

# **Almacenamiento Geológico Profundo.**

**Conceptos básicos, barreras de  
ingeniería, barreras geológicas**

# Opciones de gestión final de los combustibles nucleares



## Residuos Radiactivos alta actividad: actividad

- ‘ Durante los 200 primeros años la radiactividad es debida a los productos de fisión emisores  $\beta$  y  $\gamma$  ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  )
  - ‘ Entre 200 y 100.000 años la radiactividad es debida al Pu y Am (emisores  $\alpha$  ).
- Pasados los 100.000 años la radiactividad será casi cte y debida al Pu, Np y U

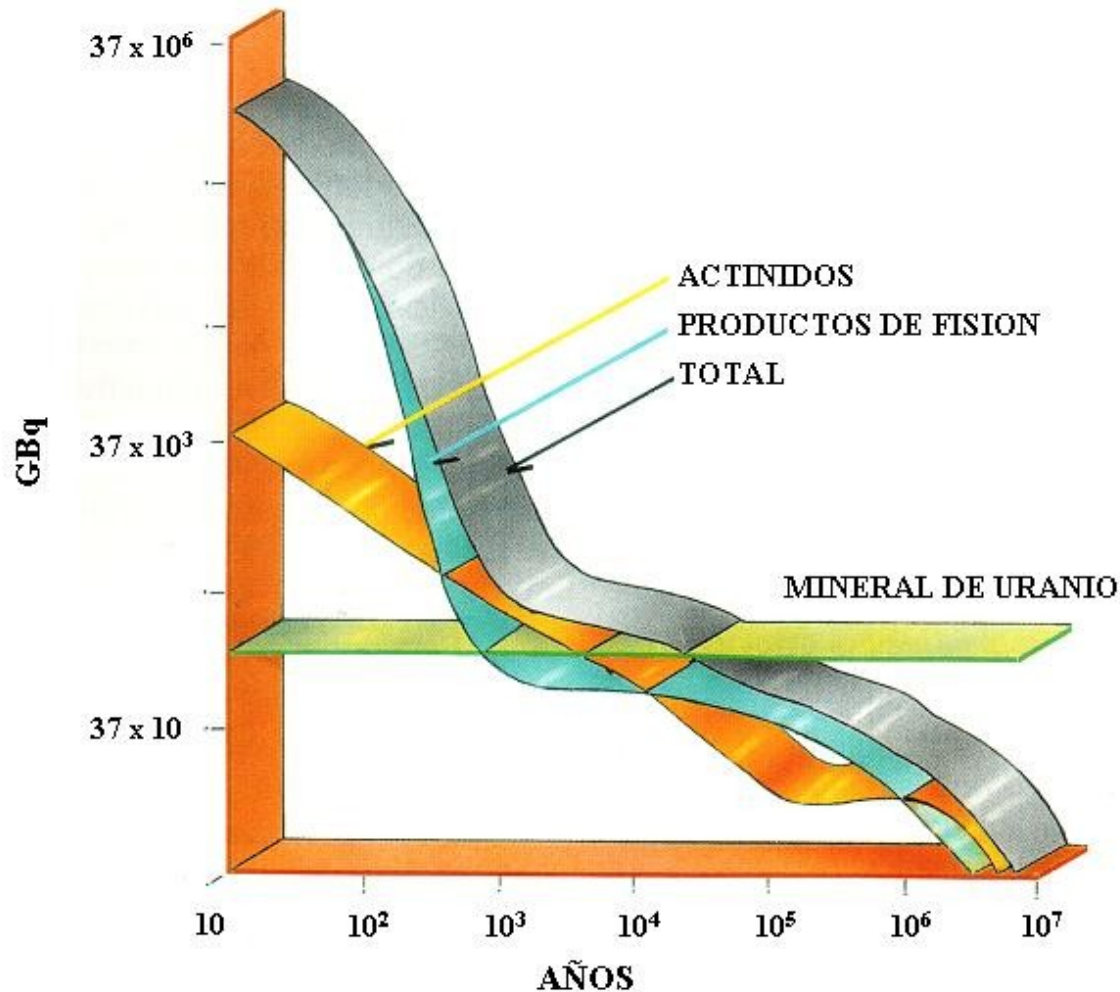
## Residuos Radiactivos alta actividad: temperatura

La generación de calor proviene principalmente de radionucleidos de vida corta, como  $^{90}\text{Sr}$  y  $^{137}\text{Cs}$ .

