

Gestión de Desechos Radiactivos

Dr. Huemantzin Balan Ortiz Oliveros



SENER
SECRETARÍA DE ENERGÍA



ININ
INSTITUTO NACIONAL
DE INVESTIGACIONES
NUCLEARES



2022 Ricardo Flores
Año de Magón
PRECURSOR DE LA REVOLUCIÓN MEXICANA

CONTENIDO



1. Fuente de Radiación
2. Principios Básicos de Protección Radiológica
3. Uso de los Materiales Radiactivos
4. Origen de los Desechos Radiactivos
5. Clasificación de los Desechos Radiactivos
6. Tipos de Desechos Radiactivos
7. Etapas de la Gestión de los Desechos Radiactivos





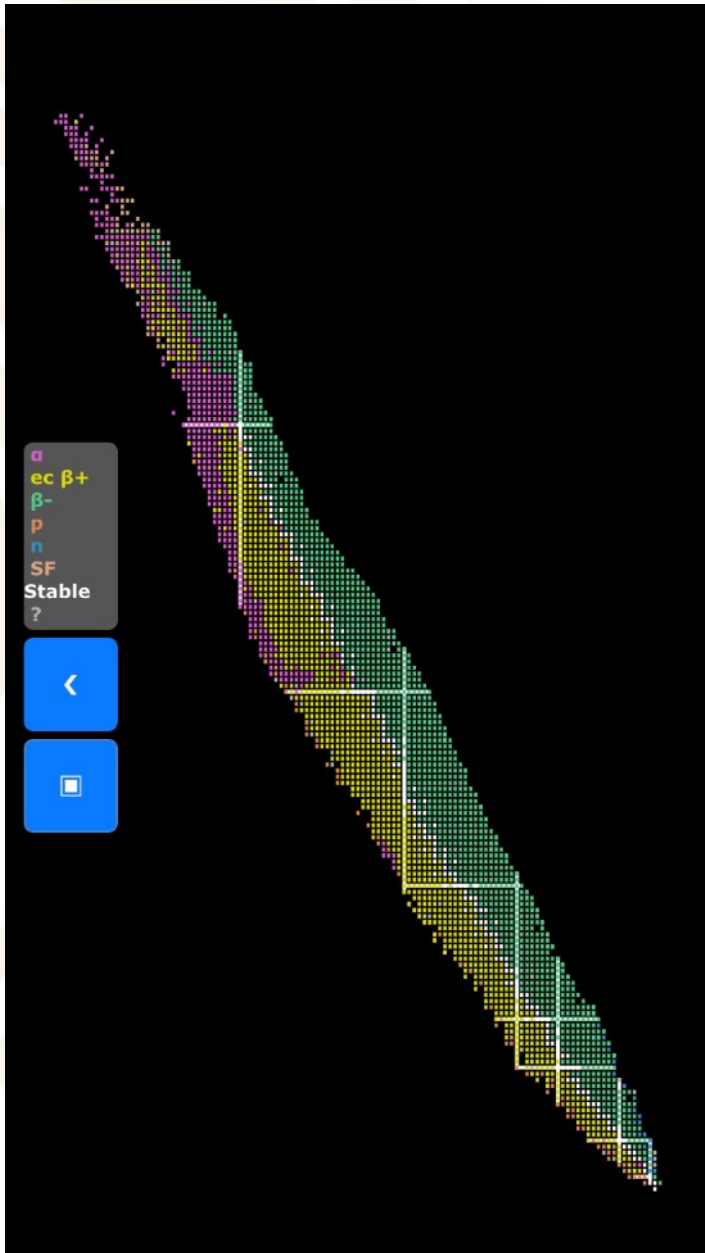
SENER
SECRETARÍA DE ENERGÍA



ININ
INSTITUTO NACIONAL
DE INVESTIGACIONES
NUCLEARES

Fuentes de Radiación





**Naturaleza
Isotópica**

- a) Estables
- b) Inestables



Busca su estabilidad
emitiendo partículas o
energía (radiación)

