

JORNADA TÈCNICA

# Geoquímica ambiental

Una eina per conèixer la qualitat del nostre entorn

30 de maig de 2017

*‘La geoquímica i els reptes ambientals’*

*Jordi Bruno*

*Amphos 21 Consulting SL*

**Organització:**



**Col·laboradors:**



**Patrocinadors:**





# El paper de la geoquímica davant els grans reptes ambientals.

Jordi Bruno

[www.amphos21.com](http://www.amphos21.com)



# Índex de continguts

- Breu perfil històric
- El gran repte ambiental i les seves conseqüències
- Quin paper juga la geoquímica
- El futur de la geoquímica



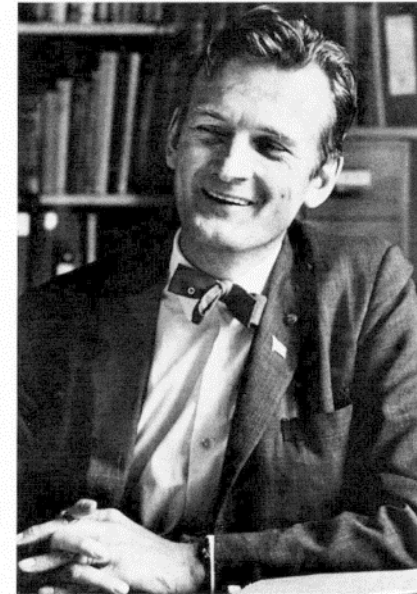
# La gènesi de la geoquímica moderna. El gran pioner

- Els pioners de la geoquímica moderna es van iniciar amb un gran repte: entendre i quantificar els processos que han resultat en la composició de l'aigua del mar
- En 1933, V.M. Goldschmidt presenta el primer model de la composició de l'aigua marina com a resultat de la reacció de les roques ígnies amb els gasos procedents de l'activitat volcànica per formar l'aigua del mar i els sediments

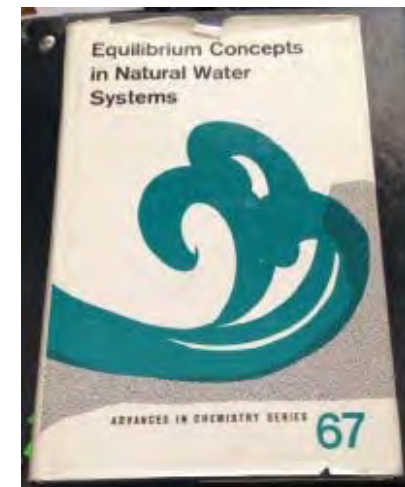


## La gènesi de la geoquímica moderna. La contribució dels químics

- De 1959 a 1965, Lars Gunnar Sillén refina el model inicial de Goldschmidt per a la composició de l'aigua del mar i introdueix per primera vegada la noció d'equilibri químic en els sistemes naturals.
- Va introduir també el tema del reciclatge dels components químics a partir de la reversibilitat (a llarg termini) dels processos de meteorització
- En el model final desenvolupat el 1965, LG Sillén va provar la hipòtesi d'equilibri químic en els sistemes naturals per entendre les conseqüències de les possibles perturbacions a aquest estat d'equilibri. Concepte fonamental en la geoquímica ambiental.

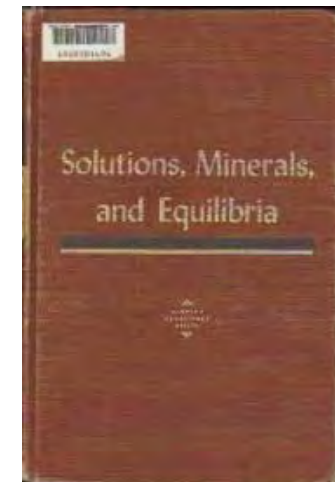
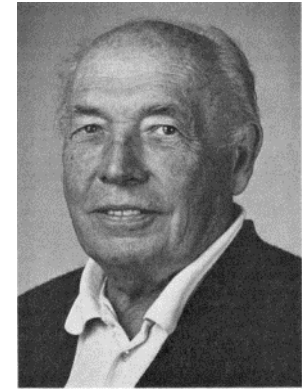


LARS GUNNAR SILLÉN



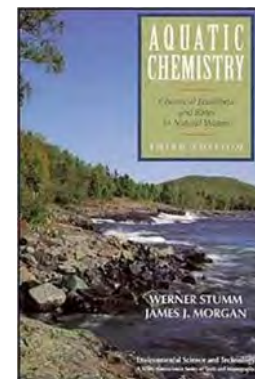
# La gènesi de la geoquímica moderna. Inici de la geoquímica quantitativa

- Al mateix temps a Amèrica del Nord, Robert (Bob) Garrels va presentar la seva tesi doctoral a Northwestern University (Chicago) sobre la formació de complexos de Plom(II) amb clorur al medi aquós el 1941.
- Aquesta tesi va ser premiada com una de les millors de la Universitat però va rebre molt poca atenció de la comunitat geològica en aquell moment.
- L'objectiu era estudiar i entendre **el paper dels complexos en el transport de metalls en aigües subterrànies**. Un altre pilar clau en el desenvolupament de la geoquímica ambiental
- Bob Garrels va ser una persona clau en el desenvolupament del nou paradigma de les bases físic-químiques dels processos geològics i va fer contribucions molt substancials al desenvolupament de la geoquímica moderna i les seves aplicacions mediambientals, que es van concretar en el llibre que va escriure conjuntament amb Charles Louis Christ el 1965.
  - Solutions, Minerals and Equilibria



# La gènesi de la geoquímica moderna. Les bases de la geoquímica aquàtica

- La noció d'aproximar-se als sistemes naturals des d'una perspectiva fisicoquímica fonamental va ser el que va seduir a un químic anomenat Werner Stumm, que després d'atendre a una presentació de LG Sillén sobre el model de la composició de l'aigua del mar va decidir dedicar els seus esforços de recerca cap al que serien els fonaments de la geoquímica aquàtica.
- Stumm va proposar que tots els processos físico-químics: dissolució, precipitació, reaccions redox, àcid-base i formació de complexos són igual de rellevants en el laboratori com en la Naturalesa.
- A partir d'aquí, Stumm va establir el que serien les bases de la geoquímica moderna i per tant les seves aplicacions als grans reptes ambientals. El seu llibre Aquatic Chemistry, que va escriure conjuntament amb Jim Morgan constitueix una magnífica base per a la comprensió dels processos geoquímicos aquosos i el resultat de les seves pertorbacions.



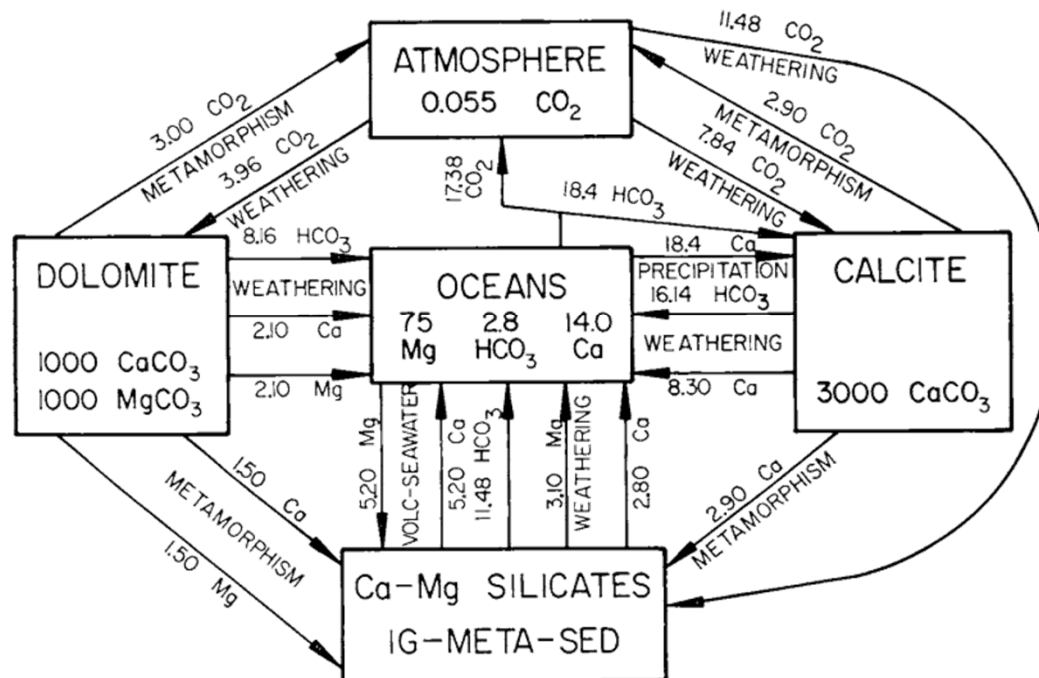
# La gènesi de la geoquímica moderna. Els cicles elementals

