

Emilio Custodio:
la seva activitat a l'Escola de Camins
i reflexions sobre la gestió sostenible
de l'aigua subterrània

Jesús Carrera

GHS UPC-CSIC

Érase una vez... hace 1000 años

- En 1984, Emilio ya era el mejor...
 - Reconocido internacionalmente
 - Director del CIHS
 - Asesor de 1000 organizaciones internacionales
 - Padre espiritual de la Hidrología Subterránea castellano parlante
 - Y autor de 10000 trabajos sobre todos los temas importantes



Érase una vez... hace 1000 años

- En 1985, Emilio ya era el mejor...
 - Reconocido internacionalmente
 - Director del CIHS
 - Asesor de 1000 organizaciones internacionales
 - Padre espiritual de la Hidrología Subterránea castellano parlante
 - Y autor de 10000 trabajos sobre todos los temas importantes
- Pero, oficialmente,
 - Funcionario de la “Junta de Aguas”
 - Profesor, a tiempo parcial, de Tecnología Nuclear
- Eso ¡no podía ser!
 - En 1986, gracias a Eugenio Oñate, Manolo Casteleiro y Eduardo Alonso, Catedrático de Ingeniería del Terreno de “l’Escola”

Les voy a hablar de lo que fueron esos últimos, casi 40, años de Emilio en la Escuela y de lo que salió de allí respecto al uso sostenible del agua

Les podría contar mil anécdotas de su “erudición”

- Como cuando me encontré haciendo un estudio en el que el Bario fluctuaba mucho (¿el Bario? ¿el de Mg, Ca, Sr, Ba,...?, sí, ese)
 - Me soltó un discurso sobre cómo con frecuencia está controlado por la Barit(in)a (BaSO_4) y, por tanto, correlaciona negativamente con el sulfato
 - ¡Y era verdad!
- O como, cuando me alguien me pregunta por las aguas subterráneas de Cabo Verde (Sí, esas islas del Atlántico ecuatorial)
 - Me soltó un discurso, no solo sobre la hidrogeología de Cabo Verde y las Islas volcánicas, sino también sobre su historia y cultura...
 - Y no crean que era un rollo. Lo contaba con pasión y era ameno y sonreía (sí, a veces, Emilio sonreía)
- Sobre cualquier tema que le preguntases, el sabía (y sabía de verdad)

También les podría hablar sobre su capacidad de trabajo

- Todos los sábados estaba en su despacho... hasta casi el final
- Dicen que de 1997 a 2004 estuvo de Director del IGME
 - Pues será cierto
 - Pero en la Escuela apenas nos enteramos, él seguía viniendo a su despacho cada sábado
- Y me consta que no solo los sábados
 - Un día se quejó de que estaba bajo de energía y que, después de cenar, se sentía con poca energía para ponerse a trabajar...

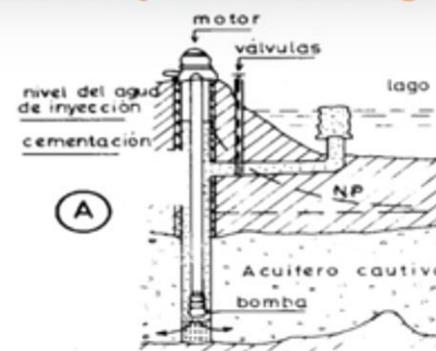
O de la exhaustividad de sus trabajos...

- Sus conferencias era “completas” ... hoy día sería imposible, ... porque lo decía todo!

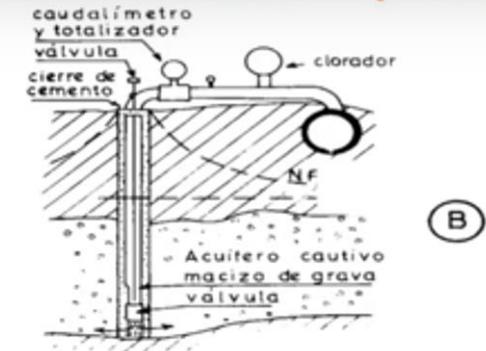
Agua subterránea

- Parte esencial del **ciclo hidrológico** continental
- Considerar **cantidad y calidad, tiempo y lugar, relaciones**
- Exenta de **gérmenes patógenos**, si se capta bien
- Buena **calidad** general, con excepciones
- Es **vital**, es un **derecho humano** y tiene **valor económico**
- **Explotación intensiva** de los acuíferos es relativamente reciente
→ gestionar y planificar cantidad y calidad y efectos
- En cada lugar hay distintas fuentes de agua, con diferentes condicionantes → **gestión integrada de los recursos de agua**
- **Acciones legislativas, técnicas y económicas** para mayor seguridad
→ la **recarga artificial** es una de las acciones técnicas
→ requiere agua en condiciones apropiadas, es costosa
- Objetivo final → buena **gobernanza** del agua y del agua subterránea
- Cada caso tiene sus **propias circunstancias y es único** →
- **Tener suficiente buen conocimiento y monitoreo**, pero lo difícil es

