

- Πού πήγε όλη αυτή η ποσότητα του CO<sub>2</sub>?
- Το εξωτερικό της Γης (εξώσφαιρα) αποτελείται από
  - ατμόσφαιρα
  - υδρόσφαιρα (ωκεανοί, γλυκά νερά, παγετώδη καλύμματα)
  - βιόσφαιρα
  - λιθόσφαιρα
- Πολύ λίγο υλικό φεύγει από το γήινο σύστημα: κάποια αέρια φεύγουν προς το διάστημα; Υλικό μετακινείται από την εξώσφαιρα στην ενδόσφαιρα (υποβύθιση, τεκτονική των πλακών). Η μετακίνηση του υλικού γίνεται γρήγορα από και μέσα στην ατμόσφαιρα και βιόσφαιρα (**κλίμακα δεκαετίας**), με αργότερους ρυθμούς στην υδρόσφαιρα (**κλίμακα εκατονταετίας** στον ανώτερο ωκεανό, **χιλιετίας** στα μεγάλα βάθη) και πολύ αργά (**εκατομμύρια χρόνια**) στη λιθόσφαιρα.

# ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΒΙΟΓΕΩΧΗΜΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ

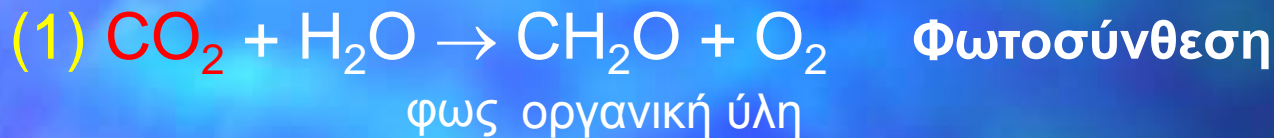


## ■ Γιατι ο κυκλος του C ειναι σημαντικος?

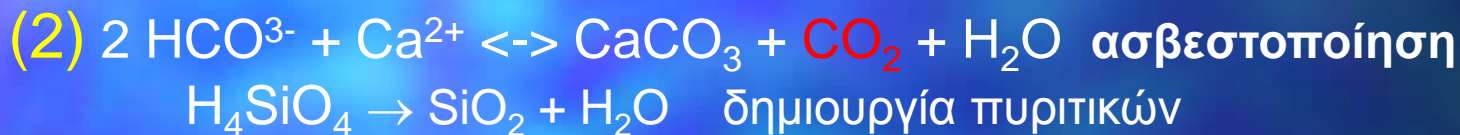
Δομικό συστατικό βιομορίων

- ◆ Συνδέεται με την ζωή η οποία συμβάλλει στην ανακύκλωση χημικών στοιχείων μεταξύ όλων των περιβαλλόντων ατμόσφαιρα, βιόσφαιρα, υδρόσφαιρα, λιθόσφαιρα συμμετέχοντας σε χημικές αντιδράσεις «κλειδιά» (π.χ. φωτοσύνθεση)
- ◆ Προϊόν ανθρωπογενούς δραστηριότητας σύγχρονη κλιματική αλλαγή  $\Rightarrow$  άμεση σχέση μεταξύ T και  $CO_2 \Rightarrow$  μεταβολή της ποσότητας  $CO_2$  ως παράγοντας positive feedback (θετικής ανάδρασης) στην θέρμανση της Γης.

## Αντιδράσεις στο βιοτικό περιβάλλον μικρά χρονικά εύρη (shortterm)



Επιφανειακά  
ύδατα



↓ καθίζηση κελυφών

## Αναπνοή και αποικοδόμηση σε ανόργανα στοιχεία



Βαθιά ύδατα

Σημείωση: το  $\text{CO}_2$  συμμετέχει και στην (1) και (2) που είναι η αλληλεπίδραση βιόσφαιρας και λιθόσφαιρας

# Αντιδράσεις στο αβιοτικό περιβάλλον (μεγάλα χρονικά εύρη)

- Αποσάθρωση (Λιθόσφαιρα = ασβεστόλιθος + πυριτικά~CaSiO<sub>3</sub>)



*Διαλυμένα ιόντα, μεταφερόμενα στο νερό*

- Υδρόλυση - αντίδραση πυριτικών με ανθρακικό οξύ προς σχηματισμό αργιλικών ορυκτών και διαλυμένων ιόντων