RADIOACTIVIDAD



RADIACIÓN



SENER
SECRETARÍA DE ENERGÍA

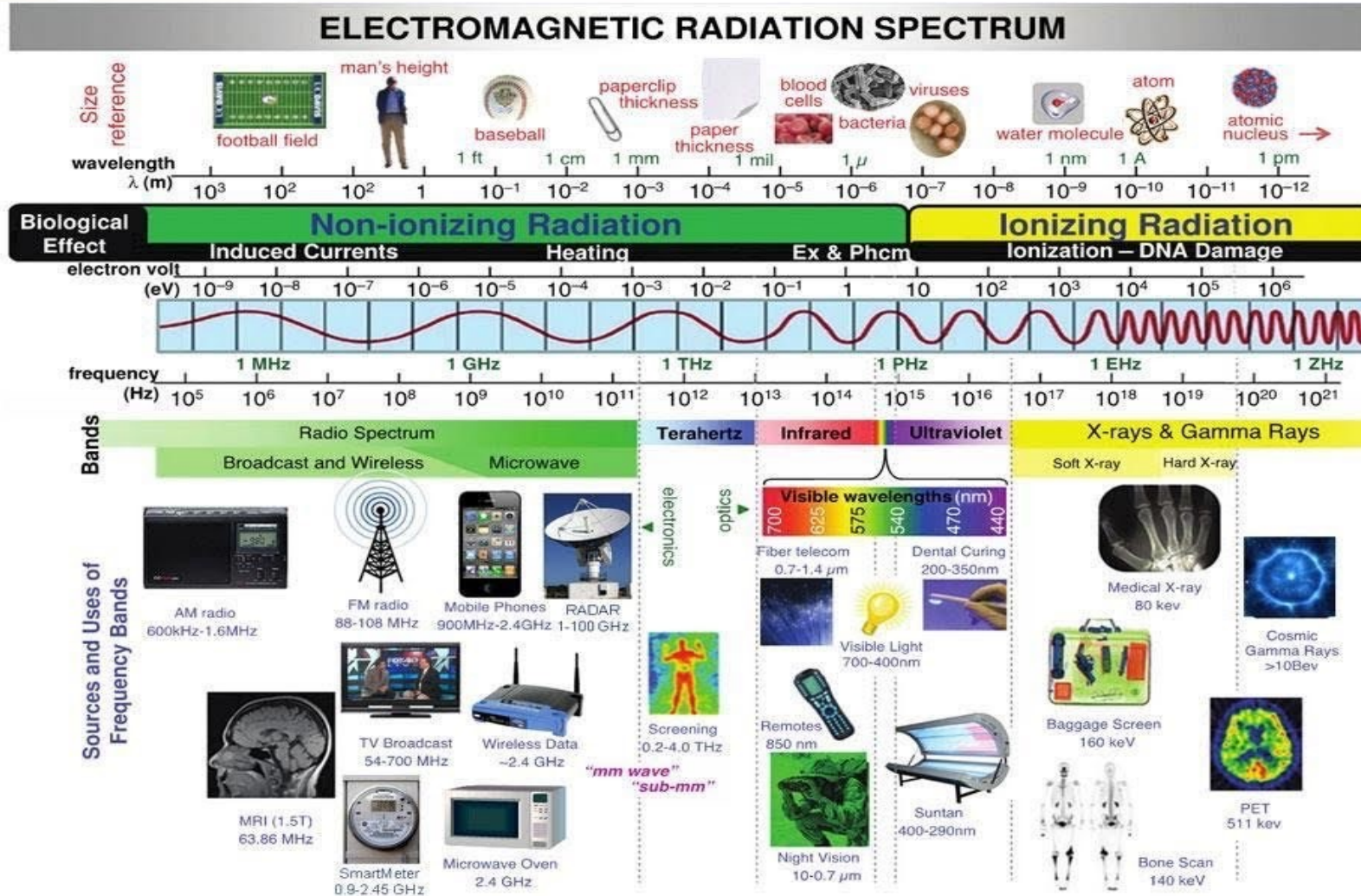


ININ
INSTITUTO NACIONAL
DE INVESTIGACIONES
NUCLEARES

Radiación

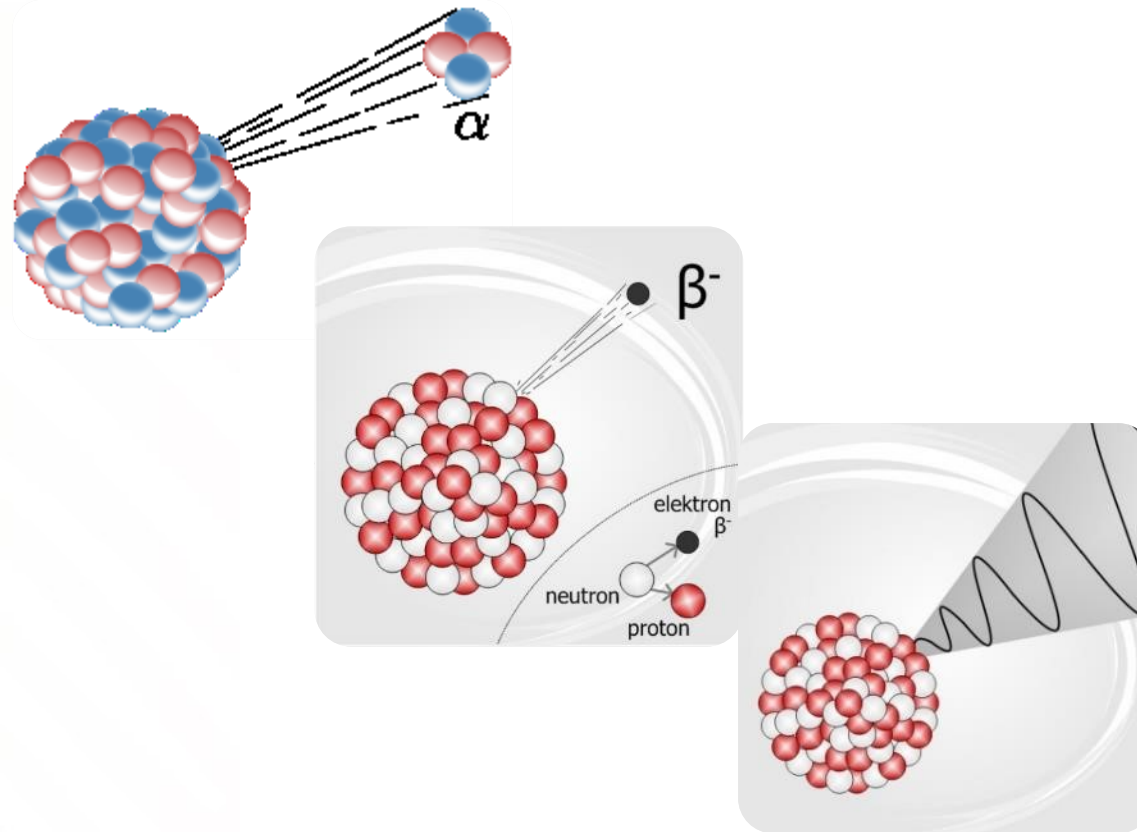


Radiación

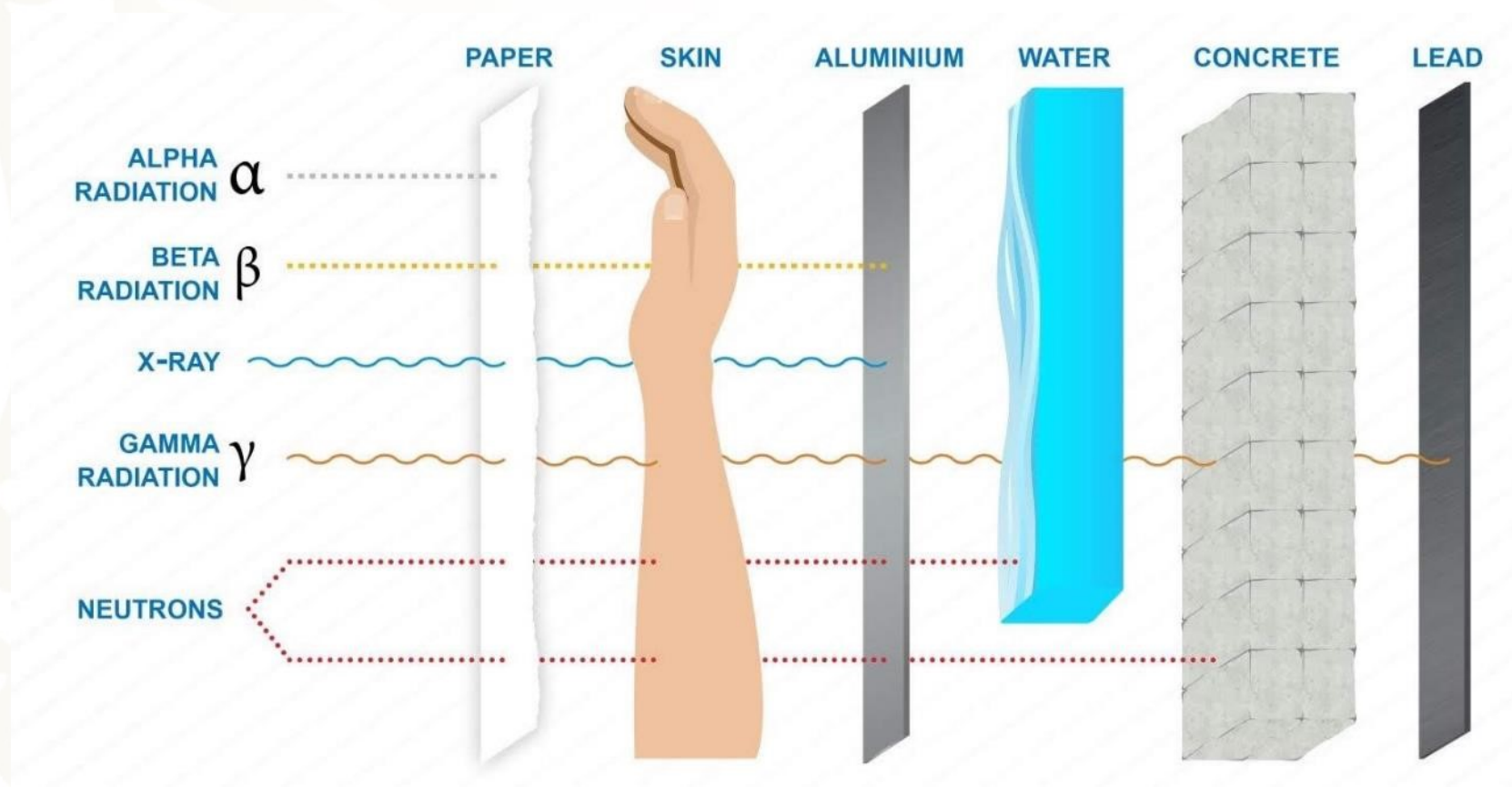


Radiación

- Partículas Alfa
- Partículas Beta
- Radiación gamma



Radiación



IAEA, 2019

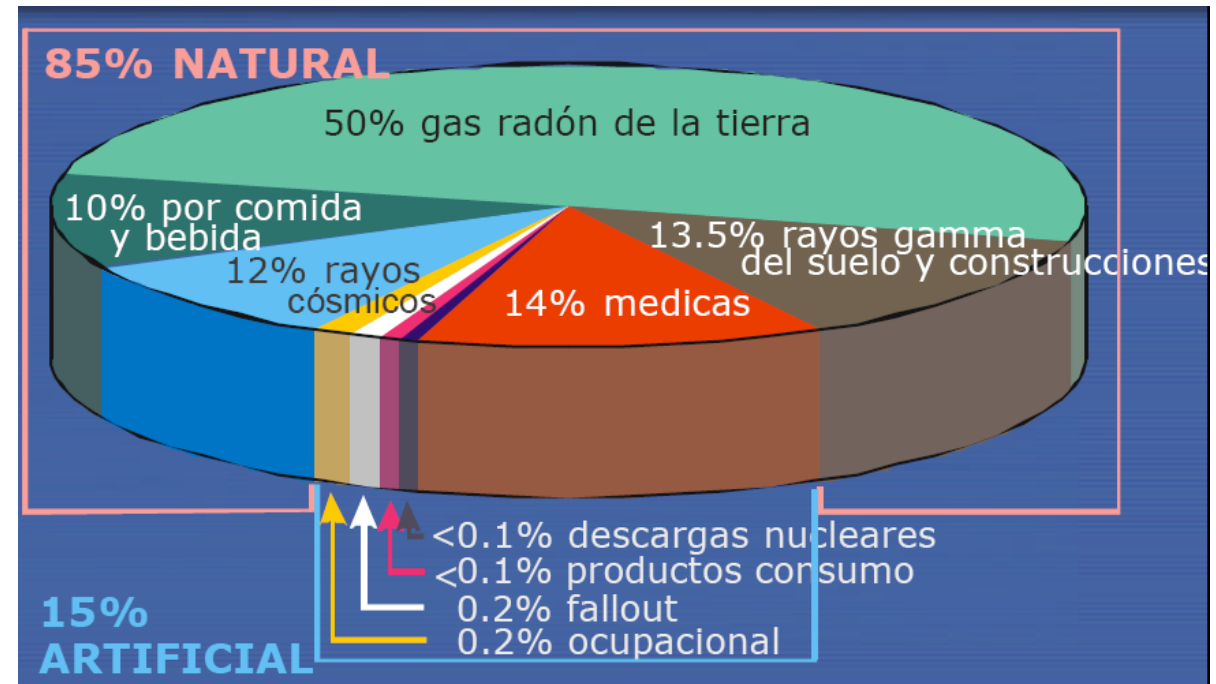
Tipos de Radiación

Radiación Natural:

- Radiación cósmica
- Radionúclidos cosmogénicos (^3H , ^7Be , ^{14}C , ^{22}Na)
- Radionúclidos primordiales (^{40}K , ^{232}Th , ^{238}U)

Radiación Artificial:

- Ciclo del combustible (reactores nucleares)
- Aplicaciones médicas, industriales y de investigación
- Accidentes y ensayos nucleares



Dosis por Radiación Natural

Fuente	Dosis Típica (mSv)	Rango (mSv)
Rayos Cósmicos	0.39	0.3 – 1.0
Rayos gamma Terrestres	0.48	0.3-0.6
Dosis Interna	0.29	0.2-0.8
Radón	1.26	0.2-10
Total	2.4	1-12



SENER
SECRETARÍA DE ENERGÍA



ININ
INSTITUTO NACIONAL
DE INVESTIGACIONES
NUCLEARES

Principios Básicos de Protección Radiológica



Principios Básicos

Justificación

Beneficio real para la sociedad. Considera los efectos negativos y todas las alternativas posibles.

Optimización

Aplicación del “Principio ALARA” (As Low As Reasonably Achievable).

Limitación de Dosis

Disminuir la duración y la magnitud de la exposición a las radiaciones.

Principios...

Distancia

Alejarse de la fuente de radiación, puesto que su intensidad disminuye con el cuadrado de la distancia.

Tiempo

Disminuir la duración de la exposición a las radiaciones.

Blindaje

Poner pantallas protectoras entre la fuente radiactiva y las personas. Los blindajes más comunes son: el concreto, plomo, cristales enriquecidos con plomo, bromuro, etc.

Principios...

Limites de Equivalentes de Dosis Efectivo Anual

Persona	Estocástico	Determinista
Público	5mSv	50 mSv
Personal Ocupacionalmente Expuesto	50 mSv	500 mSv (cristalino) 150 mSv

Principios...

Causas

Irradiación Externa

Irradiación Interna:

- Inhalación
- Ingestión
- Absorción cutánea por heridas expuestas
- Mucosas

Efectos

- Determinísticos
- Estocásticos
- Somáticos
- Genéticos

Principios...

Relación de Dosis con Efectos Deterministas

Dosis	Efecto
25 rad (250mSv)	Cambios sanguíneos moderados
200 rad (2 Sv)	Síndrome de radiación
600 rad (6 Sv)	100 % de probabilidad de muerte



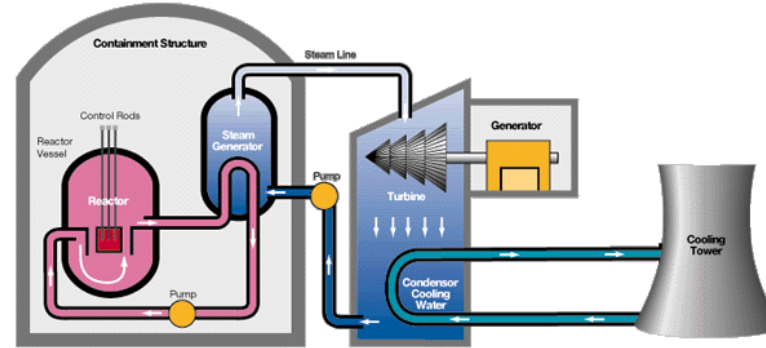
SENER
SECRETARÍA DE ENERGÍA



ININ
INSTITUTO NACIONAL
DE INVESTIGACIONES
NUCLEARES

Uso de Materiales Radiactivos





Aplicaciones Energéticas

Uso de los Materiales Radiactivo

Aplicaciones No-energéticas



Medicina



Investigación y educación



Industria



Agricultura

Aplicaciones no-energéticas

Tipos de Fuentes

Abiertas

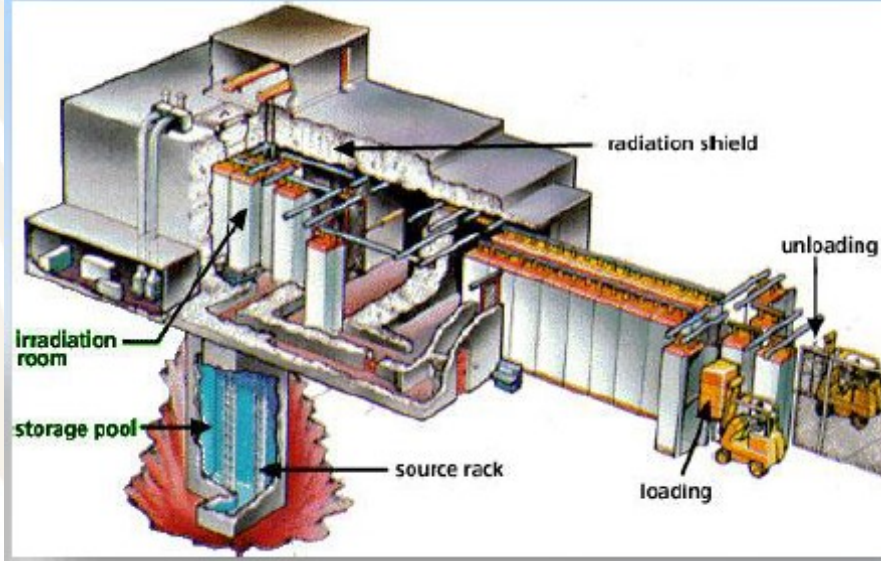


Selladas



Fuentes Selladas...

Dimensiones de los Dispositivos



Fuentes Selladas...

Dimensiones de la Fuentes Selladas



Fuentes gamma de baja energía



Fuente de teleterapia



Fuente de radiografiado industrial

Fuente: OIEA, 2019

Fuentes Selladas...

Configuración de las Fuentes



Pellets

Dimensión: 1 mm x 1 mm de níquel

Peso: 0.0007 g/pellet

Actividad: 1.7 Ci/pellet

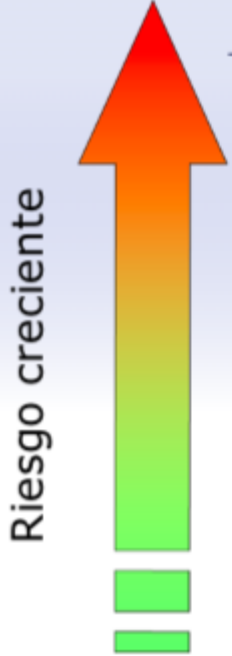


Fuentes Selladas...

