

# ALMACENAMIENTO TRANSITORIO DE RESIDUOS CONTENIENDO MERCURIO

28 de junio 2013

**San José, Costa Rica**

Proyecto “Minimización y Manejo Ambientalmente seguro de desechos conteniendo mercurio en Países de América Latina y el Caribe”

*Ing. Quím. Héctor Ventimiglia – Consultor*



# CONCEPTOS Y PRINCIPIOS

# RESIDUOS

- Sustancias u objetos que son dispuestos, se pretende disponer o se está obligado a disponer de acuerdo a la legislación nacional.

Artículo 2, párrafo 1 (“Definitions”) de la Convención de Basilea

# RESIDUOS - MERCURIO

1. Residuos **consistentes** en mercurio elemental.
2. Residuos **conteniendo** mercurio:
  1. Residuos de productos con mercurio agregado que liberan mercurio al ambiente fácilmente.
  2. Residuos de productos con mercurio agregado diferentes a 2.1.
  3. Residuos que provienen de la estabilización o solidificación de mercurio elemental.
3. Residuos **contaminados** con mercurio.

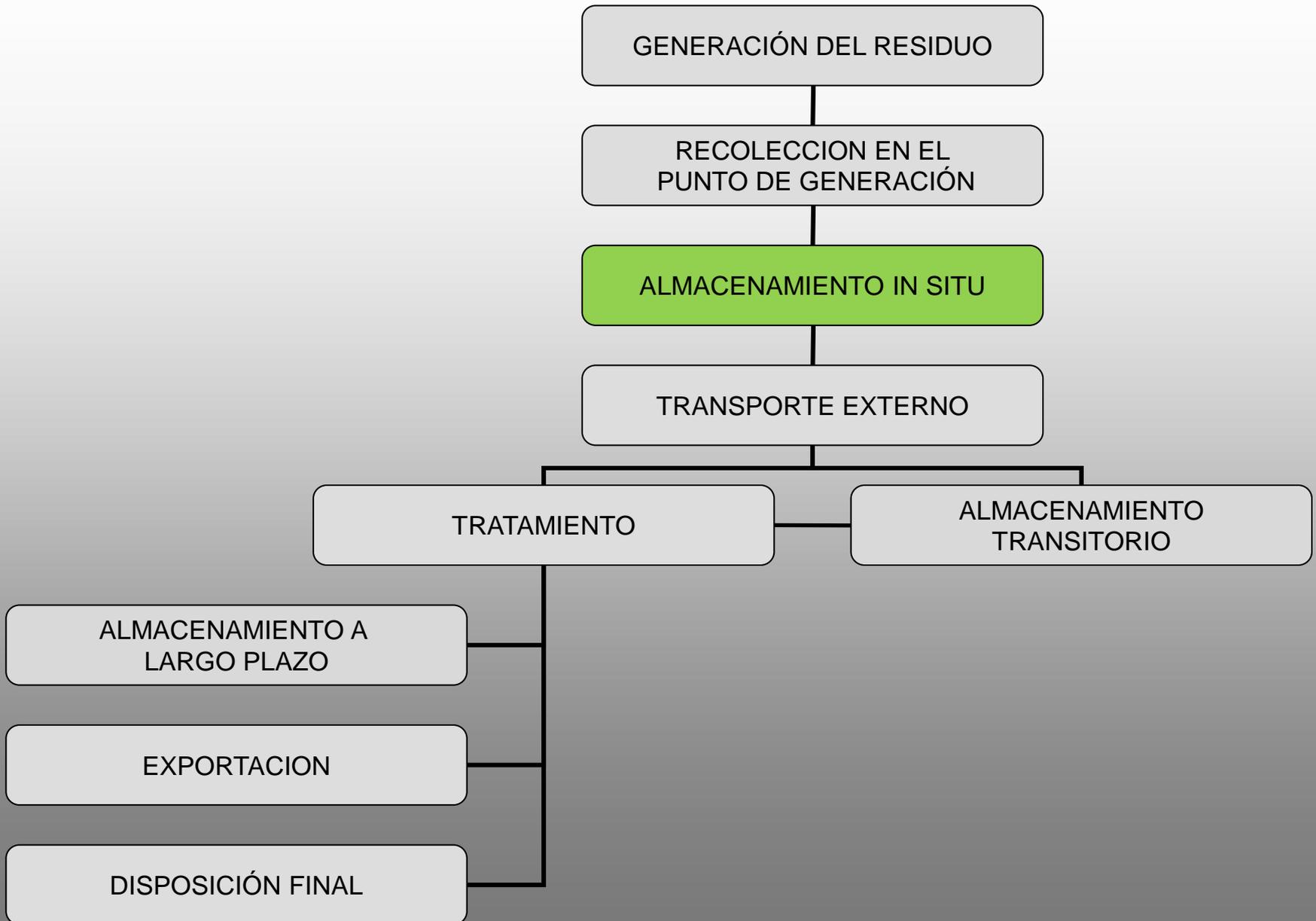
# **GESTIÓN AMBIENTALMENTE SEGURA**

**(ESM)**

# CONCEPTO

Aplicación de todas los pasos factibles para asegurar que los residuos peligrosos y otros residuos son gestionados de forma tal que se proteja la salud humana y el ambiente contra los efectos adversos que pueda resultar de los mismos.

# SECUENCIA DE PROCESOS / OPERACIONES



# ALMACENAMIENTO IN SITU

Fuente: Guía para la limpieza, almacenamiento temporal o intermedio y transporte de desechos de mercurio desde las instalaciones de salud. UNEP GEF, 2010,

# ALMACENAMIENTO IN SITU

- Implica el almacenamiento por parte del generador, temporariamente, en sus propias instalaciones.
- Estrictamente transitorio.
- Tiempo de permanencia determinado por standards nacionales.

# UBICACION

- En una zona segura, de acceso restringido. En edificios de uso múltiple, en salas cerradas bajo llave.
- Salas ventiladas, con salida de aire hacia zonas no pobladas, alejadas de otras tomas de aire.
- Los residuos con mercurio deben almacenarse en forma separada de otros residuos: infecciosos, ordinarios, etc.

# DISEÑO

- Techos y paredes que lo protejan de la acción de la intemperie, animales, etc.
- Piso liso e impermeable.
- Sistemas de drenaje con “trampas” para capturar derrames.
- Ventilación suficiente con sistemas de control de flujo inverso.
- Se debe contar con bandejas de contención para el material almacenado. Volumen de la bandeja: 125 % del volumen de mercurio líquido almacenado.
- EPP y kits de derrames próximos al sitio.
- Temperatura controlada ( $< 25^{\circ}\text{C}$ ) y humedad relativa menor al 40 %.

# ETIQUETADO

- Puertas de entrada y salida, rotuladas con símbolo de peligro y descripción:

**PELIGRO: DESECHOS  
PELIGROSOS DE MERCURIO**



# ETIQUETADO

- Los recipientes deben estar etiquetados:
  - “Desechos de Mercurio: Peligrosos”
  - Descripción del contenido.
  - Fecha de almacenamiento.

# RECIPIENTES

- Fácil de abrir y sellar nuevamente.
- Hermético y a prueba de fugas.
- Material inerte y no amalgamable.
- Material no frágil.
- Material resistente a la corrosión.
- Recipientes pequeños: ergonómicos y resistentes al propio peso del mercurio.
- Agente supresor de vapores o agua dentro del envase.

# ALMACENAMIENTO Hg ELEMENTAL

- Criterios específicos:
  - Recipiente secundario como medida redundante de protección.
  - Etiquetas en ambos envases (primario y secundario).
  - Llenado de envases primarios: sobre bandejas capaces de contener el total del volumen.

# ALMACENAMIENTO DE DISPOSITIVOS

- Almacenados de forma de evitar roturas.
- En lo posible, almacenados en sus estuches originales y en recipientes resistentes a la punción y herméticos.
- Recipientes primarios etiquetados con:
  - Tipo de dispositivos
  - Cantidad
  - Fecha inicial.
  - Comentarios relevantes.
- Recipiente secundario como medida redundante con etiqueta propia.

# ALMACENAMIENTO DE DESECHOS CONTAMINADOS

- Desechos punzantes deben ser almacenados en recipientes primarios resistentes a la punción y con envase secundario.
- Otros desechos pueden almacenarse en recipientes sellados, con envase secundario.
- Etiquetado: ídem anterior.

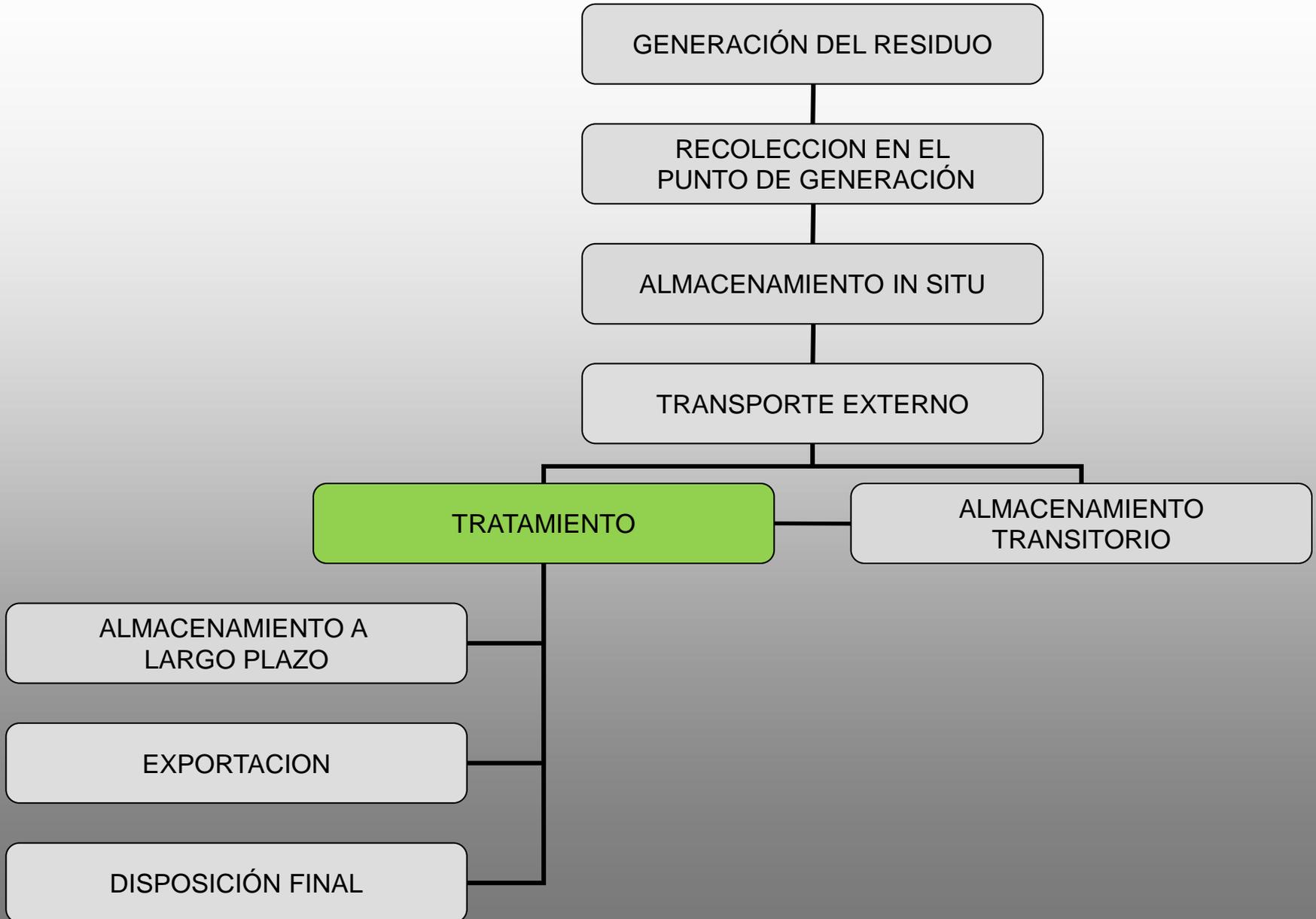
# LÁMPARAS FLUORESCENTES

- Lámparas intactas:
  - En su envase original.
  - Un envase secundario como medida redundante.
- Lámparas quebradas:
  - Se manejan como residuos contaminados con mercurio.

