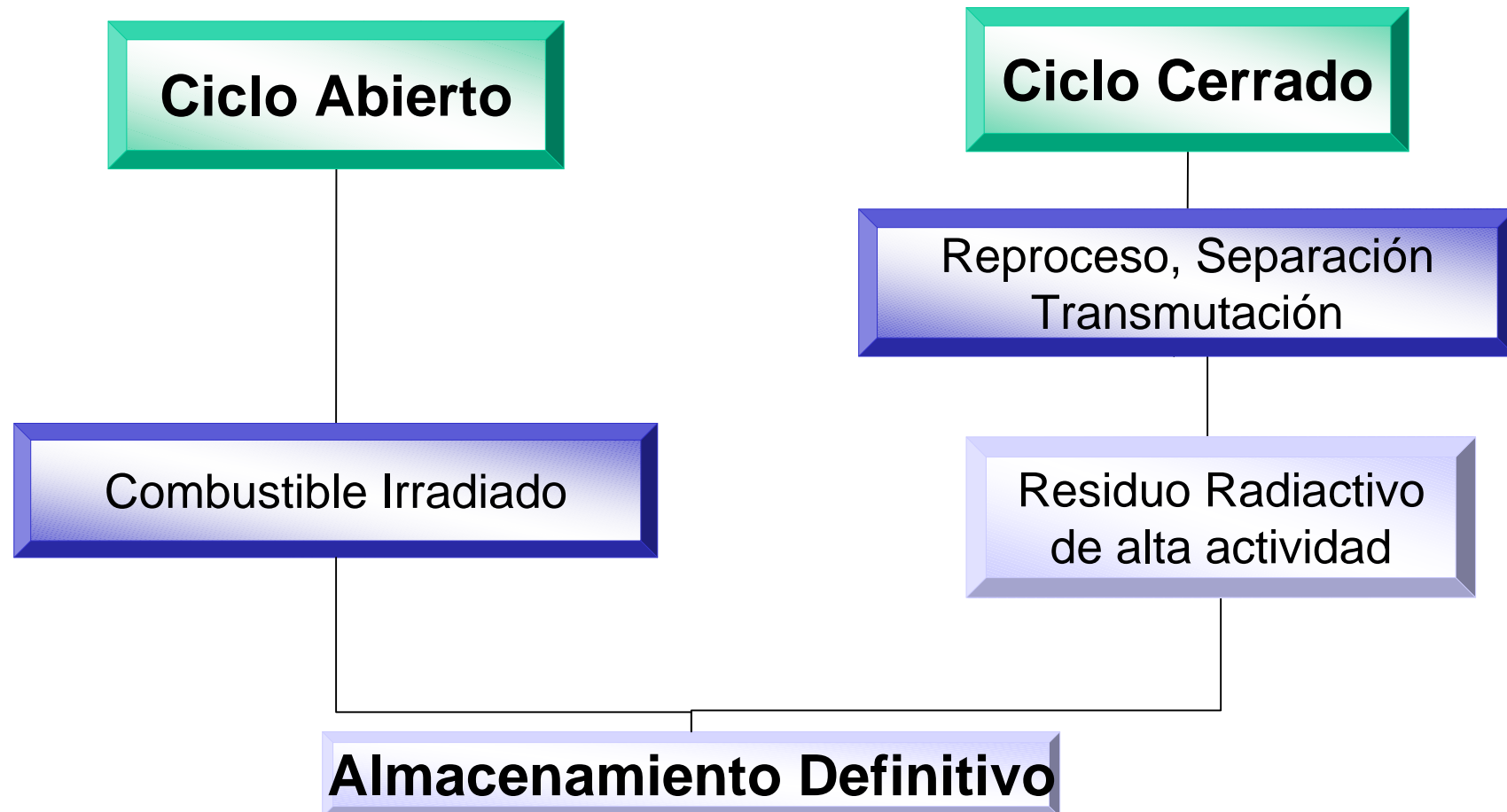


Almacenamiento Geológico Profundo.

