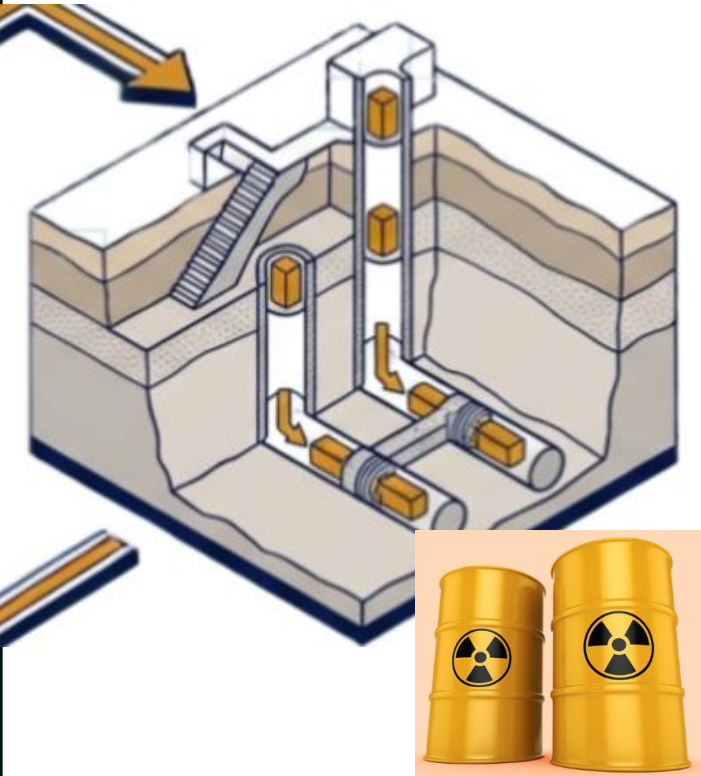


Gestión de residuos nucleares

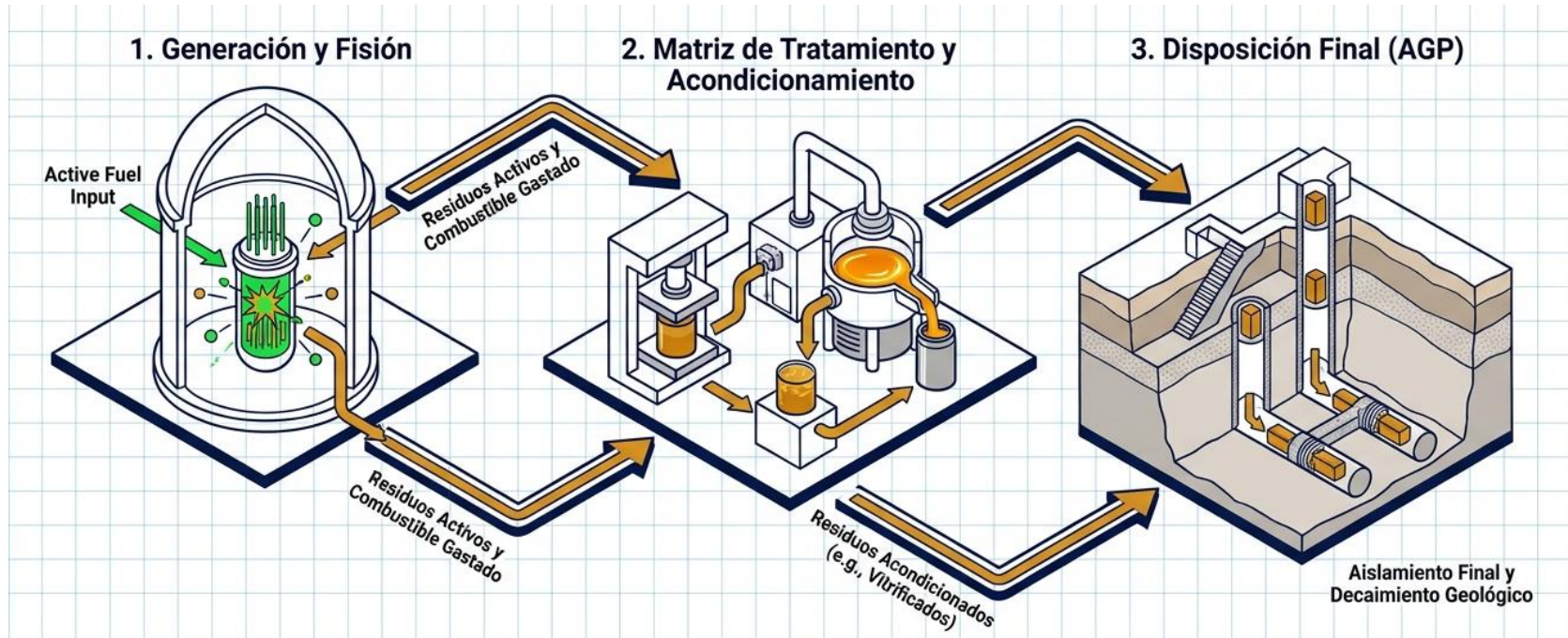
Ingeniería Electromecánica III, FRRQ-UTN

