



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών

Χημεία Περιβάλλοντος

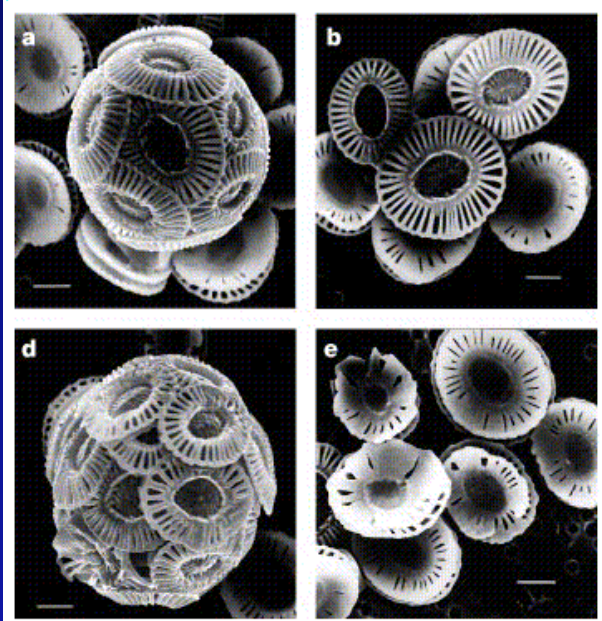
Ενότητα 2: Ρύπανση Υδάτων

Εμμανουήλ Δασενάκης

Σχολή Θετικών Επιστημών

Τμήμα Χημείας

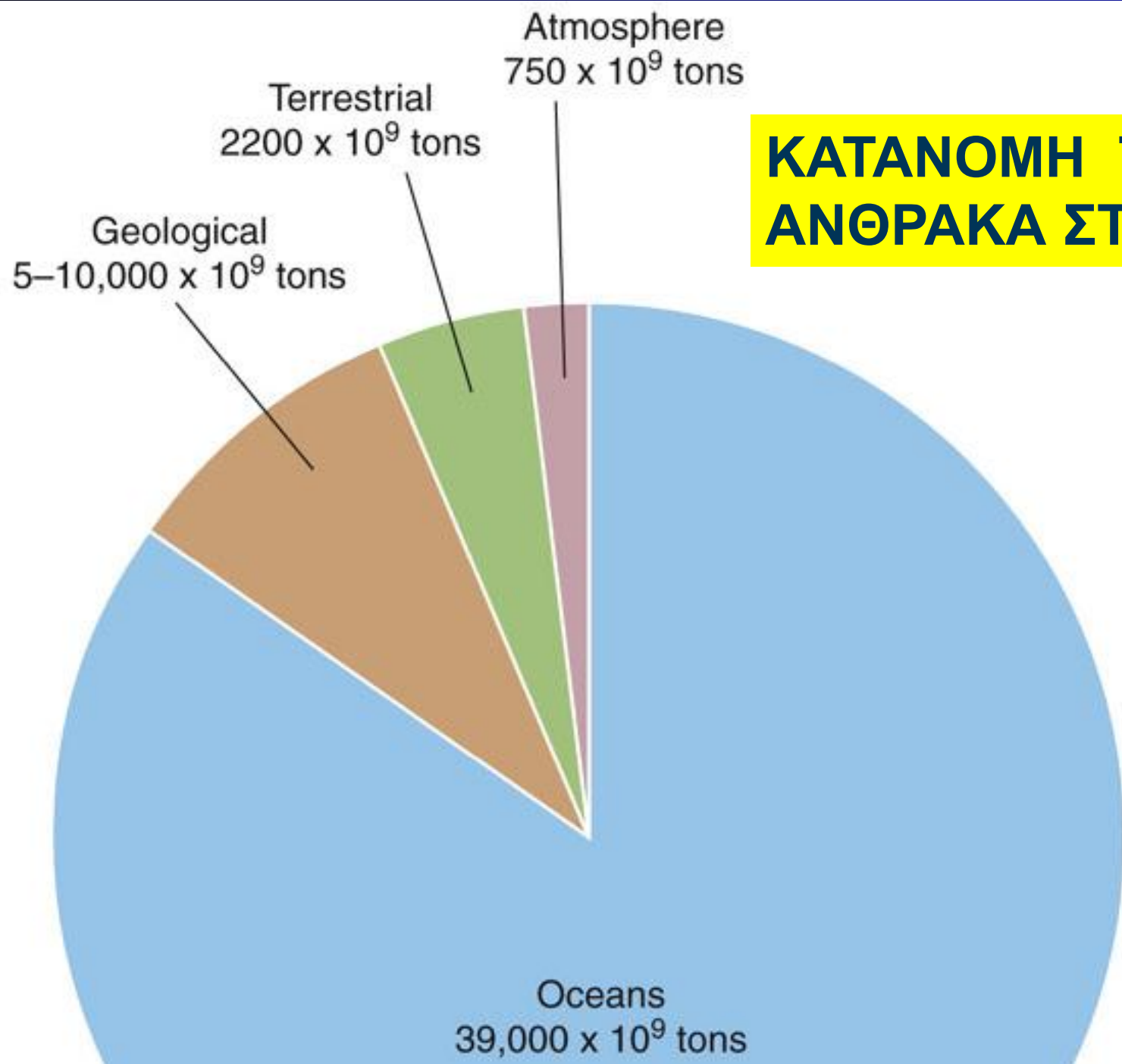
Εργαστήριο Χημείας Περιβάλλοντος

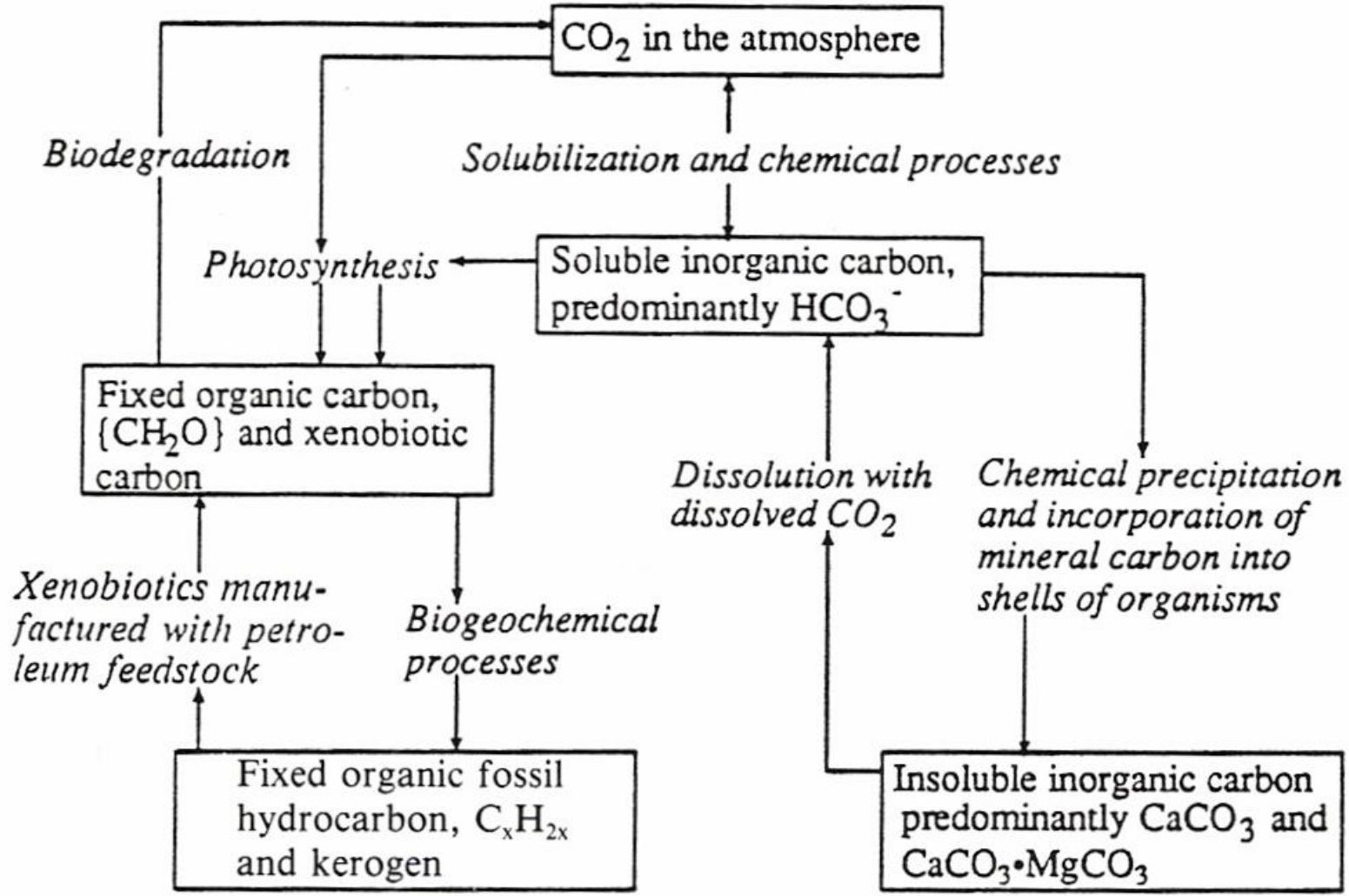


Ο ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ



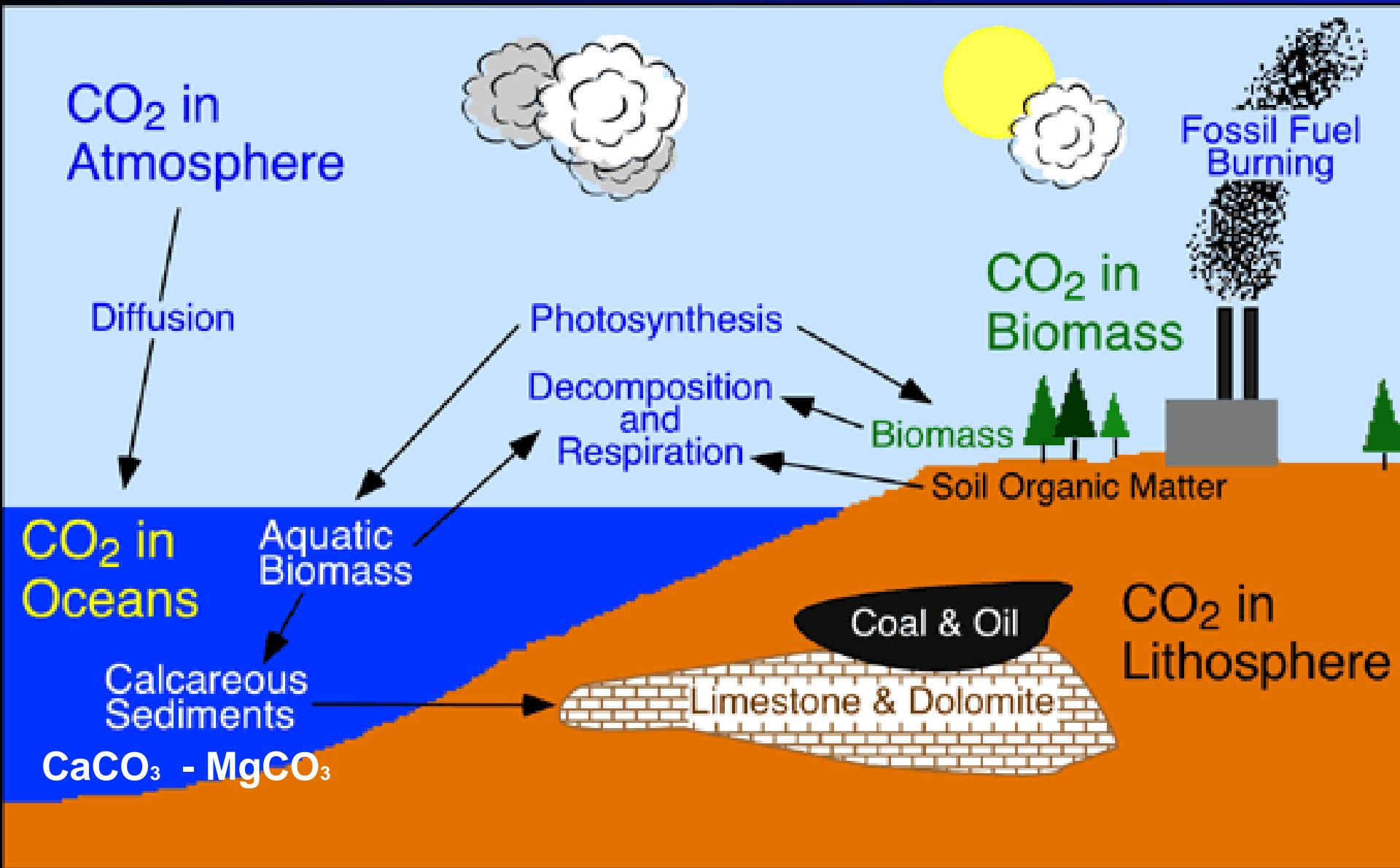
ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΣΤΗ ΓΗ



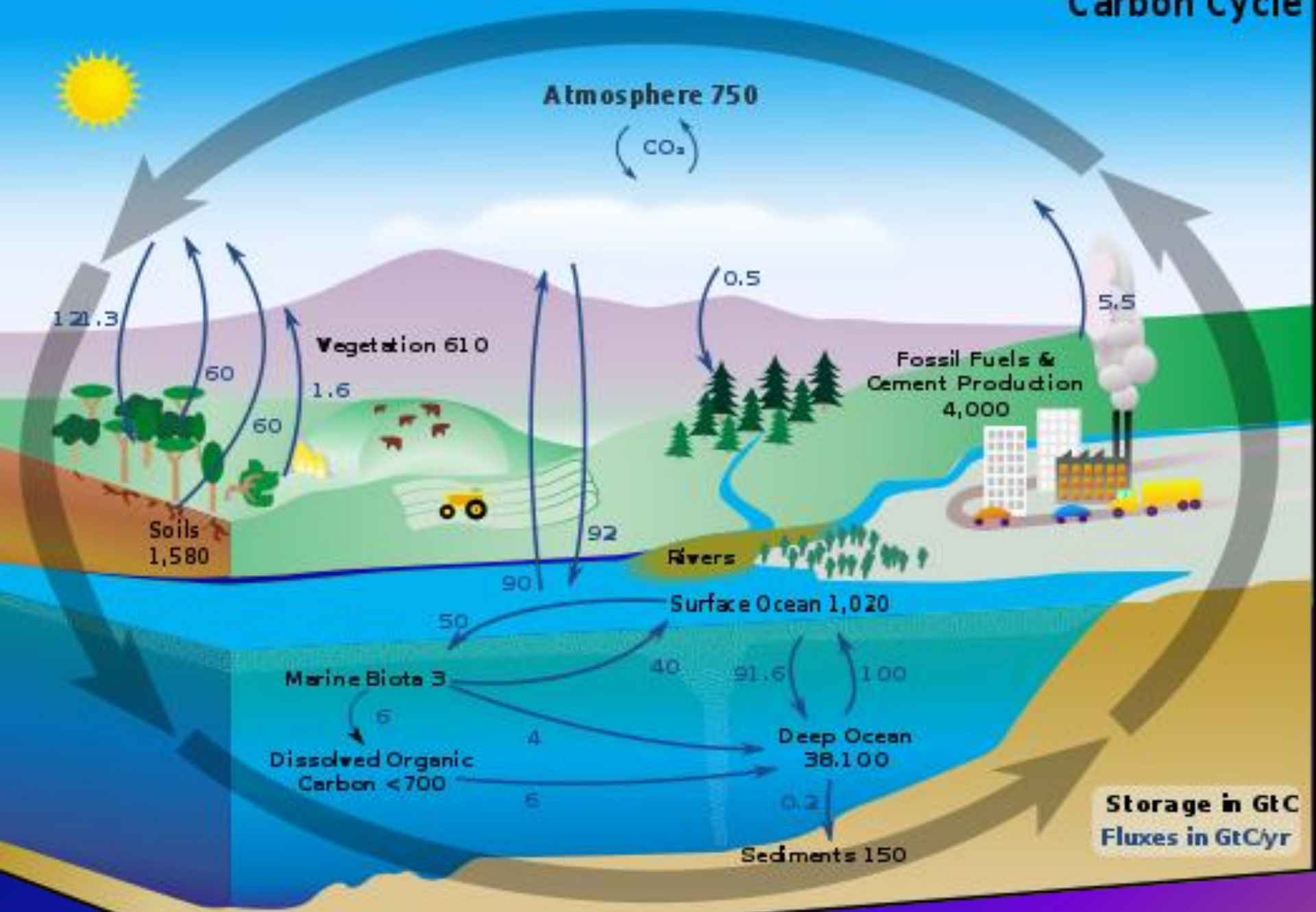


The carbon cycle. Mineral carbon is held in a reservoir of limestone, CaCO₃, from which it may be leached into a mineral solution as dissolved hydrogen carbonate ion, HCO₃⁻ formed when dissolved CO₂(aq) reacts with CaCO₃. In the atmosphere carbon is present as carbon dioxide, CO₂. Atmospheric carbon dioxide is fixed as organic matter by photosynthesis, and organic carbon is released as CO₂ by microbial decay of organic matter.