Categorización de las Fuentes Selladas

- Tiene como objetivo proporcionar una base internacionalmente armonizada para la toma de decisiones basada en el riesgo.
- Permite el control de las fuentes desde el punto de vista de acuerdos internacionales, seguridad física y tecnológica, transporte local e internacional.
- Se basa en:
 1. El potencial de las fuentes para causar efectos deterministas sobre la salud.
 2. El concepto de fuentes peligrosas cuantificado en términos de valores **D**.
- La categorización se establece con base en la Relación **A/D**.

Categoría de fuentes y practicas de uso comunes



Categoría	Ejemplos de prácticas	Relación de actividad A/D
1	GTR, irradiadores, teleterapia, bisturí de rayos gamma (gamma knife)	$A/D \geq 1000$
2	Radiografía gamma braquiterapia (ATD/MTD)	$1000 > A/D \geq 10$
3	Sondas industriales fijas (Por ejemplo: de nivel, draga, de transportadoras) Perfilaje de pozos	$10 > A/D \geq 1$
4	Braquiterapia (BTD): medidores portátiles, eliminadores de estática, densitómetros óseos	$1 > A/D \geq 0.01$
5	Detectores de humo, fuentes de calibración, FRX, DCE	$0.01 > A/D > \text{Exento/D}$

A = actividad de la fuente; D = actividad radionúclido-específico "peligroso"

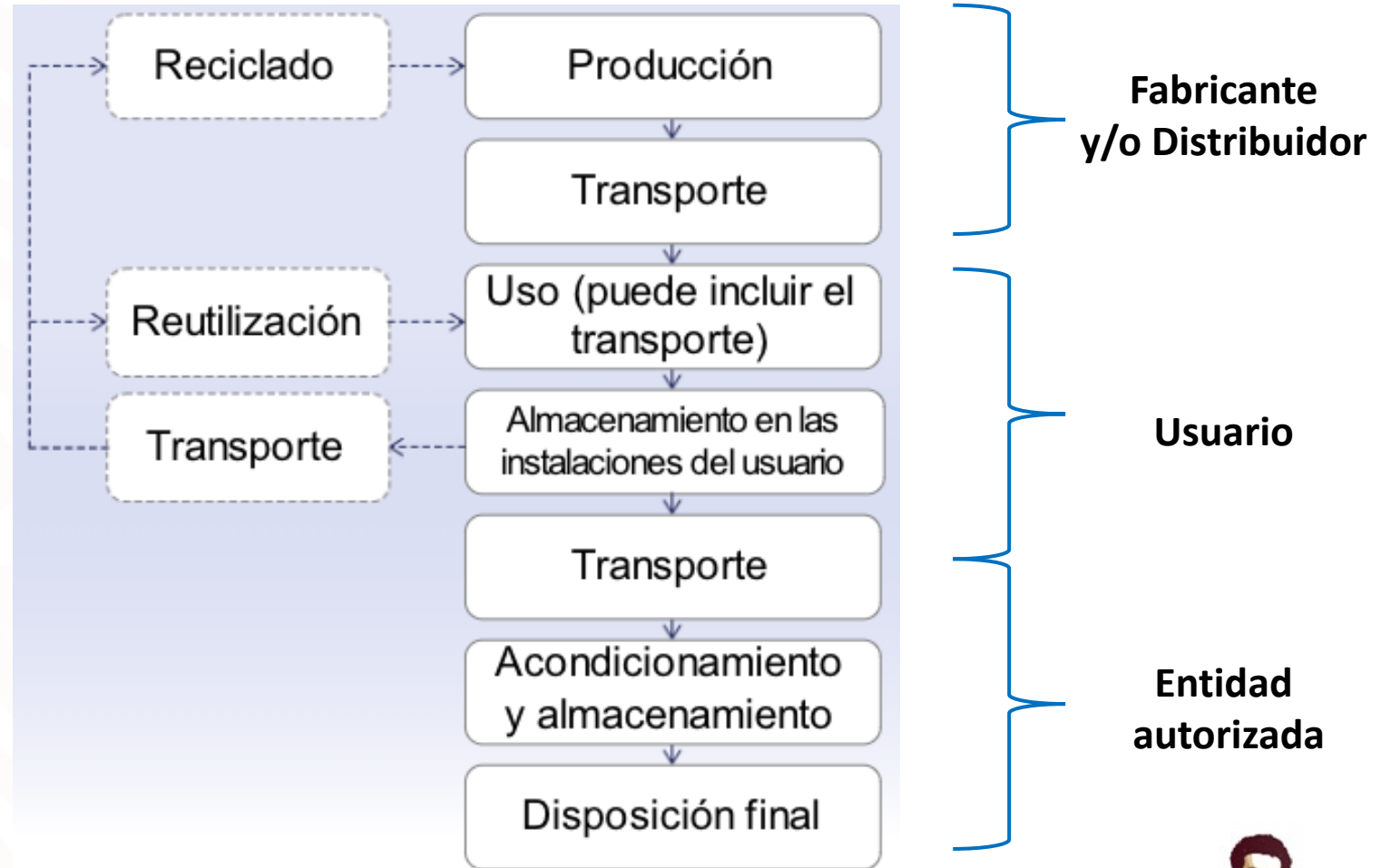
ATD = Alta Tasa de Dosis, MTD = Media Tasa de Dosis, BTD = Baja Tasa de Dosis, FRX = Fluorescencia de Rayos X, DCE = Detector de Captura de Electrones

Fuente: OIEA, 2006

Fuentes Selladas...

Etapas de la vida de las Fuentes Selladas

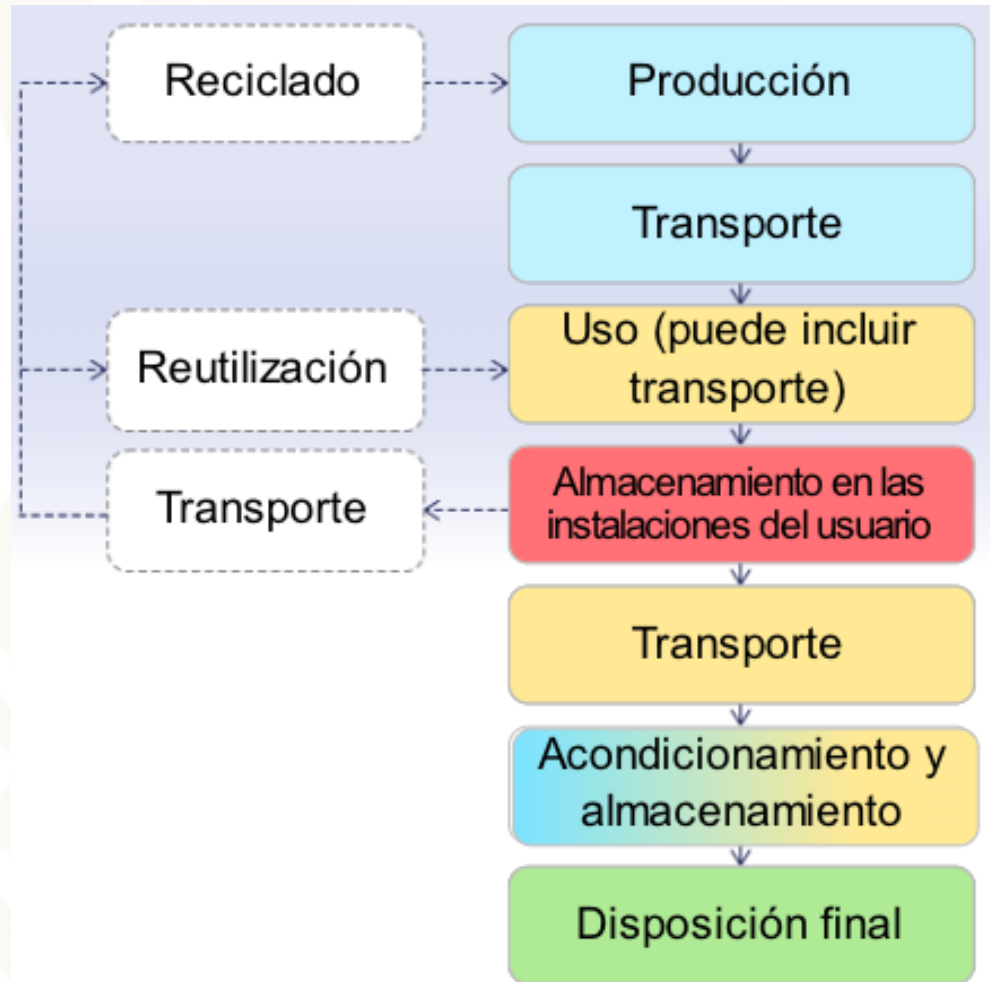
Empresa transportista
autorizada
por la SCT y CNSNS



Fuente: OIEA, 2019

Fuentes Selladas...

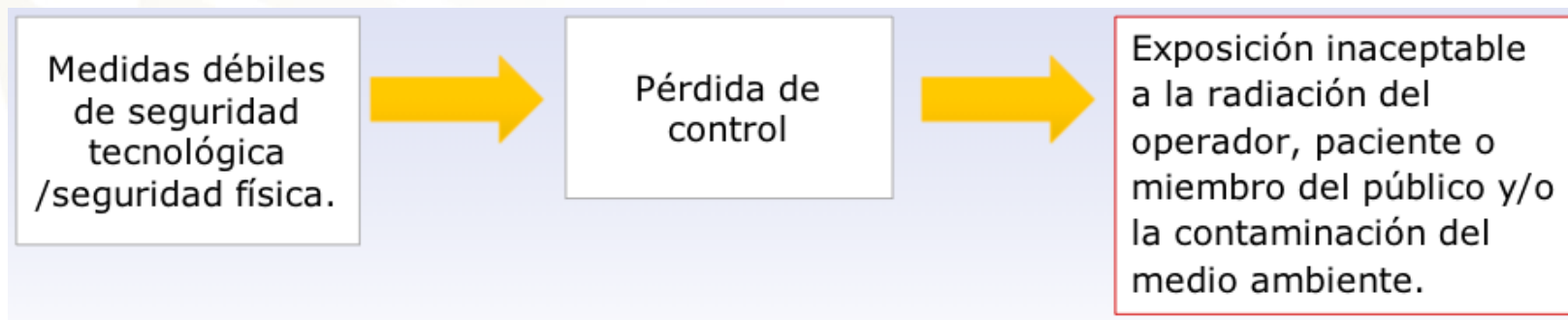
Etapas de Débiles en la Vida de las Fuentes Selladas



- Buen control
- Riesgo de perder el control
- Peligro de perder el control
- Seguridad tecnológica y física que mantiene el riesgo de pérdida de control administrable

Fuente: OIEA, 2019

Fuentes Selladas...



Fuente: OIEA, 2019

Causas

- Falta o inadecuada capacitación del personal.
- Falta o inadecuada supervisión.
- Negligencia o despreocupación del operador del dispositivo.
- Falta de mantenimiento al dispositivo o fuente (calibración, prueba de fuga, etc.)
- Almacenamiento inadecuado.
- Sistema de protección física inadecuado.

EJERCICIOS

- La actividad de una fuente de Co-60 es de 0.5 TBq. El valor D para el Co-60 es de 0.03 TBq
- Una fuente de Ra-226 de una actividad original de 150 Ci, se encuentra almacenada en condiciones inadecuadas y con visibles daños estructurales en el dispositivo que contiene dicha fuente. Estime, con base al sistema de categorización de las fuentes, el nivel de riesgo de dispersión. Considere un $D_2=0.07$ TBq.

Nota: D2: Es la actividad de un radionúclido de una fuente que, si está incontrolada u dispersada, podría provocar una emergencia de la cual cabría esperar razonablemente que cause efectos deterministas graves en la salud.



