

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº 1	AÑO 1976

07.76.12

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION

GERENCIA DE PROTECCION RADIOLOGICA Y SEGURIDAD
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA DE PROTECCION

TRATAMIENTO Y ELIMINACION DE RESIDUOS RADIOACTIVOS

ING. RICARDO E. PAUER

LIC. CARLOS A. REY

R E S U M E N

El presente trabajo fue redactado oportunamente para ser incluido en una serie de artículos que bajo el título general de "Aspectos Químicos en la Producción de Energía Nuclear" publicaría la revista "Química e Industria" que dirige el Dr. Mayar Barnett.

Bajo el título de "Tratamiento y Eliminación de Residuos Radiactivos" se comienza reseñando principios generales de protección radiológica aplicables a la gestión de los residuos radiactivos y criterios generales de gestión.

Se expone el origen de los mencionados residuos en las instalaciones nucleares y se explican diferentes formas de clasificarlos. A continuación se tratan las distintas formas de tratamiento y eliminación que se utilizan en el país, tanto en centrales nucleares como en otros sectores de la CNEA.

C O N T E N I D O

I	INTRODUCCION
II	CRITERIOS GENERALES DE GESTION
III	ORIGEN Y CLASIFICACION DE LOS RESIDUOS RADIOACTIVOS
IV	SISTEMAS DE TRATAMIENTO
V	CONCLUSION

I - INTRODUCCION

La transformación de materias primas a través de un proceso de tipo industrial para obtener energía u otros productos de interés, da lugar a la aparición de ciertos subproductos que no resultan técnica ni económicamente aprovechables, constituyendo de esta forma un residuo que debe ser de alguna manera eliminado.

Según sus características fisicoquímicas pueden provocar una serie de modificaciones que son capaces de afectar en mayor o menor grado al hombre y en general al medio ambiente donde son evacuados.

Algunos pueden ser descargados directamente en cursos de agua, atmósfera, etc., sin que impliquen riesgos; otros en cambio necesitan un proceso previo a su eliminación a fin de que esta no resulte riesgosa para la población.

Los desechos de la industria nuclear traen aparejados a los inconvenientes derivados de sus características químicas, el hecho de ser radiactivos, lo cual incorpora un nuevo e importante factor de riesgo.

Si comparamos los residuos de la industria nuclear con los industriales ordinarios veremos que en muchos aspectos son semejantes. Debido a estas semejanzas, los métodos de tratamiento de residuos radiactivos se han derivado, en su mayoría, de los métodos aplicables a residuos convencionales utilizando a veces plantas e instalaciones parecidas. Esto es posible porque los nucleídos radiactivos se comportan químicamente igual que sus isótopos estables.

No obstante, existen ciertos aspectos en los cuales ambos tipos de residuos difieren:

1. No se conocen métodos que permitan eliminar la radiactividad evitando de esta forma el peligro potencial de la misma, mientras que ciertos contaminantes químicos como los cianuros, sulfuros, etc., pueden ser transformados en productos inócuos a través de reacciones químicas.

Por otra parte, teniendo en cuenta que la mayoría de los isótopos radiactivos tienen una vida media finita no muy larga, su radiactividad decaerá con el tiempo y con ella su peligrosidad, lo que no puede decirse, por ejemplo del plomo, mercurio, arsénico, etc.

2. La radiación ionizante emitida por los radionucleídos obliga a adoptar medidas especiales para proteger al personal que trabaja con ellos y al público en general.
3. Como los instrumentos que miden las radiaciones son mucho más sensibles que los que miden otras propiedades físicas o químicas, esta propiedad de emitir radiaciones hace que sea más fácil detectar y controlar materiales radiactivos en el ambiente que cualquier otra sustancia tóxica.

Debido a estas circunstancias generalmente son necesarias técnicas y/o procesos especiales además de un perfecto control, para lograr su eliminación dentro de adecuados márgenes de seguridad.

La solución integral del problema requiere la realización de una serie de pasos que se extienden desde la colección de los residuos en sus lugares de origen hasta su eliminación definitiva, pasando por distintas etapas como tratamiento, almacenamiento, contabilización, etc. Todo esto constituye lo que se denomina "gestión de residuos radiactivos".

En todas las fases de esta "gestión" son tenidos en cuenta

tres aspectos fundamentales: economía, seguridad y practicabilidad de la operación. Si bien el aspecto seguridad es indudablemente el más importante, un enfoque parcial puede provocar el encarecimiento excesivo de un sistema sin lograr como resultado incrementos significativos en la seguridad.

II - CRITERIOS GENERALES DE GESTION

La primera alternativa de importancia en cualquier programa de gestión de residuos radiactivos es decidir entre eliminar al ambiente o contener.

Cuando se introducen materiales radiactivos en el ambiente existen numerosas vías a través de las cuales cada radionucleído puede llegar a irradiar al hombre. Las figuras 1 y 2 muestran algunas de estas vías para el caso de descargas de materiales radiactivos a la atmósfera o a cursos de agua. Algunos de estos nucleídos y algunas vías son más importantes que otras y por lo tanto son "críticas" en la evaluación del riesgo. Además existirá un "grupo crítico" de miembros individuales del público para el cual la exposición o incorporación de radionucleídos es máxima.

De esta manera, teniendo en cuenta las características de dilución al ambiente considerado, el valor de los parámetros de transferencia (que pueden implicar una reconcentración), los límites de dosis o de incorporación de radionucleídos^(*), etc., es posible estimar la capacidad receptora de dicho ambiente y mediante adecuados factores de seguridad fijar los límites operativos de descarga, es decir los máximos de actividad que pueden descargarse por unidad de tiempo.

(*) Límite de dosis (o límite de incorporación) es la dosis (o la cantidad de radionucleídos) máxima anual que se permite que reciban (o incorporen al organismo) miembros del público. Estos valores son fijados por la autoridad competente de cada país.