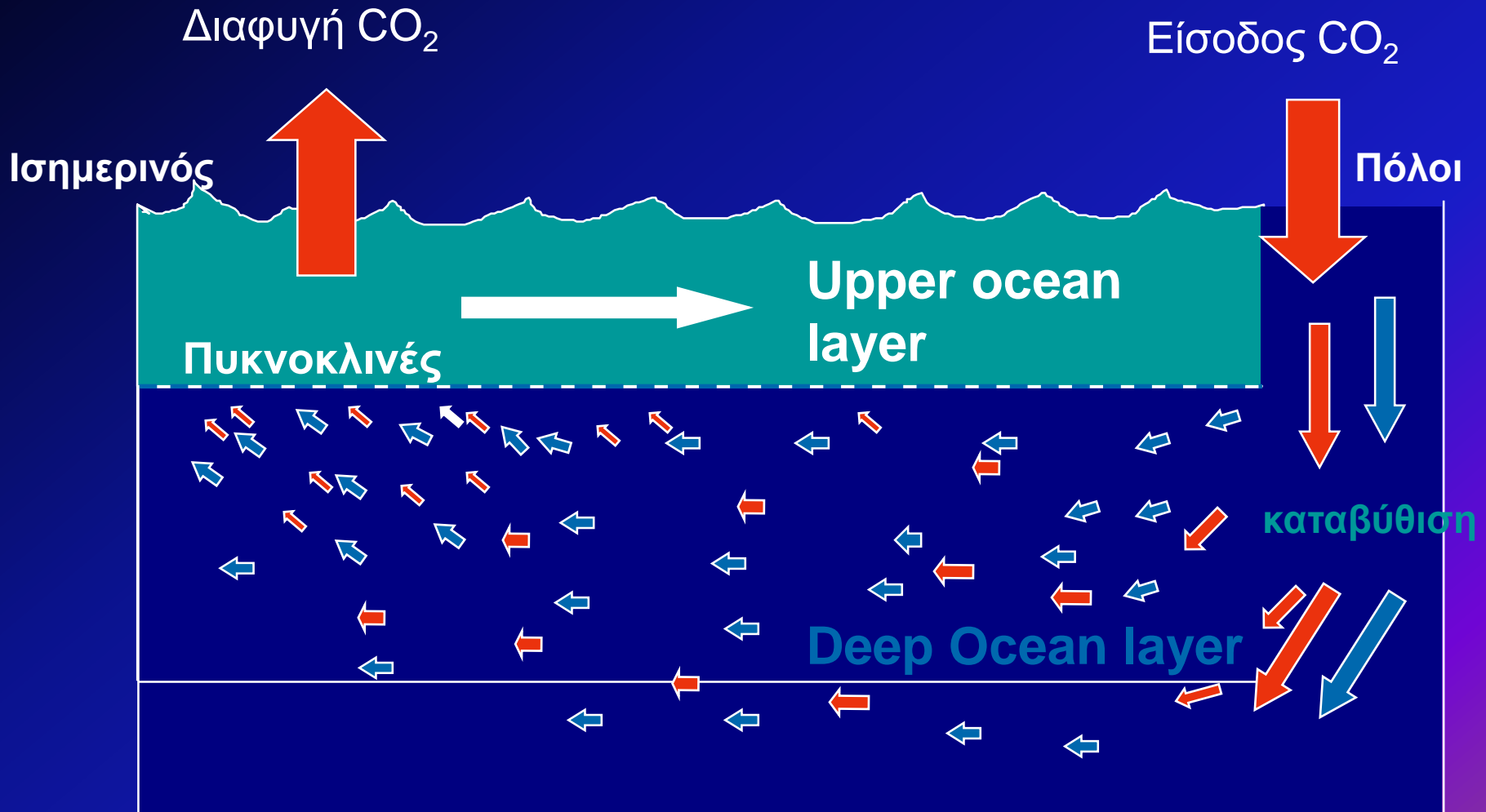
ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ



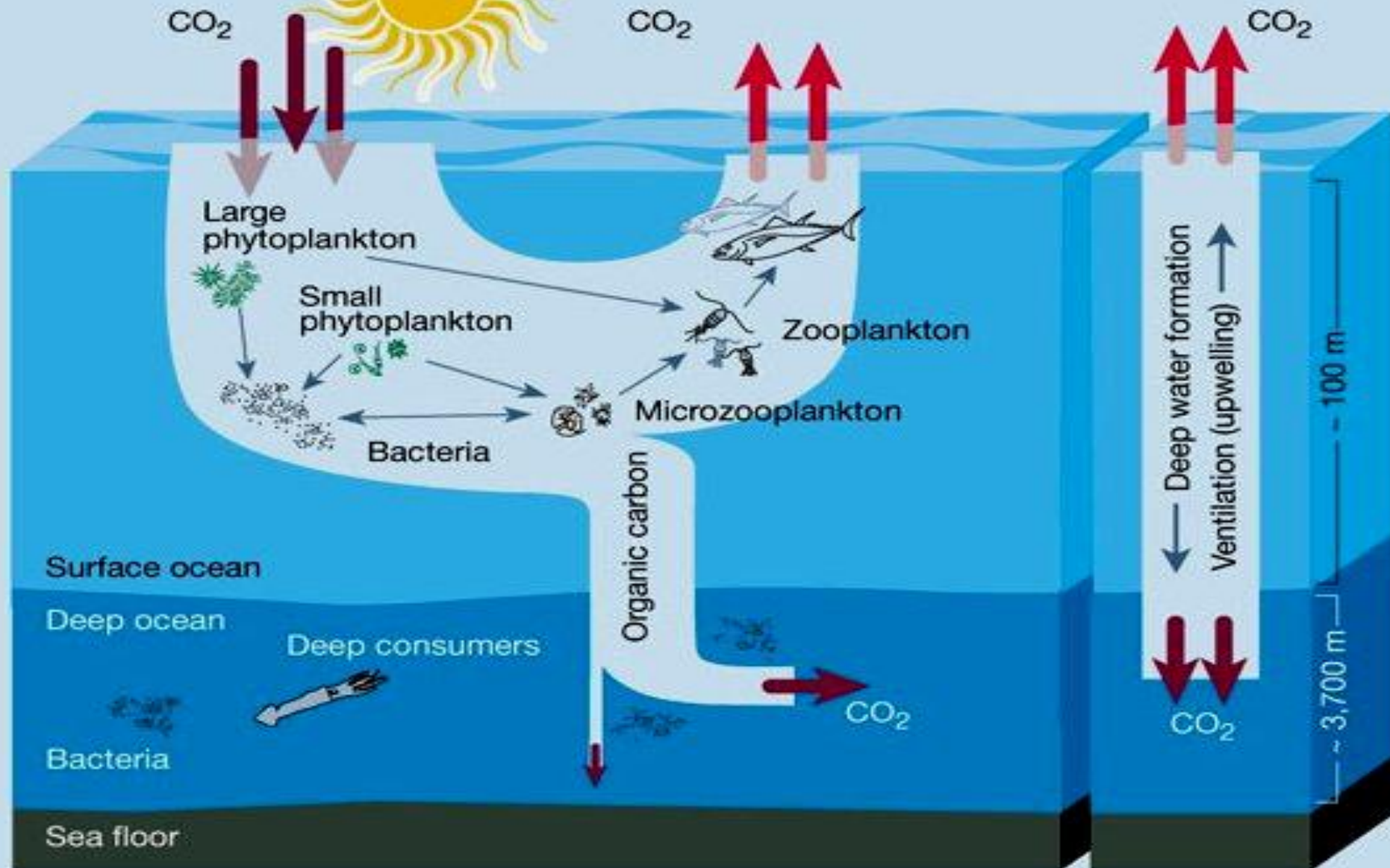
Carbon Cycle



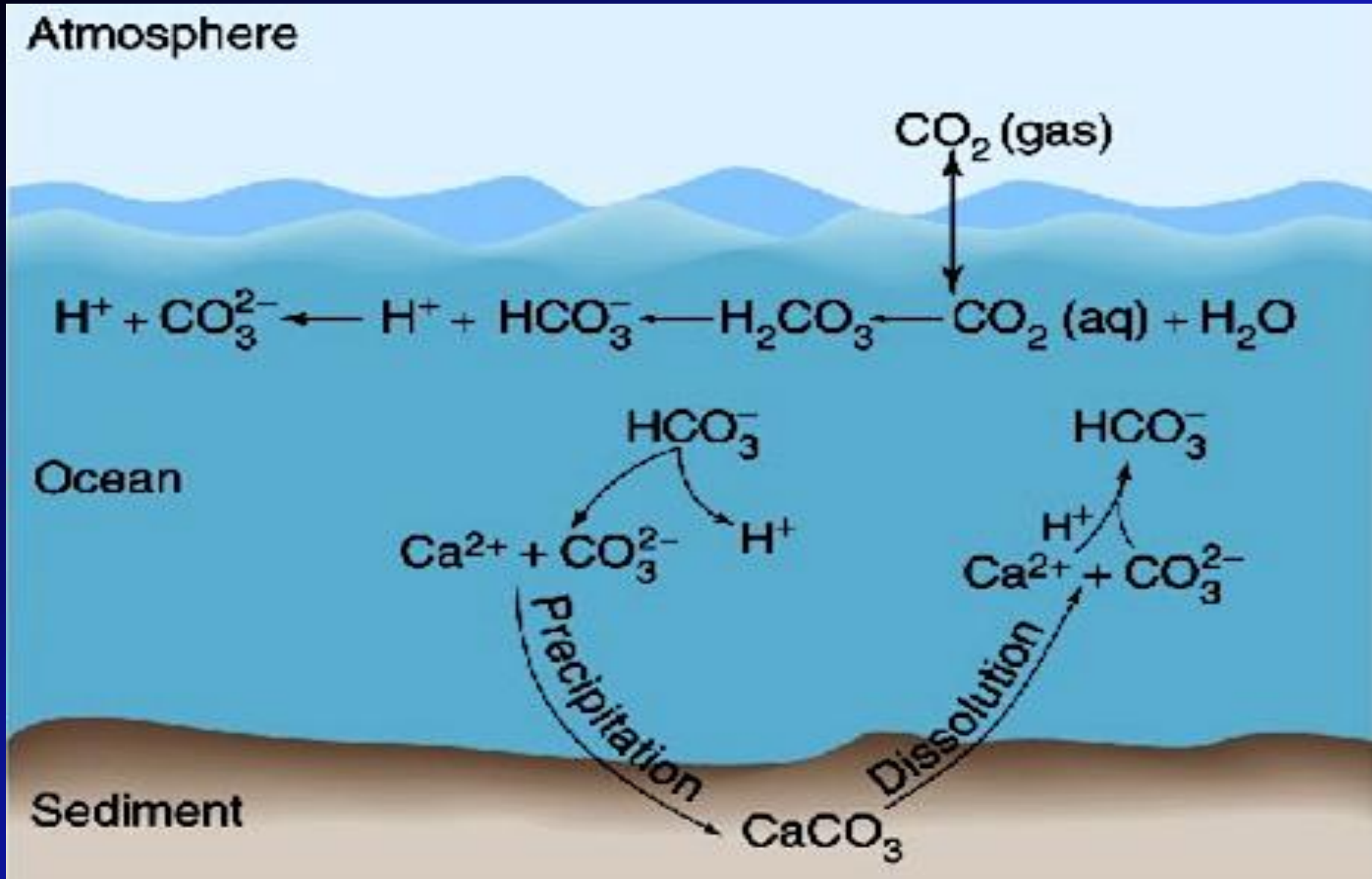
Φυσική αντλία - αντλία διαλυτότητας

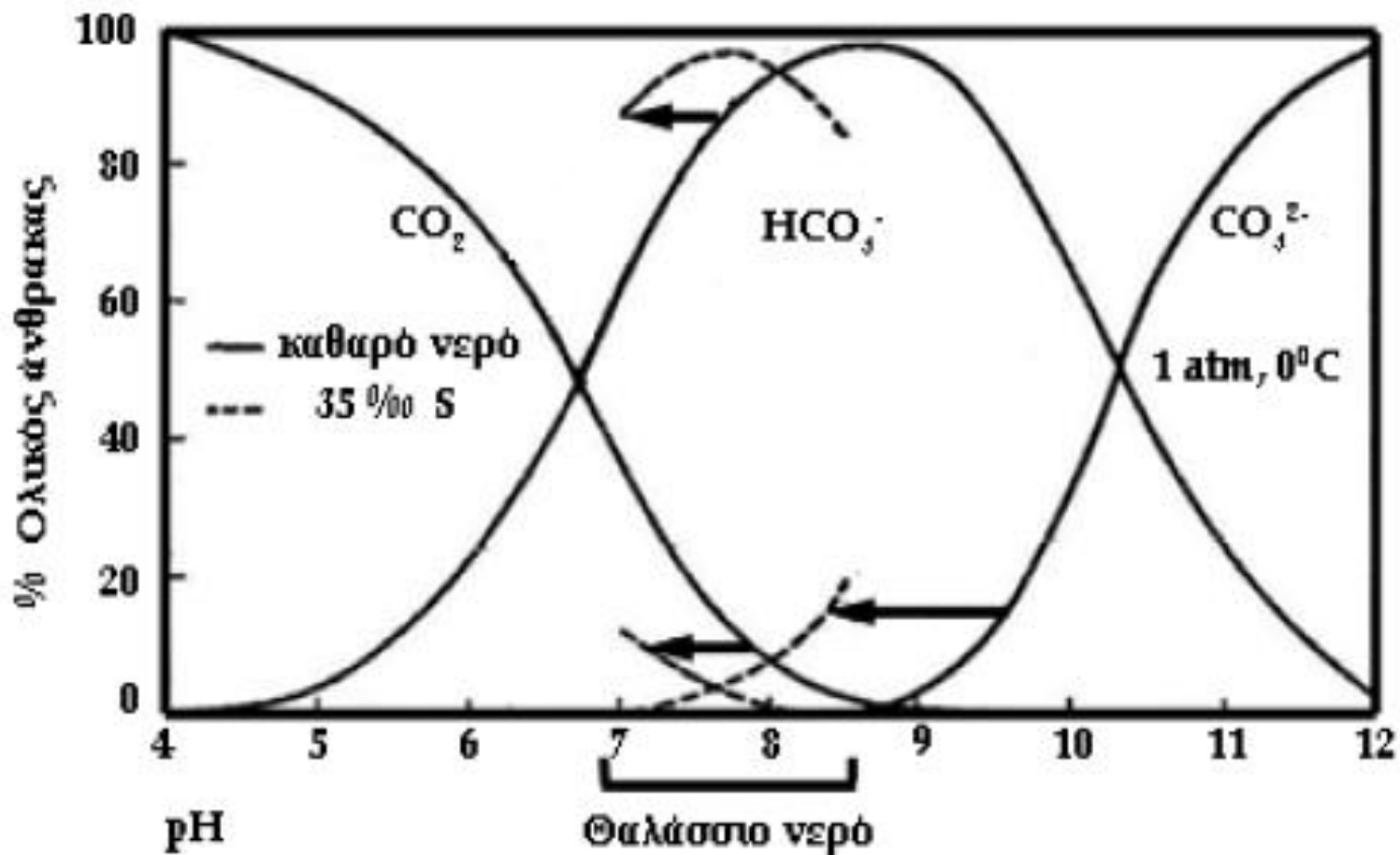


Η βιολογική αντλία

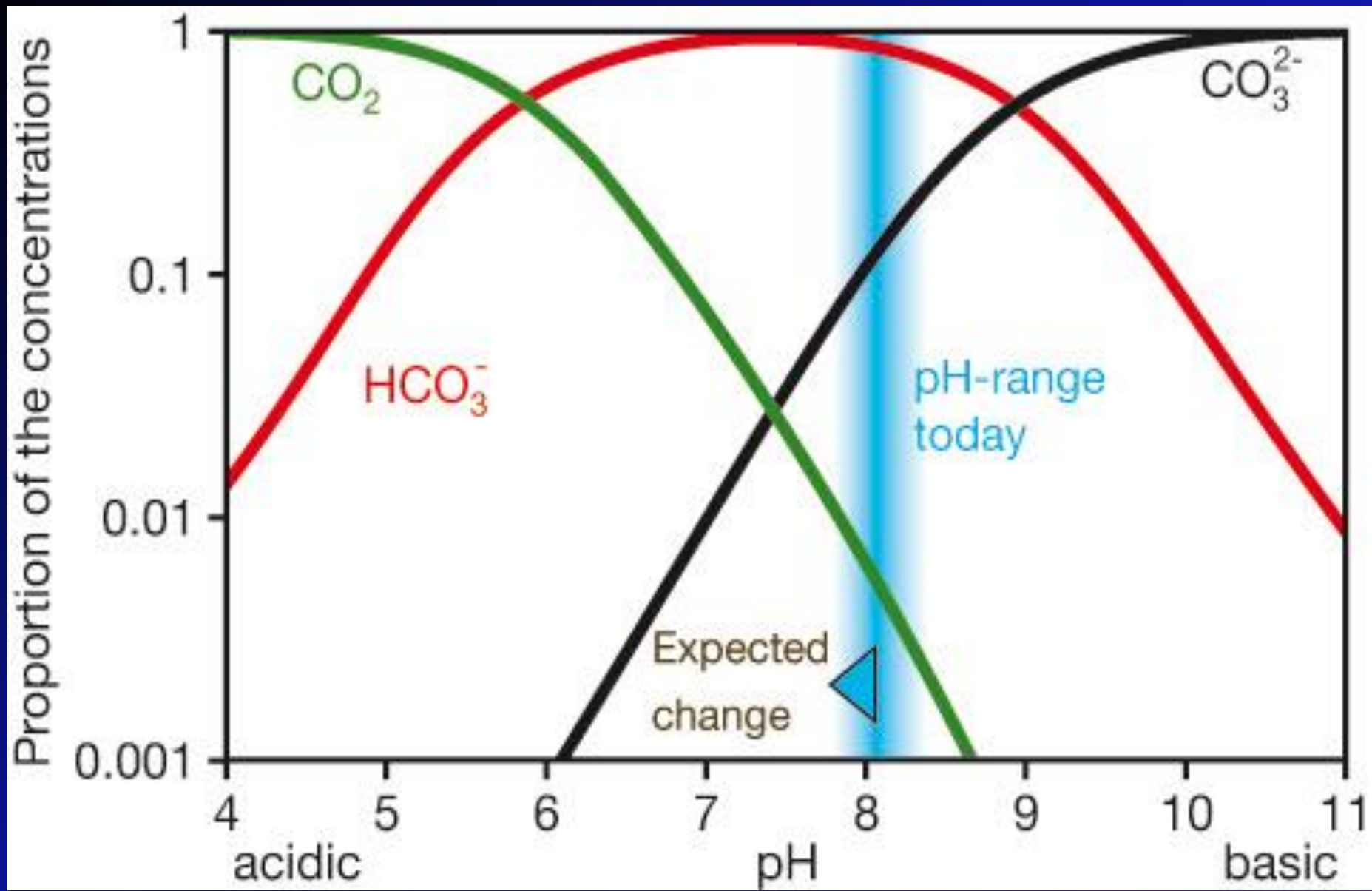


ΙΣΟΡΟΠΙΕΣ ΑΝΟΡΓΑΝΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ





Κατανομή του συστήματος $\text{CO}_2\text{-HCO}_3^-\text{-CO}_3^{2-}$ από καθαρό και θαλάσσιο νερό σε πίεση 1atm, συναρτήσει του pH



ΙΣΟΡΡΟΠΙΕΣ ΑΝΘΡΑΚΙΚΩΝ ΙΟΝΤΩΝ

$$K_{a1} = \frac{[H^+][HCO_3^-]}{[CO_2]} = 4.45 \times 10^{-7}$$

the acid dissociation constant of HCO_3^- :

$$K_{a2} = \frac{[H^+][CO_3^{2-}]}{[HCO_3^-]} = 4.69 \times 10^{-11}$$

and the solubility product of calcium carbonate (calcite):

$$K_{sp} = [Ca^{2+}][CO_3^{2-}] = 4.47 \times 10^{-9}$$

The reaction between calcium carbonate and dissolved CO_2 is

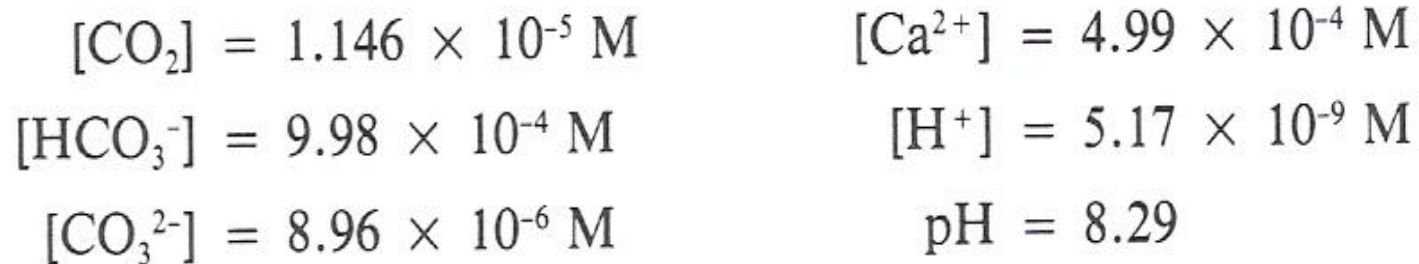


for which the equilibrium expression is the following:

$$K' = \frac{[Ca^{2+}][HCO_3^-]^2}{[CO_2]} = \frac{K_{sp}K_{a1}}{K_{a2}} = 4.24 \times 10^{-5}$$



To summarize, for water in equilibrium with solid calcium carbonate and atmospheric CO_2 , the following concentrations are calculated:



**Συνήθως το ΣCO_2 στον ωκεανό επιμερίζεται σε:
~1% dCO_2 + 88% HCO_3^- + 11% CO_3^{2-}**

Μερικές διεργασίες που επηρεάζουν τις ισορροπίες των ανθρακικών

A. Κατακρήμνιση ή διάλυση του CaCO_3



B. Βακτηριδιακή θειική αναγωγή και σχηματισμός CO_2

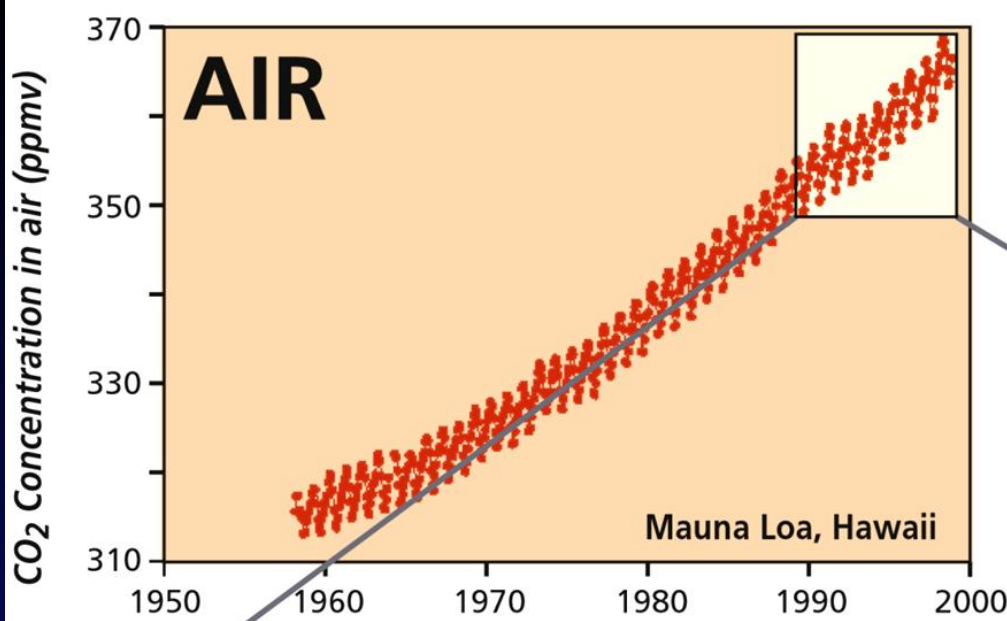


Γ. Βακτηριδιακός σχηματισμός αμμωνίας και CO_2

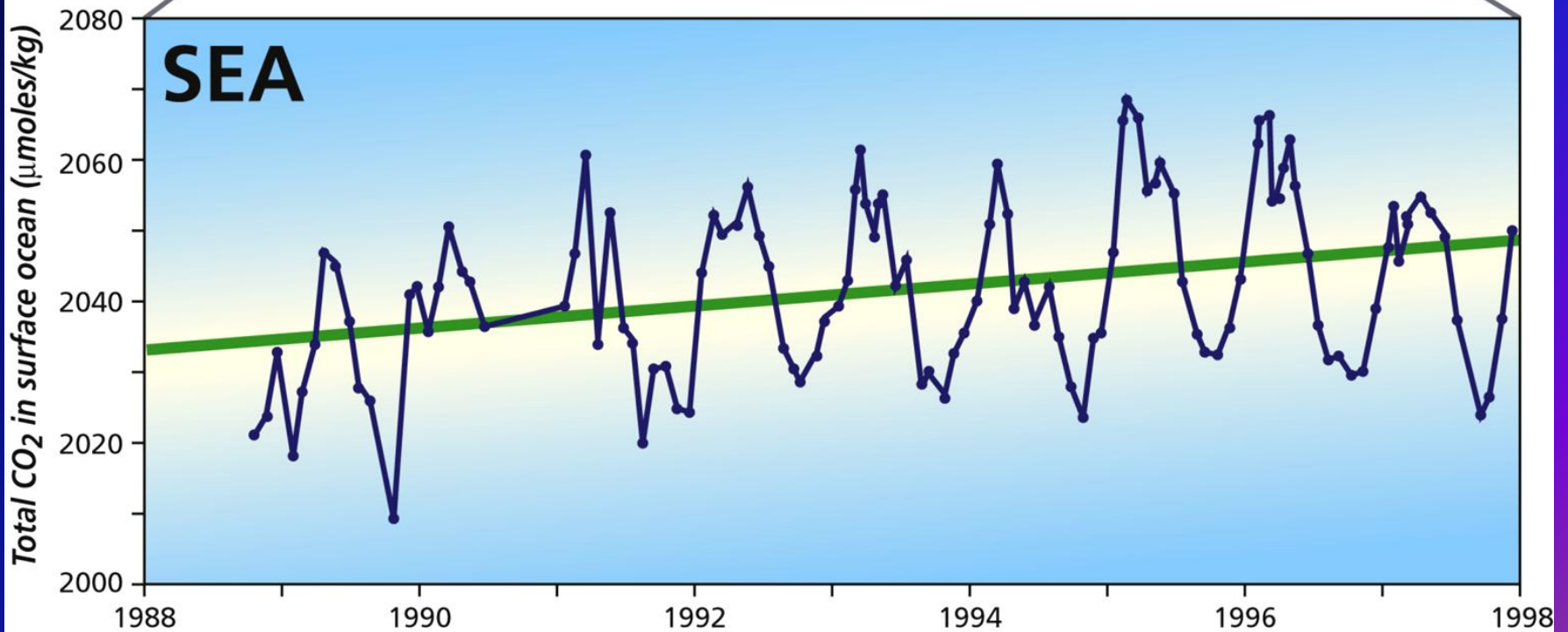


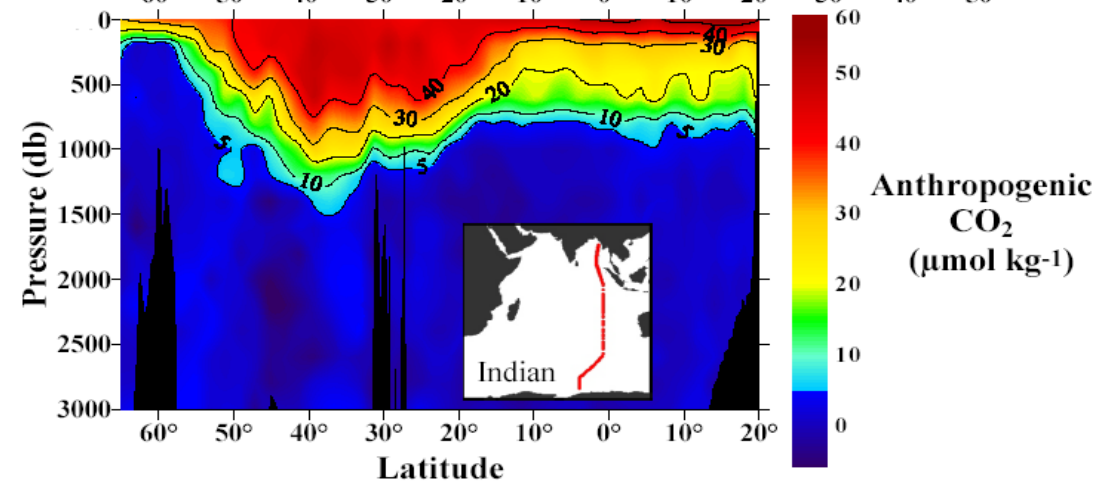
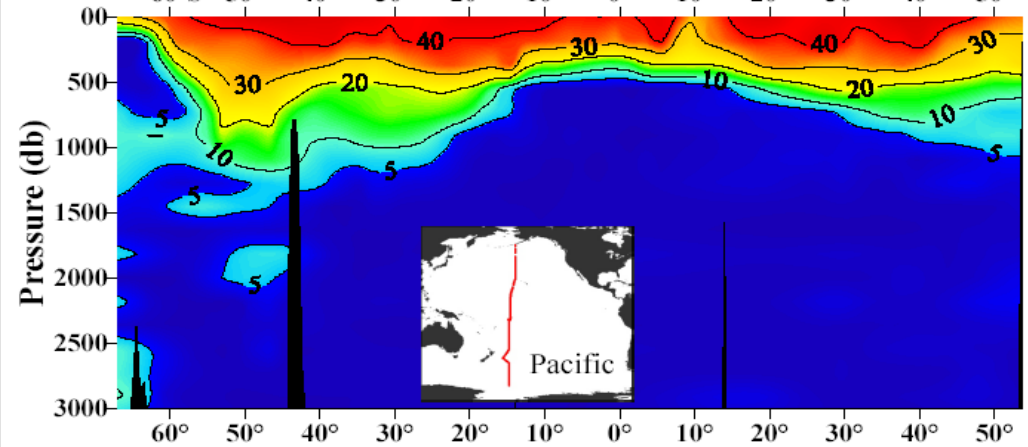
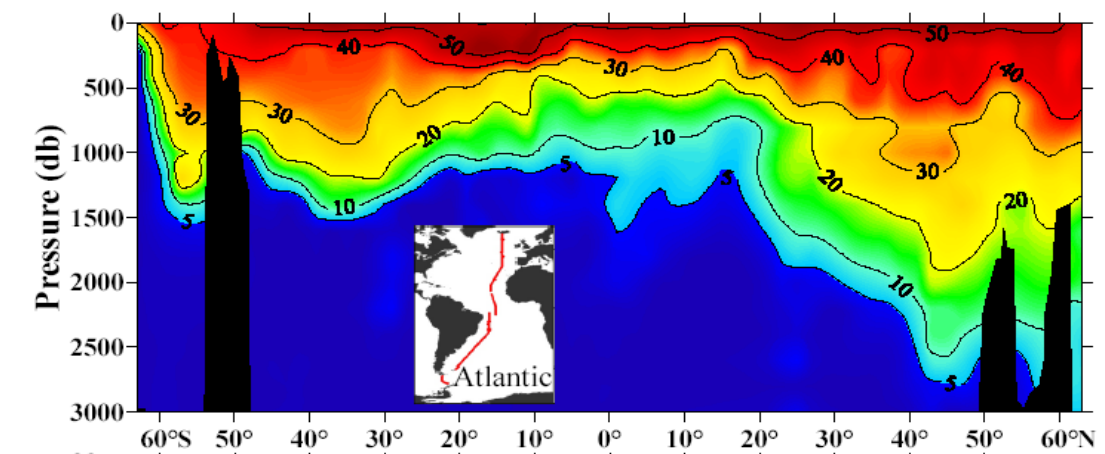
Δ. Αυθυγενής σχηματισμός πυριτικών





