

---

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

# Análisis del Desempeño Ambiental de la Central Nuclear Embalse



Universidad Empresarial Siglo 21  
Licenciatura en Gestión Ambiental  
Malena Oliva  
2008

---

Se agradece la colaboración:

del **Ingeniero Hugo Guzmán**, Jefe de Seguridad Radiológica de la Central Nuclear Embalse,  
por su predisposición y buena voluntad al atender a mis preguntas;

del **Licenciado Hugo R. Martín**, Gerencia de Relaciones Institucionales de la CNEA, por el  
asesoramiento e interés;

del **Doctor Rubén del Sueldo**, por el apoyo brindado.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

título	pág.
Introducción	1
Objetivos	1
Marco Teórico	2
1. La Energía Nuclear: origen y características	2
1.1. El origen de la energía nuclear	2
1.2. Qué es la energía nuclear	2
1.3. La radiación ionizante	3
3.4.1. Qué es y qué efectos produce	3
1.3.2. Dosis	4
1.3.3. Fuentes de radiación	5
2. El Ciclo del Combustible Nuclear	8
2.1. Ciclo del Combustible Nuclear	8
I. Parte Inicial del Ciclo	9
II. Irradiación en el Reactor Nuclear	10
III. Parte Final del Ciclo	11
3. Actividad Nuclear en Argentina	13
3.1. Inicio de la actividad nuclear en Argentina	13
3.2. Política nuclear actual: reactivación	14
3.3. Autoridades y Organismos relacionados a la actividad nuclear	15
3.3.1. Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA)	15
3.3.2. Nucleoeléctrica Argentina Sociedad Anónima (NA-SA)	16
3.3.3. Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN)	17
3.4. Centrales Nucleares Argentinas	18
3.4.1. Central Nuclear Atucha I (CNAI)	18
3.4.2. Central Nuclear Atucha II (CNAII)	18
3.4.3. Central Nuclear Embalse (CNE)	19
3.4.3.1. Funcionamiento del Reactor de la Central Nuclear Embalse	20
3.4.3.2. Gestión Ambiental de la Central Nuclear Embalse	25
4. Impacto Ambiental	27
4.1. El impacto ambiental	27
4.2. Impacto de las radiaciones sobre la salud y el ambiente	27
4.3. Impacto ambiental del Ciclo del Combustible Nuclear	31
4.4. Vigilancia ambiental	34
<b>Materiales y Metodologías</b>	<b>37</b>
1. Relevamiento de aspectos e impactos ambientales	37
1.1. Matriz de Identificación de Aspectos	37
1.2. Matriz de Identificación de Impactos	37
2. Caracterización tipológica y evaluación de impactos ambientales	39
3. Límites de descargas radiactivas	44
<b>Resultados</b>	<b>45</b>
1. Descargas de material radiactivo gaseoso y líquido de la Central Nuclear Embalse	45
2. Matriz de Aspectos Ambientales	51
3. Matriz de Impactos Ambientales	52
4. Caracterización Tipológica y Evaluación de Importancia	53
4.1. Impactos significativos	54
<b>Discusión de Resultados</b>	<b>56</b>
<b>Conclusión</b>	<b>58</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>60</b>
Anexo 1: Marco Legal de la Actividad Nuclear en Argentina y en el mundo	61

## Índice de Cuadros

título	pág.
Cuadro N° 1: Dosis y unidades	5
Cuadro N° 2: Fuentes naturales y artificiales de radiación	5
Cuadro N° 3: Características de las centrales nucleares argentinas	18
Cuadro N° 4: Tipos de reactores nucleares	20
Cuadro N° 5: Impactos ambientales de la energía nuclear	31

## Índice de Gráficos

título	pág.
Gráfico N° 1: Fuentes de radiación	8
Gráfico N° 2: Evolución emisiones gaseosas de I-131 en CNE	46
Gráfico N° 3: Evolución emisiones gaseosas de Tritio en CNE	46
Gráfico N° 4: Evolución emisiones gaseosas de Gases Nobles en CNE	47
Gráfico N° 5: Evolución emisiones gaseosas de C-14 en CNE	47
Gráfico N° 6: Evolución emisiones líquidas de Tritio en CNE	49
Gráfico N° 7: Evolución emisiones líquidas de otros radionucleidos en CNE	49
Gráfico N° 8: Evolución de descargas de radionucleidos líquidos y gaseosos de la CNE	50
Gráfico N° 9: Valores de importancia de los impactos	54

## Índice de Figuras

título	pág.
Figura N° 1: Ciclo del Combustible Nuclear	12
Figura N° 2: Autoridades y Organismos Nacionales del Sector Nuclear	15
Figura N° 3: Alrededores de la Central Nuclear Embalse	19
Figura N° 4: Átomos de hidrógeno y de deuterio	21
Figura N° 5: Calandria del reactor	22
Figura N° 6: Elementos combustibles	22
Figura N° 7: Generador de vapor	23
Figura N° 8: Funcionamiento del reactor	24
Figura N° 9: Silos de almacenamiento en seco de la CNE	26
Figura N° 10: Vías de circulación del material radiactivo hasta llegar al hombre	30
Figura N° 11: Monitoreo ambiental de la ARN	35

## Índice de Tablas

título	pág.
Tabla N° 1: Descargas gaseosas autorizadas para CNE	44
Tabla N° 2: Descargas líquidas autorizadas para CNE	44
Tabla N° 3: Descargas gaseosas de la CNE para el período 1984-2006	45
Tabla N° 4: Descargas líquidas de la CNE para el período 1984-2006	48

## INTRODUCCIÓN

La comprometida situación energética global, marcada por la escasez de recursos no renovables, el creciente consumo y el insuficiente desarrollo de energías limpias (que limita su competitividad), sumado a problemas ambientales como el cambio climático y la necesaria reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, determinan la necesidad de abarcar el estudio de distintas opciones energéticas desde una perspectiva global. Esto es, contemplando las diferentes aristas involucradas, que bien podríamos enmarcar en las esferas del Desarrollo Sustentable: *social, económica y ambiental*.

Esto significa que las futuras (y actuales) decisiones deben ser tomadas respetando alternativas que armonicen en la mayor medida estos tres aspectos.

En otras palabras, las opciones energéticas a desarrollar deberían contemplar la satisfacción de las necesidades energéticas, la rentabilidad de su producción, y un impacto ambiental aceptable.

En este contexto, el presente trabajo pretende aportar información sobre el impacto ambiental de la generación de energía nuclear, tomando como objeto de estudio la Central Nuclear Embalse (CNE) de la provincia de Córdoba. Para tal fin, se realiza una caracterización del desempeño ambiental de la central, como se detalla en los siguientes renglones.

El estudio consta de un marco teórico a través del cual se pretende contextualizar al lector en la temática nuclear, para lo cual se incluye una descripción de los principios básicos de la generación nucleoelectrónica, de la estructuración del sector nuclear en Argentina, y de los efectos de las radiaciones sobre los distintos elementos del ambiente. Además, en uno de los apartados se habla (conceptualmente) del impacto ambiental, para dar paso luego a la presentación de la información recopilada sobre el desempeño ambiental de la CNE.

Esta información incluye una descripción del proceso de generación nucleoelectrónica de la central, así como un relevamiento de los aspectos e impactos ambientales asociados a su operación (específicamente en relación al proceso de producción de energía).

Por otro lado, se toman y analizan los datos resultantes del monitoreo ambiental de las descargas de radionucleidos de la central (desde el inicio de su operación hasta el año 2006) y se los comparan con los límites establecidos en la reglamentación vigente.

En la conclusión se pretende unir, en una misma idea y bajo el paradigma del desarrollo sustentable, los resultados arrojados por el estudio, con los desafíos que plantea la situación energética actual.

### Objetivos

#### Generales:

- Caracterizar el desempeño ambiental actual de la Central Nuclear Embalse.
- Identificar los factores críticos asociados al impacto ambiental de las actividades de la Central Nuclear Embalse.

#### Específicos:

- Realizar una evaluación de los impactos ambientales actuales producto de las actividades de generación nucleoelectrónica de la Central Nuclear Embalse.
- Analizar la evolución de las descargas radiactivas al ambiente desde el inicio de operación de la Central Nuclear Embalse hasta 2006.

## MARCO TEÓRICO

### 1. LA ENERGÍA NUCLEAR: ORIGEN Y CARACTERÍSTICAS

#### 1.1. El Origen de la Energía Nuclear

Antes de comenzar a hablar de la energía nuclear propiamente dicha, se presenta una breve reseña histórica con los principales hitos de su origen:

**Año 1896:** El físico francés Antoine Henri Becquerel descubre la radiactividad experimentando con sales de uranio.

**Año 1898:** Los químicos franceses Marie y Pierre Curie deducen que la radiactividad es un fenómeno asociado a los átomos e independiente de su estado físico o químico.<sup>1</sup>

**Año 1938:** Los científicos alemanes Otto Hahn y Fritz Strassmann descubren la fisión nuclear, proceso a través del cual se obtiene la energía nuclear en la actualidad.

**Año 1942:** El físico italiano Enrico Fermi lleva a cabo la primera reacción nuclear en cadena controlada.

#### 1.2. Qué es la Energía Nuclear

La *energía nuclear* es la energía que se libera durante la fisión o fusión de núcleos atómicos. Ambos son procesos exotérmicos, es decir, liberan calor al producirse. En el caso de las centrales nucleares, se utiliza la fisión atómica para la generación de energía. Para poder explicar de qué se tratan estos procesos, es preciso aclarar algunos conceptos que nos llevarán a una mejor comprensión del fenómeno de la energía nuclear, así como de los efectos que su aplicación produce en el ambiente. Es menester comenzar por lo más elemental: la estructura del átomo.

El átomo está compuesto por tres tipos de partículas subatómicas: *protones* y *neutrones* ubicados en el núcleo del átomo (debido a lo cual también son llamados nucleones), y *electrones* que se encuentran orbitando alrededor del núcleo.

Todos los átomos de un mismo elemento tienen el mismo número atómico (número de protones), pero pueden tener distinto número másico (número de protones y de neutrones) al diferir en la cantidad de neutrones.

Cuando se da esta diferencia, es decir, cuando los átomos tienen distinto número de neutrones, los átomos reciben el nombre de *isótopos*; siendo *isótopos radiactivos* aquellos correspondientes a los átomos que poseen núcleos radiactivos (o radionucleidos).

Cuando un átomo sufre una alteración, y el origen de la misma está en el núcleo del átomo, hablamos de *reacciones nucleares*. Y cuando esos cambios en los núcleos se dan de manera espontánea, emitiendo radiación como resultado, nos referimos entonces a un átomo o *elemento radiactivo*.

Cuando la desintegración es inducida golpeando el radionucleido con un neutrón o con otro núcleo, recibe el nombre de *transmutación nuclear*.

Así, podemos definir a la *radiactividad* como la desintegración espontánea de núcleos atómicos mediante la emisión de partículas subatómicas (llamadas partículas alfa y partículas beta), y de radiaciones electromagnéticas (denominadas rayos X y rayos gamma).<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Es por ello no se puede reducir o eliminar su peligrosidad mediante tratamientos o procesamientos físicos o químicos, y debemos limitarnos a garantizar el aislamiento del material radiactivo residual esperando que cese su peligrosidad a través de la desintegración natural.

