

# **LOS ANÁLOGOS NATURALES EN LA EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LOS RESIDUOS**

# Objetivos generales

- Desarrollar metodologías para la caracterización de potenciales emplazamientos.
- Estudiar procesos naturales asimilables a la evolución de partes de un AGP.
- Cubrir la variable tiempo en el ciclo de vida de un AGP ( $10^5$ - $10^6$  a vs. 1-10 a en laboratorio).
- Verificar y probar modelos del comportamiento de un AGP.

# Plan de I+D de Enresa

Desarrollo de 4 proyectos de estudio de análogos naturales:

- 3 Proyectos sobre combustible gastado y medio geológico
  - Yacimiento de U de Oklo (Gabón): **OKLO**
  - Yacimiento de U-Th de Palmottu (Finlandia): **PALMOTTU**
  - Yacimiento de Mina Fe (Salamanca): **MATRIX**
- 1 Proyecto sobre Barreras Bentoníticas
  - Yacimientos bentoníticos de Almería: **BARRA-I**

# OKLO. Presentación

- **Participantes:** UE, España, Francia, Suecia, USA y Japón.
- **España:** Enresa, CIEMAT, QuantiSci, CSIC, UPC, Univ. Oviedo.
- **Objetivo:** Estudio de los reactores nucleares naturales de Okelobondo y Bagombé.
- **Analogías:**
  - Combustible gastado
  - Medio arcilloso
  - Productos de fisión

# OKLO. Objetivos

- Definir el comportamiento y la capacidad de confinamiento de:
  - Combustible natural gastado
  - Arcillas
  - Areniscas encajantes
- Cuantificar procesos de migración/retención desde la fuente hasta medio geológico
- Modelizar dichos procesos y validarlos con datos del sistema natural
- Proporcionar datos termodinámicos y escenarios para el comportamiento de un AGP

# OKLO. Resultados (I)

- Una buena caracterización mineralógica es imprescindible para poder determinar los procesos geoquímicos relevantes en un sistema natural. Esta caracterización permite determinar la asociación entre elementos mayores y trazas, y los minerales que los contiene.

# OKLO. Resultados (II)

- Ejercicios experimentales
  - Mejora de la bases de datos
  - Cálculos de elementos traza en medio arcilloso
  - Co-precipitación y co-disolución de elementos traza
- Estudios de disolución de uraninita
  - Analogía entre combustible gastado y uraninita de Oklo
  - Procesos de liberación de componentes minoritarios.
  - Dependencia de concentración de bicarbonato y de condiciones redox.

# OKLO. Resultados (III)

- La modelización hidrogeoquímica de Oklo
  - Establecimiento de los caminos de circulación de aguas a partir de los procesos de interacción agua-roca.
  - Precipitación y disolución de minerales como principales responsables de la retención de radionucleidos.
  - Relación con los ejercicios de experimentación.



# PALMOTTU. Presentación

- **Participantes:** CE, Finlandia, España, Suecia, Francia, UK, Alemania
- **España:** Enresa, CIEMAT, QuantiSci, CSIC, UPC, Univ. Oviedo
- **Objetivo:** Estudio de la mineralización de U-Th en un medio granítico fracturado.
- **Analogías:**
  - Comportamiento de U y elementos traza en medio granítico
  - Condiciones oxidantes y reductoras

# **PALMOTTU. Objetivos**

- Estudio de migración de RN en fracturas hidráulicamente activas, teniendo en cuenta:
  - Hidrogeología del sistema
  - Evolución geoquímica del sistema agua/roca
  - Procesos REDOX
  - Procesos migración/retención
  - Datos experimentales de laboratorio
- Objetivo final:
  - Modelización Transporte y Retención
  - Conclusiones para un AGP en granitos

# **PALMOTTU. Resultados (I)**

- La caracterización mineralógica detallada permite establecer la relación entre elementos traza (U) y elementos mayoritarios. También es relevante para determinar si en el sistema estudiado existe una zonación mineral debida a los diferentes procesos geoquímicos que actúan en el sistema.
- Ejercicios de Modelización
  - La optimización de los datos mineralógicos e hidroquímicos del sistema ayuda a reducir las incertidumbres
  - La relación entre elementos mayoritarios y trazas pone de manifiesto la importancia de los procesos de co-precipitación y co-disolución.