Cuando la cantidad de residuos a eliminar excede la capacidad del ambiente local, se debe contener por lo menos una parte del material radiactivo. En este caso, el problema tecnológico más importante es hacer que la vida del sistema de contención sobrepase al tiempo necesario para reducir por decaimiento la radiactividad a niveles aceptables para su eliminación.

En estos casos el volumen de los residuos adquiere gran importancia práctica y mediante métodos de tratamiento adecuados es posible reducirlo (o sea concentrar la actividad a contener) de manera conveniente.

Se considera a la contención como una eliminación a muy largo plazo donde el decaimiento de la actividad es el principal parámetro que garantiza la operación.

A veces se utiliza un proceso intermedio denominado de semi-contención o contención temporaria. Aquí, los materiales son eliminados en porciones del ambiente aisladas del hombre desde donde migran muy lentamente a zonas de importancia radiosanitaria, siendo estas últimas, zonas donde la presencia de materiales radiactivos puede implicar una cierta dosis de radiación sobre el hombre. Un ejemplo de este tipo de manejo es la eliminación en suelos.

Se considera que, independientemente de la decisión tomada, siempre se producirá una eliminación de los residuos al ambiente en tiempos que puedan ser enormemente largos como en las contenciones casi permanentes, largos como en las contenciones temporarias o cortos como en las eliminaciones a la atmósfera o a cursos de agua.

En su oportunidad la CNEA realizó estudios micrometeorológicos, radioecológicos, etc. que permitieron determinar la capacidad radiológica del Arroyo Aguirre y río Matanza, en el Centro Atómico Ezeiza; del río Paraná donde se construyó la Central Nuclear de Atucha y del embalse río Tercero donde se construye la Central Nuclear Córdoba. De esta manera se pudieron deter-

minar los límites de descarga al ambiente. Este conjunto de estudios se conoce como estudios preoperacionales.

Resumiendo: Se puede eliminar al ambiente local hasta donde la capacidad del mismo lo permita y cuando la cantidad de residuos sobrepasa esa capacidad se contienen temporaria o permanentemente. En algunos casos serán necesarios tratamientos previos que faciliten el manejo y la eliminación.

Otra cuestión importante a tener en cuenta es el costo económico de la gestión: a una mayor inversión en tecnología (equipos, materiales, investigaciones, etc.) corresponde una reducción en la actividad dispersada y una correspondiente reducción en la dosis sobre la población. Esta relación que resulta ser de tipo exponencial se representa en la figura N°3. En la misma figura se ha graficado el "costo" del riesgo producido sobre la población, que resulta lineal con la dosis.

La suma de ambos tiene un mínimo que indica el punto óptimo para el dimensionamiento de una instalación. De cualquier modo, las dosis individuales en el "grupo crítico" deben estar por debajo del "límite de dosis". Con esto se cumplen las dos premisas básicas de la protección radiológica: la dosis recibida debe ser "tan baja como sea practicable", teniendo en cuenta factores socio-económicos y en ningún caso deben superar los "límites de dosis".

III - ORIGEN Y CLASIFICACION DE LOS RESIDUOS RADIOACTIVOS.

Los programas nucleares no sólo producen energía, que es el objetivo básico al que apuntan, sino también otros subproductos tales como los radioisótopos y las radiaciones cuya aplicaciones e importancia no es necesario resaltar.

No obstante, en lo que respecta a residuos radiactivos, la gran mayoría de ellos aparecen dentro del ciclo del combustible de los reactores de potencia, es decir directamente relacionados a la generación de electricidad.

En las distintas etapas que constituyen el ciclo de combustible (figura N°4) aparecen residuos de diferentes características en lo que hace a composición, actividad y peligrosidad. Algunas de ellas merecen dedicarles particular atención, como la operación de reactores y el reprocesamiento del combustible agotado.

Aunque los reactores nucleares producen gran cantidad de productos de fisión, en condiciones normales solamente fracciones muy pequeñas del total pueden llegar a escapar del elemento combustible. Teóricamente lo que podría causar mayor contaminación sería solamente un accidente del reactor.

El calor generado en el elemento combustible es extraído por el agua del circuito primario de refrigeración (circuito cerrado). Al pasar por el reactor el flujo neutrónico del mismo produce la activación del oxígeno del agua provocando la aparición de radioisótopos del oxígeno y nitrógeno de muy corto período. También el Na y el P del agua se activan. (El Na-24 es el más importante en cantidad, aunque el P-32 es más inconveniente ya que es concentrado por organismos acuáticos).

Los productos de corrosión como Fe, Co, Cr, Mn, Ni, etc., también se activan.

El agua de refrigeración y el moderador deben mantenerse libres de productos de fisión y de corrosión porque pueden actuar como absorbentes de neutrones y porque las áreas cercanas al reactor deben mantenerse a bajo nivel de exposición. Esto se logra recirculando parte del líquido a través de filtros y resinas de intercambio iónico. El sistema de refrigeración, por lo tanto, da lugar a residuos sólidos en forma de filtros y resinas agotadas, casi siempre de alta actividad.

En una instalación de la complejidad de una central nuclear es inevitable que ocurran pequeñas fallas en cañerías, válvulas, etc., que provocan pequeños escapes de líquidos radiactivos y contaminaciones en paredes, pisos y en el personal de mantenimiento.

La decontaminación de estas instalaciones, así como también la de equipos a reparar, ropas, etc., da lugar a residuos sólidos y líquidos que si bien son de baja actividad no pueden considerarse como un efluente común.

En equipos y partes que se eliminan en la reparación, no se justifica, a veces, el costo de un tratamiento de decontaminación y estos materiales, por lo tanto, también constituyen residuos sólidos. Finalmente, deben mencionarse los desagües de los laboratorios calientes donde se controlan los distintos fluidos de la central y cuyos efluentes son radiactivos.