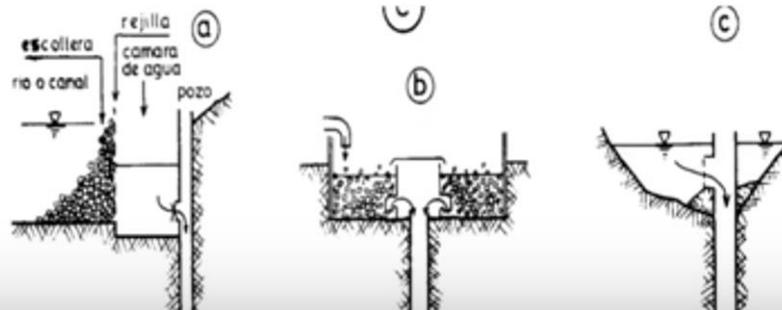
Modos simples de recarga en profundidad mediante pozos



High Plains, Tejas.
Toma de un lago de escorrentía superficial.
Con o sin decantación previa.
Limpieza con bomba instalada.



Pozo simple, Los Ángeles.
Agua a presión.
limpieza con sistema apropiado tras desmontar cabeza de pozo.



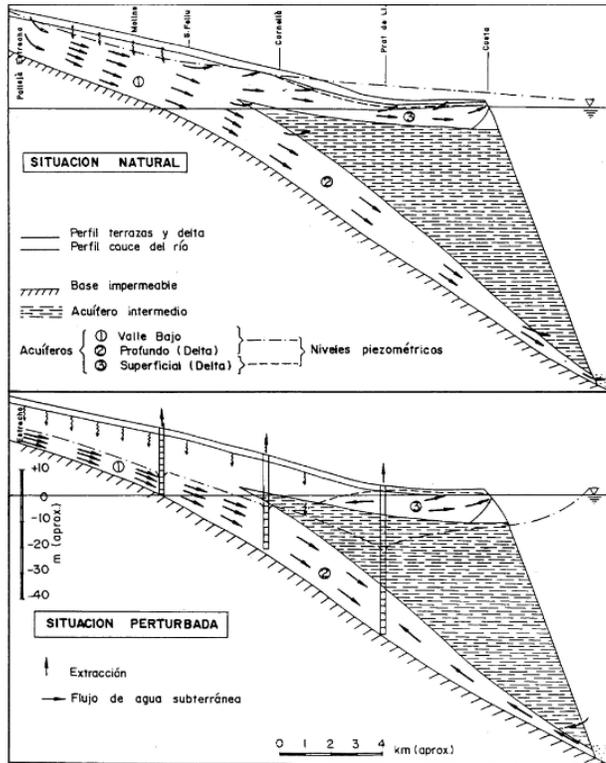
Pozos utilizados en Cuba, principalmente en terrenos kársticos:
a) cámara de agua conectada a un canal o río a través de una escollera filtrante; buen mantenimiento; pozos duales de San Diego y San Cristóbal
b) mediante cubeta rellena de piedras, para aguas de tormenta (Artemisa, La Habana); molesta renovación del relleno
c) toma lateral protegida con malla (Los Palacios y Pinar del Río). Aprovechar aguas de tormenta en áreas agrícolas

El CIHS desapareció... algo recuperaremos, porque el el Grupo (GHS UPC-CSIC) sigue siendo líder (occidental) (académico)

