



- Laboratori de Radioactivitat Ambiental -
Universitat Autònoma de Barcelona
CATALUNYA



La descàrrega d'aigua subterrània als oceans: una font oculta de nutrients?

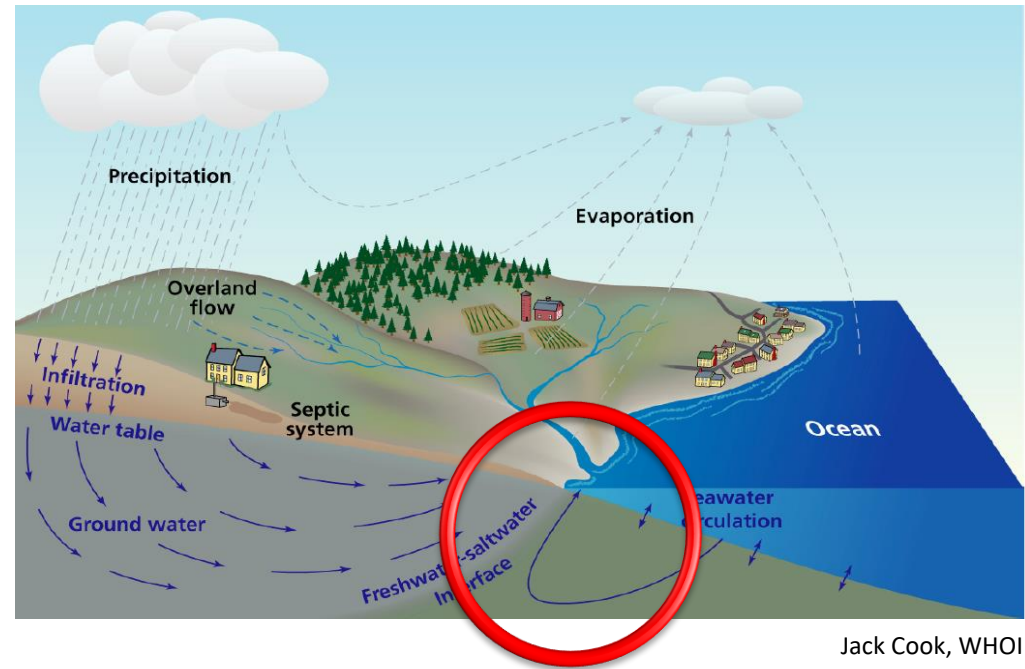
Jordi Garcia Orellana



Submarine Groundwater Discharge (SGD)

L'aigua subterrània és una ruta de transport comú entre la terra i el mar per a l'aigua dolça i els seus components químics associats.

Aquest procés ocorre a qualsevol lloc on existeixi un gradient hidràulic i existeixi una connectivitat entre l'aqüífer i el mar (Johannes, 1980).



Jack Cook, WHOI

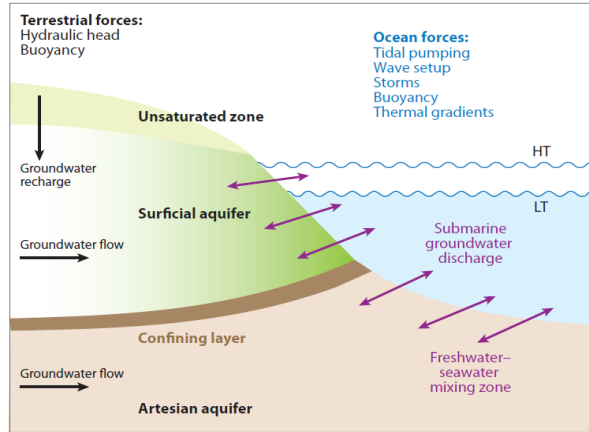
Definition of SGD

Submarine Groundwater Discharge (SGD) is the flow of water through continental margins from the seabed to the coastal ocean, *with scale lengths of meters to kilometers*, regardless of fluid composition or driving force
(Moore, Ann. Rev., 2010).



Aquesta definició elimina l'intercanvi de l'aigua intersticial per processos biogeoquímics o de bioirrigació (PEX)

Definition of SGD



(Moore, Ann. Rev., 2010)

HYDROLOGICAL PROCESSES
Hydrol. Process. 16, 2115–2129 (2002)
 Published online in Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com). DOI: 10.1002/hyp.1145

Investigation of submarine groundwater discharge
 Makoto Taniguchi,^{1*} William C. Burnett,² Jaye E. Cable³ and Jeffrey V. Turner⁴
¹ Department of Earth Sciences, Nara University of Education, Takabatake-cho, Nara 639-8528, Japan
² Department of Oceanography, Florida State University, Tallahassee, FL 32306, USA
³ Department of Oceanography and Coastal Sciences, Louisiana State University, Baton Rouge, LA 70803, USA
⁴ Centre for Groundwater Studies, CSIRO Division of Land and Water, Private Bag, PO Wembley, WA 6014 Perth, Australia

$$\text{SGD} = \text{SFGD} + \text{RSGD}$$

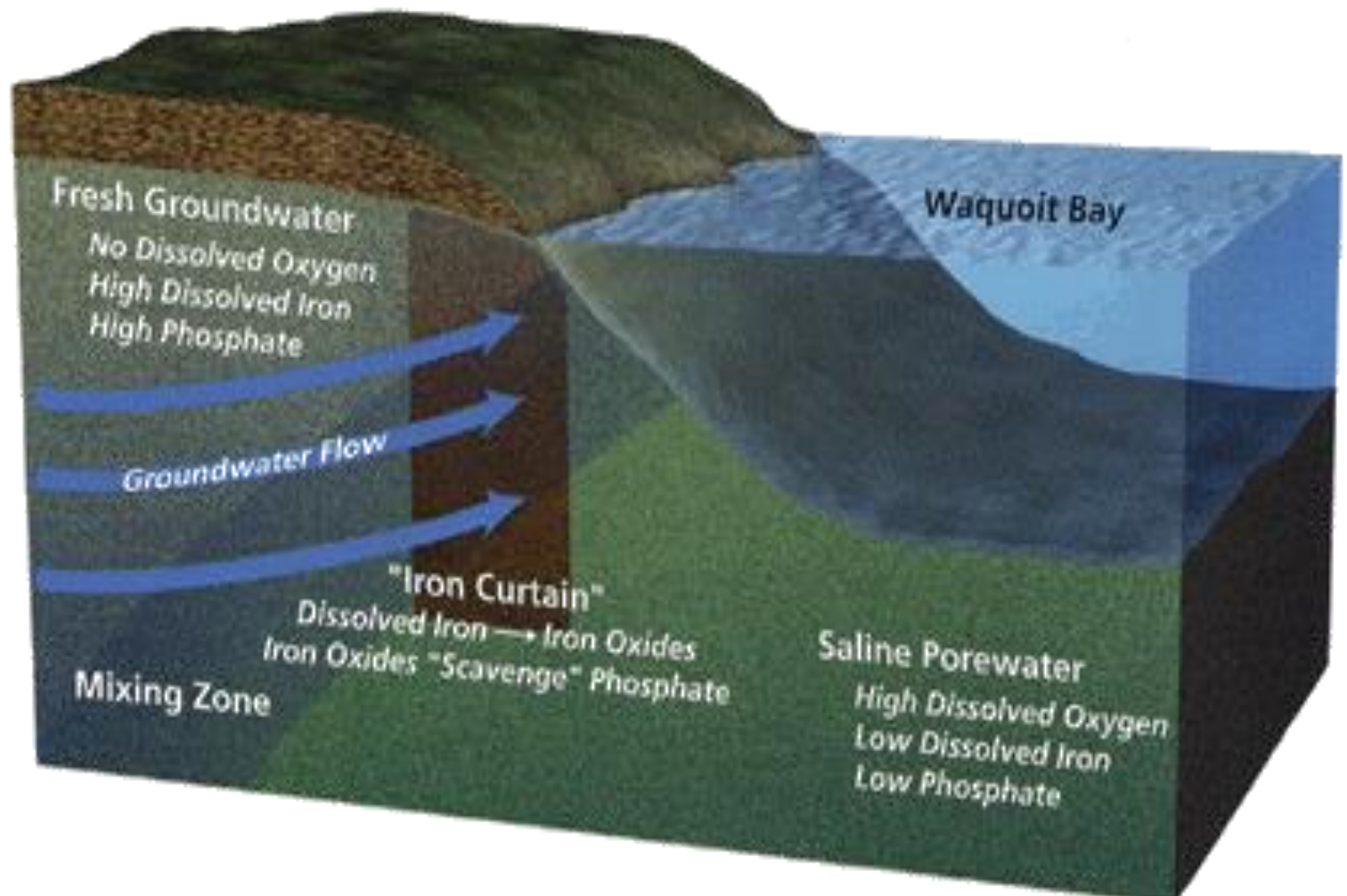


Descàrrega d'aigua subterrània dolça

Recirculació d'aigua en l'aqüífer

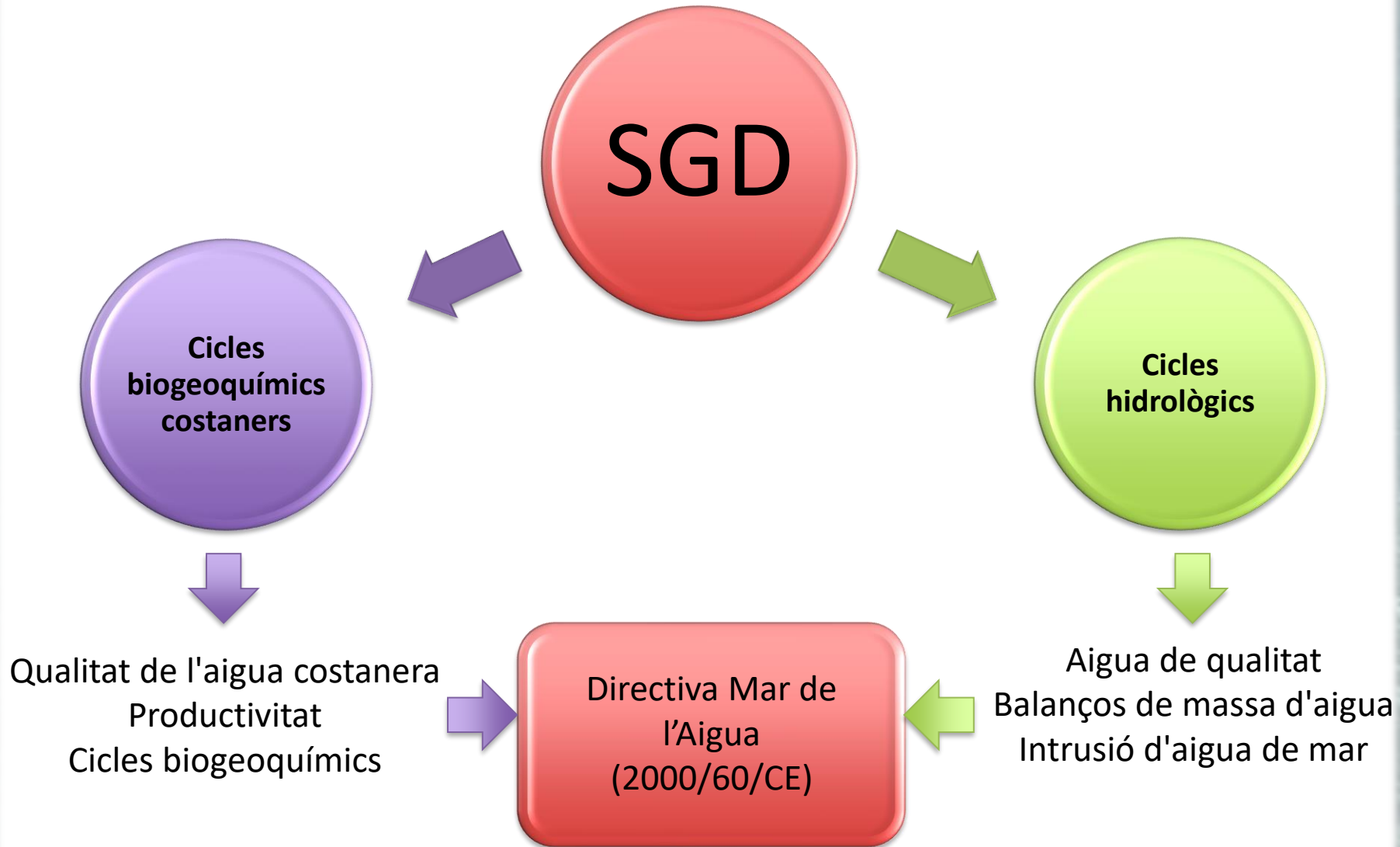
$$\text{RSGD} = \text{RSGD}_{\text{onatge}} + \text{RSGD}_{\text{mareja}} + \text{RSGD}_{\text{convecció}}$$