Los gases radiactivos pueden aparecer por pequeñas fisuras en el elemento combustible (I; Xe; Kr; etc.) o por activación del aire en las proximidades del reactor.

La operación de una central nuclear de alrededor de 600 MW_e como la que se construye en Córdoba implica el manipuleo y tratamiento de 500 a 1000 Ci^(*) por año de residuos sólidos y líquidos; y aproximadamente 10-15 Ci diarios de gases nobles y tritio. Además, se manejan unos 40 MCi anuales de combustible irradiado y algunos miles de Ci de resinas agotadas provenientes de la limpieza del medio refrigerante.

En el tratamiento de estos residuos se eliminan al ambiente unos 4 - 5 Ci anuales de productos de fisión y corrosión a través del agua de refrigeración; unos 1000 Ci anuales de tritio y alrededor de 10⁴ Ci de gases nobles. Todos estos valores están por debajo de los límites de descarga establecidos para el lugar del emplazamiento de la central.

La mayor fuente de residuos radiactivos es el reprocesamiento de combustibles nucleares irradiados. En esta etapa el elemento combustible es disuelto en NO₃H y a partir de esta solución se

(*) Ci: (Unidad de actividad) 1 Ci = 3,7 · 10¹⁰ desintegraciones/segundo.

separa a lo largo de varias etapas de extracción con solventes orgánicos como el TBP (tributil fosfato) el uranio no quemado, el plutonio y otros nucleídos de interés. Cuando se disuelve el combustible quemado todos los productos de fisión quedan en solución o se liberan como gases o aerosoles. Algunas veces la envoltura se quita antes de disolver el combustible y los restos de la misma constituyen un residuo sólido. En el caso de disolver el elemento combustible entero, con su envoltura, en NO_3H o FH , el resultado es un líquido químicamente complejo y corrosivo con un contenido de material radiactivo muy alto (principalmente Cs-137 y Sr-90). Los residuos que surgen del reprocesamiento representan más del 99,9% de los residuos totales producidos por la industria nuclear, considerando el contenido de radiactividad.

El reprocesamiento del combustible irradiado de una central de aprox. 600 MW_e con algunos pocos años de decaimiento implica la aparición de unos 10 MCi anuales en los residuos líquidos de alta actividad.

Al disolver el elemento combustible se liberan productos gaseosos (I, Br, Xe, Kr, etc.) El rutenio que no puede considerarse normalmente un gas se volatiliza en muchos tipos de procesos de disolución.

En cuanto a sólidos, son en su mayoría similares a los producidos en cualquier planta química. La diferencia es que los desechos son radiactivos y a menudo de muy alta actividad.

En los laboratorios de las universidades, centros de experimentación y desarrollo, hospitales, etc., en los que se trabaja con materiales radiactivos aparecen residuos de las más diversas características pero rara vez son de proporciones comparables a los producidos en las plantas de reprocesamiento, aunque un centro de investigación grande produce residuos suficientes para requerir sistemas especiales de gestión.

La clasificación de los residuos radiactivos en distintas categorías es una necesidad de quienes deben operar en las plantas de tratamiento y eliminación de desechos, y por lo tanto no es adecuada para otros propósitos como las del tipo reglamentario o para ser usada en evaluaciones de seguridad.

En distintos establecimientos esta clasificación está basada principalmente en condiciones operativas locales. Por lo tanto las categorías elegidas pueden ser adecuadas a las necesidades de un determinado establecimiento, pero difícilmente sean iguales a aquellas usadas en cualquier otra parte.

En la CNEA se ha adoptado el sistema de clasificación que puede observarse en la figura N° 5.

IV - SISTEMAS DE TRATAMIENTO.

Residuos líquidos.

Los sistemas de tratamiento de residuos radiactivos líquidos varían según su concentración de actividad ($M\text{ Ci/l}$), según sus características químicas y también según el tipo de instalación en que se originan.

Diversos países y distintos lugares dentro de un mismo país tienen sistemas y modalidades operativas diferentes. También influyen el grado de desarrollo tecnológico y los costos, que al variar de un lugar a otro hacen que el sistema más conveniente en una parte no lo sea en otra. En lo sucesivo se explicarán los sistemas en uso en las distintas instalaciones de la CNEA.

En las plantas de reprocesamiento y en otras pocas instalaciones aparecen residuos de actividades alta e intermedia con composición y concentraciones que varían muy poco dentro de límites que podemos considerarlos "estrechos" a nuestros propósitos. Estos líquidos son conducidos directamente a las

plantas de tratamiento correspondientes. En cambio, en la mayoría de las instalaciones nucleares (centrales, centros de investigación, etc.) se producen cantidades importantes de líquidos de actividades baja y, a veces, intermedia cuya composición química y concentración de actividad es muy variable. Así por ejemplo, el agua colectada de los desagües de los pisos difícilmente contendrá actividad alguna si no se ha producido una contaminación. En este caso, además de los contaminantes radiactivos llevará los productos químicos que se utilizaron para la decontaminación. El recambio de componentes de una planta, el mantenimiento periódico de ciertas instalaciones, etc., da lugar en estos casos a la aparición de líquidos contaminados en mayor o menor grado que no aparecen normalmente.

Debido a esto, todas las instalaciones para tratamiento de residuos comienzan con una planta de contención donde los líquidos provenientes de distintas partes son colectados en tanques adecuados. El contenido de cada tanque es luego analizado a fin de determinar su composición química y concentración de actividad. El resultado del análisis permitirá decidir cuál es el tratamiento a que será sometido el contenido de un tanque.

Estos tanques de contención se construyen, según las necesidades y los líquidos a contener, en acero inoxidable, acero recubierto con resinas especiales, hormigón recubierto con resinas epoxi, etc. Son tanques muy confiables en cuanto a su diseño y construcción mecánica, alojados generalmente en cubículos de hormigón (con fines de blindaje), a veces subterráneos y provistos de sistemas adecuados de agitación, muestreo, bombeo, etc. Continuamente se miden y registran datos tales como temperatura, nivel, pH, exposición, etc.