SENER
SECRETARÍA DE ENERGÍA



ININ
INSTITUTO NACIONAL
DE INVESTIGACIONES
NUCLEARES

Origen de los Desechos Radiactivos



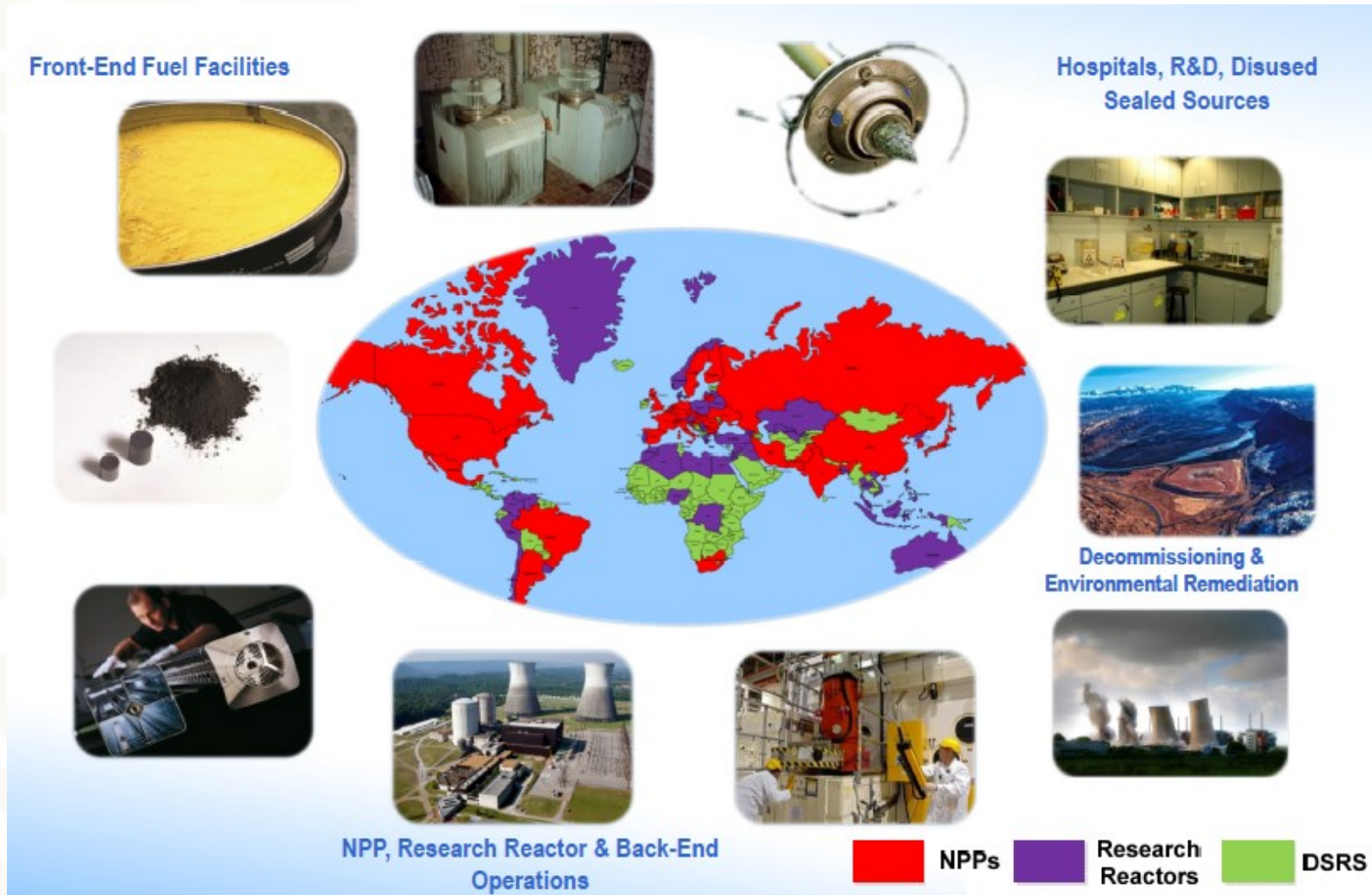
¿Qué es un Desecho Radiactivo ?



“Es cualquier material del cual no se tenga previsto uso alguno y contenga o este contaminado con radionúclidos en concentraciones o niveles de radioactividad mayores a las señaladas por la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias”



Origen



Robbins R. (IAEA,2019)

Origen...

Origen de los Desechos Radiactivos en México	
Aplicaciones Energéticas	90 %
Aplicaciones No-Energéticas	10 %



Responsable de la Gestión: Secretaria de Energía

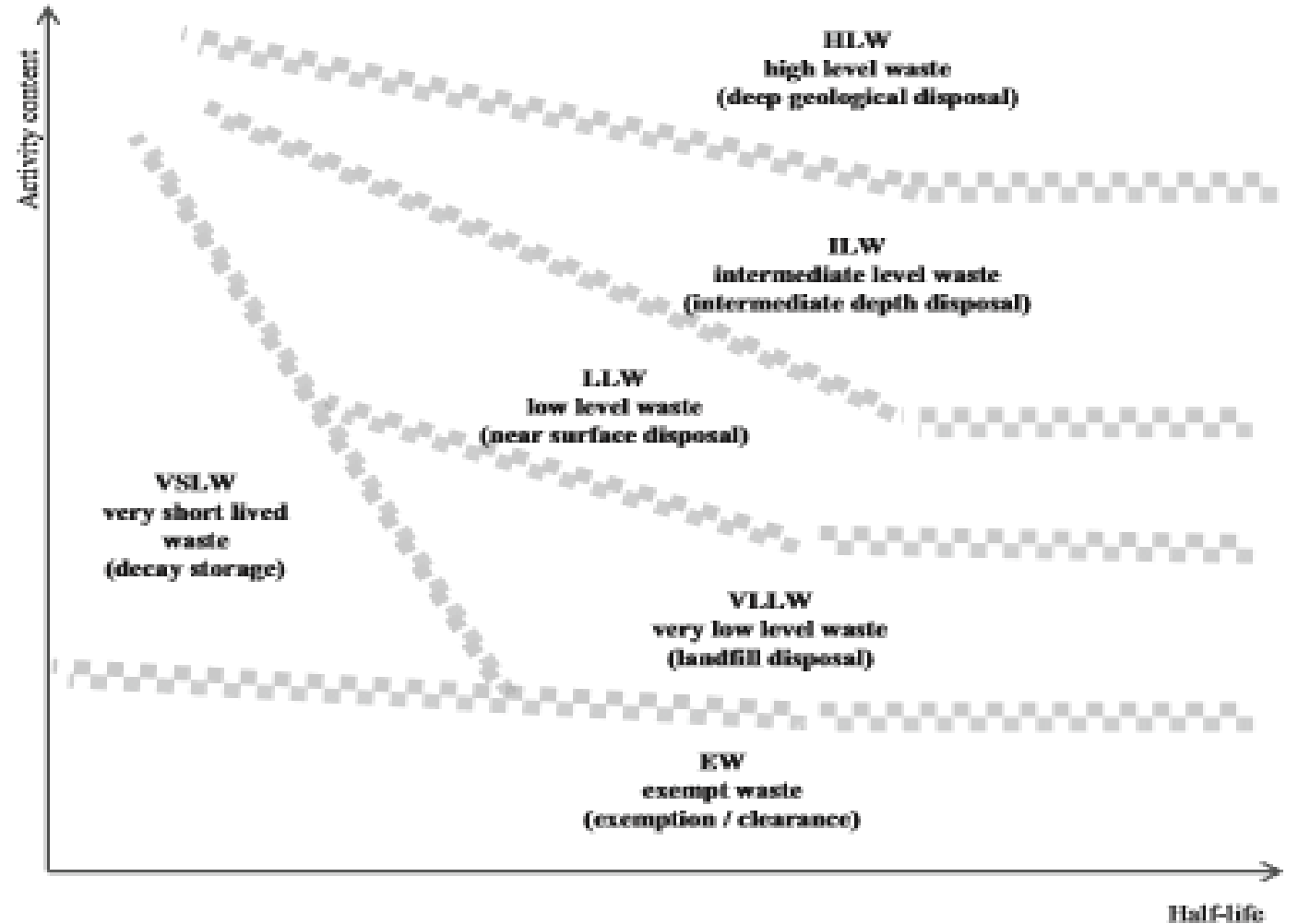
Central Nuclear "Laguna Verde"

Aplicaciones No-Energéticas	
Medicina	89 %
Industria	9 %
Investigación	2 %

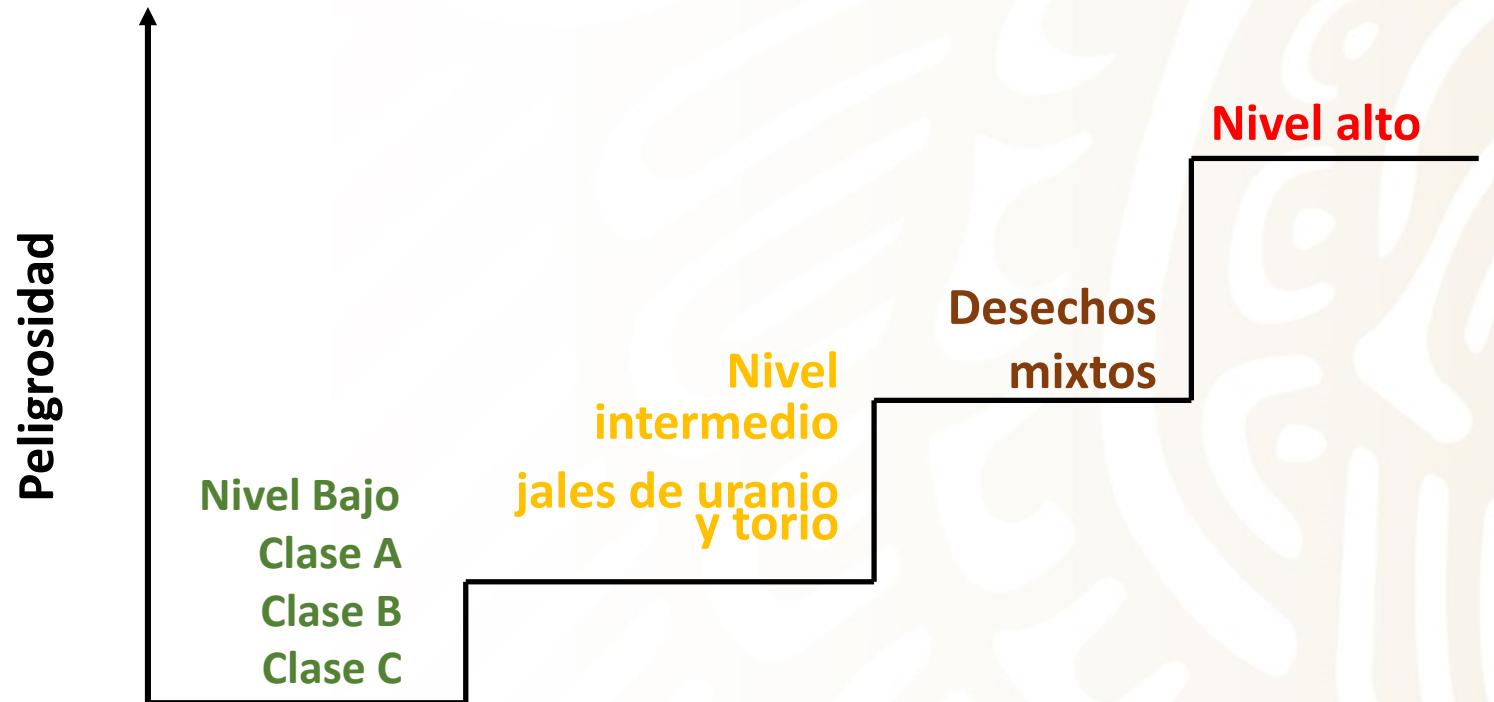


Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares

Clasificación de los Desechos Radiactivos (OIEA)



Clasificación de los Desechos Radiactivos (México)



NOM-004-NUCL-2013, Clasificación de los desechos radiactivos



Tipos de Desechos de Origen no Energético

Sólidos

Compactables: Cartón, papel, plástico, etc.

No compactables: Fierro, tierra, tubos de plástico, alambre, etc.