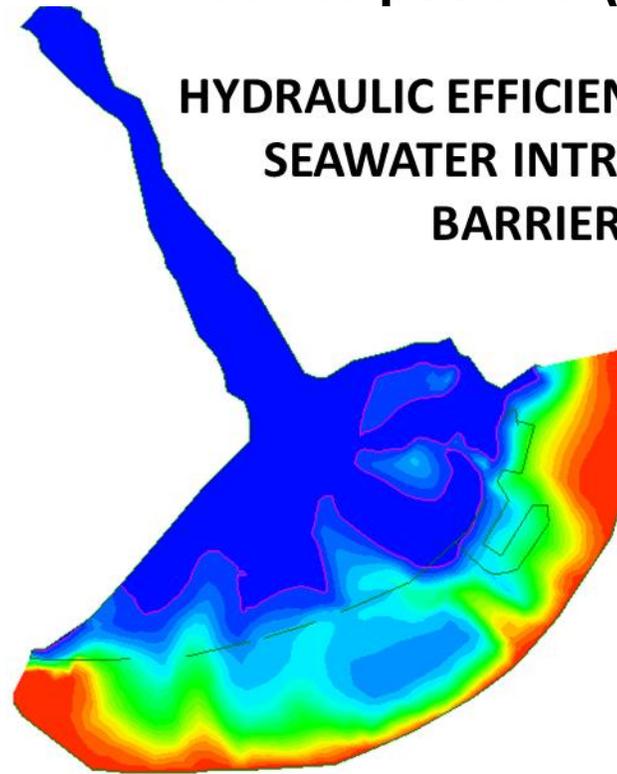


Pero en lo que quiero insistir, es en su “visión”...
 Cuando pienso en los avances mas significativos del GHS, el origen está en ideas de Emilio

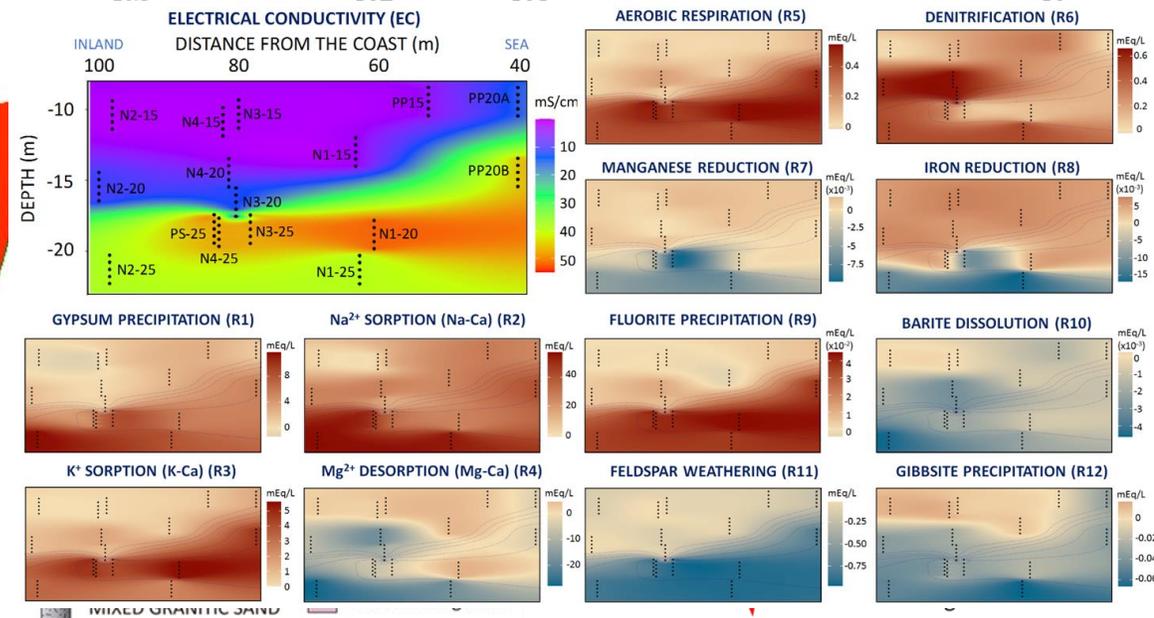
En intrusión marina



De donde surgieron conceptos como los de barrera hidráulica positiva (Elena Abarca) o negativa (María Pool)