L'estuari subterrani

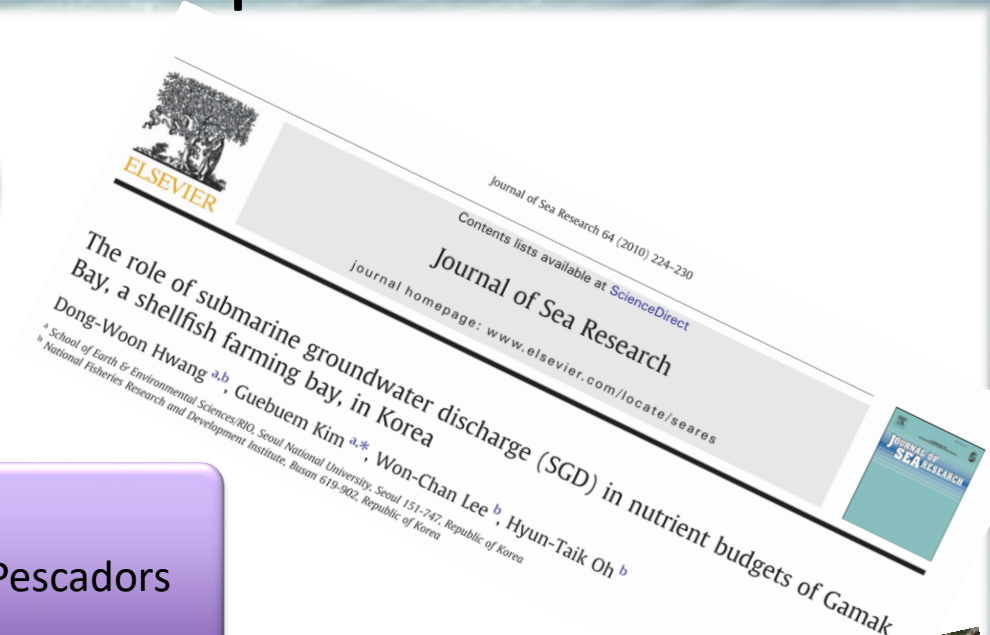


Importància de la SGD

Problemàtica de la proliferació d'algues en aigües costaneres



Science vs Social Science: policies



as en aigües costaneres
prolifer



SGD: Fets i nombres

- SGD representa entre 5-10% de les fonts d'aigua dolça al mar
- A l'Atlàntic, la SGD representa un 80-160% dels fluxos de rius a l'Oceà Atlàntic.
- En el Mar Mediterrani, es considera que la SGD representa 4.5 cops els fluxos dels rius.
- El transport dels compostos químics dissolts és molt més important que la descàrrega d'aigua.
- SGD és una entrada de nutrients:
(e.g. Fe, N, Si,...)



Moore, per. com.

Location of SGD

- Fonts visibles (coneixement popular)
- Anomalies de salinitat
- Vegetació
- Tomografia de resistivitat elèctrica
- Imatges aèries
- Imatges tèrmiques aèries

Location of SGD - Visible springs

Problemàtica de la proliferació d'algues en aigües costaneres



Platja d'Alcossebre(Castelló)

Serra d'Irta (Castelló)

Location of SGD - Vegetation

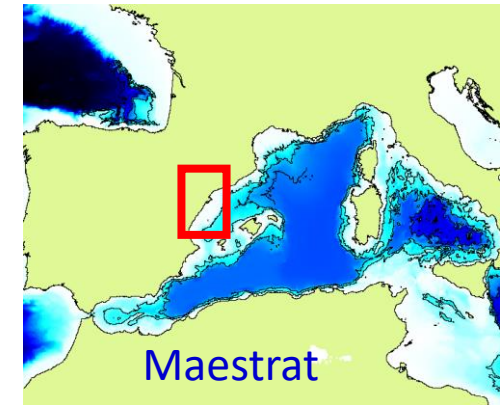
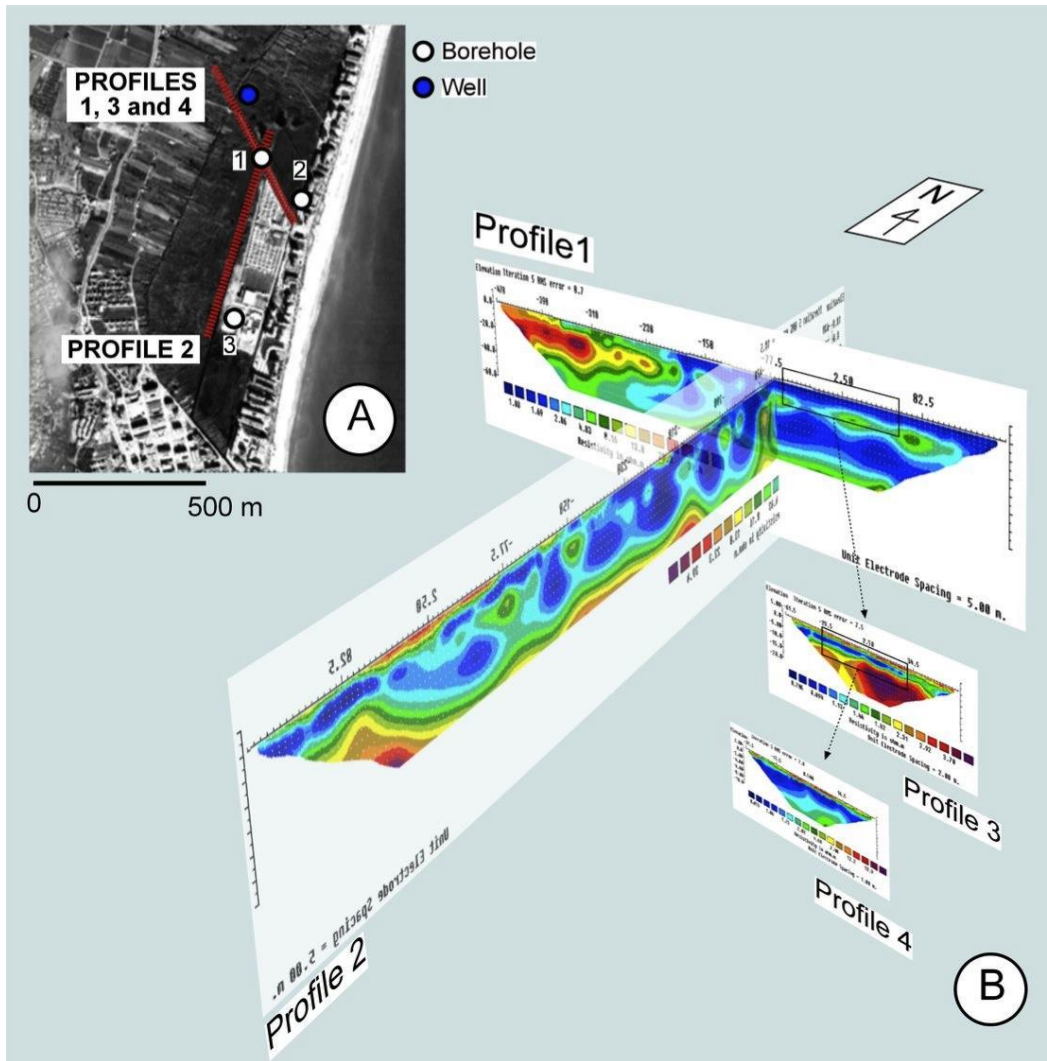
Problemàtica de la proliferació d'algues en aigües costaneres



Serra d'Irta (Castelló)

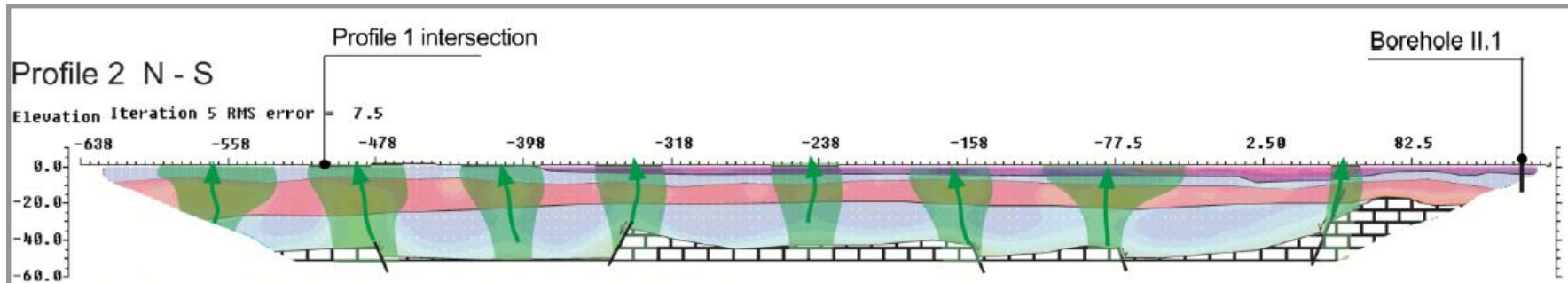
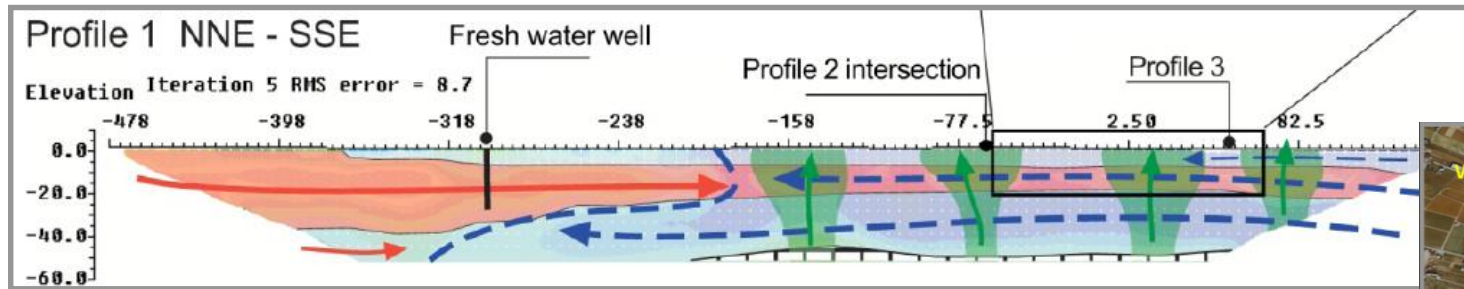
Location of SGD - ERT