- Garrels conjuntament amb Berner i sobretot amb McKenzie van desenvolupar quantitativament el concepte dels cicles geoquímics (Berner, Lasaga and Garrels Amer. J. Sci 1983)

## THE CARBONATE-SILICATE GEOCHEMICAL CYCLE AND ITS EFFECT ON ATMOSPHERIC CARBON DIOXIDE OVER THE PAST 100 MILLION YEARS

ROBERT A. BERNER,\* ANTONIO C. LASAGA,\*\*  
and ROBERT M. GARRELS\*\*\*

### CARBONATE-SILICATE CYCLE, PRESENT OCEANS





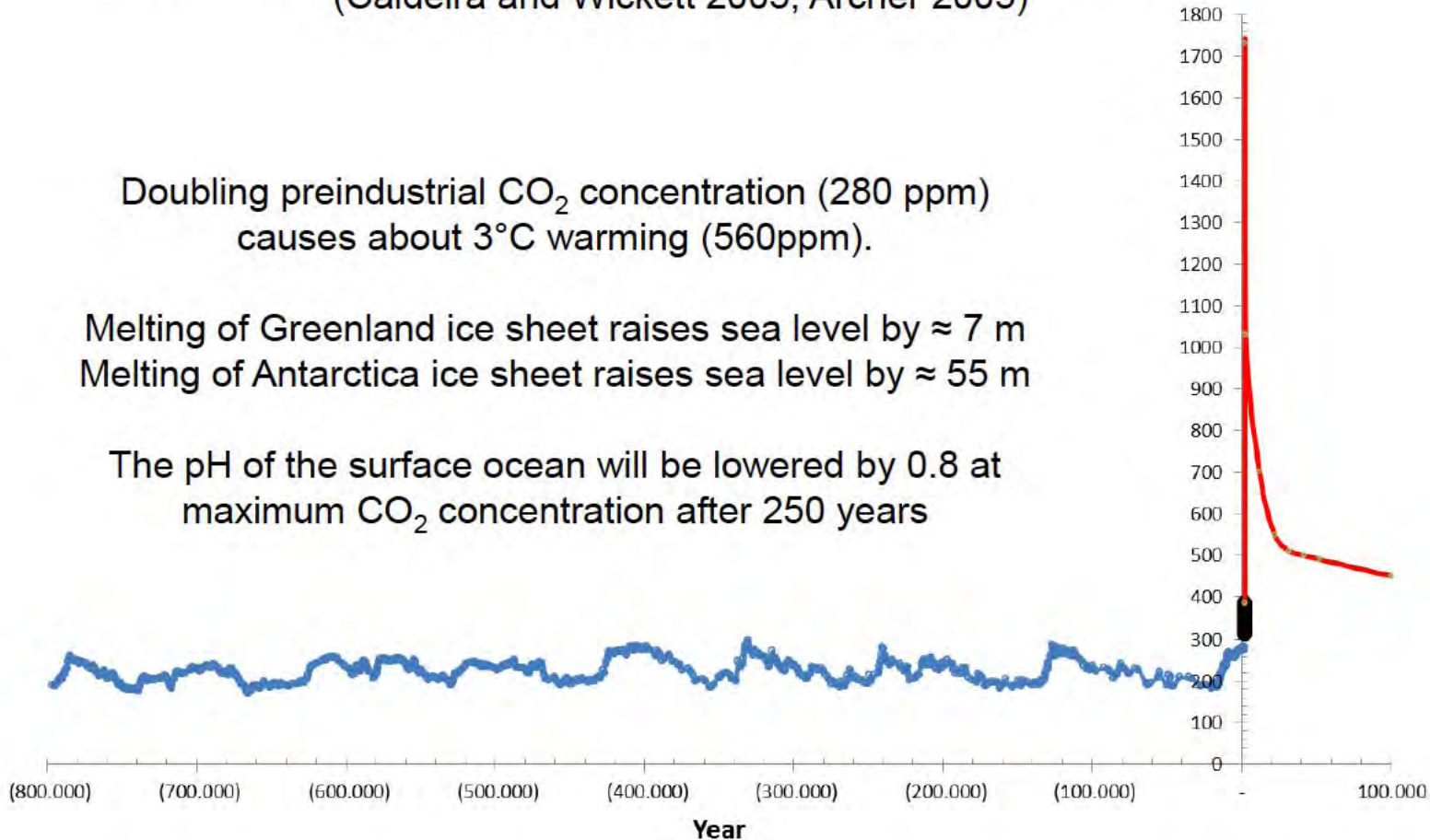
# I ara el gran problema: alterem el cicle del C

If we burn all fossil fuel (5000 GtC) at the current rate increase and do nothing about it, most of it will be finished in 250 years and all in 500 years  
(Caldeira and Wickett 2003; Archer 2005)

Doubling preindustrial CO<sub>2</sub> concentration (280 ppm) causes about 3°C warming (560ppm).

Melting of Greenland ice sheet raises sea level by ≈ 7 m  
Melting of Antarctica ice sheet raises sea level by ≈ 55 m

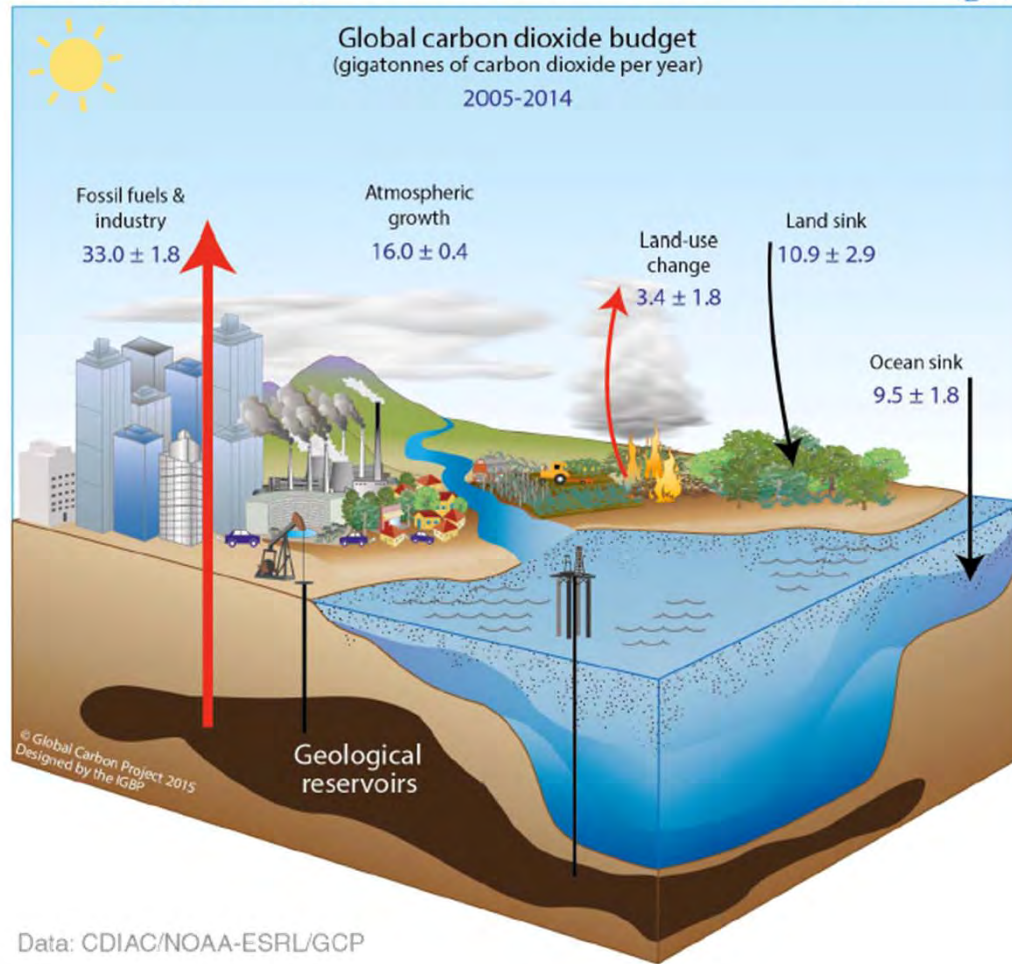
The pH of the surface ocean will be lowered by 0.8 at maximum CO<sub>2</sub> concentration after 250 years