# PALMOTTU. Resultados (II)

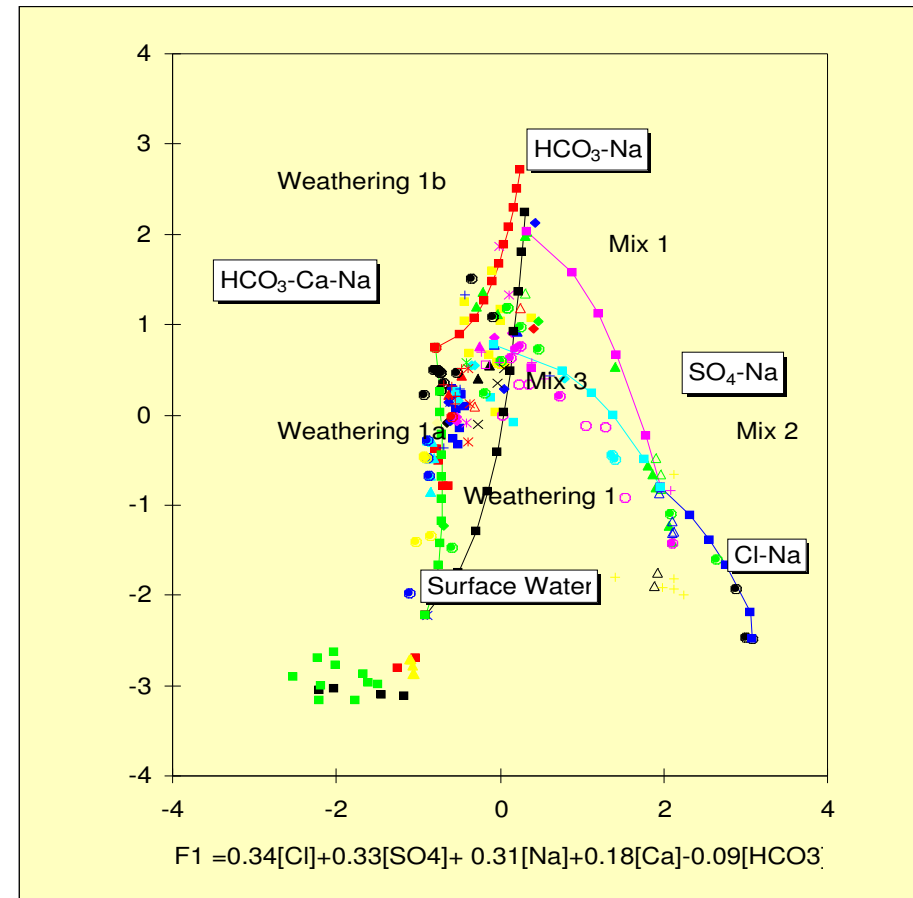
- Experimentos de solubilidad de uraninita
  - En condiciones oxidantes la solubilidad de U está controlada por schoepita o soddyita según la concentración de  $\text{SiO}_2$
  - En condiciones reductoras la solubilidad de U está controlada por la fase  $\text{UO}_{2+x}$
  - La comparación de los valores de Eh medidos en campo y en laboratorio muestra que el tampón redox es ejercido por el equilibrio uraninita/ $\text{U}_3\text{O}_7(\text{s})$  en los alrededores de la mineralización de uranio.

# **PALMOTTU. Resultados (III)**

- El potencial redox de las aguas subterráneas está controlado por distintos pares redox en función de su posición en el sistema.
- La modelización hidrogeoquímica del sistema de Palmottu permite caracterizar los procesos de mezcla de aguas y de interacción agua-roca más relevantes en un sistema granítico complejo.

# PALMOTTU. Resultados (V)

- La modelización hidrogeoquímica del sistema de Palmottu permite caracterizar los procesos de mezcla de aguas y de interacción agua-roca más relevantes en un sistema granítico complejo.