O el estudio de procesos bioquímicos en la zona de mezcla

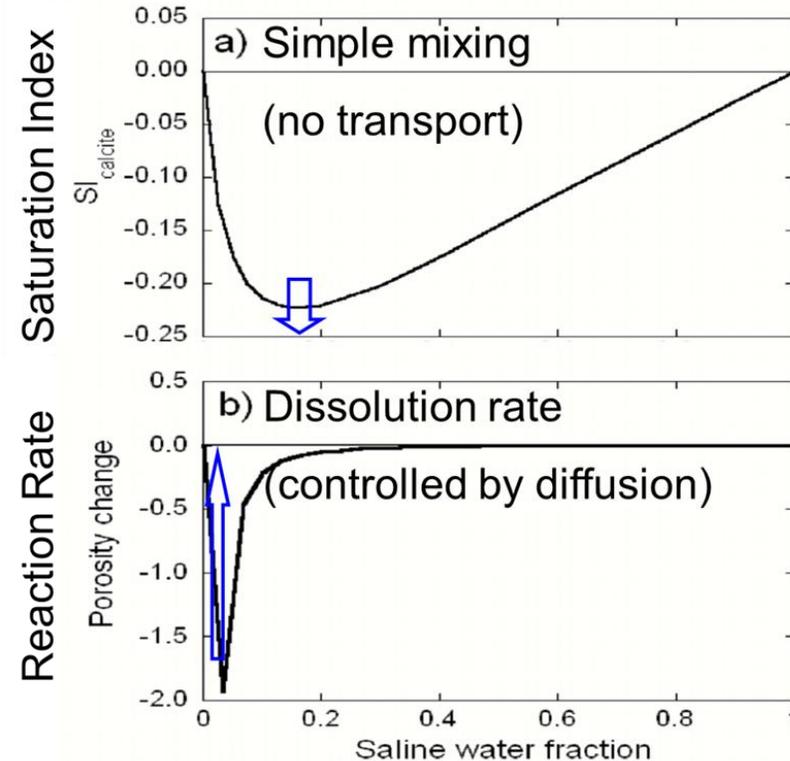


Temas que han llevado a 1000 tesis y a un cambio de paradigma sobre intrusión marina

Los avances mas significativos del GHS tiene su origen en ideas de Emilio

En la mezcla como causa de las reacciones
(todo empezó con la disolución de carbonatos
en acuíferos carbonatados costeros)

Eso dió lugar al trabajo de Rezaei
Y a los de Michela, Xavi,
Y, después, de Marco y Tanguy



Temas que aún no hemos resuelto, pero son los mas activos en investigación actual (de ahí han nacido tres ERCs) y están llevando a un cambio de paradigma en transporte

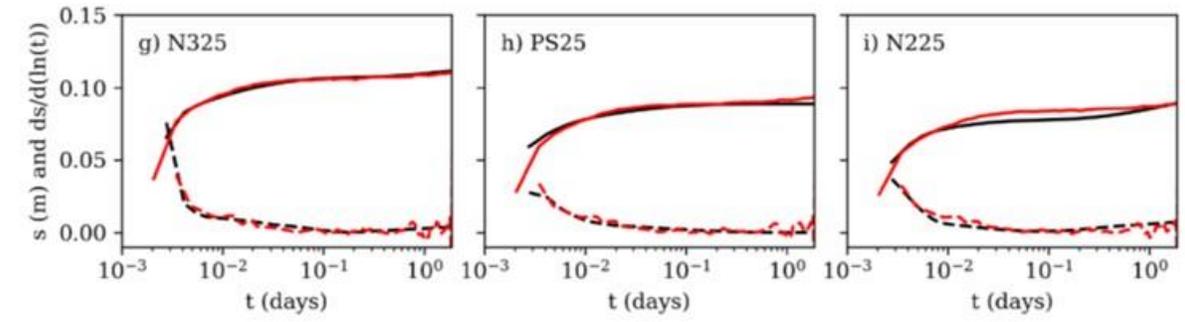
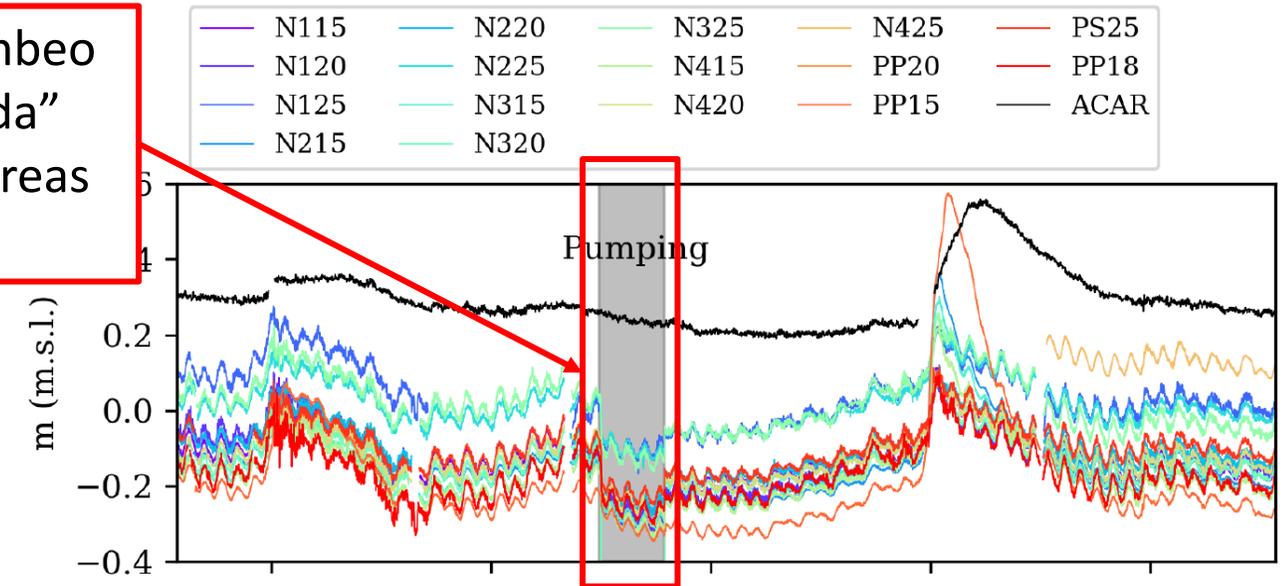
Los avances mas significativos del GHS tiene su origen en ideas de Emilio