Proceso nuclear: de la generación a residuo



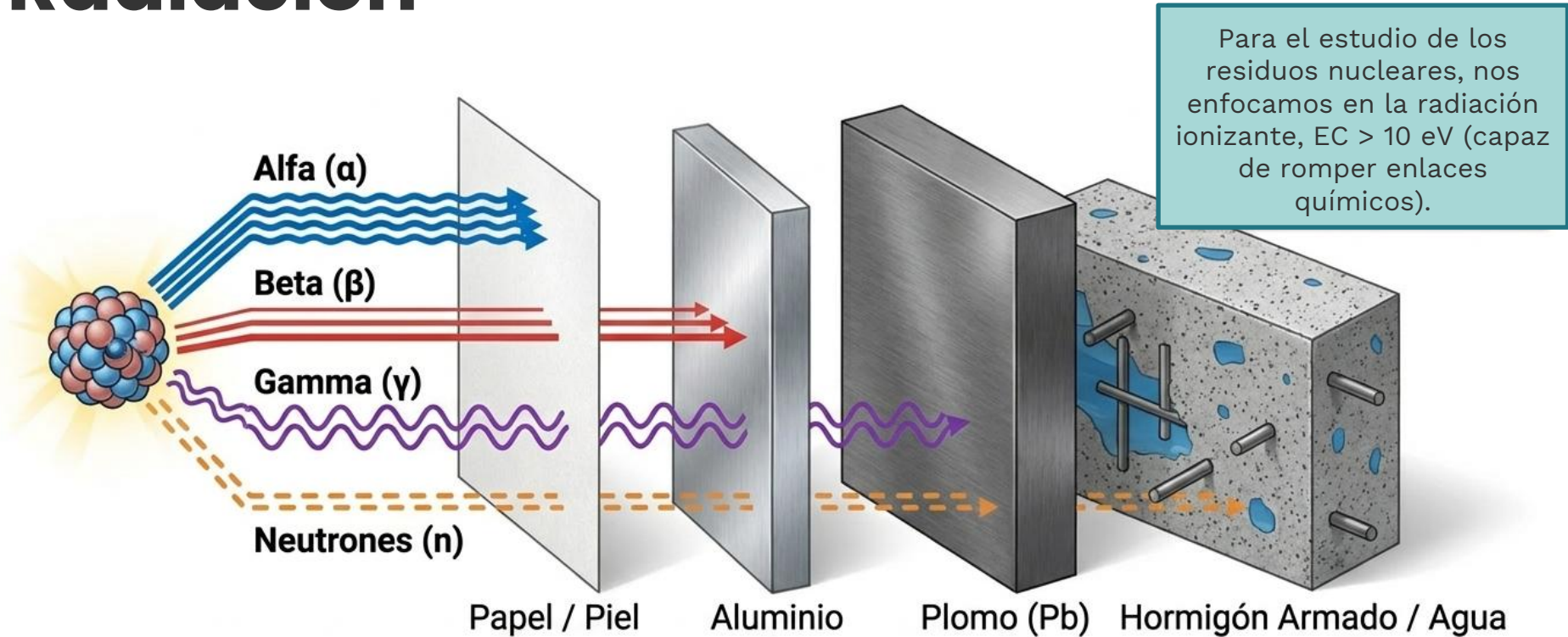
Residuo radiactivo: material o producto de desecho, para el cual no se prevé ningún uso o reciclaje inmediato, y que contiene radionucleidos en concentraciones o niveles de actividad superiores a los límites de exención establecidos por las autoridades reguladoras competentes.