1 año después de la descarga del reactor, el calor residual es de 10.000 W/tU.

A los 1.000 años el calor residual es de 65 W/tU.

# Residuos Radiactivos alta actividad: decaimiento de la actividad



**¿ Se pueden  
almacenar los  
residuos  
radiactivos de  
forma segura  
durante el tiempo  
necesario hasta su  
decaimiento?**

# **Residuos Radiactivos alta actividad: tratamiento adecuado**

**Evitar que las radiaciones lleguen a las personas y al medio ambiente**

**¿Como pueden llegar las radiaciones a las personas?**

**Directamente (irradiación)**

**Indirectamente, al dispersarse por ingestión o inhalación**

# Residuos Radiactivos alta actividad: soluciones

- θ Espacio exterior
- θ Fondos marinos
- θ Sondeos profundos
- θ Casquetes polares
- θ **Almacenamiento Geológico Profundo (AGP)**

# Concepto de Almacenamiento Geológico Profundo

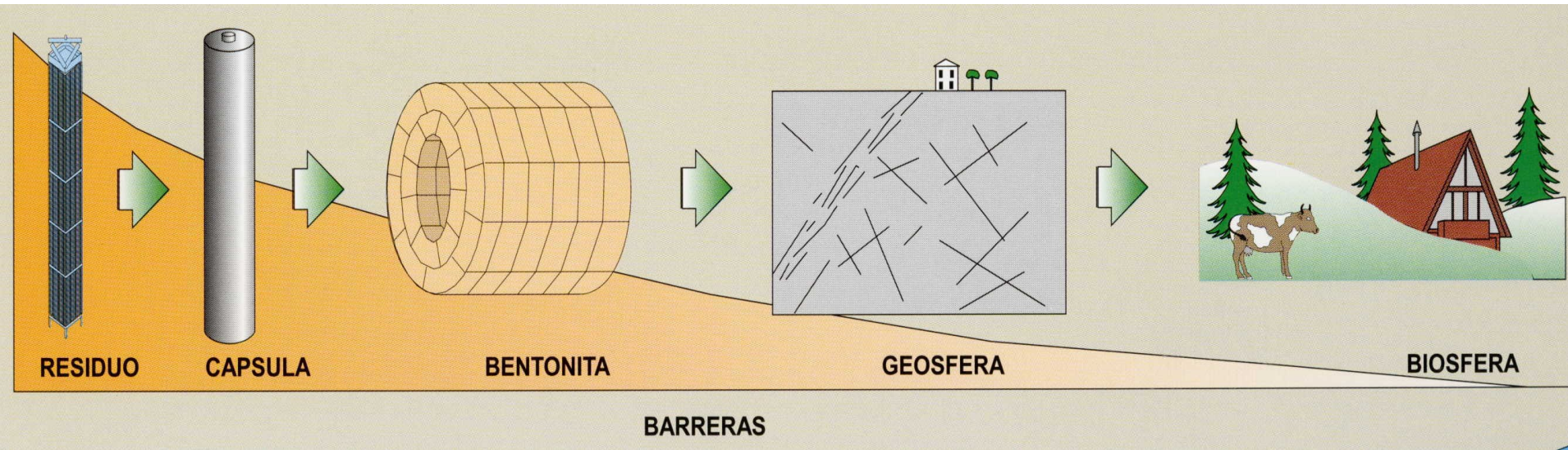
El modelo de almacenamiento se basa en el concepto de Barreras Múltiples. El sistema está constituido por una combinación de barreras de ingeniería y naturales dispuestas en serie, de forma que las posibles deficiencias en cualquiera de dichas barreras incidirá solo de forma limitada en la función combinada del sistema