En hidráulica de pozos

Eso motivó trabajos de Xavi, Dani, Michela Trabucchi, Laura del Val, Albert Folch, Gustavo Ramos

El método permite dibujar los gráficos de diagnóstico e identificar tres regímenes de flujo y obtener señales reproducibles

La señal del bombeo queda “escondida” por el ruido (mareas y otras causas)



Esto ha dado lugar al método “GHS-Barcelona”, que está llevando a un cambio de paradigma en la realización e interpretación de ensayos de bombeo

El problema no es solo de cambio climático, también (sobre todo) de sobreexplotación (el decía explotación intesiva).



Reducción similar al bombeo (pero con 10 años de retraso, los acuíferos tienen mucha inercia)
(Custodio, 2017).

Los 10 años de retraso (en el Júcar, en las “cuencas internas” no temenos acuíferos tan grandes, pero aún bastante inercia) representan una gran oportunidad... **gestión sostenible**

- El problema del cambio climático no es que llueva menos, es que llueve distinto. Están aumentando las sequías y las lluvias producen inundaciones
- Mucha mayor capacidad de almacenamiento en acuíferos que en ríos
 - Recarga cuando puedas (en especial agua de lluvia y reduces daños de las avenidas)
 - Bombea cuando lo necesites
- Elimina los contaminantes más recalcitrantes.
 - Elijo tres:
 - Disruptores endocrinos
 - Resistencia antimicrobiana
 - Nitratos

I will concentrate on three key pollutants (EDCs, AMR, and nitrate)

- **Endocrine Disruptors (EDCs):**

- Relatively new (only public after *Our Stolen Future* by Theo Colborn et al., 1996).
- **Significant impact on fertility, children and mental health**
- Emblematic of a new class of **low-dose, chronic, and poorly regulated** pollutants.
- Impact both direct from direct and indirect (fish, meat, vegetables), therefore it is not sufficient to serve “clean water”

Todos ellos se eliminan (se reducen de manera drástica) durante recarga artificial)

- **Antimicrobial Resistance (AMR):**

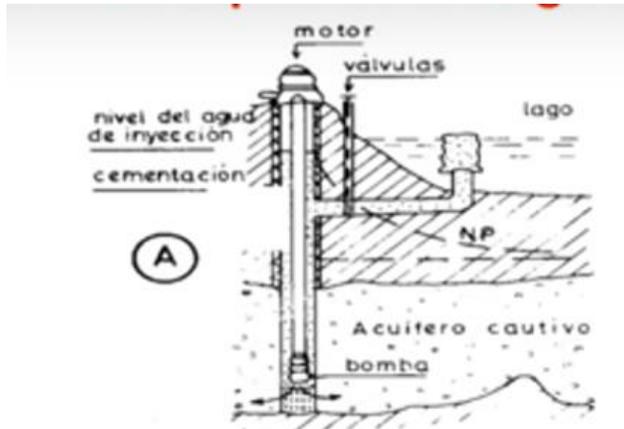
- One of the **largest global health threats**, recognized by WHO and UN (1st cause of death in 20 years).
- Linking AMR to water pollution is **not yet widespread in public discourse**
- **Again, direct and indirect impact**