Proceso nuclear: de la generación a residuo



Cesio-137: tiene una vida media de aproximadamente 30 años.
Estroncio-90: también posee una vida media cercana a 29 años.
Plutonio-239: posee una vida media de alrededor de 24.000 años.

Radiación



Emisión α	Emisión β
Núcleos de Helio. Alto poder de ionización. Riesgo crítico por inhalación interna.	Electrones/Positrones. Alcance medio. Riesgo térmico.
Radiación γ	Neutrones
Fotones electromagnéticos (MeV). Alto poder de penetración.	Requieren barreras ricas en hidrógeno para su moderación térmica .

Tipo de residuo	Origen	Características principales	Tiempo de peligrosidad	Ejemplos
Residuos de Baja Actividad	Equipos y materiales contaminados	Baja radiactividad y gran volumen	10 a 50 años	Guantes, filtros, ropa de protección, materiales de laboratorio
Residuos de Alta Actividad (HLW)	Combustible nuclear gastado y reprocesamiento	Muy alta radiactividad y generación de calor	Miles de años	Uranio, plutonio, productos de fisión
Combustible Nuclear Gastado (SNF)	Reactores nucleares	Combustible irradiado extraído del reactor	Muy prolongado	Barras de combustible usadas
Residuos Transuránicos (TRUW)	Procesos nucleares y residuos del DOE	Contienen elementos con número atómico mayor a 92	Hasta 500.000 años	Neptunio, plutonio, americio, curio

Radiación

Actividad Radiactiva

Mide la cantidad de desintegraciones radiactivas por segundo.

→ Unidad SI: **Becquerel (Bq)**

→ 1 Bq = 1 desintegración/segundo.

→ Unidad histórica: **Curie (Ci)**.

Dosis equivalente

Evalúan el daño biológico producido por la radiación.

→ La dosis equivalente considera el tipo de radiación mediante factores de ponderación.

→ La dosis efectiva incorpora además la sensibilidad de cada órgano o tejido.

→ Unidad SI: Sievert (Sv).

→ Unidad histórica: rem.

$$H = D \times W_r$$

Dosis absorbida

Indica la energía de radiación absorbida por unidad de masa.

→ Unidad SI: **Gray (Gy)**

→ 1 Gy = 1 J/kg.

→ Unidad histórica: **rad**.

Límites recomendados

Público general:

→ máximo de **1 mSv/año** adicional a la radiación natural.

Trabajadores expuestos:

→ promedio de **20 mSv/año** en períodos de 5 años, sin superar **50 mSv** en un solo año.

Dosímetros

Los **dosímetros** son los dispositivos e indicadores utilizados para medir la dosis de radiación nuclear o ionizante absorbida por el cuerpo humano.



Detector de Radiación Nuclear (rayos Gamma-Beta) Profesional



Contador Geiger y señal de radiación, Pripjat, zona de exclusión de Chernóbil. Un dosímetro se sostiene frente a una señal de advertencia de radiactividad, mostrando 5,87 milisieverts.

Ciudad de Pripjat, zona de exclusión de Chernóbil, Ucrania.



A diario, los seres humanos generamos toneladas de residuos de distintos tipos.

MÉTODOS DE TRATAMIENTO Y CONFINAMIENTO

El acondicionamiento engloba las operaciones que transforman el residuo radiactivo crudo en un paquete físico estable para facilitar su manipulación, transporte y almacenamiento definitivo.

Pretratamiento

Clasificación inicial y separación física de los residuos según su estado físico (líquido, gaseoso, sólido), combustibilidad, niveles de radiación y compatibilidad química.

Tratamiento

Procesos orientados a la reducción de volumen de la fase residual.

Hipercompactación hidráulica para sólidos.

Incineración con filtros absolutos HEPA para orgánicos.

Inmovilización

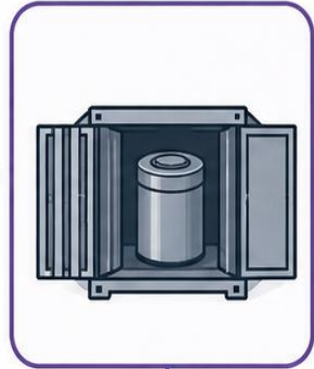
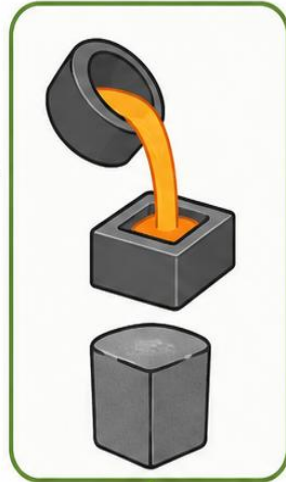
Incorporación de los radionucleidos dentro de una matriz sólida inerte que reduzca la tasa de lixiviación

Asfaltado: LLW e intermedios.