# PROCEDIMIENTOS GENERALES

- El personal involucrado en la gestión de residuos con mercurio debe recibir entrenamiento específico.
- Acceso de todo el personal a MSDS y ICSC.
- Inspecciones mensuales a efectos de verificar integridad de envases, ventilación, EPP, etc.
- Prohibición de fumar o comer.
- Registros de entrada y salida de materiales.  
Control de inventario.

# SECUENCIA DE PROCESOS / OPERACIONES

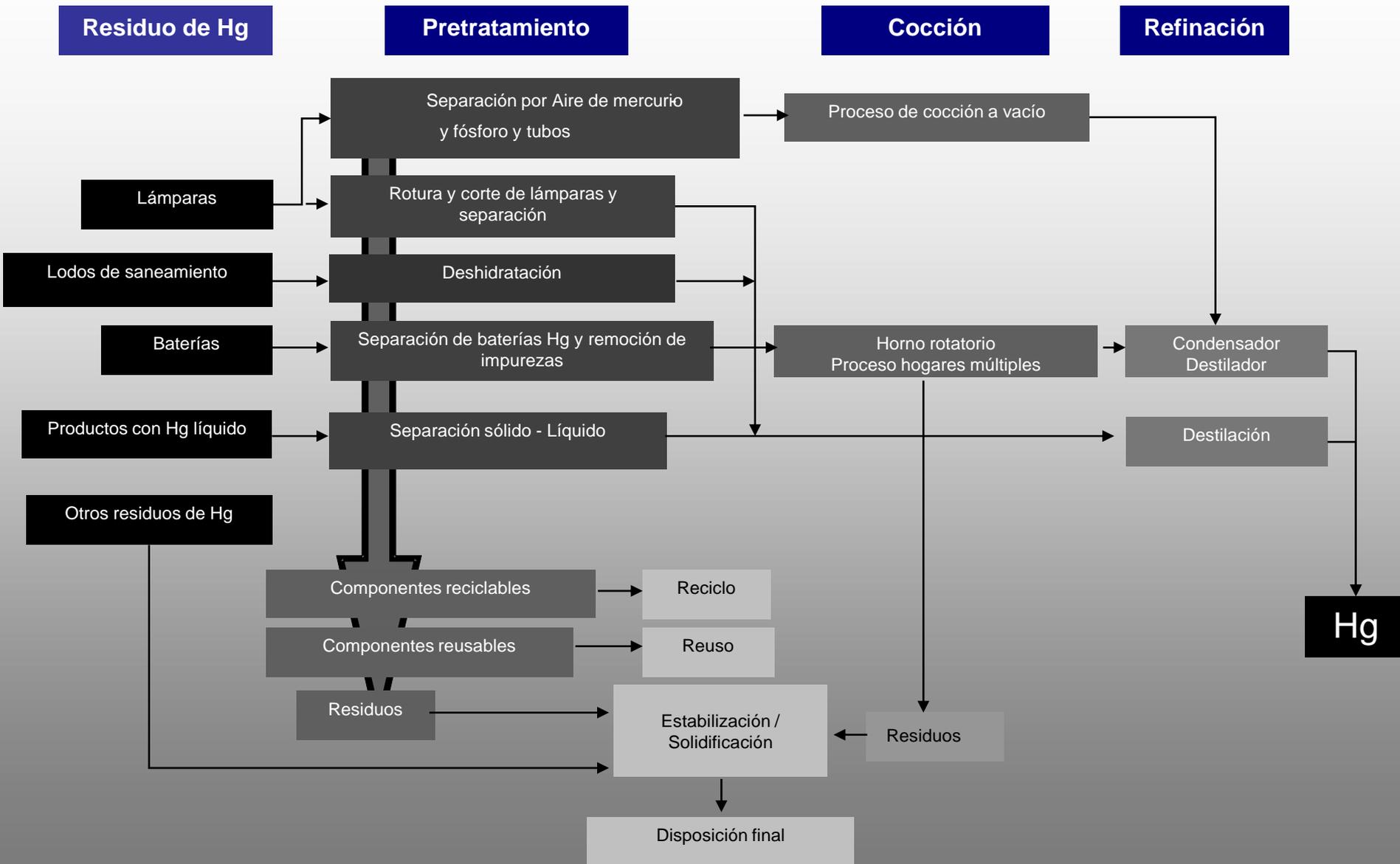


# **TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS Y RECUPERACIÓN DEL MERCURIO**

# RECUPERACIÓN

- La recuperación comprende tres procesos:
  1. Pretratamiento
  2. Cocción
  3. Purificación

# RECUPERACIÓN DE MERCURIO



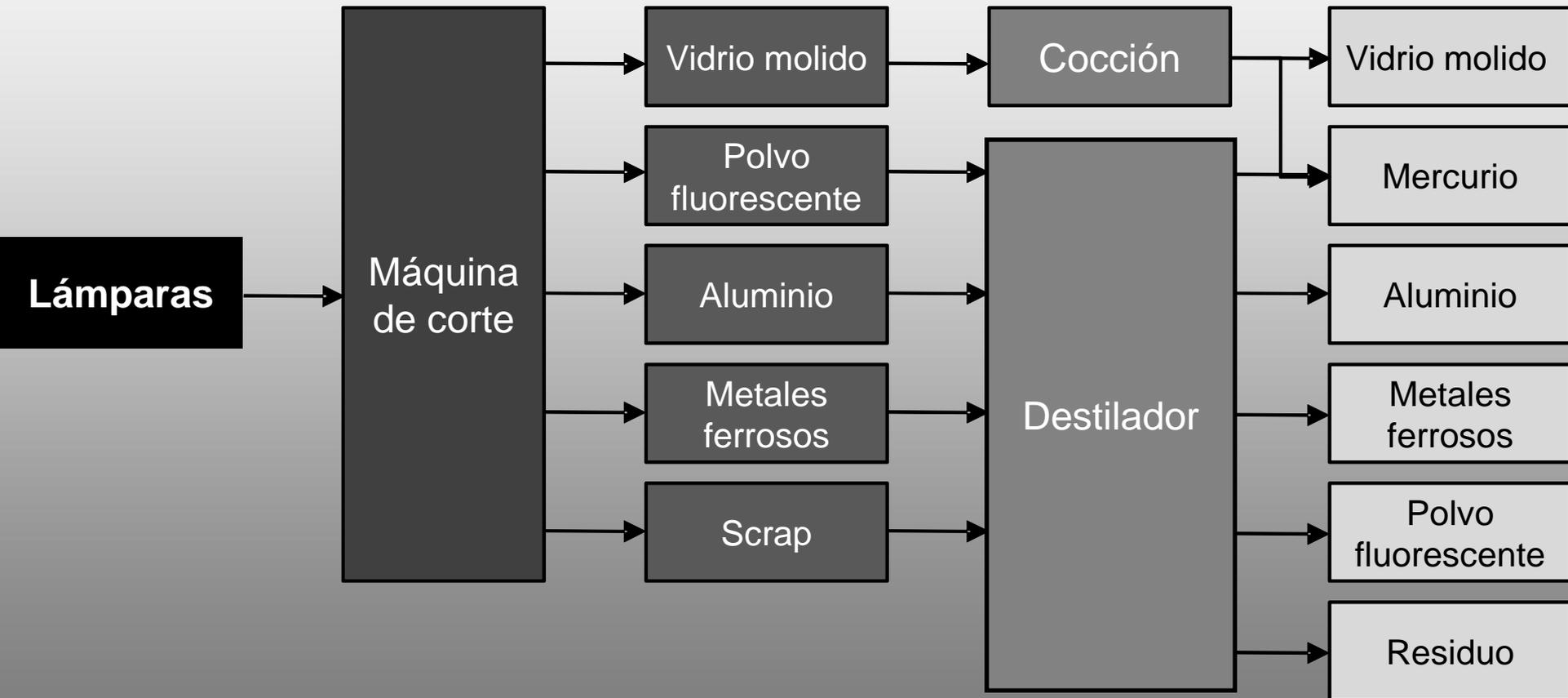
# RECUPERACIÓN DE MERCURIO

PRETRATAMIENTO

# LAMPARAS FLUORESCENTES

- Separación por aire:
  - Casquillos son cortados con soplete de hidrógeno.
  - Se remueve el polvo de Hg-P con aire.
  - Se rompe el vidrio y se lava con ácido.
  - Se recupera el mercurio en colectores y de la solución de lavado.

# RECUPERACIÓN DE LÁMPARAS FLUORESCENTES



# RECUPERACIÓN DE Hg EN BATERÍAS

- Se separan las baterías de mercurio del resto.
- Se remueven impurezas mezcladas y adsorbidas por métodos mecánicos.
- Se someten a cocción.

# RECUPERACIÓN DE OTRAS FUENTES

- Lodos de saneamiento
  - Deben ser deshidratados hasta un porcentaje de sólidos de 25 a 30 %
  - Luego enviados a cocción.
- Productos conteniendo mercurio
  - Se reciben sanos.
  - Se retira el mercurio para destilación.

# RECUPERACIÓN DE MERCURIO

COCCIÓN

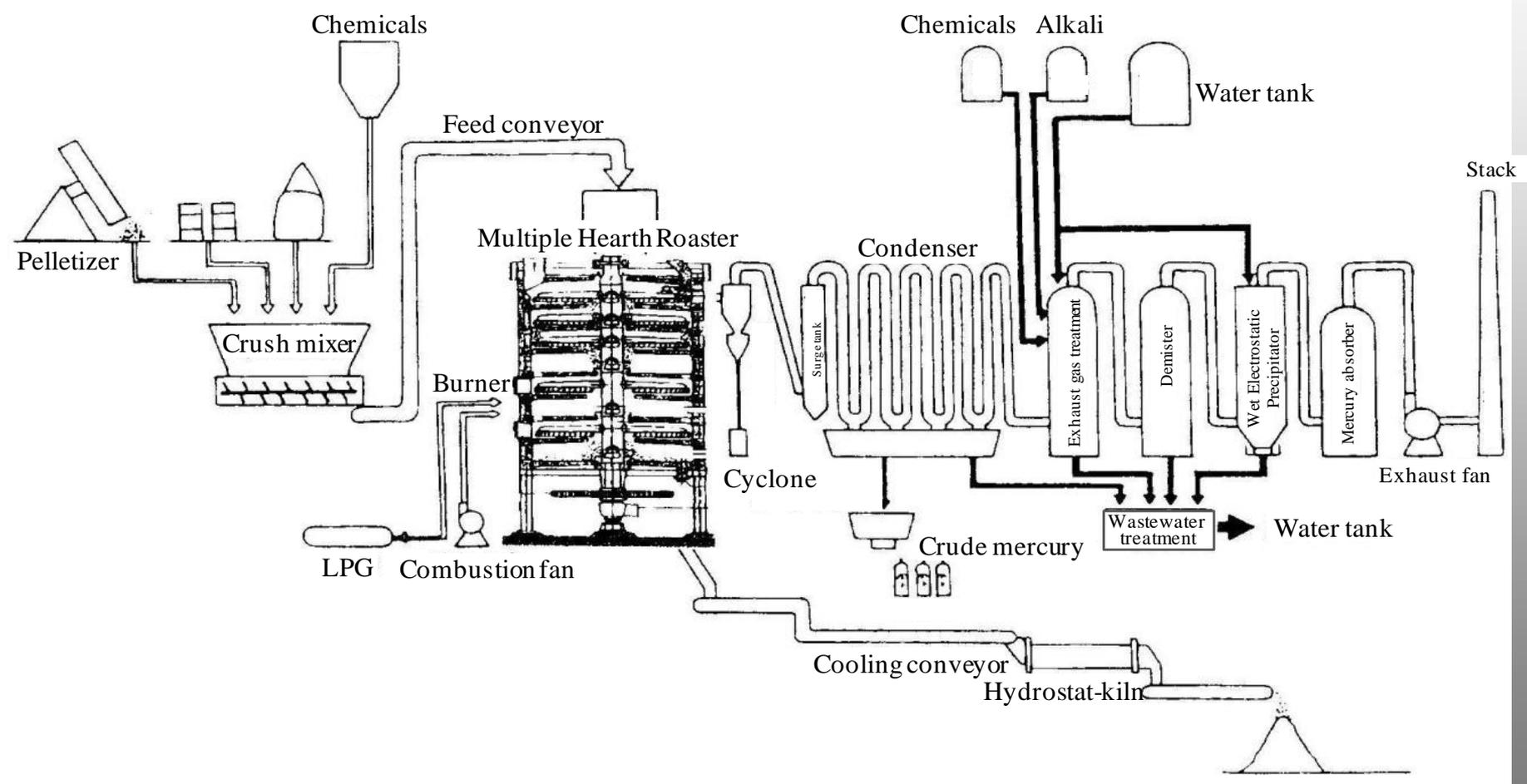
# COCCIÓN / RETORTA

- Procesos térmicos de calentamiento para evaporar el mercurio elemental.
  - Cuentan con sistema de captura de mercurio por condensación.
  - Retienen material particulado en humos.
  - Cuentan con sistemas de captura de Hg gaseoso remanente.
  - Temperaturas de 600° a 850°

# COCCION / RETORTA

- Equipos:
  - Horno rotatorio
  - Horno a vacío
  - Horno de hogares múltiples
- Referencias para los procesos:
  - Evaluación Global del Mercurio (UNEP 2002)
  - BAT for Waste Incineration (IPPC Comisión Europea 2006)

# SISTEMA DE COCCIÓN PARA LODOS DE EFLUENTES



# RECUPERACIÓN DE MERCURIO

- PURIFICACION

- El mercurio procedente de los procesos térmicos es enviado a un condensador enfriado por agua a 10°C.
- Posteriormente es destilado hasta alcanzar los valores de pureza de calidad comercial.