- **Nitrate:**

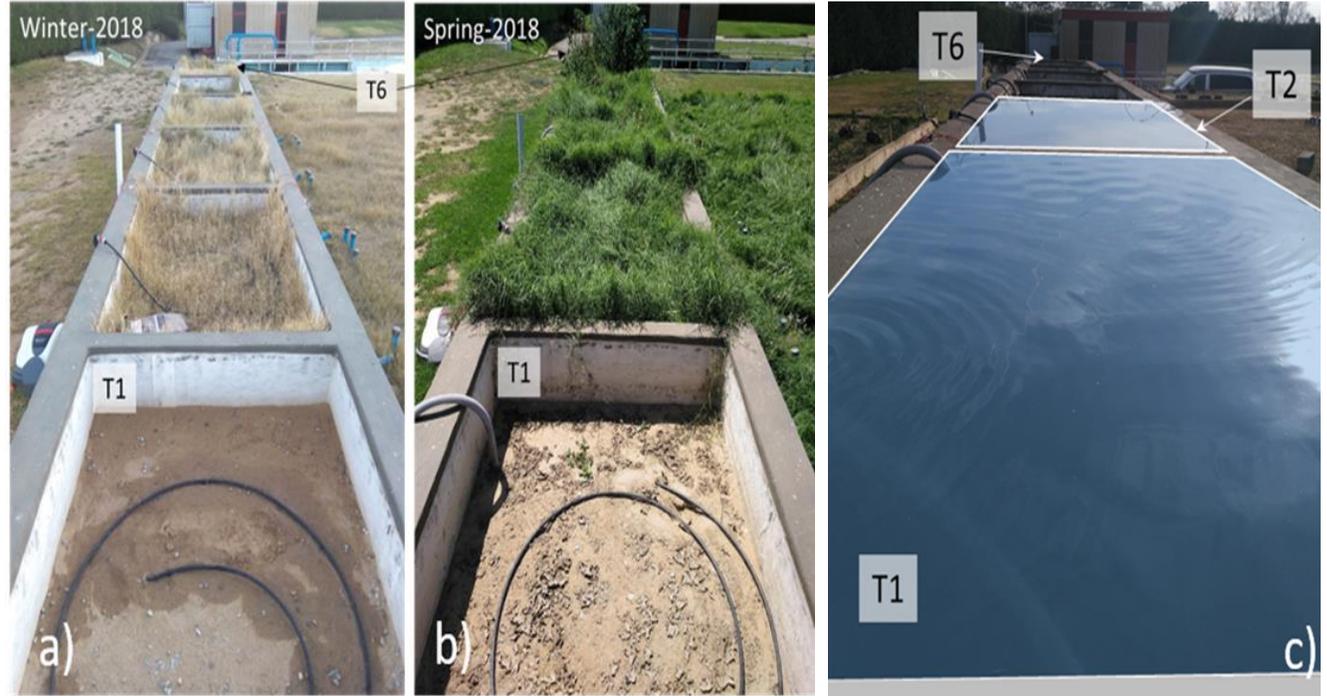
- Classic "**tragedy of the commons**": everyone contributes a little (agriculture, wastewater), but no one fixes it because the costs are diffuse (and benefits collective).
- Remains a problem despite decades of research and action plans (e.g., EU Nitrates Directive 1991!)

Los avances mas significativos del GHS tiene su origen en ideas de Emilio

En recarga artificial



High Plains, Tejas.
Toma de un lago de escorrentía superficial.
Con o sin decantación previa.
Limpieza con bomba instalada.



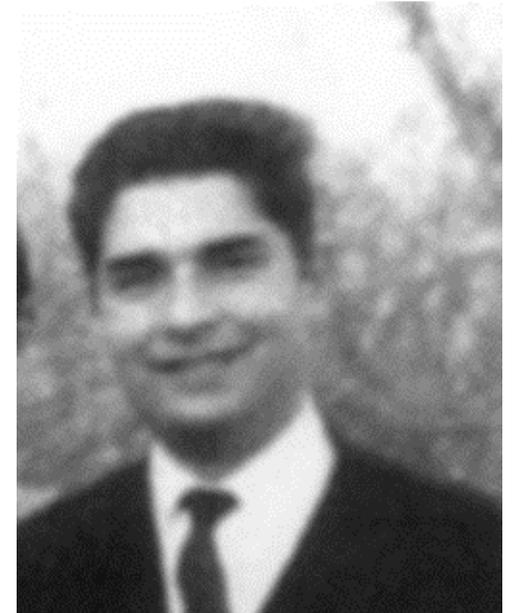
De ahí viene el concepto de recarga a través de una capa reactiva, que elimina los contaminantes emergentes (no tan bien como la ósmosis), pero no tiene rechazo y es muy económica

Es necesario un cambio de paradigma en la gestión del agua

En el 2022, la UPC le dijo que se tenía que ir del despacho...
(En teoría tenía que haberse ido 10 años antes, pero Xavi había ido aguantando)

¡Y se enfadó!