Archer 2005; R. F. Keeling et al. (2012); Eyring et al., 1996; MacFarling Meure et al., 2006; Monnin et al. 2001; Petit et al. 1999; Pepin et al. 2001; Raynaud et al. 2005; Siegenthaler et al. 2005; Lüthi et al. 2008

# Al final el resultat global és el que és...

Perturbation of the global carbon cycle caused by anthropogenic activities, averaged globally for the decade 2005–2014 (GtCO<sub>2</sub>/yr)

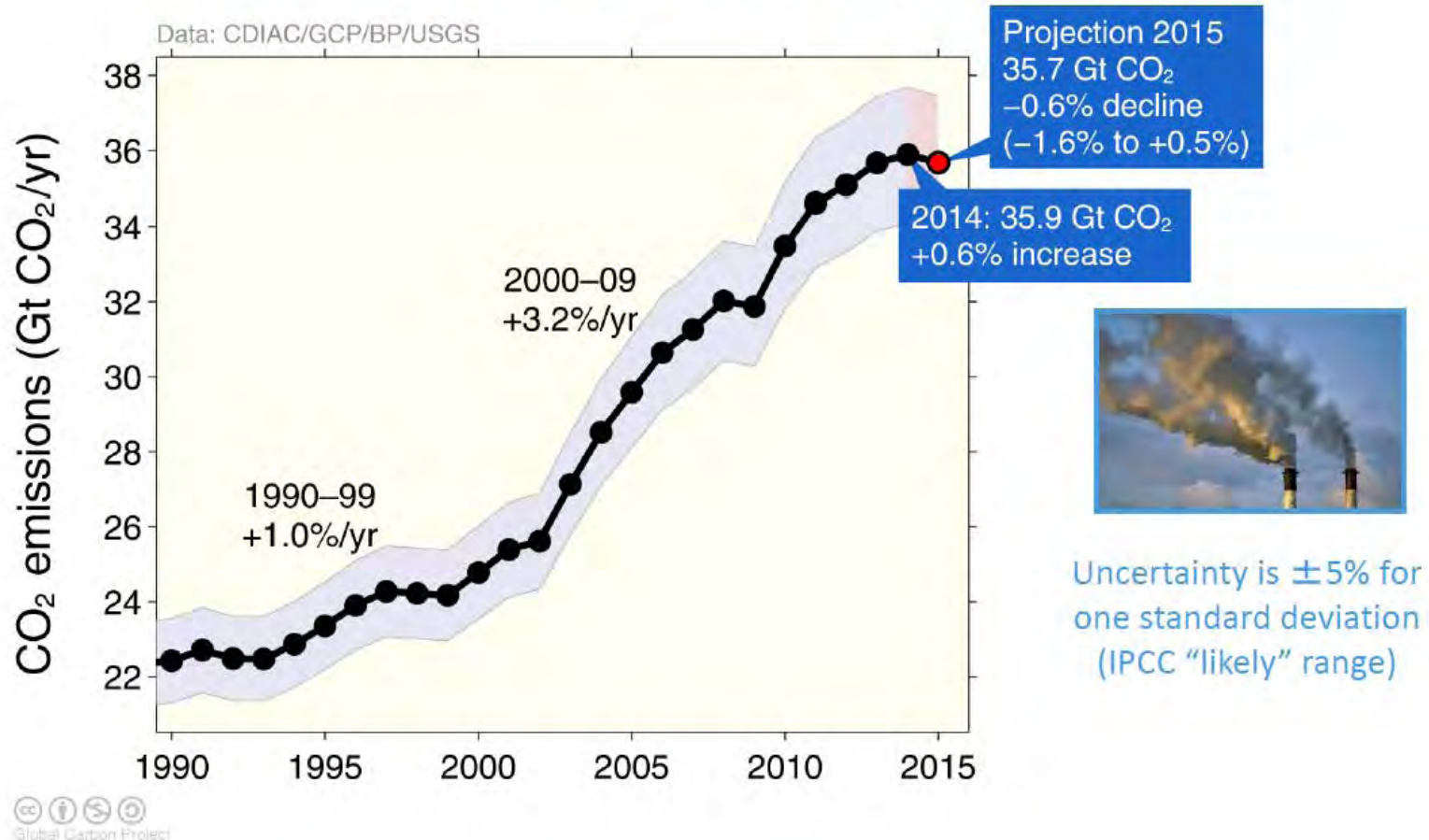


Source: [CDIAC](#); [NOAA-ESRL](#); [Le Quéré et al 2015](#); [Global Carbon Budget 2015](#)

# Evolució emissions CO<sub>2</sub> (indústria i combustibles)

Global emissions from fossil fuel and industry:  $35.9 \pm 1.8$  GtCO<sub>2</sub> in 2014, 60% over 1990

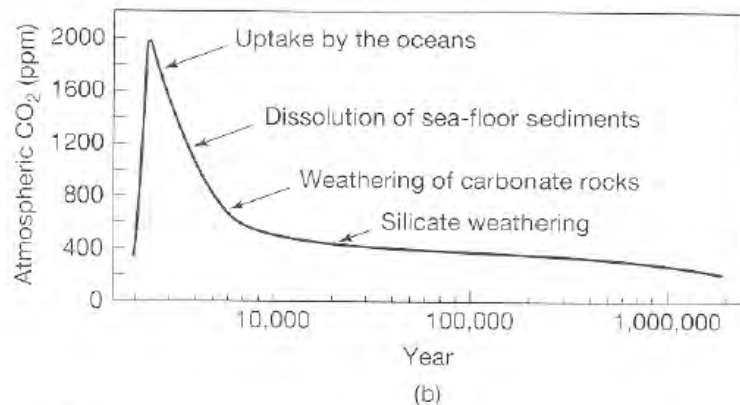
● Projection for 2015:  $35.7 \pm 1.8$  GtCO<sub>2</sub>, 59% over 1990



Estimates for 2012, 2013, 2014, and 2015 are preliminary  
Source: [CDIAC](#); [Le Quéré et al 2015](#); [Global Carbon Budget 2015](#)

**Box 6.1, Table 1** | The main natural processes that remove CO<sub>2</sub> consecutive to a large emission pulse to the atmosphere, their atmospheric CO<sub>2</sub> adjustment time scales, and main (bio)chemical reactions involved.

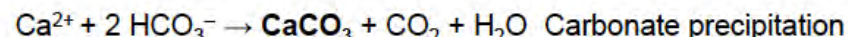
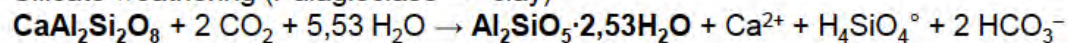
Processes	Time scale (years)	Reactions
Land uptake: Photosynthesis–respiration	1–10 <sup>2</sup>	6CO <sub>2</sub> + 6H <sub>2</sub> O + photons → C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub> + 6O <sub>2</sub> C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub> + 6O <sub>2</sub> → 6CO <sub>2</sub> + 6H <sub>2</sub> O + heat
Ocean invasion: Seawater buffer	10–10 <sup>3</sup>	CO <sub>2</sub> + CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> + H <sub>2</sub> O ⇌ 2HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Reaction with calcium carbonate	10 <sup>3</sup> –10 <sup>4</sup>	CO <sub>2</sub> + CaCO <sub>3</sub> + H <sub>2</sub> O → Ca <sup>2+</sup> + 2HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Silicate weathering	10 <sup>4</sup> –10 <sup>6</sup>	CO <sub>2</sub> + CaSiO <sub>3</sub> → CaCO <sub>3</sub> + SiO <sub>2</sub>



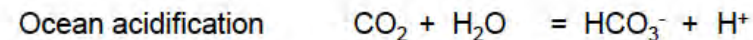
**BOX FIGURE 13-2**

Long-term projections for atmospheric CO<sub>2</sub> for (a) the next 3000 years and (b) the next several million years. The total amount of fossil fuel consumed is equivalent to 4200 Gton (C). (After Walker and Kasting, *Global and Planetary Change*, 97:151. Elsevier, NY: 1992.)