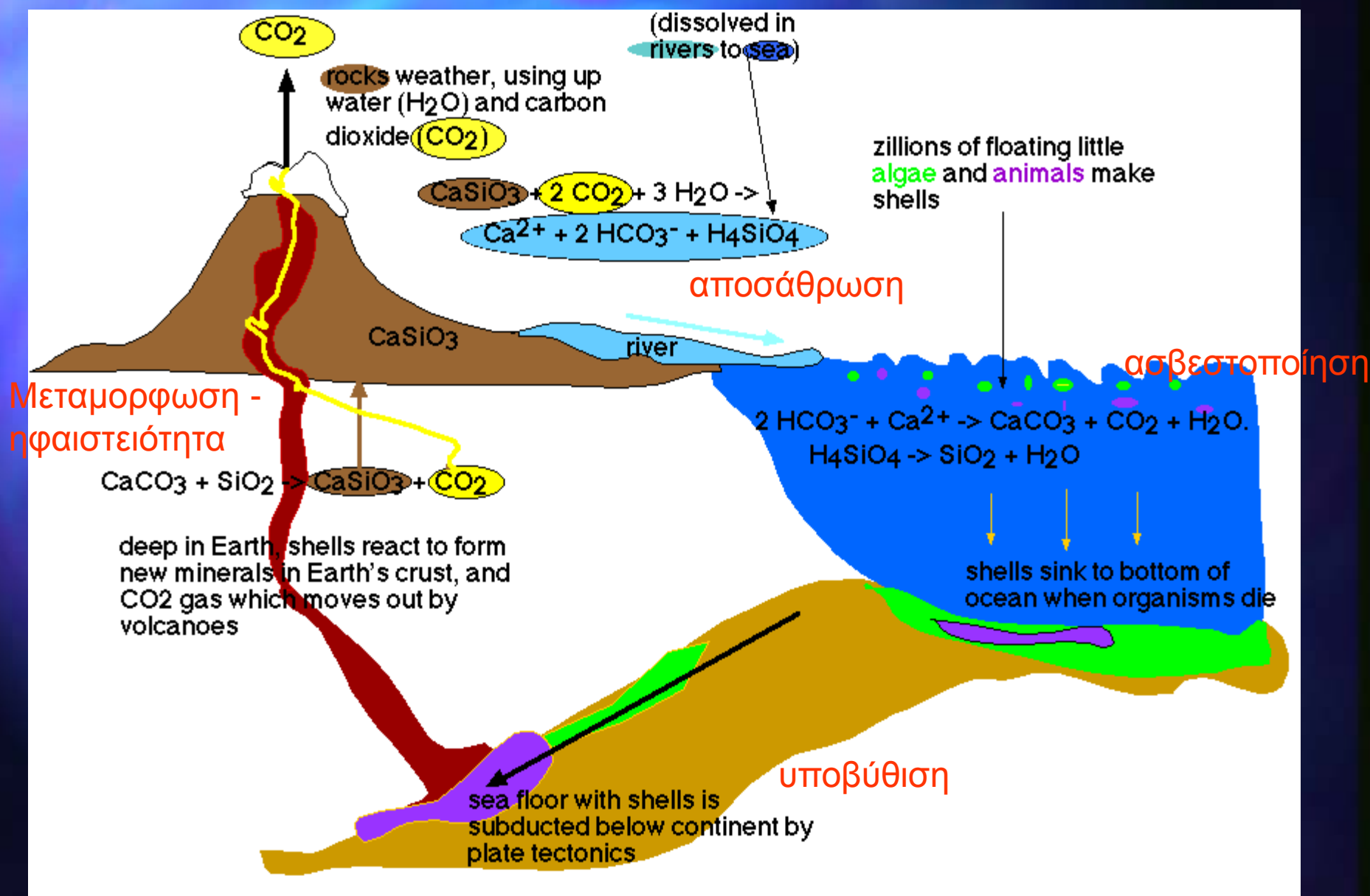
- Διαλυτοποίηση (πιο γρήγορη)



- Μεταμόρφωση και ηφαιστειότητα



# Ο θερμοστάτης της Γης



# Κύκλος του Άνθρακα

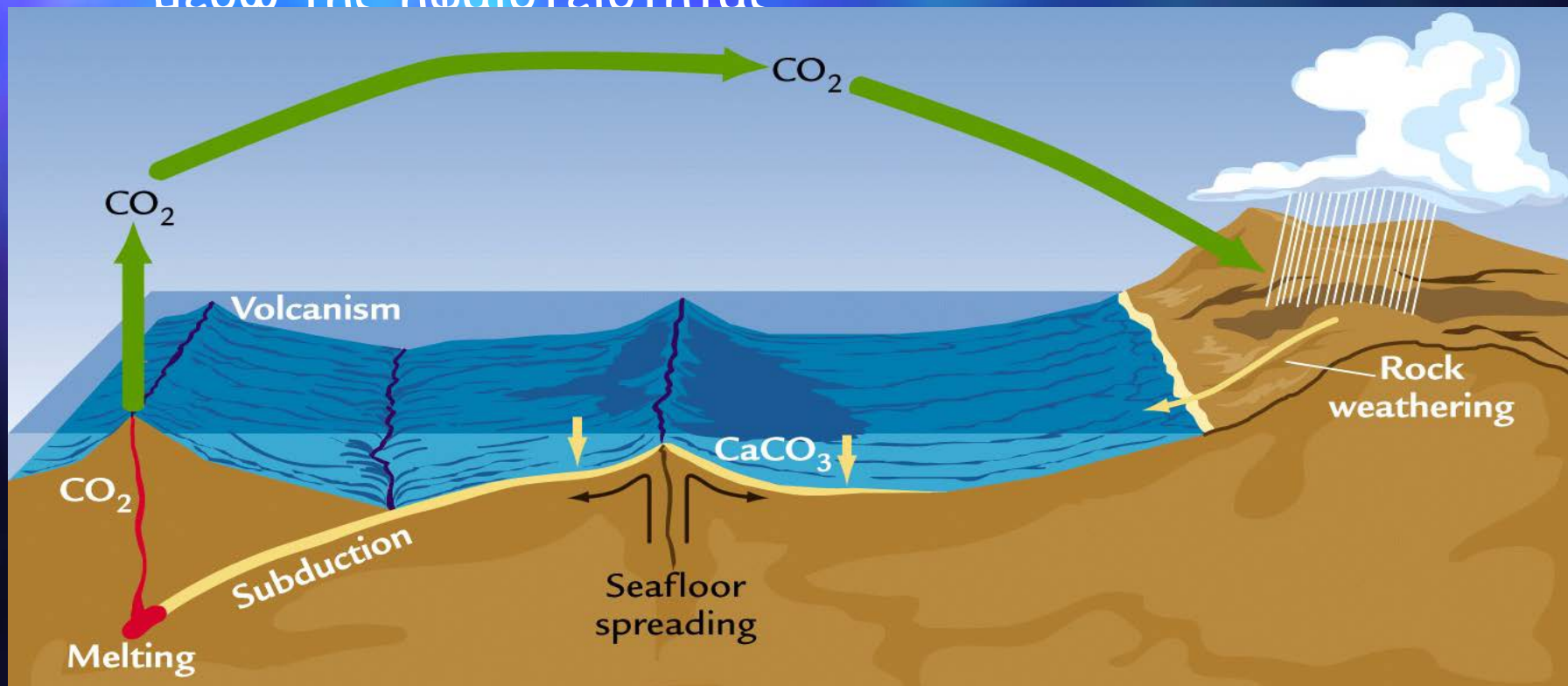
- Κινητήρια δύναμη - η δημιουργία νέου ωκεάνιου φλοιού
  - ◆ Το μοντέλο στηρίζεται στην συμβολή της χημικής αποσάθρωσης
  - ◆ Μεταφορά του C στους ωκεανούς
  - ◆ Ταφή του C στα ιζήματα
  - ◆ Επιστροφή του C από τον μανδύα μέσω της ηφαιστειότητας