# Concepto de Almacenamiento Geológico Profundo

**El almacenamiento geológico profundo es la opción más razonable y fundamentada para mantener aislados los residuos radiactivos de alta actividad y protegida la Biosfera**

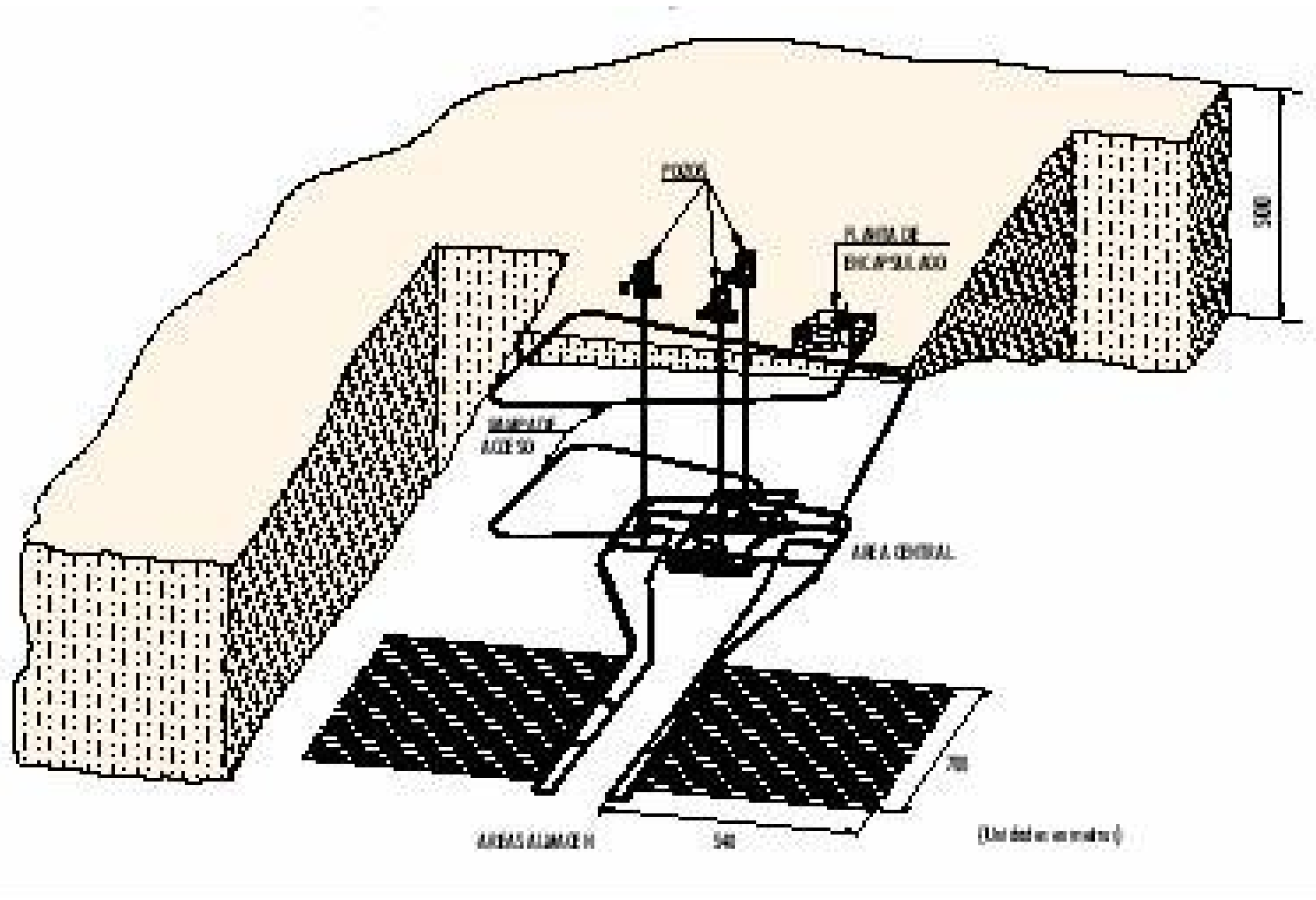


# Concepto de Almacenamiento Geológico Profundo en España (ENRESA)



# Almacenamiento Geológico Profundo

## Instalaciones subterráneas



# Almacenamiento Geológico Profundo

## Instalaciones de superficie



# Almacenamiento Geológico Profundo

## **Campo Próximo**

Es la zona comprendida entre el residuo y la barrera geológica.