**το CO₂ αυξάνεται
τόσο στην
ατμόσφαιρα όσο
και στον ωκεανό.**

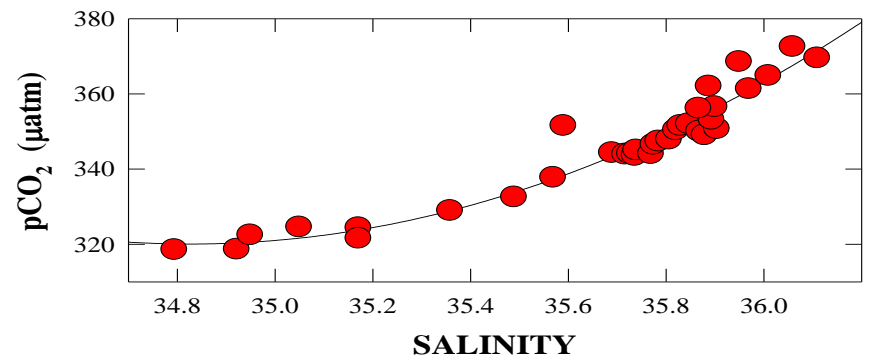
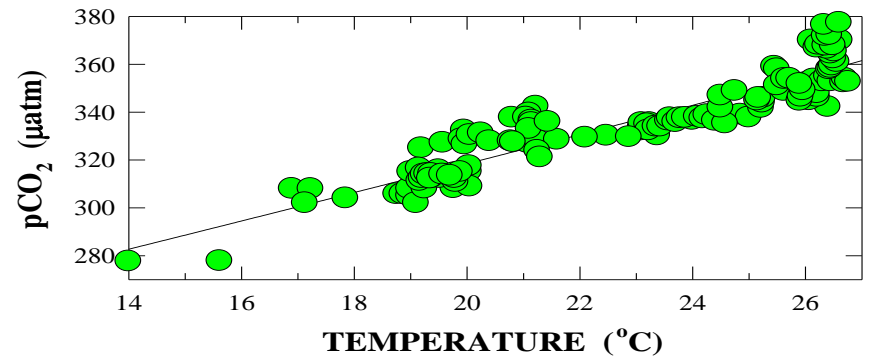
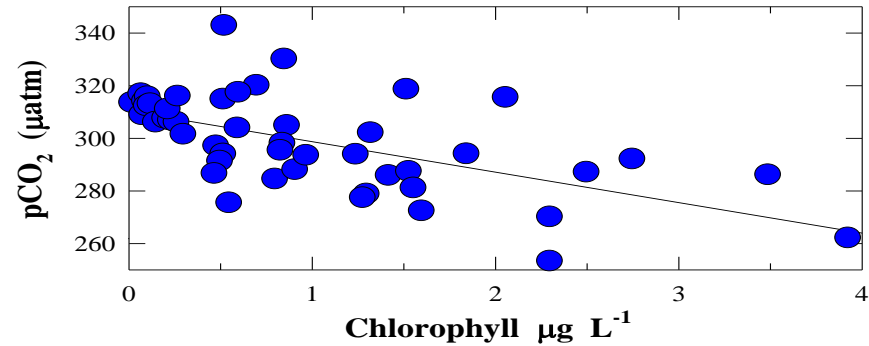




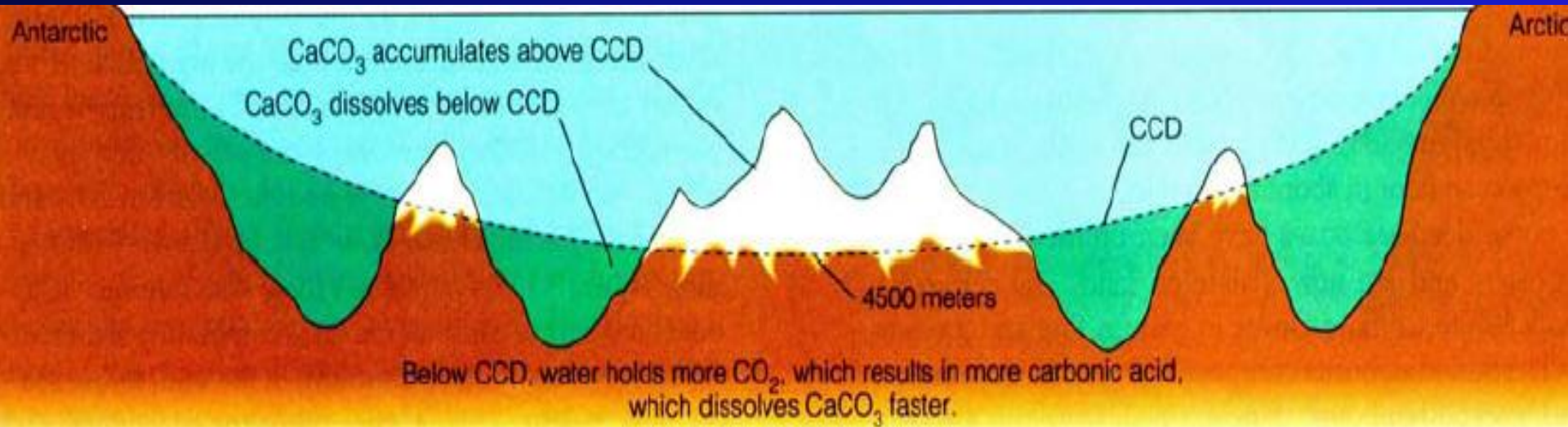
➤ Καθώς το CO_2 εισέρχεται στα επιφανειακά ύδατα μέσω της ανταλλαγής αερίων αέρα - θάλασσας, αυξάνει τη συγκέντρωση του ολικού CO_2 (C_T) και τη μερική πίεση του CO_2 ($p\text{CO}_2$). Καθώς η $p\text{CO}_2$ στο θαλασσινό νερό αυξάνει μειώνεται η εισροή CO_2 στην επιφάνεια της θάλασσας. Επιπλέον, η $p\text{CO}_2$ είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στην αύξηση της θερμοκρασίας (~ 4,3 % ανά °C). Συνεπώς, η αύξηση της θερμοκρασίας στην επιφάνεια και της εισροής του ανθρωπογενούς άνθρακα αυξάνουν την $p\text{CO}_2$, ελαττώνοντας την περαιτέρω εισροή του ανθρωπογενούς άνθρακα στο θαλασσινό νερό.

Παράγοντες που επηρεάζουν την $p\text{CO}_2$ στο θαλ.νερό

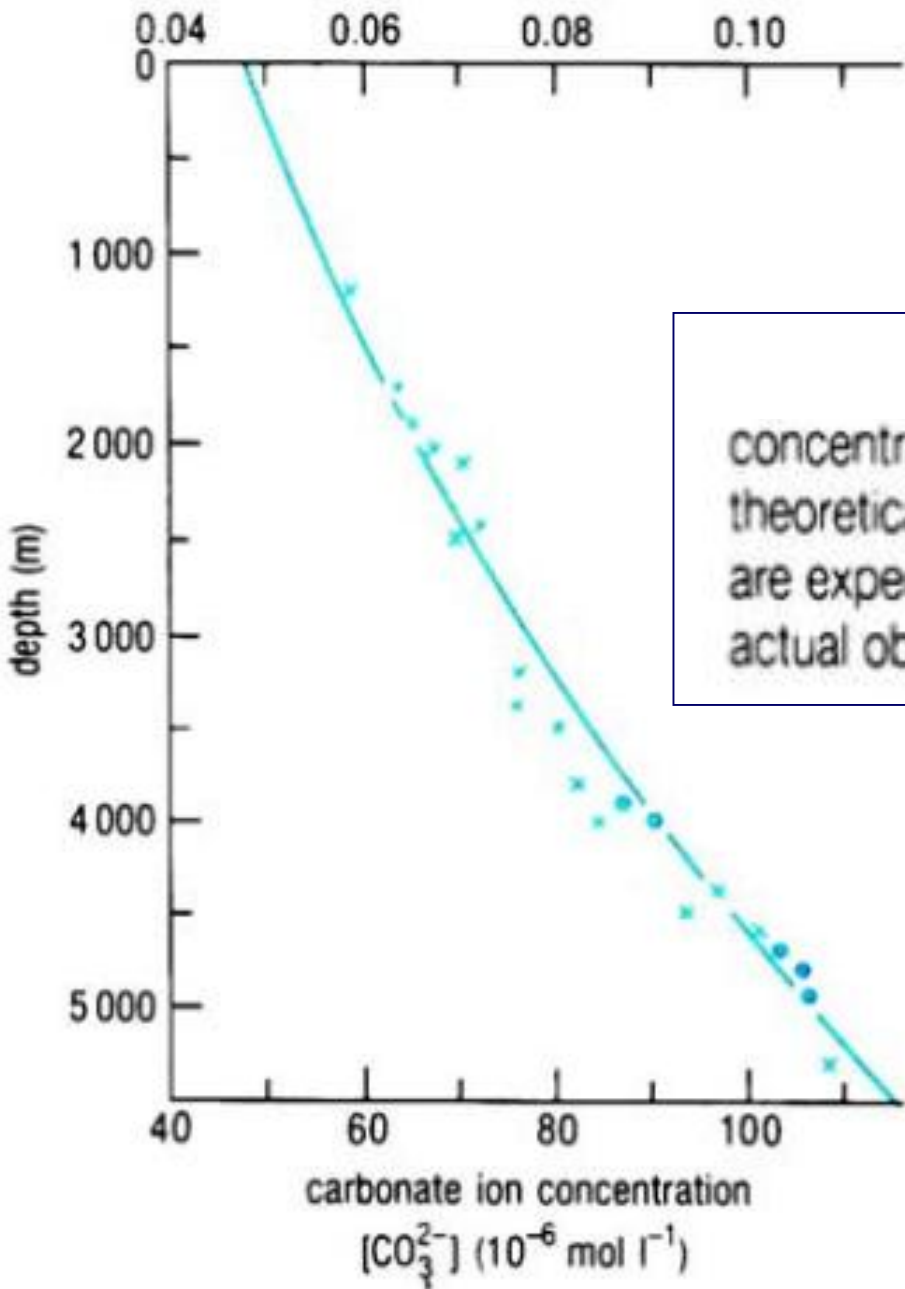
1. φωτοσύνθεση (removal)
2. διάλυση CaCO_3 (removal)
3. ηλιακή θερμότητα (removal)
4. οξείδωση οργανικής ύλης (addition)
5. καταβύθιση CaCO_3 (addition)
6. καύσεις ορυκτών καυσίμων (addition)



If water were removed from the ocean, the ocean floor would look like snow-capped mountains. The “snow line”, the level below which there is no calcium carbonate preserved in the sediment is called the Calcite Compensation Depth (CCD). At the CCD, the rate of CaCO_3 input equals the rate of dissolution.



carbonate ion concentration
 $[\text{CO}_3^{2-}]$ (mol m^{-3})



The saturation curve of CO_3^{2-} concentration versus depth for calcite, CaCO_3 . The theoretical relationship is given by the solid line; crosses are experimentally determined points; dots represent actual observations of calcite dissolution in the oceans.

For calculations such as CO_2 gas exchange or CaCO_3 solubility, we need to know the concentrations of H_2CO_3 or CO_3^{2-} . We cannot measure these species directly. The four parameters that can be measured are used to define all other variables in the carbonate system these are: pH, Total CO_2 , Alkalinity and P_{CO_2} .

Measurements

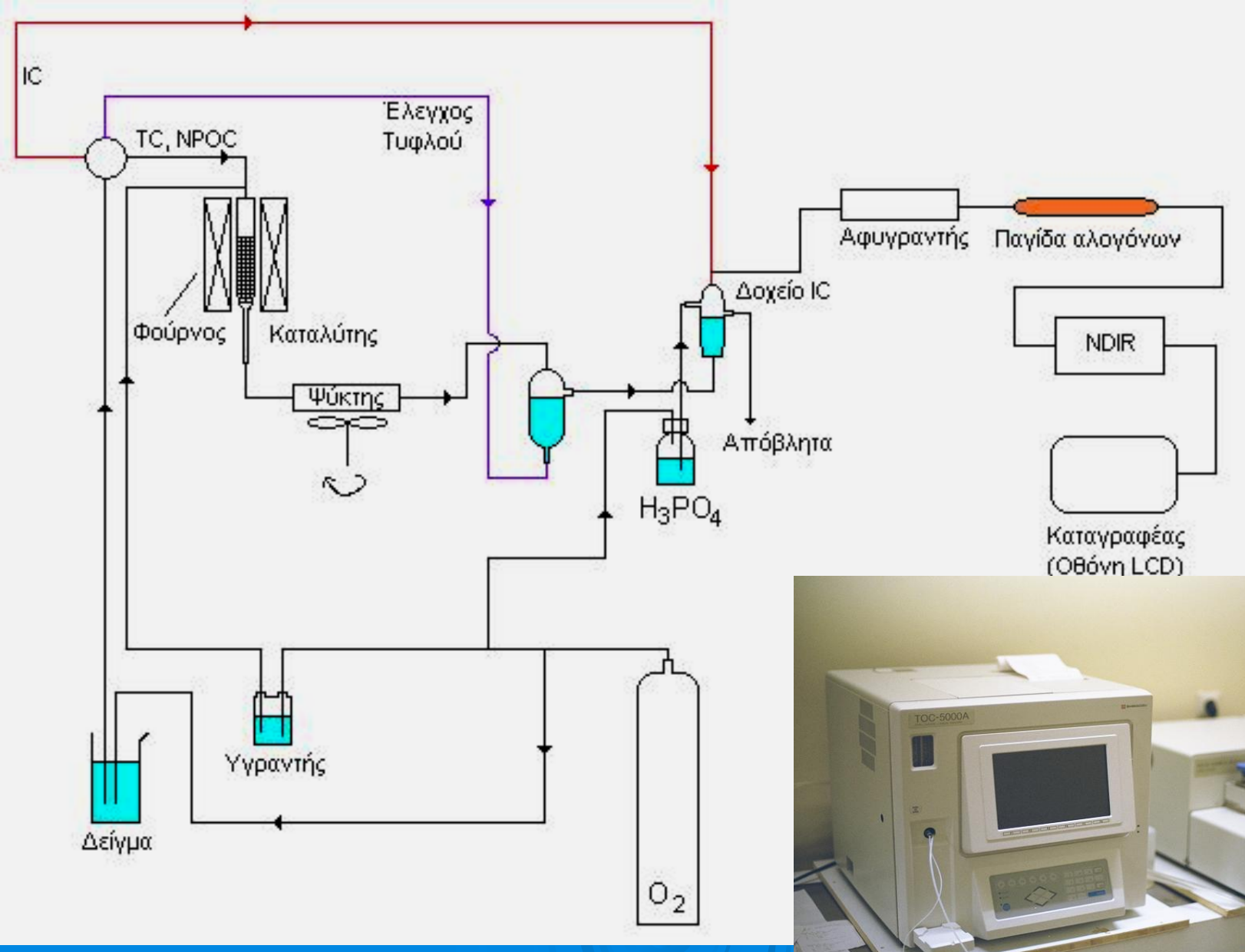
pH is defined in terms of the activity of H^+ or as $\text{pH} = -\log(\text{H}^+)$. The historical approach was to measure pH using a glass electrode calibrated with buffer solutions prepared by the National Bureau of Standards. Though the precision can be quite good ($+0.003$) the accuracy is no better than about $+0.02$. New colorimetric methods have been developed where the ratio of the acid to base is determined using a H^+ sensitive dye. See Millero (1995) for discussion and references.