Vitrificación: residuos radiactivos de alta actividad (HLW).

Embalaje

Colocación del bloque dentro de contenedores metálicos cilíndricos de alta integridad estructural y resistencia química a la corrosión, fabricados con aceros inoxidables o aleaciones de cobre y níquel.

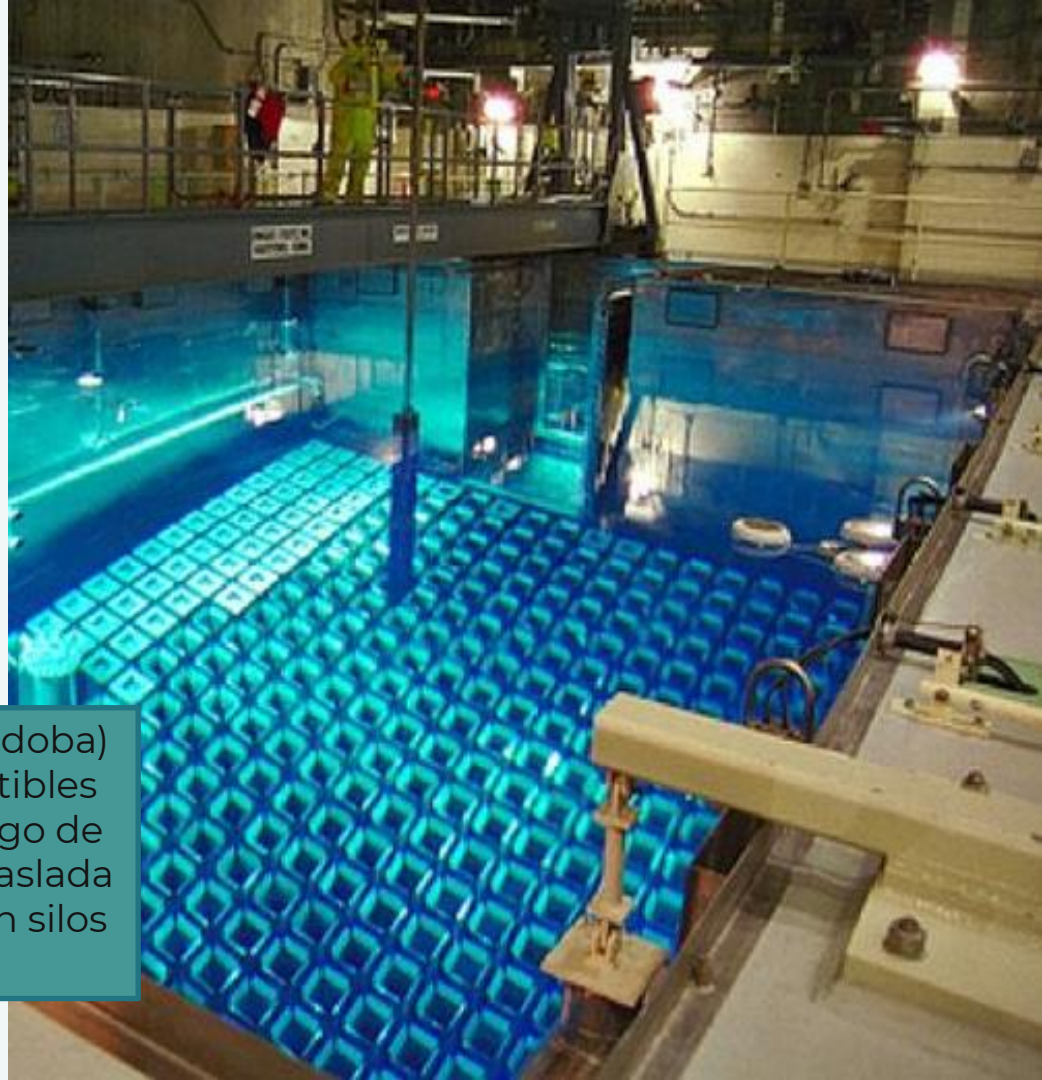


Piscinas para enfriamiento

Piscinas diseñadas para almacenar combustible gastado de reactores nucleares.

