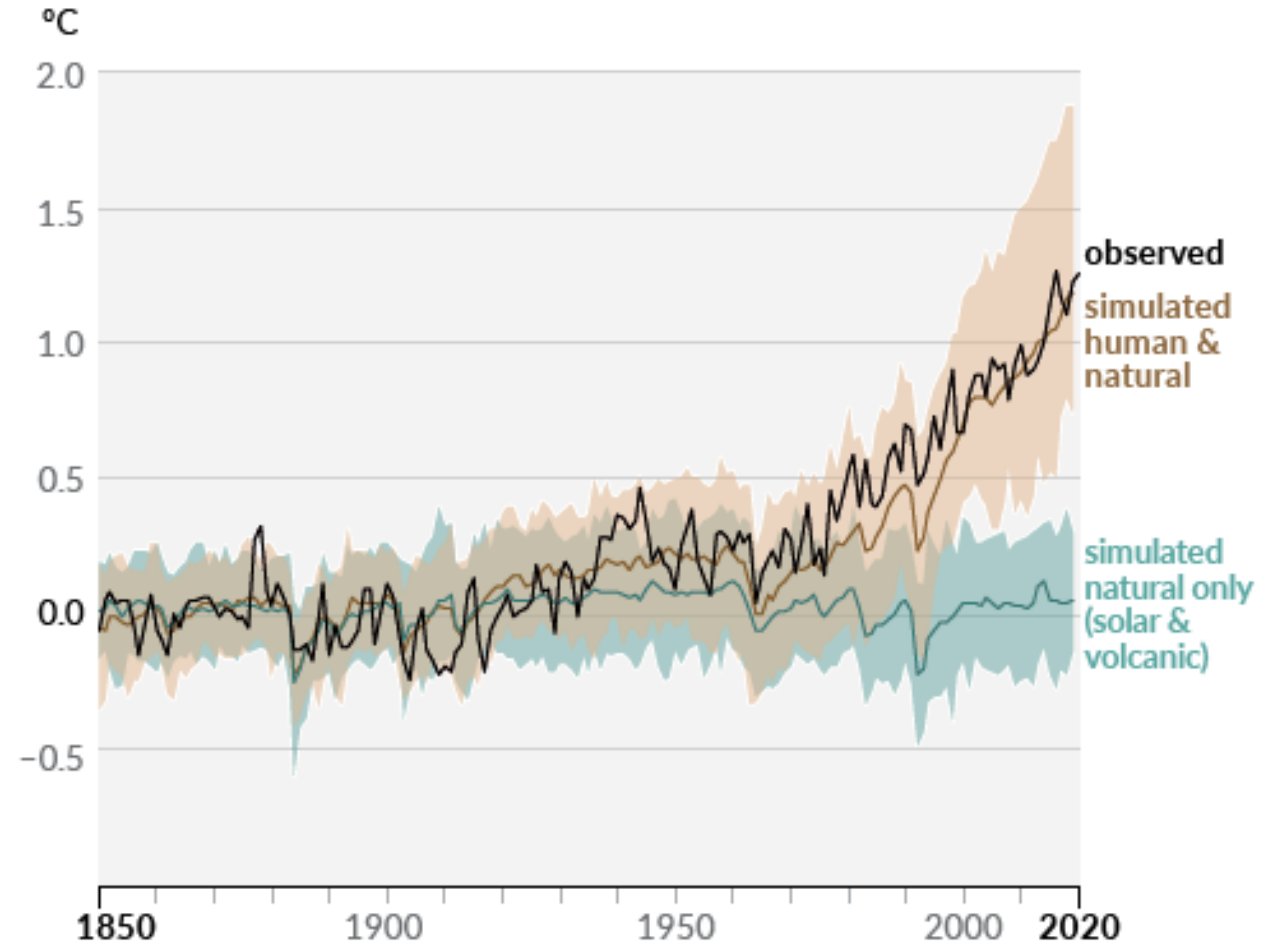
1. Όλες οι διεργασίες που οδηγούν σε τροποποίηση του ισοζυγίου ενέργειας (radiative forcings) και περιλαμβάνουν αλλαγές στην ενέργεια του ήλιου, αέρια θερμοκηπίου με μεγάλη διάρκεια ζωής – όπως CO<sub>2</sub>, μεθάνιο (CH<sub>4</sub>), οξείδια του αζώτου (N<sub>2</sub>O) και αλογονάνθρακες – καθώς και μικροσκοπικά σωματίδια που ονομάζονται αερολύματα που εκπέμπονται κατά την καύση ορυκτών καυσίμων και από δασικές πυρκαγιές και ηφαιστειακές εκρήξεις.
2. Τυπικά, όλες αυτές οι τροποποιήσεις ισοζυγίου ενέργειας εκτελούνται μέσω ενός μοντέλου είτε ως βέλτιστη εκτίμηση προηγούμενων συνθηκών είτε ως μέρος μελλοντικών «σεναρίων εκπομπών». Αυτά είναι πιθανές διαδρομές για τη συγκέντρωση αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, με βάση τον τρόπο με τον οποίο η τεχνολογία, η ενέργεια και η χρήση γης αλλάζουν κατά τους επόμενους αιώνες.
3. Σήμερα, οι περισσότερες προβολές μοντέλων χρησιμοποιούν μία ή περισσότερες από τις «Διαδρομές Αντιπροσωπευτικών Συγκεντρώσεων» (RCPs), οι οποίες παρέχουν εύλογες περιγραφές του μέλλοντος, βασισμένες σε κοινωνικο-οικονομικά σενάρια για το πώς αναπτύσσεται και αναπτύσσεται η παγκόσμια κοινωνία.
4. Τα μοντέλα χρησιμοποιούν επίσης εκτιμήσεις προηγούμενων τροποποιήσεων για να εξετάσουν πώς άλλαξε το κλίμα τα τελευταία 200, 1.000 ή ακόμα και 20.000 χρόνια. Οι προηγούμενες τροποποιήσεις ισοζυγίου ενέργειας εκτιμώνται χρησιμοποιώντας στοιχεία για αλλαγές στην τροχιά της Γης, ιστορικές συγκεντρώσεις αερίων του θερμοκηπίου, προηγούμενες ηφαιστειακές εκρήξεις, αλλαγές στον αριθμό των ηλιακών κηλίδων και άλλα αρχεία του απώτερου παρελθόντος.
5. Έπειτα, υπάρχουν «μάρτυρες» του κλιματικού μοντέλου, όπου η ακτινοβολία διατηρείται σταθερή για εκατοντάδες ή χιλιάδες χρόνια. Αυτό επιτρέπει στους επιστήμονες να συγκρίνουν το μοντελοποιημένο κλίμα με και χωρίς αλλαγές σε ανθρώπινες ή φυσικές δυνάμεις και να εκτιμήσουν πόση «μη τροποποιημένη» φυσική μεταβλητότητα εμφανίζεται.

# Οι παράγοντες που ελέγχουν τις εκπομπές και η ταυτότητα Καρα ή σχέση ΙΡΑΤ

**Δεδομένο:** Οι κυριότερες (ισχυρότερες) τροποποιήσεις του ισοζυγίου ενέργειας (radiative forcing) προέρχονται από την προσθήκη αερίων του θερμοκηπίου λόγω της ανθρώπινης οικονομικής δραστηριότητας.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν το επίπεδο της ανθρώπινης δραστηριότητας είναι τρεις:

1. Πληθυσμός
2. Ευημερία
3. Τεχνολογία



Μεταβολή της παγκόσμιας επιφανειακής θερμοκρασίας (ετήσιος μέσος όρος) από παρατηρήσεις και προσομοίωση χρησιμοποιώντας ανθρώπινους και φυσικούς παράγοντες ή μόνο φυσικούς παράγοντες (και τα δύο 1850–2020).

Διάγραμμα SPM1 του Summary for Policy Makers of the Working Group I (WGI) contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Sixth Assessment Report (AR6) on the physical science basis of climate change.

# Η σχέση ΙΡΑΤ

Σε ένα διάσημο άρθρο των Paul R. Ehrlich and John P. Holdren στο Science διατυπώθηκε η ιδέα ότι η επίπτωση του πληθυσμού στο περιβάλλον μπορεί να εκφραστεί από μια σχέση:

$$I = P * F$$

όπου I η επίπτωση στο περιβάλλον, P ο πληθυσμός, F μια συνάρτηση μέτρησης της κατά κεφαλή επίπτωσης που μπορεί και να γραφεί ως το γινόμενο της κατά κεφαλή ευημερίας επί την διαθέσιμη τεχνολογία:

$$I = P * A * T$$

όπου A ένα μέτρο της ευημερίας και T ένα μέτρο της τεχνολογίας

## Impact of Population Growth

Complacency concerning this component of man's predicament is unjustified and counterproductive.

Paul R. Ehrlich and John P. Holden

The interlocking crises in population, resources, and environment have been the focus of countless papers, dozens of prestigious symposia, and a growing avalanche of books. In this wealth of material, several questionable assertions have been appearing with increasing frequency. Perhaps the most serious of these is the notion that the size and growth rate of the U.S. population are only minor contributors to this country's adverse impact on local and global environments (1, 2). We propose to deal with this and several related misconceptions here, before persistent and unreflected repetition entrenches them in the public mind—if not the scientific literature. Our discussion centers around five theorems which we believe are demonstrably true and which provide a framework for realistic analysis.

1) Population growth causes a disproportionate negative impact on the environment.