Άρα συνδέεται και με την θεωρία των  
ΤΕΚΤΟΝΙΚΩΝ ΠΛΑΚΩΝ

# Ανακύκλωση του C

- Ο C ανακυκλώνεται συνεχώς μεταξύ των δεξαμενών του φλοιού και της ατμόσφαιρας

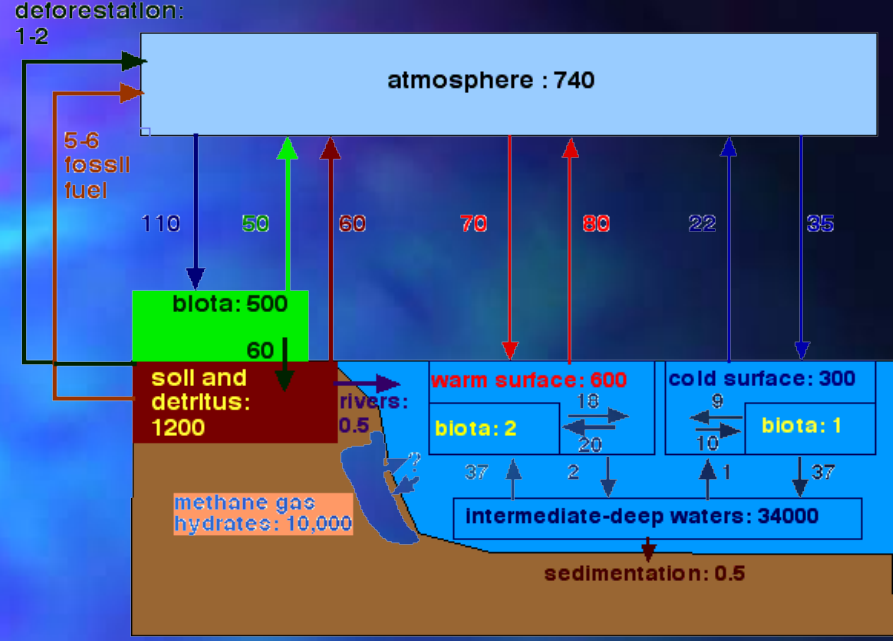
Το  $\text{CO}_2$  απομακρύνεται από την ατμόσφαιρα μέσω της χημικής αποσάθρωσης, αποτίθεται στα θαλάσσια ιζήματα μέσω του βιογενούς κόσμου με τη μορφή  $\text{CaCO}_3$ , υποβυθίζεται και τελικά επιστρέφει στην ατμόσφαιρα μέσω της ηφαιστειότητας





# ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΑΝΘΡΑΚΑ

| RESERVOIR           | SIZE (GtC) |
|---------------------|------------|
| Atmosphere          | 750        |
| Forests             | 610        |
| Soils               | 1580       |
| Surface Ocean       | 1020       |
| Deep Ocean          | 38,100     |
| <b>FOSSIL FUELS</b> |            |
| Coal                | 4,000      |
| Oil                 | 500        |
| Natural Gas         | 500        |
| Total Fossil Fuels  | 5000       |



carbon reservoirs:  $10^{15}$  gram  
carbon fluxes:  $10^{15}$  gram per year

| <u>CO<sub>2</sub> sources</u>                | <u>Flux (Gt C/yr)</u> |
|--|-----------------------|
| Fossil fuel combustion and cement production | 5.5 ± 0.5             |
| Tropical deforestation                       | 1.6 ± 1.0             |
| Total anthropogenic emissions                | 7.1 ± 1.1             |
| <u>CO<sub>2</sub> sinks</u>                  |                       |
| Storage in the atmosphere                    | 3.3 ± 0.2             |
| Uptake by the ocean                          | 2.0 ± 0.8             |
| Northern hemisphere forest regrowth          | 0.5 ±                 |

Ανθρωπογενείς επιδράσεις στο παγκόσμιο ποσό C

Source: Climate Change 1995, published by the IPCC

# Τι συμβαίνει εάν διαταράξουμε τα επίπεδα CO<sub>2</sub> ?

- Τι επίπτωση έχει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου?
- Ποιά η επίπτωση στη συνολική διατήρηση της ενέργειας του πλανήτη?