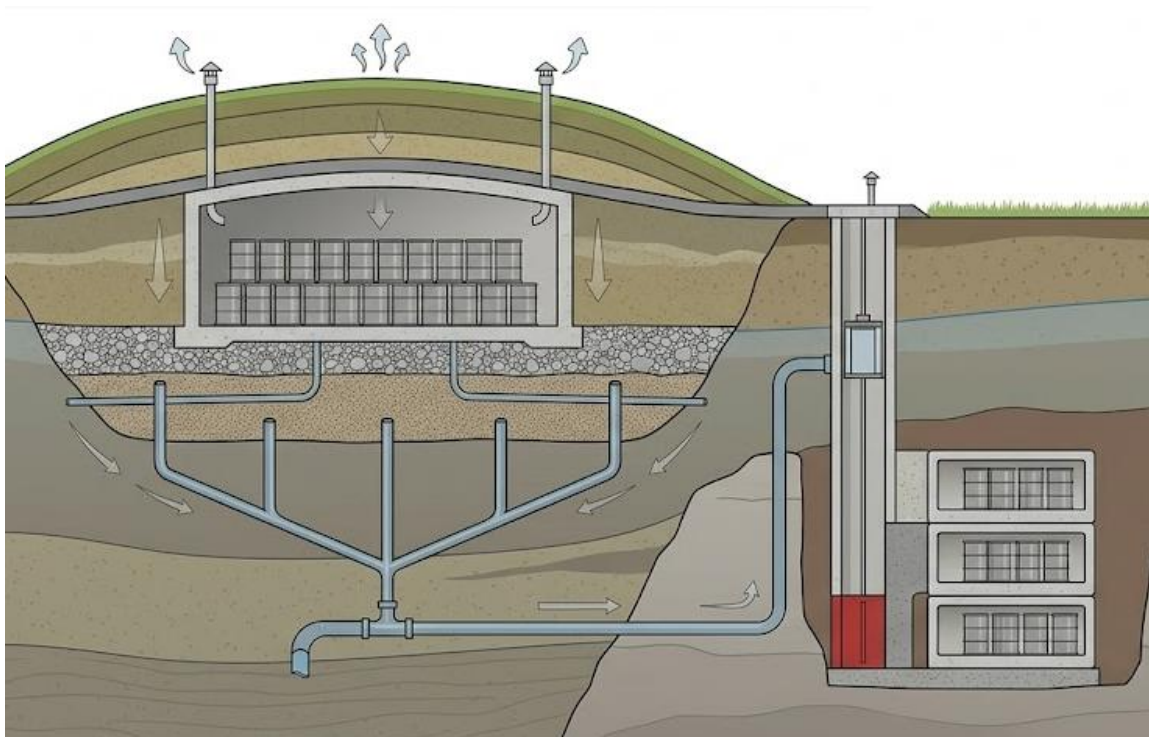
Estas piscinas, que suelen tener aproximadamente 12 metros de profundidad, son utilizadas para el enfriamiento inmediato del combustible gastado, lo que permite que los *isótopos* de corta vida se descompongan y reduzcan la radiación ionizante.

En la central de Embalse (en Córdoba) también se colocan los combustibles en piletas de enfriamiento y, luego de un período de *seis años*, se los traslada a un almacenamiento en seco en silos de hormigón.