Problemàtica de la proliferació d'algues en aigües costaneres



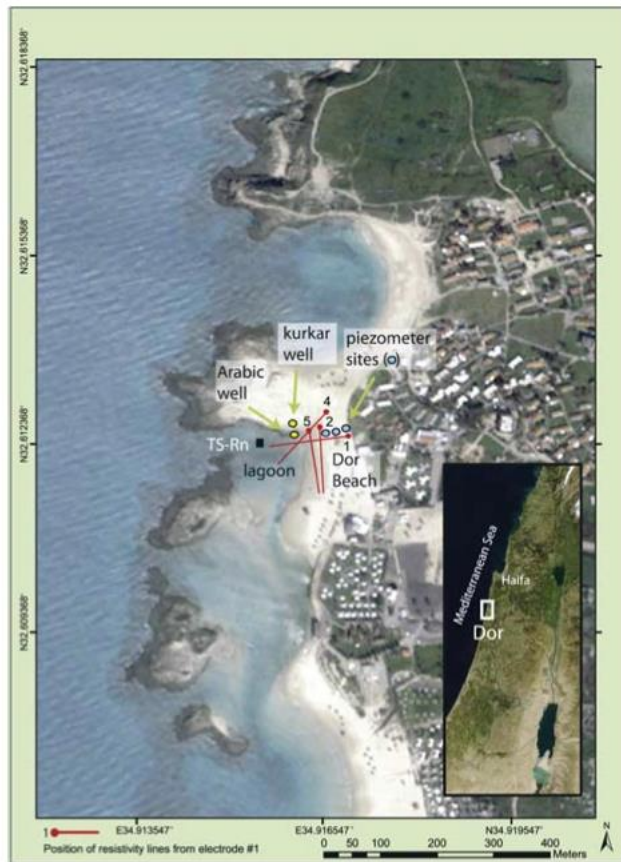
Location of SGD - ERT

Problemàtica de la proliferació d'algues en aigües costaneres

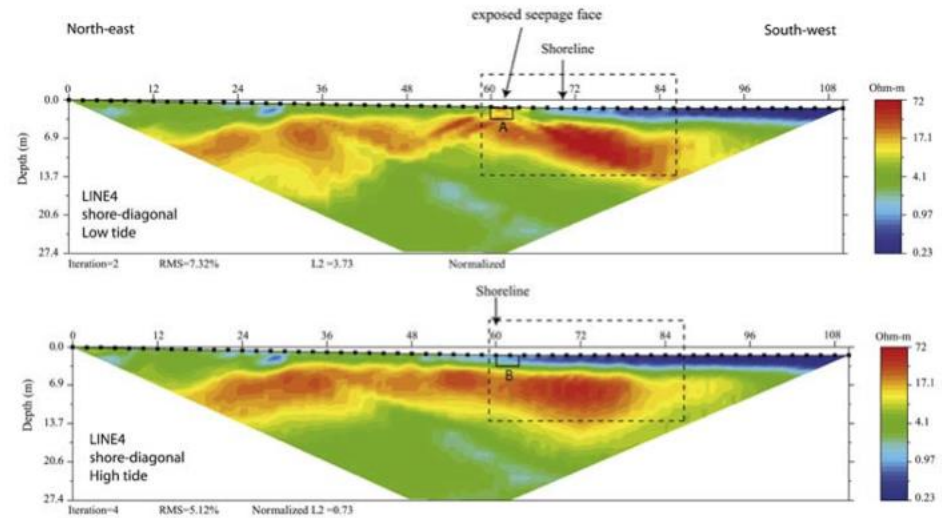


Location of SGD - ERT

Problemàtica de la proliferació d'algues en aigües costaneres



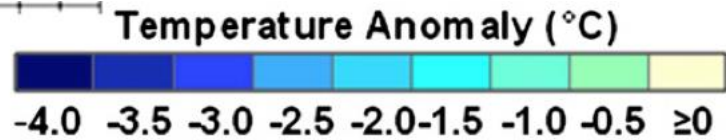
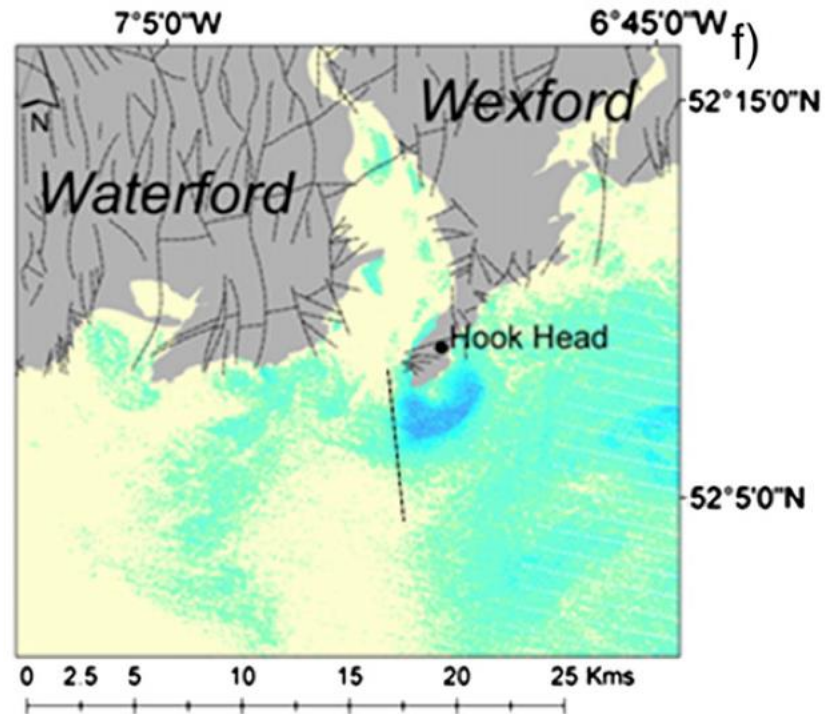
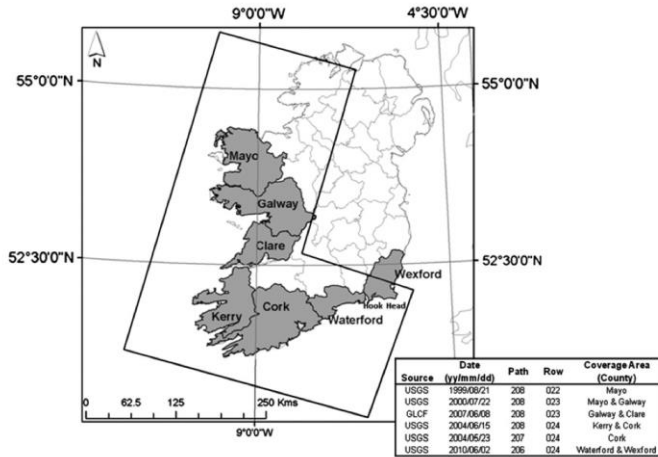
Swarzenski et al., (GRL, 2006)



One can in detail assess the impact of water level variations alone on the subsurface hydrogeology and fluid exchange processes across the sediment/water interface.

GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL. 33, L24405, doi:10.1029/2005GL020294
Combined time-series resistivity and geochemical tracer techniques to
examine submarine groundwater discharge at Dor Beach, Israel
P. W. Swarzenski,¹ W. C. Burnett,² W. J. Greenwood,³ B. N. Dimova,⁴ Y. Shalem,⁵ Y. Yechieli,⁶ and Y. Weinstein,⁷

Location of SGD - Satellite imagery



Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Remote Sensing of Environment

journal homepage: www.elsevier.com/locate/rse

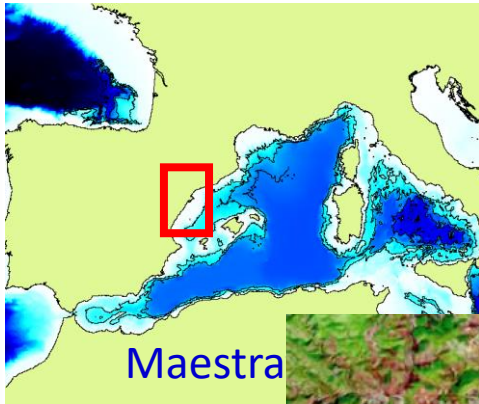


Regional scale assessment of Submarine Groundwater Discharge in Ireland
 combining medium resolution satellite imagery and geochemical tracing techniques
 Jean Wilson*, Carlos Rocha
 Biogeosciences Research Group, School of Natural Sciences, Geography Department, Trinity College Dublin, Dublin 2, Ireland

Problemàtica de la proliferació d'algues en aigües costaneres

Location of SGD - Thermal infrared imaging

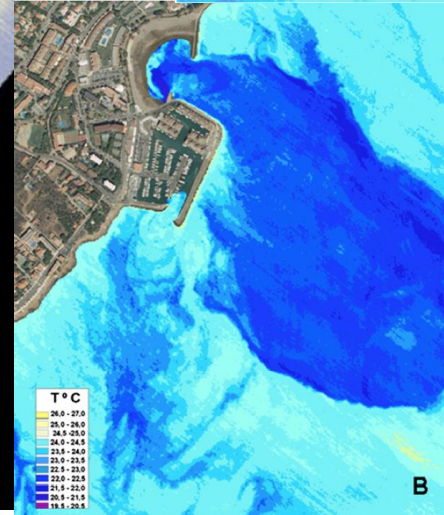
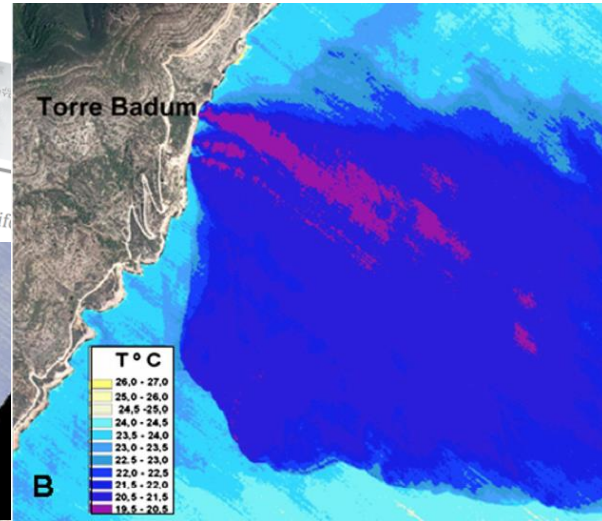
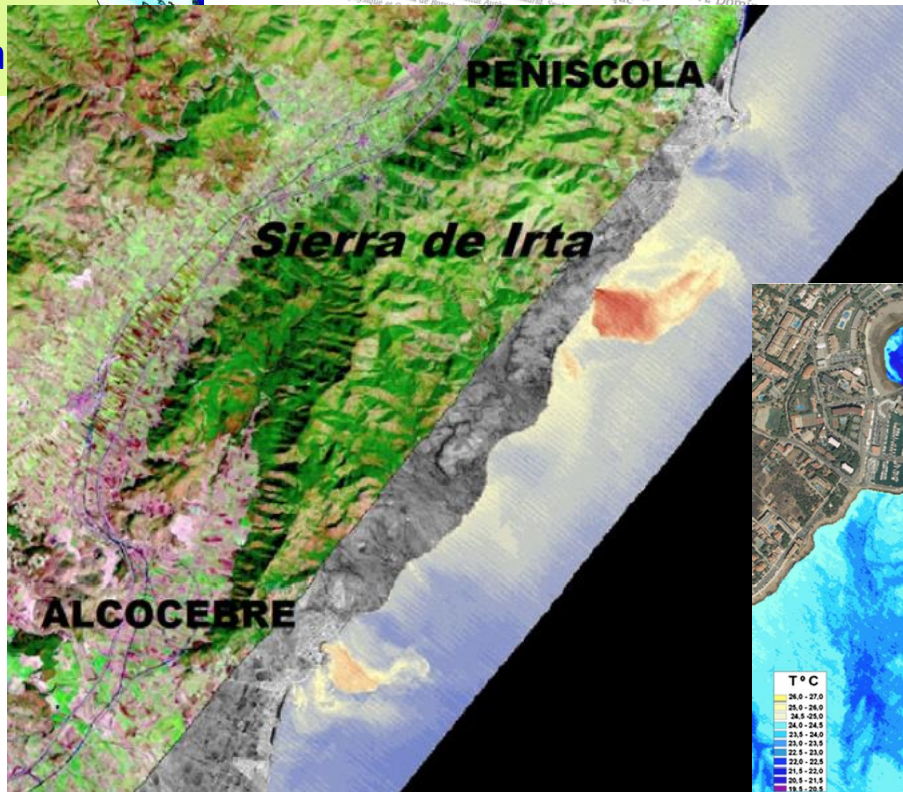
Problemàtica de la proliferació d'algues en aigües costaneres



ELSEVIER
Contents lists available at SciVerse ScienceDirect
Journal of Hydrology
journal homepage: www.elsevier.com/locate/jhydrol

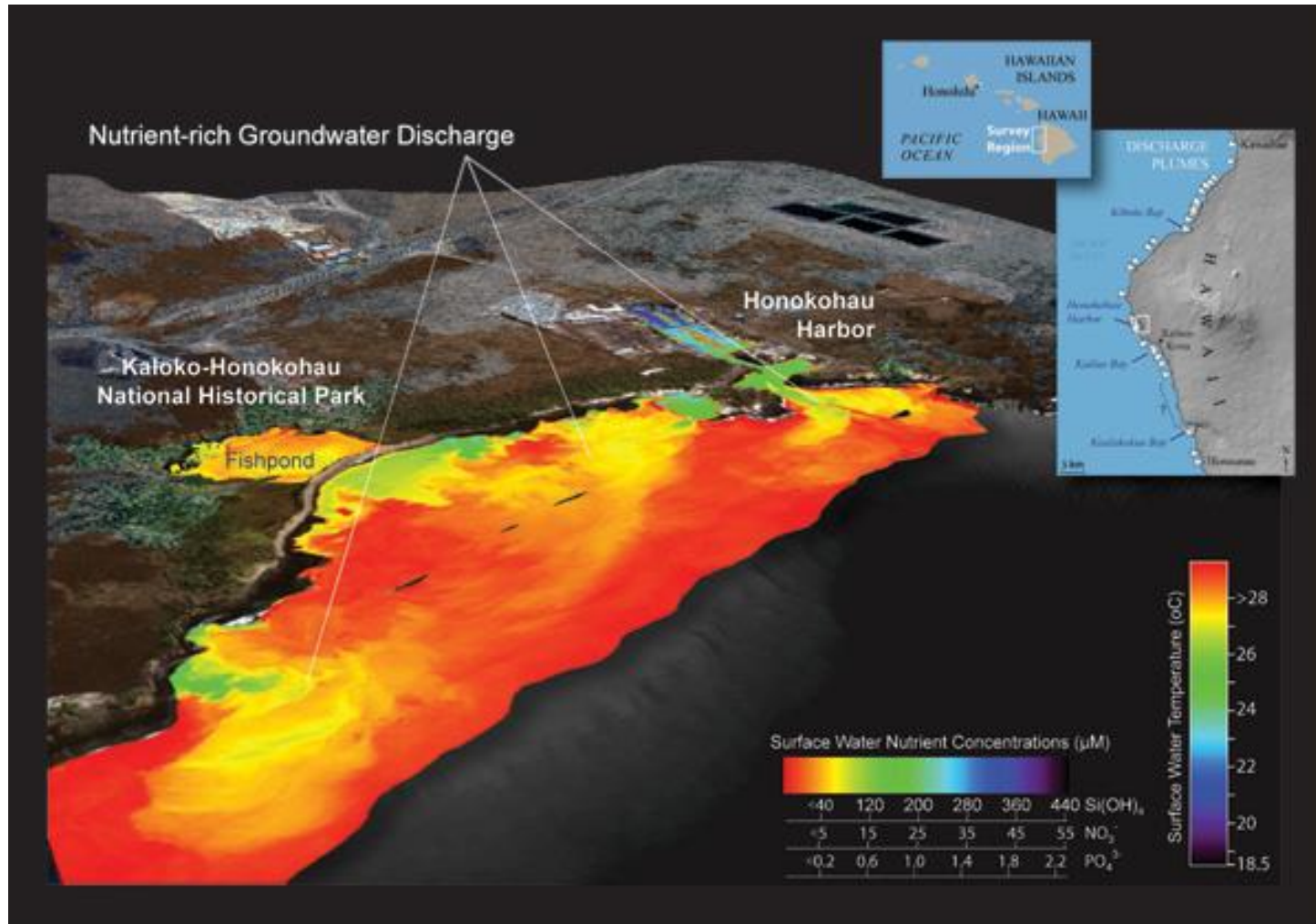
Methodological study of submarine groundwater discharge from a karstic aquifer in the Western Mediterranean Sea
Miguel Mejías ^{a,*}, Bruno J. Ballesteros ^a, Carmen Antón-Pacheco ^a, José A. Domínguez ^a, Jordi García-Orellana ^{b,c}, Ester García-Solsona ^d, Pere Masqué ^{b,c}