# CONTROL DE GASES

- A posteriori de los procesos térmicos es necesario controlar los gases calientes.
  - Eliminación de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, Material particulado.
  - Se agregan sustancias básicas (Ca(OH)<sub>2</sub>) para capturar ácidos.
  - Se usan catalizadores para reducir NO<sub>x</sub>.
  - Se usan precipitadores electrostáticos para retirar material particulado.
  - Se usa carbón activado para fijar fugas de mercurio gaseoso.

# EXTRACCIÓN ÁCIDA

- Proceso que permite la extracción del mercurio en solución acuosa desde una matriz sólida.
- Actúa sobre el mercurio oxidado.
- Agentes: HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>,
- Posteriormente se lo precipita (generalmente como sulfuro).

# RECUPERACIÓN DE MERCURIO EN RESIDUOS LÍQUIDOS

- Oxidación
- Precipitación
- Adsorción:
  - Resinas de intercambio
  - Resinas quelantes
  - Carbón activado
- Amalgamación

# OXIDACIÓN

- Se procura:
  - Destruir materia orgánica asociada al Hg
  - Oxidar el Hg a formas solubles
  - Precipitarlo
- Oxidantes:
  - Hipoclorito de sodio, ozono, peróxido de hidrógeno, cloro, dióxido de cloro.
- Se separa el mercurio en forma de haluro.

# PRECIPITACIÓN

- Se procura obtener compuestos de muy baja solubilidad.
- Agentes: Hidróxido de calcio, soda cáustica, sulfuro de sodio,
- Se prefiere la formación de sulfuro antes que óxido ya que es más insoluble en un amplio rango de pH.

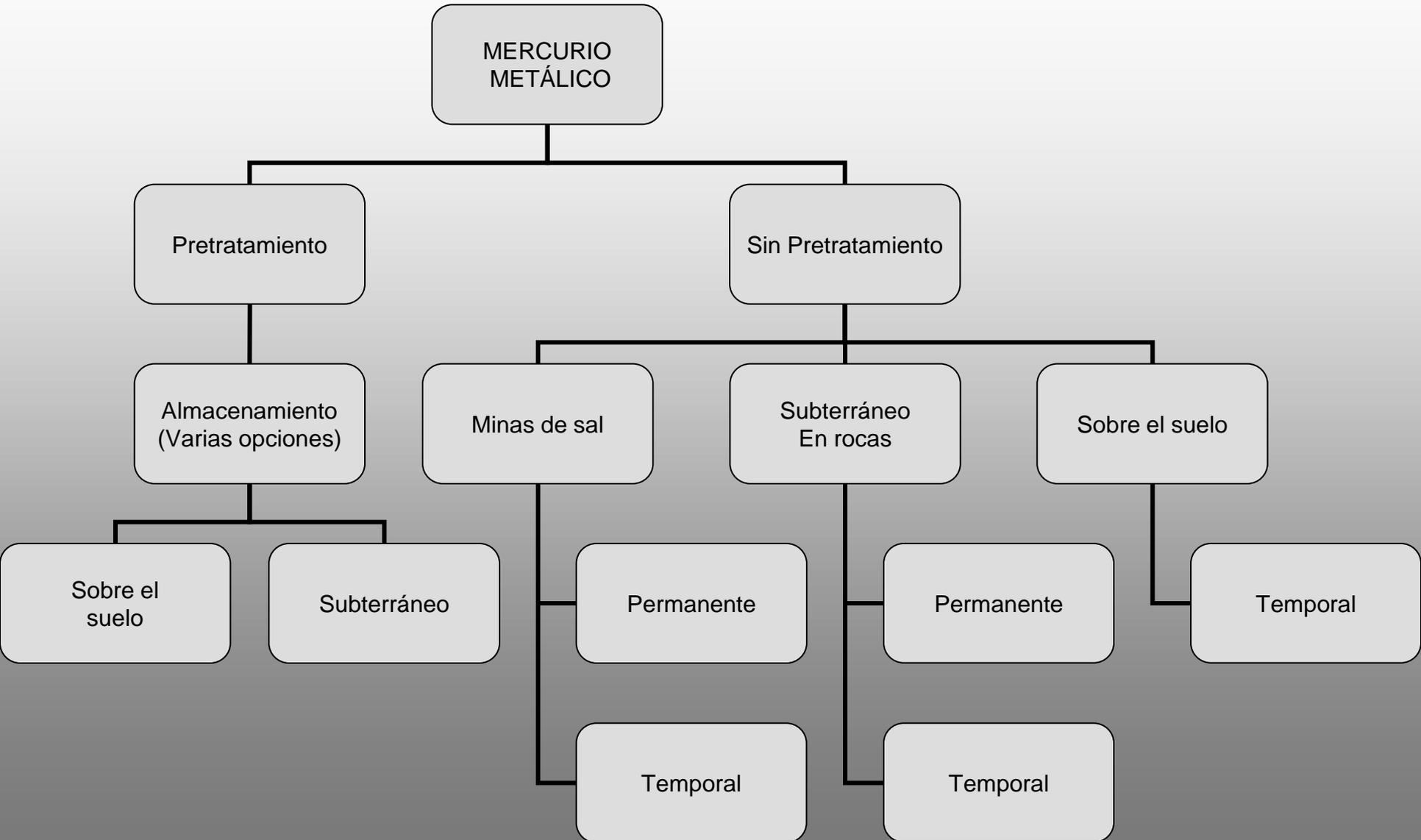
# ADSORCIÓN

- Resinas de intercambio iónico:
  - muy eficientes
  - costosas y de baja regeneración.
  - Terminan formando parte del residuo.
- Resinas quelantes.
  - Poseen grupos OH.
  - Son eficaces y más regenerables.
- Carbón activado.
  - De cáscara de coco o aserrín.
  - Puede ser en polvo o granular.
  - Retiene mercurio y otros metales.

# **TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO APROPIADAS PARA EL MERCURIO LÍQUIDO**

Fuente: BIPRO

# CUADRO DE OPCIONES



# OPCIONES

- Se evalúan de acuerdo a tres criterios:
  - Técnicos
  - Ambientales
  - Económicos

# PRETRATAMIENTO

- Objetivos:
  - Mejorar la manipulación
  - Reducir riesgos mediante la reducción de la volatilidad y/o toxicidad.
  - Reducir posibles riesgos mejorando las propiedades de lixiviación.
- Por medio de la inmovilización.
- Tecnologías:
  - Estabilización
  - Solidificación

# ESTABILIZACIÓN

- Técnica que reduce químicamente el riesgo potencial de un residuo mediante la conversión de los contaminantes en formas menos solubles, móviles o tóxicas.
- En la estabilización existe reacción química.

# SOLIDIFICACIÓN

- Técnicas que encapsulan el residuo, formando un material sólido y que no necesariamente involucran interacciones químicas.
- Puede ser un bloque monolítico, un material arcilloso, particulado u otra forma considerada sólida.
- Puede ser:
  - Microencapsulación
  - Macroencapsulación

# ESTABILIZACIÓN POR SULFURO

- Consiste en transformar el mercurio líquido en sulfuro de mercurio (HgS), la forma más insoluble y más común en la naturaleza.
- Existen dos formas: alfa HgS y beta HgS. El primero es más insoluble.
- Se mezcla el Hg con S a temperatura ambiente y se lo somete a agitación intensa (aporta energía de activación).
- Evitar la oxidación: atmósfera inerte + agregado de antioxidantes (Na<sub>2</sub>S).

# Stabilisation of metallic mercury - from mercury cells to final disposal

## 1. Mercury cells



Photo: BASF

Hg  
purity  
99.9 %

Hg purity < 99.9 %

Distillation of Hg

## 2. Packaging metallic Hg



Photo: DELA GmbH

UN approved & certified  
flasks/containers

## 3. TFS/Notification

EWC  
06 04 04\*



UN 2809



## 4. Transport metallic Hg

GHS / (EC)1272/2008

67/584/EEC



GHS06 GHS08 GHS09

T+ N

## 5. Reception DELA



Photo: DELA GmbH

## 6. Hg stabilisation

## 7. Packaging HgS Steel drums, Big-Bags



Photo: DELA GmbH

Hg + S → HgS



Photo: DELA GmbH



Photo: DELA GmbH

## 9. Final disposal (Salt mine)



Photo: K+S Entsorgung GmbH

## 8. Transport HgS

EWC  
19 03 05



# ESTABILIZACIÓN POR SULFURO

- Para residuos con mercurio oxidado (cloruros, óxidos, etc.) la estabilización se realiza con sulfuros en solución a pH inferior a 8.
- Se debe evitar la presencia de altos niveles de sodio para impedir futuras disoluciones de la sal formada.

# ESTABILIZACIÓN POR SULFURO / POLÍMERO (SPSS)

- Es una modificación del proceso de sulfuro.
- Dos etapas:
  1. Reacción entre mercurio elemental y cemento sulfuro-polímero (SPC, una mezcla de 95 % S y 5% poli ciclopentadieno). ESTABILIZACIÓN
  2. Calentamiento a 135°C. SOLIDIFICACIÓN.
- Ventajas:
  - Producto monolítico. Baja superficie específica.
  - Menos volatilidad y lixiviación.

# AMALGAMACIÓN

- Formación de aleaciones (amalgamas).
- A medida que aumenta la concentración de metal se vuelve más sólida.
- Metales: cobre, selenio, níquel, zinc y estaño.
- Se agrega el metal finamente dividido para acelerar el proceso.

# ESTABILIZACIÓN CON FOSFATO CERÁMICO / VIDRIO

- Primeramente se obtiene cerámica con fosfato químicamente enlazado (CBPC) mediante reacción entre  $\text{MgO}$  y  $\text{KH}_2\text{PO}_4$
- El fosfato de magnesio y potasio se hace reaccionar con mercurio a  $80^\circ\text{C}$  para obtener fosfato de mercurio.
- Luego se agrega sulfuro de sodio y se estabiliza.
- Ventaja: alta estabilidad física.

# SOLIDIFICACIÓN / ENCAPSULACIÓN

- Se encapsula el mercurio en diferentes matrices
- Requieren estabilización previa:
  - Polietileno de baja densidad
  - Asfaltos
  - Resinas poliéster o epoxi
  - Elastómeros sintéticos
  - Polisiloxano (espuma de silicona)
- No requieren estabilización previa:
  - Polímeros orgánicos – cerámicos
  - Dolomita calcinada
  - Carbonato de calcio / óxido de magnesio

# ENCAPSULACIÓN CON CEMENTO

- Primer etapa: amalgamación con cobre.
- Se agrega cemento Portland acompañado de cargas adicionales: ceniza, silica, etc.

# CONCLUSIONES BIPRO

- Opciones posibles:
  - Almacenamiento permanente de mercurio metálico en minas de sal.
  - Pretratamiento de mercurio metálico y almacenamiento permanente en minas de sal.
  - Pretratamiento de mercurio metálico y almacenamiento permanente en formaciones rocosas subterráneas.
  - Pretratamiento de mercurio metálico y almacenamiento permanente en instalaciones sobre superficie.