Líquidos de baja actividad ($<10^{-2}$ mCi/l)

Si la actividad contenida lo permite y previa regulación del pH, si es necesario, se pueden descargar directamente en ríos. La descarga se debe ubicar de modo tal de asegurar una buena mezcla y que no se produzcan zonas de mayor concentración. En la neutralización pueden producirse precipitados que por lo general concentran la actividad. Estos precipitados se tratan igual que los barros de los filtros y evaporadores, como se verá más adelante.

En el caño de descarga suelen colocarse monitores que trabajan en forma continua controlando las válvulas de salida e impidiendo que por un error de manipulación puedan descargarse líquidos con un contenido de actividad mayor que el previsto.

Si los líquidos contienen materiales en suspensión y/o importantes cantidades de productos químicos se prefiere decontaminarlos previamente mediante sistemas de filtración o evaporación. Los líquidos se filtran a través de filtros especiales con camas de tierra de diatomeas o materiales similares. Cuando se ha saturado el material filtrante se saca por centrifugación u otro método semejante, según el tipo de filtro. El líquido filtrado se analiza nuevamente para decidir si necesita nuevo tratamiento. Otras veces los líquidos se evaporan en un evaporador que no difiere sustancialmente de los utilizados en otras industrias. Este sistema es más caro de instalar y requiere un gran gasto de energía para calefacción pero permite obtener factores de decontaminación (actividad por unidad de volumen en el líquido original/actividad por unidad de volumen en el destilado) muy grandes, del orden de $10^4 - 10^6$. Como siempre, el destilado se analiza para determinar su posterior tratamiento.

Otro sistema muy utilizado es el de intercambio iónico. El líquido circula a través de resinas de intercambio iónico donde la actividad se transfiere a las resinas. A veces, según la actividad contenida, el tipo de resina, etc., es posible regenerar las mismas siendo las soluciones regenerantes residuos

líquidos de mucha mayor concentración de actividad. Otras veces resulta más conveniente eliminar las resinas cuando se saturan.

Las resinas y los barro obtenidos tanto en los filtros como en el evaporador o los provenientes de alguna neutralización generalmente se incluyen en bitumen, cemento o plásticos especiales transformándolos en un sólido. El barro se introduce en una máquina especial que los mezcla con bitumen caliente o alguna resina termoplástica. La mezcla es colada en tambores de 200 litros donde solidifica transformándose en un residuo sólido más fácil de manejar. Lo que interesa lograr en el sólido es una baja cuota de pérdidas, aún sumergido en agua.

Todos los sistemas descriptos se han construido en materiales apropiados, generalmente aceros inoxidable, se ubican en recintos blindados y se operan automáticamente. Cuentan con contenedores blindados y sistemas especiales de transferencia necesarios para evitar posibles contaminaciones y dosis innecesarias de radiación al personal que debe atenderlos.

Los sistemas, además de la ventilación de los recintos, poseen venteos que mantienen la concentración de contaminantes en el aire por debajo de valores establecidos. El aire es circulado a través de filtros absolutos que retienen los aerosoles presentes.

Los líquidos de actividad intermedia (10^{-2} mCi/l $< A < 10^2$ mCi/l) pueden en algunos casos ser tratados igual que los de baja. No obstante en algunos lugares, nuestro país entre ellos, se utiliza un sistema de semicontención donde los líquidos son bombeados y evacuados en suelos. Para esto se utilizan "trincheras" excavadas en suelos.

Una "trinchera" es una excavación rectangular de aproximadamente 10m de ancho por 30m de largo, por 2m de profundidad, rodeada de paredes de mampostería, que ha sido rellena con tierra del lugar y arena. Sobre esta capa, que actuará como intercambiador iónico, se ha colocado una capa de canto rodado. Dentro de esta

última se han ubicado los caños de distribución de líquido. Una cubierta de cartón bituminoso actúa como aislante hidrófugo evitando la percolación que producirían las filtraciones de agua de lluvia. Finalmente una gruesa capa de tierra protege la trinchera y actúa como blindaje.

Al descargarse los líquidos dentro de la trinchera los radionucleídos se fijan en las arcillas que contienen los suelos quedando de esta manera retenidos. Al evitarse las filtraciones de agua de lluvia se impide una migración importante de los radionucleídos de tal forma que el tiempo que tardan en llegar a una napa es suficientemente largo para que se haya reducido la actividad por decaimiento.

Los líquidos de alta actividad ($> 10^2$ mCi/l) se conducen a instalaciones de contención especiales. Estas instalaciones cuentan con tanques de acero inoxidable, cañerías y sistemas de tratamiento de líquidos diseñados y contruidos con criterios muy restrictivos a fin de aumentar la confiabilidad de los mismos, debido tanto a la actividad contenida, a la corrosividad de estos líquidos (NO_3H concentrado) como al hecho de que deben ubicarse en cubículos de hormigón subterráneo e inaccesibles durante toda su vida útil, descartándose la posibilidad de reparación. Los movimientos de fluidos se producen mediante diferencias de presión provocadas por vapor, aire comprimido o por eyectores.

En general se prefiere no utilizar los eyectores de vapor en condiciones normales ya que incrementa el volumen de los residuos reduciendo la capacidad útil y aumentando, por lo tanto, el costo del almacenamiento. Todos los tanques están provistos de sistemas de refrigeración que extraen el calor de decaimiento. Estos sistemas pueden funcionar por circulación forzada de agua que es luego enfriada en torres de tiraje natural o forzado o por autoevaporación del residuo que es luego condensado nuevamente.