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

Opciones de gestión final de los combustibles nucleares



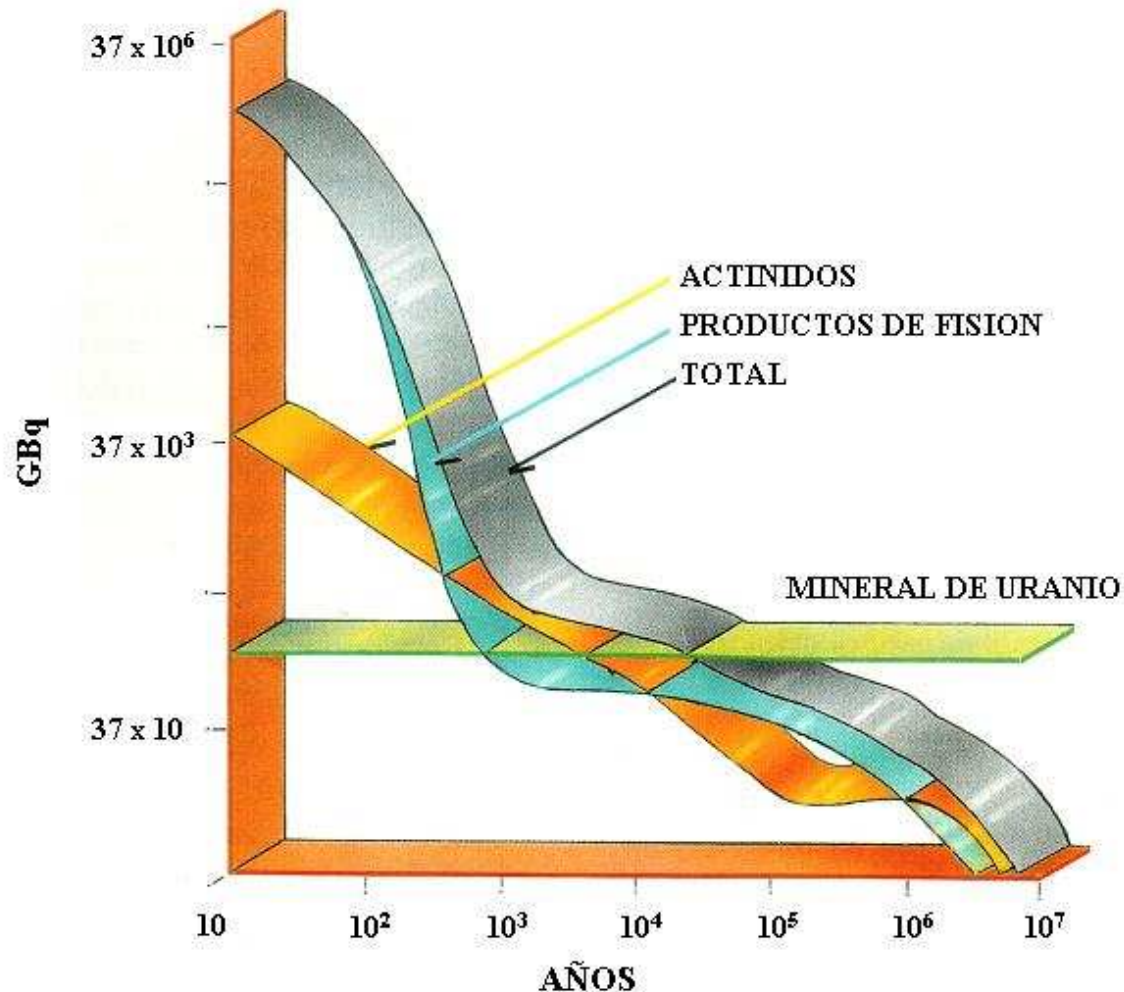
Residuos Radiactivos alta actividad: actividad

- Durante los 200 primeros años la radiactividad es debida a los productos de fisión emisores β y γ (^{137}Cs , ^{90}Sr)
- Entre 200 y 100.000 años la radiactividad es debida al Pu y Am (emisores α).
- 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}Sr y ^{137}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)**