Líquidos

Acuosos: Soluble en agua

Orgánicos: Líquido de centelleo

Fuentes Selladas Gastadas

Fuentes Selladas en Gastadas

Fuentes selladas gastadas más comunes:

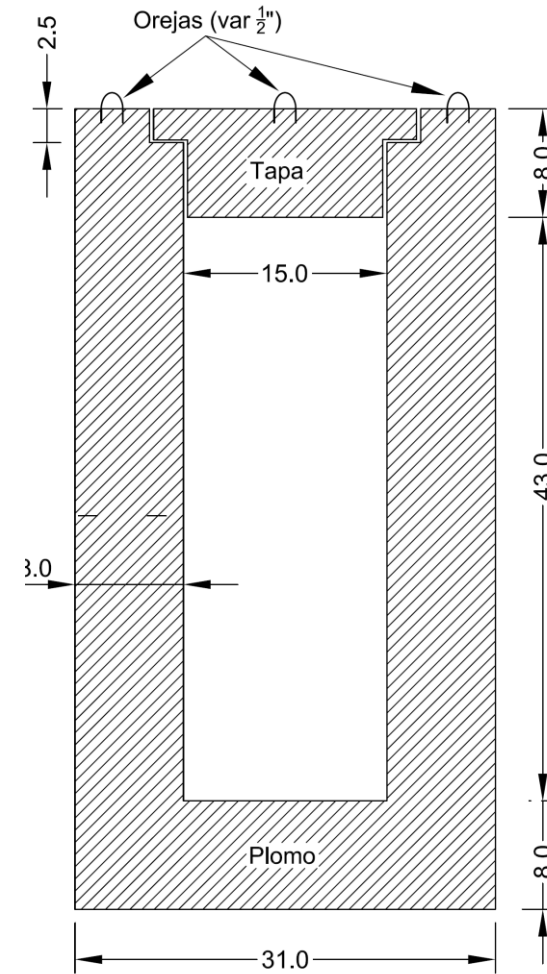
Mn-54, Co-57, Co-60, Ni-63, Kr-85, Sr-90, Cd-109, Ba-133, Cs137, Ir-192, Ra-226, Ra-226/Be, Am-241 y Am-241/Be, Cf-251







Bidones metalicos de 208 L
Máximo, 0.5 mSv.h^{-1} en la superficie
del bidón y 0.05 mSv.h^{-1} a 1 m





SENER
SECRETARÍA DE ENERGÍA

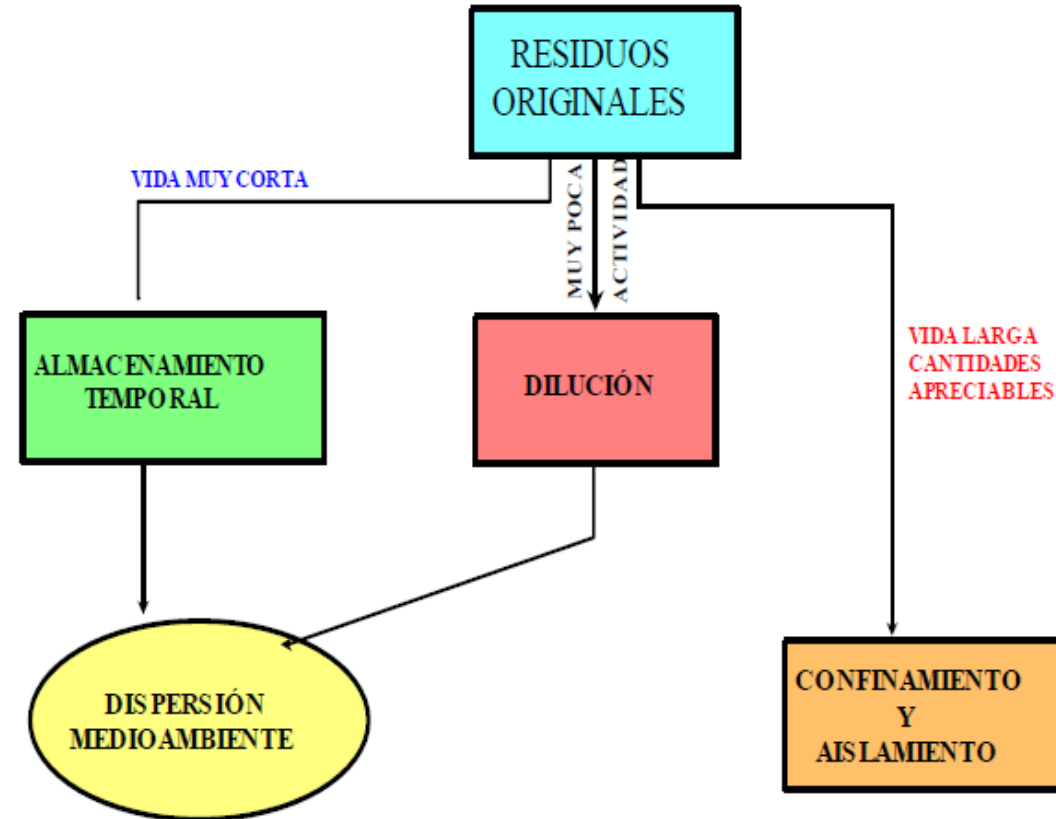


ININ
INSTITUTO NACIONAL
DE INVESTIGACIONES
NUCLEARES

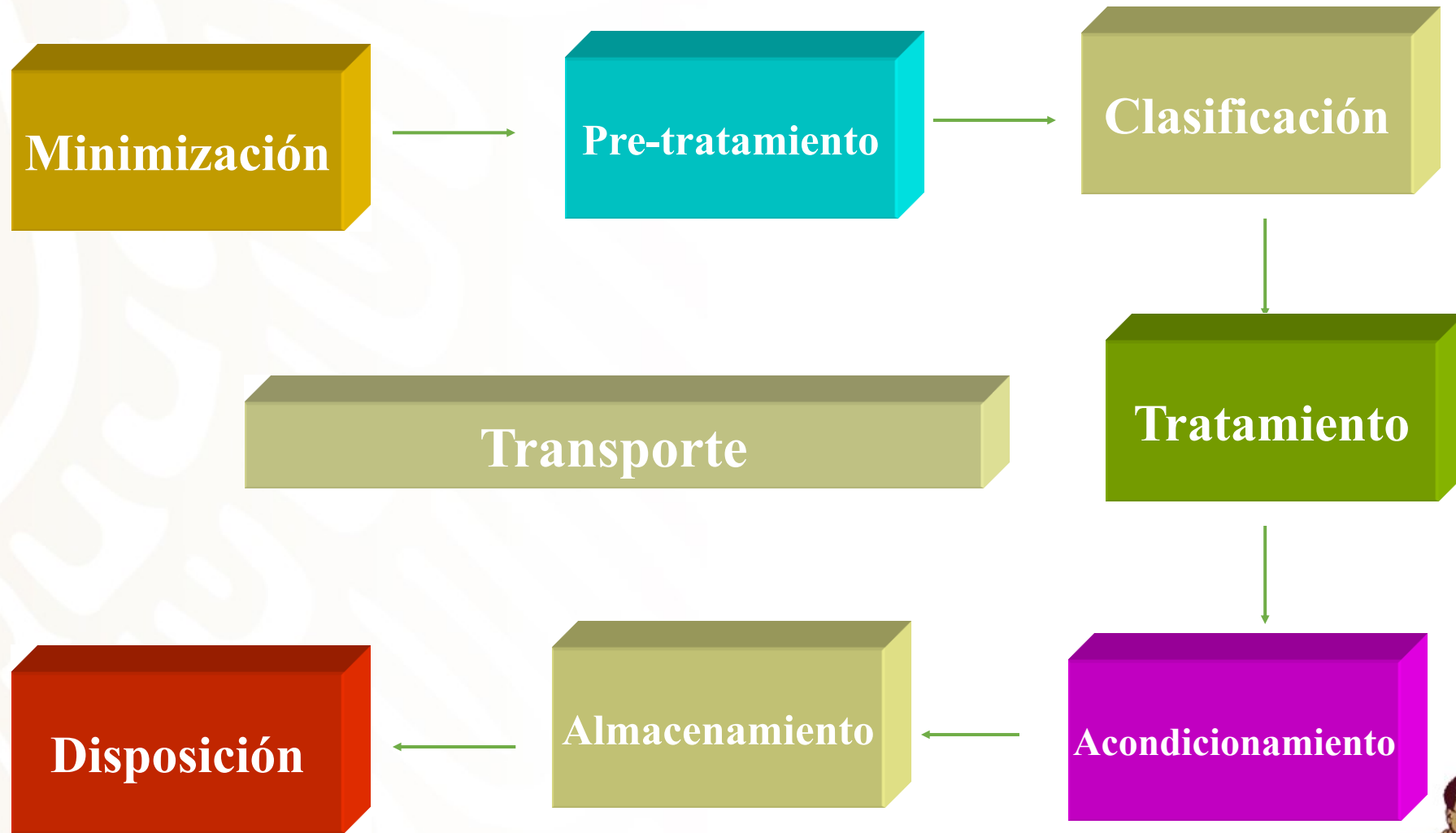
Gestión de los Desechos Radiactivos



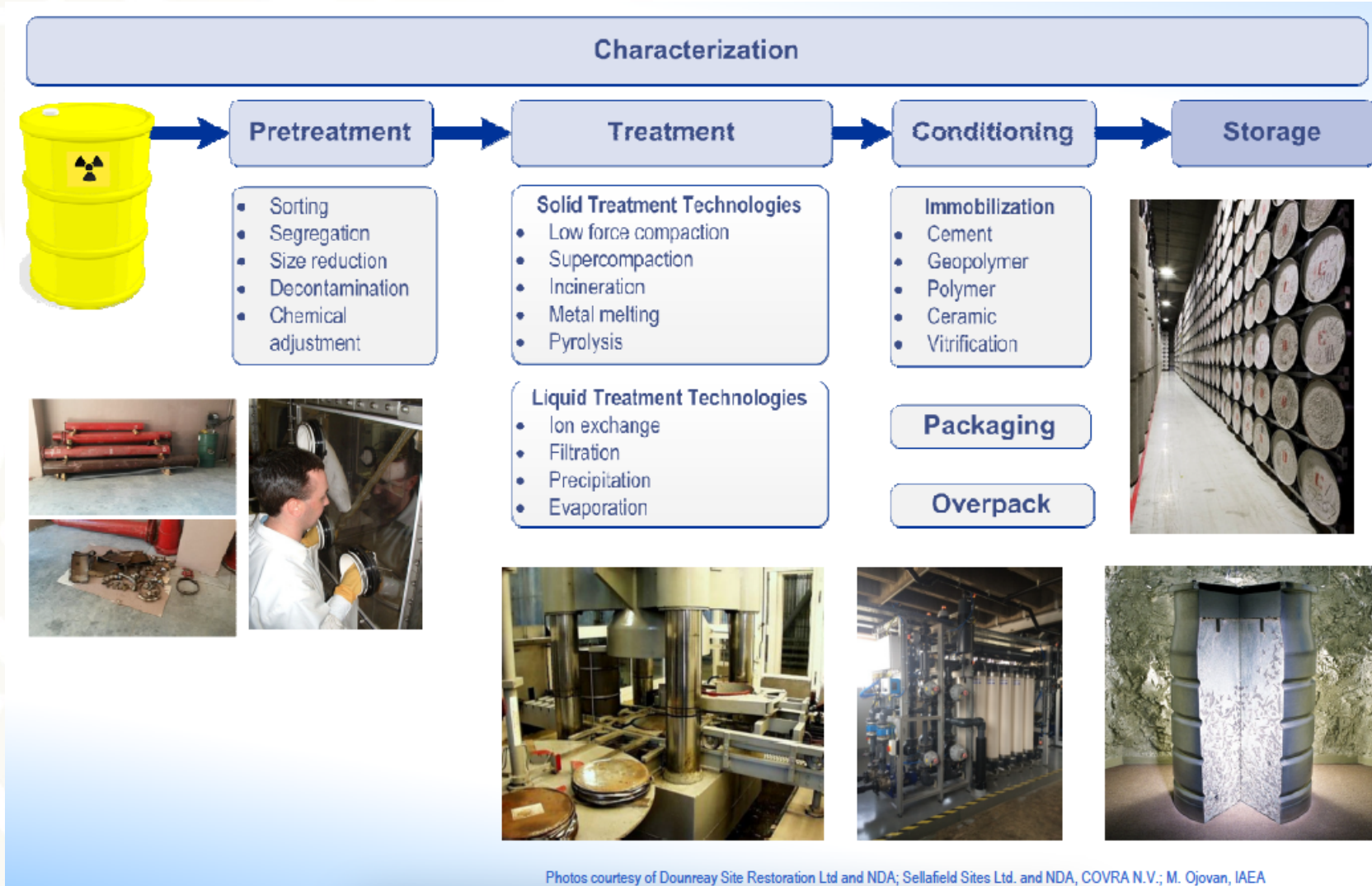
Estrategia General de Gestión de los Desechos Radiactivos