<sup>2</sup> Enciclopedia Microsoft® Encarta® 2002. © 1993-2001 Microsoft Corporation.

A los fines de este trabajo nos interesan las radiaciones alfa, beta y gamma. Sus efectos sobre el organismo son detallados en otra sección (4.4.2. *Impacto de las radiaciones sobre la salud y el ambiente*), así como sus características peculiares (1.1.3. *La Radiación Ionizante*); sólo mencionaremos aquí que estos tipos de radiaciones pueden ocasionar daños al organismo a través de su poder para modificar las células que encuentran a su paso.

Distintos isótopos sufren desintegraciones a diferentes velocidades, lo cual habla de su vida media.

La *vida media* de un radioisótopo es el tiempo necesario para que la mitad de la materia radiactiva se desintegre espontáneamente.

Tras cada desintegración de un nucleido, junto con la emisión de radiación, ocurre una conversión del mismo a otro nucleido. Este proceso se repite sucesivamente hasta llegar a un elemento estable. Una *serie de desintegración* es la secuencia de transformación que muestra el decaimiento radiactivo de un nucleido.

Como habíamos mencionado antes, la energía nuclear se produce gracias a la *fisión*, proceso en el que núcleos pesados (que tienen muchos neutrones y protones, es decir, un elevado número másico) se bombardean con neutrones, de lo que resulta:

- la división del núcleo en dos partes de tamaño similar
- algunos pocos neutrones (dos o tres) y
- energía en forma de calor.

Los neutrones liberados colisionan a su vez con otros núcleos, causando fisiones adicionales.

Un conjunto de numerosas fisiones adicionales que a su vez desencadenan nuevas fisiones, conforman una *reacción en cadena automantenida*, en la que se liberan grandes cantidades de energía en forma continua.

La energía liberada en la división del núcleo que es bombardeado es la que se aprovecha en las centrales nucleares para la generación de electricidad: a través del aporte de calor (energía liberada en la fisión) a volúmenes determinados de agua se produce vapor, que mueve una turbina conectada a un generador eléctrico (esta parte del proceso de generación de energía es similar a la de otras plantas, como las hidráulicas o térmicas).

### 1.3. La Radiación Ionizante

#### 1.3.1. Qué es y qué efectos produce

La radiación ionizante se da cuando un átomo o molécula pierde (emite) un electrón. Por lo general, al recibir este tipo de radiación el organismo (cabe recordar que el 70 % de la masa de los tejidos vivos es agua), la mayor parte de la energía es absorbida por moléculas de agua, lo que puede dar lugar a la formación de radicales libres  $\cdot\text{OH}$  (molécula muy inestable y reactiva). Basta con una sola de estas moléculas para desencadenar un gran número de reacciones químicas que pueden perturbar el funcionamiento normal de las células. Esto sucede cuando un radical libre ( $\cdot\text{OH}$ ) reacciona con las moléculas circundantes, produciéndose así más radicales libres que luego harán lo mismo.

El daño generado por la radiación ionizante depende, además del tiempo de exposición y otros factores, del tipo de radiación de que se trate, ya que las características de las distintas radiaciones ( $\alpha$ ,  $\beta$  o  $\gamma$ ) determinan la severidad de los efectos que producirán:

**Radiación alfa ( $\alpha$ ):** Emisión de núcleos de helio (radiación corpuscular). Tiene carga positiva. No traspasa la piel, pero si la fuente de radiación está dentro del organismo genera daños importantes debido a la gran velocidad con que se transfiere energía al tejido circundante. Las vías de ingreso pueden ser la respiración, heridas o la ingestión en los alimentos.

**Radiación beta ( $\beta$ ):** Emisión de electrones (radiación corpuscular). Tiene carga negativa.

Sólo penetran aproximadamente 1 o 2 cm más allá de la superficie de la piel, aunque el daño aumenta si la fuente ingresa al organismo.

**Radiación gamma ( $\gamma$ ):** La radiación  $\gamma$  no emite partículas, ya que es del tipo electromagnética (de longitud de onda muy corta). Es eléctricamente neutra.

A pesar de tener menor capacidad de ionización que la  $\alpha$  y  $\beta$ , es la más dañina de las tres, debido a su gran poder de penetración (traspasa piel, tejido, hueso, llegando a tejidos profundos (órganos)).

### 1.3.2. Dosis

Cada vez que un radionucleido sufre una desintegración, se produce liberación de energía a través de la radiación. El daño se genera cuando esa energía es absorbida. Las fuentes de radiación pueden estar ubicadas fuera o dentro del cuerpo, catalogándolas como irradiación externa e interna, respectivamente. Este tema se retomará en la sección 4.4.2. *Impacto de las radiaciones sobre la salud y el ambiente.*

La cantidad de energía que es absorbida por unidad de masa de material irradiado se denomina *dosis*, que se expresa de diferentes maneras según la parte del cuerpo que sea afectada, el número de personas expuestas a la radiación, y el tiempo durante el cual la dosis se va acumulando.

Veremos ahora las distintas *unidades* empleadas para referirse a la radiación:

Becquerel (Bq): mide la actividad<sup>3</sup>. Un Bq equivale a una desintegración por segundo de cualquier radionucleido.

Gray (Gy): mide la cantidad de energía absorbida por gramo de tejido. No contempla las diferencias entre los distintos tipos de radiación ( $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$ ). Se emplea para expresar la *dosis absorbida*.

Sievert (Sv): con esta unidad se mide la dosis absorbida ponderada en términos de la potencialidad de producir daño que tiene cada tipo de radiación y la radiosensibilidad del órgano afectado.

También es necesario hablar de las distintas *dosis*:

Dosis equivalente: medida en Sv, es la que considera solo la potencialidad para producir daño de cada tipo de radiación.

Dosis equivalente efectiva: se expresa en Sv. Es la asignación de una ponderación diferente a cada parte del cuerpo, dado que las mismas presentan distintas susceptibilidades a los efectos de la radiación.

Dosis equivalente efectiva colectiva: es el resultado de multiplicar la dosis media en los miembros de una población por el número de integrantes de la misma. Se expresa en sievert.hombre.

Dosis equivalente efectiva colectiva comprometida: es la dosis equivalente efectiva colectiva que será recibida por las generaciones venideras. Se expresa también en Sv.hombre.

---

<sup>3</sup> Actividad: es el número de transformaciones por unidad de tiempo que sufre un radionucleido.



<b>DOSIS</b>	<b>SIGNIFICADO</b>	<b>UNIDAD</b>
Dosis absorbida	Energía absorbida por gramo de sustancia	Gy
Dosis equivalente	Dosis absorbida ponderada según el daño que cada tipo de radiación puede generar	Sv
Dosis equivalente efectiva	Dosis equivalente ponderada según la susceptibilidad de cada parte del cuerpo a las radiaciones	Sv
Dosis equivalente efectiva colectiva	Dosis media de una población multiplicada por el número de habitantes de la misma	Sv.hombre
Dosis equivalente efectiva colectiva comprometida	Dosis equivalente efectiva colectiva que será recibida por las próximas generaciones	Sv.hombre

Cuadro N° 1: Dosis y unidades

La Norma Básica de Seguridad Radiológica (AR 10.1.1.) establece en 1 mSv/año<sup>4</sup> el límite de dosis efectiva para los miembros del público, y se aplica a la dosis efectiva total promedio en el grupo crítico debida a todas las instalaciones y prácticas. Por otro lado, los límites anuales de dosis equivalente son 15 mSv para el cristalino y 50 mSv para la piel.

Se define como "grupo crítico" al grupo de la población que se encuentra en las condiciones más desfavorables.

Ahora bien, habiendo aclarado los conceptos de radiación, las diferentes formas en que se presenta, las unidades y las dosis, cabe preguntarse de dónde provienen las radiaciones y cuánto de cada una de ellas aporta a la dosis total recibida. Para responder a estas preguntas hablaremos de las fuentes de radiación.

### 1.3.3. Fuentes de radiación

Podemos agrupar las fuentes de radiación según su origen en *naturales* y *artificiales*.

<b>FUENTES NATURALES</b>	<b>FUENTES ARTIFICIALES</b>
RAYOS CÓSMICOS	FUENTES MÉDICAS (rayos-X, radioisótopos, radioterapia)
RADIACIÓN TERRESTRE	EXPLOSIONES NUCLEARES (precipitación radiactiva)
IRRADIACIÓN INTERNA	ENERGÍA NUCLEOELÉCTRICA
RADÓN	EXPOSICIÓN OCUPACIONAL
OTRAS (carbón, energía geotérmica, fosfatos)	OTRAS

Cuadro N° 2: Fuentes naturales y artificiales de radiación

#### Fuentes Naturales de Radiación

Las mayores dosis de radiación recibidas por la población mundial provienen de fuentes naturales, fundamentalmente de las terrestres.

<sup>4</sup> mSv: milisievert

La exposición a todas las fuentes naturales de radiación ionizante constituye lo que se conoce como *radiación de fondo*.<sup>5</sup>

- ❖ **Rayos cósmicos**  
Causan menos de la mitad de la exposición del hombre a la radiación natural externa.  
Los rayos cósmicos irradian a la Tierra de forma directa, y también a través de los materiales radiactivos resultantes de su interacción con la atmósfera.  
Esta irradiación no es uniforme en todo el planeta, sino que es mayor en las zonas polares que en las ecuatoriales; la exposición también aumenta con la altitud sobre el nivel del mar a medida que disminuye la protección brindada por la atmósfera.
- ❖ **Radiación terrestre**  
Los materiales radiactivos provienen de las rocas; los principales son el potasio-40 y el rubidio-87, y las series de desintegración de dos elementos: el uranio-238 y el torio-232.
- ❖ **Irradiación interna**  
En este caso nos referimos a materiales radiactivos que se encuentran en el aire, el agua y los alimentos que el hombre consume.
- ❖ **Radón**  
Este gas incoloro, insípido e inodoro es la fuente más importante de radiación natural. La irradiación se produce internamente a través de la inhalación de los radionucleidos (producto de la desintegración del radón) en ambientes cerrados, aunque este gas también fluye de la tierra en todas partes.
- ❖ **Otras fuentes**  
La combustión de carbón, la energía geotérmica y la explotación de yacimientos de fosfato constituyen otras de las fuentes naturales de exposición a la radiación.

#### Fuentes Artificiales de Radiación

A lo largo de los años, el hombre ha encontrado diferentes utilidades y aplicaciones a la energía del átomo, habiendo también producido varios radionucleidos.

Estas nuevas aplicaciones, que tocan áreas como la medicina, la industria de armas, la generación de nucleenergía, la detección de incendios, la prospección de minerales, etc., aumenta la dosis de radiación recibida, tanto por los individuos como por la humanidad en su conjunto.

La magnitud de estas nuevas dosis dependerá en parte de cada individuo, de acuerdo a su ocupación, el sitio donde habita, cuántas radiografías se realice al año, etc.