^a Instituto Geológico y Minero de España (IGME), Río Rosas, 23, 28003 Madrid, Spain
^b Institut de Ciència i Tecnologia Ambiental - ICTA, Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra, Spain
^c Departament de Física, Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra, Spain
^d Laboratori d'Estudi en Climatologia, Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra, Spain



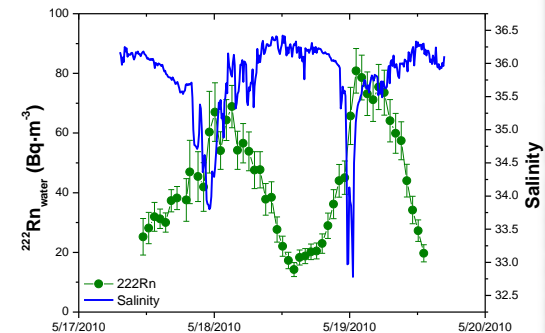
Mejías et al., (2012)

Location of SGD - Thermal infrared imaging

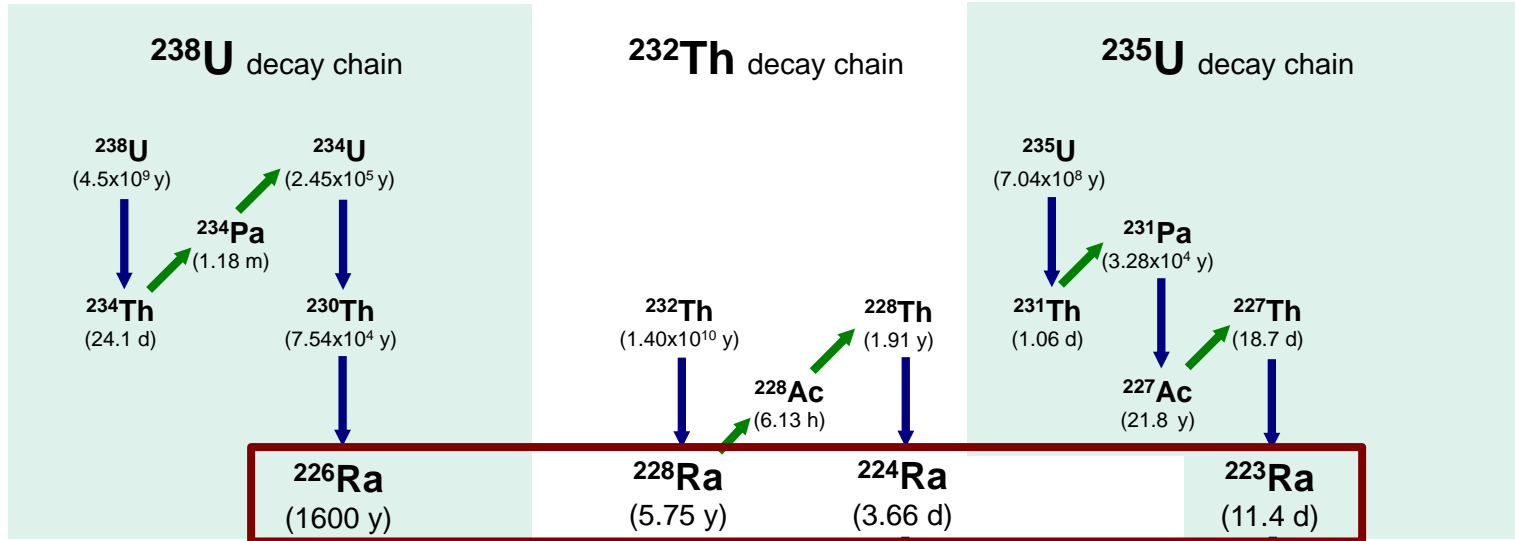


Quantificació de la SGD

- **Models de balanç d'aigua**
 - Principis físics de flux d'aigua als aqüífers costaners. (Llei de Darcy, balanç hydric).
- **Modelització numèrica hidrogeològica**
- **Mesures directes- Seepage meters**
 - Captura de l'aigua que s'infiltra al mar o la mesura del corrent advectiu.
- **Mesura de traçadors**
 - **Utilitzant traçadors naturals**
(Ra i Rn) que tenen concentracions molt diferent en aigües subterrànies i aigua de mar.



Ra as SGD tracer



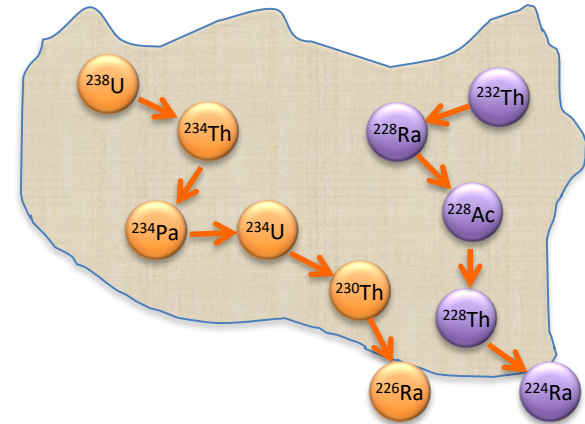
- ★ Ra isotopes are highly **enriched in SGD** relative to seawater
- ★ Ra isotopes **behave conservatively** in seawater
- ★ Ra isotopes have **distinct half-lives**:
 - Evaluate processes at different time-scales
 - Calculate mixing rates and water ages
 - Identify different sources

Ra activity in GW

- U/Th content in geological matrix
- Groundwater transit time
- Weathering processes
- Adsorption-desorption reactions

Salinity *

pH
Temperature
Redox potential
Grain size
Cycling of Fe and Mn oxides
...

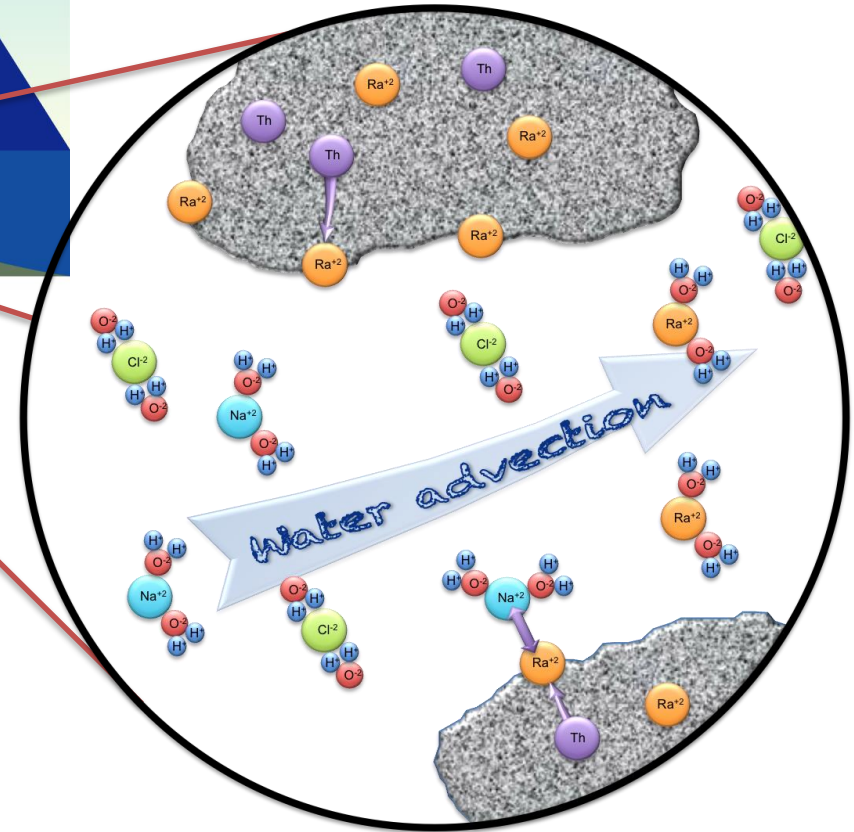
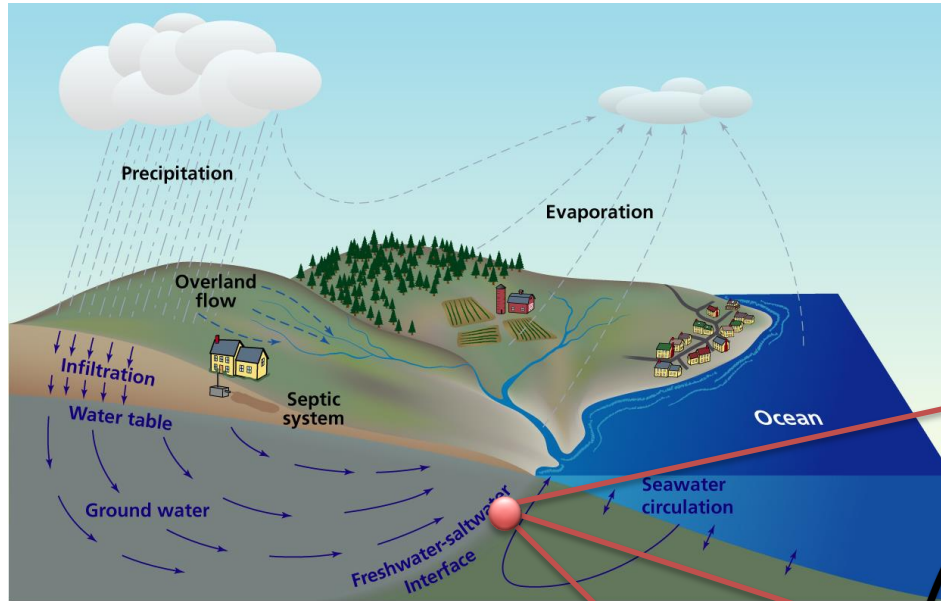


* Fresh groundwater: Ra adsorbed to the particles

* Brackish - saline groundwater: Ra in solution

Ra as SGD tracer

Problemàtica de la proliferació d'algues en aigües costaneres



Ra com a traçador de SGD

- L'ús de Ra es basa en la mesura de l'excés de Ra en l'aigua superficial resultant de la SGD i l'activitat de Ra en les aigües subterrànies que subministren aquest excés.

$$SGD \left[\frac{m^3 \cdot d^{-1}}{m^2} \right] = \frac{Ra_{flux} \left[\frac{Bq \cdot d^{-1}}{m^2} \right]}{Ra_{GW} \left[\frac{Bq \cdot m^{-3}}{m^3} \right]}$$

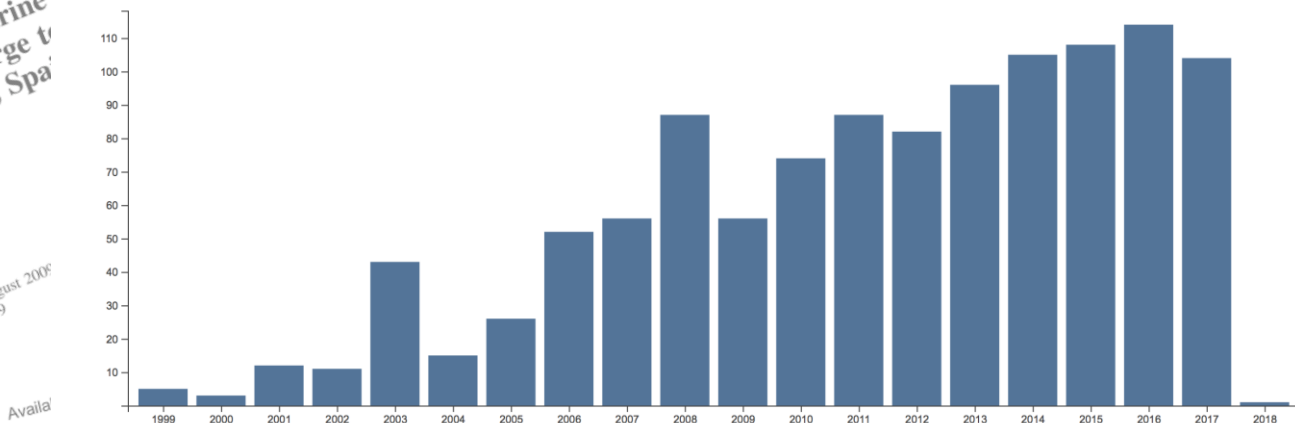
- Per reduir aquesta incertesa, necessitem una millor comprensió del que controla el cicle dels sistemes costaners d'aigües subterrànies