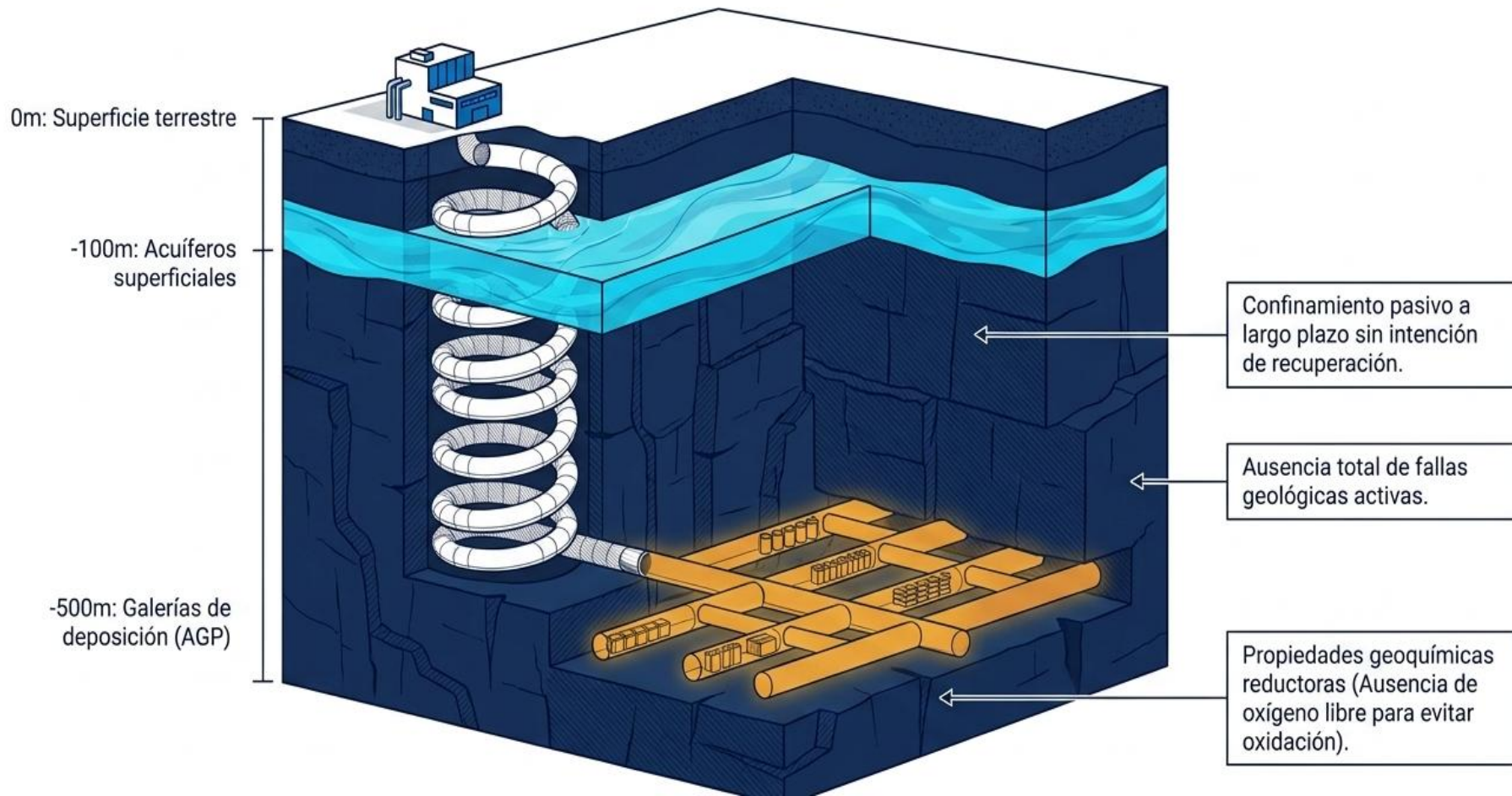
ELIMINACIÓN CERCA DE LA SUPERFICIE

La eliminación cerca de la superficie consiste en almacenar residuos radiactivos en bóvedas ubicadas sobre o debajo del suelo, las cuales se sellan posteriormente con materiales impermeables y tierra vegetal para aislar los desechos del ambiente.



Pueden incorporar sistemas de drenaje y ventilación de gases, y utilizar cavernas subterráneas excavadas a varias decenas de metros de profundidad. Este método se emplea principalmente para residuos de baja y media actividad de vida corta, con vidas medias de hasta 30 años.

Almacenamiento Geológico Profundo (AGP)