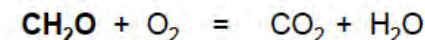
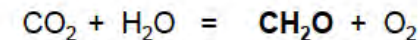
Silicate weathering (Palagioclase → clay)



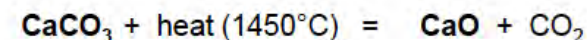
IPPC report 2014  
<http://www.ipcc.ch/>



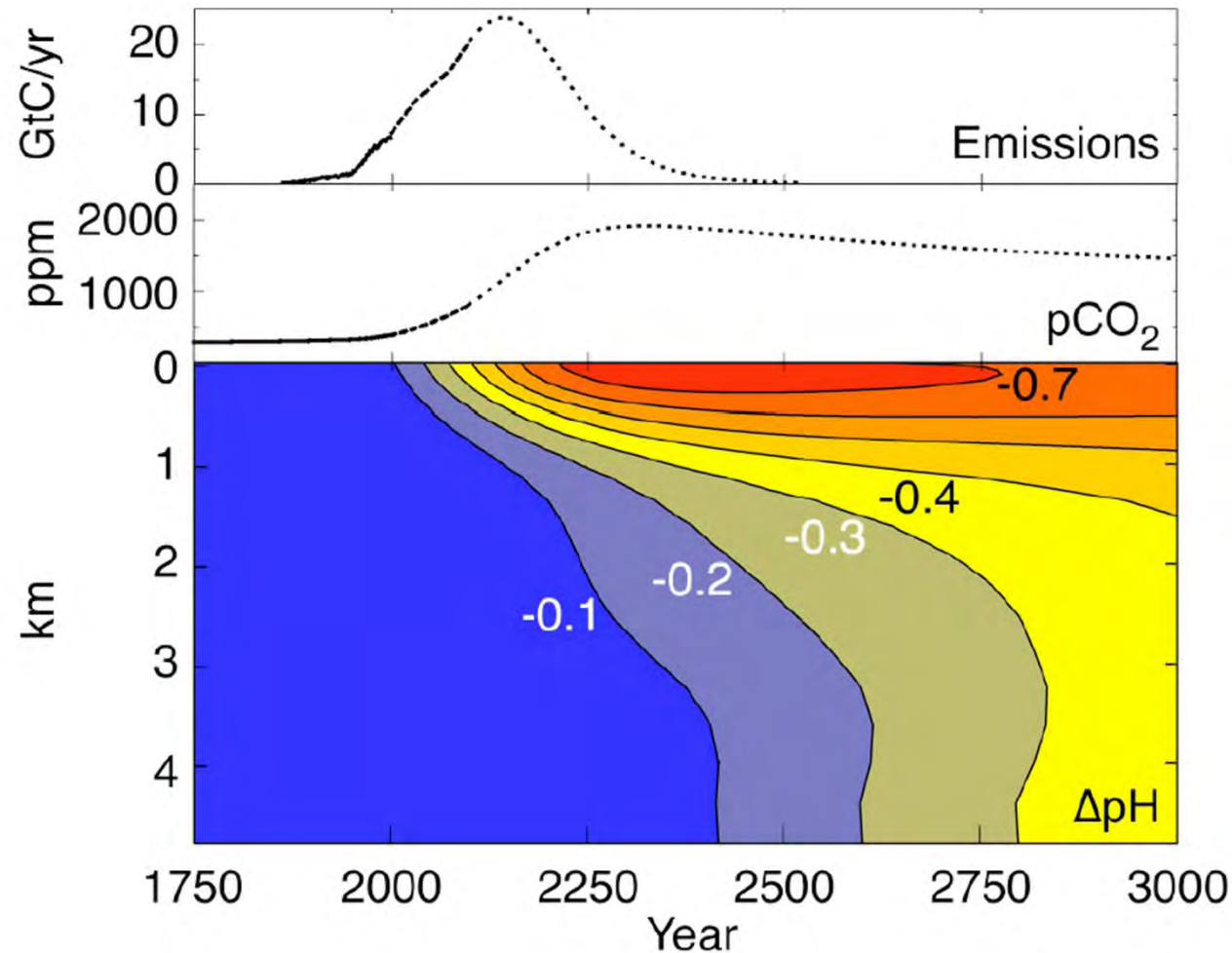
Simplified photosynthesis-respiration



Cement production



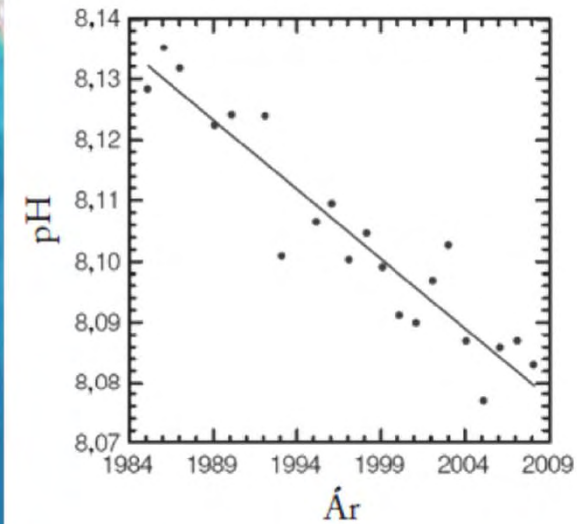
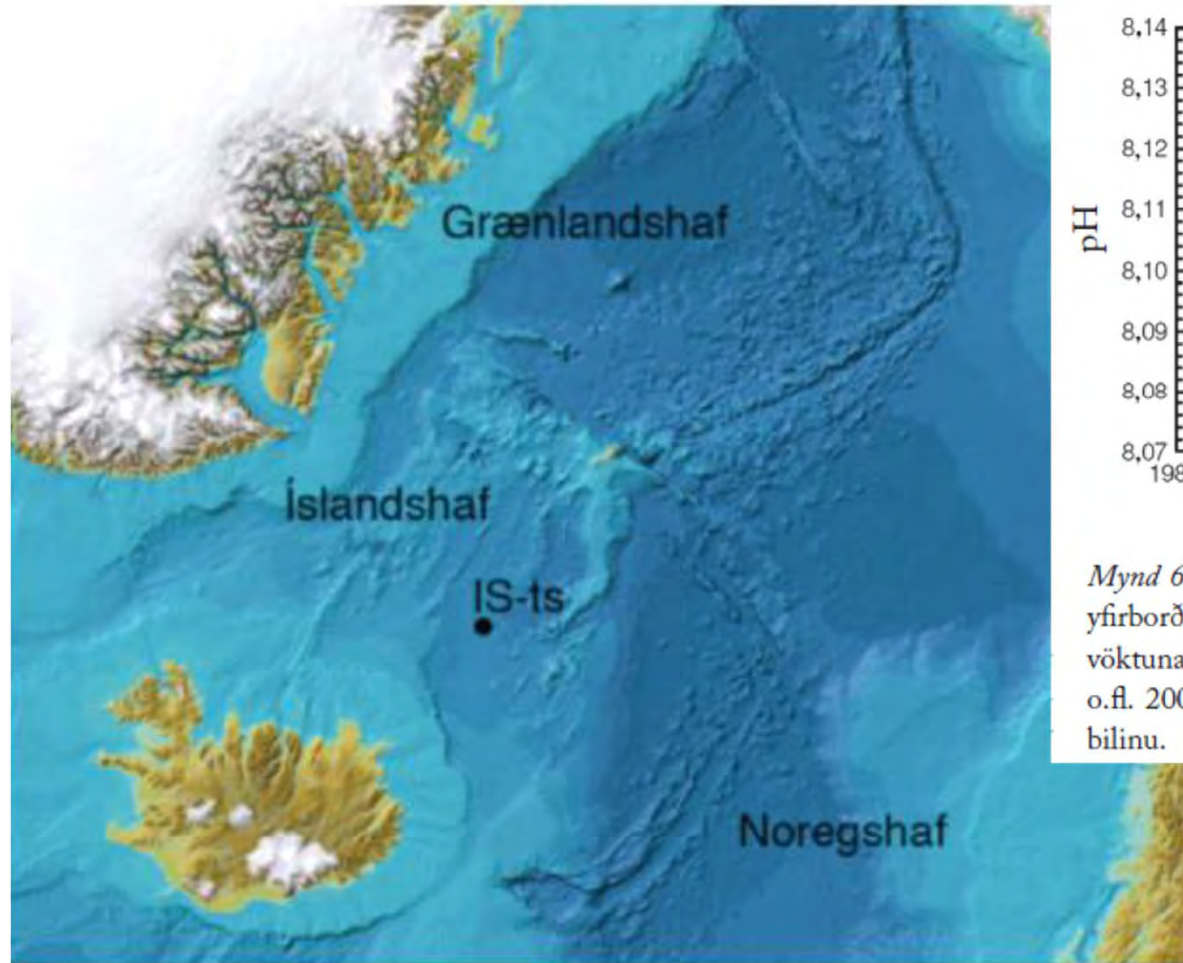
## I ara un altre gran problema: alterem el cicle del C...i té conseqüències