Gestión de los Desechos Radiactivos



Gestión de los Desechos Radiactivos



Photos courtesy of Dounreay Site Restoration Ltd and NDA; Sellafield Sites Ltd. and NDA, COVRA N.V.; M. Ojovan, IAEA

Robbins R. (IAEA,2019)

Ubicación de las Instalaciones de Gestión



Central Nuclear “Laguna Verde”

- Almacén en seco *Independent Spent Fuel Storage Installation (ISFSI)*
- Almacén Temporal en Sitio (ATS)
- Depósito de Desechos Radiactivos Sólidos Secos (DDRSS)

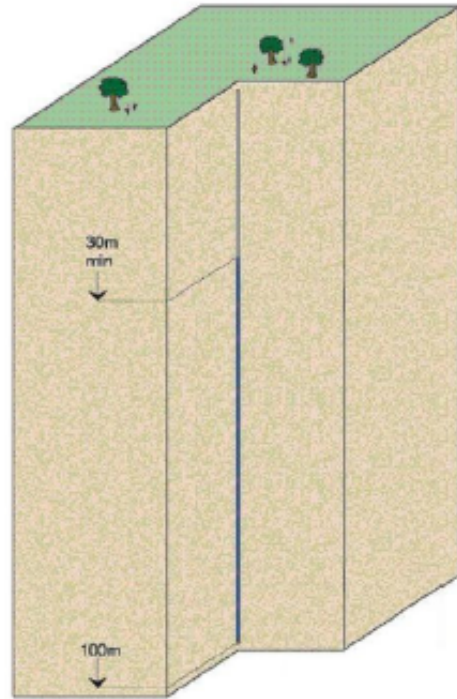
Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares

- PATRADER
- CADER
- La Piedrera
- Peña Blanca

Instalación	Categoría	Volumen/Cantidad	Radionúclidos principales	Estado físico
PATRADER	Nivel bajo	55.54 m ³	H-3, C-14, S-35, Na-22, Co-60, Rb-68, U natural	Líquidos
PATRADER	Nivel bajo	23.92 m ³	H-3, C-14, Na-22, Co-60, Ra-226, U natural, Am-241	Sólidos
PATRADER	Nivel bajo	350 t	Ra-226	Sólido
CADER	Nivel bajo	851.9 m ³	Minerales y jales de uranio, Co-60, Cs-137 y Ra-226	Sólidos

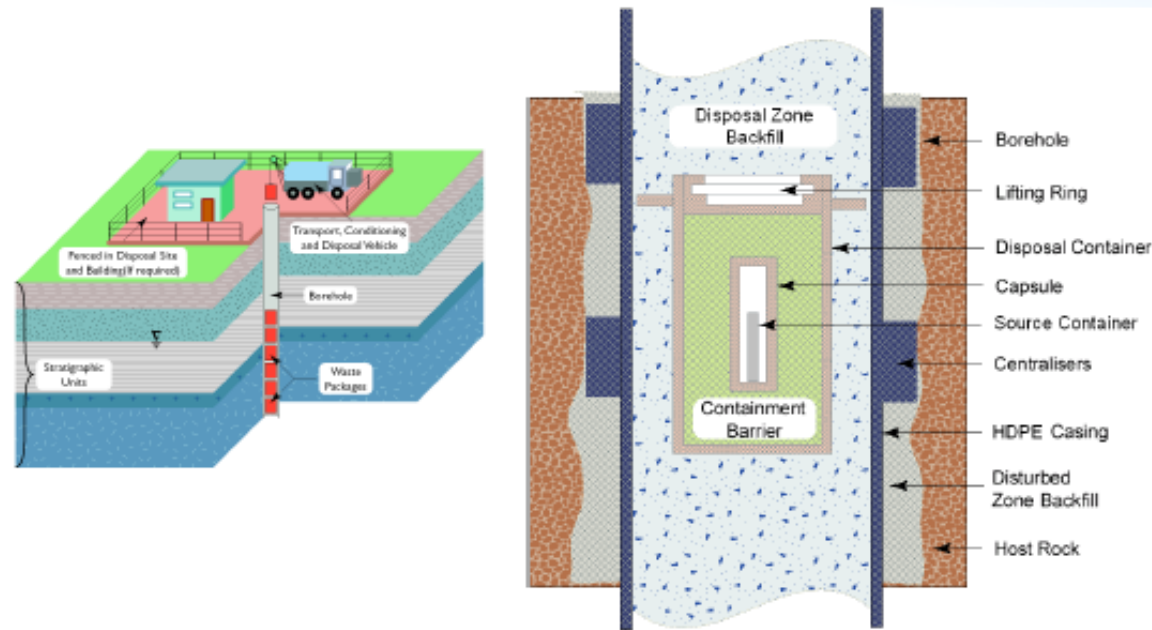
Resumen del inventario de desechos radiactivos de actividades no energéticas (2021)

Conceptos Internacionales de Disposición



Depth : 30 to 100 m (and deeper)
Diameter : ~ 250 mm
Sources conditioned in capsules
and containers

Borehole Disposal Concept



Pilot Projects

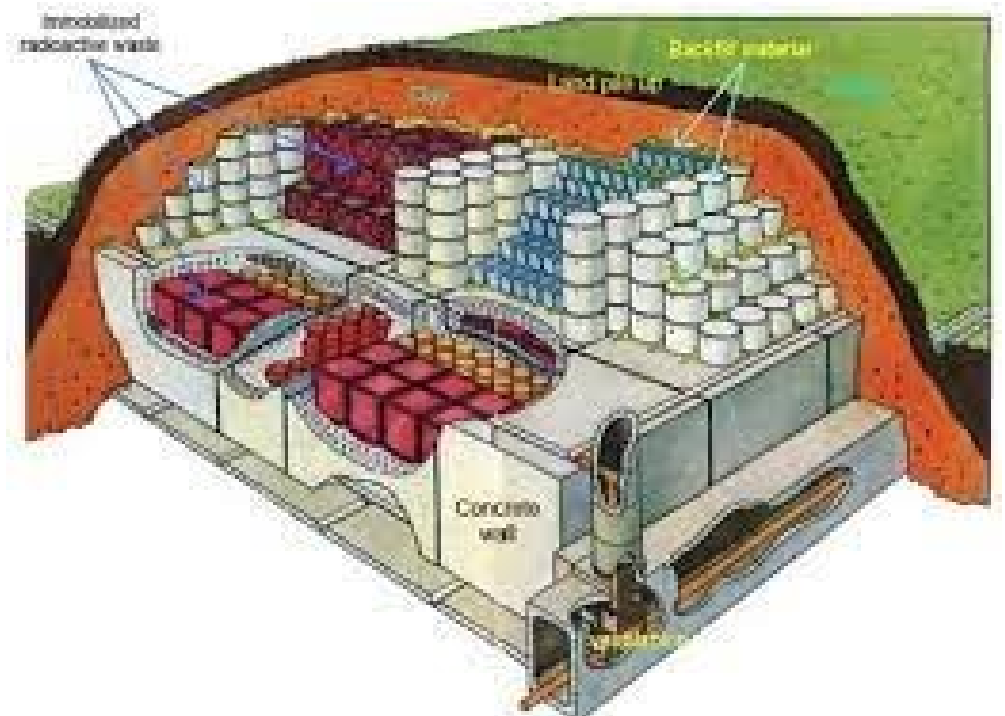
South Africa

Malaysia, Ghana, Philippines, Brazil...

IAEA, 2019

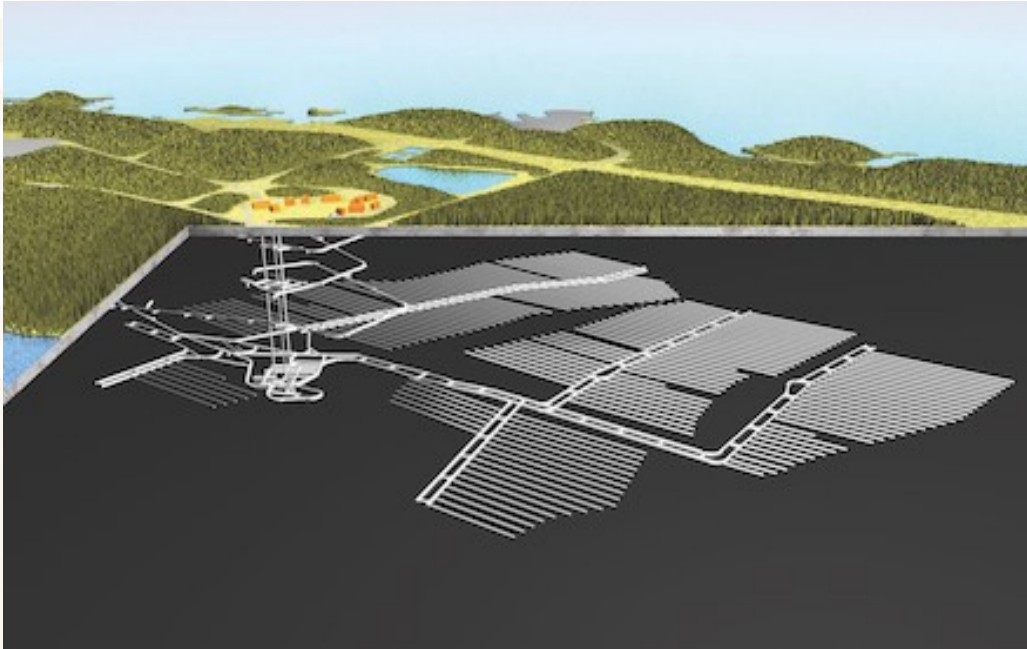
Concepto de Disposición
"Borehole"