- ❖ **Fuentes médicas**  
Actualmente esta es la fuente más importante de exposición del hombre a la radiación artificial.  
En la medicina, la radiación puede emplearse para el diagnóstico o para el tratamiento de enfermedades, bajo tres formas:

---

<sup>5</sup> T.Brown, "Química: La ciencia central", 1998.

rayos-X para el diagnóstico (es la más común de todas las formas de irradiación médica); radioisótopos para localizar tumores y estudiar diversos procesos orgánicos; y la radioterapia para el tratamiento del cáncer.

❖ Explosiones nucleares

En este caso la exposición se debe a la precipitación radiactiva luego de producirse una explosión nuclear.

Algunos de los productos radiactivos que se producen en la explosión se depositan en las proximidades, mientras que otros permanecen en la tropósfera por aproximadamente un mes y son transportados a distintos lugares del mundo debido a la acción del viento. La mayor parte de los productos llega sin embargo a la estratósfera, donde permanecen meses para luego ir precipitando lentamente sobre la tierra.

❖ Energía nucleoelectrica

Al hablar del aporte de radiaciones al ambiente debido a la generación nucleoelectrica nos referimos a todas las etapas del Ciclo del Combustible Nuclear (ver sección 2.1.).

Siempre que opere de manera normal, las descargas producidas por las instalaciones nucleares producen una irradiación baja del ambiente.

En general se puede decir que mientras más lejos viva una persona de una instalación nuclear, menor será la dosis de radiación que recibirá.

Dichas instalaciones liberan distintos tipos de radionucleidos, que tienen diferentes períodos de desintegración. La mayoría tiene sólo relevancia local (debido a su veloz desintegración), mientras que otros (radionucleidos) viven lo suficiente como para ser dispersados por el mundo a lo largo de su decaimiento; otros permanecen en el ambiente prácticamente para siempre.

Las tareas de mantenimiento son las que mayores descargas generan en una central nuclear.

Prácticamente la totalidad de la radiación emitida por una instalación nuclear es absorbida por la población local y regional (situadas hasta unos pocos cientos de kilómetros de dichas instalaciones).

❖ Exposición ocupacional

Las personas que trabajan en la industria nuclear son las que reciben las mayores dosis de radiación producto de la misma, incluso reciben más dosis de esta fuente que de las fuentes naturales.

Por ejemplo, en el caso de los reactores de agua pesada (todas las centrales argentinas son de este tipo), así como los de agua a presión y agua en ebullición, los trabajadores reciben dosis promedio del orden del doble de las causadas por fuentes naturales.

❖ Otras fuentes

Podemos mencionar el uso de radionucleidos para los relojes pulsera luminosos (que contienen radio, tritio o promecio-147), iluminación de señales de salida de emergencia, brújulas, aparatos de puntería en armas, diales de teléfono, cepillos anti-estáticos que usan emisores alfa para quitar el polvo a equipos

fotográficos, detectores de humo, en el interior de televisores (producción de rayos-X).

En el siguiente gráfico se muestran las dosis equivalentes efectivas promedio anuales correspondientes a cada fuente:

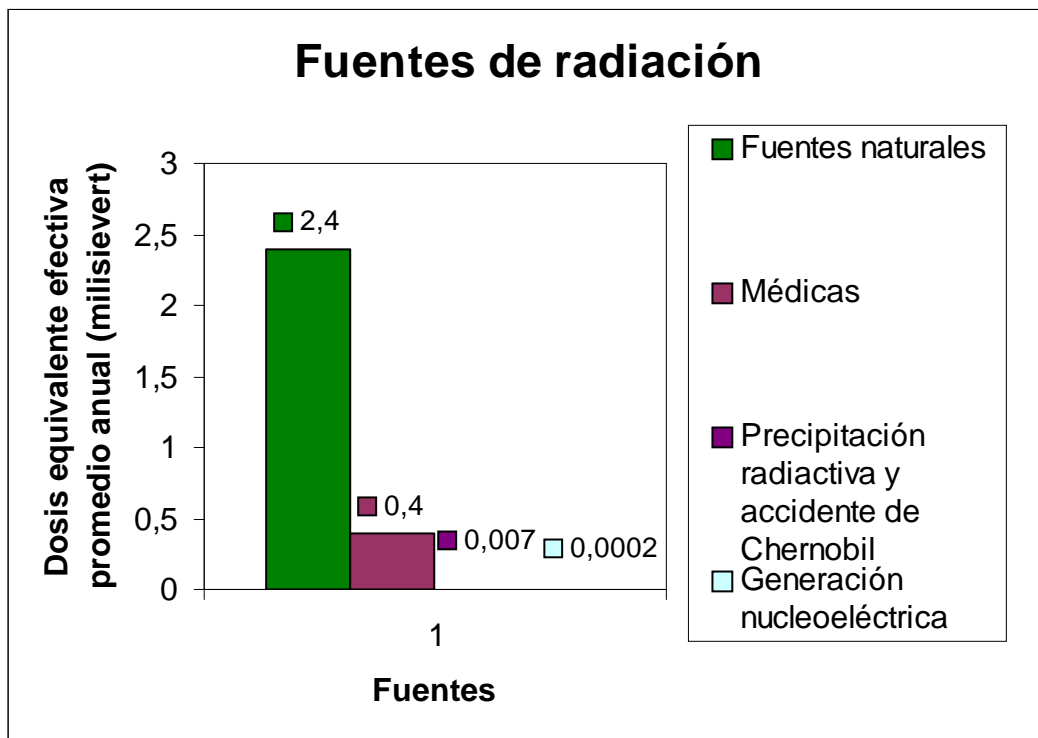


Gráfico N° 1: Fuentes de radiación  
Elaboración propia con datos de la Autoridad Regulatoria Nuclear, 2002.

## 2. EL CICLO DEL COMBUSTIBLE NUCLEAR

### 2.1. Ciclo del Combustible Nuclear

El *Ciclo del Combustible Nuclear (CCN)* es la secuencia de operaciones y procesos que permiten llegar, desde los estudios geológicos para determinar la existencia de uranio, pasando por la extracción del mineral de uranio de la naturaleza, hasta la fabricación del combustible que se usa en el reactor nuclear y la posterior gestión que se da a los residuos generados en el mismo. Generalmente estas operaciones se dividen en 3 etapas: Parte inicial del ciclo, Irradiación en el reactor y Parte final del ciclo, incluyendo cada una<sup>6</sup>:

#### I. Parte inicial del ciclo

1. Prospección y exploración geológica
2. Extracción del mineral uranio de la mina y concentración
3. Tratamiento del mineral para obtener dióxido de uranio (purificación y conversión)
4. Enriquecimiento
5. Fabricación del combustible

<sup>6</sup> Dentro de las etapas del CCN, las que aparecen en color gris son las que se presentan en la Central Nuclear Embalse.

## II. Irradiación en el Reactor nuclear

1. Uso del combustible en el reactor
2. Operación
3. Mantenimiento

## III. Parte final del ciclo

1. Tratamiento del combustible gastado: almacenamiento temporal en piletas
2. Disposición final del combustible gastado y otros residuos radiactivos
3. Reprocesamiento (eventual)

En la Central Nuclear Embalse se cumplen la segunda etapa del CCN (Irradiación en el Reactor Nuclear), además del almacenamiento provisorio en piletas del combustible gastado y residuos radiactivos de baja y media actividad y vida corta y vida larga, correspondientes a la Parte Final del Ciclo.

A continuación se describen cada una de las tres etapas del ciclo.

### I. Parte inicial del ciclo

Comienza con la prospección y exploración geológica, luego continúa con la explotación del mineral de uranio y finaliza para dar paso a la etapa de irradiación en el Reactor Nuclear, cuando el combustible fabricado ingresa al mismo para ser utilizado.

I.1. Prospección y exploración geológica: se refiere a la búsqueda de yacimientos uraníferos. En nuestro país, los primeros estudios se realizaron en 1938, en las provincias de Córdoba y San Luis.

I.2. Extracción del mineral uranio de la mina: la explotación de minas de uranio puede ser subterránea o a cielo abierto, dependiendo de la forma en que se encuentre el mineral. En los complejos mineros se genera acumulación de materiales, que puede ser útil, como las pilas de lixiviación donde se acopian las colas de mineral, o que no sirven, como las escombreras donde se acumula la roca residual.

I.3. Concentración: una vez que el mineral de uranio es extraído, es sometido a un proceso de concentración: mediante procesos físico-químicos se aumenta hasta valores superiores al 70% el contenido de uranio, obteniendo  $U_3O_8$ , denominado Concentrado Comercial de Uranio. Se utilizan aquí compuestos ácidos o alcalinos, para disolver el uranio y obtener una solución diluida. Para precipitar el concentrado (cuyo resultado es la obtención del "yellow cake" o torta amarilla) se utiliza sosa, amoníaco o cal.

I.4. Tratamiento del mineral para obtener dióxido de uranio (purificación y conversión): en esta etapa se somete el "yellow cake" (obtenido del proceso de concentración) a procesos de refinación, purificación y conversión. En una primera instancia se realiza la purificación nuclear para luego pasar a la conversión a dióxido de uranio ( $UO_2$ ). Se utilizan aquí compuestos tales como ácido nítrico (corrosivo y posiblemente explosivo) y fluoruro de hidrógeno (tóxico), que son potenciales factores de contaminación, si no son tratados adecuadamente.

I.5. Enriquecimiento: en nuestro país se utiliza uranio levemente enriquecido (ULE) para la Central Nuclear Atucha I, y uranio natural para la Central Nuclear Embalse. El enriquecimiento implica aumentar la proporción del isótopo uranio-235 en el uranio extraído de la naturaleza, ya que es éste el isótopo que produce la fisión nuclear. El proceso consiste en la conversión del dióxido de uranio ( $UO_2$ ) a hexafluoruro de uranio

(UF<sub>6</sub>) (proceso en el que se usa flúor, elemento venenoso y corrosivo), para luego separar los átomos más pesados del uranio mediante el método de difusión gaseosa. Se obtiene de esta manera un material con mayor contenido del isótopo uranio-235.

**1.6. Fabricación del combustible:** los insumos para la fabricación del combustible nuclear son fundamentalmente dos: por una parte el polvo de dióxido de uranio, y por otra los tubos de zircaloy (una aleación de circonio). Se obtienen pastillas de aproximadamente 1,5 cm de alto y 1 cm de diámetro, que luego se introducen en las varillas de zircaloy. Éstas son a su vez insertadas en grupos de 15 a 20 en tubos especiales denominados vainas, formando el conjunto combustible.

Hasta aquí, los residuos que se generan son elementos radiactivos naturales (fundamentalmente uranio). Dado que éstos son valiosos y recuperables, es poca la cantidad de residuos que finalmente se deben disponer.

## II. Irradiación en el Reactor Nuclear

En esta etapa es cuando se utiliza el combustible nuclear<sup>7</sup> en el reactor para la generación de energía a través del proceso de fisión nuclear.

Para controlar la reacción en cadena que se produce en el núcleo del reactor, se utilizan varillas compuestas por materiales como el cadmio o el boro, que regulan el flujo de neutrones a través de su absorción. Esto sirve para que la reacción en cadena se sustente por sí misma, y para impedir que el núcleo del reactor se sobrecaliente. Si esto último ocurriera, se podrían liberar materiales radiactivos al medio.<sup>8</sup>

El reactor comienza a funcionar (se arranca) por medio de una fuente emisora de neutrones con la que se bombardean los núcleos; se detiene insertando las varillas de control más profundamente en el núcleo de reactor, donde se lleva a cabo la fisión. El núcleo del reactor también contiene un *moderador*, que reduce la velocidad de los neutrones para que el combustible los pueda capturar con más facilidad. Un *líquido de enfriamiento* circula a través del núcleo del reactor para llevarse el calor que genera la fisión nuclear.