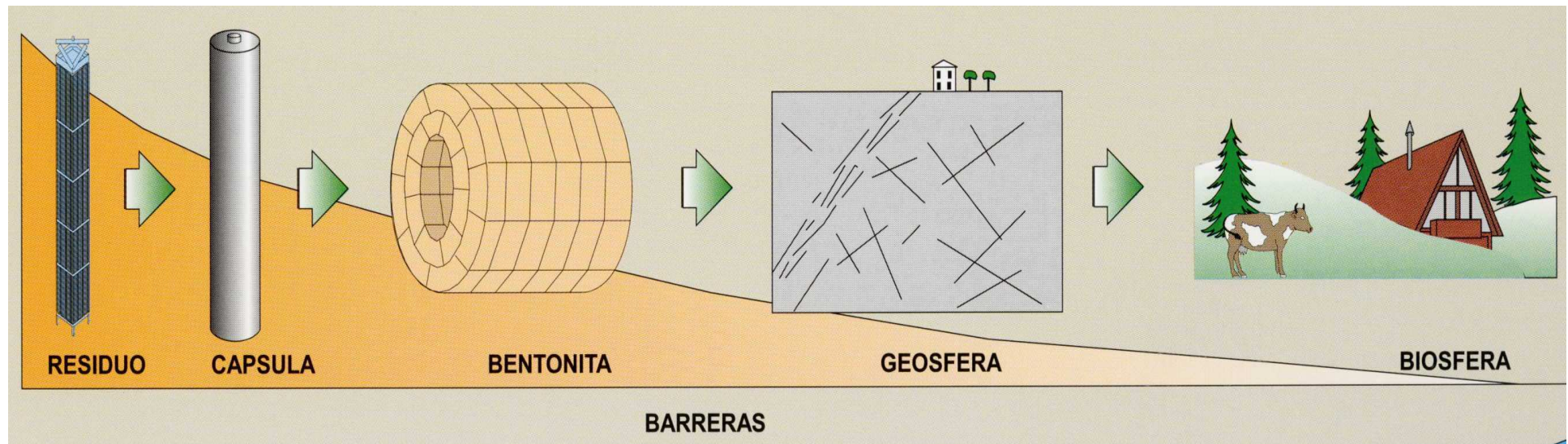
Concepto de Almacenamiento Geológico Profundo

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

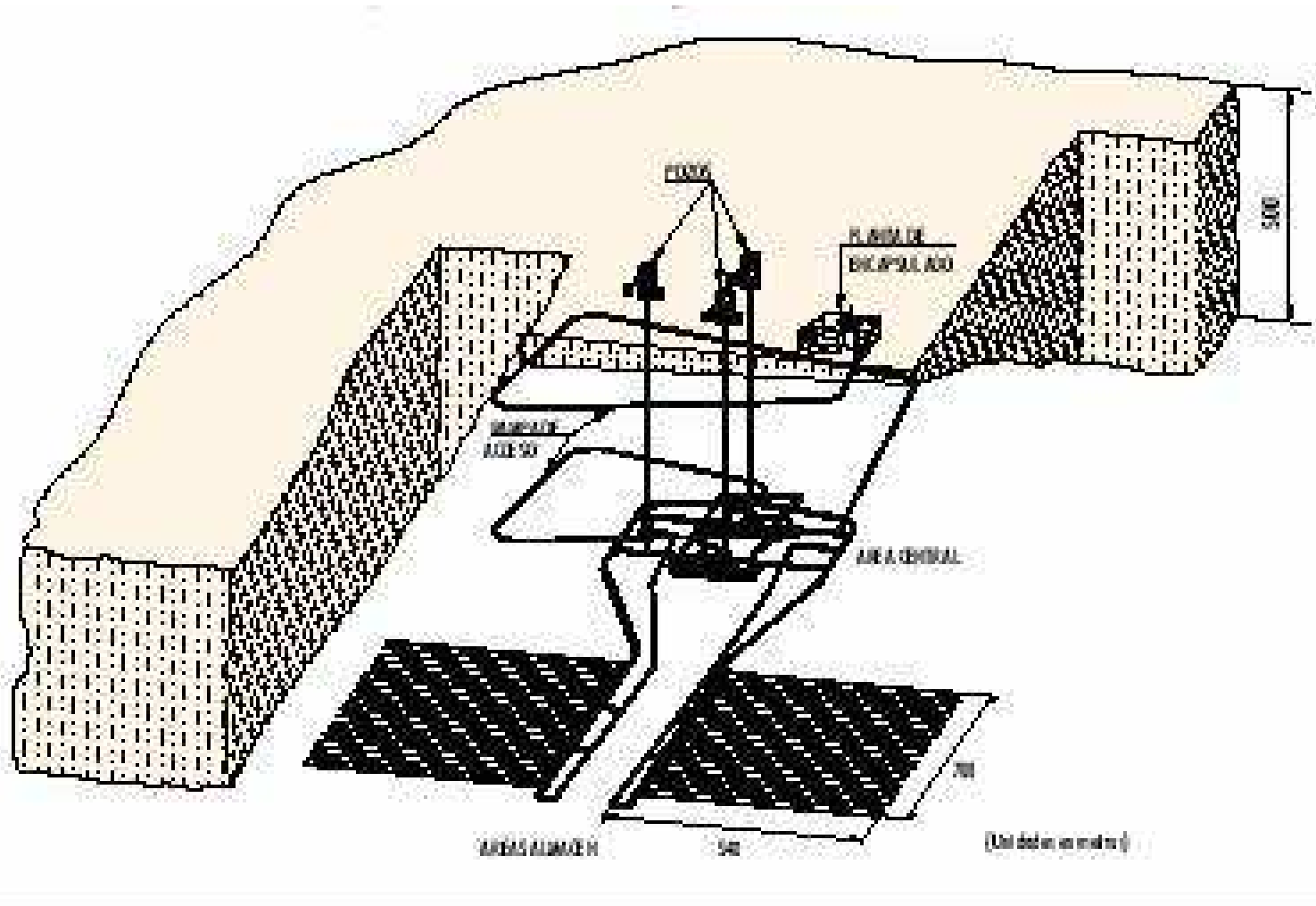
El almacenamiento geológico profundo es la opción más razonable y fundamentada para mantener aislados los residuos radiactivos de alta actividad y protegida la Biosfera