**TABLE 18.1 Rate of Increase and Relative Contribution of Several Gases to the Anthropogenic Greenhouse Effect**

|                  | Rate of Increase (% per year) | Relative Contribution (%) |
|------------------|-------------------------------|---------------------------|
| CO <sub>2</sub>  | 0.5                           | 60                        |
| CH <sub>4</sub>  | <1                            | 15                        |
| N <sub>2</sub> O | 0.2                           | 5                         |
| O <sub>3</sub> * | 0.5                           | 8                         |
| CFC-11           | 4                             | 4                         |
| CFC-12           | 4                             | 8                         |

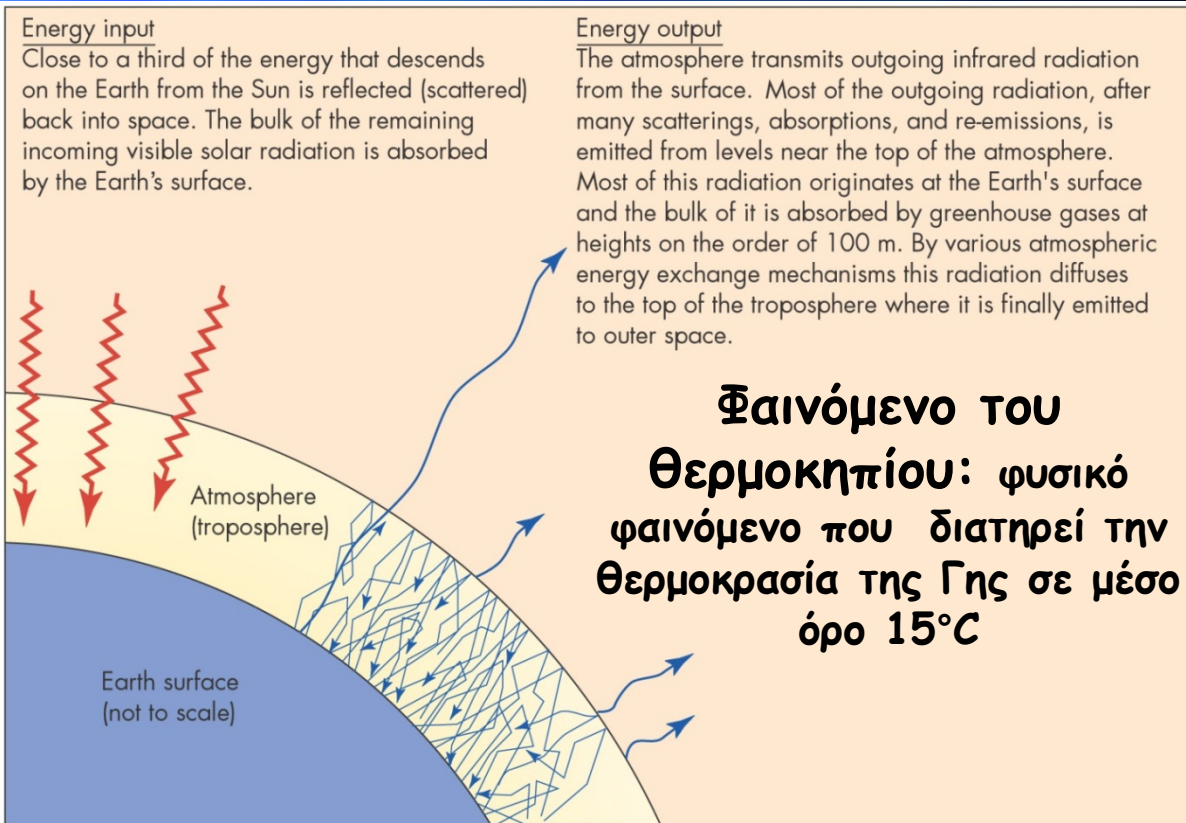
Data from Rodhe, H. 1990. A comparison of the contribution of various gases to the greenhouse effect. *Science* 248:1218, table 2. Copyright 1990 by the AAAS. \*In the troposphere.

Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.

Η θερμότητα παγιδεύεται φυσικά από το H<sub>2</sub>O

Ανθρωπογενή αέρια θερμοκηπίου:

CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, O<sub>3</sub>, CFCs



Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.

# Αέρια Θερμοκηπίου

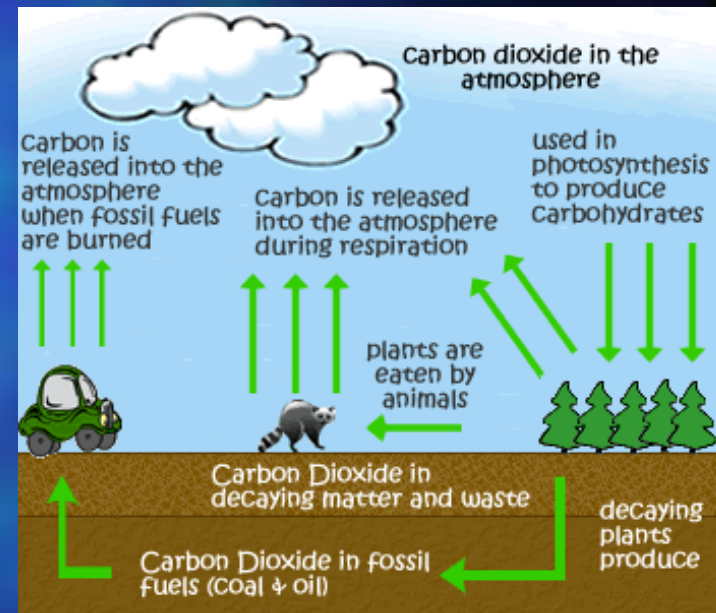
## ■ Χρόνος ζωής

- ◆ **CH<sub>4</sub>: 12 χρόνια** στην ατμόσφαιρα (πηγή - βακτήρια από καλλιέργειες και κτηνοτροφία)
- ◆ **N<sub>2</sub>O, CFCs: > 100 χρόνια** (πηγή- λιπάσματα, φρέον)

↓ Παρουσία με ↓ χρήση

⇒ ισορρόπηση

- ◆ **CO<sub>2</sub> : δεκάδες έως χιλιάδες** χρόνια (πηγή - καύση ορυκτών πρώτων υλών, αποψίλωση, ενέργεια ανά άτομο),  
↑ πληθυσμού  
↑ CO<sub>2</sub>!