Dado que los productos de fisión se van acumulando durante el funcionamiento del reactor, disminuyendo su eficiencia para capturar neutrones, es necesario reemplazar las varillas de combustible. Lo que ocurre es que se imposibilita la reacción en cadena autosostenida debido a que es mayor la absorción de neutrones que el número de éstos generado por las fisiones, como consecuencia de la reducción de isótopos de uranio, la aparición de isótopos de plutonio, los elementos transuránicos y los fragmentos de fisión<sup>9</sup>.

Al extraerse del reactor, las varillas de combustible son muy radiactivas, por lo que deben almacenarse por un tiempo en piletas de enfriamiento especialmente diseñadas a tal fin. Pero esto forma parte ya de la Parte final del ciclo.

Antes de pasar a la misma, nos referiremos a los residuos generados en la etapa de Irradiación en el Reactor.

Se generan en esta instancia los elementos radiactivos artificiales resultantes del proceso de fisión nuclear. Además del combustible gastado, se generan otros residuos en tareas de operación y de mantenimiento.

En el caso de las tareas de operación, se generan: residuos radiactivos en muy pequeñas cantidades que contaminan el circuito de refrigeración de agua (por la contaminación externa de los elementos combustibles y por las pequeñas fugas posibles de los mismos); filtros de agua (elementos que se desprenden por abrasión y son retenidos por los filtros); residuos líquidos por la purga del circuito; filtros de aire; y elementos de usar y tirar como guantes, estopa, etc.

---

<sup>7</sup> El mencionado combustible nuclear se refiere al conjunto combustible resultante del último paso de la Parte Inicial del Ciclo.

<sup>8</sup> T. Brown, "Química: La ciencia central", 1998.

<sup>9</sup> "El uranio es energía", CORDOBENSIS

En las tareas de mantenimiento los residuos que se generan son elementos mecánicos: herramientas, útiles, etc., producto de la reparación o sustitución de equipos o tuberías. Las tareas de mantenimiento son las que mayores descargas generan en una central nuclear.

### III. Parte final del ciclo

La etapa final del ciclo es la que se ocupa de la gestión de los residuos radiactivos.

Esta gestión será distinta dependiendo del tipo de residuo de que se trate. Los residuos radiactivos se pueden clasificar en:

- Residuos de Baja y Media Actividad y Vida Corta: producen radiaciones beta y gamma, y alfa en menor medida, con períodos de semidesintegración inferiores a 30 años. Ejemplos de los radioisótopos más representativos de estos residuos son el cesio-137 (período de semidesintegración de 30 años) y el estroncio-90 (período de semidesintegración de 28 años), ambos productos de fisión del uranio.

En una central nuclear, son los residuos de tareas de operación y mantenimiento. Su tratamiento implica la incorporación de los residuos en una matriz sólida, y su almacenamiento temporario en piletas, para luego ser trasladados a instalaciones de almacenamiento superficial con barreras de ingeniería.

- Residuos de Baja y Media Actividad y Vida Larga: presentan características semejantes a los anteriores (residuos de vida corta), pero contienen un nivel superior de emisores alfa. Estos residuos provienen de tareas de operación y mantenimiento, entre los que encontramos las varillas de combustible. Su tratamiento es semejante al de los residuos de baja y media actividad y vida corta, pero su disposición final (almacenamiento definitivo) debe ser en formaciones geológicas profundas.
- Residuos de Alta Actividad: producen radiaciones alfa, beta y gamma. El combustible gastado forma parte de estos residuos, que son sometidos a un proceso de vitrificación o incorporación en una matriz sólida. Luego son almacenados temporalmente en piletas de enfriamiento, hasta ser dispuestos de manera definitiva en formaciones geológicas profundas, siendo antes incorporados a contenedores metálicos.

Para los radioisótopos emisores beta-gamma el período de decaimiento es de 700 a 1000 años, mientras que para los emisores alfa este período asciende hasta los 10.000 o 100.000 años.<sup>10</sup>

Mientras permanece en el núcleo del reactor, el combustible es irradiado, razón por la que cuando es retirado como combustible gastado constituye un residuo peligroso (radiactivo)<sup>11</sup>; se trata de una mezcla de uranio enriquecido, plutonio y productos de fisión.

Es necesario entonces propiciarle un tratamiento adecuado, que radica en mantenerlo en piletas para su refrigeración (ya que sigue emitiendo calor) de 30 a 50 años, y luego encapsularlo para aislarlo de la biosfera. Esta encapsulación consiste en la incorporación del residuo en una matriz sólida (que puede ser de vidrio al borosilicato), su posterior incorporación en contenedores metálicos resistentes a condiciones oxidantes o reductoras y finalmente su introducción en una estructura de cemento u hormigón, para ser luego depositado en instalaciones de almacenamiento superficial con barreras de ingeniería o en formaciones geológicas profundas, que constituyen el repositorio o vertedero final<sup>12</sup> del combustible

<sup>10</sup> Se considera que una vez transcurrido el tiempo estimado, se alcanzarían los valores de radiación de fondo.

<sup>11</sup> El combustible gastado se constituirá en un residuo peligroso siempre y cuando no sea reprocesado posteriormente.

El destino del combustible gastado de la CNE no está definido aún.

<sup>12</sup> El uso de los términos "vertedero final" y "repositorio final" es indistinto.

gastado. Estas formaciones geológicas deben ser resistentes a los fenómenos naturales, como erosión, glaciaciones, sismos y vulcanismo.

Se realiza el mismo procedimiento para gestionar los otros residuos radiactivos generados en la operación y mantenimiento del reactor.

La CNE cuenta en sus instalaciones con piletas de enfriamiento para cumplir con la primera instancia de la gestión de los residuos, además del almacenamiento seco en silos.

Por otra parte, también puede optarse por el reproceso del combustible gastado en lugar de destinarlo directamente a disposición final. Nuestro país aún no ha determinado qué alternativa optará.

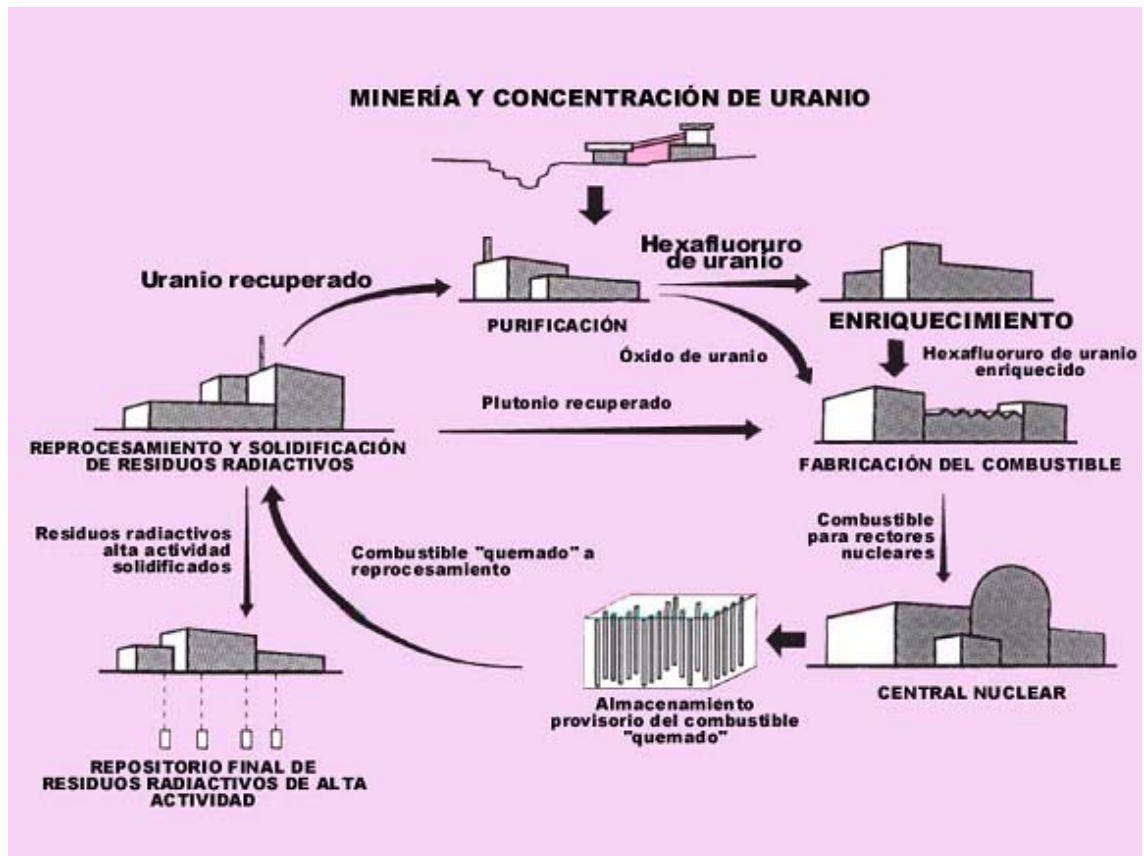


Figura Nº 1: Ciclo del Combustible Nuclear  
Fuente: caebis.cnea.gov.ar

### Ciclo abierto y Ciclo cerrado

Existen dos caminos alternativos una vez que el combustible ya ha sido usado en el reactor: puede retirarse y ser acondicionado para su disposición definitiva en el repositorio final (*ciclo abierto*), o puede extraerse del mismo el uranio remanente para reprocesarlo y fabricar nuevo combustible a partir de él (*ciclo cerrado*).

En el último caso, cabe mencionar que los fundamentos que dan origen a esta alternativa de gestión del combustible gastado son, por un lado, que cuando éste se retira del reactor aún contiene material fisionable (uranio-235 y plutonio, que pueden seguir siendo usados para generar energía); y por otro, que de esta manera se reduciría el nivel de radiactividad del residuo destinado a disposición final (pasando de un período de almacenamiento de 5000 años a otro de 800 años).

Sin embargo, esta reducción del periodo de almacenamiento de los residuos radiactivos no resulta significativa a escala de vida humana. El reprocesamiento no es económico, ya que debido a los elevados niveles de radiactividad que se manejan a lo largo del proceso, se



requiere de una tecnología compleja y de alto costo, que se traslada al precio de la energía generada (este aumento está dentro del 7%<sup>13</sup> y 10%<sup>14</sup>).

### 3. ACTIVIDAD NUCLEAR EN ARGENTINA

#### 3.1. Inicio de la actividad Nuclear en Argentina

En el contexto internacional, Argentina era vista con desconfianza, lo que obligó al desarrollo interno de tecnologías y equipamientos que el exterior se negaba a proveer, o sobre los que se establecían condicionantes considerados inaceptables.

En 1950 se crea la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), ante la necesidad de dar un marco administrativo a las tareas que se realizaban en la Isla Huemul. De esta manera el interés nacional por el desarrollo nuclear del país tomó estado público.