Concepto de Almacenamiento Geológico Profundo en España (ENRESA)



Almacenamiento Geológico Profundo

Instalaciones subterráneas



Almacenamiento Geológico Profundo

Instalaciones de superficie



Detalle del almacenamiento

- 1- Cápsula de almacenamiento
- 2- Liner
- 3- Bentonita
- 4- Roca alojante



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



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 $\mu\text{m}/\text{año}$
 - Fe y aleaciones: 0,1 a 10 $\mu\text{m}/\text{año}$



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

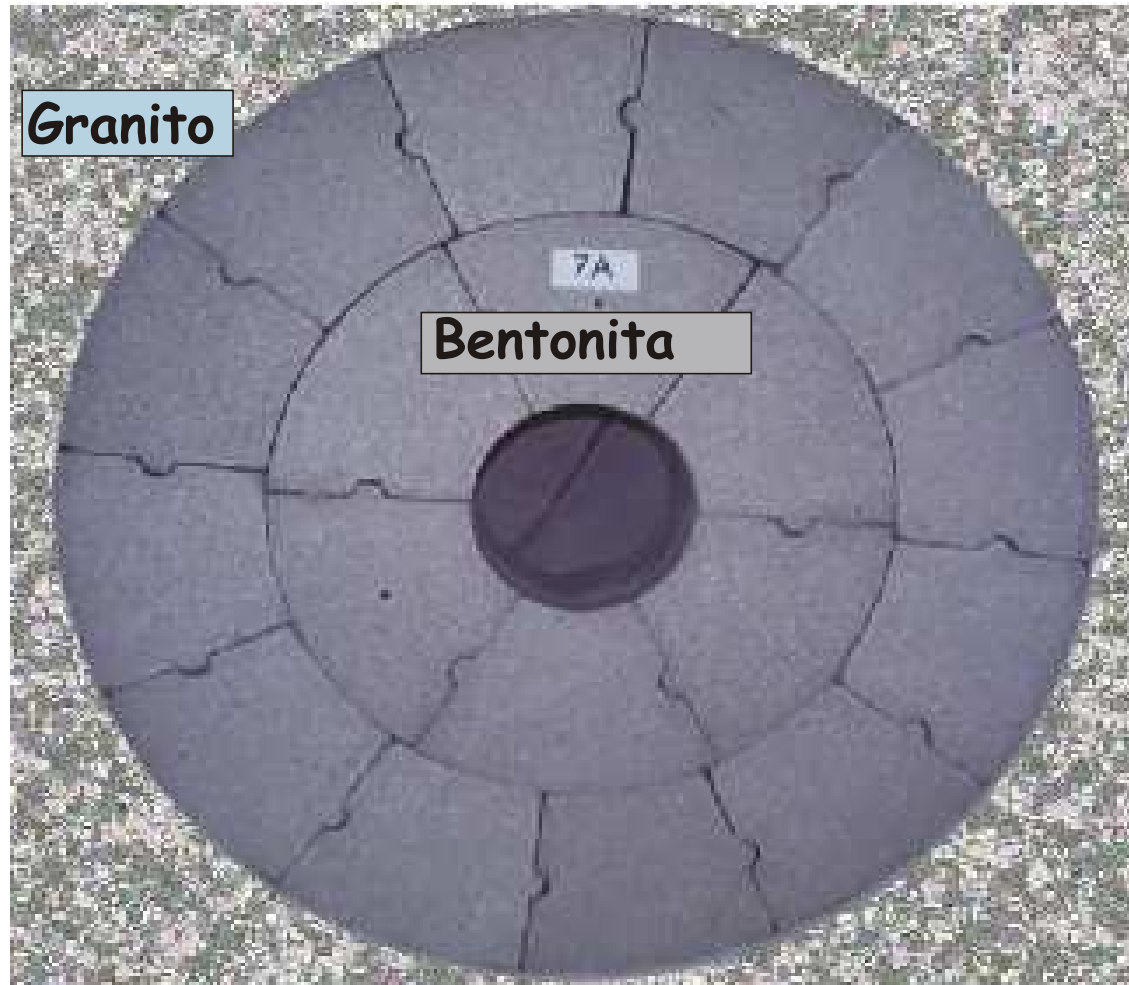
Aislamiento hidráulico

Sellado y protección mecánica

Regulación Geoquímica

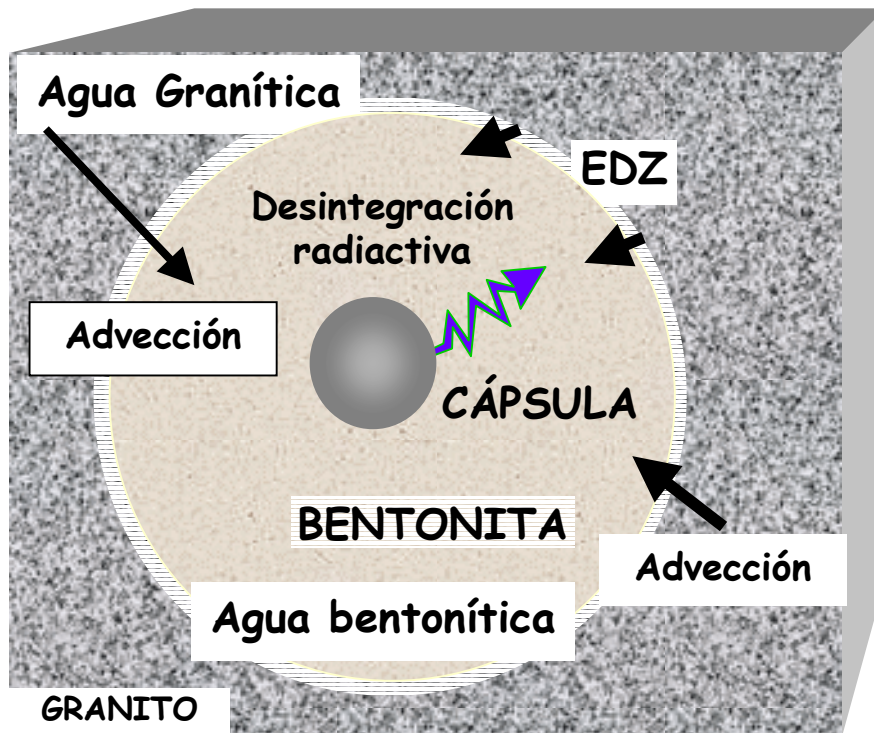
Retardo del transporte de radionucleidos