2) Problems of population size and growth, resource utilization and depletion, and environmental deterioration must be considered jointly and on a global basis. In this context, population control is obviously not a panacea—it is necessary but not alone sufficient to see us through the crisis.

3) Population density is a poor measure of population pressure, and redistributing population would be a dangerous pseudosolution to the population problem.

4) "Environment" must be broadly construed to include such things as the physical environment of urban ghettos, the human behavioral environment, and the epidemiological environment.

5) Theoretical solutions to our problems are often not operational and sometimes are not solutions. We now examine these theorems in some detail.

**Population Size and Per Capita Impact**

In an agricultural or technological society, each human individual has a negative impact on his environment. He is responsible for some of the simplifications (and resulting destabilization) of ecological systems which results from the practice of agriculture (3). He also participates in the utilization of renewable and nonrenewable resources. The total negative impact of such a society on the environment can be expressed, in the simplest terms, by the relation:

$$I = P \cdot F$$

where  $P$  is the population, and  $F$  is a function which measures the per capita impact. A great deal of complexity is subsumed in this simple relation, however. For example,  $F$  increases with per capita consumption if technology is held constant, but may decrease in some cases if more benign technologies are introduced in the provision of a constant level of consumption. (We shall see in connection with theorem 3 that there are limits to the improvements one should anticipate from such "technological fixes.")

Pitfalls abound in the interpretation of manifest success in the total impact  $I$ . For instance, it is easy to mistake changes in the composition of

resource demand or environmental impact for absolute per capita increases, and thus to underestimate the role of the population multiplier. Moreover, it is often assumed that population size and per capita impact are independent variables, when in fact they are not. Consider, for example, the recent article by Coale (7), in which he disparages the role of U.S. population growth in environmental problems by noting that since 1940 "population has increased by 50 percent, but per capita use of electricity has been multiplied several times." This argument contains both the fallacies to which we have just referred.

First, a closer examination of very rapid increases in many kinds of consumption shows that these changes reflect a shift among alternatives within a larger (and more money hungry) category. Thus the 700 percent increase in electricity consumption from 1940 to 1969 (4) occurred in part because the electrical conversion of the energy budget was (and is) increasing much faster than the budget itself. Electricity comprised 12 percent of the U.S. energy consumption in 1940 versus 22 percent today.

The total energy use, a more important figure than its electrical component in terms of resources and the environment, increased much less drastically—by 60 percent from 1940 to 1969.

Under the simplest assumptions (that is, that a given increase in population would account for an exactly proportional increase in consumption), this increase in energy use during this period is explained by population growth (the actual population increase from 1940 to 1969 was 53 percent). Similar considerations reveal the irrelevance of citing, say, aluminum consumption to show that population growth is an "unimportant" factor in resource use.

Certainly, aluminum consumption has increased by over 1400 percent since 1940, but much of the increase has been due to the substitution of aluminum for steel in many applications.

Thus a later measure is combined consumption of aluminum and steel, which has risen only 117 percent since 1940. Again, under the simplest assumptions, population growth accounts for 43 percent of the increase.

The "logical assumption" is not valid, however, and this is the second fallacy in Coale's example (and in his

science, vol. 91



# Η ταυτότητα Kaya

Ο καθηγητής Kaya, βασιζόμενος στην εξίσωση IPAT διατύπωσε μια χρήσιμη ταυτότητα για τον ποσοτικό προσδιορισμό των συνολικών εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) ή όλων των αερίων του θερμοκηπίου μετρούμενων σε ισοδύναμα CO<sub>2</sub>.

$$I = P * \frac{GDP}{P} * \left[ \frac{E}{GDP} * \frac{GHG}{E} \right]$$

όπου:

P, ο παγκόσμιος πληθυσμός,

GDP, το παγκόσμιο ακαθάριστο προϊόν

E, η παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας

GHG, η παγκόσμια εκπομπή αερίων θερμοκηπίου σε CO<sub>2</sub> ισοδύναμο

Συνεπώς μπορούμε να ερμηνεύσουμε τα κλάσματα της ταυτότητας Kaya ως εξής:

$\frac{GDP}{P}$ , ακαθάριστο κατά κεφαλή προϊόν, ένα μέτρο ευημερίας

$\frac{E}{GDP}$ , η ένταση ενέργειας (energy intensity) ή η ενέργεια που χρειάζεται (joules) για να δημιουργηθεί μία χρηματική μονάδα προϊόντος (ευρώ ή δολάριο)

$\frac{GHG}{E}$ , η αποτελεσματικότητα χρήσης της ενέργειας ως προς τις εκπομπές (carbon intensity), δηλαδή πόσες εκπομπές δημιουργεί κάθε μονάδα ενέργειας που χρησιμοποιούμε.



Yoichi Kaya

## Μονάδες

P, σε ανθρώπους

$\frac{GDP}{P}$ , σε  $\frac{\$}{\text{ανθρώπους}}$

$\frac{E}{GDP}$ , σε  $\frac{\text{Joule}}{\$}$

$\frac{GHG}{E}$ , σε  $\frac{CO_{2eq}}{\text{Joule}}$

Συνολικά:

$\text{ανθρώπους} * \frac{\$}{\text{ανθρώπους}} * \frac{\text{Joule}}{\$} * \frac{CO_{2eq}}{\text{Joule}}$

# Ένα αριθμητικό παράδειγμα με την ταυτότητα Kaya

		2030 σε σχέση με το 2010	2050 σε σχέση με το 2010
Προσδοκώμενος:			
Πληθυσμός	P	123%	140%
Προϊόν ανά κεφαλή	GDP/P	184%	250%
Ένταση χρήσης ενέργειας	E/GDP	73%	54%
Επίπεδο μεταβολής GHG για να συμμορφωθούμε με τους στόχους IPCC	I	55% (δηλαδή 45% μείωση από τα επίπεδα του 2010)	0% (δηλαδή 100% μείωση από τα επίπεδα του 2010)
Ζητούμενο:			
Αποτελεσματικότητα χρήσης ενέργειας	GHG/E	33%	0%

$$I = P * \frac{GDP}{P} * \frac{E}{GDP} * \frac{GHG}{E} \Rightarrow \frac{55}{100} (GHG_{2010}) = \frac{123}{100} (P_{2010}) * \frac{73}{100} \left( \frac{E_{2010}}{GDP_{2010}} \right) * x \frac{GHG_{2010}}{E_{2010}} \Rightarrow \frac{GHG_{2010}}{E_{2010}} = \frac{55}{100} * \frac{100}{123} * \frac{100}{184} * \frac{100}{73} = 0.33$$

$$x = 33\% \frac{GHG_{2010}}{E_{2010}}$$

Άρα ο στόχος για το 2030 θα επιτευχθεί εάν το carbon intensity το 2030 φτάσει στο 33% του αντίστοιχου το 2010, δηλαδή οι εκπομπές μειωθούν κατά 55% - "Fit for 55".

# Κοινές κοινωνικο-οικονομικές διαδρομές (Shared socio-economic pathways – SSPs)



Τα τελευταία χρόνια, μια διεθνής ομάδα επιστημόνων, **οικονομολόγων** και μοντελιστών ενεργειακών συστημάτων έχουν δημιουργήσει μια σειρά νέων «διαδρομών» που εξετάζουν πώς η παγκόσμια κοινωνία, τα δημογραφικά στοιχεία και τα οικονομικά μπορεί να αλλάξουν τον επόμενο αιώνα. Είναι συλλογικά γνωστά ως «Κοινές Κοινωνικοοικονομικές Διαδρομές – Shared Socioeconomic Pathways - SSPs).

# Τα 5 SSPs (σενάρια)

## SSP 1: Βιωσιμότητα - Ακολουθώντας τον πράσινο δρόμο

- Το μέλλον βάζει χαμηλές προκλήσεις για τον μετριασμό και χαμηλές προκλήσεις για την προσαρμογή
- Ο παγκόσμιος πληθυσμός κορυφώνεται στα μέσα του αιώνα
- Έμφαση στην ανθρώπινη ευημερία
- Φιλικές προς το περιβάλλον τεχνολογίες και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας
- Ισχυροί και ευέλικτοι θεσμοί σε παγκόσμιο, εθνικό και περιφερειακό επίπεδο

## SSP 2: Στη μέση του δρόμου

- Το μέλλον βάζει μέτριες προκλήσεις για τον μετριασμό και μέτριες προκλήσεις για την προσαρμογή
- Η αύξηση του πληθυσμού σταθεροποιείται προς το τέλος του αιώνα
- Οι τρέχουσες κοινωνικές, οικονομικές και τεχνολογικές τάσεις συνεχίζονται
- Οι παγκόσμιοι και εθνικοί θεσμοί σημειώνουν αργή πρόοδο προς την επίτευξη στόχων βιώσιμης ανάπτυξης

## SSP 3: Περιφερειακή αντιπαλότητα - Ένας κακοτράχαλος δρόμος

- Το μέλλον βάζει υψηλές προκλήσεις για τον μετριασμό και υψηλές προκλήσεις για την προσαρμογή
- Η αύξηση του πληθυσμού συνεχίζεται με υψηλή αύξηση στις αναπτυσσόμενες χώρες
- Έμφαση σε εθνικά θέματα λόγω περιφερειακών συγκρούσεων και εθνικισμού
- Η οικονομική ανάπτυξη είναι αργή και εξαρτάται από τα ορυκτά καύσιμα
- Αδύναμοι παγκόσμιοι θεσμοί και μικρό διεθνές εμπόριο

Σε κάθε ένα σενάριο αντιστοιχεί ένα ή περισσότερα κατά προσέγγιση επίπεδα μεταβολής των δυνάμεων ακτινοβολίας (σε watt ανά τετραγωνικό μέτρο ή W/m<sup>2</sup>) που προκύπτουν από το σενάριο αυτό και την εφαρμογή των πολιτικών μετριασμού που προβλέπει το σενάριο μέχρι το έτος 2100. Έτσι έχουμε σενάριο SSP1-1.9 και SSP1-2.6 ή SSP5-8.5, κ.λπ.