La formación de recursos humanos en torno a la temática nuclear fue uno de los sellos que llevó por mucho tiempo la Política Nuclear Argentina.

El desarrollo nuclear argentino puede separarse en las siguientes etapas:

- Etapa de formación (1950-1958)
  - o Creación de la CNEA, y de los primeros grupos de trabajo en Investigación y Desarrollo; se da la capacitación de personal técnico científico en centros de países más adelantados en el tema.
  - o Creación del Instituto de Física Balseiro (1955)
  - o Generación de las bases para el cuerpo normativo de seguridad radiológica y nuclear
  - o Construcción del primer reactor experimental en el país (RA-1)
  - o En esta etapa los esfuerzos se dedicaron fundamentalmente a la formación de personal especializado.
  - o Desde un comienzo la política de la CNEA fue de producir en el país los elementos combustibles para abastecer los reactores a construir. Las posibilidades uraníferas del país, motivo de preocupación de la CNEA, permitía encarar un plan independiente con abastecimientos nacionales.
- Etapa de Transición (1959-1967)
  - o Construcción de un reactor de irradiación para investigación (RA-3) y fabricación de elementos combustibles para el mismo
  - o Aplicación de radioisótopos en medicina, biología, industria y en el sector agropecuario.
  - o Se encaró un estudio de factibilidad para la instalación de la primera central nuclear del país<sup>15</sup>.
  - o En 1965, en Malargüe, provincia de Mendoza, se instala la primera planta convencional de producción de concentrado de uranio (material utilizado para la fabricación de combustible nuclear)
  - o En 1967 la explotación uranífera se consolida, con miras a abastecer la primera central nuclear.
- Etapa de consolidación (1968-1983)
  - o Se logra el dominio de tecnologías del *ciclo del combustible nuclear* y de producción de agua pesada (utilizada como moderador en el núcleo del reactor de una central nuclear)
  - o En 1974 entra en operación la primera central nuclear de Argentina: Atucha I (CNA-I)

<sup>13</sup> "El libro de la energía", FAE, 1992

<sup>14</sup> "El uranio es energía", CORDOBENSIS

<sup>15</sup> En ese momento aún no se sabía dónde se ubicaría. Finalmente se optó por el sitio donde hoy está Atucha I.

- En 1977 los objetivos y las políticas nucleares se orientaban al logro de la autosuficiencia para desarrollar un programa independiente, que apuntara a dos intereses nacionales: la satisfacción de la demanda energética futura del país, y lograr la máxima autonomía en el uso de la energía nuclear
- En 1983 entra en operación la Central Nuclear de Embalse (CNE)
  
- Etapa del estancamiento (1983-1990)
  - Se da un acercamiento entre Brasil y Argentina
  - El estancamiento se debe a: un cambio en el enfoque de las Relaciones Internacionales en lo nuclear desde la caída de la URSS, y la indisponibilidad de recursos económicos en el ámbito de las actividades estatales.
  
- Etapa de la "nueva" Política Nuclear Argentina (1990-2000)
  - Pérdida de entusiasmo por la tecnología nuclear
  - Separación de funciones: - regulación y control estatales
    - I+D participación privada
    - producción de realización privada
  - Debido a la falta de apoyo financiero, la actividad nuclear se divide en: actividades científico-tecnológicas a cargo de la CNEA, operación de centrales nucleares a cargo de la NA-SA<sup>16</sup>, y actividades de regulación y control a cargo de la ARN<sup>17</sup>.

### 3.2. Política nuclear actual: reactivación

Luego de haber perdido el interés por la actividad nuclear, en 2003 con la asunción de un nuevo gobierno<sup>18</sup>, se restablece la actividad del Sector Nuclear Argentino hacia el camino de la recuperación de sus objetivos estratégicos.

Los dos objetivos principales de la reactivación son:

1. La generación masiva de energía nucleoelectrónica;
2. Las aplicaciones de la tecnología nuclear a la salud pública y en la industria.

La mayor muestra de esta reactivación lo representa la decisión de finalizar las obras de la Central Nuclear Atucha II para 2010, detenidas por cerca de 20 años.

A continuación se da un listado de las distintas aristas implicadas en el nuevo Programa Nuclear Argentino:

- Reactivación de áreas científicas, tecnológicas e industriales asociadas al campo nuclear nacional
- Formación de personal especializado
- Extensión de Vida de la Central Nuclear de Embalse por un período de aproximadamente 25-30 años<sup>19</sup>
- La puesta en marcha de la Planta de producción de Agua Pesada ubicada en la Provincia de Neuquén para el suministro a Atucha II<sup>20</sup>
- Reapertura de la mina de uranio Don Otto, ubicada en la provincia de Salta, para retomar las actividades de producción de uranio

---

<sup>16</sup> Más adelante se dedica un espacio exclusivo para su descripción.

<sup>17</sup> Ídem nota 2.

<sup>18</sup> En 2003 inicia el mandato presidencial del Dr. Néstor Kirchner.

<sup>19</sup> Informe Nacional de Seguridad Nuclear 2007.

<sup>20</sup> Esta planta suministrará 600 toneladas de agua pesada a Atucha II por un lapso de 3 años.

- Reanudar las actividades de Enriquecimiento en el Complejo Tecnológico Pilcaniyeu, provincia de Río Negro
- Proyecto del prototipo del Reactor CAREM de baja potencia, 25 Mw, de diseño nacional (tiene por objeto finalizar el estudio de factibilidad e ingeniería básica para la instalación de una cuarta central nuclear en el país)
- Inauguración en el ámbito del Hospital Nacional Roffo, del Centro de Diagnóstico por Imágenes más moderno de Sudamérica, basado en técnicas nucleares y dedicado a las áreas de oncología, cardiología y neurología. En este Centro se desarrollarán tareas asistenciales de servicio público, investigación en ciencias médicas y formación de recursos humanos en medicina nuclear

### 3.3. Autoridades y Organismos relacionados a la Actividad Nuclear

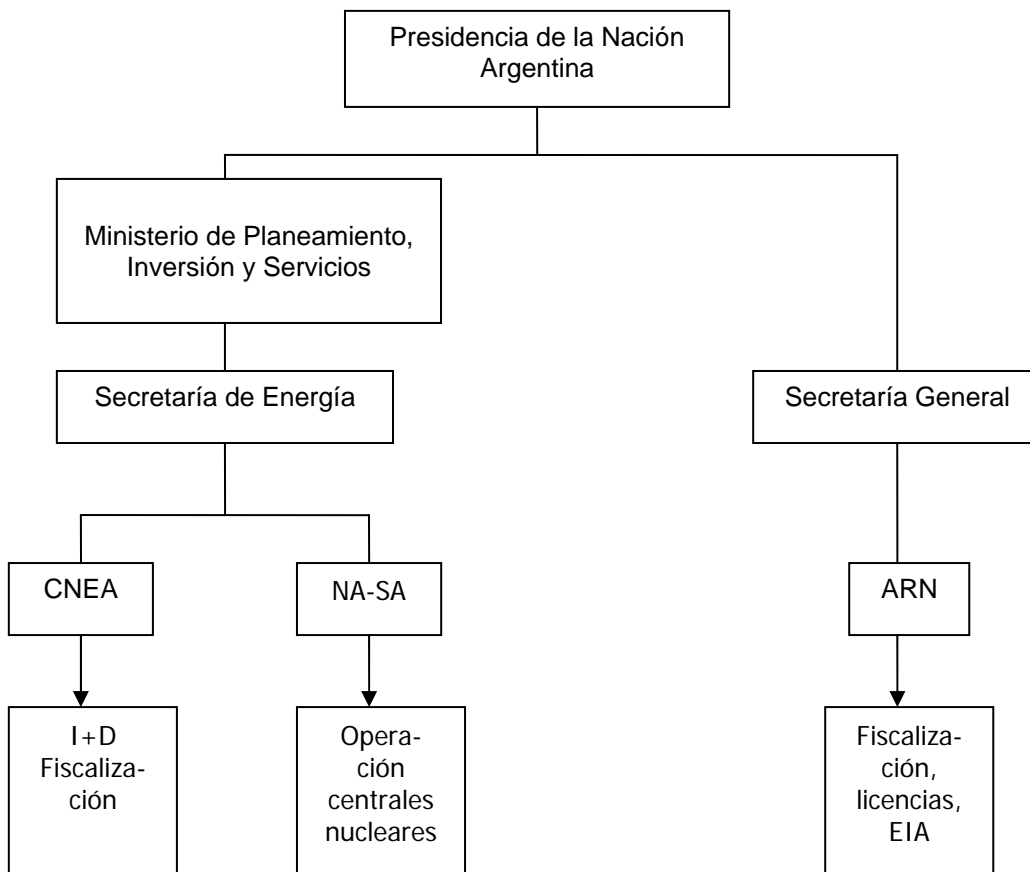


Figura N° 2: Autoridades y Organismos Nacionales del Sector Nuclear

#### 3.3.1. Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA)

La Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) es un organismo autárquico que depende del Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios, a través de la Secretaría de Energía.

Fue creada el 31 de mayo de 1950 por el Decreto N° 10.936/50, dando inicio a la incorporación de la Argentina en el campo nuclear. Sus actividades actuales se relacionan a la investigación y

el desarrollo científico-tecnológico, al ciclo de combustible nuclear (incluida la gestión de los residuos), a los radioisótopos y las fuentes de radiación, a la capacitación especializada en temas del área nuclear (formación de recursos humanos), además de la de prestación de servicios<sup>21</sup>. La cooperación internacional también está dentro del marco de sus actividades.

Cuatro grandes áreas temáticas enmarcan las actividades de I+D de la CNEA:

- Energía Nuclear
- Aplicaciones Nucleares
- Seguridad Nuclear y Ambiente
- Investigación y Aplicaciones No Nucleares

La CNEA cuenta con una Sede Central; tres Centros Atómicos: Bariloche, Constituyentes y Ezeiza; un Complejo Tecnológico: Pilcaniyeu; y un Complejo Minero Fabril en San Rafael (Provincia de Mendoza), cada uno con perfil propio. Dispone, además, de cuatro 4 Delegaciones Regionales: Centro (Córdoba), Cuyo (Mendoza), Noroeste (Salta) y Patagonia (Trelew).

Sus objetivos son:

- Como parte del Estado Nacional: Asesorar al Poder Ejecutivo en la definición de la política nuclear. Ejercer la responsabilidad de la gestión de residuos radiactivos. Ejercer la propiedad de materiales radioactivos fisionables especiales.
- Como Institución de Investigación y Desarrollo en el área nuclear: Realizar tareas de investigación y desarrollo y de formación de recursos humanos; determinar la forma de retiro de servicio de instalaciones nucleares relevantes; llevar a cabo programas en las áreas de reactores nucleares, ciclo de combustibles nucleares, aplicaciones de radioisótopos y radiaciones y gestión de residuos.
- Como laboratorio nacional: Realizar investigaciones y desarrollos en las ciencias base de la tecnología nuclear; efectuar transferencias y adaptaciones de tecnologías aún al sector no nuclear; prestar servicios especializados.