Barrera de Arcilla: Configuración



Procesos en el Campo Próximo

Transitorio de hidratación



Interfase Granito-Bentonita

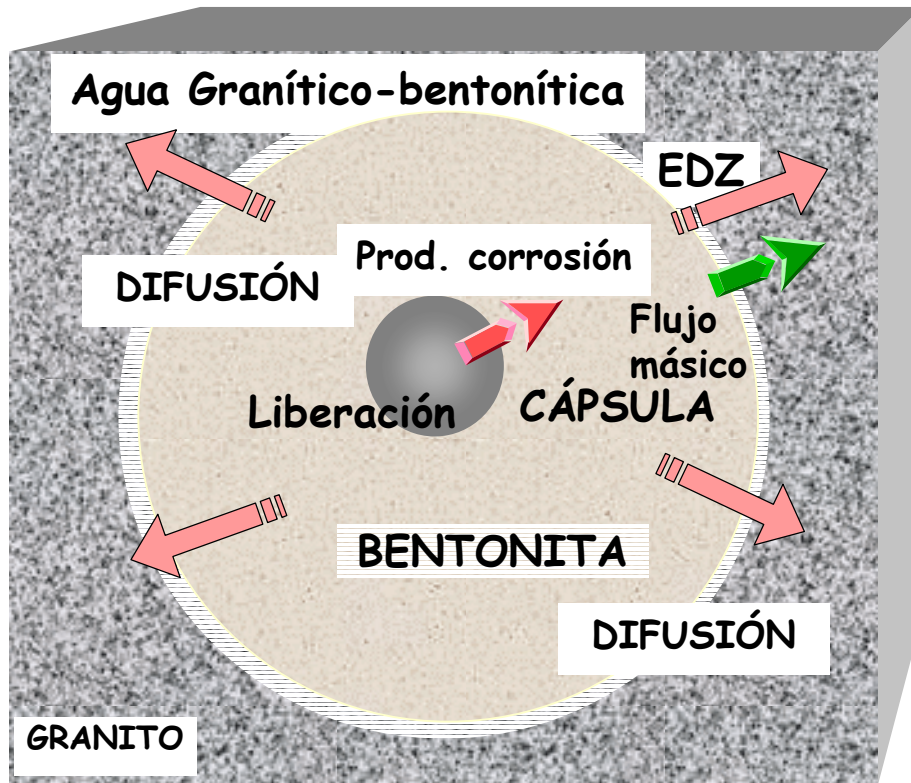
- Hidratación de la barrera de bentonita
- Dilución y movimiento de sales hacia la cápsula
- Consumo de O_2 (Condic. Reductoras)
- Saturación de la barrera de arcilla (10-90 años)
- Homogenización del agua intersticial (100 años)

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, goetita)
- 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

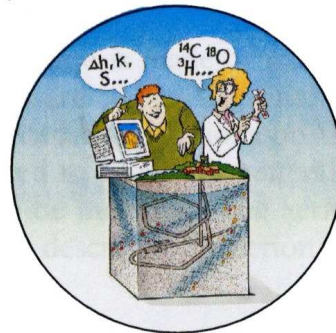
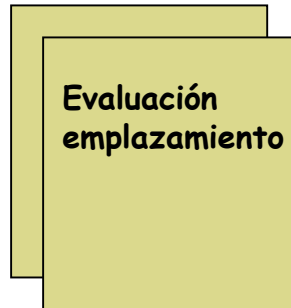
CARACTERIZACIÓN DE LA FORMACIÓN GEOLÓGICA

INVESTIGACIÓN



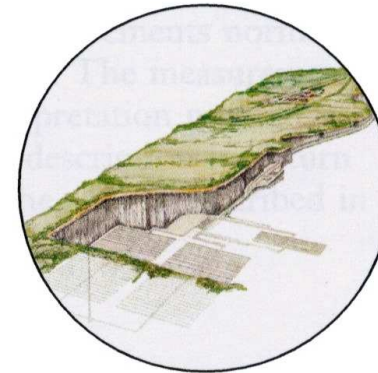
Productos

- ✓ 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***