Φυσική προέλευση του CO<sub>2</sub> είναι μέσω της ηφαιστειότητας αλλά αυτή αφορά γεωλογικές χρονικές κλίμακες...

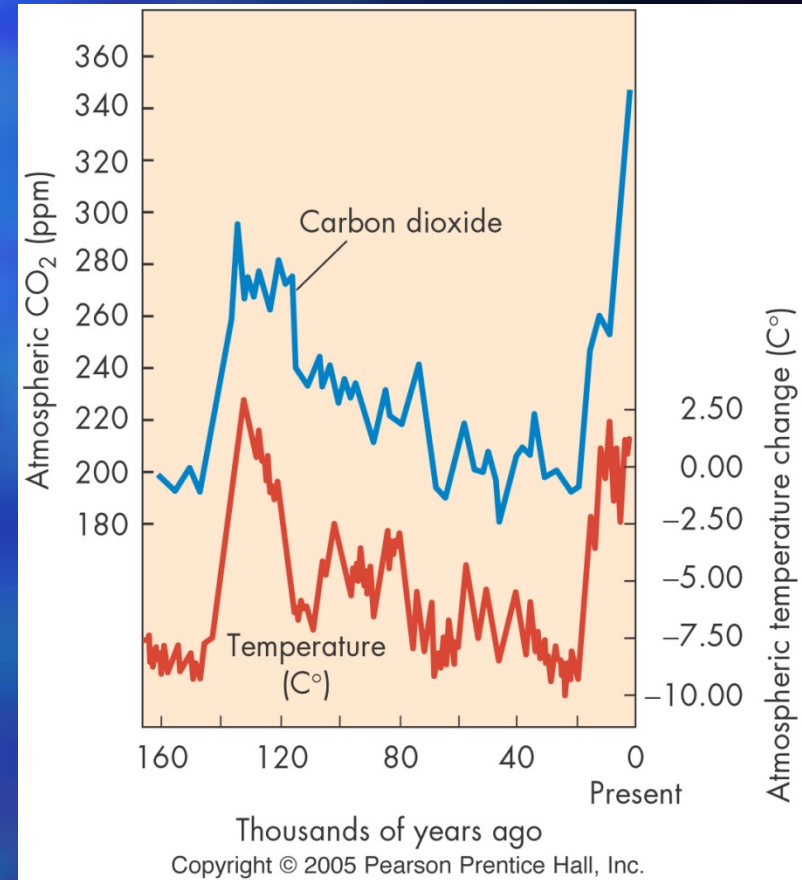
# Η μεταβολή CO<sub>2</sub>

■ σε θετική συσχέτιση με την μεταβολή θερμοκρασίας

Η πρόβλεψη των ατμοσφαιρικών επιπέδων CO<sub>2</sub> και κλίματος απαιτεί κατανόηση του ΠΟΥ αποθηκεύεται και ΠΩΣ μετακινείται



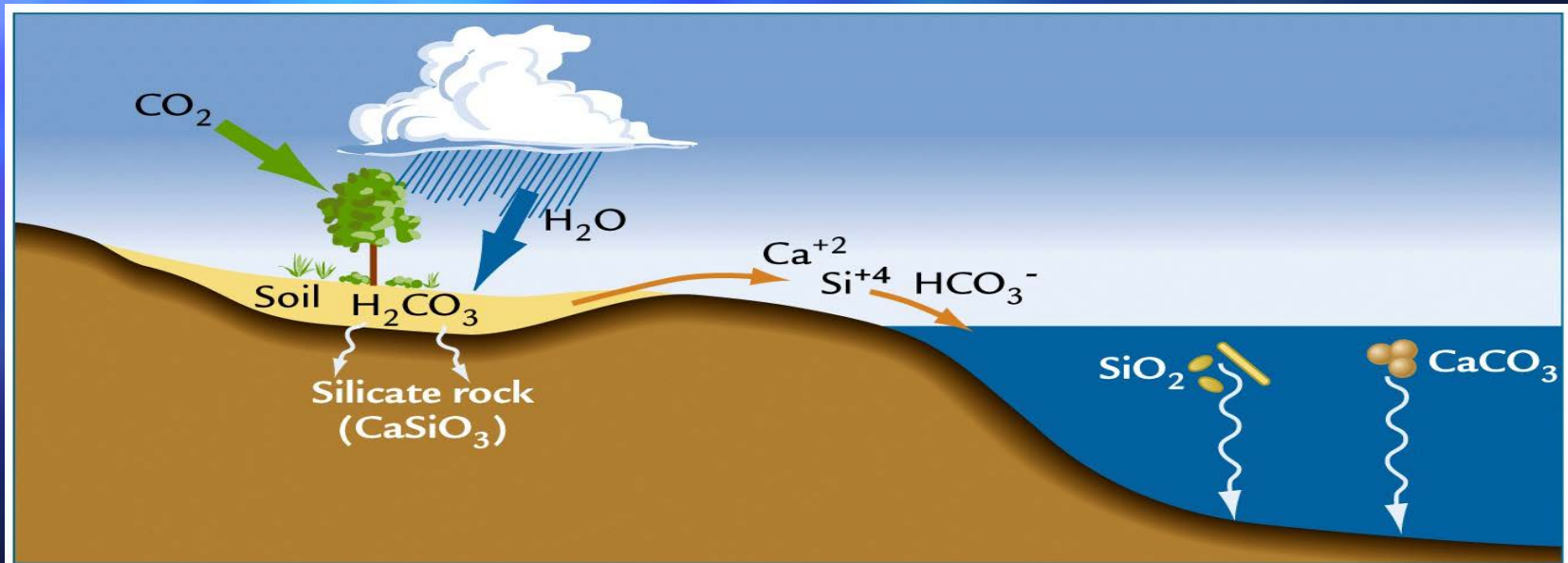
• **Κύκλος του C**  
σημαντική συνιστώσα του **Γήινου θερμοστάτη**



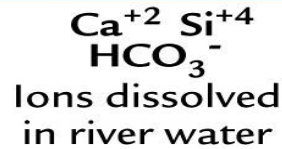
# Πως λειτουργεί ο γήινος θερμοστάτης?