En este último caso los líquidos permanecen en ebullición durante un lapso de tiempo grande. Por medio de aire comprimido se produce la agitación del líquido a fin de mantener una composición homogénea del mismo y evitar la posible formación de precipitados, los que al concentrar la actividad crearían serios problemas de transmisión y extracción del calor. Los tanques se conectan a la atmósfera a través de columnas lavadoras y filtros absolutos. En el Centro Atómico Ezeiza se está completando el montaje de una instalación de 40m^3 de capacidad ampliable a 80m^3 .

Este sistema de contención es la única solución práctica al problema de los residuos radiactivos líquidos de alta actividad que se usa en la actualidad. Algunos países poseen líneas de investigación tendientes a lograr la solidificación de estos líquidos. En la CNEA se está montando una instalación piloto para iniciar los estudios y trabajos sobre este tema.

Si bien ya existen instalaciones en varios países como EE.UU. y Francia, donde se han solidificado residuos radiactivos (las demás instalaciones trabajan en un período de prueba con soluciones simuladas inactivas), no puede decirse todavía que la contención al estado líquido esté superada ni que este tipo de instalaciones se dejarán de construir en plazos breves. La solidificación, si bien se perfila como una solución adecuada al problema, permanece aún en etapa experimental. El almacenamiento de estos residuos al estado sólido facilita su manejo y hace más segura la operación al tratarse de un producto mucho más estable.

Entre las ventajas de los sólidos frente a los líquidos merecen destacarse las siguientes: 1) inmovilidad, 2) baja corrosividad, 3) reducción de volumen (5 a 10 veces), 4) poca solubilidad en agua, 5) alta conductividad térmica, 6) resistencia mecánica, 7) estabilidad química y resistencia a la radiación.

Estas propiedades facilitan el manejo de los residuos, permiten reducir el tamaño de las instalaciones, disminuyen los problemas de transferencia térmica, minimizan los peligros de un eventual escape de material por algún eventual accidente, etc.

Los distintos sistemas en estudio pueden considerarse dentro de dos categorías: aquella en que el producto final es un calcinado y aquella en que es un vidrio. Si bien la primera de ellas presenta ventaja sobre la otra en cuanto a temperaturas de trabajo y otros problemas tecnológicos, la última ofrece un producto final mucho más adecuado a los fines perseguidos.

En uno de los sistemas en prueba, la solución que contiene los productos de fisión (residuos) es alimentada en forma continua dentro de un crisol cilíndrico vertical construido en Inconel 600 y calentado mediante varias etapas de inducción. Simultáneamente se alimenta con una mezcla de productos químicos necesaria para dar al vidrio la composición final adecuada. De esta forma se establecen dentro del crisol tres zonas diferentes: en la superior encontramos una capa de líquido en ebullición; en la intermedia sólido en calcinación y en la inferior calcinado y fundiéndose y transformándose en vidrio. Una vez llenado el crisol y después de un tiempo de afinado para obtener una buena homogeneidad, se cuele el vidrio en recipientes metálicos adecuados, y se almacena en depósitos especiales con sistemas de refrigeración para la extracción del calor de decaimiento.

Residuos Sólidos.

Los residuos sólidos de alta actividad (con una elevada exposición en contacto) (> 200 mR/h) o de alto índice de peligrosidad, (emisores alfa como el Pu, etc.) tienen como característica el hecho de aparecer en pequeñas cantidades y en pocos lugares. Estos residuos se manejan utilizando según los casos particulares de que se trate, contenedores blindados especiales y sistemas de transporte neumático, etc. Los emisores alfa se los encapsula en recipientes metálicos, a veces con relleno de

materiales bituminosos. Estos residuos son eliminados en depósitos subterráneos de hormigón. En el CAE existen instalaciones para la realización de las operaciones mencionadas.

La mayor parte de los residuos sólidos sin embargo, aparecen como residuos de baja actividad. A estos residuos, previa clasificación, se los trata con el objeto de reducir su volumen en forma apreciable facilitando de esta manera su posterior eliminación. Si son incinerables, se los quema en hornos que no difieren sustancialmente de los incineradores domiciliarios y las cenizas son incluídas en bitumen. Cuando los residuos no pueden incinerarse pero sí comprimirse (vidrio, PVC, etc.) son prensados dentro de tambores adecuados, generalmente convencionales de 200 litros y el resto (metales, etc.) se coloca en tambores idénticos incluídos también en bitumen si fuera necesario. Los tambores con los residuos incluídos se eliminan enterrándolos en trincheras adecuadas.

En el CAE se está complementando la puesta a punto de la planta de tratamiento y eliminación de residuos sólidos de baja actividad donde se llevan a cabo todas las tareas anteriormente enumeradas.

En las centrales nucleares solo se compactan estos residuos mediante prensas similares a las anteriores en tambores de 200 litros.

Residuos gaseosos.

Los residuos gaseosos pueden ser de dos tipos: según que la actividad se deba a la presencia de aerosoles o a gases radiactivos. Los aerosoles se eliminan fácilmente por medio de filtros absolutos HEPA (High Efficiency Particulate) con un rendimiento superior al 99,93% para partículas de $0,3 \mu$ de diámetro (la partícula más difícil de filtrar). Estos filtros, una vez agotados, constituyen un residuo sólido. Cuando la actividad se debe a gases radiactivos, el problema no es tan simple. En algunos casos se pueden utilizar filtros

especiales como los de carbón activado para retención de I-131 o sino deben almacenarse temporariamente, generalmente a presión, para lograr una reducción de la actividad por decaimiento.

V - CONCLUSION.

Hasta ahora los desechos radiactivos han sido originados en una industria nuclear en expansión, centros de investigación y debido a una creciente utilización de materiales radiactivos en medicina e industria privada.

Todavía en nuestro país no se han generado cantidades importantes de desechos de alta actividad y la gestión de los hasta ahora producidos se ha realizado sin inconvenientes y de acuerdo a las normas establecidas.