Está constituido por:

- θ El residuo radiactivo (combustible irradiado)
- θ El contenedor metálico
- θ La barrera de arcilla
- θ La zona perturbada por la excavación de las galerías (EDZ)



# Contenedor del Combustible gastado

MATERIALES METALICOS		
Estables	Cobre	<ul style="list-style-type: none"><li>- inmune a la corrosión en ambiente reductor</li><li>- poca estabilidad mecánica</li></ul>
Consumibles	Acero al carbono	<ul style="list-style-type: none"><li>- facil mecanización y conformado</li><li>- corta vida de servicio</li><li>- generación y posible acumulación de gas</li></ul>
Resistentes a la corrosión	Titanio	<ul style="list-style-type: none"><li>- resistente a la corrosión en casi todos los ambientes</li><li>- facil mecanización, conformado y soldadura</li><li>- sensible a corrosión localizada y a la fragilización por <math>H_2</math></li></ul>



# Consideraciones relevantes sobre la durabilidad del contenedor

- θ El cobre y el hierro nativo permanecen inalterados durante millones de años en condiciones reductoras reguladas por los componentes minerales de las rocas
- θ La capacidad de sorción de los productos de corrosión es alta
- θ Las tasas de corrosión determinadas a partir de experimentación y de restos arqueológicos son:
  - Cu y aleaciones: 0,025 a 1,27  $\mu$  m/año
  - Fe y aleaciones: 0,1 a 10  $\mu$  m/año