## SSP 4: Ανισότητα - Ένας δρόμος με διαχωρισμούς

- Το μέλλον βάζει χαμηλές προκλήσεις για τον μετριασμό και υψηλές προκλήσεις για την προσαρμογή
- Η αύξηση του πληθυσμού σταθεροποιείται προς το τέλος του αιώνα
- Αυξανόμενο χάσμα μεταξύ της παγκόσμιας συνδεδεμένης, καλά εκπαιδευμένης κοινωνίας και των κατακερματισμένων κοινωνιών χαμηλότερου εισοδήματος
- Οι αναταραχές και οι συγκρούσεις γίνονται πιο συχνές
- Οι παγκόσμιοι, περιφερειακοί και εθνικοί θεσμοί είναι αναποτελεσματικοί

## SSP 5: Ανάπτυξη με ορυκτά καύσιμα - Παίρνοντας τον εύκολο δρόμο

- Το μέλλον βάζει υψηλές προκλήσεις για τον μετριασμό και χαμηλές προκλήσεις για την προσαρμογή
- Ο παγκόσμιος πληθυσμός κορυφώνεται στα μέσα του αιώνα
- Έμφαση στην οικονομική ανάπτυξη και την τεχνολογική πρόοδο
- Παγκόσμια υιοθέτηση τρόπων ζωής υψηλής έντασης πόρων και ενέργειας
- Έλλειψη περιβαλλοντικής συνείδησης

# Μια εμβόλιμη διαφάνεια

**Table 2** Overview of representative concentration pathways (RCPs)

	Description <sup>a</sup>	Publication—IA Model
RCP8.5	Rising radiative forcing pathway leading to 8.5 W/m <sup>2</sup> (~1370 ppm CO <sub>2</sub> eq) by 2100.	(Riahi et al. 2007)—MESSAGE
RCP6	Stabilization without overshoot pathway to 6 W/m <sup>2</sup> (~850 ppm CO <sub>2</sub> eq) at stabilization after 2100	(Fujino et al. 2006; Hijioka et al. 2008)—AIM
RCP4.5	Stabilization without overshoot pathway to 4.5 W/m <sup>2</sup> (~650 ppm CO <sub>2</sub> eq) at stabilization after 2100	(Clarke et al. 2007; Smith and Wigley 2006; Wise et al. 2009)—GCAM
RCP2.6	Peak in radiative forcing at ~3 W/m <sup>2</sup> (~490 ppm CO <sub>2</sub> eq) before 2100 and then decline (the selected pathway declines to 2.6 W/m <sup>2</sup> by 2100).	(Van Vuuren et al., 2007a; van Vuuren et al. 2006)—IMAGE

**Table 4** Main characteristics of each RCP

Scenario Component	RCP2.6	RCP4.5	RCP6	RCP8.5
Greenhouse gas emissions	Very low	Medium-low mitigation Very low baseline	Medium baseline; high mitigation	High baseline
Agricultural area	Medium for cropland and pasture	Very low for both cropland and pasture	Medium for cropland but very low for pasture (total low)	Medium for both cropland and pasture
Air pollution	Medium-Low	Medium	Medium	Medium-high

Πριν την εμφάνιση των SSPs και μέχρι και το 5<sup>ο</sup> report του IPCC, τα σενάρια μελλοντικής εξέλιξης του κλίματος καθορίζονταν από τα σενάρια συγκεντρώσεων – Representative Concentration Pathways – RCPs. Αυτά έδιναν πληροφορίες σχετικά με πιθανές αναπτυξιακές τροχιές για τους κύριους παράγοντες της κλιματικής αλλαγής. Συνολικά, ένα σύνολο τεσσάρων διαδρομών συγκεντρώσεων οδηγούν σε επίπεδα δυνάμεων ακτινοβολίας 8,5, 6, 4,5 και 2,6 W/m<sup>2</sup>, μέχρι το τέλος του αιώνα (RCP8.5, RCP5, RCP4.5, RCP2.6). Τα σενάρια αυτά μας επέτρεπαν τη μετέπειτα ανάλυση τόσο από κλιματικά μοντέλα ESM όσο και από μοντέλα ολοκληρωμένης αξιολόγησης (IAM).

	Radiative forcing	CO <sub>2</sub> equivalent concentration
RCP 8.5	8.5 W/m <sup>2</sup>	1350 ppm
RCP 6.0	6.0 W/m <sup>2</sup>	850 ppm
RCP 4.5	4.5 W/m <sup>2</sup>	650 ppm
RCP 2.6	2.6 W/m <sup>2</sup>	450 ppm

Tables 2 και 4 από Detlef P. van Vuuren et al. 2011. The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change*, 109:5–31. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0148-z>  
 Πίνακας αριστερά και κάτω από van Vuuren, D.P., Kriegler, E., O'Neill, B.C. et al. A new scenario framework for Climate Change Research: scenario matrix architecture. *Climatic Change* 122, 373–386 (2014). <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0906-1>

# Περίληψη των αφηγήσεων στα SSPs - <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009>

## **SSP1 Βιωσιμότητα – Ακολουθώντας τον πράσινο δρόμο (Χαμηλές προκλήσεις για τον μετριασμό και την προσαρμογή)**

Ο κόσμος μετατοπίζεται σταδιακά, αλλά διάχυτα, προς μια πιο βιώσιμη πορεία, δίνοντας έμφαση στην ανάπτυξη χωρίς αποκλεισμούς που σέβεται τα περιβαλλοντικά όρια. Η διαχείριση των παγκόσμιων κοινόκτητων πόρων βελτιώνεται αργά, οι επενδύσεις στην εκπαίδευση και την υγεία επιταχύνουν τη δημογραφική μετάβαση και η έμφαση στην οικονομική ανάπτυξη μετατοπίζεται προς μια ευρύτερη έμφαση στην ανθρώπινη ευημερία. Καθοδηγούμενη από την αυξανόμενη δέσμευση για την επίτευξη αναπτυξιακών στόχων, η ανισότητα μειώνεται τόσο μεταξύ όσο και εντός των χωρών. Η κατανάλωση προσανατολίζεται σε υλικά με χαμηλότερη ένταση πόρων και ενέργειας.

## **SSP2 Στη μέση του δρόμου - Middle of the Road (Μεσαίες προκλήσεις για τον μετριασμό και την προσαρμογή)**

Ο κόσμος ακολουθεί μια πορεία στην οποία οι κοινωνικές, οικονομικές και τεχνολογικές τάσεις δεν μετατοπίζονται σημαντικά από τα ιστορικά πρότυπα. Η ανάπτυξη και η αύξηση του εισοδήματος προχωρούν άνισα, με ορισμένες χώρες να σημειώνουν σχετικά καλή πρόοδο, ενώ άλλες υπολείπονται των προσδοκιών. Παγκόσμια και εθνικά ιδρύματα εργάζονται προς την κατεύθυνση της βιώσιμης ανάπτυξης, αλλά σημειώνουν αργή πρόοδο στην επίτευξη των στόχων. Τα περιβαλλοντικά συστήματα παρουσιάζουν υποβάθμιση, αν και υπάρχουν κάποιες βελτιώσεις και συνολικά η ένταση της χρήσης πόρων και ενέργειας μειώνεται. Η παγκόσμια αύξηση του πληθυσμού είναι μέτρια και μειώνεται κατά το δεύτερο μισό του αιώνα. Η εισοδηματική ανισότητα παραμένει ή βελτιώνεται πολύ αργά και εξακολουθούν να υπάρχουν προκλήσεις για τη μείωση της ευπάθειας στις κοινωνικές και περιβαλλοντικές αλλαγές.

## **SSP3 Περιφερειακή αντιπαλότητα - Regional Rivalry – A Rocky Road (Υψηλές προκλήσεις για τον μετριασμό και την προσαρμογή)**

Ένας αναζωπυρούμενος εθνικισμός, οι ανησυχίες για την ανταγωνιστικότητα και την ασφάλεια και οι περιφερειακές συγκρούσεις ωθούν τις χώρες να επικεντρωθούν όλο και περισσότερο σε εσωτερικά ή, το πολύ, περιφερειακά ζητήματα. Οι πολιτικές αλλάζουν με την πάροδο του χρόνου για να προσανατολίζονται όλο και περισσότερο σε θέματα εθνικής και περιφερειακής ασφάλειας. Οι χώρες επικεντρώνονται στην επίτευξη στόχων ενεργειακής και επισιτιστικής ασφάλειας εντός των περιοχών τους σε βάρος της ανάπτυξης ευρύτερης βάσης. Οι επενδύσεις στην εκπαίδευση και την τεχνολογική ανάπτυξη μειώνονται. Η οικονομική ανάπτυξη είναι αργή, η κατανάλωση είναι έντασης υλικού και οι ανισότητες παραμένουν ή επιδεινώνονται με την πάροδο του χρόνου. Η αύξηση του πληθυσμού είναι χαμηλή στις βιομηχανοποιημένες και υψηλή στις αναπτυσσόμενες χώρες. Μια χαμηλή διεθνής προτεραιότητα για την αντιμετώπιση περιβαλλοντικών ανησυχιών οδηγεί σε έντονη περιβαλλοντική υποβάθμιση σε ορισμένες περιοχές.