Ahora la Argentina se encamina decididamente hacia la producción en gran escala de energía eléctrica de origen nuclear y tanto en las centrales como en algunas de las etapas del ciclo de combustible, comenzarán a aparecer residuos en cantidades apreciables que deberán ser procesados y eliminados en forma adecuada.

Allí entonces comienza a adquirir gran importancia una gestión de residuos coherente y realista que permita satisfacer las necesidades y protejan al ambiente que rodea al hombre.

Satisfaciendo las demandas cada vez mayores de energía y al mismo tiempo preservando el medio ambiente se contribuirá al desarrollo del país y al bienestar de las futuras generaciones.

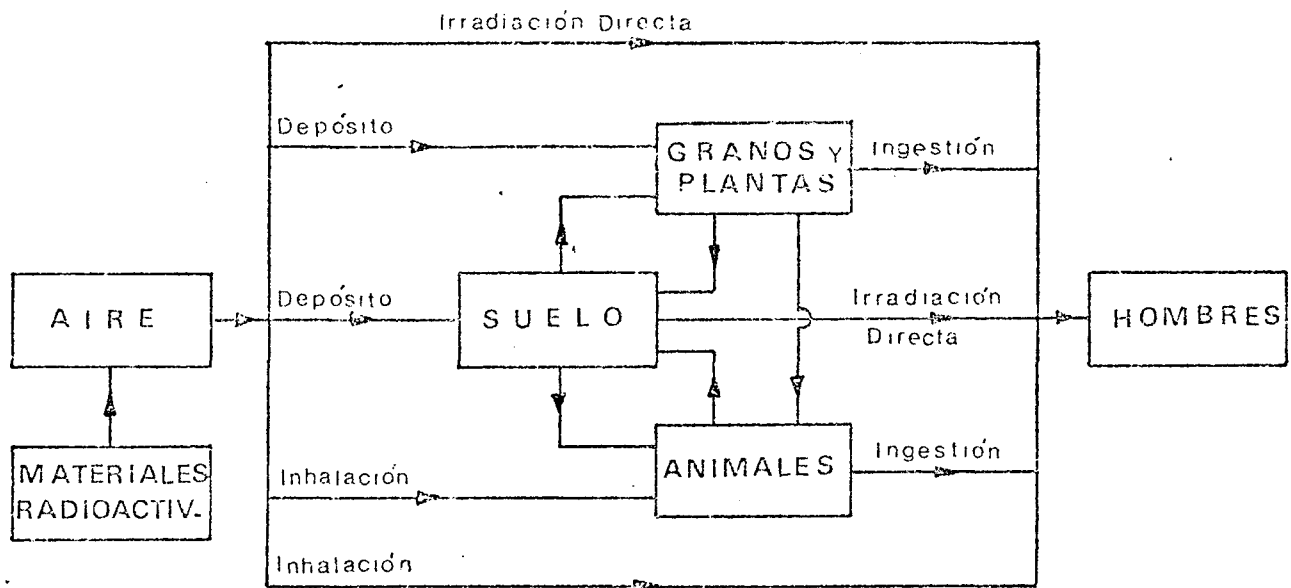


Figura 1 - Vías de Transferencia (eliminación a la atmósfera)