Total CO_2 (expressed as C_T or DIC or ΣCO_2) is defined as the sum of the concentrations of the three carbonate species: $C_T = [\text{H}_2\text{CO}_3] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}]$

It is determined by acidifying a seawater sample to about a pH of 2. This converts all the carbonate species to H_2CO_3 , which is essentially equivalent to $\text{CO}_2(\text{aq})$, which can be driven off with an inert carrier gas (e.g. He) and analyzed with an infrared (IR) detector.

P_{CO_2} is defined as the partial pressure of CO_2 that a water mass would have if it were in equilibrium with a gas phase. It is determined by equilibrating a known volume of water with a known volume of gas and measuring the CO_2 in the gas phase, again by IR detection.

Οξείδωση οργανικού/ανόργανου άνθρακα σε υψηλή θερμοκρασία (>900°C) σε ρεύμα O₂. Το παραγόμενο CO₂ μετρείται με φασματομετρία IR



ολική αλκαλικότητα (A_T , total Alkalinity) του θαλασσινού νερού ορίζεται η συγκέντρωση όλων των βάσεων που μπορούν να προσλάβουν H^+ όταν η ογκομέτρηση γίνεται με HCl μέχρι το ισοδύναμο σημείο των όξινων ανθρακικών

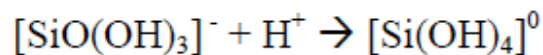
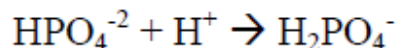
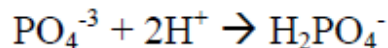
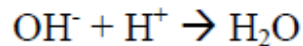
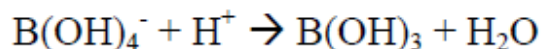
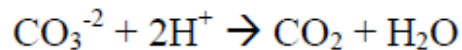
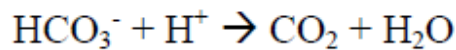
| Species | -log C | Concentration | | % of Alkalinity |
|--------------|--------|--|----------|-----------------|
| | | mmol / kg | meq / kg | |
| HCO_3^- | 2.87 | 1.960 | 1.960 | 84 |
| CO_3^{2-} | 3.84 | 0.144 | 0.288 | 12 |
| $B(OH)_4^-$ | 4.19 | 0.064 | 0.064 | 3 |
| $HSiO_3^-$ | 5.30 | 0.005 | 0.005 | 0.2 |
| HPO_4^{2-} | 5.68 | 0.002 | 0.004 | 0.2 |
| OH^- | 6.00 | 0.001 | 0.001 | 0.0 |
| | | Total Alkalinity (TA) = 2.322 meq / kg | | |

Generally: TA (or Alk) = $[HCO_3^-] + 2[CO_3^{2-}] + [B(OH)_4^-] + [HSiO_3^-] + [HPO_4^-] + [OH^-]$

Since alkalinity is defined as the amount of acid necessary to titrate all the weak bases in seawater (e.g. HCO_3^- , CO_3^{2-} , $B(OH)_4^-$) it is determined using an acid titration. The concentration is expressed as equivalents kg^{-1} , rather than moles kg^{-1} , because each species is multiplied by the number of protons it consumes. For example, when acid is added HCO_3^- consumes one proton as it is converted to H_2CO_3 . CO_3^{2-} consumes two protons, thus its concentration is multiplied by two ($CO_3^{2-} + 2H^+ \rightarrow H_2CO_3$).

Η ολική αλκαλικότητα μετράται με ογκομέτρηση του δείγματος με ισχυρό οξύ μέχρι να καταναλωθεί όλη η ρυθμιστική ικανότητά του. Σαν τελικό σημείο της ογκομέτρησης θεωρούμε αυτό όπου το pH έχει κατέβει στο 4.5. Στο σημείο αυτό όλες οι ουσίες που δρουν ως βάσεις έχουν πρωτονιωθεί οπότε δεν υπάρχει πλέον αλκαλικότητα.

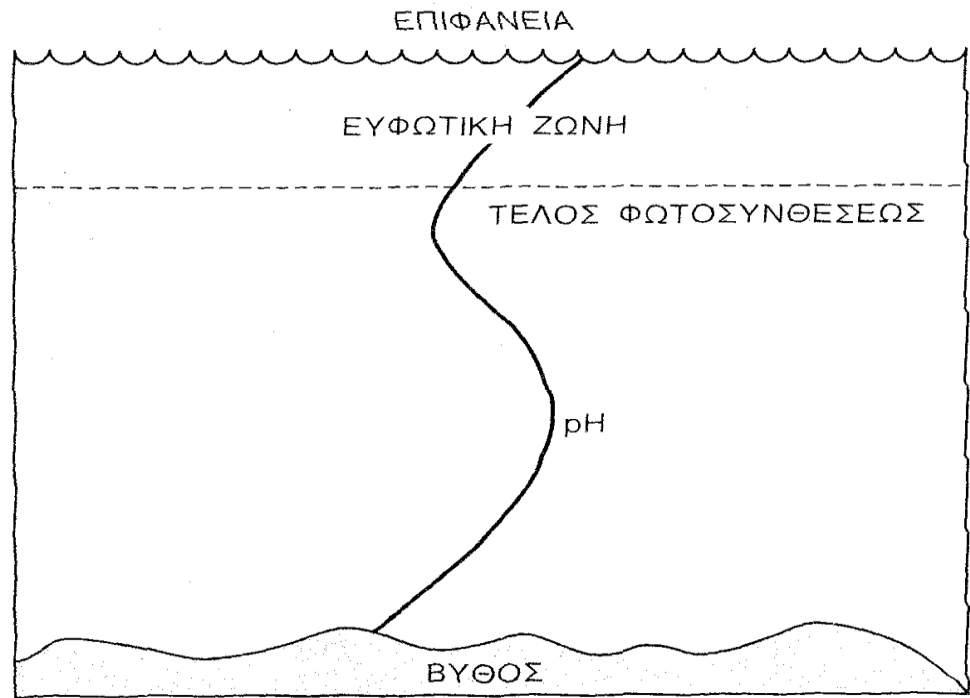
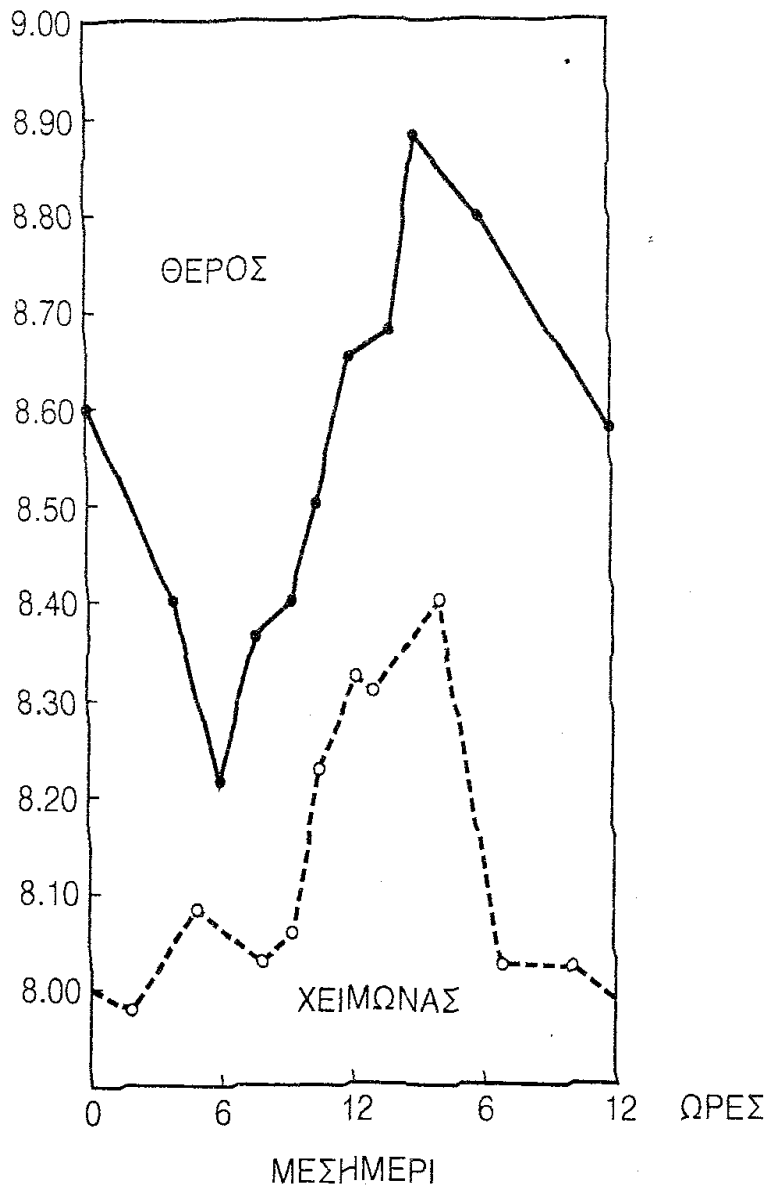
Οι αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα κατά την προσθήκη οξέος σε δείγμα θαλασσινού νερού είναι οι εξής:



Όπως παρατηρούμε από τις αντιδράσεις αυτές, οι περισσότερες βάσεις καταναλώνουν ένα πρωτόνιο ανά μόριο προκειμένου να εξουδετερωθούν. Το CO_3^{2-} όμως χρειάζεται δυο πρωτόνια οπότε προσθέτει δυο μονάδες αλκαλικότητας ανά μονάδα CO_3^{2-} .

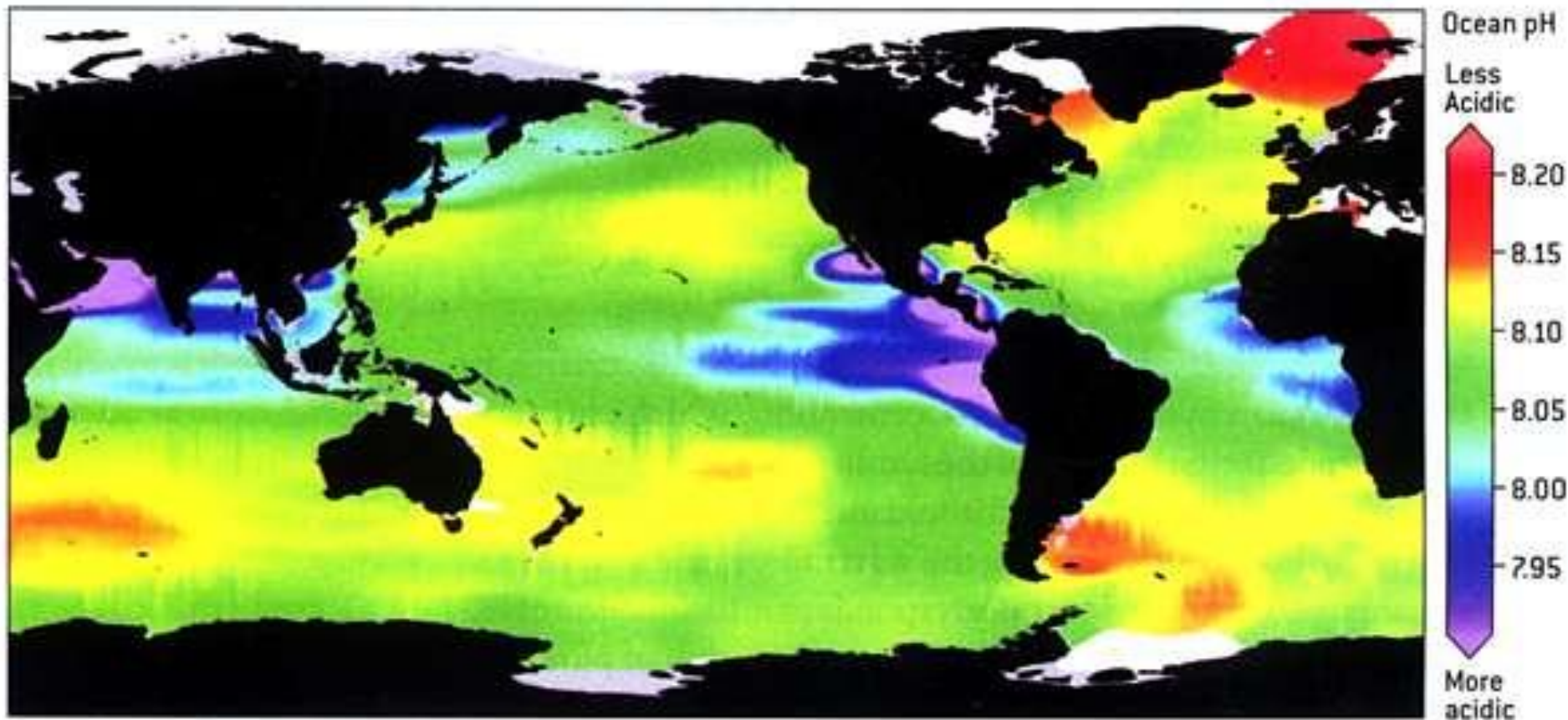
Τα $[\text{H}^+]$ και $[\text{HSO}_4^-]$ μειώνουν την αλκαλικότητα αφού παρέχουν πρωτόνια στο διάλυμα. Πολλές φορές τα χρησιμοποιούμε ως σύνολο με συμβολισμό $[\text{H}^+]\text{T}$.

ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΕΙΣ pH



Γενικευμένη απεικόνιση της μεταβολής του pH συναρτήσει του βάθους.