SGD com a font de nutrients

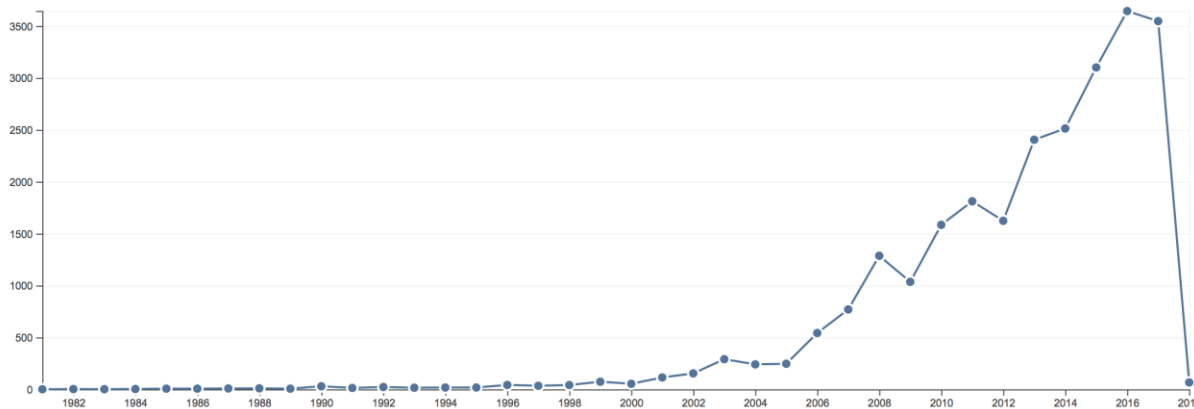
Problematika de la proliferació d'algaues venenques costaneres

Total Publications

1.176



Sum of Times Cited per Year



Assessment of karstic submarine associated nutrient discharge to coastal area (Balearic Islands, Spain)

García-Solsona · J. García-Orellana · Masqué · E. Garcés · O. Radakovitch · Mayer · S. Estradé · G. Basterretxea

Received: 2 September 2008 / Accepted: 15 August 2009
© Springer Science+Business Media B.V. 2009



Evaluation groundwater
J. Garcia-Orellana ^{a,1}

^a Departament de Ciències de la Terra i l'Atmosfera, Institut de Ciència i Tecnologia Ambiental (ICTA)-Departament de Física, Universitat Autònoma de Barcelona, 08193, Bellaterra, Spain

Groundwater and nutrient discharge from a karstic aquifer (Castelló, Spain)

E. García-Solsona¹, J. García-Orellana¹, P. Masqué¹, V. Rodellas¹, M. Mejías², B. Ballesteros², and J. García-Orellana¹

J. Garcia-Orellana¹
¹School of Marine and Atmospheric Sciences, Stony Brook University, Stony Brook, NY 11794, USA
²Departament de Física, Institut de Ciència i Tecnologia Ambiental (ICTA), Universitat Autònoma de Barcelona, 08193, Bellaterra, Spain
³Virginia Institute of Marine Sciences, P.O. Box 1346, Gloucester Point, VA 23062-1346, USA

Large as a major source of nutrients to the Mediterranean Sea

Mor Feldman^a, and Yishai Weinstein^{a,b}
^a Institut Autònom de Barcelona, 08193 Bellaterra, Spain; ^b School of Natural Sciences and Centre for Marine Geography and Environment, Bar-Ilan University, Ramat Gan, Israel

Received: 15 August 2015 / Accepted: 18 February 2015

Available at ScienceDirect
www.elsevier.com/locate/jhydrol

Discharge from a karstic aquifer (Castelló, Spain)

Available at ScienceDirect
www.elsevier.com/locate/march

Marine groundwater discharge as a source of nutrients to the Mediterranean Sea

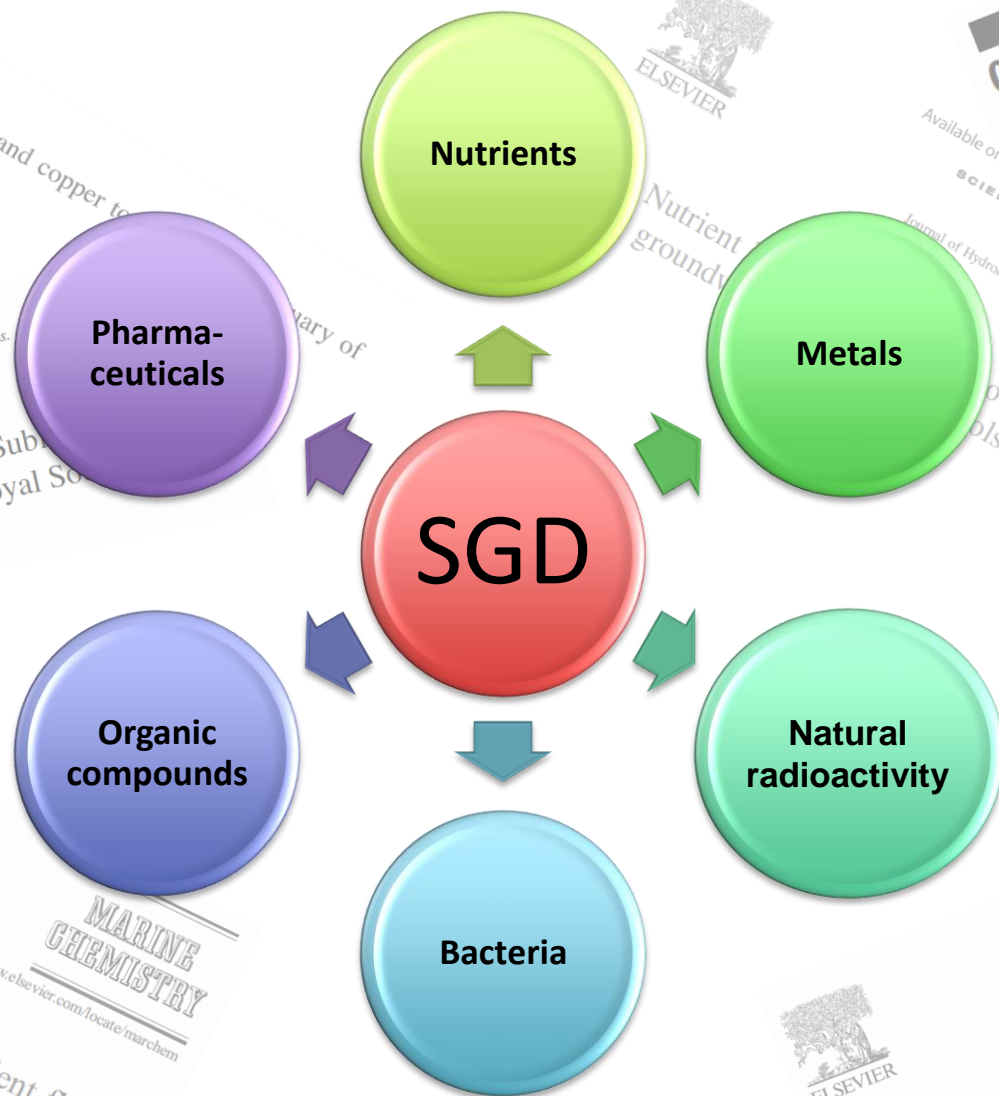
Received: 15 August 2015 / Accepted: 18 February 2015

Estudis realitzats

Problemàtica de la proliferació d'algues en aigües costaneres



Importància biogeoquímica de la SGD



Problemàtica de la proliferació d'algues en aigües costaneres

Submarine groundwater discharge of nutrients and copper to Chesapeake Bay (Elizabeth River)
Limnol. Oceanogr. 49(3): 344-376-385
© 2004, by the American Society of Limnology and Oceanography, Inc.

Nutrient and Radium Fluxes from Submarine Groundwater Discharge to Port Royal Sound, South Carolina
Estuarine, Coastal and Shelf Science 59: 191-208, 2003.
© 2004 Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands.

Available online at www.sciencedirect.com
ScienceDirect
Marine Chemistry 104 (2007) 85-97

Available online at www.sciencedirect.com
ScienceDirect
Geochimica et Cosmochimica Acta 73 (2009) 1325-1339

Groundwater Discharge: Potential Association with Fecal Indicator Bacteria in the Surf Zone
Available online at www.sciencedirect.com
SCIENCE @ DIRECT®
Journal of Hydrology 295 (2004) 64-86

Journal of Hydrology
www.elsevier.com/locate/jhydrol

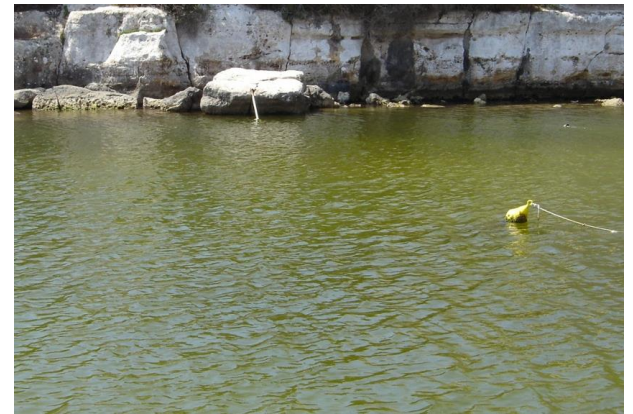
ocean through submarine groundwater discharge: problems and potential impact

Available online at www.sciencedirect.com
ScienceDirect
Tidal pumping drives nutrient and dissolved organic matter dynamics in a Gulf of Mexico submarine aquifer
ELSEVIER

MARINE CHEMISTRY
www.elsevier.com/locate/marchem

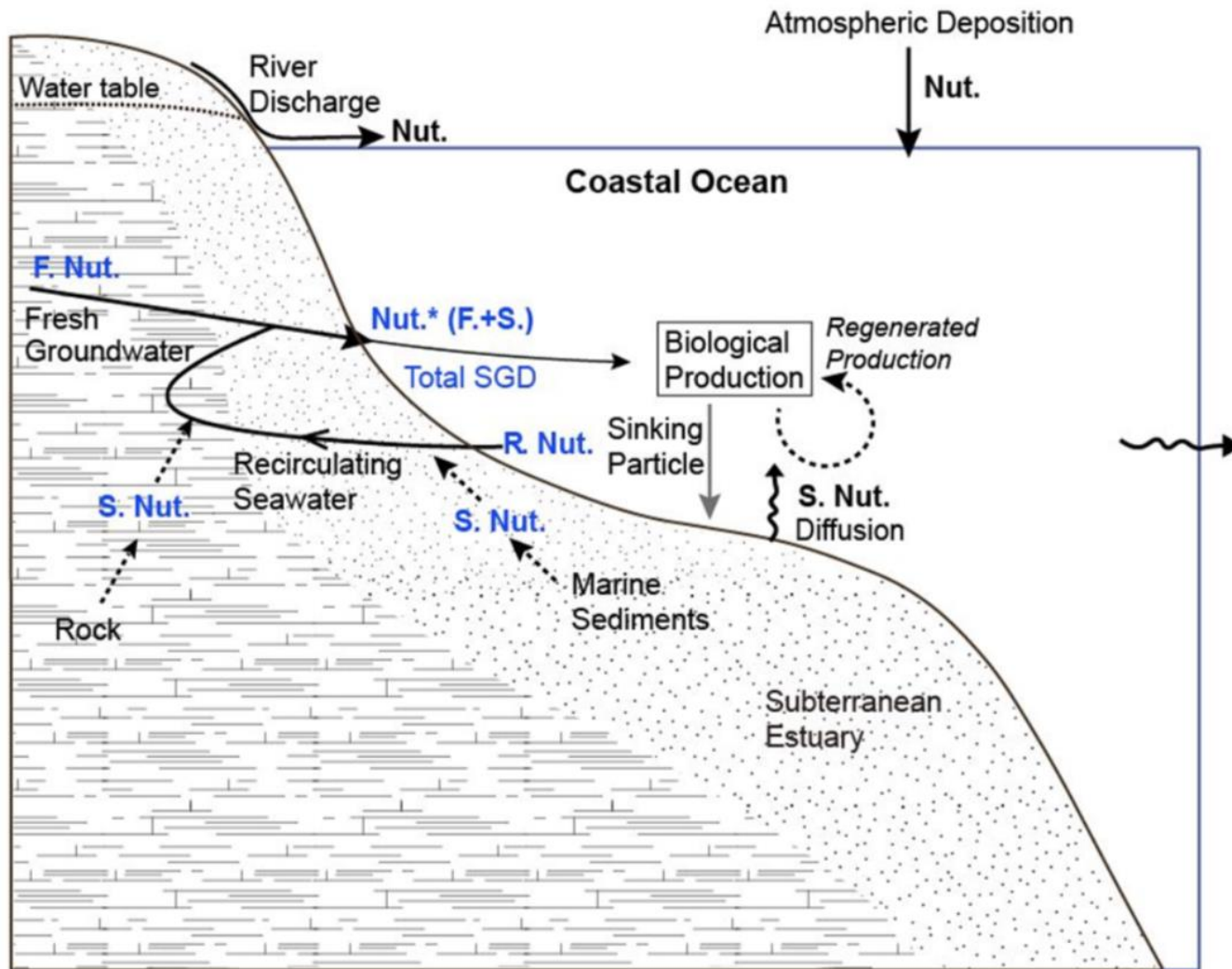
SGD com a font de nutrients

- La concentració de nutrients a l'aigua subterrània pot ser tan alta en comparació amb altres fonts potencials i fins i tot un petit flux volumètric pot proporcionar importants nutrients al mar.
- El SGD és una important font de nutrients per a estuaris i zones costaneres.
- Els nutrients introduïts a les aigües costaneres a través de la SGD poden tenir efectes ecològics importants: proliferació d'algues nocives (HABs), eutrofització, malestar, pèrdues econòmiques ...