**La vida del contenedor de acero al carbono puede ser igual o superior a los 10.000 años**

# Barrera de Arcilla (bentonita)

## **FUNCIONES:**

Disipación y transmisión controlada del calor generado por los residuos

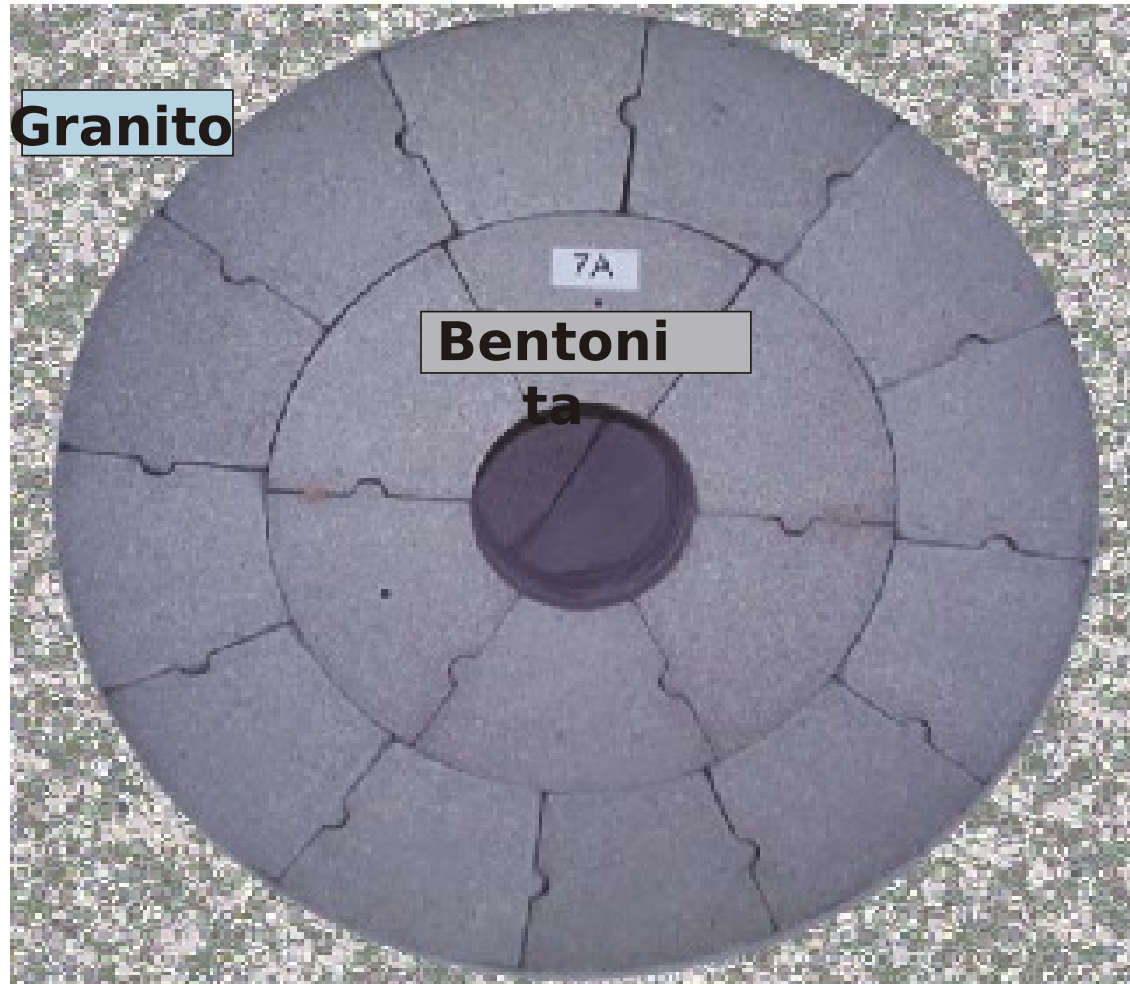
Aislamiento hidráulico

Sellado y protección mecánica

Regulación Geoquímica

Retardo del transporte de radionucleidos

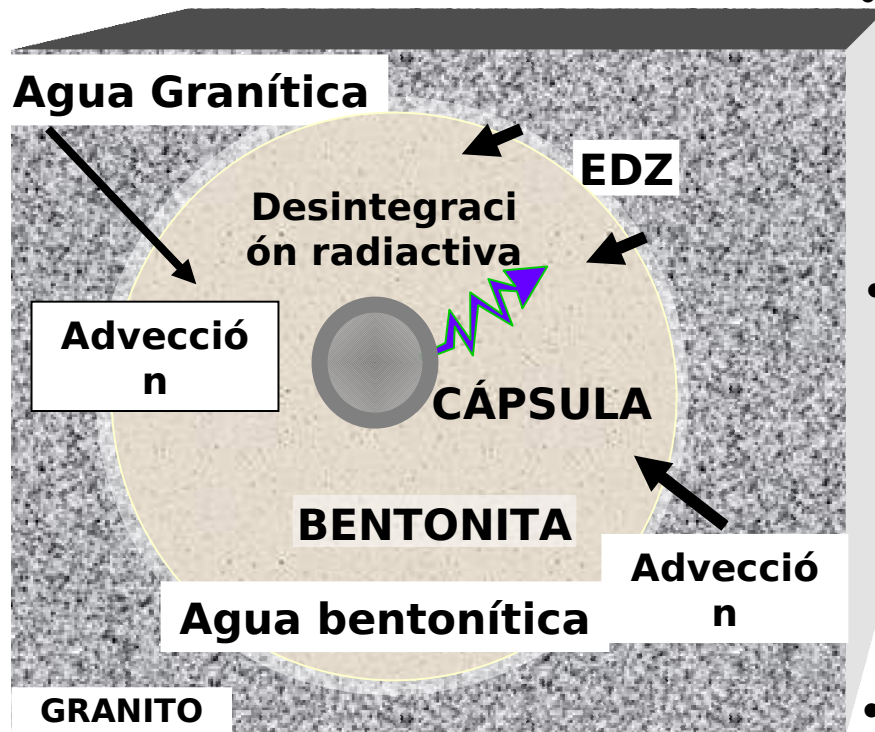
# Barrera de Arcilla: Configuración





# Procesos en el Campo Próximo

## Transitorio de hidratación



### Interfase Granito-Bentonita

- Hidratación de la barrera de bentonita
- Dilución y movimiento de sales hacia la cápsula
  - Consumo de  $O_2$  (Condic. Reducidas)
- Saturación de la barrera de arcilla (10-90 años)
- Homogenización del agua intersticial (100 años)