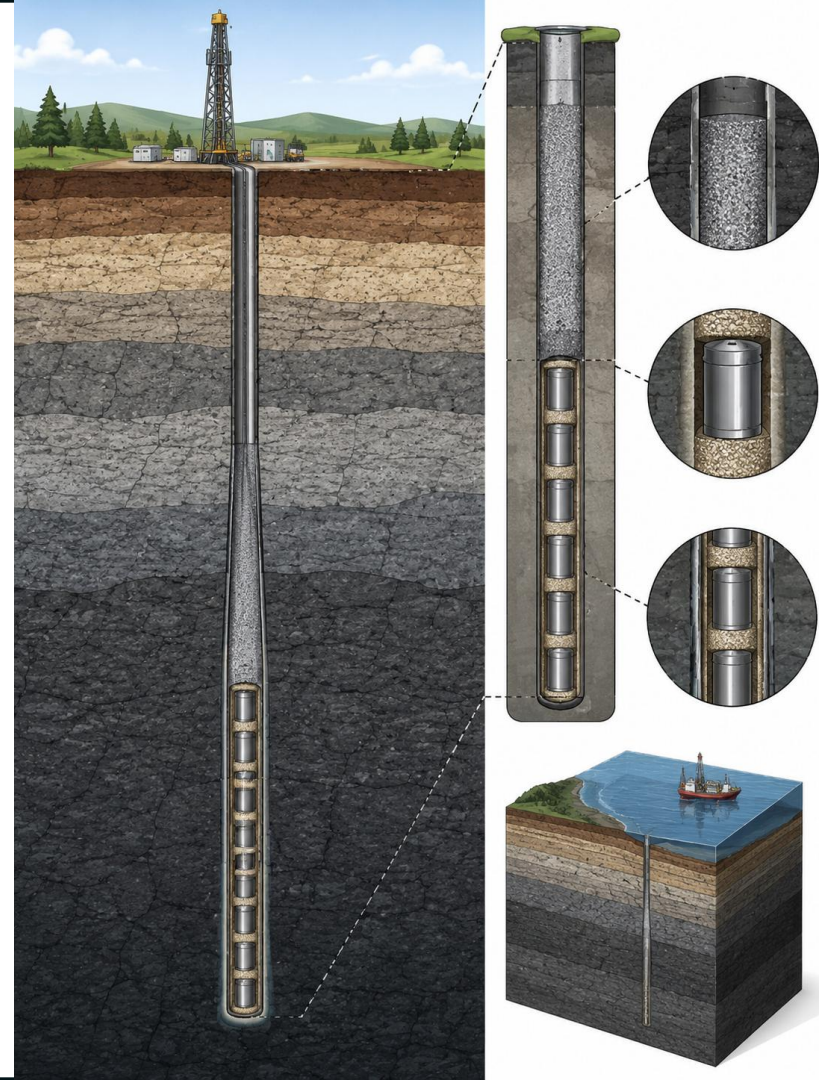


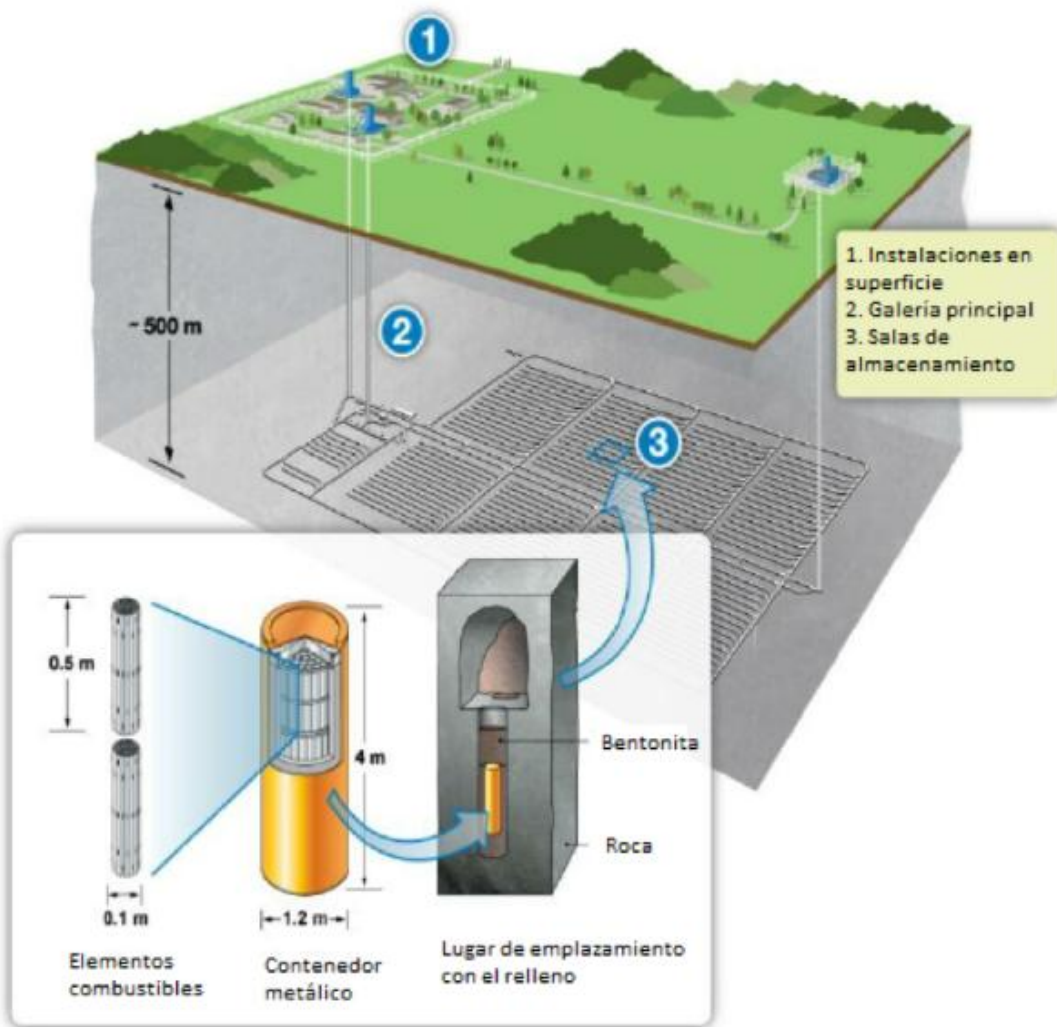
POZOS PROFUNDOS

Cavidades de aproximadamente 5000 metros de profundidad en formaciones geológicas estables, donde se almacenan residuos radiactivos o combustible nuclear gastado en los 2000 metros inferiores.

El pozo se sella con materiales como bentonita, asfalto u hormigón para garantizar el aislamiento permanente.

Permite almacenar residuos vitrificados en contenedores de acero separados por capas protectoras y puede aplicarse tanto en tierra como en ambientes marinos.





Proyecto CONFINAR-Geo



Planes de investigación futuro

- ***Transmutación nuclear:*** proceso que transforma núcleos radiactivos de larga vida en núcleos más estables y de menor peligrosidad.
- ***Sistema ATW (Accelerator-Driven Transmutation Waste):*** combinación de acelerador y reactor subcrítico para tratar residuos nucleares y generar energía.
- ***Aceleradores de protones:*** equipos que producen haces de protones de alta energía necesarios para generar neutrones por espalación.
- ***Aplicación de aceleradores en residuos nucleares:*** uso de aceleradores de partículas para reducir la peligrosidad de los desechos radiactivos mediante transmutación.
- ***Reactor subcrítico:*** reactor controlado por una fuente externa de neutrones, utilizado para realizar la transmutación de residuos de forma más segura.

Marco legal y regulatorio Argentino

ARN

- Órgano regulador -
(Autoridad Regulatoria Nacional)

- Dicta normas y fiscaliza
- Otorga licencias



CNEA

- Órgano de gestión -
(Comisión Nacional de Energía Atómica)

- Programa Nacional de G.R.R
- Almacenamiento definitivo

Leyes principales