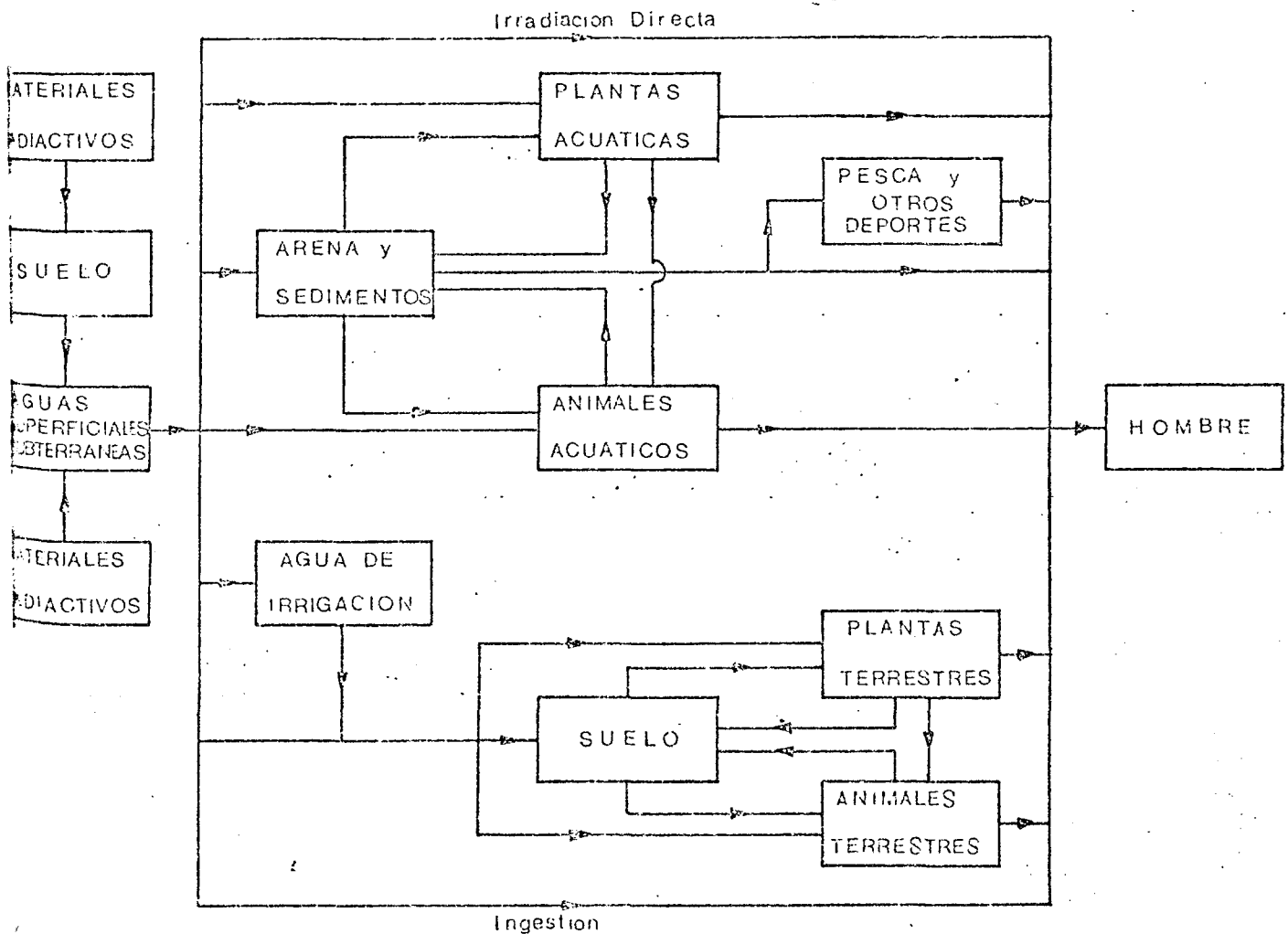


Figura 2 - Vías de Transferencia (eliminación en cursos de agua)

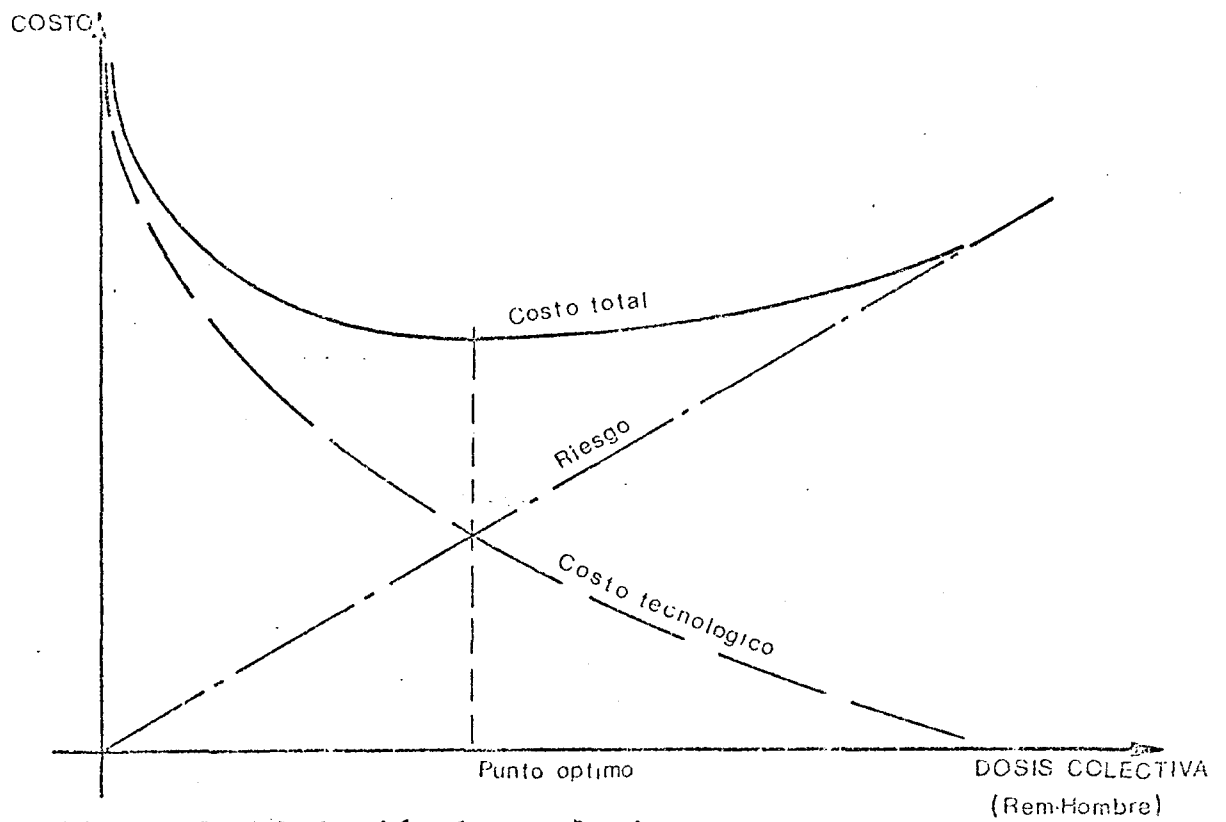


Figura 3 - Relación Costo-Dosis.