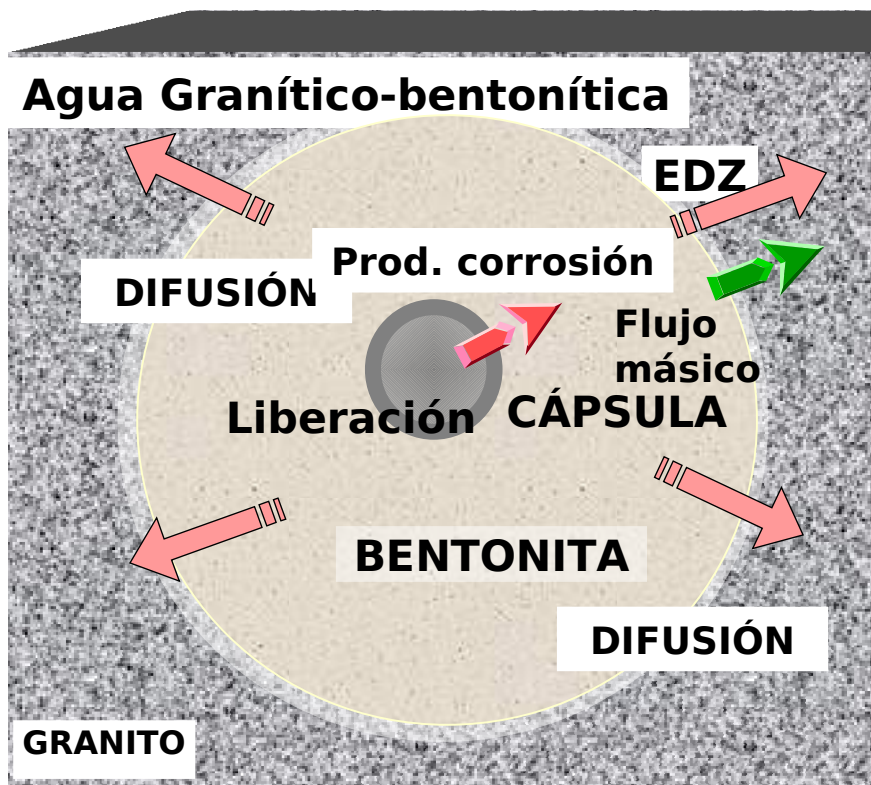
---

### Interfase Bentonita-Cápsula

- Evaporación del agua por el calor generado
- Precipitación de nuevas fases minerales
  - Radiólisis y generación de agentes oxidantes

# Procesos en el Campo Próximo

## Barrera de arcilla saturada



### Interfase Granito-Bentonita

- Difusión salina hacia el granito
- Equilibrio agua granítica/Agua intersticial de la arcilla (100.000 años)

### Interfase Bentonita-Cápsula

- Corrosión óxica y anóxica con formación de minerales de hierro (magnetita, goethita)
- Generación de gases:  $H_2$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$ , He, Xe, Kr
- Agua intersticial bentonítico-granítica con productos de corrosión
- Agua intersticial bentonítico-granítica con productos de corrosión y radionucleidos

# Consideraciones relevantes sobre la Barrera de Arcilla

- θ Las arcillas (bentonitas) son buenos aislantes hidráulicos
- θ Mantienen condiciones físico-químicas idóneas para el mantenimiento de materiales lábiles
- θ Tienen alta capacidad de retención de metales
- θ La barrera de arcilla mantendrá sus funciones durante la vida operativa de un AGP