Conceptos Internacionales de Disposición

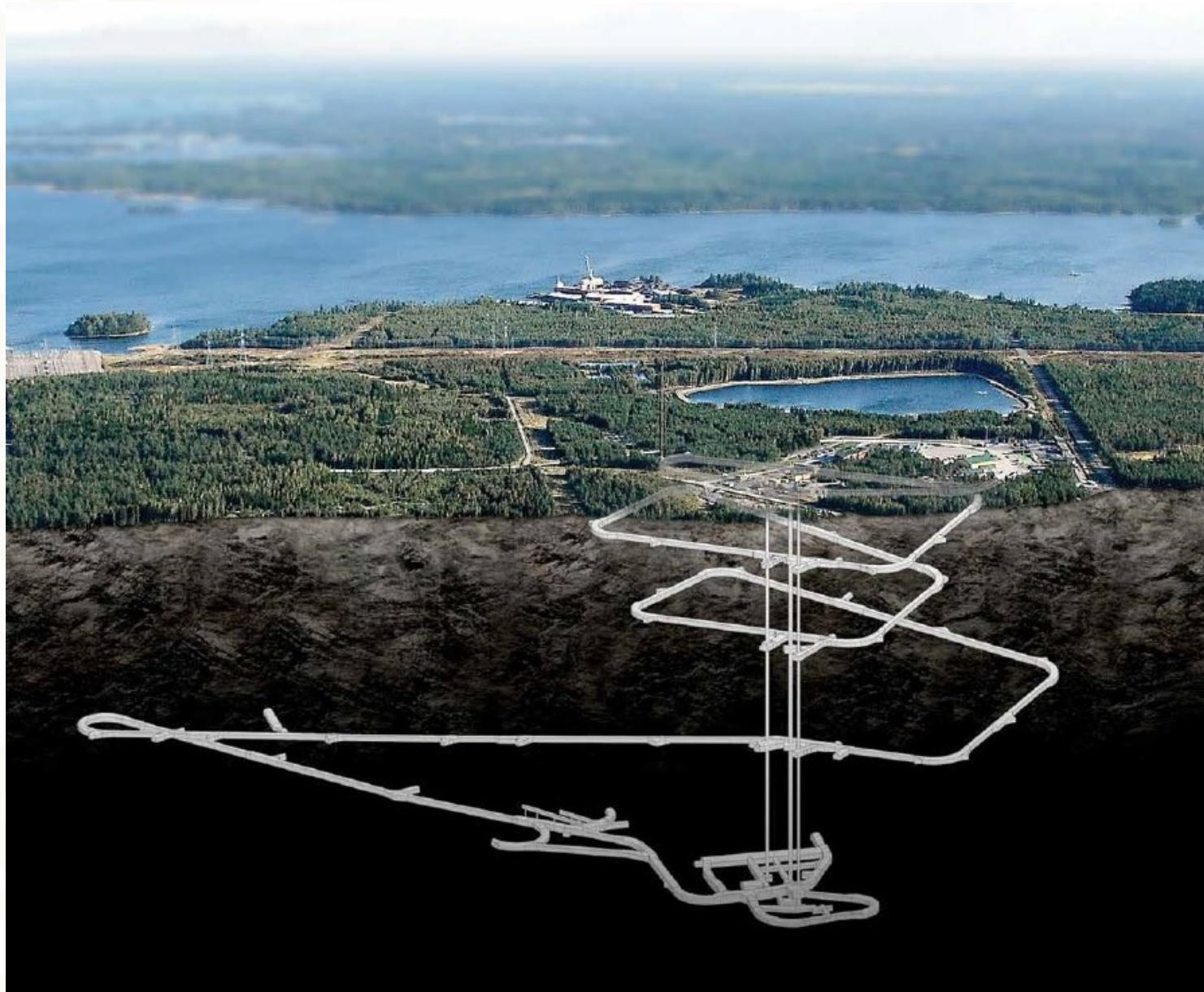


Disposición en Superficie (Near surface)

Conceptos Internacionales de Disposición







Disposición Geológica Profunda







Onkalo Finlandia

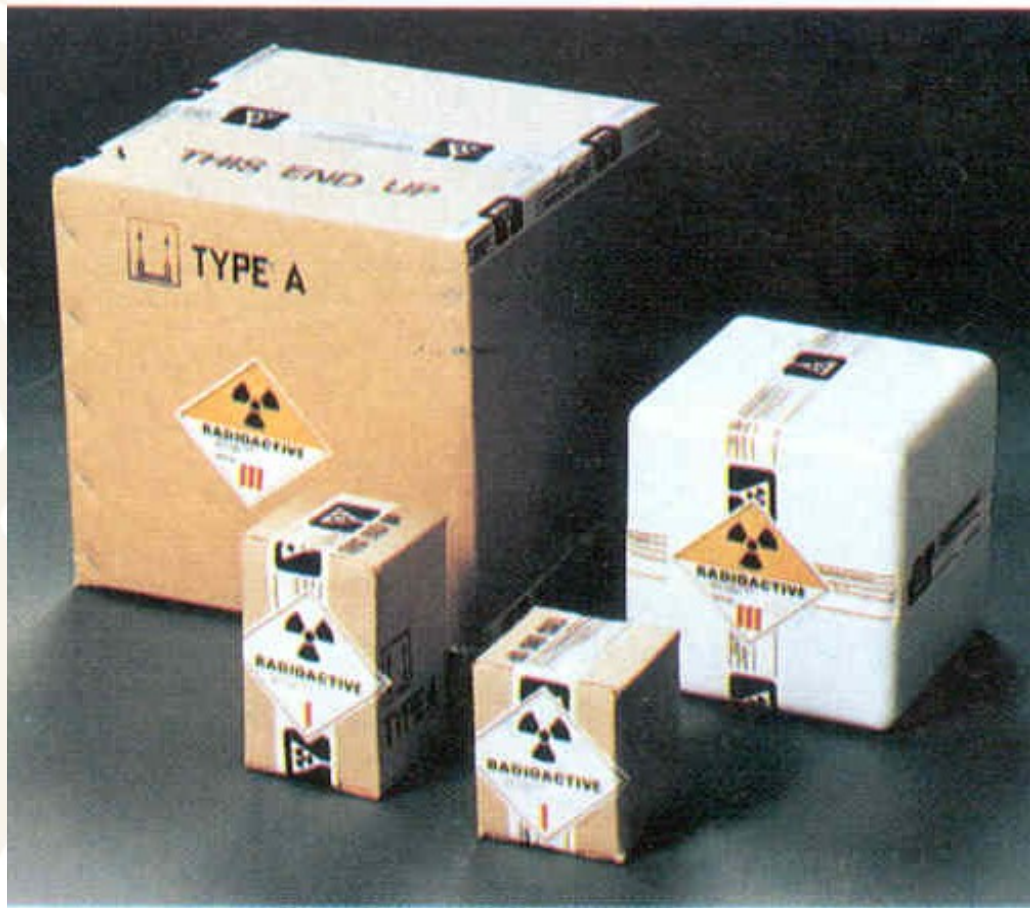
TRANSPORTE DE MATERIALES RADIATIVOS

INFORMACIÓN DE EMERGENCIA PARA EL TRANSPORTE DE MATERIAL RADIATIVO

EXPEDIDOR: RAZÓN SOCIAL: Cervecería Modelo, S. de R.L. de C.V. DIRECCIÓN: Lago Alberto No. 156 Miguel Hidalgo, CdMx, C.P. 11320 TEL. DE EMERGENCIA: 55 5262 1100 FAX:	NOMBRE DEL PRODUCTO O RESIDUO: COMERCIAL: Fuentes radiactivas de Am-241 DESIGNACIÓN OFICIAL: Material Radiactivo en Forma especial <hr/> <p style="text-align: center;">CLASE 7</p> <hr/> NUMERO UN DEL MATERIAL: 3332	COMPAÑÍA TRANSPORTADORA: DEPARTAMENTO DE DESECHOS RADIATIVOS- ININ TEL. (0155) 5329-7321, 5329-7248 FAX (0155) 5329-7371
ESTADO FÍSICO: SÓLIDO		PROPIEDAD FISICOQUÍMICAS:
AVISAR A COMISIÓN NACIONAL DE SEGURIDAD NUCLEAR Y SALVAGUARDIAS, TEL. (55)5095-3200 (DF), 01800 111 3168 sin costo <small>SISTEMA DE EMERGENCIA EN EL TRANSPORTE DE LA IND. QUÍMICA (SEIQU), TEL.(55) 5333-1300 (DF), 01800 002 1400 sin costo</small>		
EQUIPO Y MEDIOS DE PROTECCIÓN PERSONAL:		
EN CASO DE ACCIDENTE:	<ul style="list-style-type: none"> PARE EL MOTOR COLOQUE SEÑALES DE TRÁNSITO (TRIÁNGULOS) ACORDONE EL ÁREA Y COLOQUE SEÑALES DE "PELIGRO, RADIACIÓN". ALEJE A TODA PERSONA INNECESARIA DE LA ZONA DE PELIGRO 	
RIESGOS SI OCURRE ESTO	ACCIONES HAGA ESTO	
INTOXICACIÓN, EXPOSICIÓN 	<i>INGESTIÓN: PROVOQUE EL VÓMITO Y ACUDA AL MÉDICO DE INMEDIATO. CONTAMINACIÓN: EVITE LA DISPERSIÓN Y AVISE AL ININ.</i>	
CONTAMINACIÓN	<i>AVISE DE INMEDIATO AL ININ Y ESPERE LA AYUDA.</i>	
INFORMACIÓN MÉDICA 		
DERRAMES, FUGAS 	<i>ACORDONAR EL ÁREA Y RECOGER EL MATERIAL. SI NO SE TIENE CAPACIDAD PARA ATENDER EL ACCIDENTE, PEDIR AYUDA AL ININ</i>	
FUEGO, EXPLOSIÓN 	<i>MATERIAL NO EXPLOSIVO. EN CASO DE INCENDIO, COMBÁTALO CON EXTINTOR TIPO ABC. EVITE ASPIRAR EL HUMO.</i>	
NOMBRE Lic. Fátima Raquel Rivas Bonilla	FIRMA	PUESTO ESR
		TELÉFONO: FECHA: 25/Enero/2022
ESTA HOJA DEBERÁ SER REQUISITADA EN SU TOTALIDAD Y ESTAR AL ALCANCE DURANTE EL VIAJE PARA SER USADA EN CASO DE EMERGENCIA.		

INFORMACIÓN DE EMERGENCIA PARA EL TRANSPORTE DE MATERIAL RADIATIVO

EXPEDIDOR: RAZÓN SOCIAL: Cervecería Modelo, S. de R.L. de C.V. DIRECCIÓN: Lago Alberto No. 156 Miguel Hidalgo, CdMx, C.P. 11320 TEL. DE EMERGENCIA: 55 5262 1100 FAX:	NOMBRE DEL PRODUCTO O RESIDUO: COMERCIAL: Fuentes radiactivas de Am-241 DESIGNACIÓN OFICIAL: Material Radiactivo en Forma especial <hr/> <p style="text-align: center;">CLASE 7</p> <hr/> NUMERO UN DEL MATERIAL: 3332	COMPAÑÍA TRANSPORTADORA: DEPARTAMENTO DE DESECHOS RADIATIVOS- ININ TEL. (0155) 5329-7321, 5329-7248 FAX (0155) 5329-7371	
ESTADO FÍSICO: SÓLIDO		PROPIEDAD FISICOQUÍMICAS:	
AVISAR A			
COMISIÓN NACIONAL DE SEGURIDAD NUCLEAR Y SALVAGUARDIAS, TEL. (55)5095-3200 (DF), 01800 111 3168 sin costo <small>SISTEMA DE EMERGENCIA EN EL TRANSPORTE DE LA IND. QUÍMICA (SEIQU), TEL.(55) 5333-1300 (DF), 01800 002 1400 sin costo</small>			
EQUIPO Y MEDIOS DE PROTECCIÓN PERSONAL:			
EN CASO DE ACCIDENTE:	<ul style="list-style-type: none"> PARE EL MOTOR COLOQUE SEÑALES DE TRÁNSITO (TRIÁNGULOS) ACORDONE EL ÁREA Y COLOQUE SEÑALES DE "PELIGRO, RADIACIÓN". ALEJE A TODA PERSONA INNECESARIA DE LA ZONA DE PELIGRO 		
RIESGOS SI OCURRE ESTO	ACCIONES HAGA ESTO		
INTOXICACIÓN, EXPOSICIÓN 	INGESTIÓN: PROVOQUE EL VÓMITO Y ACUDA AL MÉDICO DE INMEDIATO. CONTAMINACIÓN: EVITE LA DISPERSIÓN Y AVISE AL ININ.		
CONTAMINACIÓN	AVISE DE INMEDIATO AL ININ Y ESPERE LA AYUDA.		
INFORMACIÓN MÉDICA 			
DERRAMES, FUGAS 	ACORDONAR EL ÁREA Y RECOGER EL MATERIAL. SI NO SE TIENE CAPACIDAD PARA ATENDER EL ACCIDENTE, PEDIR AYUDA AL ININ		
FUEGO, EXPLOSIÓN 	MATERIAL NO EXPLOSIVO. EN CASO DE INCENDIO, COMBÁTALO CON EXTINTOR TIPO ABC. EVITE ASPIRAR EL HUMO.		
NOMBRE	FIRMA	PUESTO	TELÉFONO:
Lic. Fátima Raquel Rivas Bonilla		ESR	FECHA: 25/Enero/2022
ESTA HOJA DEBERÁ SER REQUISITADA EN SU TOTALIDAD Y ESTAR AL ALCANCE DURANTE EL VIAJE PARA SER USADA EN CASO DE EMERGENCIA.			