## **SSP4 Ανισότητα – Ένας δρόμος με διαχωρισμούς - Inequality – A Road Divided (Χαμηλές προκλήσεις για τον μετριασμό, υψηλές προκλήσεις για την προσαρμογή)**

Οι εξαιρετικά άνισες επενδύσεις στο ανθρώπινο κεφάλαιο, σε συνδυασμό με τις αυξανόμενες ανισότητες στις οικονομικές ευκαιρίες και την πολιτική δύναμη, οδηγούν σε αυξανόμενες ανισότητες και διαστρωμάτωση τόσο μεταξύ των χωρών όσο και εντός των χωρών. Με την πάροδο του χρόνου, διευρύνεται ένα χάσμα μεταξύ μιας διεθνώς συνδεδεμένης κοινωνίας που συμβάλλει σε τομείς έντασης γνώσης και κεφαλαίου της παγκόσμιας οικονομίας, και μιας κατακερματισμένης συλλογής κοινωνιών με χαμηλό εισόδημα, φτωχής εκπαίδευσης που εργάζονται σε μια οικονομία εντάσεως εργασίας και χαμηλής τεχνολογίας. Η κοινωνική συνοχή υποβαθμίζεται και οι συγκρούσεις και οι αναταραχές γίνονται όλο και πιο συχνές. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας είναι υψηλή στην οικονομία και στους τομείς υψηλής τεχνολογίας. Ο παγκόσμιος συνδεδεμένος ενεργειακός τομέας διαφοροποιείται, με επενδύσεις τόσο σε καύσιμα έντασης άνθρακα, όπως ο άνθρακας και το μη συμβατικό πετρέλαιο, όσο και σε πηγές ενέργειας χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Οι περιβαλλοντικές πολιτικές επικεντρώνονται σε τοπικά ζητήματα γύρω από περιοχές μεσαίου και υψηλού εισοδήματος.

## **SSP5 Ανάπτυξη με ορυκτά καύσιμα – Παίρνοντας τον εύκολο δρόμο (Υψηλές προκλήσεις για τον μετριασμό, χαμηλές προκλήσεις για την προσαρμογή)**

Αυτός ο κόσμος πιστεύει όλο και περισσότερο στις ανταγωνιστικές αγορές, την καινοτομία και τις συμμετοχικές κοινωνίες για την παραγωγή ταχείας τεχνολογικής προόδου και ανάπτυξης του ανθρώπινου κεφαλαίου ως το μονοπάτι προς τη βιώσιμη ανάπτυξη. Οι παγκόσμιες αγορές ενοποιούνται όλο και περισσότερο. Υπάρχουν επίσης ισχυρές επενδύσεις στην υγεία, την εκπαίδευση και τους θεσμούς για την ενίσχυση του ανθρώπινου και κοινωνικού κεφαλαίου. Ταυτόχρονα, η ώθηση για οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη συνδυάζεται με την εκμετάλλευση άφθονων πόρων ορυκτών καυσίμων και την υιοθέτηση τρόπων ζωής υψηλής έντασης πόρων και ενέργειας σε όλο τον κόσμο. Όλοι αυτοί οι παράγοντες οδηγούν σε ταχεία ανάπτυξη της παγκόσμιας οικονομίας, ενώ ο παγκόσμιος πληθυσμός κορυφώνεται και μειώνεται τον 21ο αιώνα. Τα τοπικά περιβαλλοντικά προβλήματα όπως η ατμοσφαιρική ρύπανση αντιμετωπίζονται με επιτυχία. Υπάρχει πίστη στην ικανότητα αποτελεσματικής διαχείρισης κοινωνικών και οικολογικών συστημάτων, συμπεριλαμβανομένης της γεω-μηχανικής εάν είναι απαραίτητο.

# Οι υποθέσεις των 5 SSP σεναρίων

SSP element	SSP1			SSP2			SSP3			SSP4			SSP5		
	<i>Country fertility groupings for demographic elements</i>														
	High fert.	Low fert.	Rich-OECD	High fert.	Low fert.	Rich-OECD	High fert.	Low fert.	Rich-OECD	High fert.	Low fert.	Rich-OECD	High fert.	Low fert.	Rich-OECD
<b>Demographics</b>															
<i>Population</i>															
Growth	Relatively low			Medium			High	Low	Relatively high			Low	Relatively low		
Fertility	Low	Low	Med	Medium			High	High	Low	High	Low	Low	Low	Low	High
Mortality	Low			Medium			High			High	Med	Med	Low		
Migration	Medium			Medium						Medium			High		
<i>Urbanization</i>															
Level	High			Medium			Low			High	High	Med	High		
Type	Well managed			Continuation of historical patterns			Poorly managed			Mixed across and within cities			Better mgmt. over time, some sprawl		
<b>Human development</b>															
Education	High			Medium			Low			V.low/uneq.	Low/uneq.	Med/uneq.	High		
Health investments	High			Medium			Low			Unequal within regions, lower in LICs, medium in HICs			High		
Access to health facilities, water, sanitation	High			Medium			Low			Unequal within regions, lower in LICs, medium in HICs			High		
Gender equality	High			Medium			Low			Unequal within regions, lower in LICs, medium in HICs			High		
Equity	High			Medium			Low			Medium			High		
Social cohesion	High			Medium			Low			Low, stratified			High		
Societal participation	High			Medium			Low			Low			High		

# Τα 5 SSR ως προς τις προκλήσεις μετριασμού και προσαρμογής

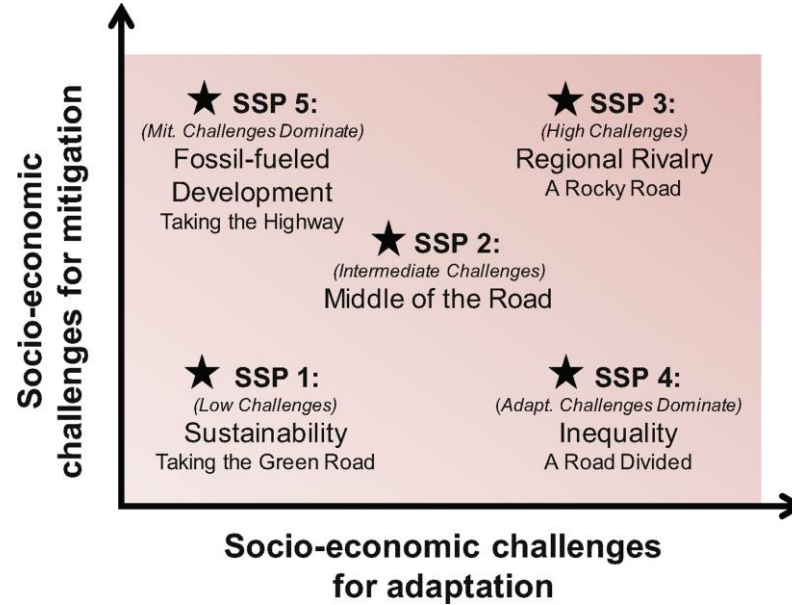
Brian C. O'Neill, ET AL. 2017. The roads ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century, Global Environmental Change, Volume 42, <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.01.004>

## SSR5

Η ισχυρή εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα και η έλλειψη παγκόσμιας περιβαλλοντικής ανησυχίας έχουν ως αποτέλεσμα δυνητικά **υψηλές προκλήσεις για τον μετριασμό**. Η επίτευξη των στόχων ανθρώπινης ανάπτυξης, η ισχυρή οικονομική ανάπτυξη και η άρτια σχεδιασμένη υποδομή έχουν ως αποτέλεσμα **σχετικά χαμηλές προκλήσεις προσαρμογής** σε οποιαδήποτε πιθανή κλιματική αλλαγή για όλους εκτός από λίγους.

## SSR1

Ο συνδυασμός κατευθυνόμενης ανάπτυξης φιλικών προς το περιβάλλον τεχνολογιών, ευνοϊκών προοπτικών για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, θεσμών που μπορούν να διευκολύνουν τη διεθνή συνεργασία και σχετικά χαμηλής ενεργειακής ζήτησης οδηγεί σε **σχετικά χαμηλές προκλήσεις για τον μετριασμό**. Ταυτόχρονα, οι βελτιώσεις στην ανθρώπινη ευημερία, μαζί με ισχυρούς και ευέλικτους παγκόσμιους, περιφερειακούς και εθνικούς θεσμούς συνεπάγονται **χαμηλές προκλήσεις για την προσαρμογή**.



## SSR2

Η ανάπτυξη, η εισοδηματική ανισότητα που επιμένει ή βελτιώνεται αργά, η συνεχιζόμενη κοινωνική διαστρωμάτωση και η περιορισμένη κοινωνική συνοχή, διατηρούν προκλήσεις για τη μείωση της ευπάθειας στις κοινωνικές και περιβαλλοντικές αλλαγές και περιορίζουν σημαντικές προόδους στη βιώσιμη ανάπτυξη. Αυτά οδηγούν το σενάριο να αντιμετωπίζει **μέτριες προκλήσεις όσον αφορά τον μετριασμό και την προσαρμογή**, αλλά με σημαντικές ετερογένειες μεταξύ και εντός των χωρών.