Según el artículo N° 2 de la Ley Nacional de Actividad Nuclear N° 24804, incisos d), e), f) y g), corresponde a la CNEA:

- Ejercer la responsabilidad de la gestión de los residuos radiactivos cumpliendo las funciones que le asigne la legislación específica.
- Determinar la forma de retiro de servicio de centrales de generación nucleoelectrica y de toda otra instalación radiactiva relevante.
- Prestar los servicios que le sean requeridos por las centrales de generación nucleoelectrica u otra instalación nuclear.
- Ejercer la propiedad estatal de los materiales radiactivos fisionables especiales contenidos en los elementos combustibles irradiados.

### **3.3.2. Nucleoelectrica Argentina Sociedad Anónima (NA-SA)**

Nucleoelectrica Argentina S.A. es una empresa que tiene responsabilidades en las tres centrales nucleares argentinas:

- Central Nuclear Atucha I: NA-SA se dedicada a la generación de energía eléctrica
- Central Nuclear Atucha II: NA-SA se encarga del mantenimiento, construcción y puesta en marcha de esta central.
- Central Nuclear Embalse: NA-SA se dedicada a la generación de energía eléctrica y producción de Cobalto-60.

---

<sup>21</sup> Navarro, N.R., "Regulación de la energía nuclear en Argentina"

NA-SA cuenta con la implementación de un Sistema de Gestión Ambiental, certificado por la norma ISO 14001; y su política ambiental es la siguiente:

- Prevenir la contaminación: realizar un esfuerzo continuo para prevenir la contaminación y minimizar el impacto ambiental adverso derivado de sus actividades de generación nucleoelectrónica y operar las instalaciones haciendo uso racional de la energía y los recursos naturales.
- Adaptar continuamente la gestión ambiental a la normativa aplicable: cumplir la legislación ambiental aplicable a las distintas instalaciones y actividades de Nucleoelectrónica Argentina S.A. y otros requisitos suscriptos por la organización.
- Promover la capacitación del personal en el cuidado del ambiente: capacitar y entrenar al personal de modo que sea consciente de las consecuencias de sus tareas en la seguridad y el ambiente.
- Favorecer la comunicación interna y externa: comunicar su Política Ambiental a todo el personal y ponerla a disposición de las partes interesadas que la soliciten. Informar a los clientes y al público en general sobre los beneficios de la opción nuclear y su contribución a la preservación del ambiente.
- Evaluar los riesgos potenciales de los nuevos proyectos y minimizar los impactos ambientales durante su ejecución.
- Mejorar continuamente su desempeño ambiental: Procurar la mejora continua mediante la evaluación sistemática y periódica de la gestión ambiental

### 3.3.3. Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN)

La Autoridad Regulatoria Nuclear es una entidad autárquica en jurisdicción de la Presidencia de la Nación, y tiene la función de regular y fiscalizar la actividad nuclear en todo lo referente a los temas de seguridad radiológica y nuclear, protección física y fiscalización del uso de materiales nucleares, licenciamiento y fiscalización de instalaciones nucleares y salvaguardias internacionales. Debe asimismo asesorar al Poder Ejecutivo Nacional en las materias de su competencia.

Según la Ley N° 24804, son facultades de la ARN, principalmente:

- Dictar las normas regulatorias referidas a los temas de su competencia.
- Otorgar, suspender y revocar las licencias de construcción, puesta en marcha y operación y retiro de servicio de centrales de generación nucleoelectrónica.
- Otorgar, suspender y revocar licencias, permisos o autorizaciones en materia de minería y concentración de uranio, de reactores de investigación, de aceleradores relevantes, de instalaciones radiactivas relevantes, de instalaciones para la gestión de residuos radiactivos y de aplicaciones nucleares en las actividades médicas e industriales.
- Aplicar sanciones, las que deberán graduarse según la gravedad de la falta.
- Otorgar las licencias, permisos y autorizaciones específicas habilitantes al personal que se desempeñe en instalaciones nucleares.
- *Disponer el decomiso de los materiales nucleares o radiactivos*, así como también clausurar presuntamente las instalaciones sujetas a la regulación de la ARN cuando se desarrollen sin la debida licencia, permiso o autorización o ante la detección de faltas graves a las normas de seguridad radiológica y nuclear y de protección de instalaciones.
- *Evaluar el impacto ambiental* de toda actividad que licencie.

Para las dos últimas facultades es conveniente aclarar que, según el Art. 16 de la Ley Nacional de Actividad Nuclear N° 24804, inciso i), se entiende por *falta grave* "al incumplimiento que implique una seria amenaza para la seguridad de la población o la protección del ambiente o cuando no pueda garantizarse la aplicación de las medidas de protección física o de salvaguardias"; y en su inciso m), se entiende por *evaluación de impacto ambiental* a "aquellas

actividades de monitoreo, estudio y seguimiento de la incidencia, evolución o posibilidad de daño ambiental que pueda provenir de la actividad nuclear licenciada”.

### 3.4. Centrales Nucleares Argentinas

Tanto Atucha I como Embalse son centrales de segunda generación, al igual que será Atucha II.

En el siguiente cuadro se muestran las características de las centrales nucleares existentes en la Argentina.

Característica Central Nuclear	Inicio de operación	Tipo de reactor	Combustible	Moderador	Potencia eléctrica neta
<b>Embalse</b>	1983	CANDU (tubos de presión)	Uranio natural	Agua pesada	600 MW
<b>Atucha I</b>	1974	Recipiente de Presión	Uranio levemente enriquecido (0.85%)	Agua pesada	335 MW
<b>Atucha II</b>	En construcción. Fecha prevista: 3 <sup>er</sup> cuatrimestre de 2010	Recipiente de Presión	Uranio natural	Agua pesada	692 MW

Cuadro N° 3: Características de las centrales nucleares argentinas

#### 3.4.1. Central Nuclear Atucha I

La central nuclear Atucha I está ubicada a unos 100 Km. al noroeste de la ciudad de Buenos Aires, tiene una potencia eléctrica neta de 335 MW y comenzó a operar comercialmente en 1974. El reactor es del tipo PWR con recipiente de presión. De acuerdo al diseño original el combustible de Atucha I era uranio natural, pero recientemente se han incorporado elementos combustibles de nuevo diseño con uranio levemente enriquecido (0,85% en U-235). El reactor está moderado y refrigerado con agua pesada.

#### 3.4.2. Central Nuclear Atucha II

La central nuclear Atucha II se encuentra sobre la margen derecha del río Paraná, en el partido de Zárate a 115 km. de la ciudad de Buenos Aires. Comparte el sitio de emplazamiento de la CNA I, y aún no finaliza su construcción, iniciada en el año 1981. La obra se paralizó en los años 90, y continúa así en la actualidad, aunque ya hemos visto que su reanudación está contemplada en el nuevo Programa Nuclear Argentino.

Actualmente, la finalización de las obras (a cargo de NA-SA) y su incorporación a la matriz energética nacional, junto con la suma de su aporte de 692 MW al SADI (Sistema Argentino de Interconexión), forman parte del ya mencionado Plan de Reactivación Nuclear. Se prevé que para el segundo semestre del año 2010 Atucha II será puesta en marcha.

El reactor de esta central es de Recipiente a Presión, siendo el combustible que la alimenta y su moderador el uranio natural y el agua pesada, respectivamente.

### 3.4.3. Central Nuclear Embalse

La Central Nuclear Embalse (CNE) se encuentra en la provincia de Córdoba, aproximadamente a 110 km. de la capital homónima, sobre la margen sur del embalse del río Tercero (lago Embalse), en una pequeña península que recibe el nombre de Península de Almafuerde; se encuentra a 665m sobre el nivel del mar, y dista 8 km. de la localidad de Embalse.

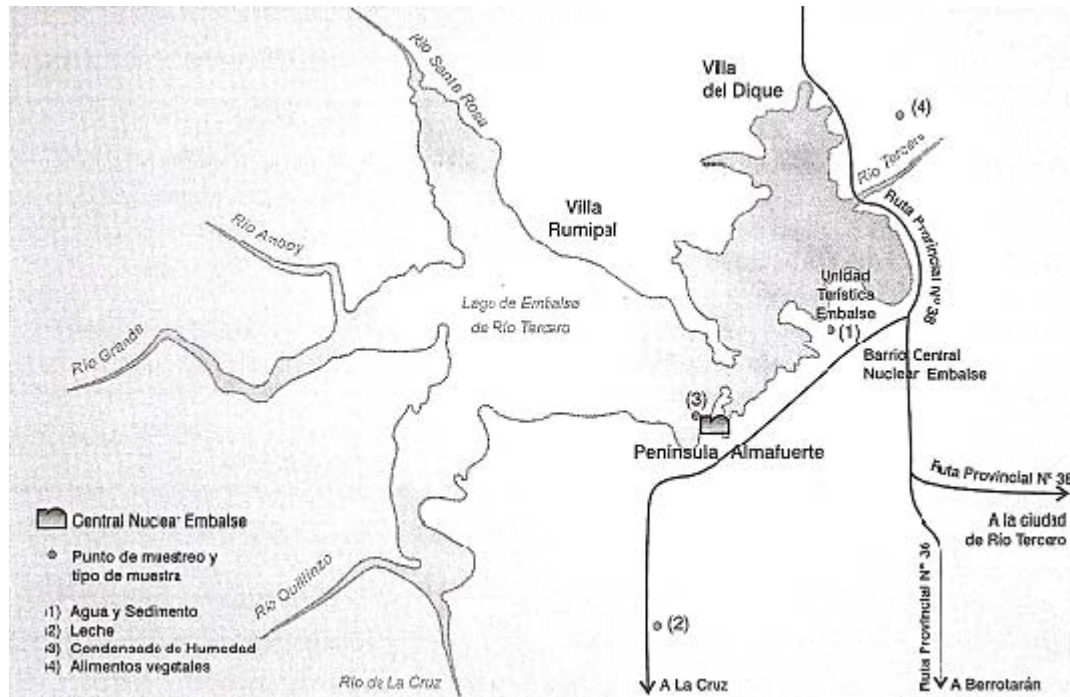


Figura N° 3: Alrededores de la Central Nuclear Embalse  
Fuente: ARN, 2001.

Este gran lago, cuya superficie es de 5.600 ha, recibe las aguas de los ríos Santa Rosa (desde el norte), Grande y Amboy (desde el oeste), Quillínz y La Cruz (desde el sur).

El dique de embalse nació con el objetivo de servir de base a las obras de irrigación de una central hidroeléctrica. Actualmente, existen tres centrales hidroeléctricas que aprovechan el embalse para su funcionamiento: Ingeniero Fitz Simon, Ingeniero Carlos Cassaffouth e Ingeniero Benjamín Reolín.<sup>22</sup>

La CNE comenzó su operación comercial el 20 de enero de 1984. Fue la segunda central nuclear en instalarse en Argentina, y constituye el equipo térmico más grande de Sudamérica. La central en cuestión tiene un reactor tipo CANDU (Canadian Uranium Deuterium), cuyo nombre es atribuido al uso de uranio natural como combustible y agua pesada como moderador. La carga y descarga del combustible se realiza durante la operación de la central, siendo esta una característica distintiva de este tipo de reactor.

Se produce en la CNE energía eléctrica y Cobalto-60 para aplicaciones médicas, de investigación e industriales. En cuanto a la energía, tiene una capacidad de generación de 648MW (megavatios), de los cuales 600MW son aportados al SADI, siendo los 48MW restantes utilizados para el consumo interno de la central.