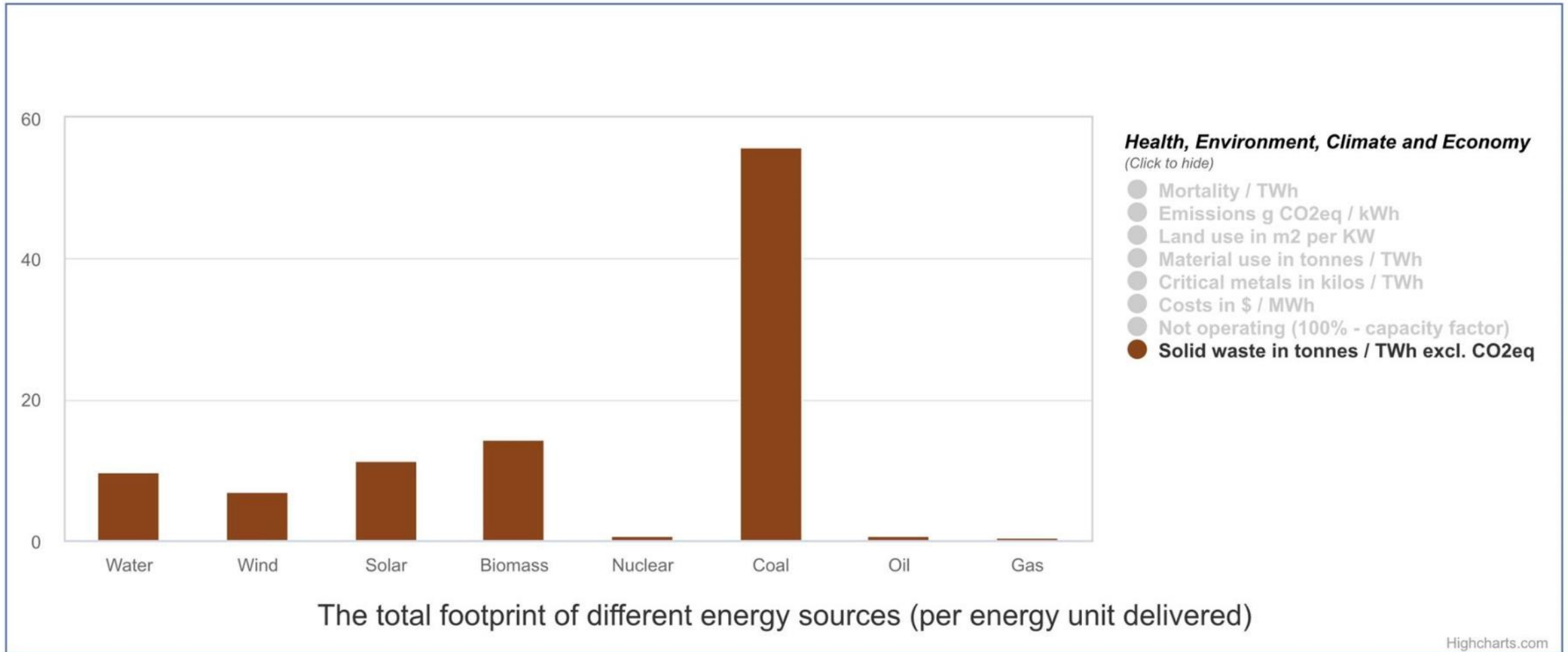


Ejemplo de bulto para transporte



Ejemplo de vehículo para el transporte

DATOS CURIOSOS



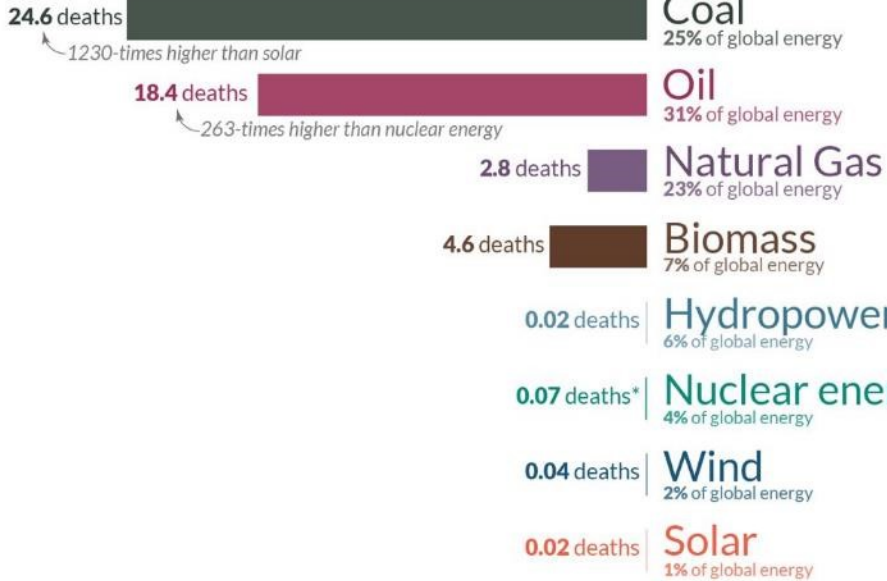
DATOS CURIOSOS

Our World
in Data

What are the **safest** and **cleanest** sources of energy?

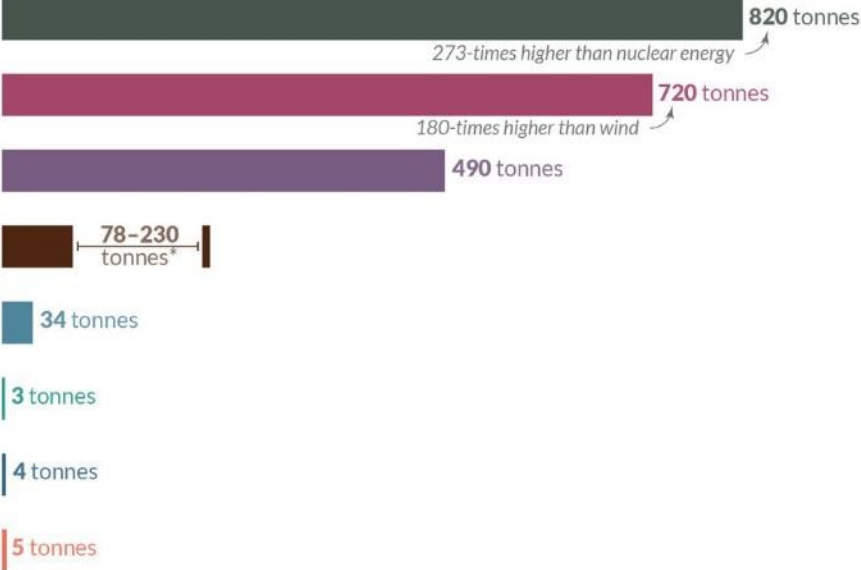
Death rate from accidents and air pollution

Measured as deaths per terawatt-hour of energy production.
1 terawatt-hour is the annual energy consumption of 27,000 people in the EU.



Greenhouse gas emissions

Measured in emissions of CO₂-equivalents per gigawatt-hour of electricity over the lifecycle of the power plant.
1 gigawatt-hour is the annual electricity consumption of 160 people in the EU.



*Life-cycle emissions from biomass vary significantly depending on fuel (e.g. crop residues vs. forestry) and the treatment of biogenic sources.

*The death rate for nuclear energy includes deaths from the Fukushima and Chernobyl disasters as well as the deaths from occupational accidents (largely mining and milling).

Energy shares refer to 2019 and are shown in primary energy substitution equivalents to correct for inefficiencies of fossil fuel combustion. Traditional biomass is taken into account.

Data sources: Death rates from Markandya & Wilkinson (2007) in *The Lancet*, and Sovacool et al. (2016) in *Journal of Cleaner Production*;

Greenhouse gas emission factors from IPCC AR5 (2014) and Pehl et al. (2017) in *Nature*; Energy shares from BP (2019) and Smil (2017).

OurWorldinData.org – Research and data to make progress against the world’s largest problems.

Licensed under CC-BY by the authors Hannah Ritchie and Max Roser.



Ricardo Flores
2022
Año de Magón
PRECURSOR DE LA REVOLUCIÓN MEXICANA

Gracias



SENER
SECRETARÍA DE ENERGÍA

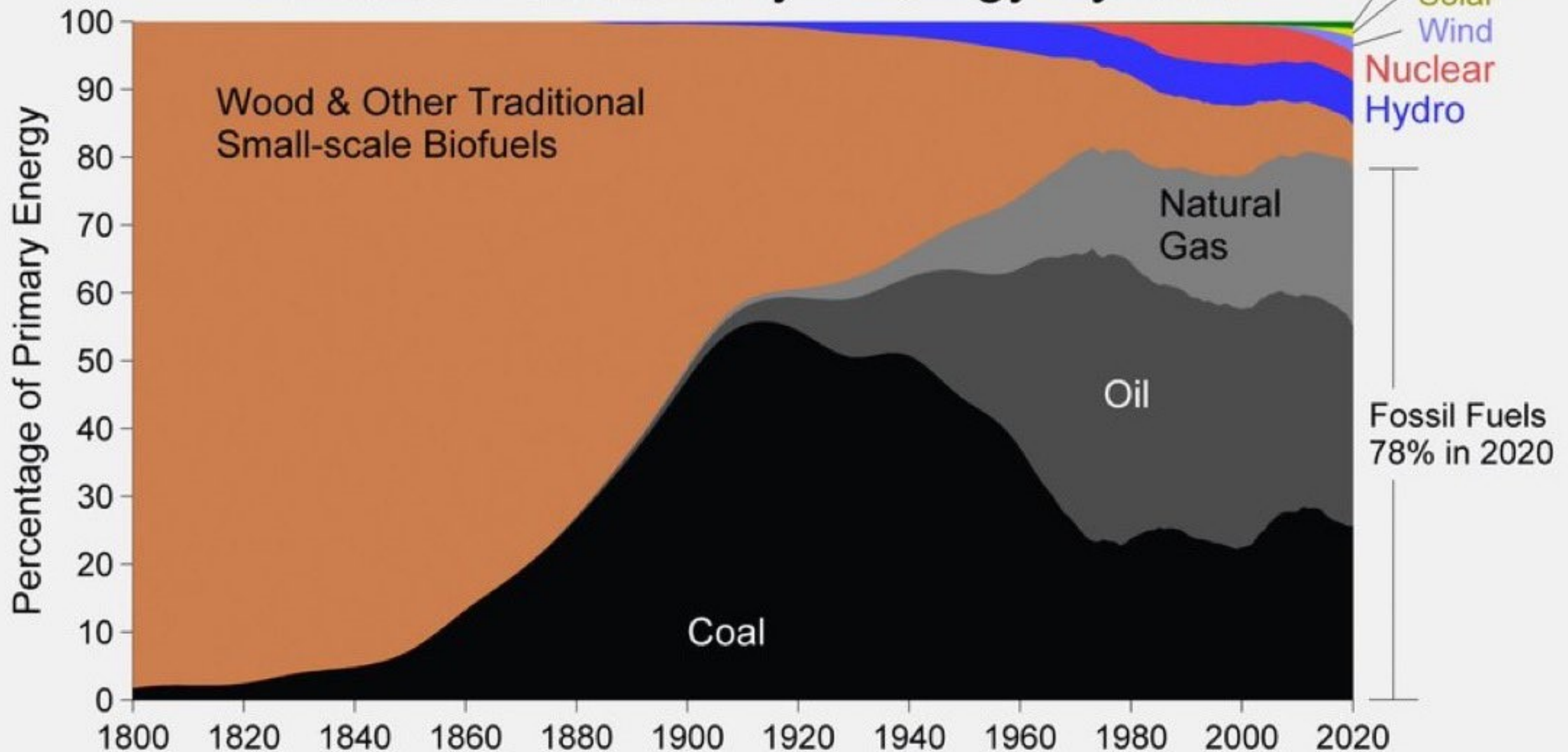


ININ
INSTITUTO NACIONAL
DE INVESTIGACIONES
NUCLEARES



2022 *Ricardo Flores*
Año de Magón
PRECURSOR DE LA REVOLUCIÓN MEXICANA

Evolution of Humanity's Energy System



Values before 1965 come from Vaclav Smil (2017), *Energy Transitions: Global and National Perspectives*. From 1965 to present, data follows the BP Statistical Review of World Energy, except for traditional biofuels which still come from Smil (2017). Following BP, the replacement method is used to express the fossil energy equivalent of renewable technologies, i.e. 1 J electrical is treated as equivalent to 2.6 J thermal.