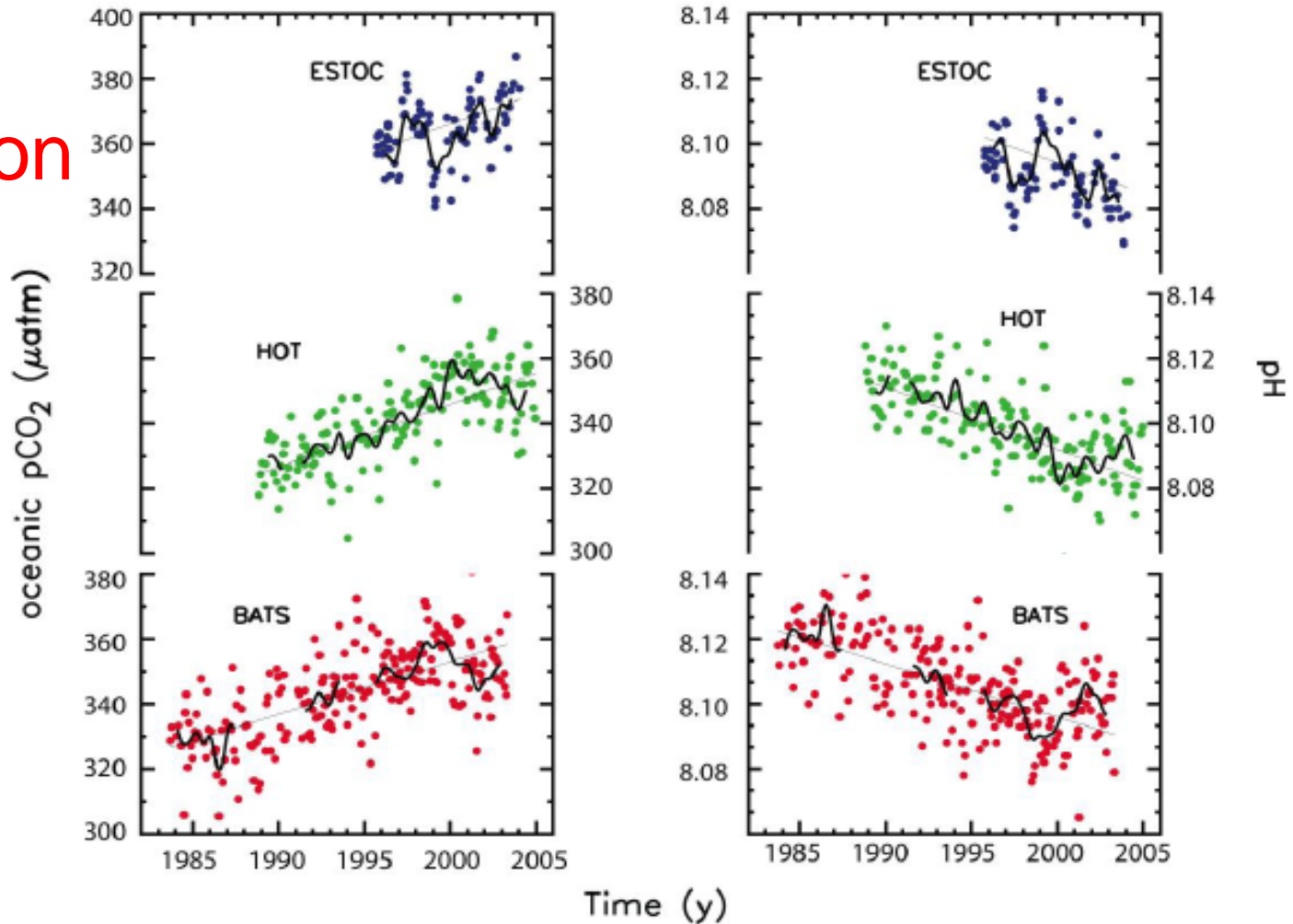
Παράδειγμα ημερήσιων και εποχιακών διακυμάνσεων pH σε αβαθή νερά.



Ocean pH

Source: Scott C Doney, SciAm March 2006

Ocean Acidification



3
4
5
6
7
8
9
10
11
12

Figure 5.4.1. Changes in surface oceanic pCO₂ (left; in μatm) and pH (right) from the time-series stations at ESTOC (29°N, 15°W; (Gonzalez-Dávila et al., 2003)), HOT (23°N, 158°W; (Dore et al., 2003)) and BATS/Station S (31/32°N, 64°W; (Bates et al., 2002; Gruber et al., 2002)). pCO₂ and pH are directly measured at ESTOC and calculated from Dissolved Inorganic Carbon and alkalinity at HOT and BATS. The mean seasonal cycle was removed from all data. The thick black line filters variability less than 5 years. The thin black line is a linear fit to the data, and give an increase in pCO₂ of 1.9, 1.9, and 1.6 μatm/yr and a decrease in pH of 0.0018, 0.0019, and 0.0016 for ESTOC, HOT, and BATS respectively.

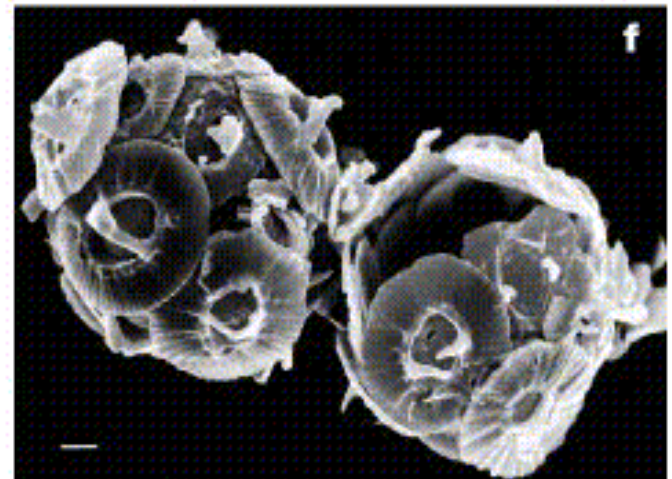
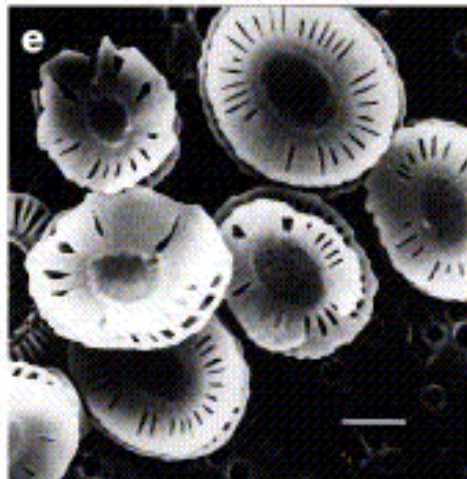
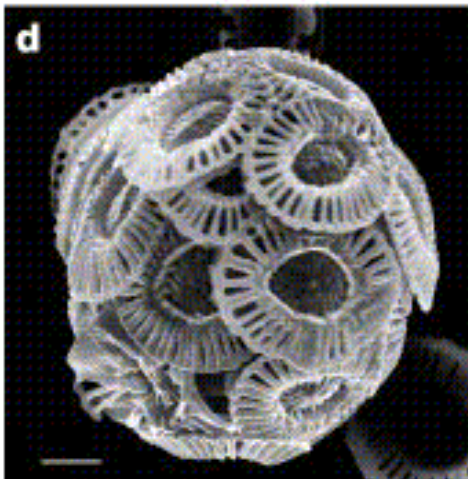
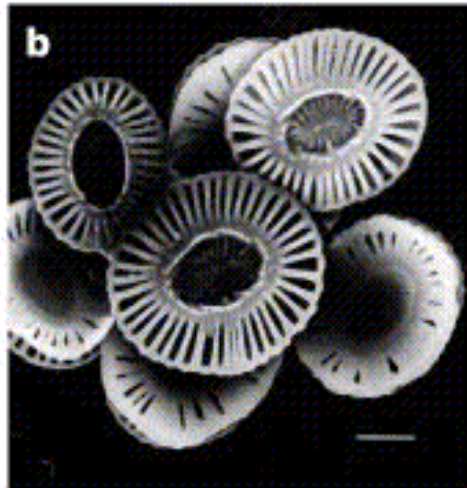
Έχει επιπτώσεις η 'οξύνιση' – μείωση του pH του ωκεανού?

Πέρα από κάποιο όριο οξύτητας (pH), οι οργανισμοί που περιέχουν ανθρακικό ασβέστιο, όπως κοράλλια, δίθυρα, μαλάκια και φυτοπλαγκτόν κινδυνεύουν.

Η οξύνιση των ωκεανών επομένως αποτελεί απειλή για την επιβίωση μεγάλου αριθμού θαλασσίων ειδών και ολόκληρη τη θαλάσσια τροφική αλυσίδα.

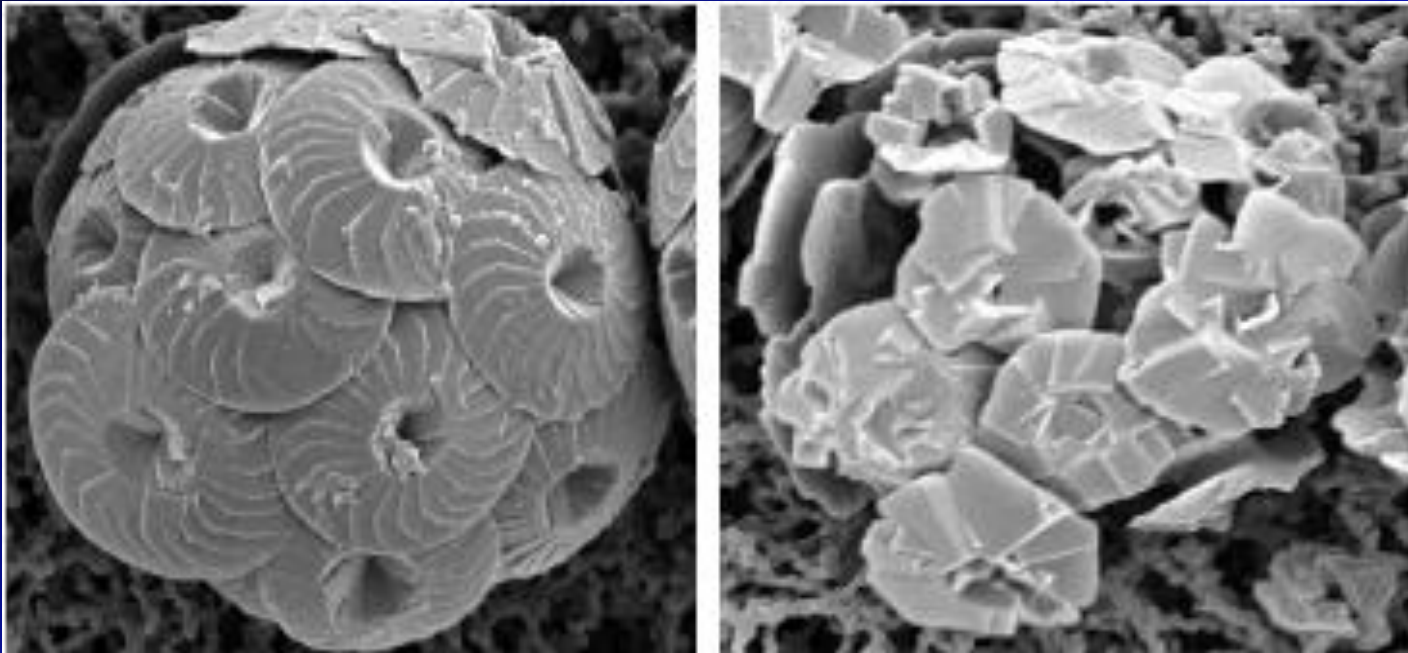


κοκκολιθοφόρα: μονο-κυτταρικά μικροφύκη που καλύπτονται από πλάκες ανθρακικού ασβεστίου (κοκκόλιθοι). Είναι οι πιο παραγωγικοί σε ανθρακικό ασβέστιο οργανισμοί πάνω στον πλανήτη.



Δύο φορές λιγότερος σχηματισμός ανθρακικού ασβεστίου σε μεσόκοσμους τεχνητά εμπλουτισμένους σε CO₂

Πειράματα σε μεσόκοσμους έδειξαν αύξηση του αριθμού των κακοσχηματισμένων κοκκολίθων και ατελή επικάλυψη των κυττάρων των κοκκολιθοφόρων που ζουν σε συνθήκες υψηλού CO₂, όπως φαίνεται στις φωτογραφίες :



Με τη σημερινή συγκέντρωση CO₂.

Με τη συγκέντρωση CO₂ που

προβλέπεται το 2100.



Calcifying organisms, such as these sea urchins grown in seawater acidified with 400 ppm CO₂ (left)—the current level in the ocean—produce spines that are truncated by dissolution when reared in seawater acidified with 2,850 ppm CO₂ (right), an extreme level for lab tests.

Ερευνητές της Βρετανικής Αποστολής στην Ανταρκτική, του Βασιλικού Ινστιτούτου Θαλάσσιας Έρευνας της Ολλανδίας και της Εθνικής Υπηρεσίας Ωκεανών και Ατμόσφαιρας των ΗΠΑ πραγματοποίησαν μελέτες στον Νότιο Ωκεανό που διαβρέχει την Ανταρκτική. Διαπίστωσαν ότι τα κελύφη σε πολλά είδη θαλάσσιων σαλιγκαριών διαβρώνονται πολύ γρήγορα καθώς τα νερά στην επιφάνεια της θάλασσας γίνονται ολοένα και πιο όξινα. Αν και η απώλεια του κελύφους δεν αποτελεί άμεση αιτία θανάτου για τα σαλιγκάρια, εντούτοις τα καθιστά εξαιρετικά ευάλωτα απέναντι στους εχθρούς τους. Τα θαλάσσια σαλιγκάρια είναι βασική πηγή τροφής για τα ψάρια αλλά και για ορισμένα είδη πτηνών ενώ παράλληλα αποτελούν έναν από τους δείκτες της υγείας των θαλάσσιων οικοσυστημάτων. γενικότερα.

In.gr 26/11/2012



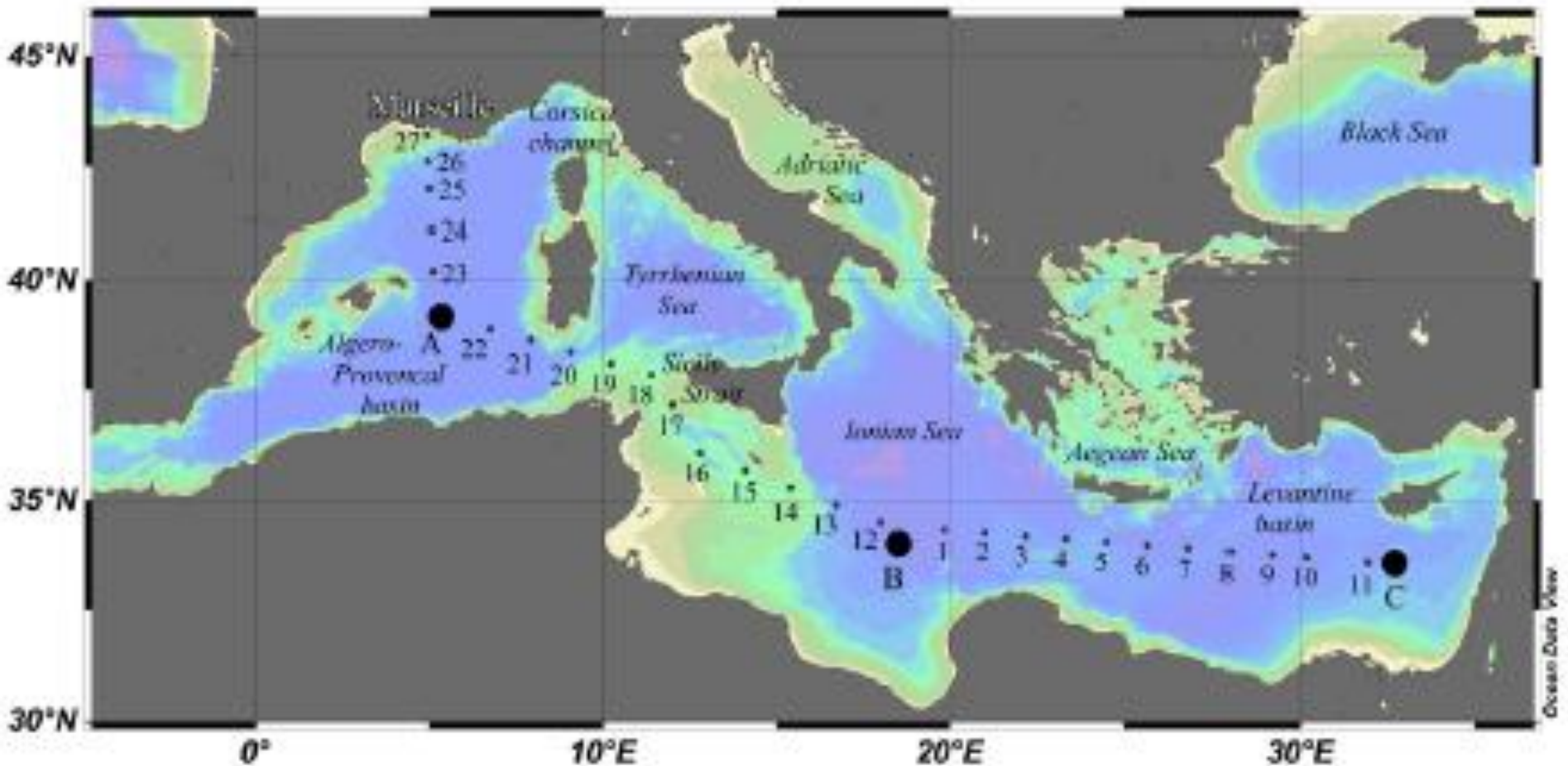
Έχει εκτιμηθεί ότι:

Η φυτοπλαγκτονική παραγωγή θα αυξηθεί κατά 40-200% αν διπλασιασθεί η συγκέντρωση του ατμοσφαιρικού CO₂ (έτος 2100). Όμως οι διάφοροι φυτοπλαγκτονικοί οργανισμοί έχουν διαφορετική ευαισθησία στην αύξηση του CO₂ και διαθέτουν διαφορετικούς μηχανισμούς για την αφομοίωση του άνθρακα με αποτέλεσμα κάποια είδη να ευνοούνται σε σχέση με άλλα, με αποτέλεσμα μεταβολές στη σύνθεση των φυτοπλαγκτονικών βιοκοινωνιών.