Los 600MW aportados al SADI son entregados a través de tres transformadores de salida de la central, que elevan la tensión a 500KV.

La contribución porcentual de la CNE a la demanda energética de nuestro país es del 7% (según lo estimado para diciembre de 2005, INFORME CAMESSA).

<sup>22</sup> <http://www.villageneralbelgrano.com/embalse/index.asp?accion=4>

En promedio, a valores actuales de consumo por cápita, la CNE suministra la energía suficiente para cumplir los requerimientos de 3 a 4 millones de personas. La energía generada aporta a: Noroeste Argentino, Cuyo, Centro, Gran Buenos Aires-Litoral.

La CNE se ha constituido en uno de los principales abastecedores de Cobalto-60 no sólo en el mercado local, sino también a nivel mundial.

### 3.4.3.1. Funcionamiento del Reactor de la Central Nuclear Embalse

Existen diferentes tipos de reactores nucleares, según el tipo de combustible que los alimente, y el moderador y el refrigerante que utilicen.

Característica Tipo de reactor	Combustible	Moderador	Refrigerante
Reactor de Agua Ligera (LWR)	Uranio Enriquecido	Agua natural (H <sub>2</sub> O) Grafito	Agua natural (H <sub>2</sub> O)
Reactor de Agua a Presión (PWR)	Uranio Enriquecido	Agua natural (H <sub>2</sub> O) de un lago, río o torre de enfriamiento	Agua natural (H <sub>2</sub> O) a una presión de 150 atm.
Reactor de Agua en Ebullición (BWR)	Uranio Natural	Agua natural (H <sub>2</sub> O) de un lago, río o torre de enfriamiento	Agua natural (H <sub>2</sub> O) a una presión menor que la del RAP
CANDU (Canadian Uranium Deuterium) o Reactor de Agua Pesada (HWR)	Uranio Natural	Agua pesada (D <sub>2</sub> O)	Agua pesada (D <sub>2</sub> O)
Reactor Refrigerado por Gas (GCR)	Uranio Enriquecido	Agua Natural	Gas Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )

Cuadro N° 4: Tipos de reactores nucleares

Las emisiones de material radiactivo son diferentes según el tipo de reactor, y también son variables en el tiempo, según las tareas de mantenimiento requeridas cada año (ya que ésta es la principal fuente de descargas radiactivas de las centrales nucleoelectricas)<sup>23</sup>.

En el caso de la Central Nuclear Embalse, se utiliza un reactor de tipo CANDU, por lo cual, su combustible es el uranio natural, y su moderador y refrigerante agua pesada.

Describiremos su funcionamiento<sup>24</sup>:

**Combustible:** el reactor de la CNE es del tipo CANDU, alimentado por uranio natural, constituido en un 99.3% por el isótopo U-238 y en un 0.7% por U-235. Este último isótopo del uranio es el que más aporta al proceso de fisión, generando el mayor número de fisiones y, por lo tanto, el mayor número de neutrones que luego impactarán en otros núcleos.

**Moderador:** los reactores tipo CANDU utilizan agua pesada como moderador. A diferencia del agua liviana o natural (H<sub>2</sub>O), el agua pesada está compuesta por dos átomos de deuterio y uno de oxígeno (D<sub>2</sub>O). El deuterio es un isótopo del hidrógeno, con número másico (protones y neutrones) igual a 2 (dos). Gráficamente:

<sup>23</sup> "Radiación: Dosis, Efectos, Riesgos", CNEA, 1985.

<sup>24</sup> Central Nuclear Embalse, Provincia de Córdoba, Presidencia de la Nación, Comisión Nacional de Energía Atómica.



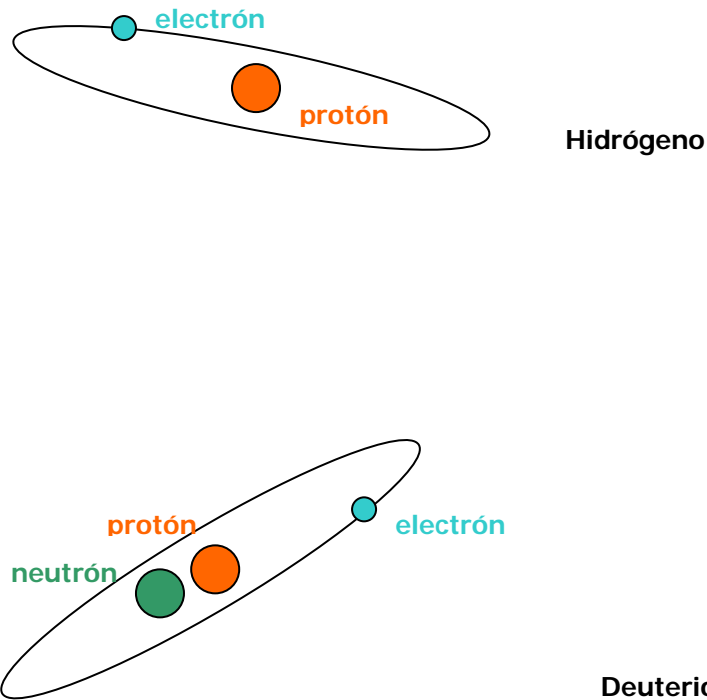


Figura N° 4: Átomos de hidrógeno y de deuterio

El *moderador* regula el flujo de neutrones (que son bombardeados hacia el núcleo del reactor) de manera tal de mantenerlo a la velocidad adecuada para generar la fisión. Cuando los neutrones pasan a través del agua pesada, van perdiendo velocidad al producirse choques entre ambos.

La razón por la cual se utiliza agua pesada y no agua liviana es que el uso de esta última disminuiría excesivamente la cantidad de neutrones disponibles para la fisión, lo que imposibilitaría el sustento de la reacción en cadena.

Reactor: está constituido por lo que se conoce como *calandria*, un tanque cilíndrico horizontal de acero inoxidable, por el cual circula el moderador (agua pesada). 380 *canales de elementos combustibles* atraviesan horizontalmente la calandria, dentro de cada uno de los cuales se alojan 12 *manojos de elementos combustibles*.

Los manojos de elementos combustibles están constituidos por *tubos de zircaloy* que encierran a su vez las pastillas de dióxido de uranio ( $UO_2$ ), el combustible nuclear propiamente dicho.

### CALANDRIA

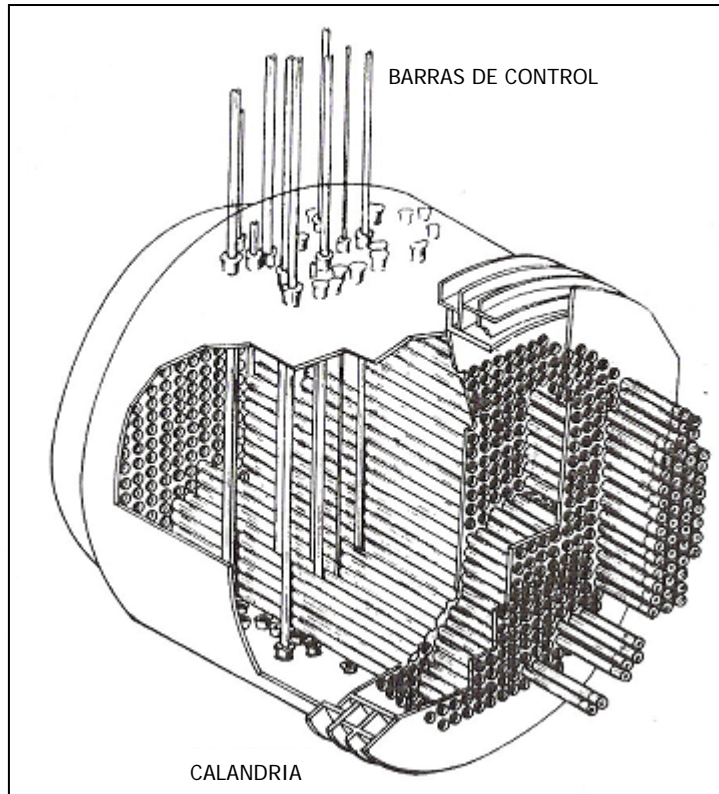


Figura N° 5: Calandria del reactor

### ELEMENTOS COMBUSTIBLES

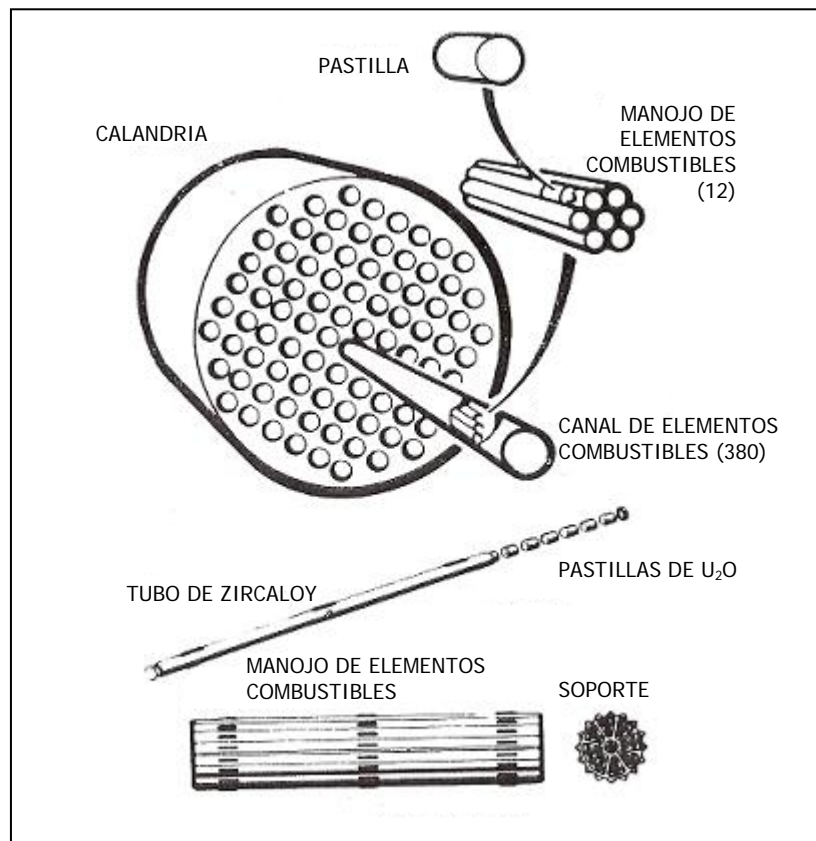


Figura N° 6: Elementos combustibles

Circuito primario: está compuesto por el agua pesada que se encuentra circulando en el interior de la calandria, y cuya función es la de transportar el calor generado en el núcleo del reactor a los generadores de vapor, donde se produce la transferencia térmica hacia el circuito secundario.

Para que esta agua pesada no hierva debido al calor liberado en la fisión nuclear, se mantiene presurizada para elevar su punto de ebullición por encima de la temperatura de operación.

Se trata de un circuito cerrado, ya que una vez que el agua ha transferido su calor a los generadores de vapor, retorna a los canales de los elementos combustibles por donde continúa circulando.