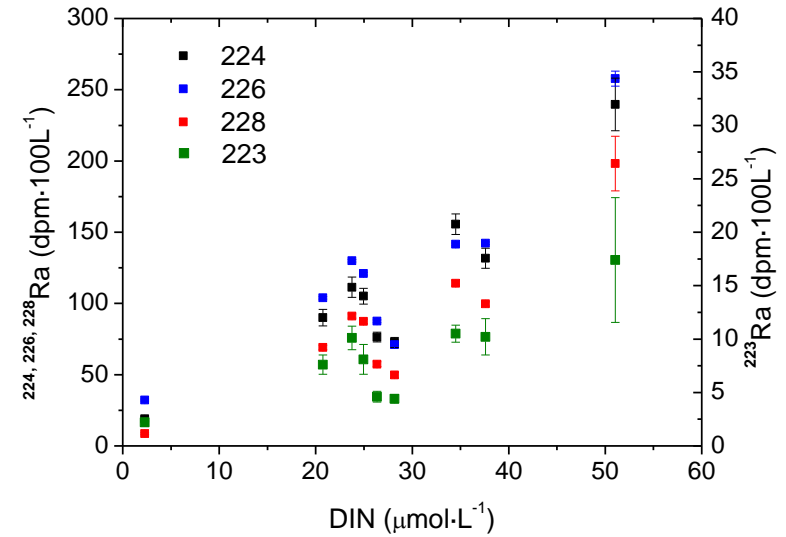
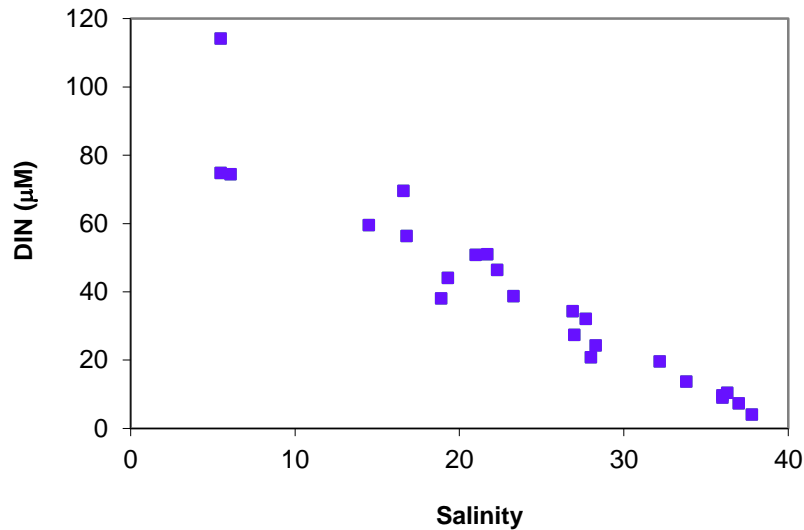
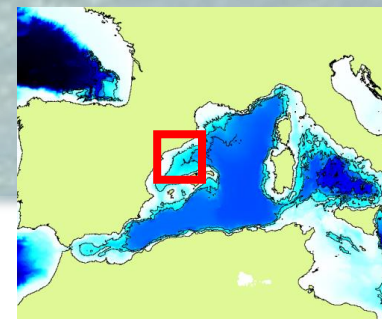


Alcalfar, Menorca

Cicle de nutrients a l'aqüífer subterrani



SGD com a font de nutrients

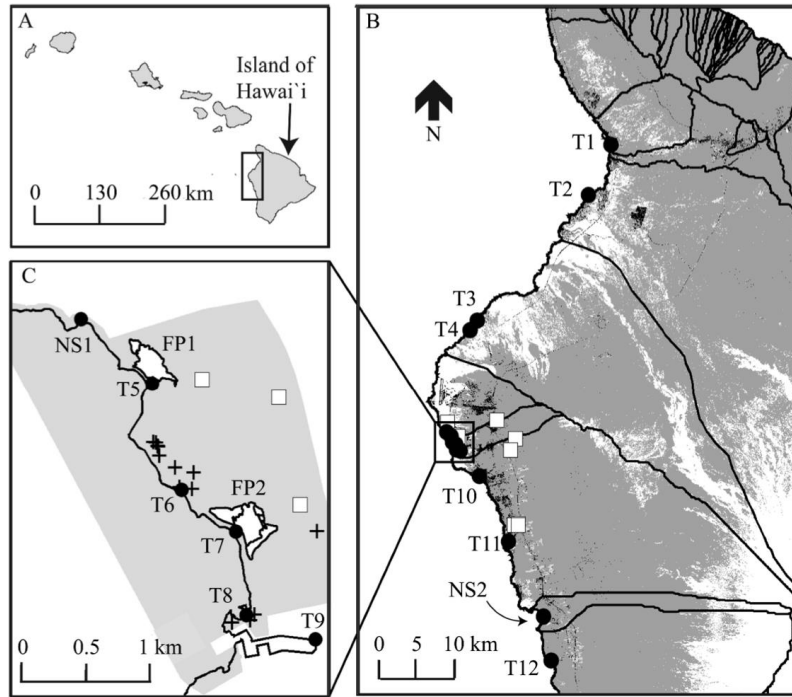


SGD-derived dissolved inorganic nitrogen

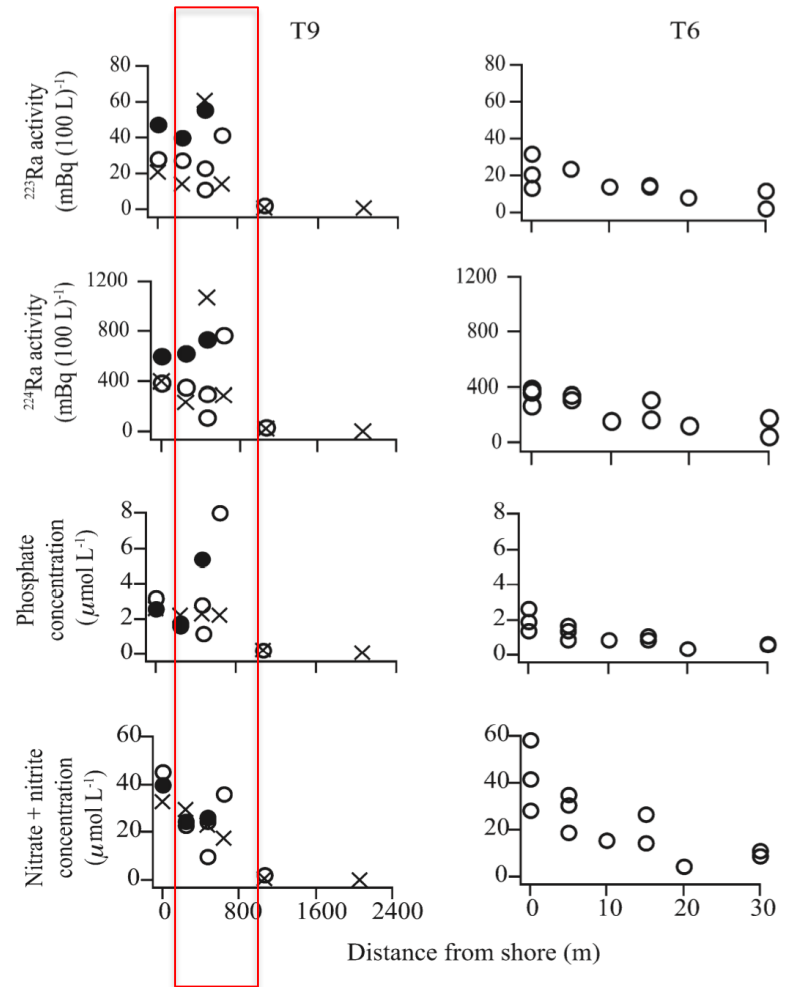
Average DIN in springs: $28.3 \pm 0.5 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ (October)
 $94 \pm 28 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ (June)

DIN-SGD: $8.5 \text{ mmols DIN}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ (October)
 $1.5 \text{ mmols DIN}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ (June)

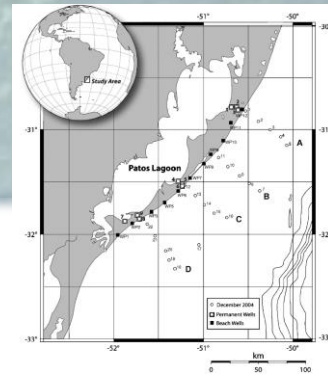
SGD com a font de nutrients



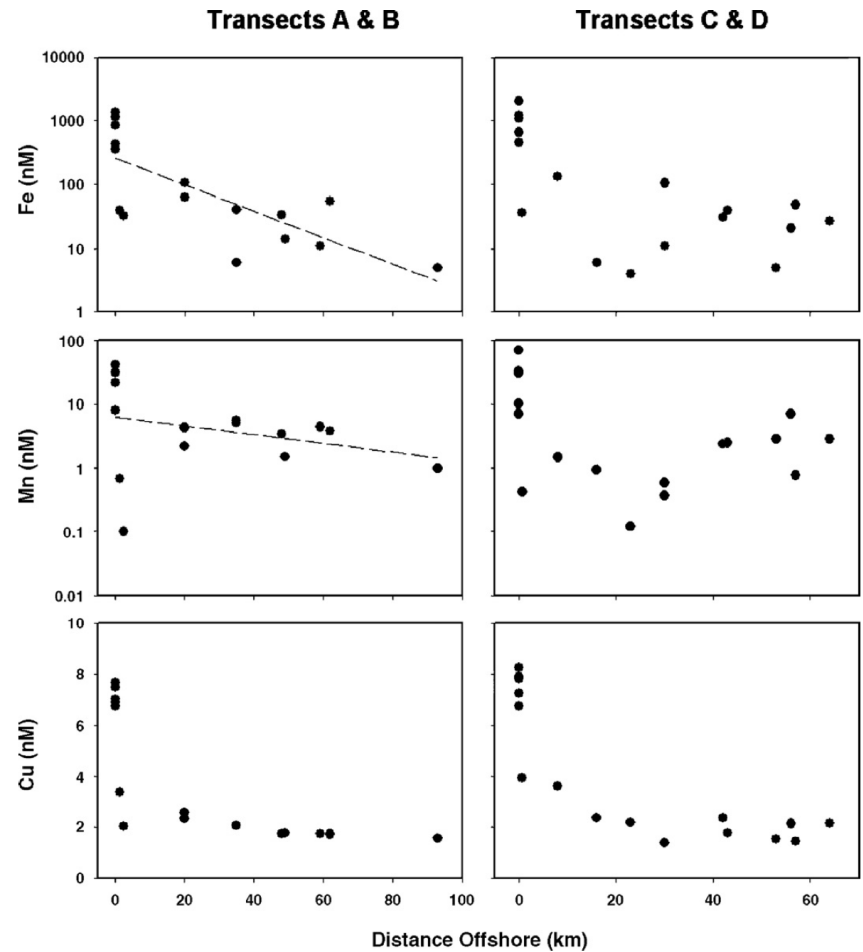
Els fluxos de nutrients en aigües costaneres procedents de la SGD poden variar fins a tres ordres de magnitud entre llocs i estan relacionats amb la urbanització i l'agricultura



SGD com a font de micronutrients

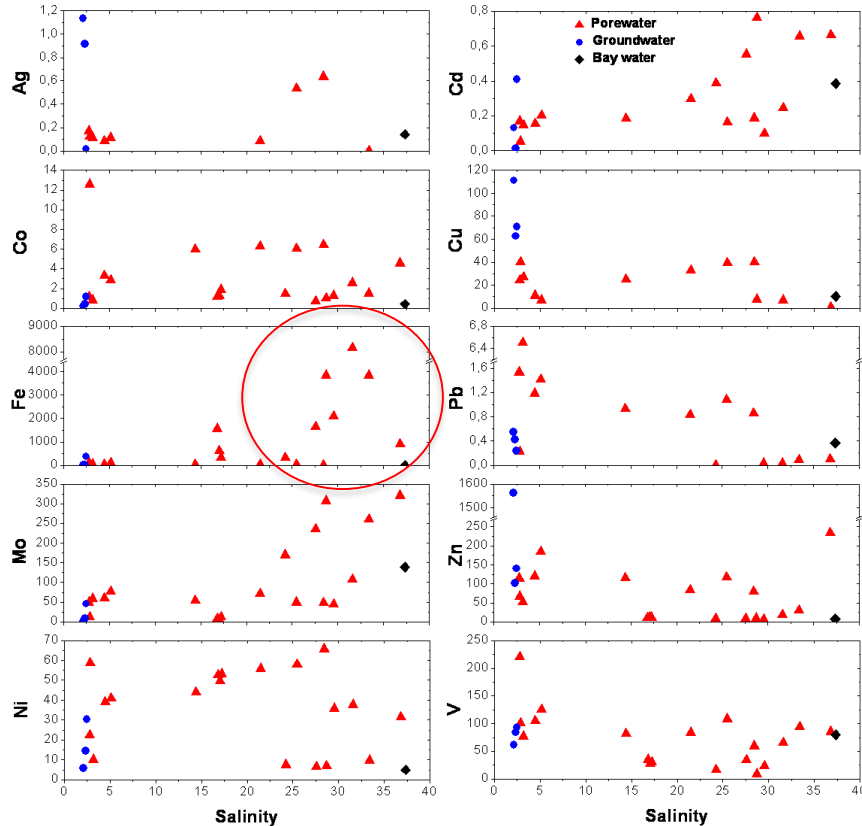
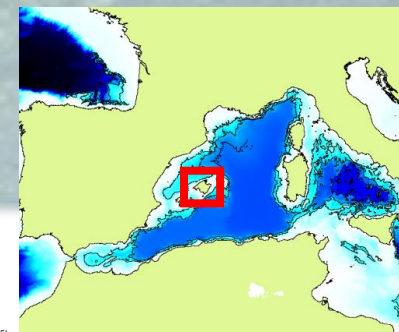