Caldeira and Wickett, Nature 2003

**FIGURE 2** Model simulations of long-term changes in ocean pH, averaged horizontally, as a result of the  $\text{CO}_2$  emissions shown in the top panel.  $p\text{CO}_2$  is the atmospheric concentration of  $\text{CO}_2$ .

## I ara un altre gran problema: alterem el cicle del C...i té conseqüències

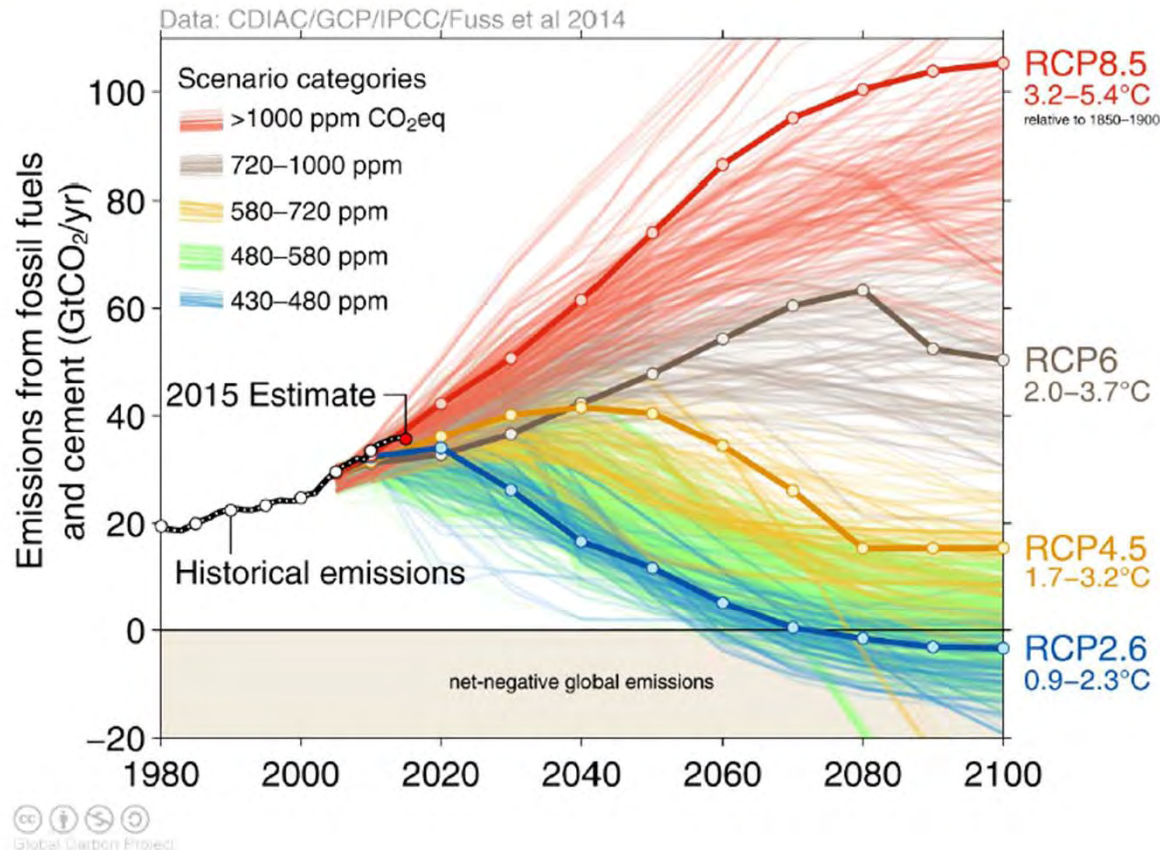


Mynd 6-3 Þróun pH-gildis að vetri til í yfirborðslögum sjávar norður af Íslandi á vöktunarstöð Is-ts á mynd 6-2 (Olafsson o.fl. 2009). Sjórinn hefur súrnað á tímabilinu.

Mynd 6-2 Staðsetning sýnatökustaðarins IS-ts þar sem styrkur koltvíoxíðs og pH-gildi sjávar hafa verið vöktuð frá 1985 til 2008 (Olafsson o.fl. 2009). — Mynd af bls. 56.

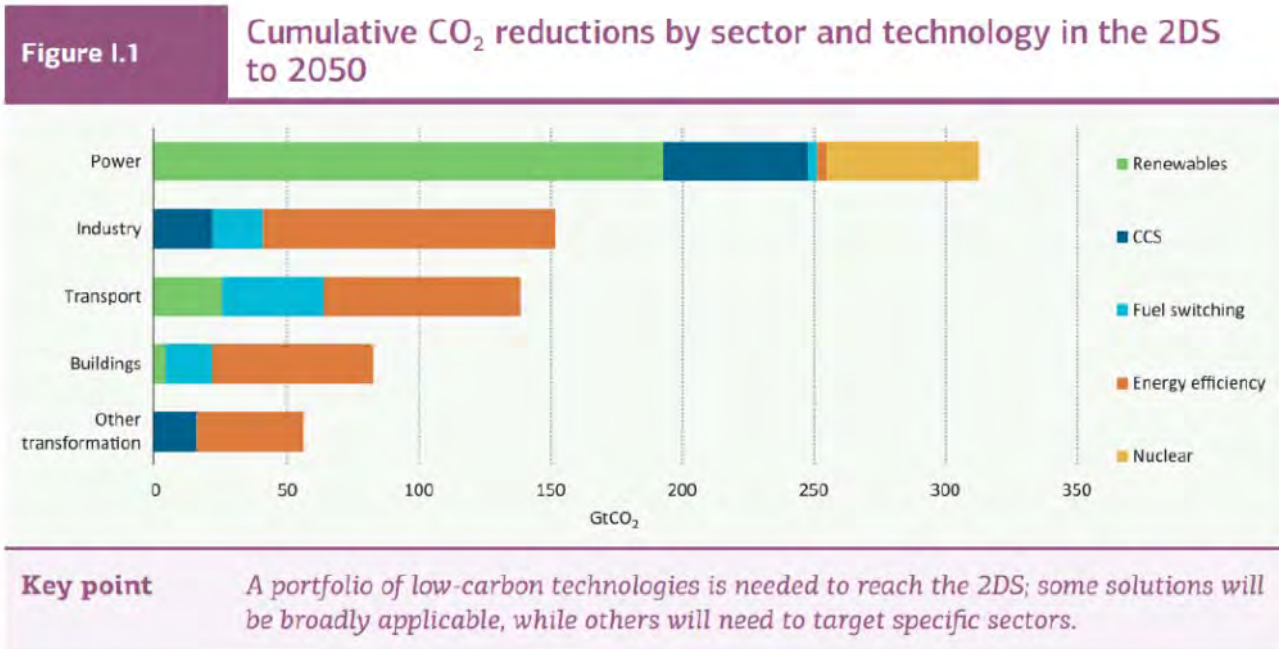
# I com pinta el futur?