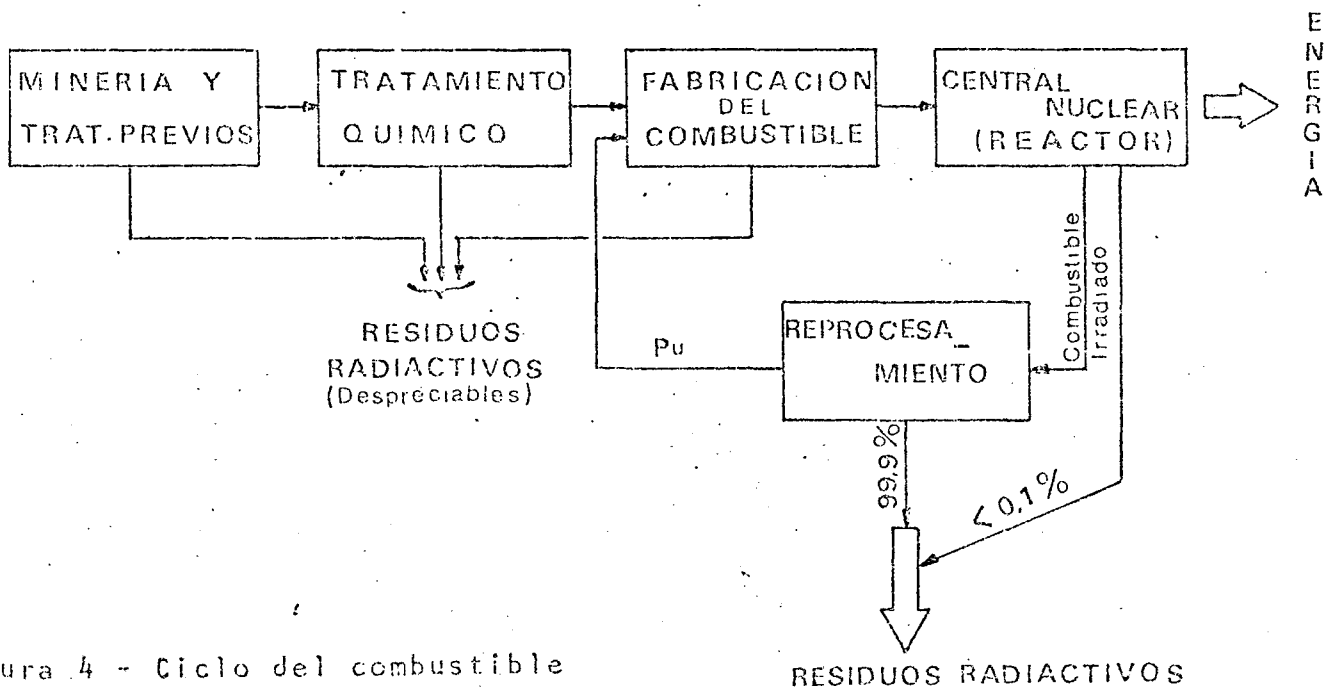


Figura 4 - Ciclo del combustible

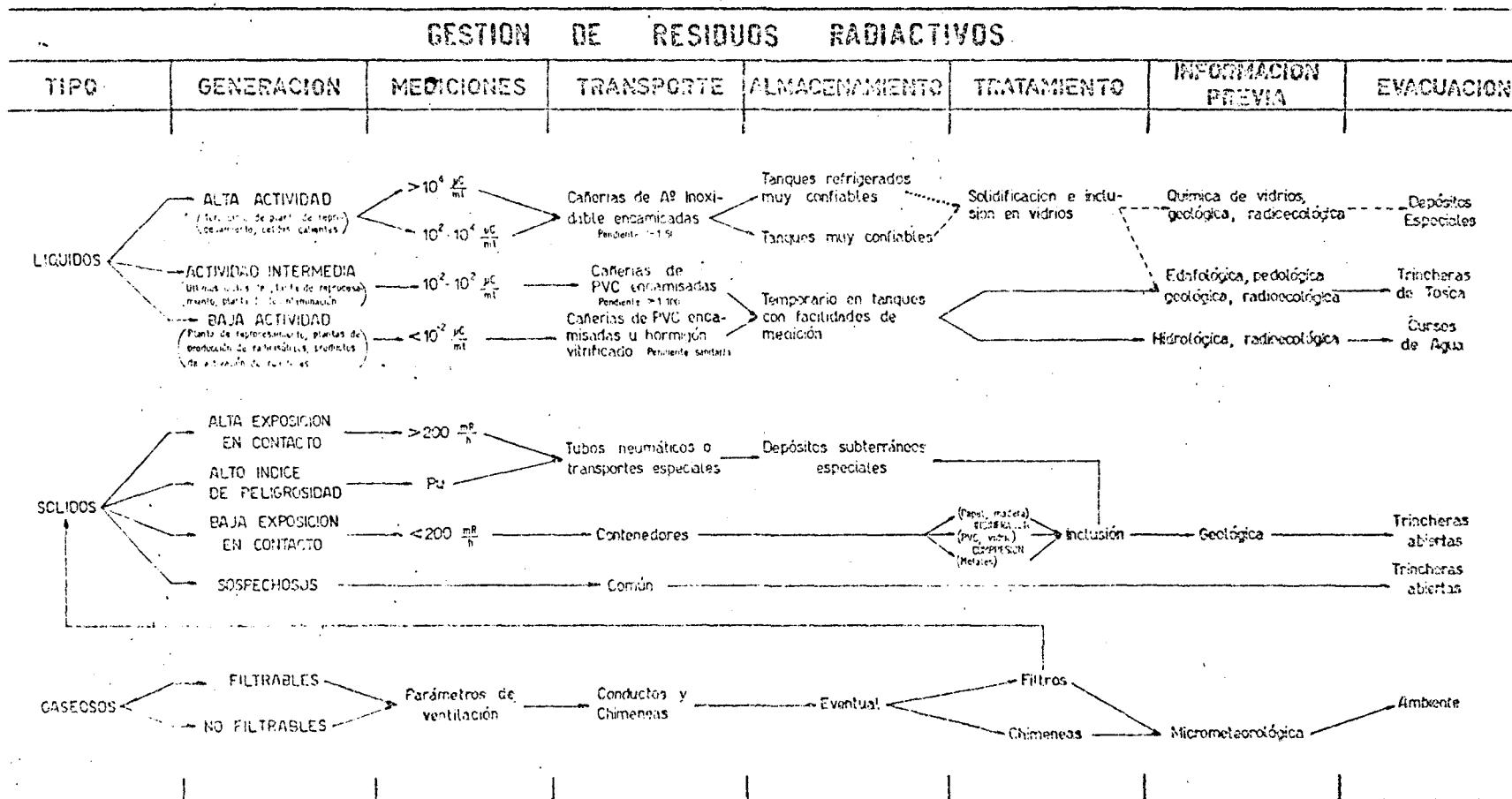


Figura 5.