# CONCLUSIONES BIPRO

- Opciones que presentan incertidumbres para ser implementadas en el corto plazo:
  - Almacenamiento temporario de mercurio en minas de sal.
  - Almacenamiento temporario de mercurio en instalaciones sobre la superficie.

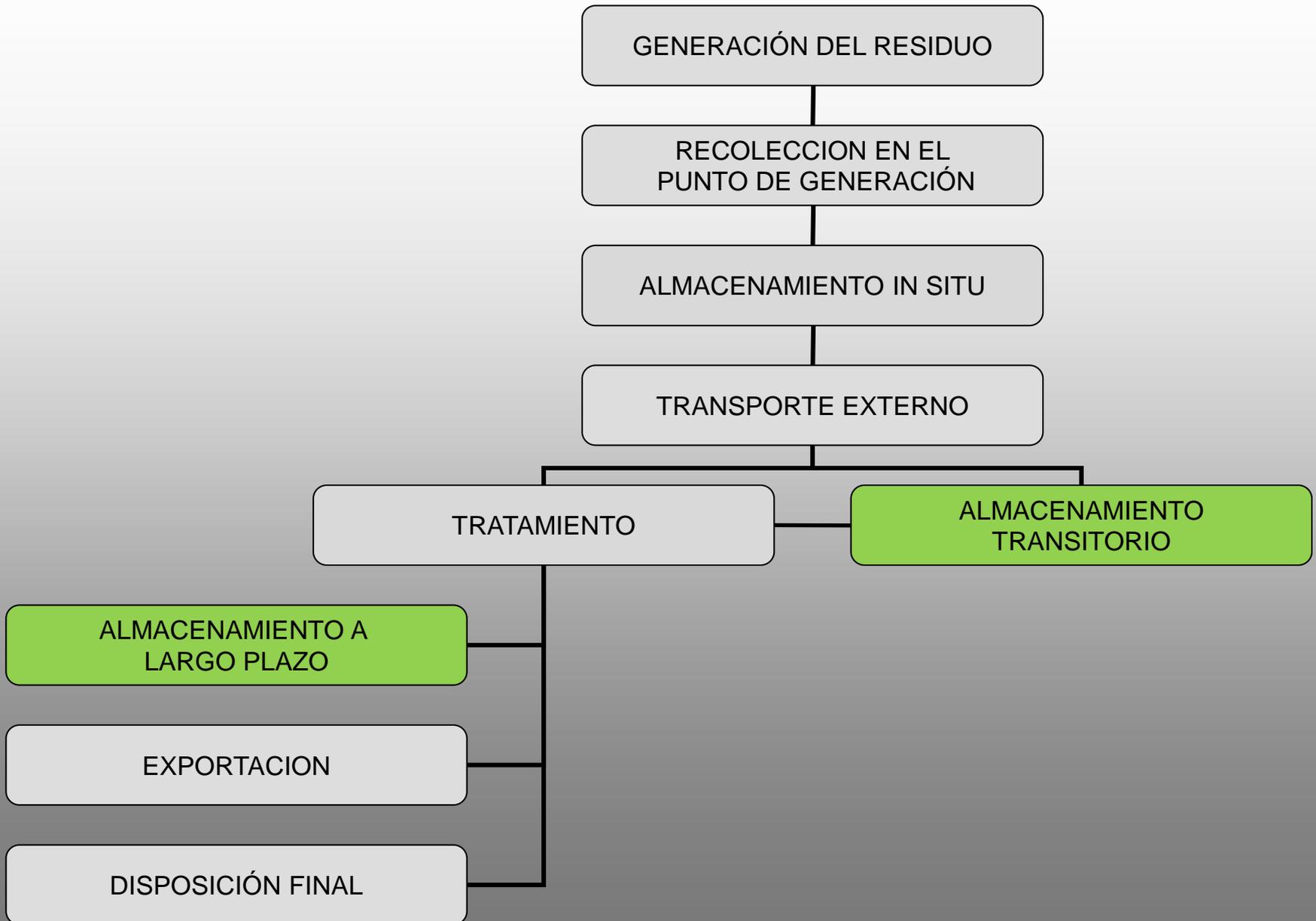
# CONCLUSIONES BIPRO

- Requerimientos de aceptación:
  - Criterios de aceptación mínimo: pureza > 99.9 %, contenedores de acero al carbono.
  - Para mercurio estabilizado: tasa de lixiviación menor a 2 mg / kg base seca.
  - Para minas de sal: profundidad no menor a 300 m

# CONCLUSIONES BIPRO

- Recomendaciones en base a criterios económicos y ambientales:
  - Pre tratamiento por estabilización por sulfuro y almacenamiento en minas de sal.
  - Pretratamiento por estabilización por sulfuro y almacenamiento en formaciones rocosas.
  - Almacenamiento permanente en minas de sal.

# SECUENCIA DE PROCESOS / OPERACIONES



# **ALMACENAMIENTO TRANSITORIO Y DE LARGO PLAZO**

# CRITERIOS PARA LA UBICACIÓN

- Estar alejados de zonas densamente pobladas.
- No deberán almacenarse dentro o en la proximidad de lugares especialmente vulnerables, como:
  - hospitales u otras instituciones de salud pública,
  - escuelas,
  - viviendas,
  - instalaciones de elaboración de alimentos,
  - instalaciones de elaboración o almacenamiento de forrajes,
  - operaciones agrícolas

# CRITERIOS PARA LA UBICACIÓN

- Distancia mínima recomendada:  
**150 metros**
- Criterio: Cumplir con el límite de exposición ( $<20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) considerando un derrame de 81 kg de Hg en una bandeja sometida a una extracción de 15 m/s.
- Fuente: Guidance on the cleanup, temporary or intermediate storage and transport of mercury waste from healthcare facilities. UNDP GEF 2010.

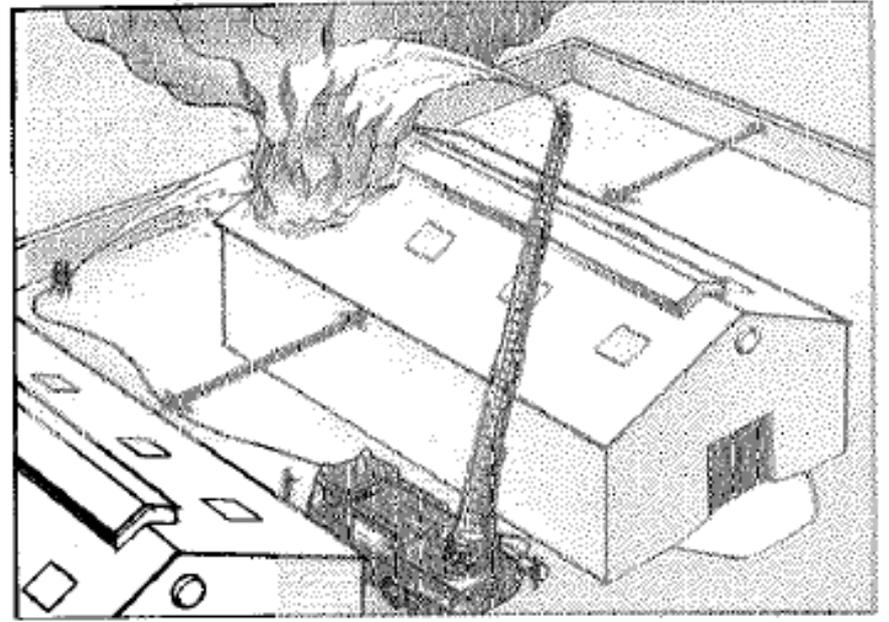
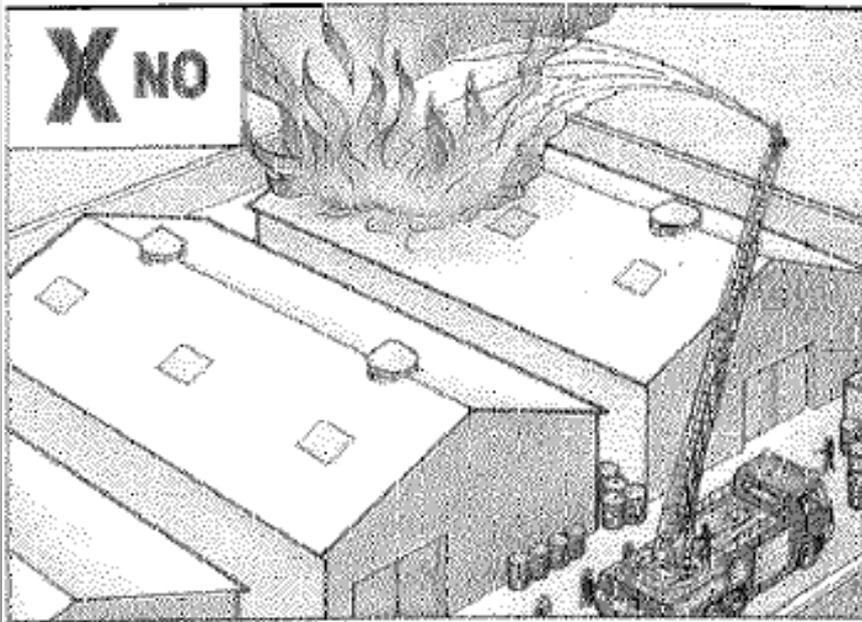
# CRITERIOS PARA LA UBICACIÓN

- Estar ubicados en zonas no susceptibles a terremotos, huracanes o inundaciones.
- Al momento de la evaluación se debe considerar mas de un área.
- Preferentemente en lugares de clima seco.
- Distancia apropiada de cualquier reservorio de agua.
- Distancia apropiada de Parques Nacionales, áreas de conservación y sistemas ambientales frágiles.
- Buena estabilidad de los suelos, capaces de soportar edificios y vías de acceso seguros y robustos.
- Proximidad a carreteras o estructuras de transporte que permitan el fácil acceso de los productos a almacenar así como de los servicios de emergencia (ambulancias, bomberos, etc.).

# LAY OUT

- Las instalaciones deben permitir el transporte y movimiento seguro de los residuos.
- El edificio debe estar separado de otros y permitir el acceso de equipos de emergencia por los cuatro lados.

# LAY OUT



# LAY OUT

- Cuatro áreas conceptuales:
  - Área de recepción y embarque
  - Área de manipulación
  - Área de almacenamiento
  - Área administrativa

# LAY OUT

- **Área de recepción y embarque.**
  - Es el área que actúa como interfase entre el centro de gestión y el exterior.
  - Debe ser capaz de recibir las cargas de residuos y debe contar con sistemas para la operación de camiones (carga y descarga) e inspección de los materiales a almacenar.

# LAY OUT

- **Área de manipulación.**
  - Área cerrada, separada del resto, concebida para la realización de tareas con riesgo de contaminación.
  - Tareas:
    - reenvasado de contenedores con pérdidas,
    - fraccionamientos,
    - muestreos para análisis, etc.
  - Debe contar con un sistema propio de purificación de gases y con equipos de protección personal.

# LAY OUT

- **Área de almacenamiento.**
  - Área cerrada con amplia capacidad de almacenamiento y espacios adecuados para el ingreso y egreso de los residuos y su correspondiente estiba mediante equipamiento mecánico.
  - Cuenta con sistemas para la limpieza de derrames.
  - Debe facilitar la accesibilidad a todos los materiales depositados para ingreso y egreso e inspección.

# LAY OUT

- **Oficina de Administración.**
  - Edificio simple próximo al depósito, físicamente separado de los sectores que operan residuos peligrosos.
  - Su función es la de ser sede de la administración del sitio incluyendo el sistema de gestión, mantenimiento de registros, capacitación, etc.

# LAY OUT

- Zonas exclusivas para cada tipo de residuo (ej: resinas desmercurizantes, carbón activado, lodos de salmueras, etc.)
- El lay out estará determinado por los volúmenes de cada uno de los tipos de residuos a ser almacenados a futuro.

# SEGURIDAD

- El sitio deberá contar con sistemas de seguridad que prevengan:
  - Vandalismo.
  - Hurto.
  - Incendios provocados.