La identificació d'aquesta font desconeguda de Fe cap a l'Atlàntic Sud és important per entendre les fonts de Fe en l'oceà

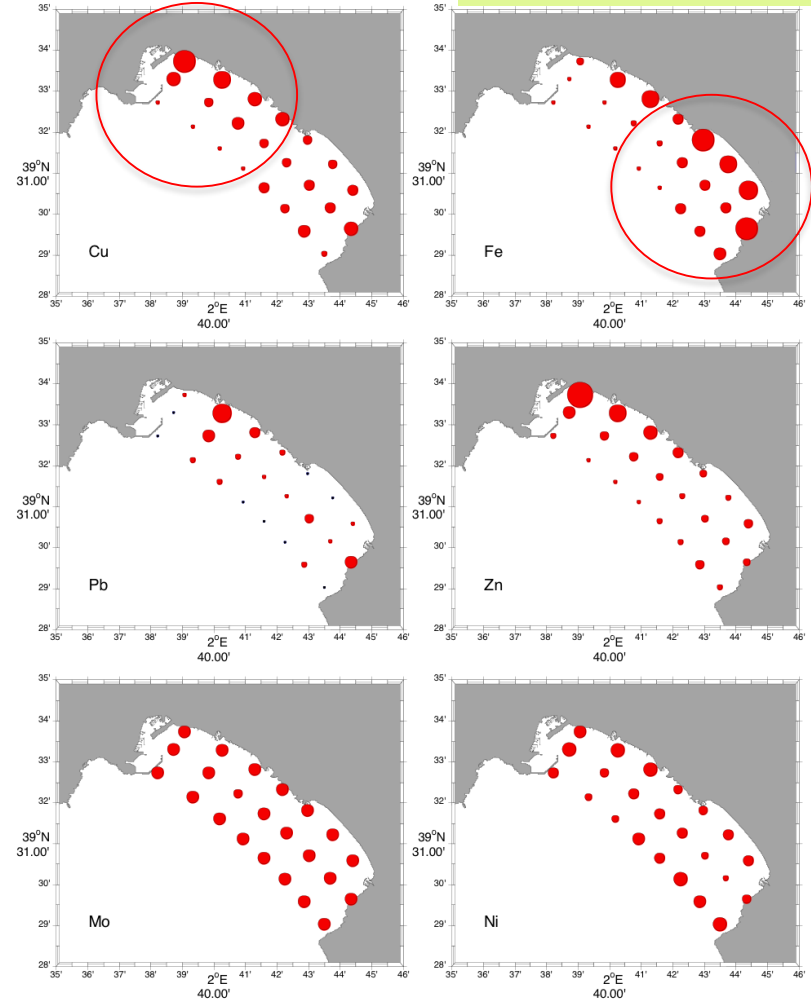


Windom et al., (MCh, 2006)

SGD com a font de micronutrients

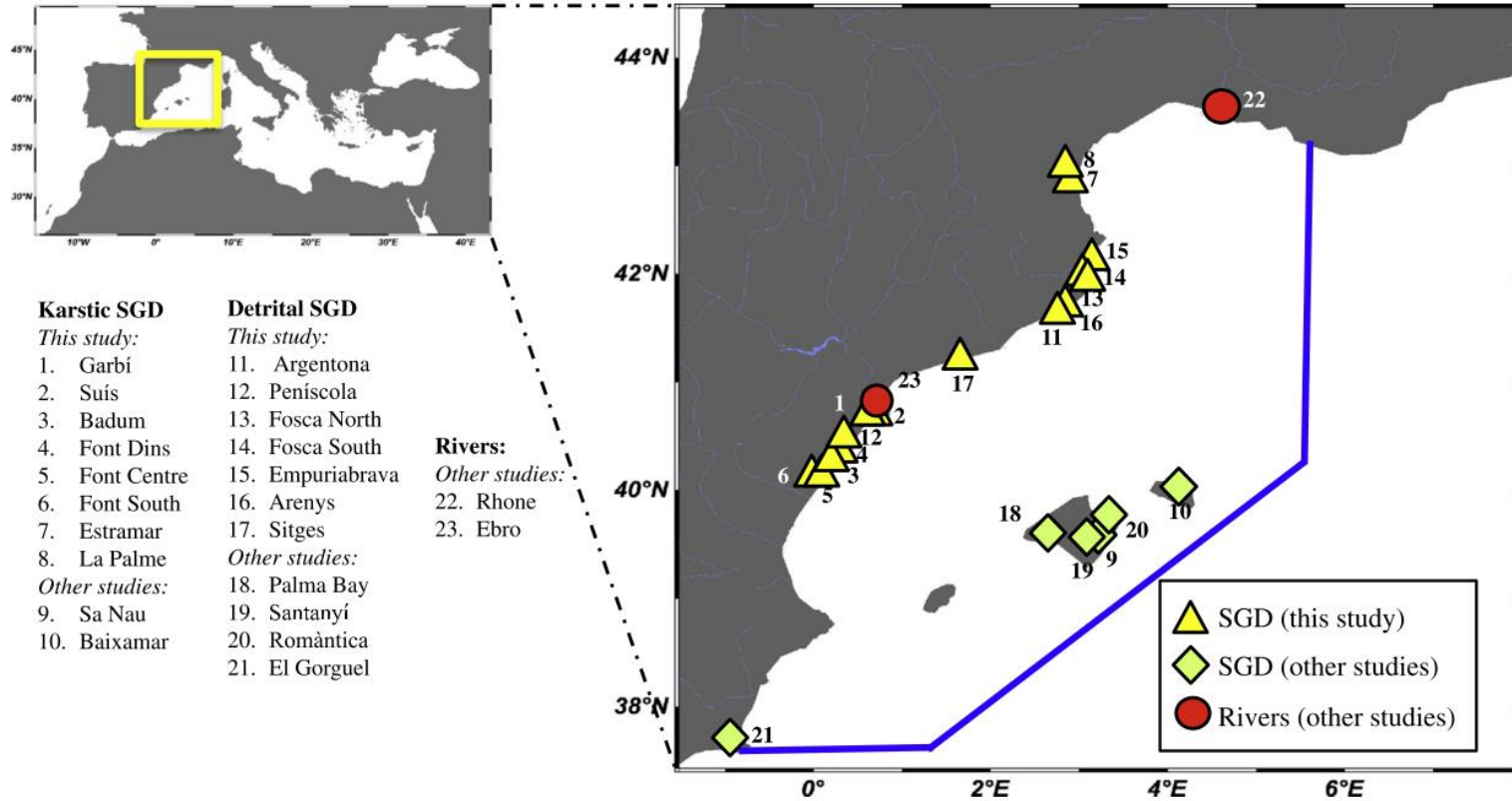


SGD pot transportar diversos metalls al mar. Diversos metalls s'enriqueixen en l'estuari subterrani abans d'entrar al mar.

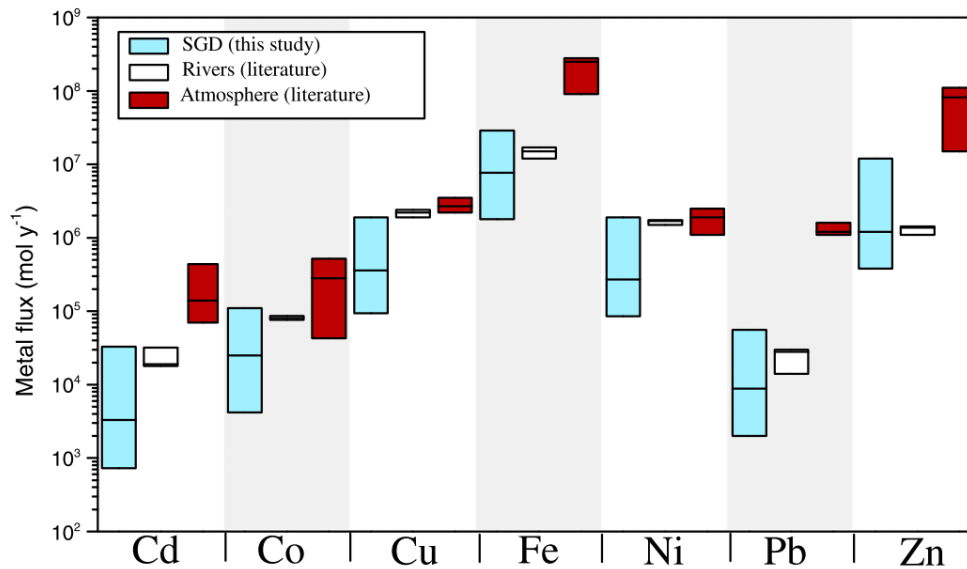
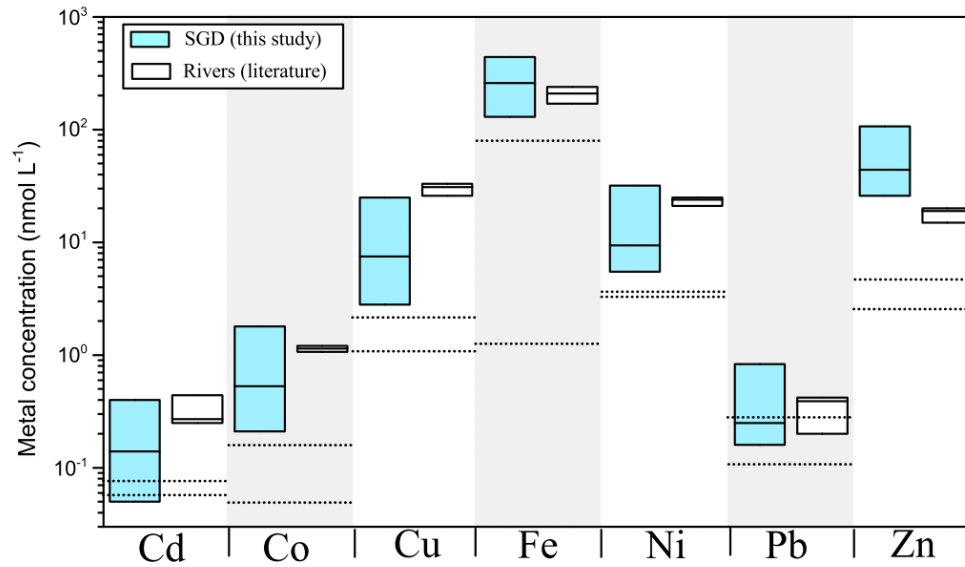