## SSR3

Η αύξηση του πληθυσμού είναι χαμηλή στις βιομηχανοποιημένες και υψηλή στις αναπτυσσόμενες χώρες. Η αυξανόμενη ένταση των πόρων και η εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα μαζί με τη δυσκολία επίτευξης διεθνούς συνεργασίας και την αργή τεχνολογική αλλαγή συνεπάγονται **υψηλές προκλήσεις για τον μετριασμό**. Η περιορισμένη ανάπτυξη, η αργή αύξηση του εισοδήματος και η έλλειψη αποτελεσματικών θεσμών, συνεπάγεται **υψηλές προκλήσεις προσαρμογής** για πολλές ομάδες σε όλες τις περιφέρειες.

## SSR4

Οι περιβαλλοντικές πολιτικές επικεντρώνονται σε τοπικά ζητήματα γύρω από περιοχές μεσαίου και υψηλού εισοδήματος. Ο συνδυασμός επιλογών προμήθειας χαμηλών εκπομπών άνθρακα και τεχνολογίας, συνεπάγεται **χαμηλές προκλήσεις για τον μετριασμό**. Οι **προκλήσεις για την προσαρμογή είναι υψηλές** για τα σημαντικά ποσοστά πληθυσμών σε χαμηλά επίπεδα ανάπτυξης και με περιορισμένη πρόσβαση σε αποτελεσματικούς θεσμούς.



# Ας δούμε πως έχει δουλευτεί ένα τυπικό σενάριο SSR5 - Ανάπτυξη με ορυκτά καύσιμα (1)

<https://youtu.be/9-IFULUzJ2A>

Το SSP5 χαρακτηρίζεται από υψηλές κοινωνικοοικονομικές προκλήσεις για τον μετριασμό και χαμηλές κοινωνικοοικονομικές προκλήσεις για την προσαρμογή.

Περιγράφει έναν κόσμο ανάπτυξης υψηλής έντασης πόρων, όπου η υψηλή οικονομική ανάπτυξη συνδυάζεται με πρότυπα παραγωγής και κατανάλωσης υψηλής έντασης υλικών και ισχυρή εξάρτηση από άφθονους πόρους ορυκτών καυσίμων.

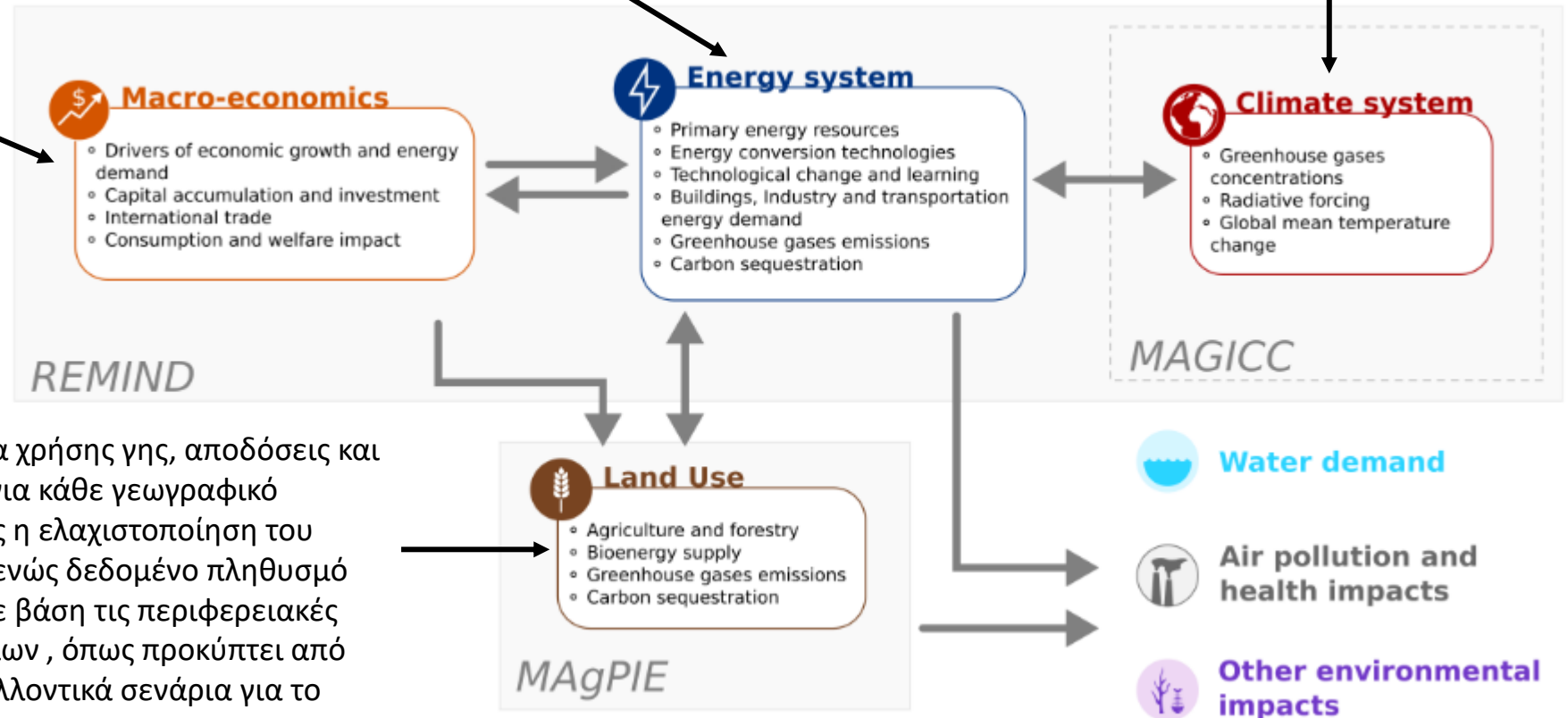
Αυτό οδηγεί σε υψηλά επίπεδα εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και σε μεγάλες προκλήσεις για τη μείωσή τους ως απάντηση στην κλιματική αλλαγή. Ταυτόχρονα, η αφήγηση του SSP5 προβλέπει κορύφωση και μείωση του παγκόσμιου πληθυσμού, ταχεία ανθρώπινη ανάπτυξη, ταχεία εισοδηματική σύγκλιση μεταξύ των περιφερειών και μια ολοένα και πιο χωρίς αποκλεισμούς και παγκοσμιοποιημένη οικονομία, που οδηγεί σε υψηλή και αυξανόμενη ικανότητα προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή.

# SSR5 - Ανάπτυξη με ορυκτά καύσιμα – το υπόδειγμα (2)

Η ανάπτυξη είναι τύπου Ramsey με τέλεια διορατικότητα. Είναι ένας μακροοικονομικός πυρήνας για την εκτίμηση της ανάπτυξης, των αποταμιεύσεων και επενδύσεων, των εισοδημάτων των συντελεστών της παραγωγής, της ζήτησης ενέργειας και υλικών. Οι μακροοικονομικοί συντελεστές παραγωγής είναι το κεφάλαιο, η εργασία και η τελική ενέργεια. Η συνάρτηση παραγωγής είναι με σταθερή ελαστικότητα υποκατάστασης και καθορίζει την τελική ζήτηση ενέργειας.

Το ενεργειακό σύστημα διαφοροποιεί μια ποικιλία ορυκτών, βιογενών, πυρηνικών και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Περισσότερες από 50 τεχνολογίες για τη μετατροπή της ενέργειας σε δευτερογενείς φορείς ενέργειας και για τη διανομή δευτερογενών μεταφορέων ενέργειας σε τελική ενέργεια.