- ενεργοποιώντας **negative feedback loops** = διαδικασία κατά την οποία το αποτέλεσμα μιας δράσης αντιδρά έτσι ώστε να εξουδετερώσει την αρχική δράση = κύκλωμα **αρνητικής ανάδρασης**

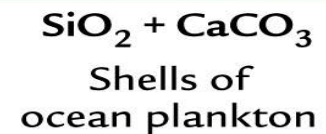
Παράδειγμα: **αποσάθρωση**



Weathering on land

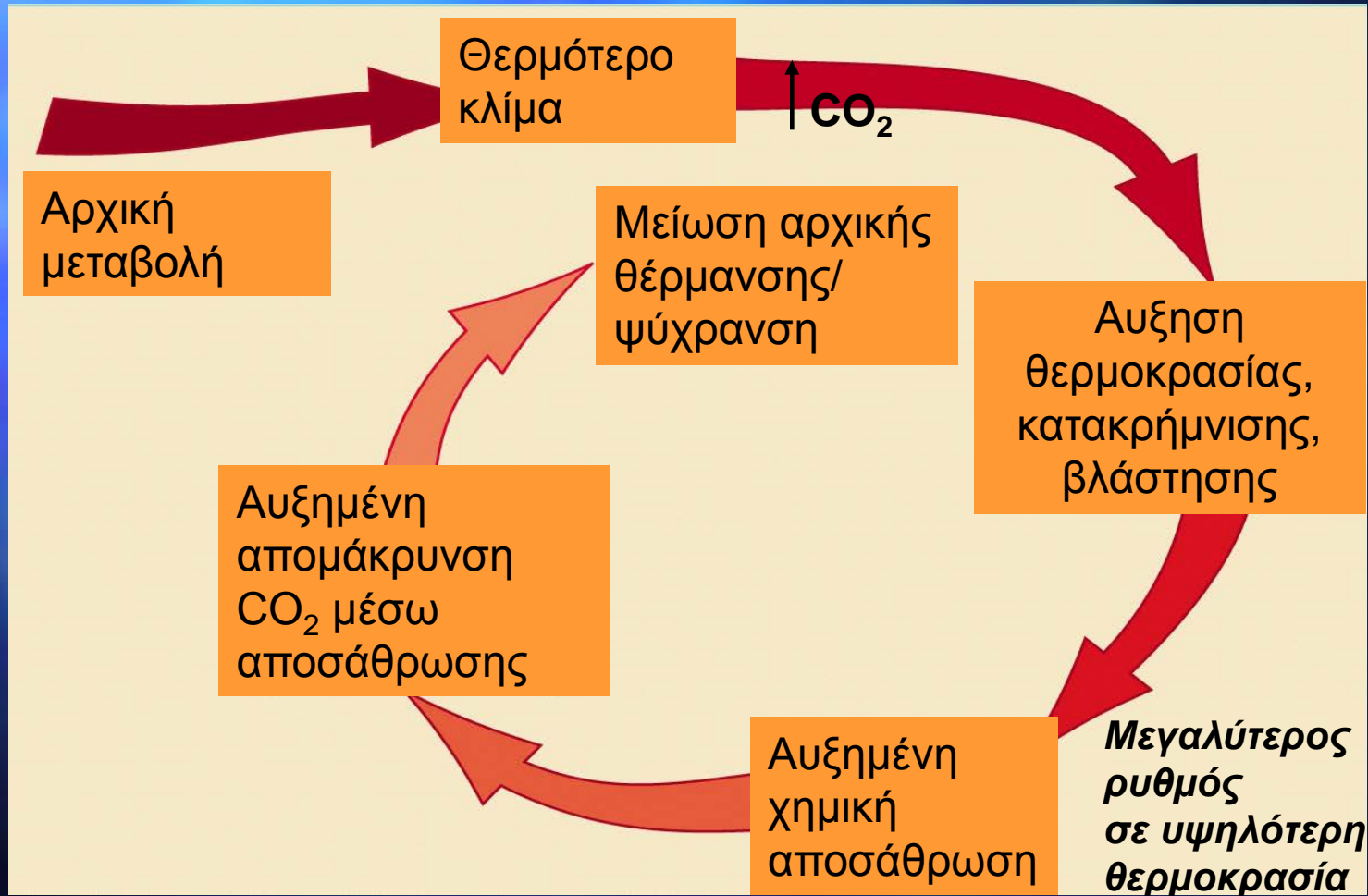


Transport in rivers

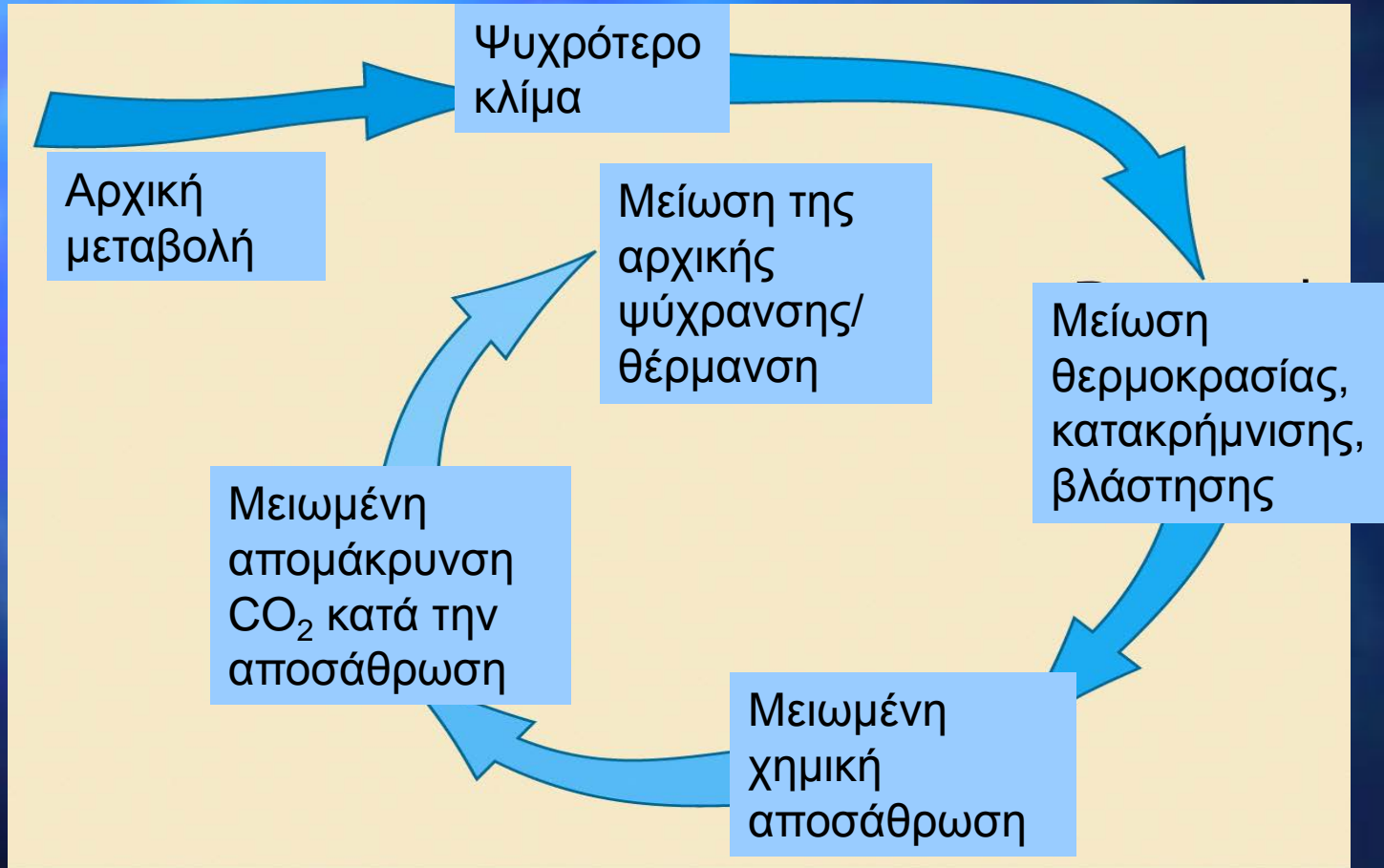


Deposition in ocean

# Η αποσάθρωση λειτουργώντας ως αρνητική ανάδραση (negative feedback) στην θέρμανση του κλίματος



# Η αποσάθρωση ως αρνητική ανάδραση στην ψύχρανση του κλίματος



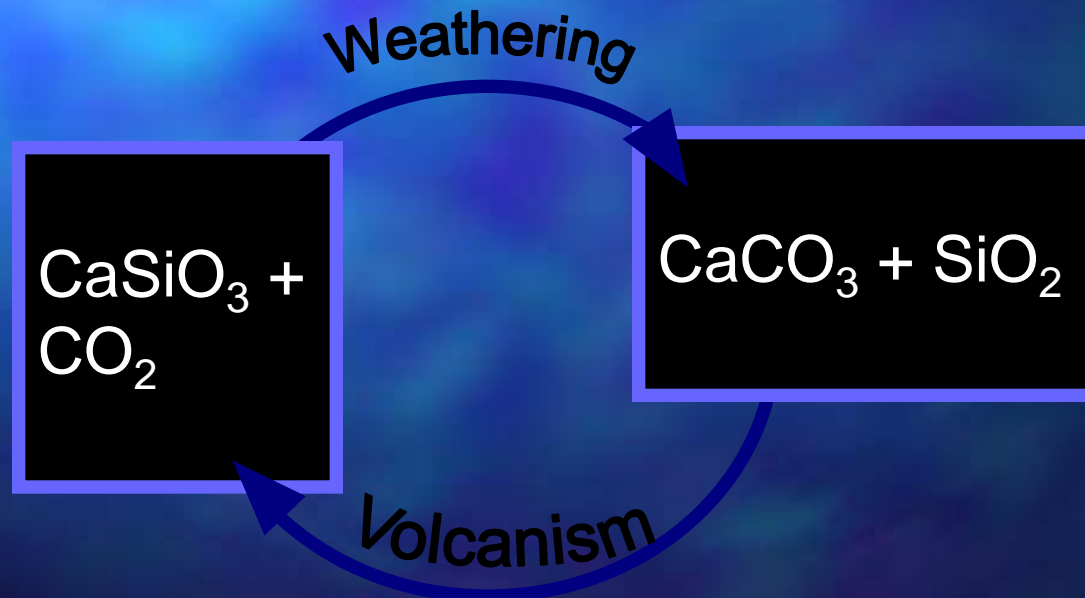
# προβληματισμοί

- Οι διαδικασίες τεκτονικής ανύψωσης, δημιουργίας και εμφάνισης φλοιού (θεωρία τεκτονικών πλακών) είναι συνδεδεμένες με ηφαιστειακές εκπομπές  $CO_2$  και κατ' επέκταση με κλιματικές μεταβολές
  - ◆ Αυτές οι διαδικασίες είναι σημαντικοί παράγοντες επηρεασμού των παγκόσμιων βιογεωχημικών κύκλων. Κάθε μια από αυτές ίσως πιο σημαντική σε διαφορετικές περιστάσεις και περιόδους
  - ◆ Καμία όμως δεν ενσωματώνει **βιολογικές επιδράσεις**
    - ◆ Η Ζωή διαδραματίζει ενεργούς ρόλους στις βιογεωχημικές διαδικασίες.