Significance of the SGD in the Med Sea

Problemàtica de la proliferació d'algues en aigües costaneres



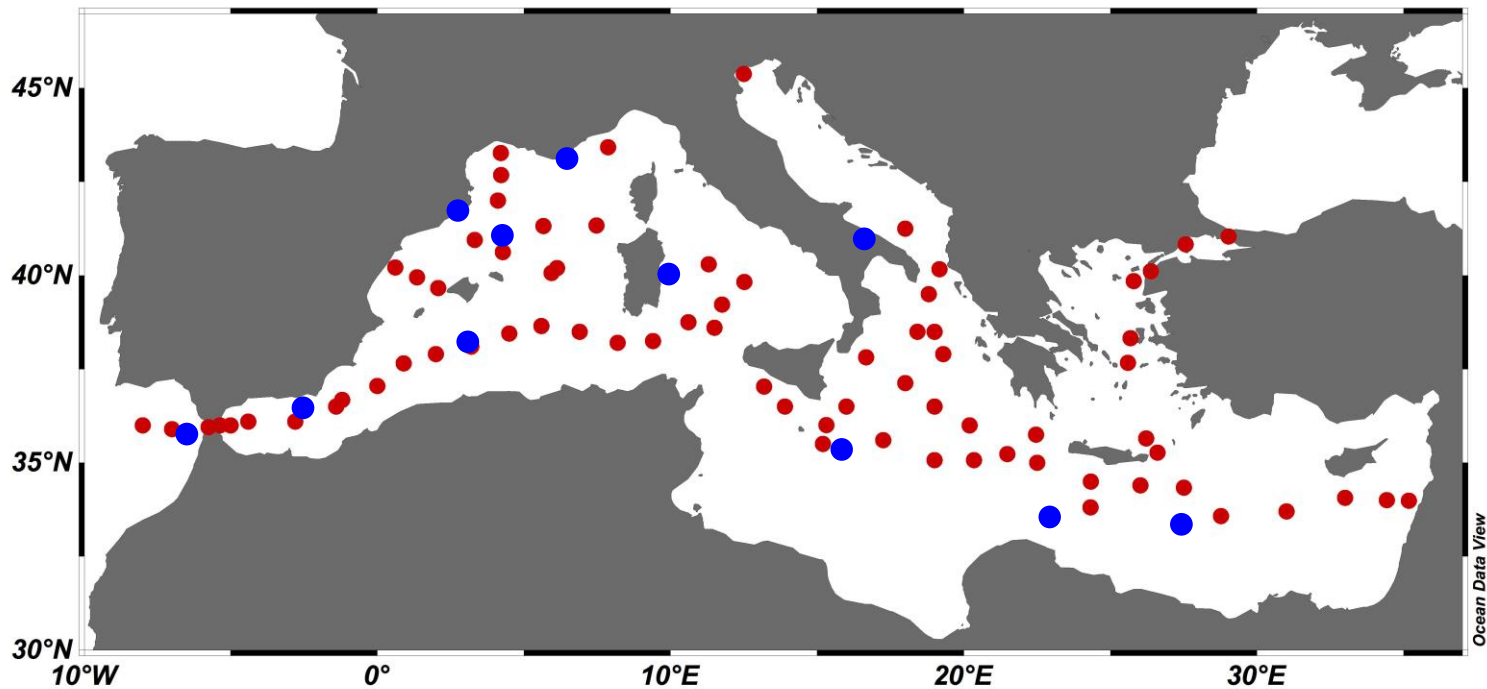
Significance of the SGD in the Med Sea



Significance of the SGD in the Med Sea

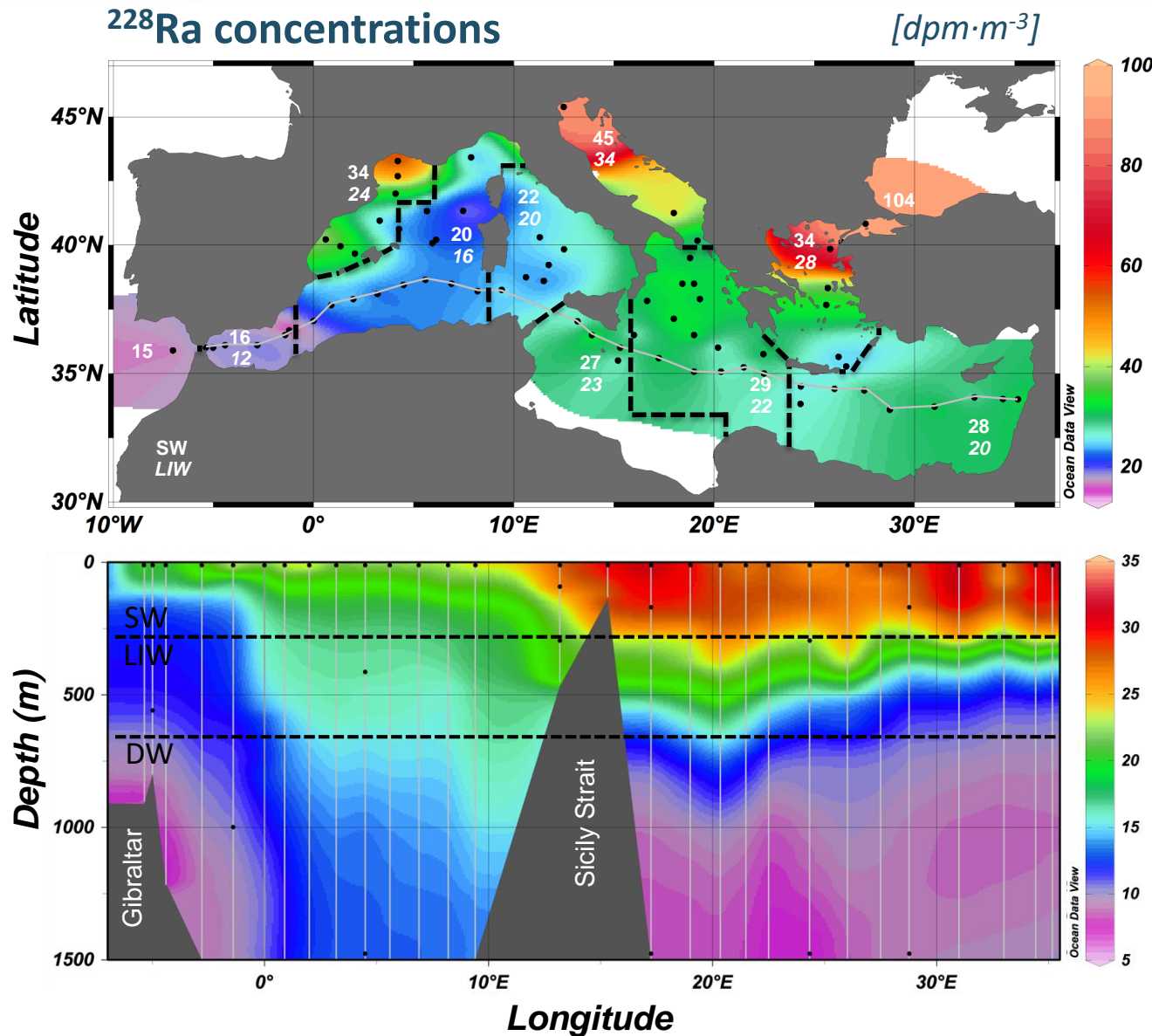
- *M84/3*
- *GA04S – MedSeA*
- *65PE370 – MedBlack*
- *FAMOSO I*
- *EDASMAR*
- *Data from literature (n = 28)*

- Surface water (0 - 220 m depth): 80 samples
- Intermediate water (220 – 600 m depth): 15 samples
- Deep water (> 600 m depth): 13 samples



Significance of the SGD in the Med Sea

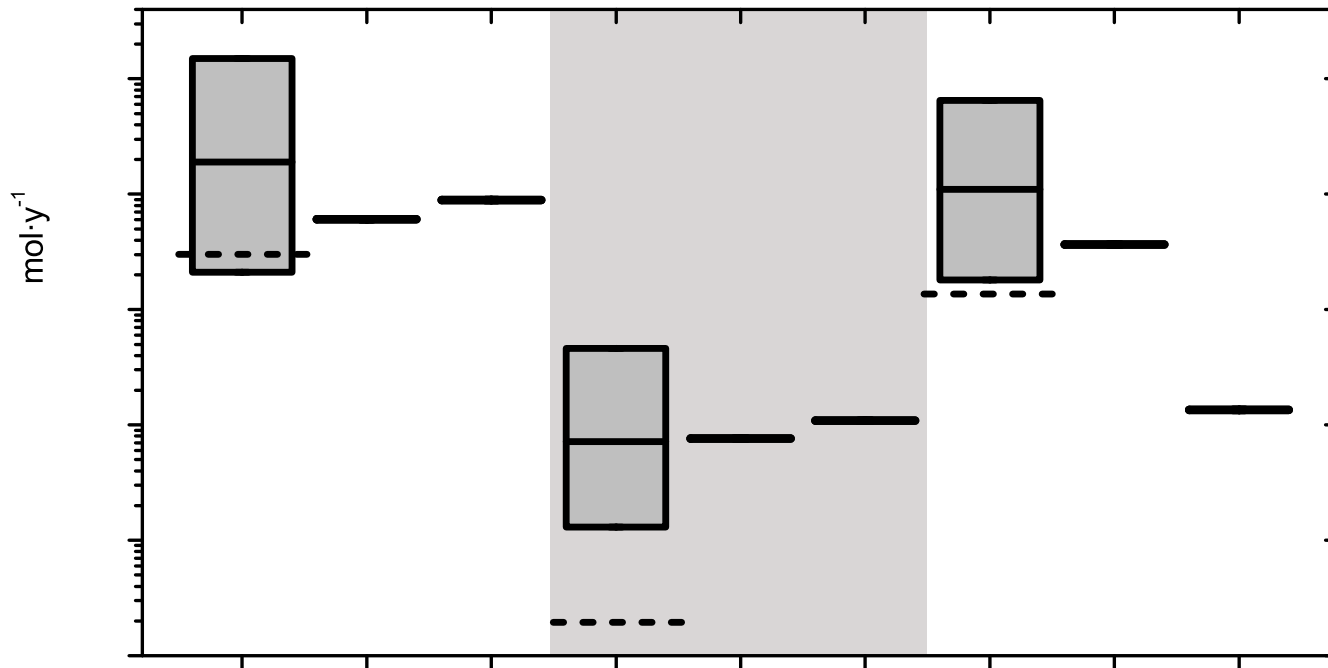
Problemàtica de la proliferació d'algues en aigües costaneres



^{228}Ra inventory for the upper Mediterranean Sea:
 $(35 \pm 6) \cdot 10^{15} \text{ dpm}$

Significance of the SGD in the Med Sea

$$SGD_{Compound-flux} = SGD_{flow} \cdot [Compound]_{SGD}$$

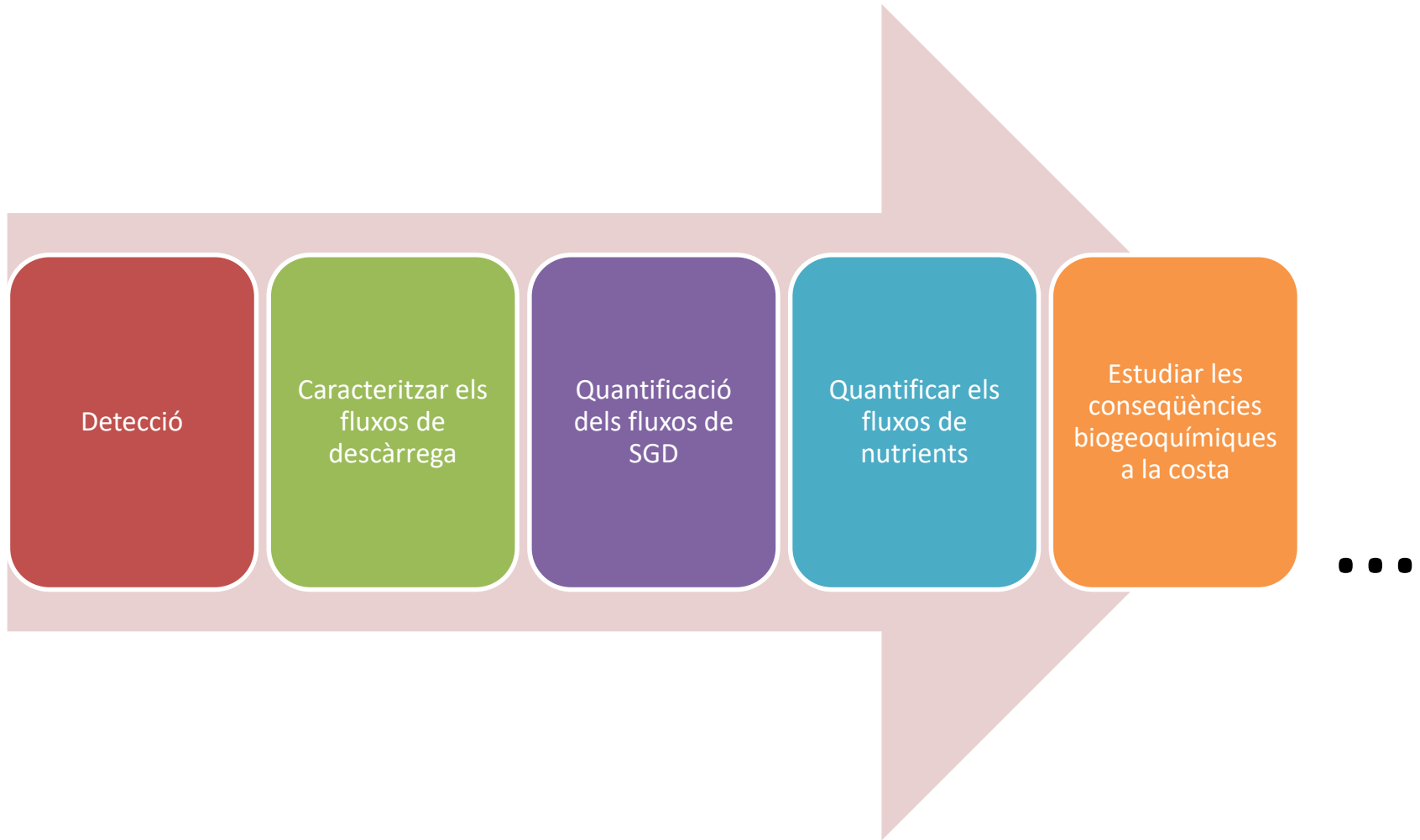


* SGD: a **major source of nutrients** to the Mediterranean Sea

- SGD: additional source for the actual P limitation in the Mediterranean Sea ?
- SGD: a relevant source of other chemical compounds ?

Evolució dels estudis de SGD

Problematika de la proliferació d'algues en aigües costaneres



Challengers in SGD studies

- Entendre que es el que realment descarrega al mar.
- Distingir entre els processos SGD i PEX.
- Comprendre el ciclisme de nutrients a l'estuari subterrani.
- Comprendre la distribució temporal i espacial dels compostos químics a l'estuari subterrani.
- Realitzeu nous treballs en àrees no estudiades.
- Comprendre millor el paper del sediment en l'alliberament de nutrients.
- Comprendre la influència de la SGD en els cicles geoquímics locals i regionals.

Conclusions

- S'ha demostra que SGD és una font important de nutrients i metalls traça a l'oceà.
- La importància de la SGD es pot observar a escala local, regional i mundial.
- Encara que s'han dut a terme estudis de fluxos de nutrients i metalls traça, hi ha molta feina per fer.
- L'impacte socio-econòmic de la SGD està provocant que l'Administració i els gestors d'aigua comencin a interessar-se per aquesta problemàtica.



- Laboratori de Radioactivitat Ambiental -
Universitat Autònoma de Barcelona
CATALUNYA



La descàrrega d'aigua subterrània als oceans: una font oculta de nutrients?

Jordi Garcia Orellana
(jordi.garcia@uab.cat)