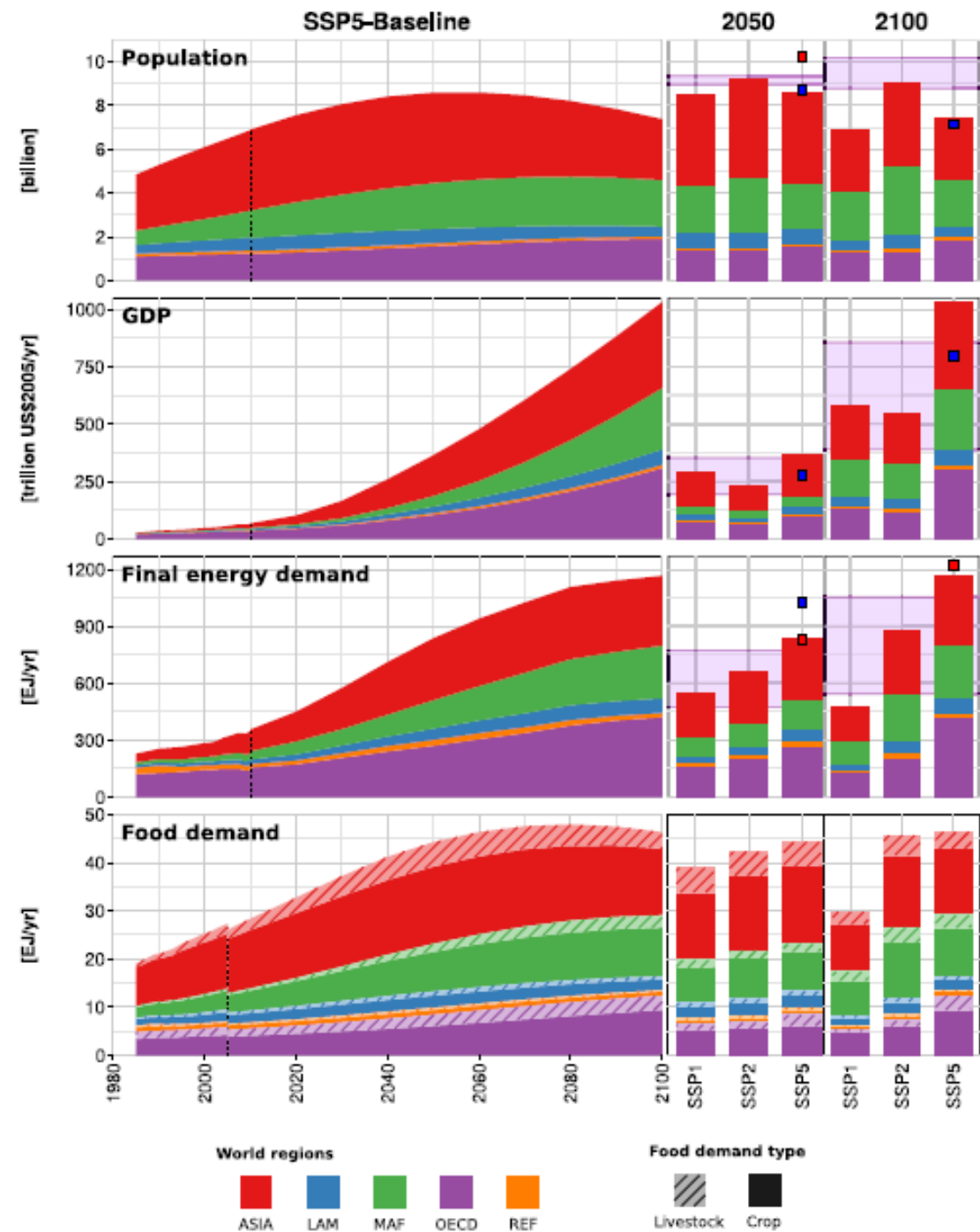
Το MAGICC είναι ένα ESM για την εκτίμηση μας της μελλοντικής αλλαγής του κλίματος αλλά και της αβεβαιότητας που προκύπτει από τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των στοιχείων του γήινου συστήματος. Περιλαμβάνει μοντέλα για τον κύκλο του άνθρακα, του μεθανίου, τις επιπτώσεις των αερολυμάτων και της ανόδου της στάθμης της θάλασσας.



Το MAgPIE εκτιμά συγκεκριμένα πρότυπα χρήσης γης, αποδόσεις και συνολικό κόστος γεωργικής παραγωγής για κάθε γεωγραφικό τετράγωνο στο κόσμο (βήμα 0,5°). Στόχος η ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους παραγωγής για εξωγενώς δεδομένο πληθυσμό σε 10 κατηγορίες ενέργειας τροφίμων, με βάση τις περιφερειακές δίαιτες, και τη μελλοντική ζήτηση τροφίμων, όπως προκύπτει από ανάλυση μεταξύ των χωρών, με βάση μελλοντικά σενάρια για το ΑΕΠ και την αύξηση του πληθυσμού.

# SSR5 - Ανάπτυξη με ορυκτά καύσιμα – οι υποκινητές (3)

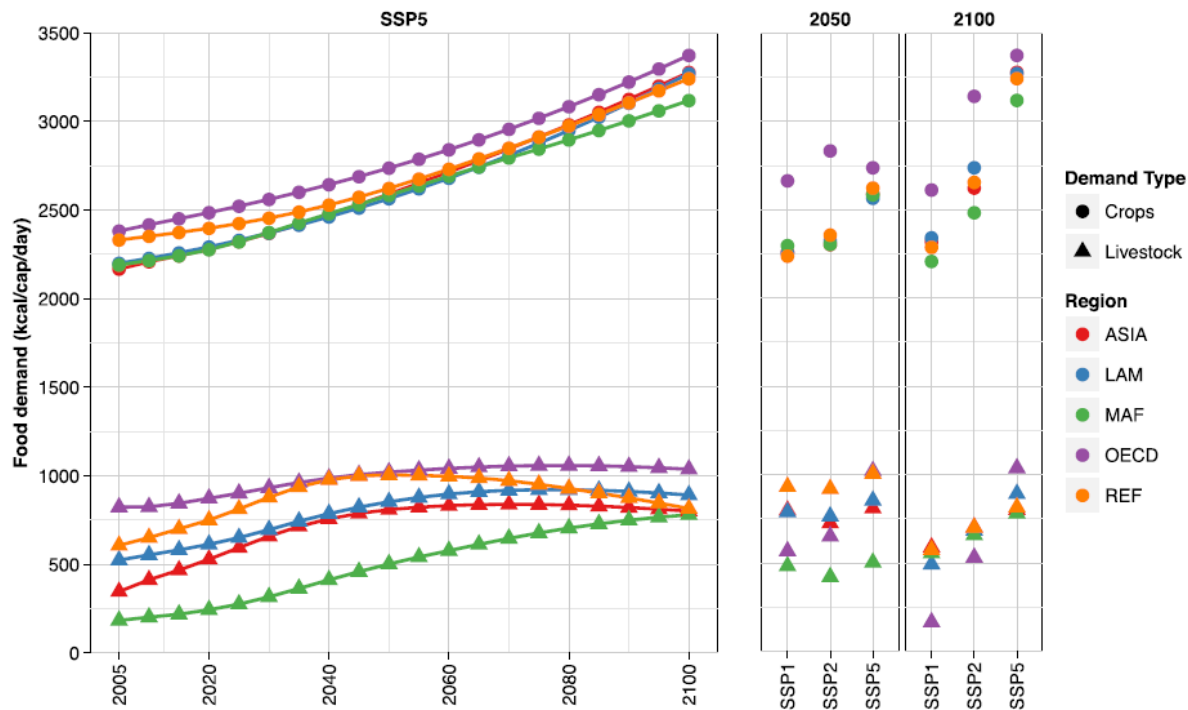
Αριστερά φαίνεται ο **παγκόσμιος πληθυσμός** (επάνω σειρά), το **ΑΕΠ** (σε μονάδες αγοραστικής δύναμης - PPP, η επάνω μεσαία σειρά), η **ζήτηση ενέργειας** (κάτω μεσαία σειρά) και η **ζήτηση τροφίμων** (κάτω σειρά) στο SSP5 κατά τον 21ο αιώνα στοιβαγμένα ανά περιοχή SSP. Στα αριστερά το σχήμα περιλαμβάνει μια σύγκριση με τα SSP1 και SSP2 για τα έτη 2050 και 2100. Οι τιμές SSP συγκρίνονται επίσης με τις προβλέψεις πληθυσμού, ΑΕΠ και τελικής ενέργειας στο RCP8.5



Elmar Kriegler et al. 2017. Fossil-fueled development (SSP5): An energy and resource intensive scenario for the 21st century. *Global Environmental Change* 42, 297–315.

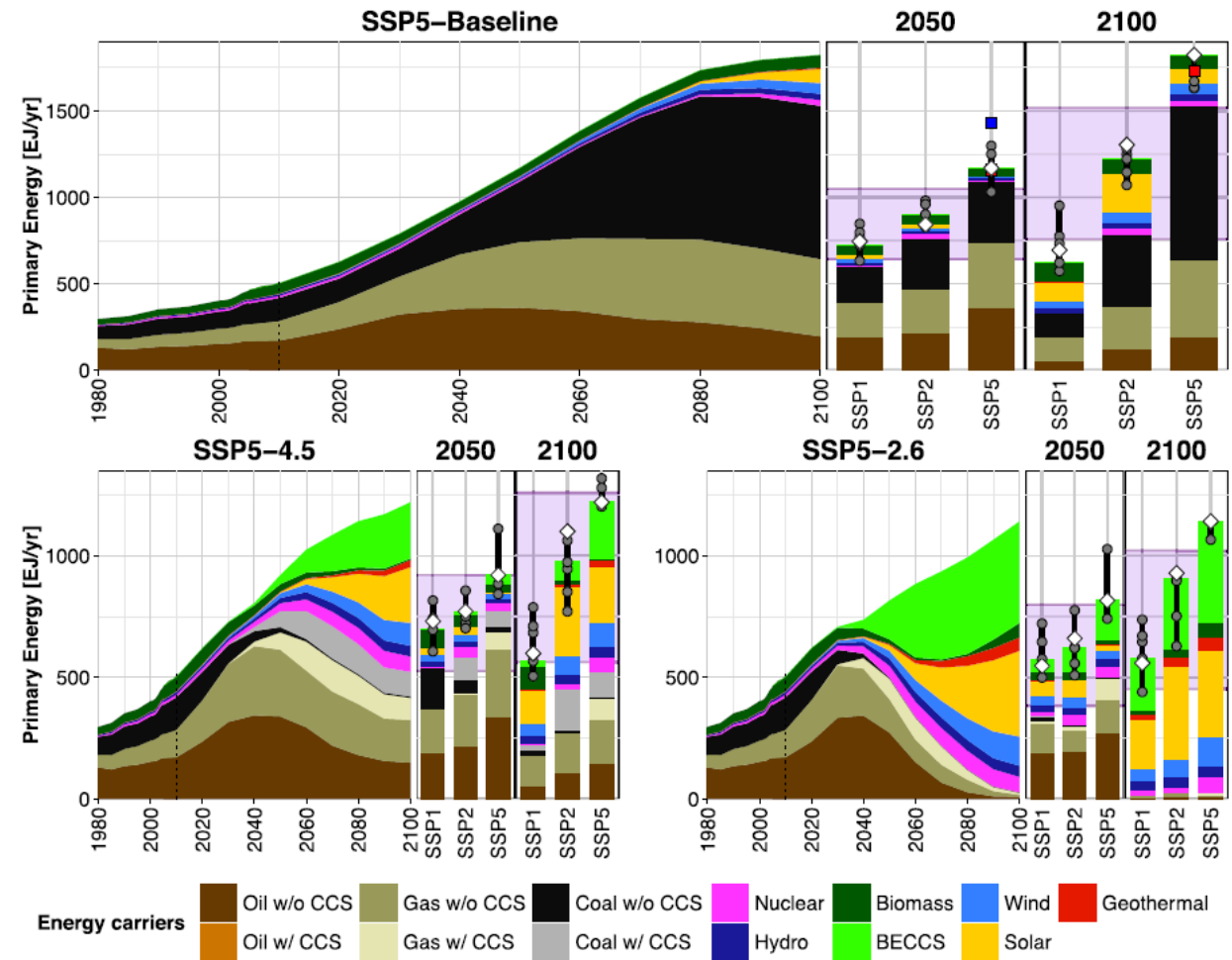
<http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.015>