The emission pledges submitted to the Paris climate summit avoid the worst effects of climate change (red), most studies suggest a likely temperature increase of about 3°C (brown)



Over 1000 scenarios from the IPCC Fifth Assessment Report are shown  
Source: [Fuss et al 2014](#); [CDIAC](#); [Global Carbon Budget 2015](#)

# Com afromtem aquest repte?



IEA, 2015. Energy technology perspectives 2015, Paris: OECD/IEA.  
2DS = 2°C Senario

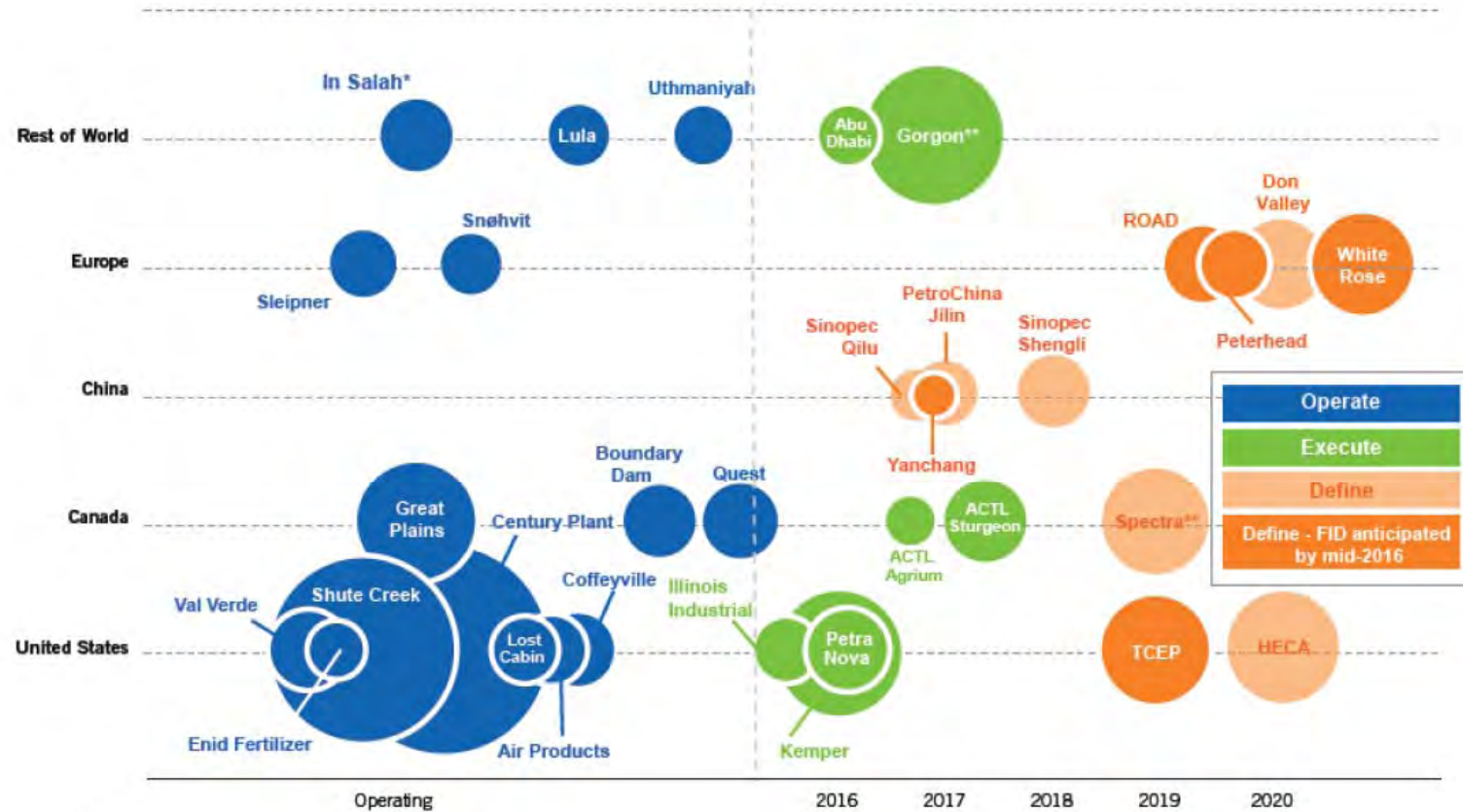


## Com afrontem aquest repte des de la geoquímica?

- Bàsicament podem contribuir en tres de les grans tecnologies per mitigar emissions
  - CCS (Captura i Emmagatzematge Geològic de CO<sub>2</sub>)
  - Renovables (Geotèrmia)
  - Nuclear (Emmagatzematge Geològic Profund)

# La contribució del CCS

**Figure 4** Actual and expected operation dates for large-scale CCS projects in the Operate, Execute and Define stages by region and project lifecycle stage



○ = 1Mtpa of CO<sub>2</sub> (area of circles proportional to capacity)