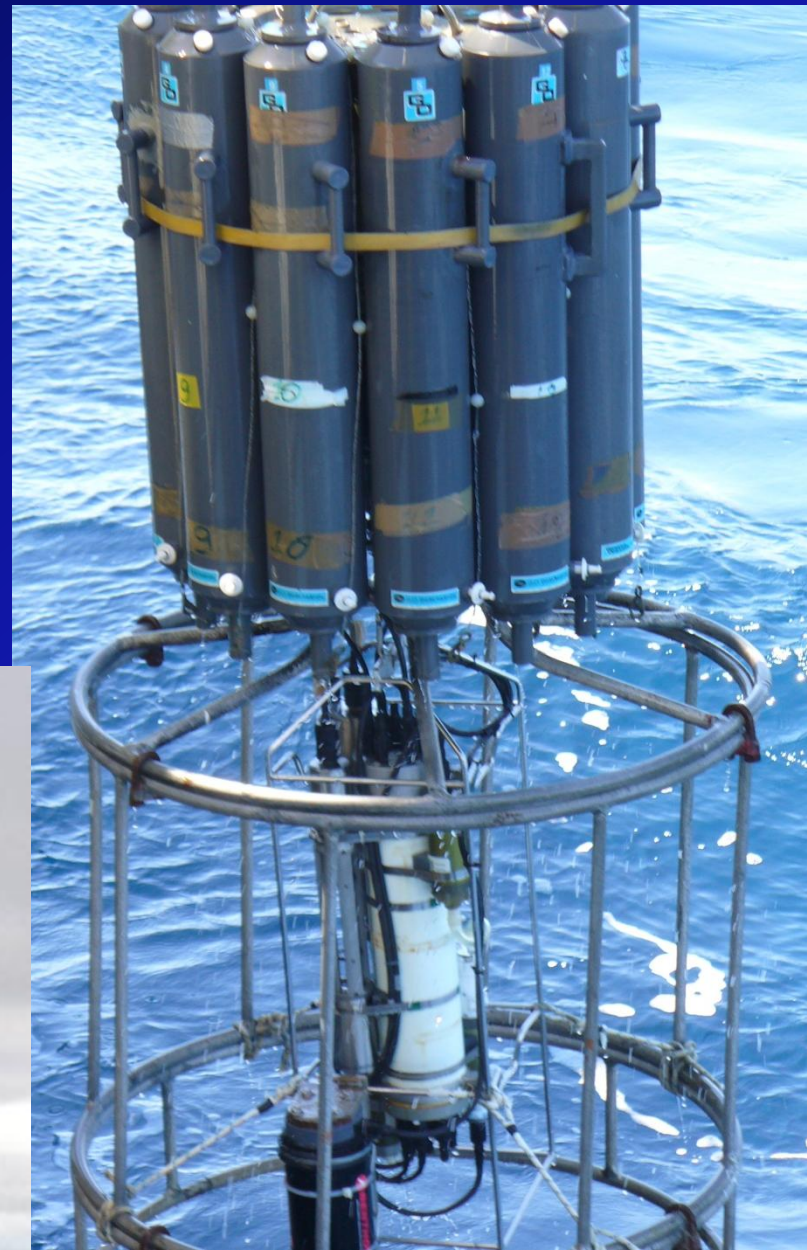
Η δραστηριότητα των βακτηρίων (παράγουν CO₂) και του ζωοπλαγκτού (καταναλώνει φυτοπλαγκτό) μπορεί να επηρεαστούν από τις αλλαγές στο pH με αποτέλεσμα αλλαγές στη δομή και λειτουργία των οικοσυστημάτων.

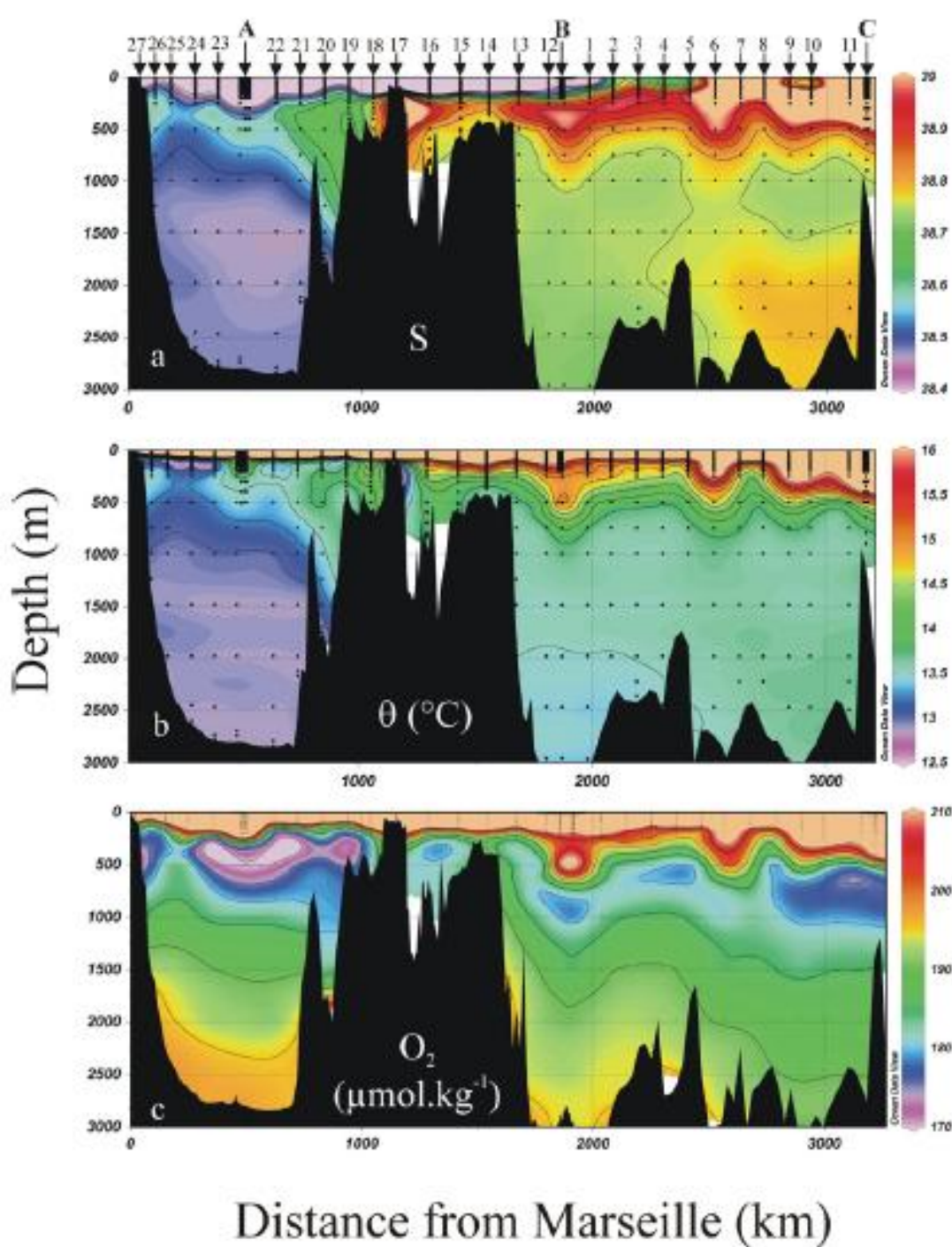
Πιο περίπλοκα γίνονται τα πράγματα λόγω της ταυτόχρονης αύξησης της θερμοκρασίας που θα επηρεάζει τη δραστηριότητα του φυτοπλαγκτού και τη διαλυτότητα και συγκέντρωση του CO₂ στη θάλασσα.

Τα πιο πρόσφατα δεδομένα που αφορούν την οξίνιση του θαλάσσιου περιβάλλοντος στη Μεσόγειο προέρχονται από τον πλόα 2008 BOUM, ο οποίος πραγματοποιήθηκε στη Μεσόγειο Θάλασσα σε μια τομή 3000 km κατά μήκος της Μεσογείου, από την Κύπρο μέχρι τη Μασσαλία



The BOUM cruise (Biogeochemistry from the Oligotrophic to the Ultra oligotrophic Mediterranean Sea; <http://www.com.univ-mrs.fr/BOUM/>) occurred during summer 2008, from 20 June to 22 July, on board the R/V *L'Atalante*.



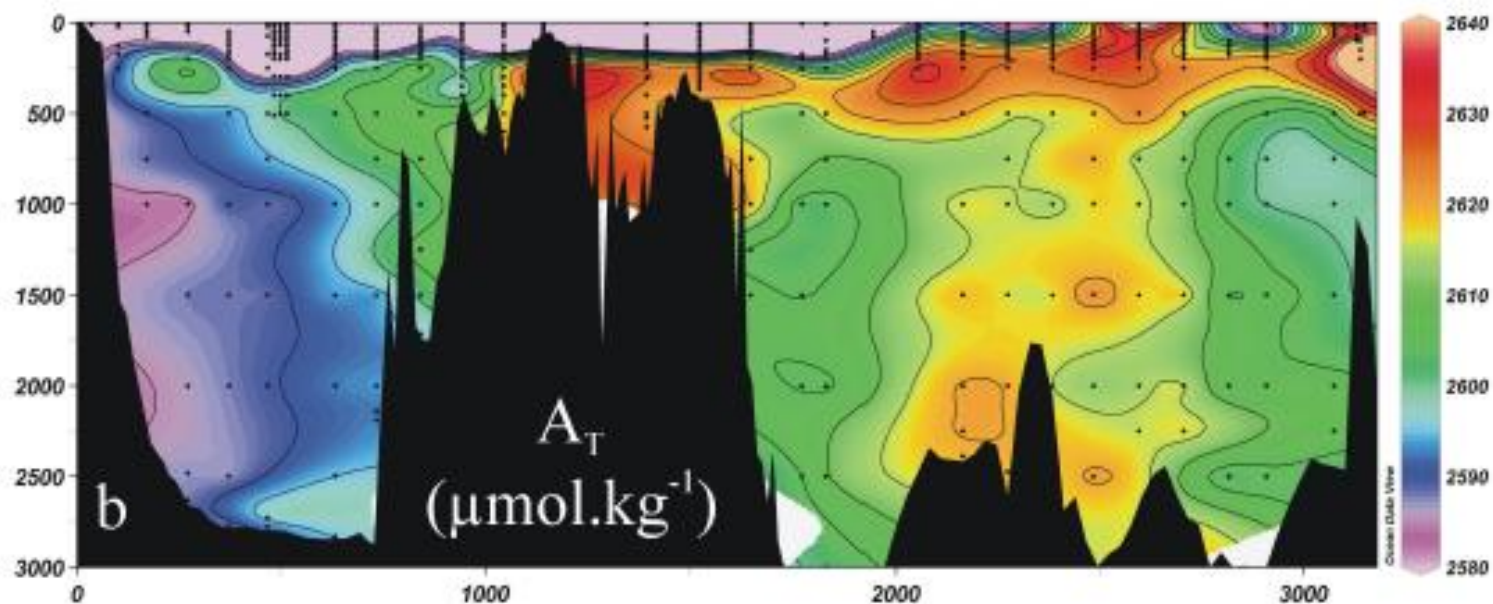
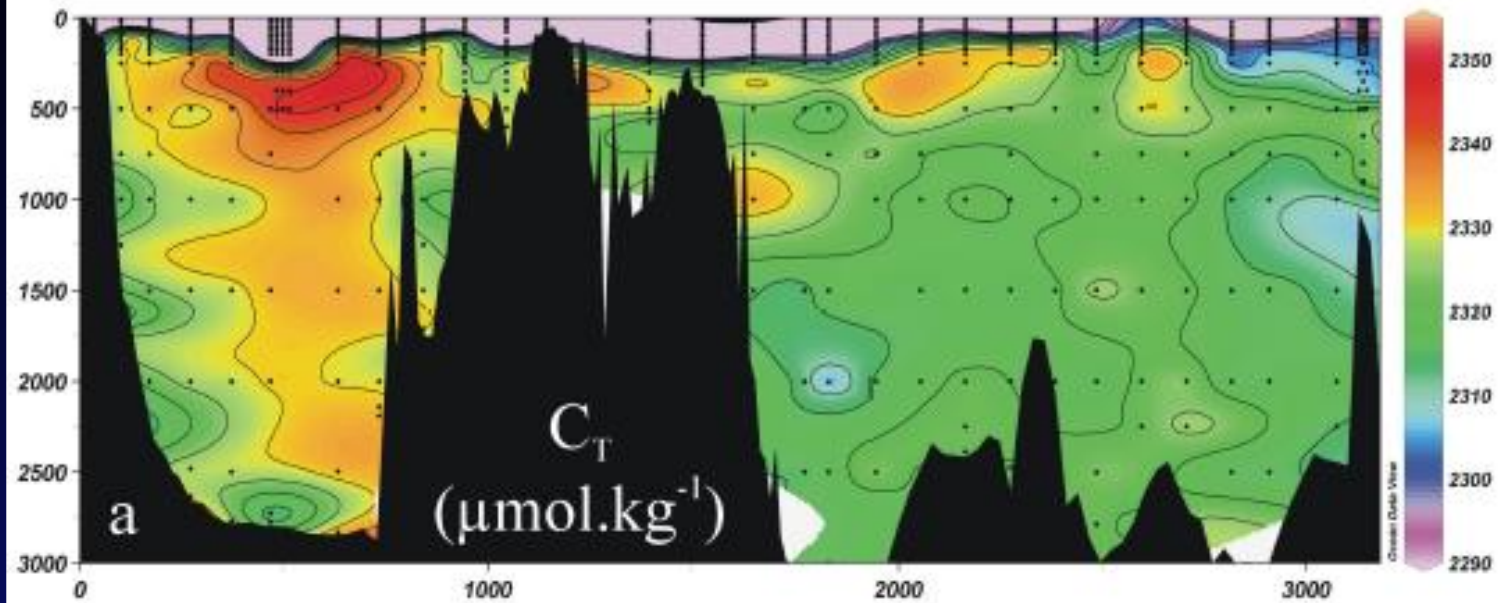


Property distributions along the 2008 BOUM transect going from Marseille (France; Station 27; distance is 0 km) to the Levantine Basin (south of Cyprus Island; Station C; Distance from Marseille is 3200 km).