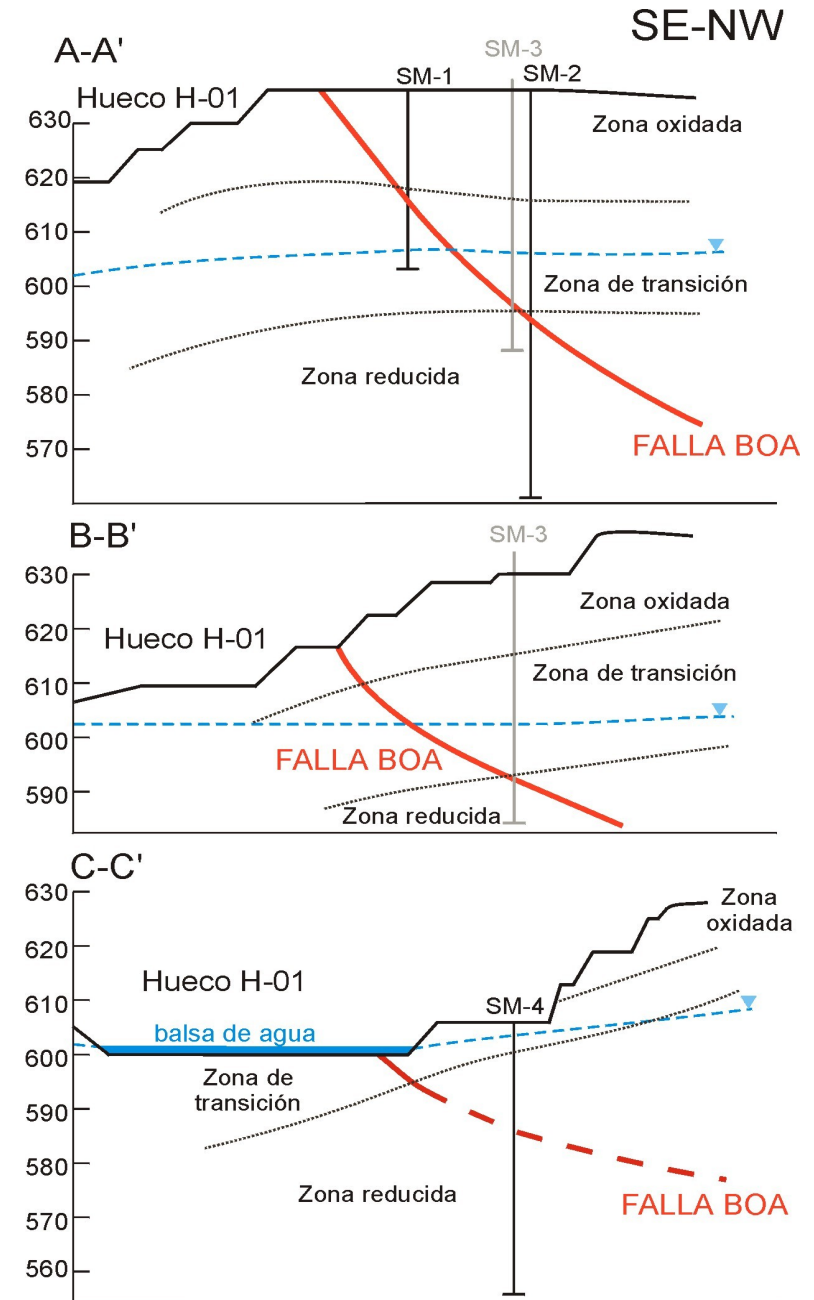


# MATRIX. Presentación y objetivos

- Proyecto nacional: Enresa, CIEMAT, QuantiSci, ENUSA
- Objetivos:
  - Estudio de oxidación y disolución del término fuente y la retención de U en minerales secundarios y por sorción.
  - Estudio de los procesos de difusión en la matriz.
- Analogías:
  - Mineralización de U análoga del combustible gastado.
  - Presencia de oxi-hidróxidos de Fe como análogos de los productos de corrosión del contenedor.
  - Arcillas presentes en la zona mineralizada como análogo de la barrera de arcillas del campo próximo.
  - Medio geológico análogo al campo lejano.

# MATRIX. Mina Fe

- La Falla Boa: Mineralización de uranio encajada en una fractura.
  - Estudios estructurales para caracterizar la zona y determinar la morfología de la falla.
  - Estudios mineralógicos de la cantera y sondeos (zonación).
  - Muestras de aguas subterráneas de sondeos.
  - Modelo conceptual hidrogeoquímico.





# MATRIX. Resultados (I)

- La caracterización mineralógica de los rellenos fisurales de la Falla Boa ha permitido poner de manifiesto los principales procesos geoquímicos que han dado lugar al estado actual del sistema.
- La elaboración de un modelo geoquímico conceptual ha permitido establecer los principales procesos geoquímicos que han causado la zonación mineralógica existente en el yacimiento:
  - Zona oxidada
  - Zona de tránsito
  - Zona reducida (mineralización primaria)