# SEGURIDAD

- PERÍMETRO:
  - Rodeado por una cerca de altura mínima de 2,40 metros.
  - Distancia mínima al edificio: 6 metros.
  - Con sistemas de detección de intrusos e iluminación nocturna.
  - El área perimetral debe estar libre de vegetación, residuos, equipos o cualquier objeto que impida la visualización.

# SEGURIDAD

- ACCESOS:
  - Se debe minimizar el número. Ideal: 2 (uno permanente y uno para emergencias).
  - Acceso restringido a un determinado número de personas.
  - Cartelería con indicación de prohibición de acceso.
  - Más información: DOE.

# DISEÑO DEL EDIFICIO

# MATERIALES

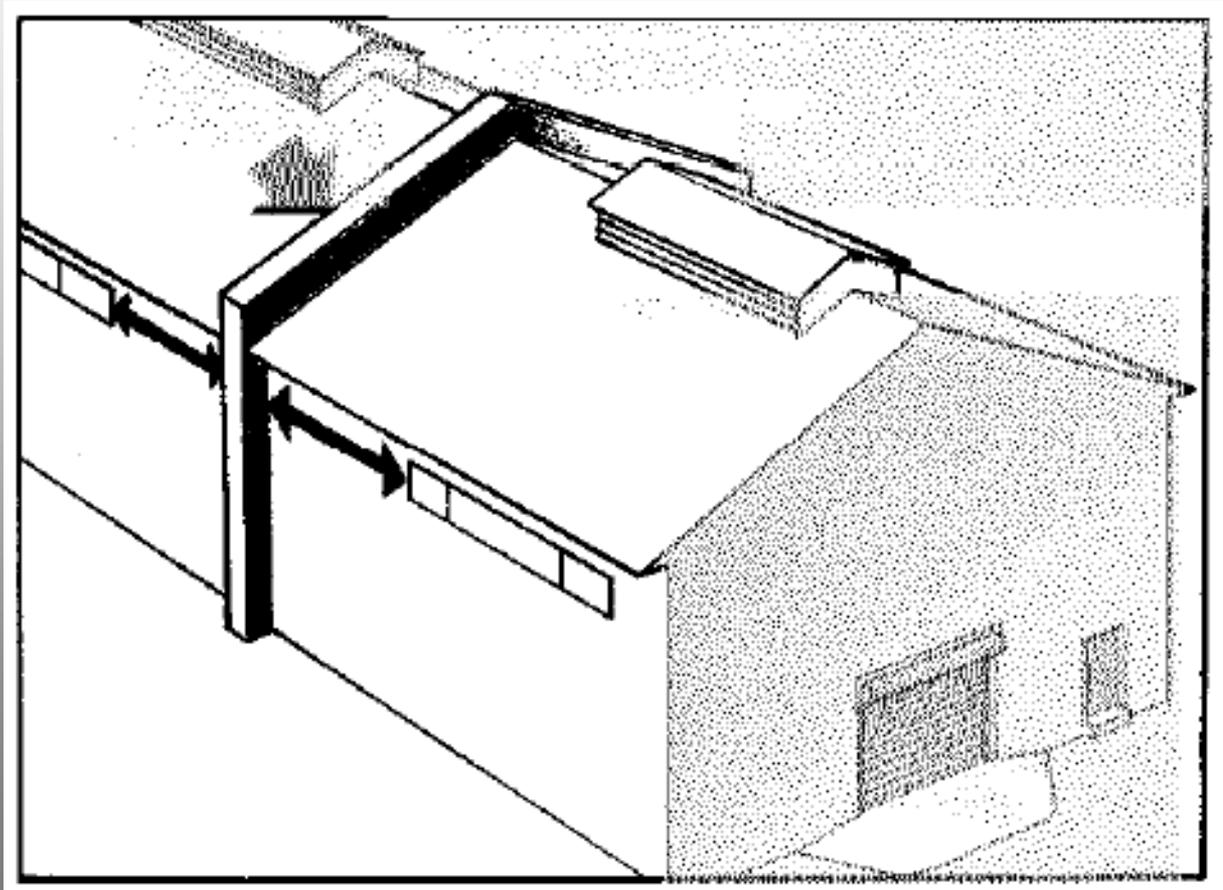
- Materiales no inflamables:
  - Concreto
  - Chapas de acero

# PAREDES

- Concreto o acero.
- En el caso de acero deben contar con aislación térmica
- Si hay residuos inflamables se almacenan en recintos separados.
- Las paredes interiores deben ser lisas y estar libres de rajaduras o poros que permitan la acumulación de polvo.

# PAREDES

Las paredes separadoras deben asomar un metro por encima del techo.



# PISOS

- Los pisos deben ser impermeables a los líquidos.
- Lisos, antideslizantes, libres de rajadura y poros.
- Revestidos con pintura epoxi resistentes a agentes químicos.
- En caso de almacenarse mercurio elemental se sugiere colocar por debajo del piso una segunda protección (ej: geomembrana de polietileno).
- Otra opción puede ser la colocación de una lámina plástica de un espesor superior a los 6 mm .
- En todo caso deben evitarse las juntas donde podría acumularse material contaminado.

# PISOS

- Deben tener una pendiente orientada hacia un sumidero capaz de recolectar derrames o agua de incendio.
- El sumidero debe estar conectado a la planta de efluentes.
- No se admite el vertido de aguas del sumidero a cursos sin el adecuado tratamiento.

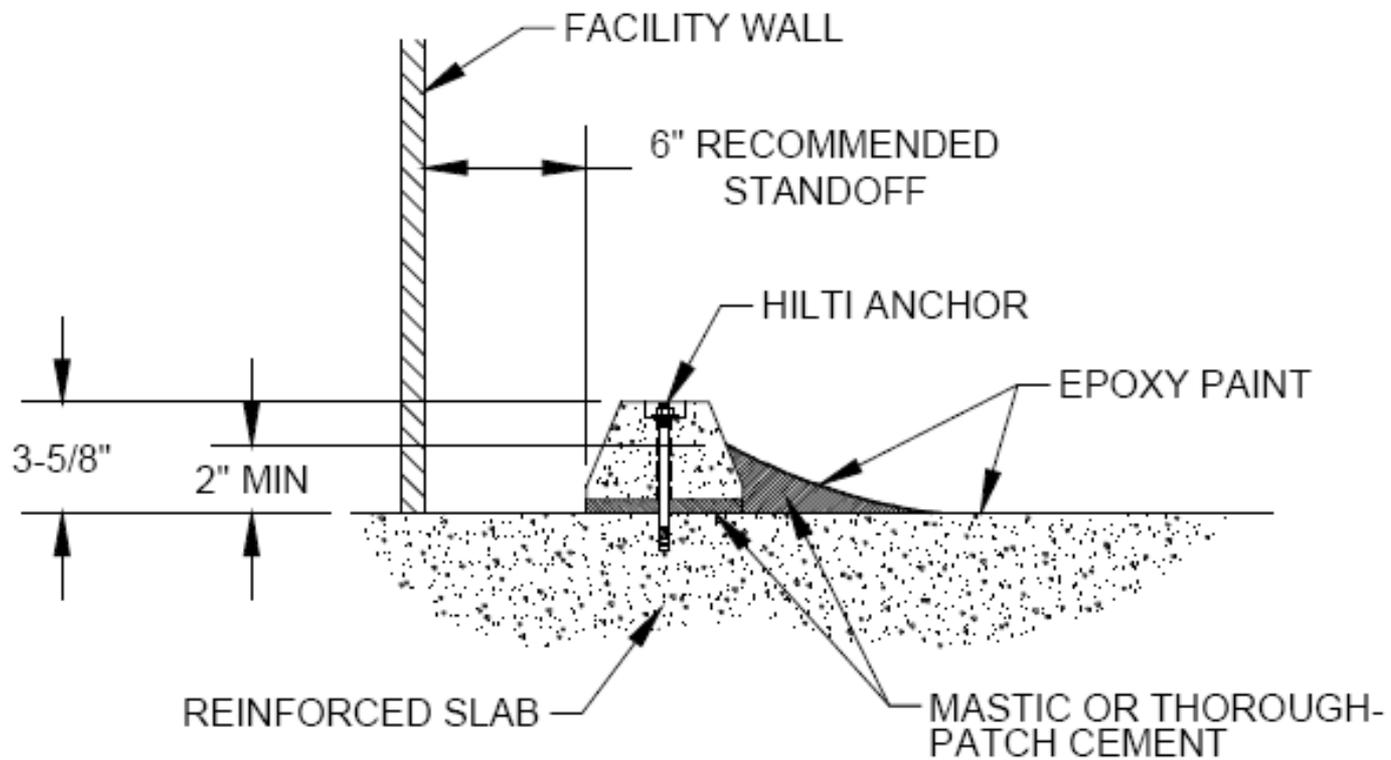
# SISTEMAS DE CONTENCIÓN

- Los edificios deben contar con un sistema de contención y drenaje de:
  - Líquidos derramados.
  - Aguas de lavado.
  - Agua de combate a incendios.

# SISTEMAS DE CONTENCIÓN

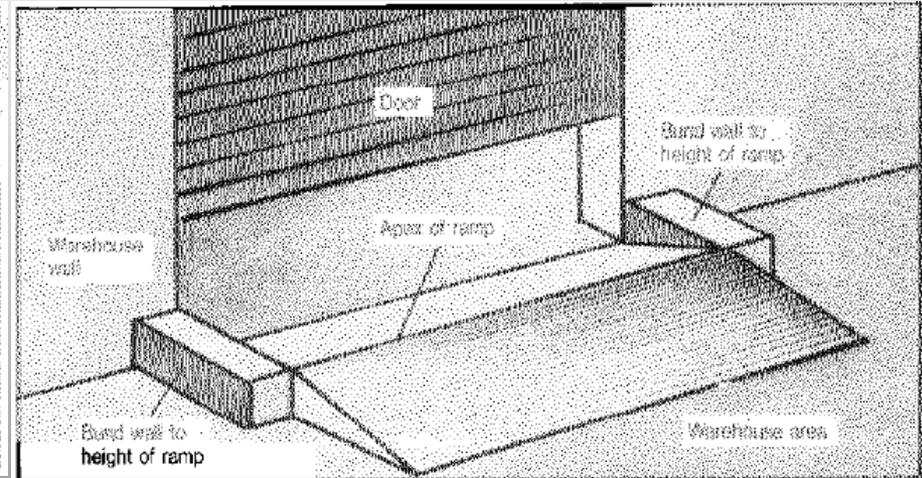
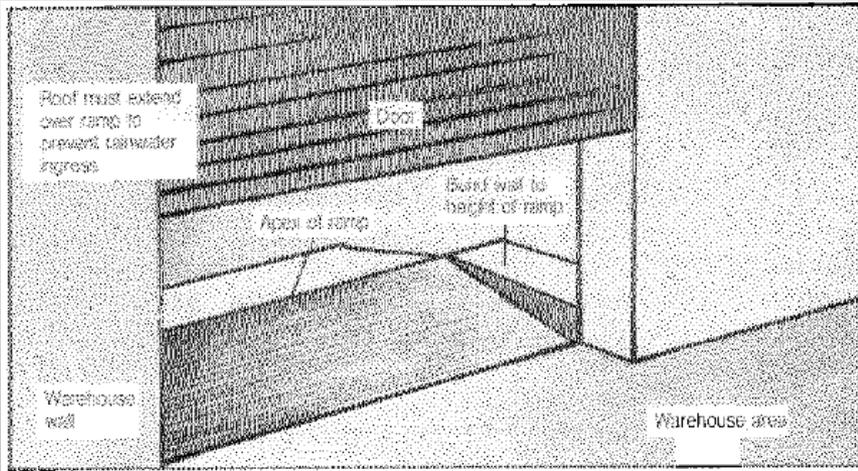
- DOS OPCIONES:
  1. Construcción del edificio por debajo del nivel del suelo con sumideros exteriores y drenaje.
  2. Construcción de un dique interior capaz de contener:
    - 125 % del volumen de líquido almacenado.
    - 5 m<sup>3</sup> agua de incendio/tonelada de residuo inflamable

# SISTEMAS DE CONTENCIÓN



# SISTEMAS DE CONTENCIÓN

## DISEÑO DE RAMPAS DE ACCESO



# TECHOS

- Generalmente contruidos en chapas de acero.
- Evitar tirantes de madera y materiales porosos que puedan fijar vapores de mercurio.