\* Injection currently suspended

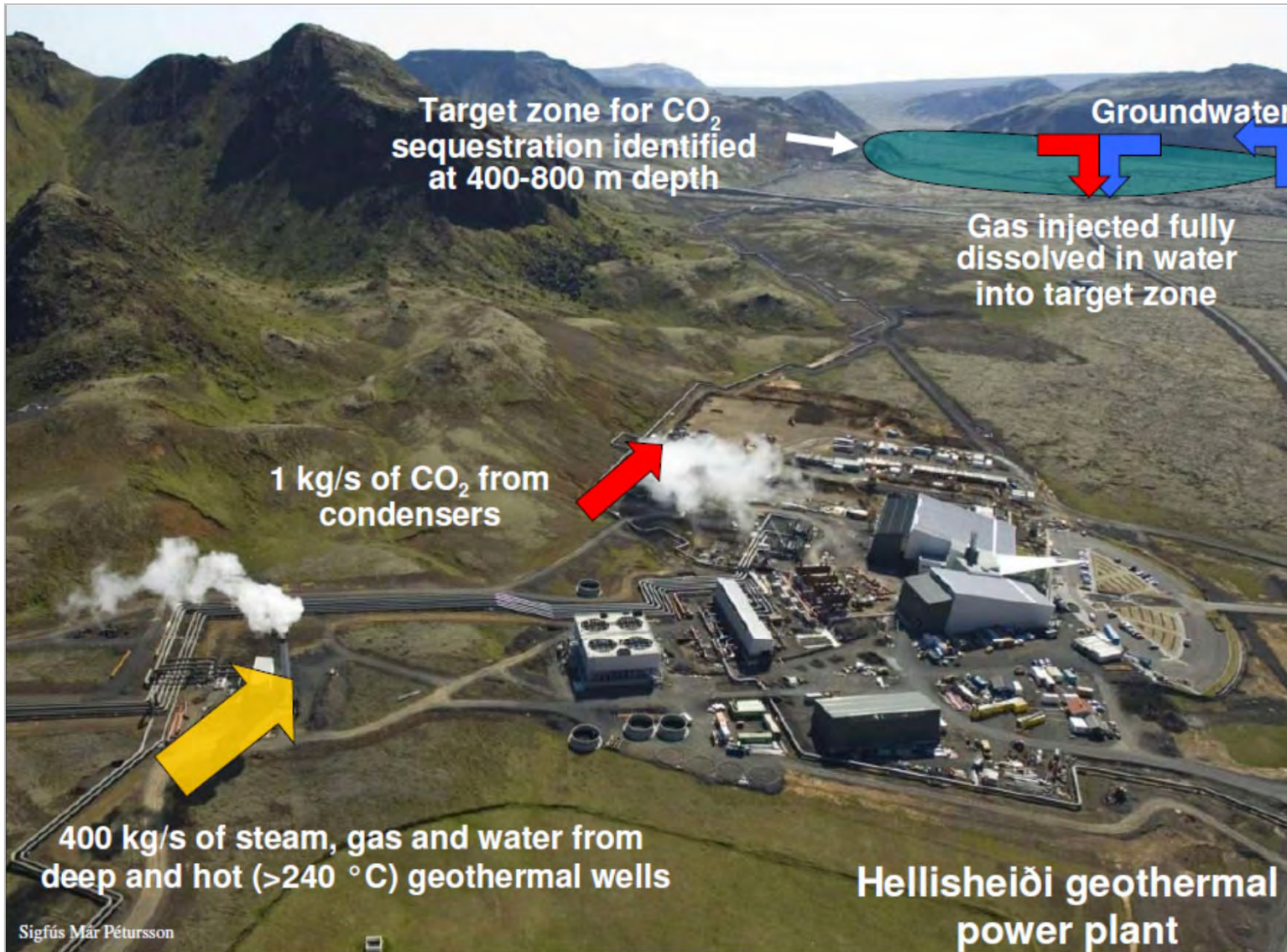
\*\* Institute estimate of start date

# El Projecte CIUDEN



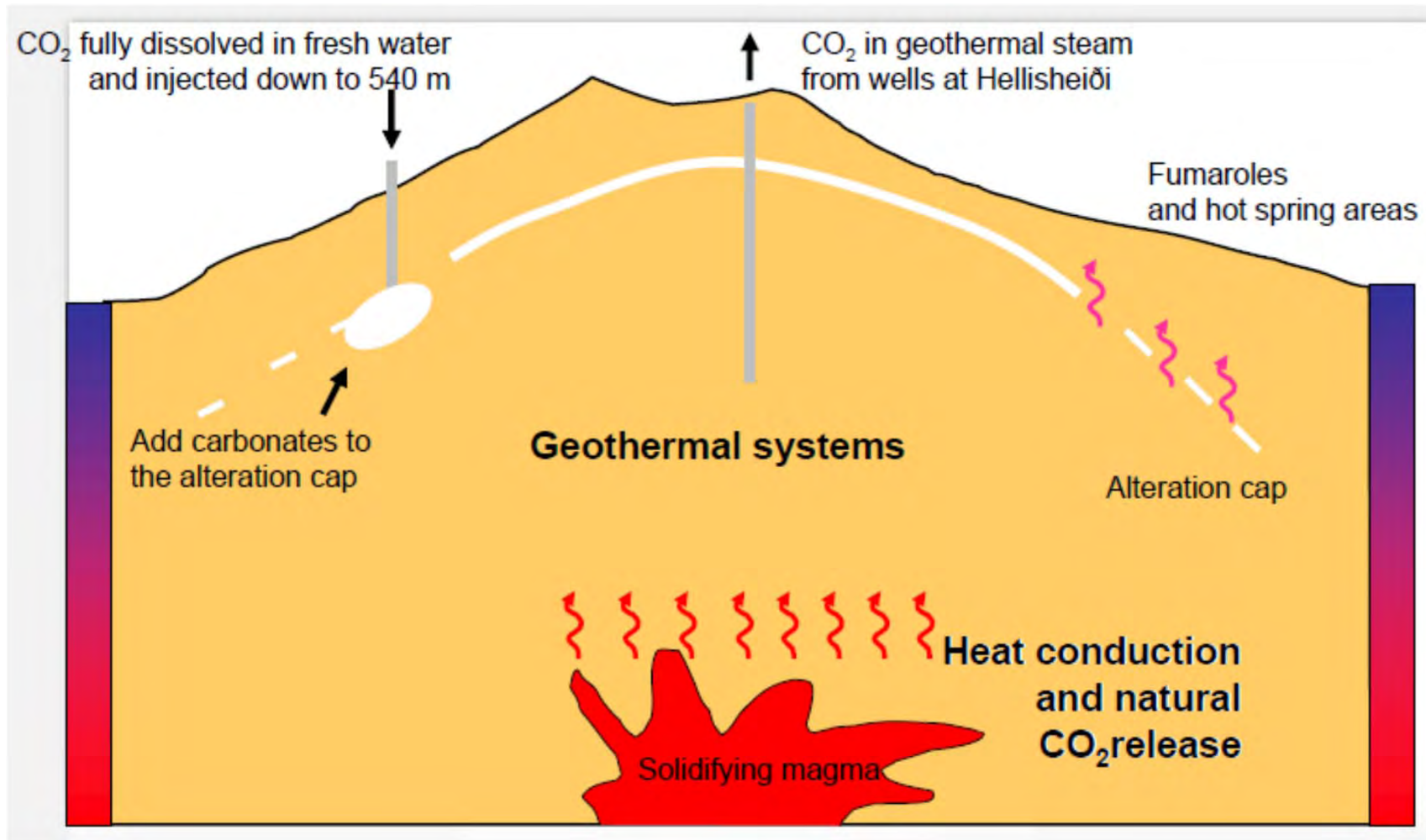
# Processos en magatzem. Reaccions de carbonatació

- Projecte CARB-FIX (Islàndia)



# Processos en magatzem. Reaccions de carbonatació

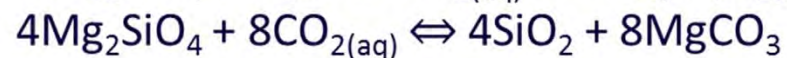
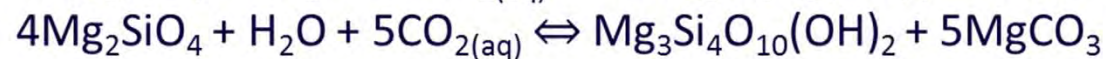
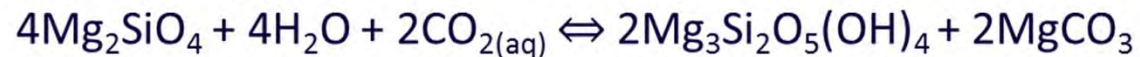
- Projecte CARB-FIX (Islàndia)



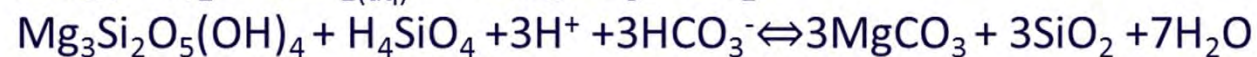
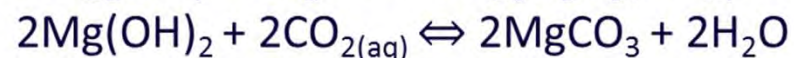
## Processos en magatzem. Reaccions de carbonatació

- Projecte CARB-FIX (Islàndia). Reaccions esperades:

Reacciones *primarias*:

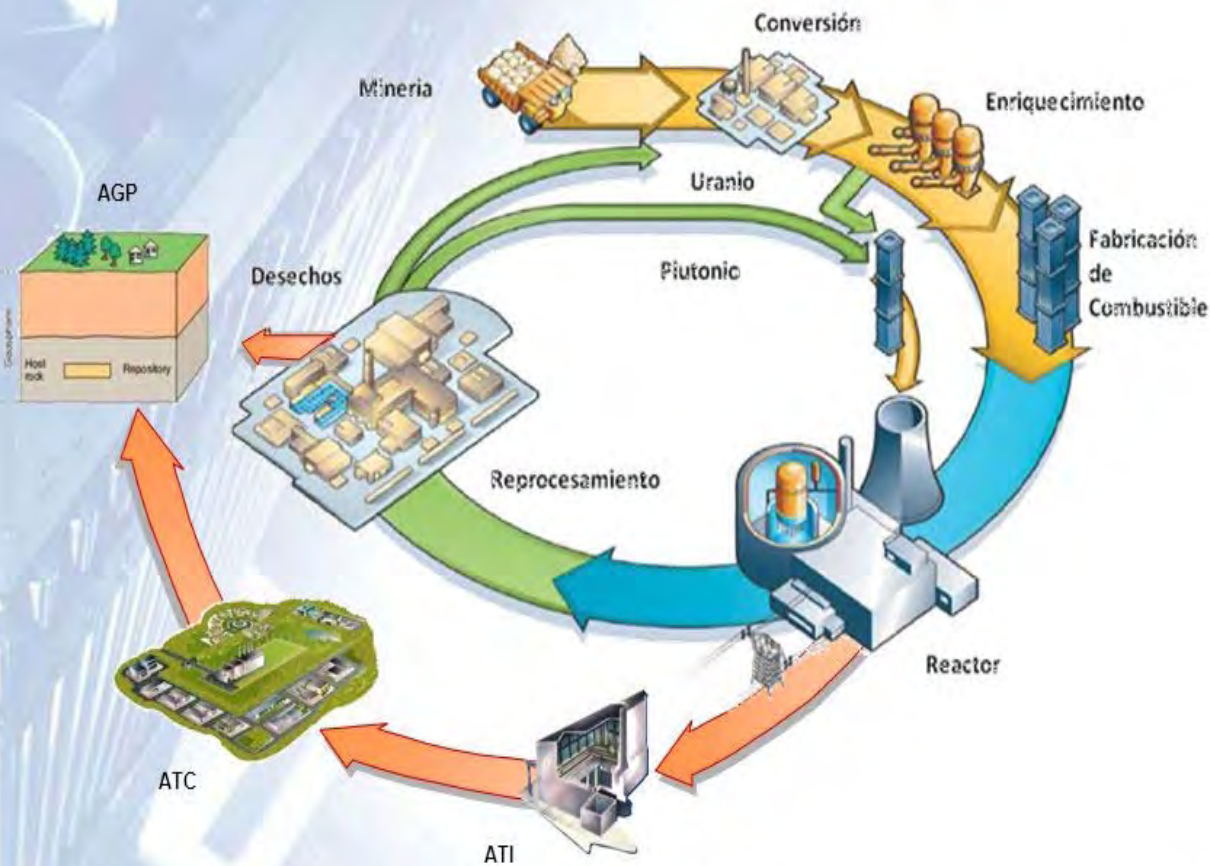


Reacciones *secundarias*:



# La geoquímica en el ciclo nuclear

## CICLO DEL COMBUSTIBLE NUCLEAR



# Estudi dels passius d'urani de les mines d'urani de Arlit (Niger)

## Areva Mines

- Estudi per definir una estratègia d'emmagatzematge de residus miners a curt i llarg termini. Inclou un estudi del passiu ambiental.

Amphos 21 va liderar l'estudi de la hidrogeologia i el treball de camp





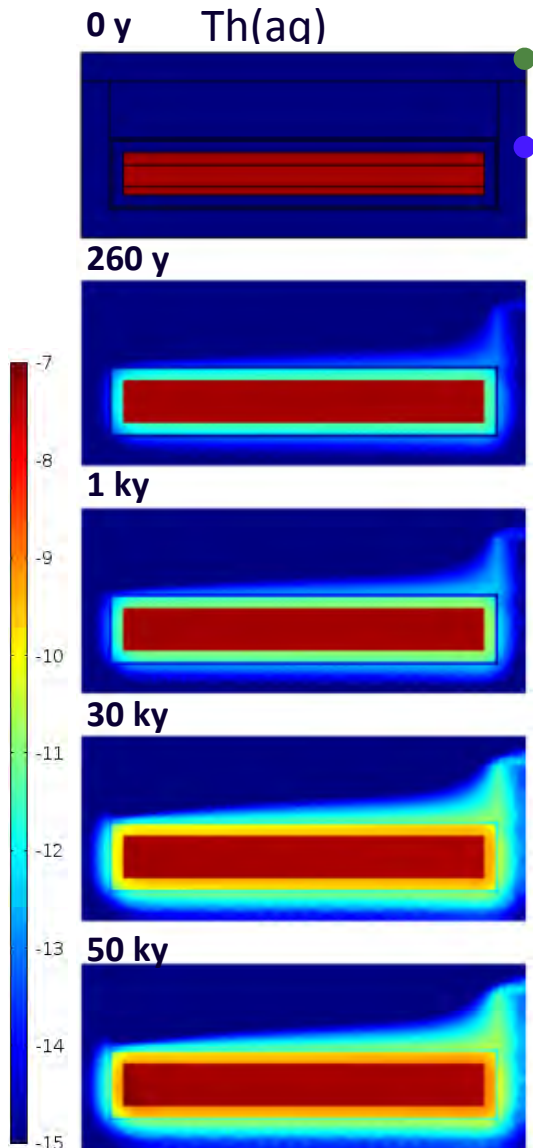
## Comportament a llarg termini de U i Th en les basses de decantació B1 i B2 d'una planta de conversió de U

- Basses de decantació B1B2: no operacionals - els residus es troben en emmagatzematge temporal
- Assessorament en la gestió dels llots a llarg termini i estudi del material

### B1B2 Basins

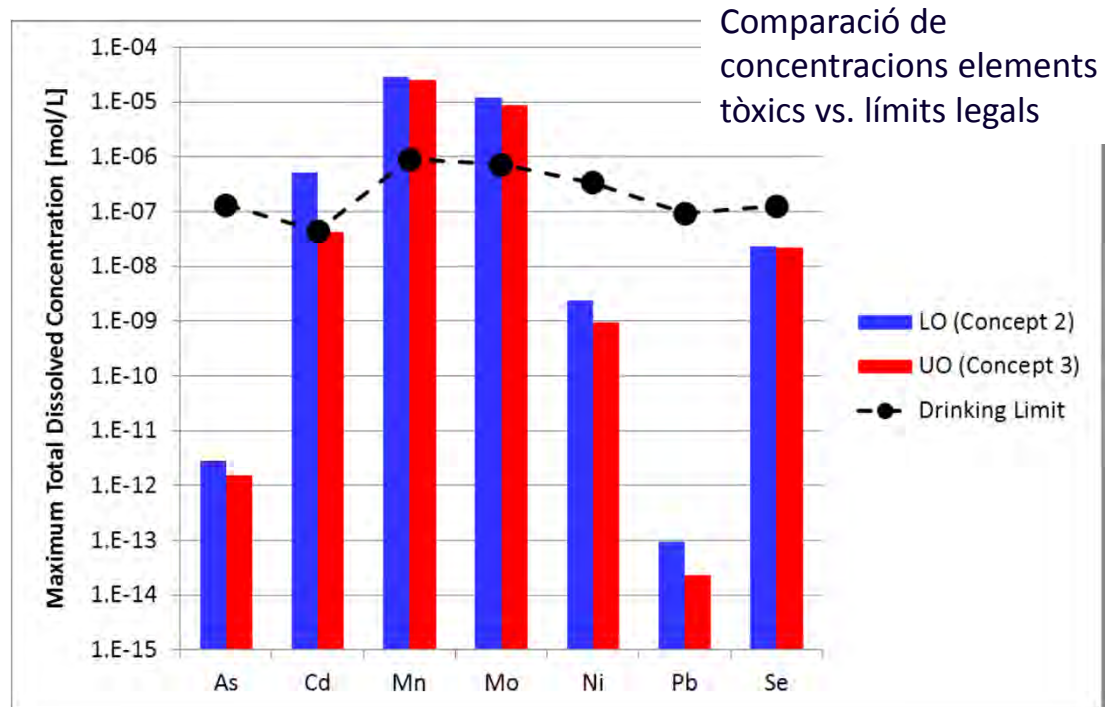


# Avaluació de les 3 opcions de gestió dels residus d'una fàbrica de processament de yellow cake mitjançant Transport Reactiu



Estudi de

- U, Th, Ra, Rn
- As, Cd, Mn, Mo, Ni, Pb y Se
- Càlcul de dosi radiològica i comparació amb límits legals



# El Futur de la Geoquímica

- Segueix existint una forta demanda de professionals que sàpiguen afrontar reptes ambientals en el context de les Ciències de la Terra
- El coneixement quantitatiu dels processos que determinen els principals impactes ens ajuden a entendre el seu abast i les mesures necessàries per a la seva correcció i mitigació
- Existeix una gran demanda de geoquímics experts en l'àmbit de la mineria polimetàl·lica, especialment a Amèrica Llatina
- Els avanços en la implementació de l'Economia Circular per part de la UE generaran grans expectatives per a aquells que tinguin coneixement del cicle de metalls, tant en la geosfera com en la antroposfera



# AMPHOS<sup>21</sup>

SCIENTIFIC AND STRATEGIC ENVIRONMENTAL CONSULTING

## ESPAÑA

Paseo de García Faria, 49-51  
08019 Barcelona  
Tel.: +34 93 583 05 00

Paseo de la Castellana 40, 8ª Planta  
28046 Madrid  
Tel.: +34 620634729

## CHILE

Avda. Nueva Tajamar, 481  
WTC – Torre Sur – Of 1005  
Las Condes, Santiago  
Tel.: +562 2 7991630

## PERÚ

Jr. Pietro Torrigiano 396  
San Borja, Lima 41  
Tel.: +51 1 592 1275

## FRANCE

14, Avenue de l'Opéra  
75001 Paris  
Tel.: +33 645 766 322