# **BARRA-I.**

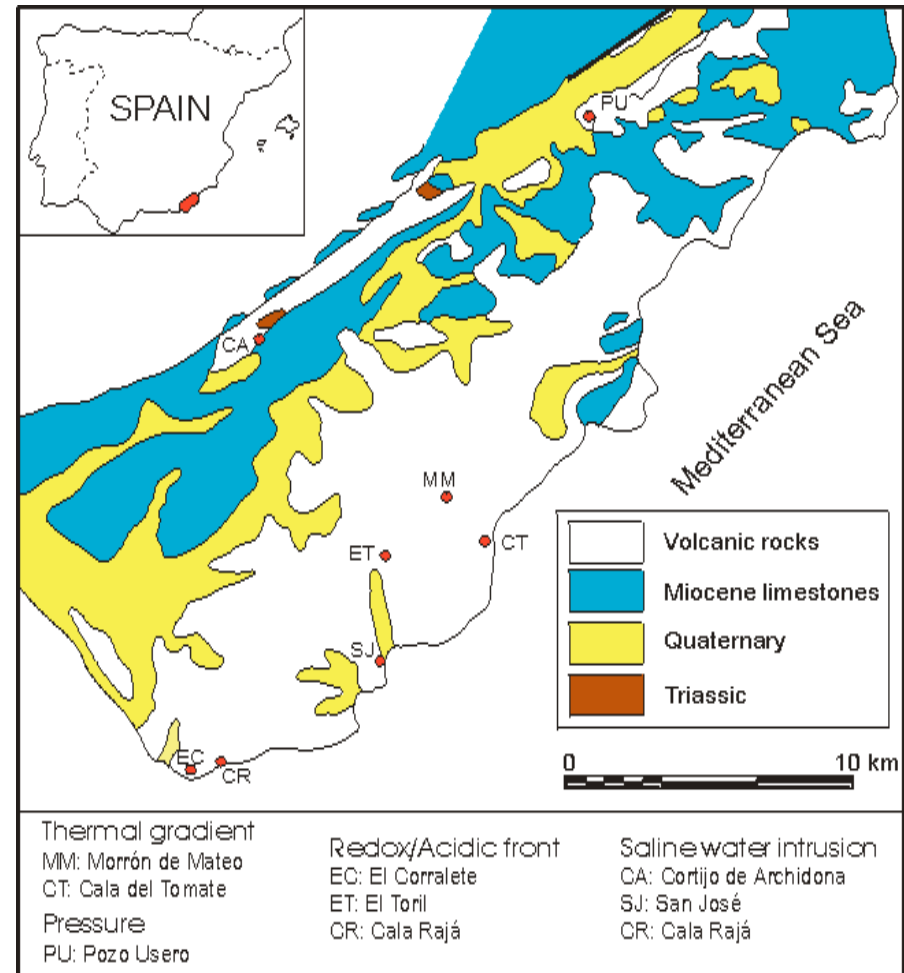
## **Presentación**

- Proyecto nacional: Enresa, CIEMAT, QuantiSci, CSIC
- Objetivo: Análisis de la evolución a largo plazo de las características físico-químico-mecánicas en un análogo natural de la barrera de bentonita.
- Procesos objeto de estudio:
  - Efecto térmico
  - Efecto presión
  - Efecto de aguas de elevada salinidad
  - Efecto de un frente ácido

# BARRA-I.

## Situación

- Efecto térmico
  - Cala del Tomate (CT)
  - Morrón de Mateo (MM)
- Efecto presión
  - Pozo Usero (PU)
- Efecto salinidad
  - Cortijo de Archidona (CA)
  - San José (SJ)
  - Cala Rajá (CR)
- Frente ácido
  - El Toril (ET)



# **BARRA-I. Resultados**

## **(I)**

### **Efecto térmico**

Existencia de un gradiente térmico que ha afectado a la bentonita.

Se observan variaciones espaciales de su composición mineral e isotópica en función de la distancia a la fuente térmica.

### **Efecto salinidad**

Gradientes composicionales en Cortijo de Archidona, tanto

### **Efecto presión**

dada la presión litostática como de la mineralogía de la bentonita.

Datos preliminares del efecto sobre la bentonita de la presión de carga del contenedor.

Variación de la cristalinidad de la esmectita.

### **Efecto frente ácido**

Aunque existe la posibilidad de la penetración de un frente ácido en el campo próximo, este análogo ha sido descartado dada la baja probabilidad de que esto ocurra.

# **BARRA-I. Continuación**

- Los resultados preliminares de este proyecto han permitido la puesta en marcha de un proyecto de análogos naturales más ambicioso:

## **El proyecto BARRA-II**

Con la participación de: ENRESA, SKB, IPSN y RAWRA.

# CONCLUSIONES

- El estudio de los análogos naturales permite obtener datos relevantes de la evolución de partes del AGP con el tiempo que no puede ser conseguida en el laboratorio.
- Permite mejorar los conceptos y parámetros utilizados en la modelización de la evolución geoquímica.
- Es fundamental para determinar los principales procesos que pueden afectar a un AGP en los distintos subsistemas.
- También permite la obtención de información directamente aplicable (i.e. Solubilidades de RN's en medio natural)
- Es fundamental para determinar los principales procesos que determinan la evolución temporal del AGP y que deben ser estudiados con mayor profundidad.