# SSR5-Ανάπτυξη με ορυκτά καύσιμα-τρόφιμα και ενέργεια (4)



Επάνω: Περιφερειακή κατά κεφαλήν ζήτηση τροφίμων (kcal/cap/ημέρα) στο SSP5 κατά τον 21ο αιώνα. Η ζήτηση τροφίμων χωρίζεται σε ζήτηση για φυτικά και ζωικά προϊόντα. Το σχήμα περιλαμβάνει μια σύγκριση με τα SSP1 και SSP2 για τα έτη 2050 και 2100.

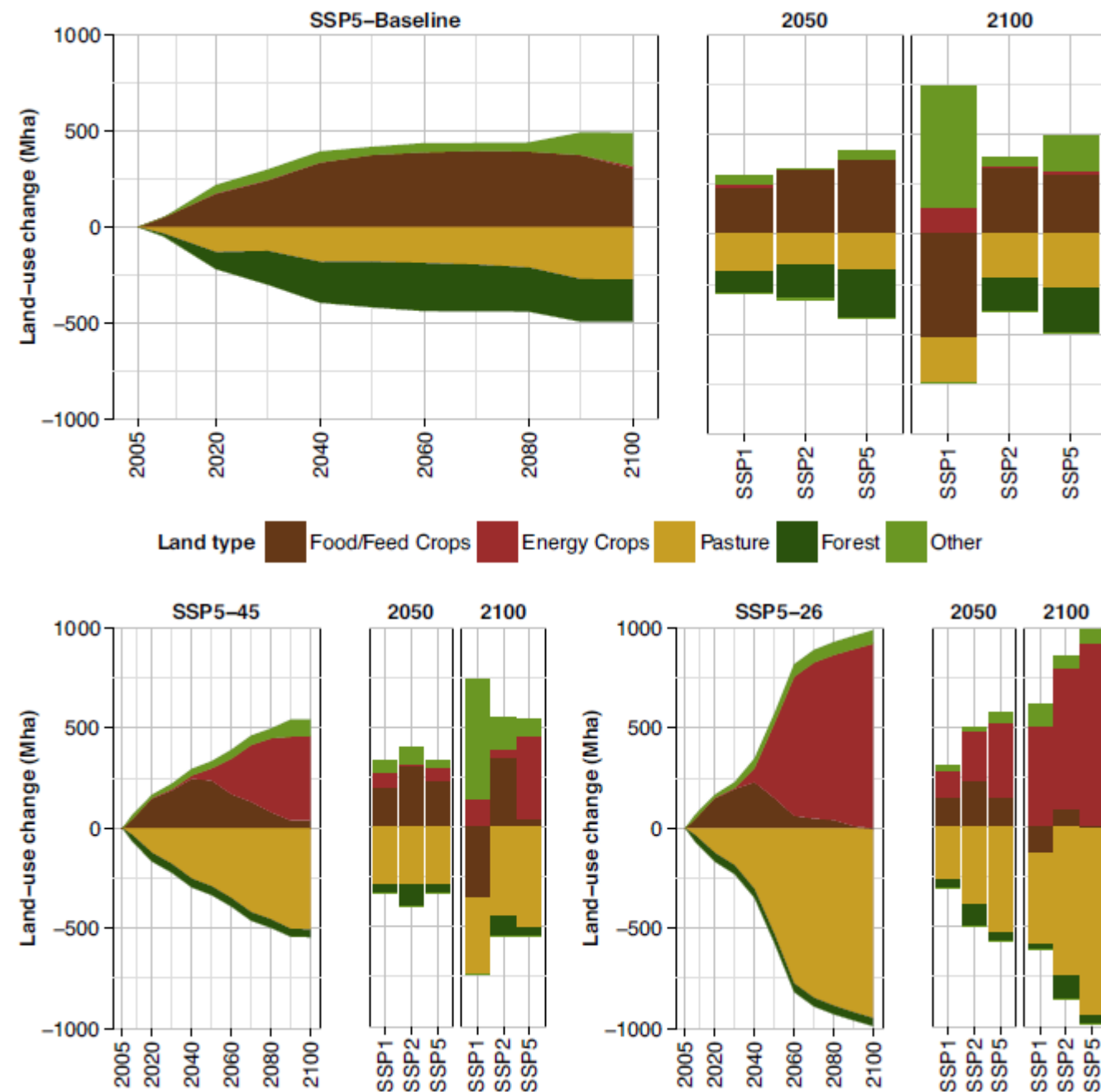
Δεξιά: Προσφορά ενέργειας ανά πηγή στις περιπτώσεις μετριασμού 4,5 W/m<sup>2</sup> (45) και 2,6 W/m<sup>2</sup> (26) (κάτω σειρά).



# SSR5 - Ανάπτυξη με ορυκτά καύσιμα – χρήσεις γης (5)

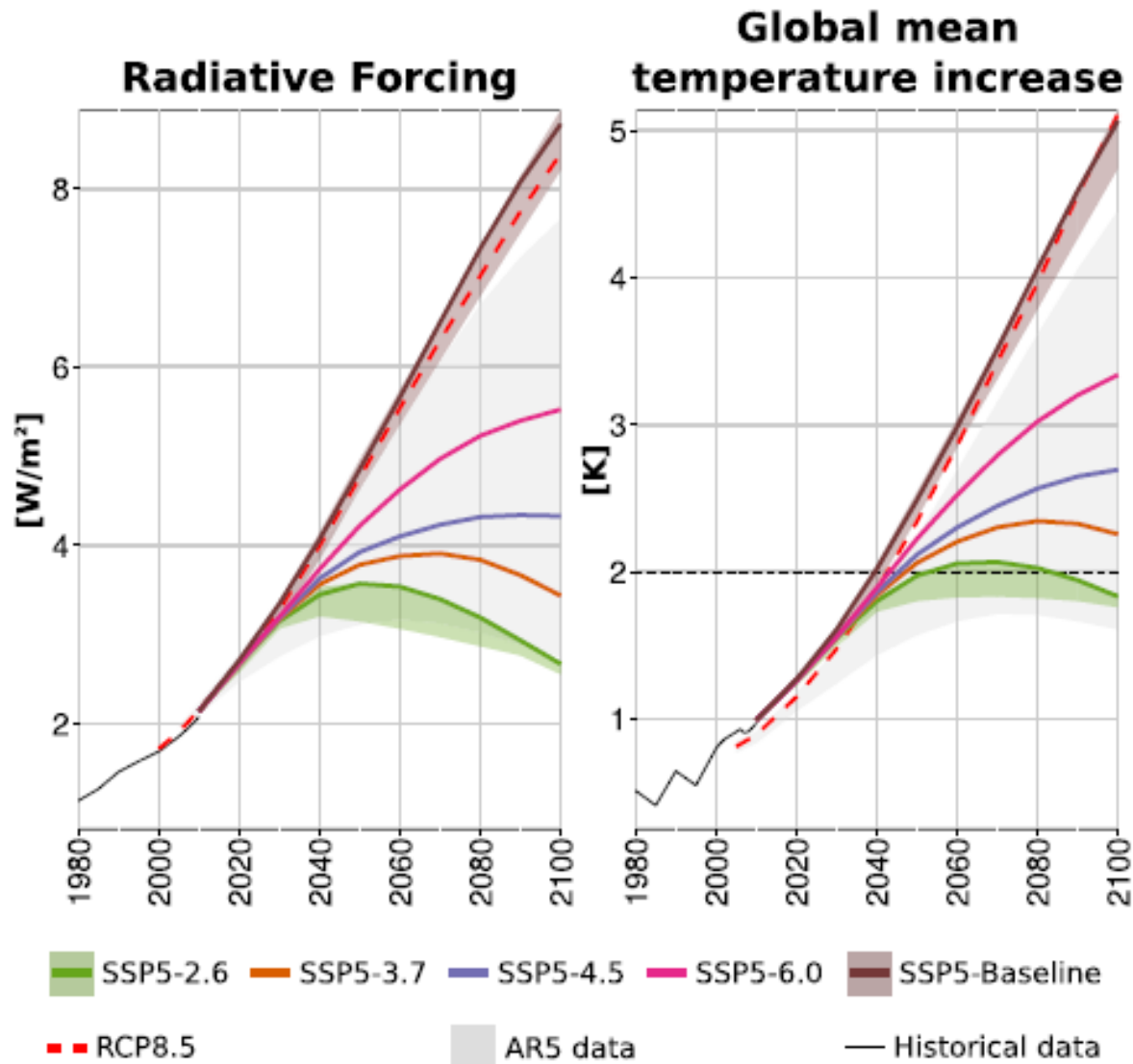
Η παγκόσμια αλλαγή χρήσης γης ανά τύπο γης σε σχέση με το 2010 στο σενάριο SSP5-Baseline (επάνω σειρά) και στις περιπτώσεις μετριασμού 4,5 W/m<sup>2</sup> (45) και 2,6 W/m<sup>2</sup> (26) (κάτω σειρά) όπως προκύπτει από το υπόδειγμα.