# VENTILACIÓN

- **ÁREA DE MANIPULACIÓN:**
  - Ventilación de alto tiro inducido.
  - Filtración en GAC con azufre.
  - Si maneja mercurio elemental, equipo de aire acondicionado a 21°C.
- **ÁREA DE ALMACENAMIENTO:**
  - Ventiladores de bajo vacío y alto caudal.

# **GESTIÓN DEL SITIO DE ALMACENAMIENTO**

# ENVASES

- Los envases para residuos conteniendo mercurio deben ser de metal resistente a la corrosión o de plástico.
- Deben ser herméticos y asegurar la contención segura de los residuos evitando fugas y emisiones.

# RECIPIENTES PARA EL TRANSPORTE

- Especificaciones del DOE (USA).
- Dos tipos de envases:
  - 3 Litros (3-L)
  - 1 Tonelada métrica (1 MT)
- Materiales:
  - Acero al carbono. Según norma ASTM A36
  - Acero inoxidable. Según alguna de las siguientes normas: ASTM A240, ASTM A276, ASTM A511.

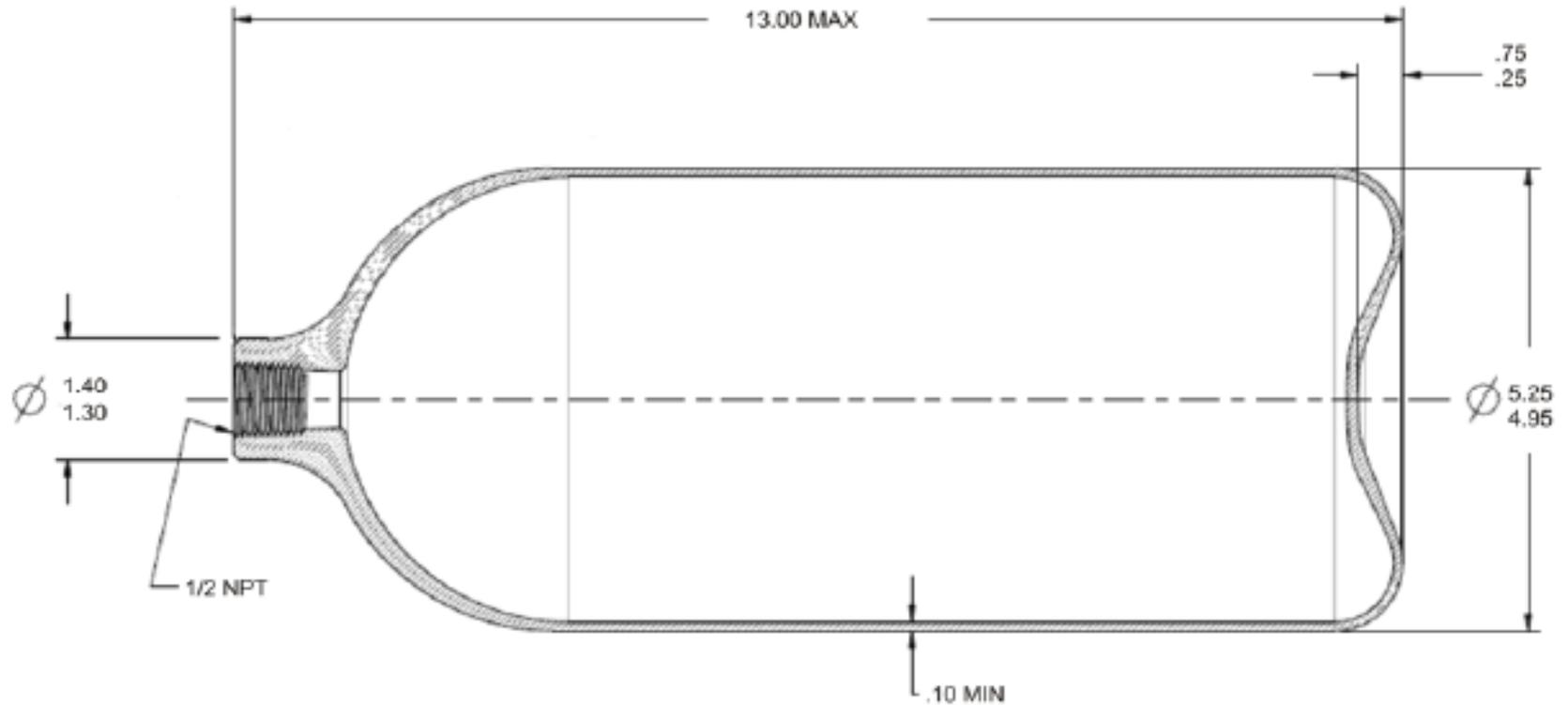
# ENVASES (USA DOE)

## **3 LITROS**

- Contienen entre 3.0 y 3.5 L. (76 libras)
- Transportados en pallets con 49 unidades.
- Los pallets deben ser ignífugos.

## **1 TONELADA**

# ENVASE 3-L



**Key:** MAX=maximum; MIN=minimum; NPT=National Pipe Thread.

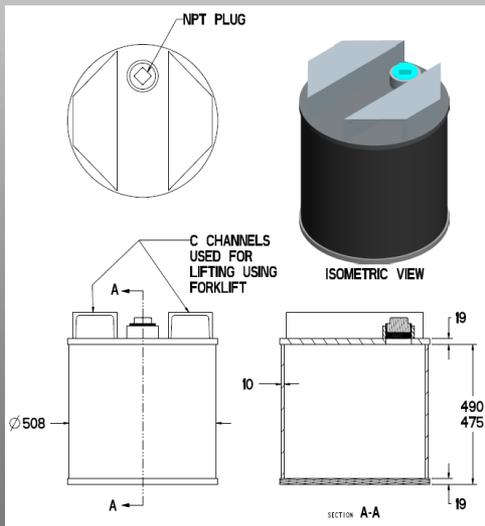
**Note:** To convert inches to centimeters, multiply by 2.54.

# ENVASES

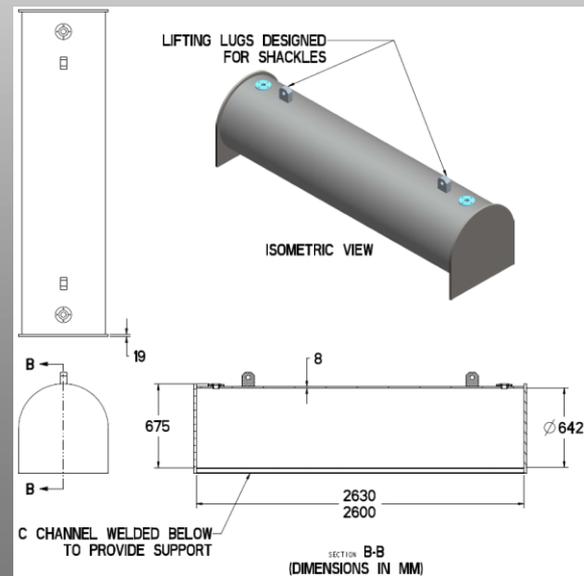


3 LITROS

- PROPUESTA DE OAK RIDGE LABORATORY



1 TONELADA



10 TONELADAS

# TRANSPORTE DE ENVASES DE 3-L



Source: DOE 2009a.

**Figure C-3. Example Box Pallet for Shipping 3-Liter Flasks in a 7-Flask by 7-Flask Configuration**

# CONTENEDOR 1 MT

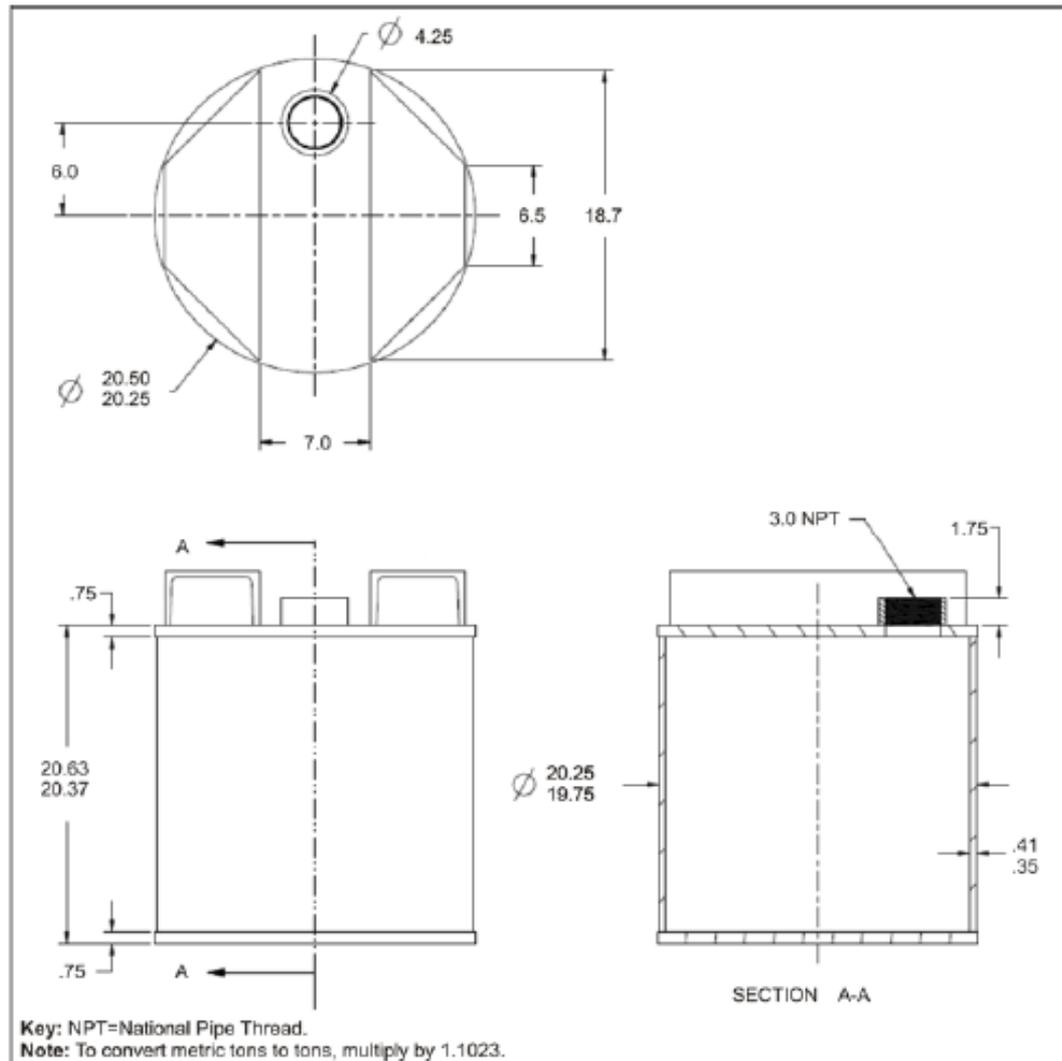


Figure C-2. Dimensions of a Typical 1-Metric-Ton Container (inches)

# ENVASES UE

- Los contenedores están hechos de acero y su interior recubierto de laca.
- Deben impedir la salida de gas y líquido
- El lado exterior debe ser resistente a las condiciones del almacenamiento.
- Deben ser certificados para el almacenamiento de mercurio.
- Las soldaduras y las uniones deben ser evitadas siempre que sea posible.

# ENVASES UE

- Almadén y Arrayanes (MAYASA)



# RECEPCIÓN

- Al llegar los contenedores a la zona de recepción se realiza una inspección visual del estado de los mismos. Deben chequearse los siguientes aspectos:
  - Fugas de residuos no detectadas en origen.
  - Daño estructural a la integridad del contenedor.
  - Contaminación exterior de los envases o pallets.
  - Corrosión extendida, principalmente en soldaduras y tapas.
  - Identificación del lote de residuos.

# RECEPCIÓN

- En caso de fugas, corrosión o daño estructural: reenvasado en área de manipulación.
- Los residuos deben clasificarse previo al almacenamiento evitando mezclas.

# RECEPCION

- Se numera cada contenedor recibido y se etiqueta con la siguiente información:
  - Fecha de recepción.
  - Origen del residuo (ej: Lodos de salmuera, resina desmercurizante, etc.).
  - Cantidad en kg.
  - Contenido de mercurio.