(a) Salinity (S);

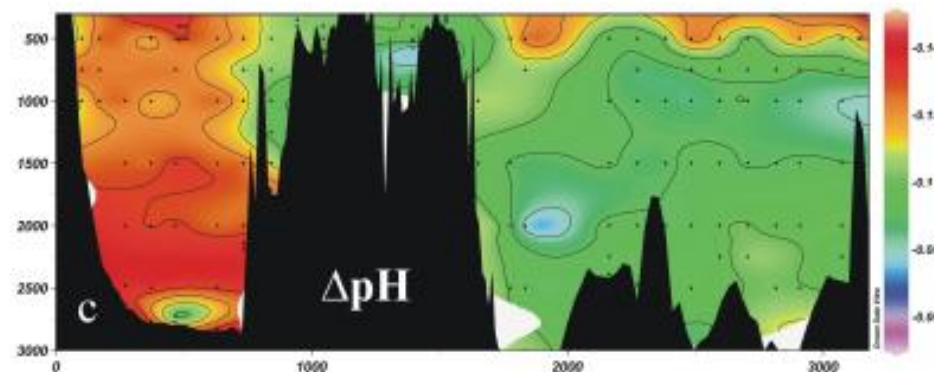
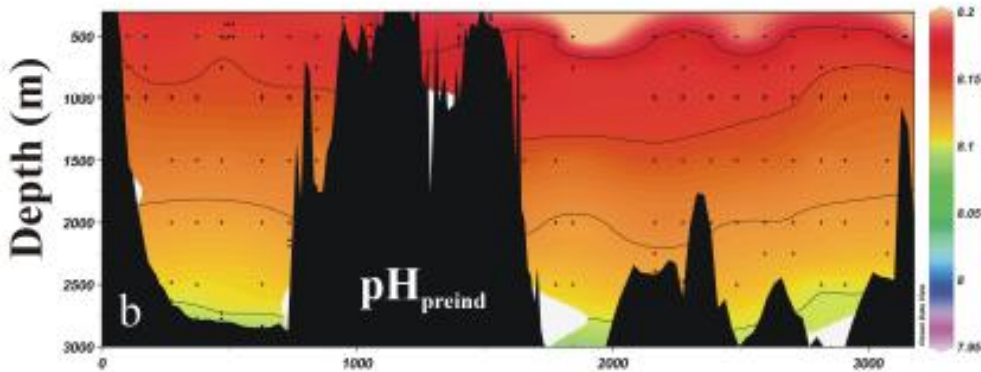
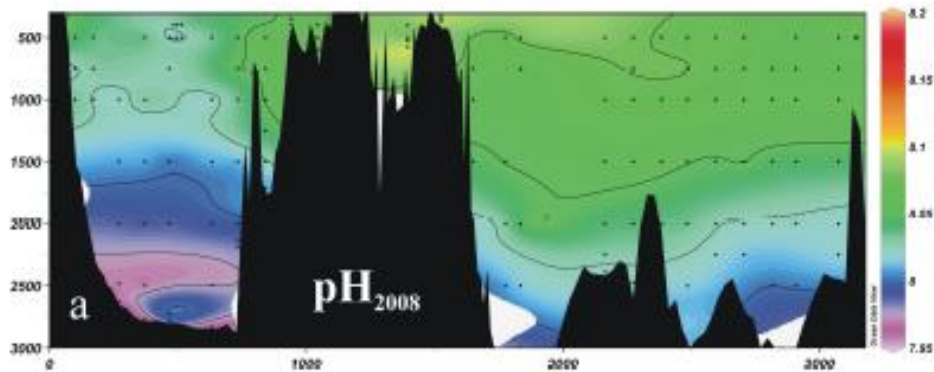
(b) potential temperature ($^{\circ}\text{C}$);

(c) Concentration of dissolved oxygen (O_2 ; $\mu\text{mol.kg}^{-1}$).



(a) Distribution of the total dissolved inorganic carbon (C_T , $\mu\text{mol kg}^{-1}$);
(b) (b) distribution of the total alkalinity (A_T ; $\mu\text{mol kg}^{-1}$).

Distributions of pH and acidification



Distance from Marseille (km)

Distributions of

(a) pH estimated from the 2008 BOUM dataset;

(b) pre-industrial pH;

(c) acidification (ΔpH) for the year 2008.

- Η ολική αλκαλικότητα (A_T) που μετρήθηκε είναι υψηλή ($\sim 2600 \mu\text{mol kg}^{-1}$), γεγονός που αποδίδεται στην εξάτμιση, στις μεγάλες εισροές γλυκού νερού υψηλής αλκαλικότητας στις παράκτιες περιοχές από τα ποτάμια, και από τη Μαύρη Θάλασσα (Schneider et al., 2007). Η ανατολική λεκάνη της Μεσογείου χαρακτηρίζεται από $A_T > 2600 \mu\text{mol kg}^{-1}$, ενώ στη δυτική λεκάνη είναι $A_T < 2600 \mu\text{mol kg}^{-1}$
- Δεδομένου ότι η Μεσόγειος Θάλασσα έχει μεγαλύτερη αλκαλικότητα από τον ανοιχτό ωκεανό μπορεί, μέσα σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο, να απορροφήσει σχετικά περισσότερο ανθρωπογενές CO_2 . Επίσης, καθώς τα νερά της Μεσογείου είναι θερμότερα από αυτά του ανοιχτού ωκεανού σε όλη την υδάτινη στήλη, θα παραμείνει κορεσμένη σε ανθρακικό ασβέστιο σε όλη την υδάτινη στήλη για πολλά ακόμα χρόνια.

- Τα νερά της Μεσογείου είναι ρυπασμένα με σχετικά υψηλά επίπεδα ανθρωπογενούς CO_2 (C_{ANT}). Οι τιμές του C_{ANT} κυμαίνονται από 48.8 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ (2000m στο Ιόνιο) μέχρι τα 94.7 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ (κάτω από το θερμοκλινές στη δυτική λεκάνη). Τα ενδιάμεσα βάθη παρουσιάζονται γενικά, λιγότερο ρυπασμένα από C_{ANT} από τα επιφανειακά ή τα μεγάλα βάθη.
- Στην περίοδο 7 ετών που μεσολάβησε από τον πλόα του METEOR (2001) μέχρι αυτόν του BOUM (2008) τα εύρη τιμών του C_{ANT} αυξήθηκαν από 37.5-84 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ σε 46.3-89.6 $\mu\text{mol kg}^{-1}$. Η αύξηση του C_{ANT} ετησίως ανέρχεται σε 0.8-1.2 $\mu\text{mol kg}^{-1} \text{y}^{-1}$. Δηλαδή, πρόκειται για οξίνιση που αντιστοιχεί σε μια μέση ετήσια ΔpH μείωση $4.3 \cdot 10^{-4} - 1.8 \cdot 10^{-3}/\text{y}$.
- Η Μεσόγειος θεωρείται ένα από τα πιο οξινισμένα οικοσυστήματα ($0.061 < \Delta\text{pH} < 0.148$). Παρόλα αυτά τα νερά της ανατολικής λεκάνης είναι λιγότερο ρυπασμένα από αυτά της δυτικής (συχνά $\Delta\text{pH} > 0.1$).
- Η υποπεριοχή Αιγαίο – Θάλασσα της Λεβαντίνης επηρεάζεται από τη εισροή θαλάσσιων μαζών από τη Μαύρη Θάλασσα, ενώ η υποπεριοχή Ιόνιο-Κεντρική Μεσόγειος Θάλασσα επηρεάζεται από την εισροή υδάτινων μαζών από την Αδριατική.
- Υπολογίζεται ότι αν ο ανθρωπογενής άνθρακας συνεχίζει να αυξάνεται με αυτούς τους ρυθμούς (0.8 - 1.2 $\mu\text{mol/kg y}$), το pH θα μειωθεί κατά 0.1 μέσα μόνο σε 56 χρόνια.

References

Edmond J. (1970) *Deep-Sea Research*, 17, 737-750

Lewis E. and D. Wallace (1998) Program developed for the CO₂ system calculations.
Web; Site: <http://cdiac.esd.ornl.gov/ftp/co2sys>.

Millero F.J. (1995) Thermodynamics of the carbon dioxide system in the oceans.
Geochimica et Cosmochimica Acta, 59, 661-677.

Edmond, J. and J. Gieskes (1970) On the calculation of the degree of saturation f seawater with respect to calcium carbonate under in situ conditions, *Geochim Cosmochim Acta*, 34, 1261-1291.

Millero, F. (1993) The internal consistency of CO₂ measurements in the equatorial Pacific, *Mar. Chem.*, 44, 269-280.

Morse, J. and F. MacKenzie (1990) *Geochemistry of Sedimentary Carbonates*, Elsevier, 707 p.

Takahashi, T (1981) In *Carbon Cycle Modeling* (B.Bolin, ed), John Wiley and Sons, 390.

website <http://cdiac.esd.ornl.gov/ftp/co2sys>

Τέλος Ενότητας



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



ΣΗΜΕΙΩΜΑΤΑ

Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.0.

Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Εθνικών και Καποδιστριακών Πανεπιστημίων Αθηνών, Μιχαήλ Σκούλλος, Δημήτριος Νικολέλης, Εμμανουήλ Δασενάκης 2015. Μιχαήλ Σκούλλος, Δημήτριος Νικολέλης, Εμμανουήλ Δασενάκης. «Χημεία Περιβάλλοντος». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <http://opencourses.uoa.gr/courses/CHEM3/>.

Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (1/6)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες

Εικόνα 1: [διαφάνεια 2 άνω αριστερά] Από εκδήλωση κατά της κλιματικής αλλαγής. Copyrighted. Σύνδεσμος:

<http://www.tovima.gr/blogs/article/?aid=434127>. Πηγή: www.tovima.gr

Εικόνα 2: [διαφάνεια 2 άνω δεξιά] Επίδραση της αύξησης της συγκέντρωσης του CO₂ σε θαλάσσιους οργανισμούς. Copyright Macmillan Publishers Ltd:

Nature Publishing Group, U.Riebesell et al., Nature 407,2000. Σύνδεσμος:

<http://worldoceanreview.com/en/wor-1/ocean-chemistry/acidification/>. Πηγή:

<http://worldoceanreview.com/>

Εικόνα 3: [διαφάνεια 2 κάτω αριστερά] Ατμοσφαιρική ρύπανση εργοστασίων.

Copyrighted. Σύνδεσμος: <http://www.ecoexpress.com/category/news/>. Πηγή:

www.ecoexpress.com

Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (2/6)

Εικόνα 4: [διαφάνεια 2 κάτω δεξιά] Copyrighted.

Εικόνα 5: [διαφάνεια 5] Ο κύκλος του άνθρακα. Copyrighted. Σύνδεσμος: <http://web.mit.edu/12.000/www/m2006/teams/r7/new/co2.html>. Πηγή: web.mit.edu/

Εικόνα 6: [διαφάνεια 6] Ο κύκλος του άνθρακα. Public Domain. Σύνδεσμος: https://en.wikibooks.org/wiki/NCEA_Level_1_Science/Life_processes. Πηγή: en.wikibooks.org.

Εικόνα 7: [διαφάνεια 8] Η βιολογική αντλία. Σύνδεσμος: http://www.nature.com/nature/journal/v407/n6805/fig_tab/407685a0_F1.html. Πηγή: Nature 407, 685-687(12 October 2000).

Εικόνα 8: [διαφάνεια 9] Ισορροπίες ανόργανου άνθρακα. Copyrighted. Σύνδεσμος: <http://arcticocean.globaloceanexploration.com/?p=104>. Πηγή: www.globaloceanexploration.com.

Εικόνα 9: [διαφάνεια 10] Copyrighted.

Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (3/6)

Εικόνα 10: [διαφάνεια 11] Αλλαγή του ανθρακικού συστήματος του θαλασσινού νερού λόγω της όξινης των ωκεανών. Public Domain. Σύνδεσμος: https://en.wikipedia.org/wiki/Ocean_acidification. Πηγή: [en.wikipedia.org/wiki](https://en.wikipedia.org/wiki/Ocean_acidification).

Εικόνα 11: [διαφάνεια 15] Αύξηση του CO₂ στην ατμόσφαιρα και τους ωκεανούς. Copyrighted. Σύνδεσμος: <http://www.bodc.ac.uk/36n/research/>. Πηγή: www.bodc.ac.uk

Εικόνα 12: [διαφάνεια 16] . Ανθρωπογενές CO₂. Copyright 2015 National Academy of Sciences. Σύνδεσμος: <http://www.nap.edu/read/12904/chapter/4#42>. Πηγή: www.nap.edu

Εικόνα 13: [διαφάνεια 18] Copyrighted.

Εικόνα 14: [διαφάνεια 19] Ανθρακικό ασβέστιο στο νερό. Copyrighted. Σύνδεσμος: http://ocean.stanford.edu/courses/bomc/chem/lecture_14.pdf. Πηγή: ocean.stanford.edu

Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (4/6)

Εικόνα 15: [διαφάνεια 20]. Copyrighted.

Εικόνα 16: [διαφάνεια 22]. Copyrighted.

Εικόνα 17: [διαφάνεια 26]. Το pH των ωκεανών. Copyrighted. Σύνδεσμος: <http://www.seafriends.org.nz/issues/global/acid2.htm>. Πηγή: Scott C Doney, Scientific American, March 2006. Map by Chris Sabine, NOAA Pacific Marine Environment Laboratory.

Εικόνα 18: [διαφάνεια 27]. Ocean Acidification. Copyrighted. Πηγή: IPCC, 2007.

Εικόνα 19: [διαφάνεια 28]. Θαλάσσιοι οργανισμοί που περιέχουν ανθρακικό ασβέστιο. Copyrighted. Σύνδεσμος: https://biology.ucsd.edu/news/article_100506.html. Πηγή: biology.ucsd.edu.

Εικόνα 20: [διαφάνεια 29]. Κοκκολιθοφόρα. Copyright Macmillan Publishers Ltd: Nature, Riebesell et al. 2000 [6]. Σύνδεσμος:

http://www.ozcoasts.gov.au/indicators/ocean_acid.jsp. Πηγή:
<http://www.ozcoasts.gov.au>.

Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (5/6)

Εικόνα 21: [διαφάνεια 30]. Κοκκολιθοφόρα σε συνθήκες υψηλού CO₂.
Copyrighted. Σύνδεσμος: <http://coconet-fp7.eu/children/TeachersBoi.html>.
Πηγή: www.coconet-fp7.eu.

Εικόνα 22: [διαφάνεια 31]. Calcifying organisms under normal and high CO₂.
Copyrighted. Σύνδεσμος:
http://voices.nationalgeographic.com/2009/12/01/538_ocean_acidification_causes_shellfish_to_grow/. Πηγή: www.nationalgeographic.com.

Εικόνα 23: [διαφάνεια 32]. Το ανθρακικό ασβέστιο στα κελύφη των σαλιγκαριών και άλλων μαλακίων διαλύεται στο όξινο νερό. Copyrighted.
Σύνδεσμος: <http://news.in.gr/science-technology/article/?aid=1231223752>.
Πηγή: www.in.gr.

Εικόνα 24: [διαφάνεια 34]. Οξίνιση Μεσογείου. Copyrighted. Σύνδεσμος:
<http://www.mio.univ-amu.fr/BOUM/>. Πηγή: BOUM cruise 2008.

Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (6/6)

Εικόνα 25: [διαφάνεια 35, άνω αριστερά]. Copyrighted.

Εικόνα 26: [διαφάνεια 35, κάτω αριστερά]. Ερευνητικό πλοίο RV L' Atalante. Copyrighted. Σύνδεσμος:<http://www.eurofleets.eu/np4/71.html>. Πηγή: www.eurofleets.eu.

Εικόνα 27: [διαφάνεια 35, άνω δεξιά]. Copyrighted.

Εικόνα 28: [διαφάνεια 36]. Property distributions along the 2008 BOUM transect . Copyrighted.

Εικόνα 29: [διαφάνεια 37]. (a) Distribution of the total dissolved inorganic carbon, (b) distribution of the total alkalinity. Copyrighted.

Εικόνα 30: [διαφάνεια 38]. Distributions of (a) pH estimated from the 2008 BOUM dataset, (b) pre-industrial pH, (c) acidification (ΔpH) for the year 2008. Copyrighted.