# Emplazamiento: estudios y caracterización

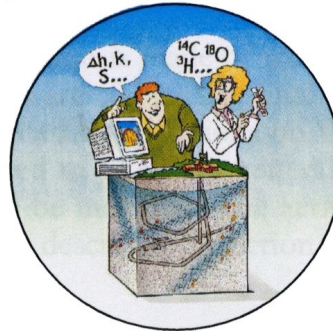
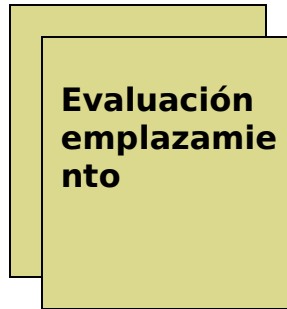
## CARACTERIZACIÓN DE LA FORMACIÓN GEOLÓGICA

### INVESTIGACIÓN



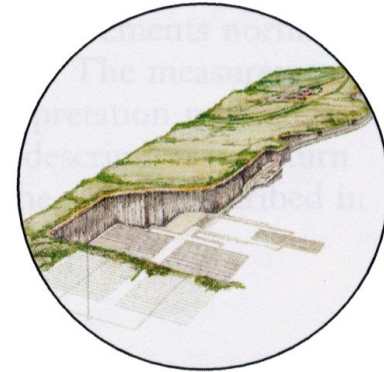
#### Productos

- ◆ Descripción del sitio
- ◆ Base de datos
- ◆ Modelos geocientíficos



### EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD

### DISEÑO



#### Productos

- ◆ Descripción instalación
- ◆ Criterios específicos de diseño
- ◆ Evaluación de riesgos técnicos

#### Productos

- ◆ Informe de seguridad

# **Emplazamiento: estudios y caracterización**

## **CONCEPTO**

Formaciones geológicas interpuestas entre el residuo y las personas: formación en la que se construye el AGP y formaciones que la separan de la biosfera

## **FUNCIONES**

Protección a largo plazo de las barreras de ingeniería, asegurando condiciones mecánicas, físicas y geoquímicas estables.

Asegurar un flujo de agua bajo, lento y estable.

Impedir o retardar al máximo el transporte de los radionucleidos entre el repositorio y la biosfera.

Proteger al repositorio de la intrusión humana

# **LA BARRERA GEOLÓGICA**

## **TIPOS DE FORMACIÓN GEOLÓGICA/ROCA:**

**F. GRANÍTICAS**

**F. ARCILLOSAS**

**F. SALINAS**

## **REQUERIMIENTOS GENERALES**

**Estabilidad sísmica y tectónica**

**“Ausencia” de recursos naturales**

**“Ausencia” de recursos culturales**

**Muy baja densidad de población**

# **LA BARRERA GEOLÓGICA**

## **REQUERIMIENTOS ESPECÍFICOS**

- ◆ Escasa perturbación de la formación geológica: fácil comprensión y modelación de su comportamiento
- ◆ Dimensiones suficientes en extensión y potencia
- ◆ Homogeneidad textural y mineralógica (rocas arcillosas)
- ◆ Baja densidad de fracturación ( rocas duras)
- ◆ Baja permeabilidad
- ◆ Bajos gradientes hidráulicos/topográficos
- ◆ Capacidad reductora de la roca
- ◆ Agua subterránea reducida y neutra (intersticial y de fractura)
- ◆ Agua con bajo contenido en solutos y complejantes
- ◆ Mecanismo de transporte dominante difusivo-dispersivo

# **LA BARRERA GEOLÓGICA**

## **PARA EL ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES DE TRANSPORTE DE LA ROCA ES FUNDAMENTAL:**

- ◆ **Determinar los parámetros específicos de la roca para el transporte de sustancias reactivas: *difusividad en la matriz, porosidad de la matriz, coeficientes de sorción, parámetros de superficie de los minerales.***
- ◆ **Determinar los parámetros específicos de la roca para el transporte de sustancias no reactivas: *dispersividad, porosidad de flujo, tiempo de tránsito, apertura de fracturas***