# Μπορεί ο κύκλος της αποσάθρωσης να ερμηνεύσει τις εναλλαγές θερμών/ψυχρών περιόδων ?

- Ο κύκλος της αποσάθρωσης είναι **πολύ αργός**, της τάξης των εκατομμυρίων χρόνων
- Οι εναλλαγές θερμών/ψυχρών περιόδων (π.χ. του Τεταρτογενούς) συμβαίνουν σε λίγες χιλιάδες χρόνια



# Βιολογική αντλία ως μηχανισμός αντίδρασης στην αλλαγή του κλίματος για μικρότερης διάρκειας χρονικά εύρη (από αυτά της αποσάθρωσης)

- Βιολογική αντλία = κύκλος του άνθρακα στο ωκεάνιο περιβάλλον

Ουσιαστικά μεταφέρει το  $CO_2$  από την ατμόσφαιρα-ωκεανό στα βαθιά ύδατα μέσω της φωτοσύνθεσης των οργανισμών όταν αυτά διαθέτουν τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά.

Τα κρύα νερά διατηρούν περισσότερο διαλυμένο  $CO_2$  από ότι τα θερμά νερά και στην συνέχεια διοχετεύονται σε μεγαλύτερα βάθη μέσω κατακόρυφης ανάμιξης.



# Πόσο σημαντική είναι η βιολογική αντλία ?

- Πολύ σημαντική.

- ◆ Η διακοπή της θα μπορούσε να αυξήσει το  $CO_2$  της ατμόσφαιρας σε περίπου 550 ppm (σε σχέση με τα σημερινά 360 ppm).
- ◆ Εάν πάλι λειτουργούσε στην μέγιστη δυνατή ισχύ (εάν δηλ. χρησιμοποιούσε όλα τα διαθέσιμα θρεπτικά συστατικά) το  $CO_2$  θα έπεφτε στα περίπου 140 ppm.

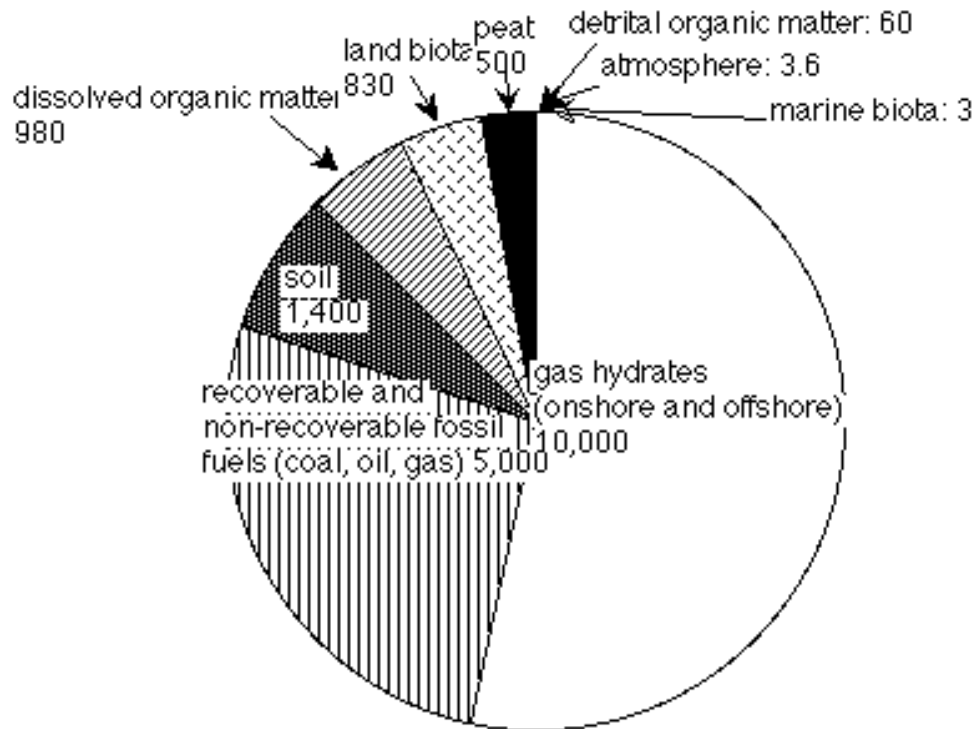
Άρα, η αλλαγή της συνολικής συγκέντρωσης θρεπτικών συστατικών στον ωκεανό επηρεάζει άμεσα τον κύκλο του άνθρακα και άρα την θερμοκρασιακή ισορροπία της γης.

# Αποθήκες οργανικού άνθρακα

Πιο σημαντικές:

Ορυκτές καύσιμες ύλες

**Υδρίτες μεθανίου** ! Πάνω από το μισό ποσοστό



units are Gigatons carbon; plotted is organic carbon  
not plotted: dispersed organic carbon (kerogen, bitumen) - would be three orders of magnitude