Ley 24.804, Ley de Actividad Nuclear

Designa a la CNEA como responsable de la gestión de los residuos radiactivos y de los combustibles nucleares gastados y del desmantelamiento de las instalaciones nucleares.

Ley 25.018, Régimen de Gestión de Residuos Radioactivos

Crea el PNGRR y establece sus potestades y responsabilidades.

- **Principio de transferencia de responsabilidad:** el generador del residuo es responsable hasta su entrega oficial a la CNEA.
- **Norma AR 10.12.1:** regula la gestión de residuos en centrales nucleares de potencia.
- **Norma AR 10.1.1:** establece requisitos generales de seguridad radiológica.
- **Marco organizativo nuclear:** separación de funciones entre CNEA, ARN y NASA para investigación, control y operación.

Art.41 de la Constitución Nacional

“Todos los habitantes gozan del derecho a un ambiente sano, equilibrado, apto para el desarrollo humano y para que las actividades productivas satisfagan las necesidades presentes sin comprometer las de las generaciones futuras; y tienen el deber de preservarlo.

El daño ambiental generará prioritariamente la obligación de recomponer, según lo establezca la ley.

Las autoridades proveerán a la protección de este derecho, a la utilización racional de los recursos naturales, a la preservación del patrimonio natural y cultural y de la diversidad biológica, y a la información y educación ambientales.

Corresponde a la Nación dictar las normas que contengan los presupuestos mínimos de protección, y a las provincias, las necesarias para complementarlas, sin que aquellas alteren las jurisdicciones locales.

Se prohíbe el ingreso al territorio nacional de residuos actual o potencialmente peligrosos, y de los radiactivos.”