# ALMACENAMIENTO

- Espacio libre desde las pilas de residuos hasta las paredes exteriores y entre las pilas mismas a efectos de permitir el acceso para la inspección, la libre circulación de aire y acceso en caso de emergencia (incendio, derrames, etc.).
- Los residuos deben ser almacenados de tal forma que los autoelevadores puedan acceder a cada uno de ellos directamente.
- Naves o esquinas estrechas favorecen roturas y por lo tanto deben ser evitadas.
- Las naves de almacenamiento así como los pasillos y rutas de circulación de autoelevadores deben estar claramente demarcadas en el piso y libres de obstrucciones y circulación de peatones.

# ALMACENAMIENTO

- La altura de las pilas de almacenamiento no debe superar los tres metros a menos que se utilicen racks portapallets en cuyo caso puede elevarse la altura previa evaluación técnica.
- Se debe contar con un plan de almacenamiento que asigne determinadas áreas del depósito para tipos específicos de residuos.
- Cada subárea estará identificada con un código y en ese sector solamente se admitirán residuos del tipo previamente asignado.

# ALMACENAMIENTO

- Se debe llevar un registro de ingresos y egresos así como de stock de residuos en el que se pueda identificar inequívocamente la cantidad y tipo de residuos almacenados así como la ubicación. Este registro debe estar fácilmente disponible para inspección por parte de las autoridades así como de los equipos de emergencia.

# **Estado del Arte en instalaciones sobre el terreno**

# ALMACENAMIENTO SOBRE EL SUELO

Ejemplos:

## Centro de Almacenamiento de la Defensa Nacional (Defense National Stockpile Center - DNSC) – EEUU

- El DOD almacenó de forma segura por más de 50 años, 4.436 toneladas métricas de mercurio elemental en calidad de mercancía.
- Somerville, New Jersey: 2.617 MT;
- Warren, Ohio: 1.262 MT;
- New Haven, Indiana: 557 MT;
- En 2002, 108.386 frascos fueron re- envasados y en 2005 se re-ensasaron 20.276 frascos.

Área de almacenamiento y empaque (FUENTE: DNSC- 2003)





Método del almacenamiento previo - frascos almacenados directamente sobre pallets (FUENTE: DNSC, 2007)

# Almacén del Ejército en Hawthorne

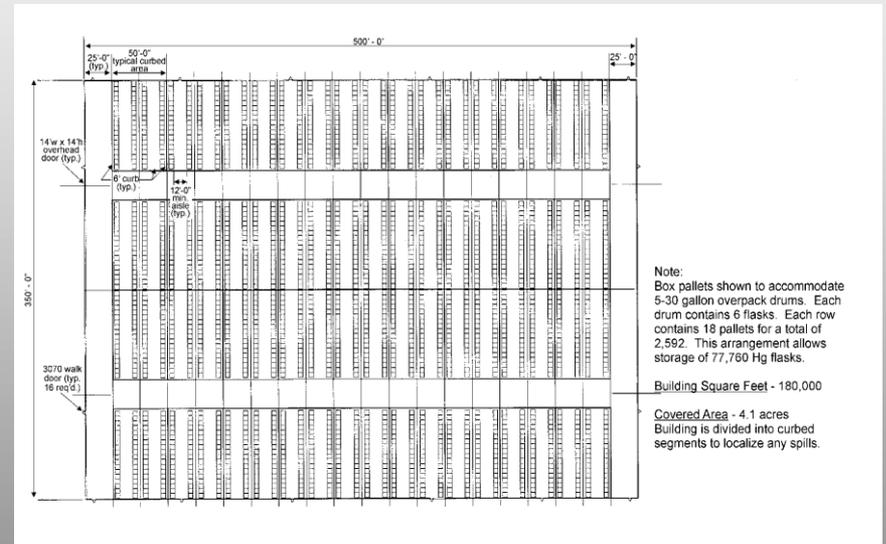
- Pisos del depósito sellados (sin drenaje) con sellador epoxi resistente al mercurio (protección de la intrusión).
- Detección de intrusiones.
- Iluminación adecuada para inspección.
- Ventilación estática.
- Todas las puertas ajustadas con diques de contención de tres pulgadas.
- Sistemas de detección continua de fuego, calor y humo.
- Sistemas de protección de incendio.
- Acceso estrictamente controlado (Sistemas de seguridad).

# Almacén del Ejército en Hawthorne

- Monitoreo regular (monitoreo de rutina e inspección del mercurio).
- Equipos y suministros de protección.
- Procedimientos de emergencia (control de prevención de derrames y procedimientos de respuesta).
- Detección de intrusión por contacto positivo en todas las puertas, ventanas y venteos monitoreados continuamente.
- Diques de contención en rampa.

# Almacén del Ejército en Hawthorne

- Espacio de almacenamiento: 200,000 ft<sup>2</sup> (18,581 m<sup>2</sup>)
- Pisos y paredes de concreto, una estructura de soporte de acero y sistemas de pisos agregados.
- Puertas grandes múltiples y levadizas
- 14 acres (5.7 ha) de tierras afectadas durante la construcción.
- Construcción del almacenamiento ocupará 4.6 acres (1.9 ha).
- US\$0.22-0,299 por libra/año



# USA Departamento de Energía – DOE

- La ‘Mercury Export Ban Act of 2008’ (MEBA) le indica al Departamento de Energía (DOE) proveer instalaciones de almacenamiento hacia el año 2013.
- Almacenar el exceso de mercurio: recicladores de mercurio comercial, minas de oro que generan mercurio como sub producto, plantas de cloro – álcali.
- El DOE ya almacena cerca de 1.200 toneladas de mercurio en poder del Estado en su complejo de Seguridad Nacional Y-12 (Oak Ridge, Tennessee). Esta instalación no puede ser utilizada.
- US EPA estima que 7.500 a 10.000 toneladas de mercurio elemental proveniente de fuentes privadas estarán disponibles para almacenamiento en los próximos 40 años.

## Características de las instalaciones de almacenamiento del DOE

- Diseño regulado / permitido por RCRA con contención de derrames adecuada.
- Control de seguridad y acceso.
- Sistemas de supresión de fuego.
- Áreas de almacenamiento ventiladas.
- Edificios totalmente herméticos, protegidos de la intemperie.
- Pisos de concreto reforzado adecuados para almacenamiento de mercurio.

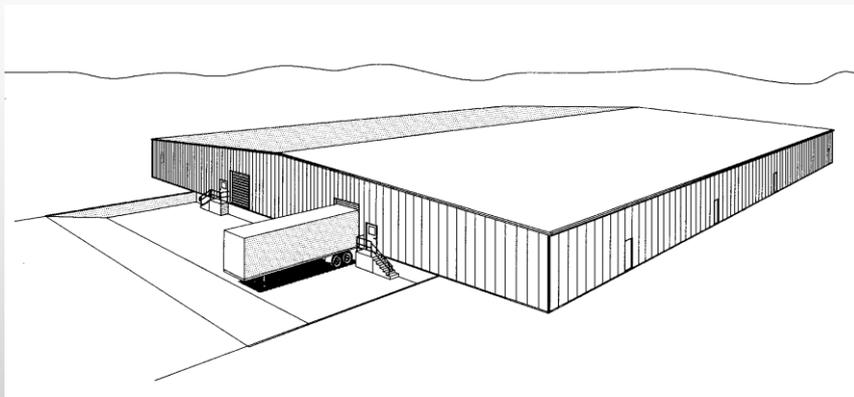
# Áreas de Almacenamiento

- Áreas para administración , recepción y embarque, almacenamiento y manipulación.
- Área de almacenamiento del 90% de la superficie de piso con un gran espacio abierto similar al de depósito donde el almacenamiento, inspección y monitoreo podría ser efectivamente desarrollado.
- Acepta dos tipos de contenedores: garrafas de 3 litros (34.6 kg) y contenedores de 1 tonelada.
- Los estantes con pendientes de 3°.

# Hasta Abril 2010

- Noviembre 2009 – DOE publicó “Interim Guidance on Packaging, Transport, Receipt, Management, and Long-Term Storage of Elemental Mercury”
- De acuerdo al criterio de selección, siete de los diez sitios potenciales parecen ser ubicaciones alternativas razonables.
- Borrador de EIS fue emitido en Enero de 2010.
- Después de comentarios públicos, se espera que para el otoño de 2010 se publique un EIS.

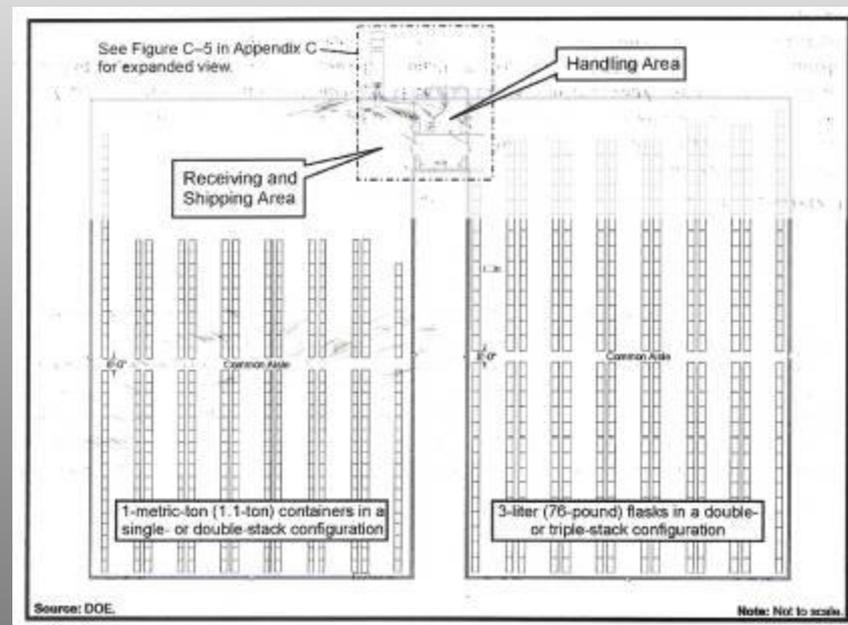
# ALMACENAMIENTO SOBRE EL SUELO EEUU



Exterior del edificio de almacenamiento (**SOURCE:** DOD, 2009)

- Compatibilidad con las actividades de gestión de residuos, con los planes de uso del suelo y los acuerdos regulatorios
- Localización remota
- Baja densidad poblacional en las inmediaciones
- Ningún cuerpo de agua superficial cerca
- Líneas de transporte por tren existente
- Impactos ambientales similares a los de los demás candidatos;

Comparación entre 10 áreas selección de 7



Concepto de un lay-out en el interior del área de almacenamiento (**FUENTE:** DOD, 2009)

# MINAS DE ALMADÉN - MAYASA ESPAÑA - EU

- EU financió el proyecto MERSADE - “Mercury Safety Deposit” desarrollado por Minas de Almadén y Arrayanes, S.A. (Mayasa).
- Participantes: CENIM (Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas) y la Universidad de Castilla la Mancha.
- MAYASA - España es la mayor compañía que trata mercurio líquido aparte de otras fuentes (recibe mercurio de plantas de cloro – álcali de plantas decomisionadas).
- La compañía utiliza un edificio auxiliar sobre el terreno como un depósito para almacenar el mercurio. La instalación está ubicada sobre una antigua mina de mercurio.
- Proyecto de almacenamiento a largo plazo (próximos 50 años): 8.000 tons.

# Operación MAYASA

- El mercurio metálico es almacenado en garrafas (34.5 kg netos), contenedores (1 ton.) o tanques a granel.
- Las garrafas y contenedores también son usados para el transporte de mercurio líquido.
- La pureza del mercurio almacenado es 99.99 %.
- El mercurio que no cumple con este criterio debe ser sometido a una limpieza previa al almacenamiento.

# Piso MAYASA

- Los tanques son colocados en una pileta construida de concreto.
- Todas las áreas donde el mercurio es manipulado, almacenado o empacado están tratadas especialmente con pintura epoxi resistentes al agua, aplicada en paredes y pisos.
- Los pisos tienen una pequeña pendiente dirigida a una pileta central de recolección.

# Control del Vapor

- Están instalados sistemas de desplazamiento de gas y filtros de carbón activada.
- Las emisiones de mercurio de procesos operativos (ej: llenado de tanques) son monitoreadas.
- Las emisiones de mercurio desde el sitio de almacenamiento se estiman (por modelado) en aproximadamente 15 kg/año.
- Proyecto para crear el centro tecnológico nacional para la descontaminación del mercurio.