- ¡Era un crío cuando empezó!
- ¡y mas de 60 años después seguía produciendo obras inmortales, con la misma ilusión juvenil!
- ¿De dónde sacaba esa energía e ilusión?



Para mí, ese es el verdadero misterio ¿de dónde sacaba energía?

Y creo que su secreto es el amor

- Que surgía de sus creencias y de su familia
- Y que le hacía ser extraordinariamente generoso

Al final del día, su inmortalidad no nace tanto de su exhaustividad, erudición o capacidad de trabajo... ¡nace del amor!



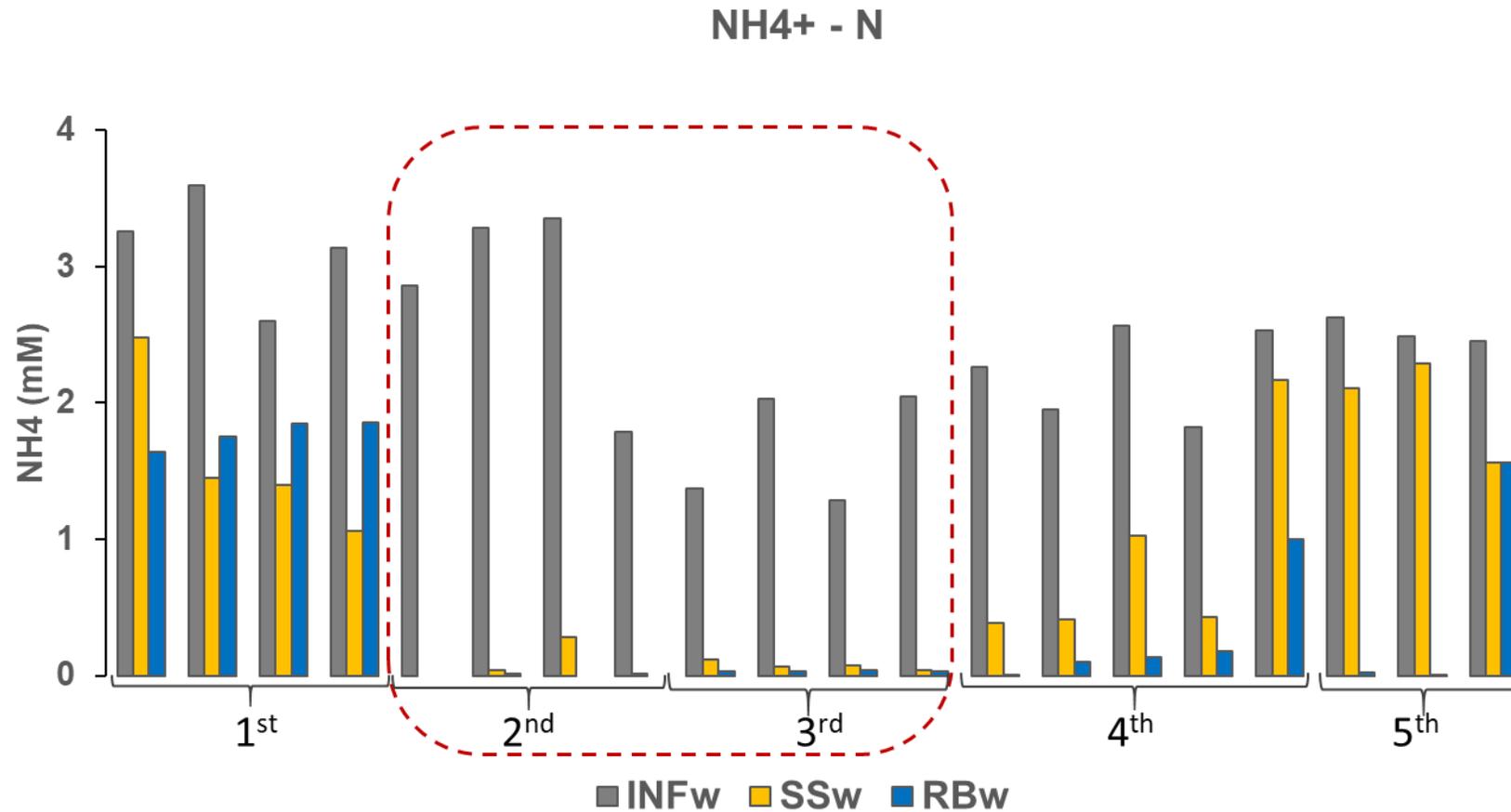
2004

84 m

Image © 2024 Institut Cartogràfic de Catalunya

Google Earth

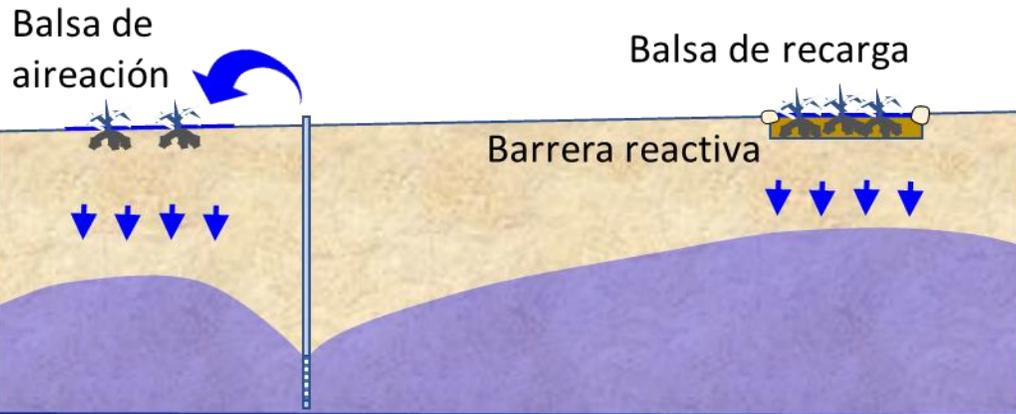
Recàrrega a polsos per a eliminació d'amoni



Recarga de agua regenerada

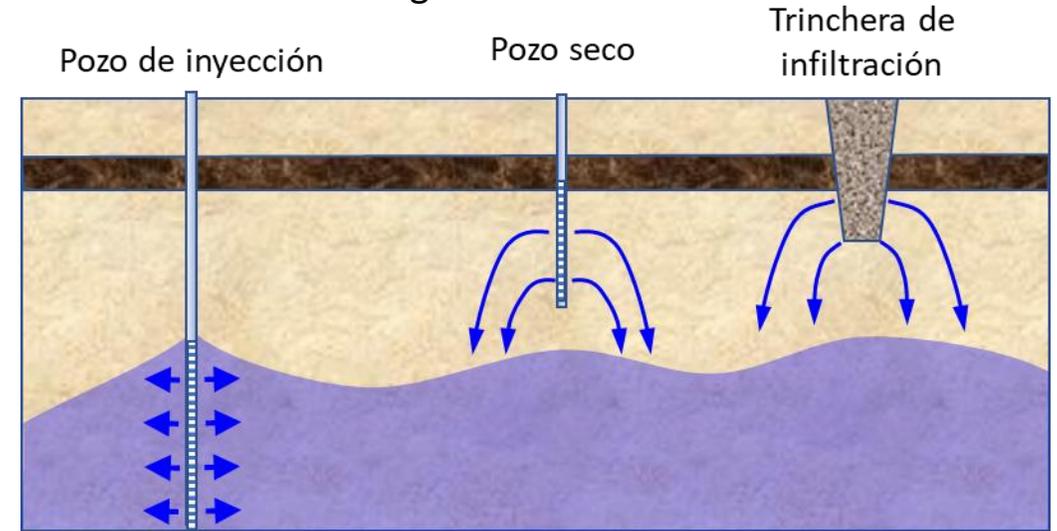
Tratamiento Suelo Acuífero:

Se recarga el efluente de la EDAR (típicamente del secundario). Se ha mostrado que los procesos del suelo y el largo tiempo de residencia en el acuífero eliminan la mayoría de contaminantes, por no decir todos. Puede requerir una aireación secundaria.



Inyección profunda

Si se opta por sistemas de inyección profunda, el tratamiento debe ser muy estricto, tanto para evitar colmatación, como para garantizar la calidad del agua del acuífero.



La planta piloto de Palamós ha estado recargando el efluente del secundario a través de una balsa con capa reactiva y plantas, durante cuatro años sin apenas eventos de colmatación. Se ha demostrado la eliminación de patógenos, emergentes (productos farmacéuticos, filtros solares, etc.) e incluso, la reducción de genes de resistencia a antibióticos