Η «άλλη» γη, η οποία περιλαμβάνει μη δασική φυσική βλάστηση, ερήμους και εγκαταλελειμμένη γεωργική γη, αυξάνεται έντονα στο SSP1-Baseline προς το τέλος του αιώνα διότι συνδέεται με την αναγέννηση της φυσικής βλάστησης. Εάν η πυκνότητα άνθρακα της επανααναπτυσσόμενης βλάστησης υπερβαίνει το όριο των 20 tC/ha, η γη «Άλλη» αναταξινομείται ως «Δάσος».



# SSR5 - Ανάπτυξη με ορυκτά καύσιμα –

## Τροποποίηση του ισοζυγίου ενέργειας και επίπτωση στη θερμοκρασία (6)



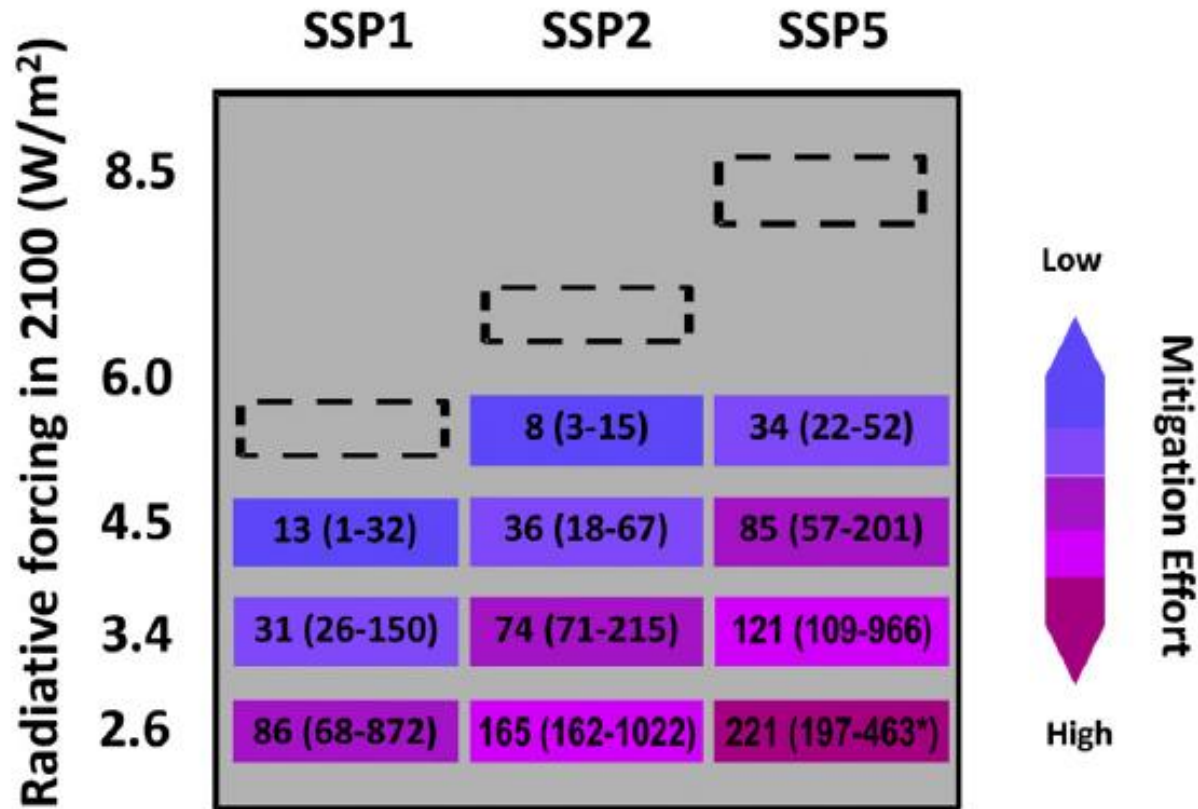
Τροποποίηση του ισοζυγίου ενέργειας (radiative forcing) και επίπτωση στη θερμοκρασία στα σενάρια αναφοράς SSP5 και δείκτες μετριασμού.

Οι προβολές συγκρίνονται με το σενάριο δείκτη RCP8.5 και A1FI από το SRES. Εμφανίζονται επίσης οι SSP5 IAM για SSP5-Baseline και SSP5 -2.6 (ελαφρύτερα χρώματα) και το εύρος εκατοστημόριου 5ου έως 95ου στη βάση δεδομένων του σεναρίου AR5.

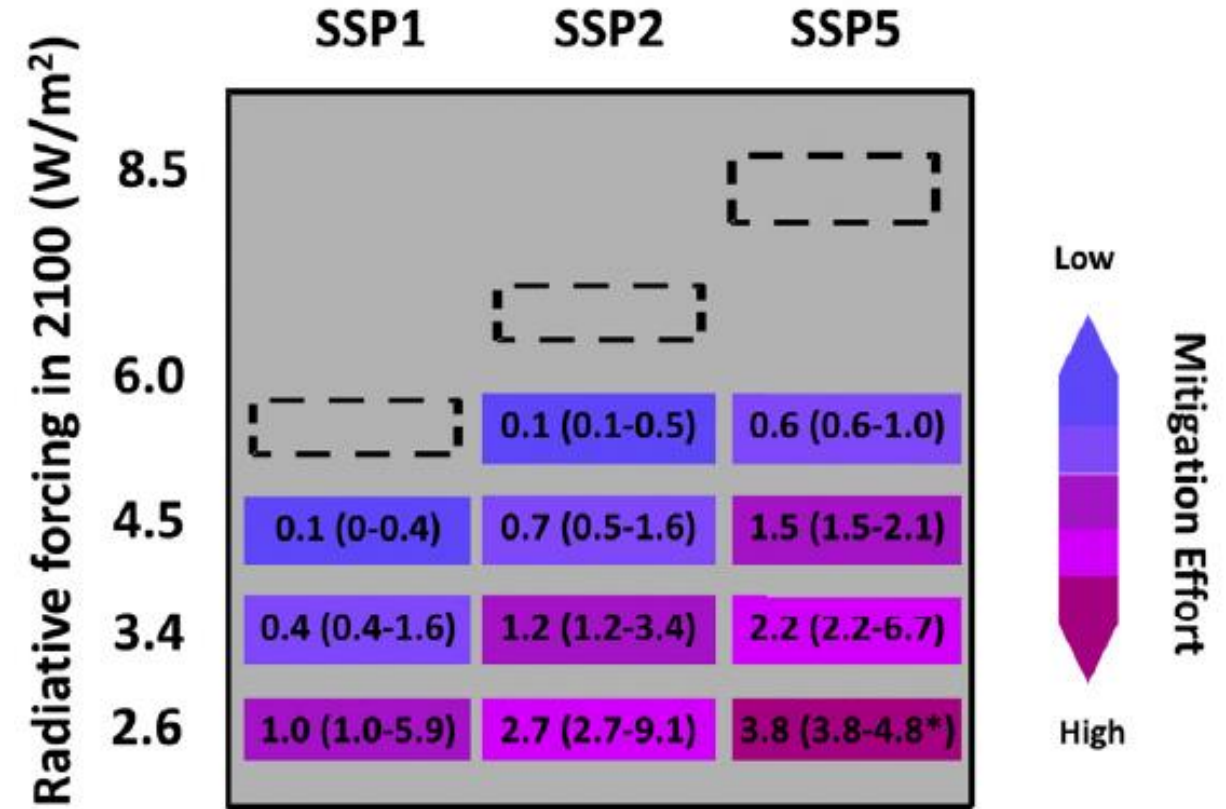
Η επίπτωση στην τροποποίηση του ισοζυγίου ενέργειας (radiative forcing) ποικίλλει. Κυμαίνεται από επιβράδυνση των βασικών τάσεων (SSP5-6.0) έως αιχμή και πτώση της τροχιάς εξαναγκασμού στις πιο αυστηρές περιπτώσεις μετριασμού (SSP5-3.4, SSP5-2.6). Η προκύπτουσα μέση παγκόσμια απόκριση μέσης θερμοκρασίας κυμαίνεται από 5 C° έως 2 C°.

# SSR5 - Ανάπτυξη με ορυκτά καύσιμα, στο ζουμί: «Η τιμή του διοξειδίου» (7)

**A Global CO<sub>2</sub> price in 2050 (\$/tCO<sub>2</sub>)**



**B Consumption loss in 2050 (%)**



Οι τιμές του άνθρακα και το κόστος μετριασμού εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το υπόδειγμα και επομένως πρέπει να εστιάσουμε στη σχετική μεταβολή αυτών των ποσοτήτων μεταξύ των σεναρίων (κελιά στις στήλες) και των τροποποιήσεων του ισοζυγίου ενέργειας (radiative forcings) (κελιά στις γραμμές).