# INSTALACIONES SOBRE TERRENO COMO UNA OPCIÓN PARA LAC

- Es la opción más consolidada: 40 años.
- No utiliza recursos naturales directamente: socialmente mas aceptable.
- No necesidad de pretratamiento.
- Técnicamente más fácil para controlar pero más cara.
- Se requiere estabilidad política y/o institucional.
- Control de seguridad y riesgos.
- Utilizados para almacenamiento a corto o largo plazo.

# **EXPORTACIÓN A UN SITIO DE ALMACENAMIENTO**

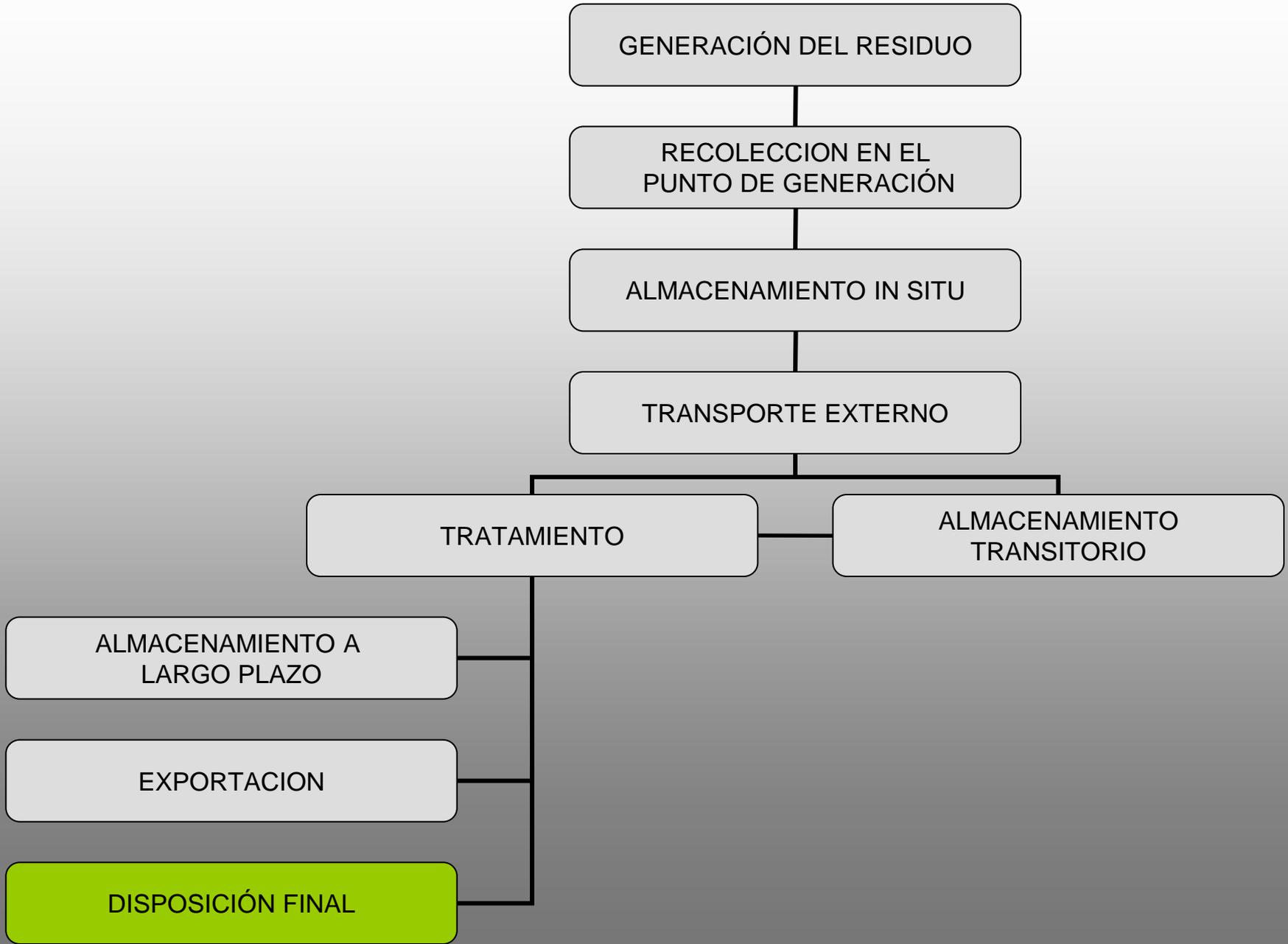
# EXPORTACIÓN

- Es una opción para países con poco excedente o con riesgos geográficos o climáticos. Eventualmente es una opción para todos los países.
- Requiere de acuerdos o negociaciones con los sitios de almacenamiento (Mayasa, minas de sal en Alemania, DOE solo EEUU).
- Mercurio exportado hasta ahora fue a recuperación para reventa, no para almacenamiento. Costos de la exportación no tuvieron que cubrir costos de tratamiento y almacenamiento.
- Amenaza: Europa evaluará prohibir importaciones de mercurio metálico

# EXPORTACIÓN PARA UN SITIO DE ALMACENAMIENTO

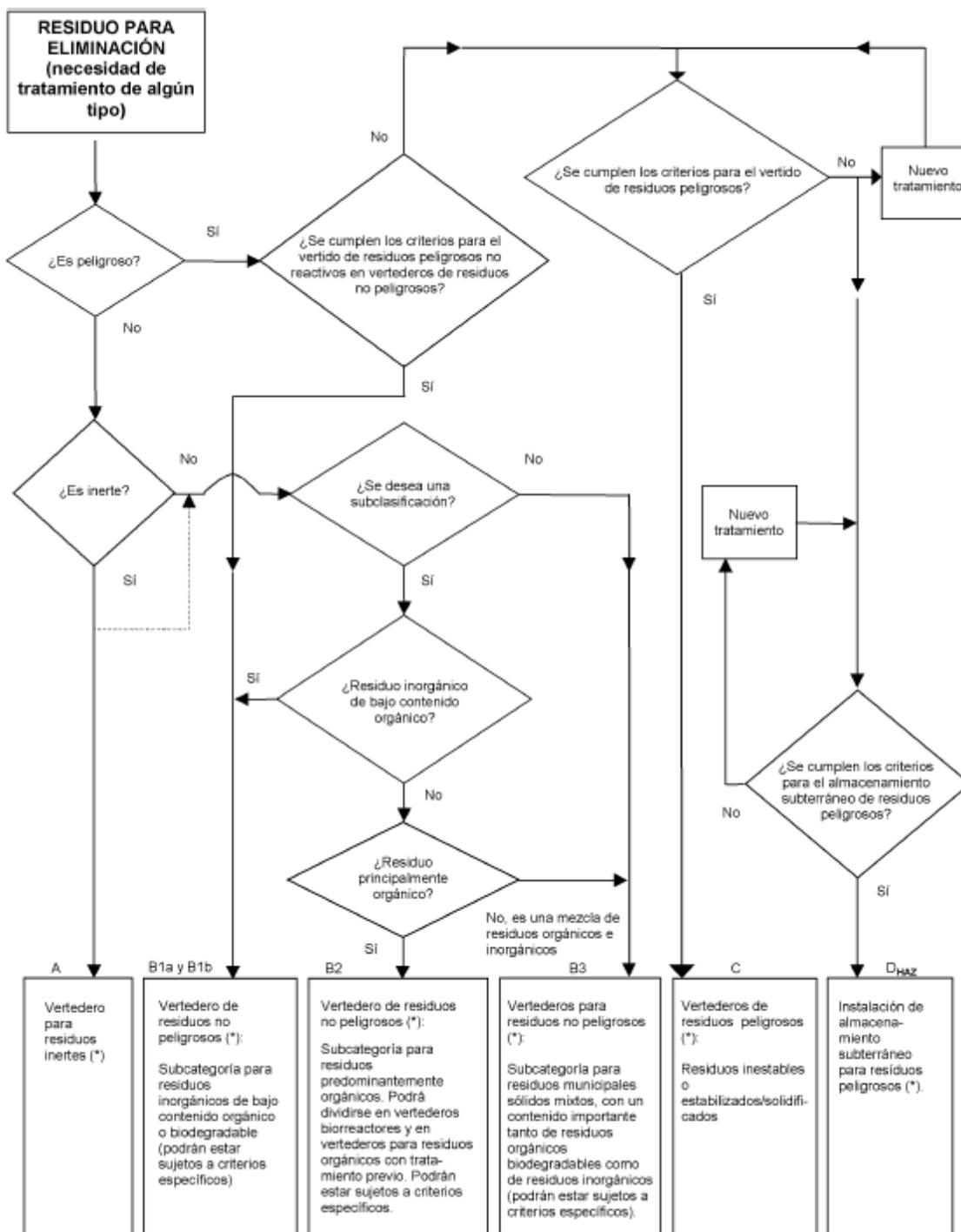
- La mejor solución para países donde los riesgos de fenómenos naturales son factores importantes a tener en cuenta .
- Puede combinarse con instalaciones sobre superficie para almacenamiento interino localizado cerca de puertos o aeropuertos.
- Requiere de acuerdos bilaterales de cooperación con países que disponen de instalaciones seguras para el almacenamiento de mercurio, para la aprobación de las exportaciones y la reducción de los costos relacionados a su disposición final

# SECUENCIA DE PROCESOS / OPERACIONES



# DISPOSICIÓN FINAL EN LA UE

- Regulada por la Decisión 2003/33/EC.
- Clasifica a los vertederos en tres categorías:
  - Para residuos inertes.
  - Para residuos no peligrosos (con tres subcategorías)
  - Para residuos peligrosos.



# DISPOSICIÓN FINAL EN LA UE

## ESPECIFICACIONES DE Hg EN LIXIVIACIÓN

- Residuos inertes:  $< 0,002$  mg/L
- Residuos no peligrosos:  $< 0,03$  mg/L
- Residuos peligrosos admisibles en no peligrosos:  $< 0,03$  mg/L
- Residuos peligrosos:  $< 0,3$  mg/L

# DISPOSICIÓN FINAL EN USA

- Controlada por:
  - Resource Conservation and Recovery Act (RCRA), aprobada en 1976.
  - Land Disposal Restrictions (LDR) de la USEPA de 1984.
- La LDR clasifica a los residuos en tres categorías:
  - Alto mercurio
  - Bajo mercurio
  - Mercurio elemental

# DISPOSICIÓN FINAL EN USA

## Residuos de bajo mercurio

- Residuos peligrosos que contienen menos de 260 mg/kg de mercurio total.
- Se requiere que estos residuos sean tratados hasta alcanzar un cierto nivel cuantitativo:
  - 0.20 mg/L medido según el Procedimiento de Toxicidad Característica de Lixiviado (TCLP) para residuos con mercurio de retorta
  - 0.025 mg/L para todos los otros residuos de bajo mercurio.
  - Estas concentraciones son generalmente alcanzadas por tratamientos de estabilización / solidificación.

# DISPOSICIÓN FINAL EN USA

## Residuos de alto mercurio:

- Son aquellos característicamente peligrosos y que contienen más de 260 mg/kg de mercurio total.
- Generalmente se les exige ser sometidos a cocción o retorta.
- A los residuos del proceso se los somete a la misma evaluación de los anteriores.

# DISPOSICIÓN FINAL EN USA

## Mercurio elemental

- Deben ser tostados o retortados, si es que contienen igual o más de 260 mg/kg de mercurio total.
- Las corrientes de residuos que contienen mercurio y que estén contaminadas con materiales radioactivos están obligadas a ser tratadas por amalgamación,

- **Vertederos especialmente diseñados (SEL).**

Sitios para la disposición segura de residuos sólidos que aseguran el aislamiento entre ellos y con el ambiente.

**BASEL CONVENTION  
TECHNICAL GUIDELINES  
ON SPECIALLY ENGINEERED  
LANDFILL**



**Basel Convention on the Control of  
Transboundary Movements on  
Hazardous Wastes and Their Disposal**

**No. 3**



# Vertederos especialmente diseñados

- Criterios a seguir:
  - Ubicación
  - Diseño
  - Construcción
  - Operaciones
  - Monitoreo
- Controles y procedimientos sobre:
  - Selección del sitio
  - Diseño y construcción
  - Operación y monitoreo
  - Clausura y postclausura

# DISPOSICIÓN FINAL