Circuito secundario: los *generadores de vapor* son tubos cilíndricos verticales que en su interior presentan tubos en U, por donde circula el agua pesada del circuito primario.

A través de las paredes de los tubos en U se transfiere el calor transportado por el agua pesada hacia el agua liviana o natural del circuito secundario, que se encuentra dentro de los tubos cilíndricos de los generadores, rodeando los tubos en U.

Esta agua liviana es transformada en vapor, destinado a accionar la turbina para la generación de energía eléctrica.

Una vez que esto ocurre, el agua liviana es condensada a través de su refrigeración con agua proveniente del lago Embalse, que circula por tubos dispuestos dentro del condensador. Una vez condensada, el agua retorna a los generadores de vapor a través de un sistema de bombeo, culminando así el circuito cerrado secundario.

Siempre se presentan radionucleidos en el agua de los circuitos, debido a la corrosión de los materiales. Estos radionucleidos son retenidos por filtros.

## GENERADOR DE VAPOR

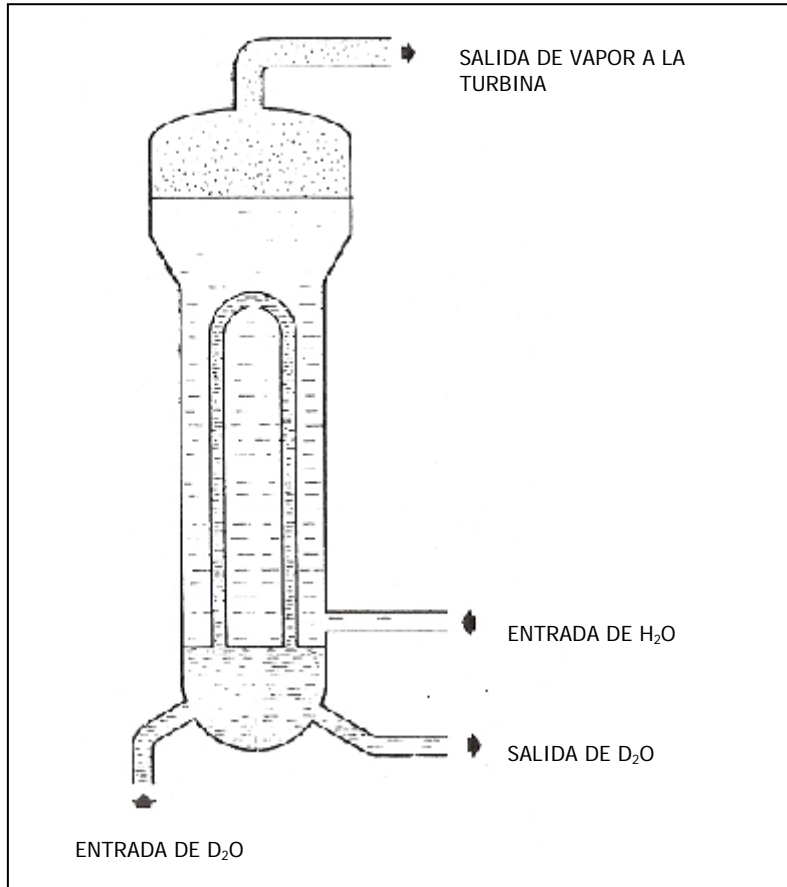
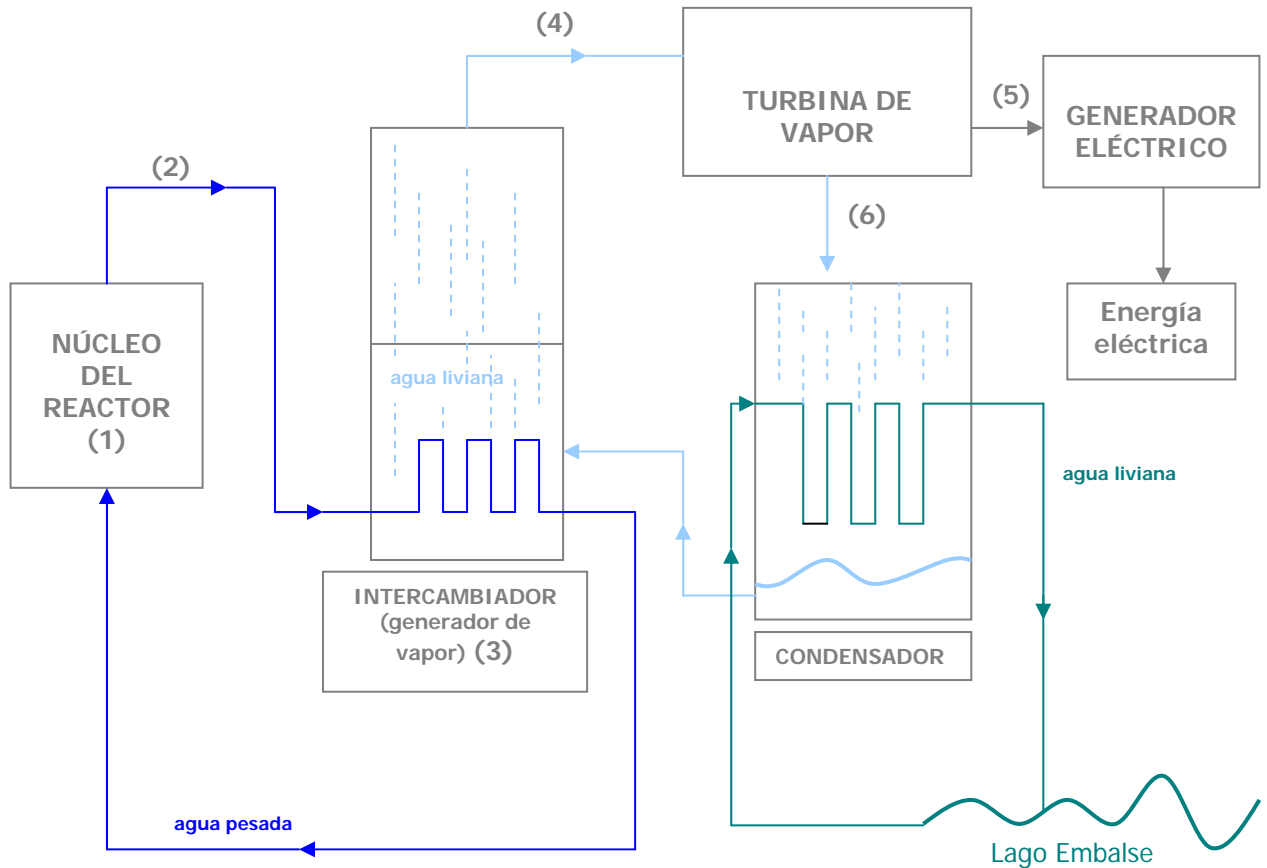


Figura N° 7: Generador de vapor

Sistema del moderador: también funciona con agua pesada, con el fin de moderar los neutrones provenientes de la fisión de elementos combustibles, de manera tal de lograr una reacción nuclear autosostenida.

Este proceso de moderación produce calor, por lo que el agua pesada de este sistema es bombeada hacia los intercambiadores de calor, en los que su calor es absorbido por agua del lago, que será nuevamente vertida al mismo. El agua pesada del moderador, ya enfriada, vuelve a la parte interior de la calandria.

### Funcionamiento del Reactor Nuclear



- Circuito Primario; circulación de agua pesada
- Circuito Secundario; circulación de agua liviana
- Circuito de refrigeración: circulación de agua liviana proveniente del Lago Embalse

Figura N° 8: Funcionamiento del reactor

(1) En el núcleo del reactor se produce la fisión del uranio, y la consecuente liberación de calor.

(2) La energía calórica es recogida por el refrigerante (agua pesada), fluyendo hacia el intercambiador.

(3) El generador de vapor (intercambiador) cuenta con tubos en su interior por los que fluye el agua pesada, que transfiere su calor al agua liviana que rodea esos tubos, generando así el vapor.

(4) El vapor llega a una turbina donde su energía térmica se transforma en energía mecánica.

(5) La rotación de la turbina (motivada por el vapor) activa un alternador, produciéndose de esta manera la energía eléctrica.

(6) Luego de haber movido la turbina, el vapor es condensado gracias al aporte de frío del agua liviana que se extrae del Lago Embalse. El vapor ya condensado reanuda el circuito al volver al intercambiador.

Una vez que se produce la acción refrigerante, el agua del lago se descarga en un canal de 7 km de largo para propiciar su enfriamiento antes de llegar al Embalse.

### 3.4.3.2. Gestión Ambiental de la Central Nuclear Embalse

Nucleoeléctrica Argentina S.A. (Na-Sa) ha llevado a cabo la certificación de la Norma ISO 14001 de Sistemas de Gestión Ambiental, de forma conjunta para las dos centrales nucleares del país que actualmente se encuentran en operación (Atucha I y Embalse).

Esto implica que la CNE cuenta con procedimientos para la gestión de sus aspectos ambientales, entre los que encontramos y describimos a continuación:

#### Emisiones gaseosas:

- Gases Nobles: Ar-41; Xe-133; Xe-135; Cr. Estos gases se dirigen a una zona llamada *inaccesible*, en la que no puede ingresar personal durante la operación del reactor. Allí, los gases permanecen alrededor de 5 días, tiempo en el que decaen, y en el que se renueva el aire del edificio.
- Aerosoles: son productos de fisión y activación varios. Entre ellos encontramos Cs-137, Co-60, Mn-54, Zr-95 y Nb-95. Son retenidos con filtros absolutos, que presentan una eficiencia del 99,98% para partículas de 0,3 micrones de diámetro.
- Radio-iodos: I-131, I-133, I-132. Son retenidos con filtros de carbón activado.
- Tritio: se retiene a través de los secadores, que son filtros que absorben la humedad del aire, emitiendo luego aire seco libre de tritio.

#### Efluentes líquidos:

- La Central cuenta con la instalación de filtros en todos los sitios y etapas del proceso productivo en que se utiliza agua, así como en las piletas de almacenamiento de combustible gastado. De esta manera se retienen las partículas radiactivas liberadas, tanto en situaciones de operación normal como en el caso de eventuales roturas de elementos combustibles (gastados o nuevos) o de ocurrencia de otros accidentes.
- Al verterse al lago el agua de refrigeración se produce un salto térmico de aproximadamente 8°C.
- Para los efluentes domésticos la Central cuenta con dos plantas de tratamiento en su predio.

#### Gestión de combustible gastado:

Una vez que el combustible alojado en el núcleo del reactor es considerado gastado, se extrae para ser gestionado como tal.

En el momento de la extracción se producen descargas gaseosas al medio, que son contenidas en el edificio del reactor. Mediante un proceso automatizado, a través de una *zona libre* (sin presencia de personal) y debajo del agua, el combustible gastado es colocado en bandejas de acero inoxidable y trasladado a piletas destinadas a su almacenamiento provisorio, donde permanece por un período de aproximadamente 5 años, en el que decae su actividad.

Sólo se genera liberación de radionucleidos en caso de rotura de los elementos combustibles. Si esto ocurriera, los radioisótopos liberados son retenidos por filtros (como se mencionara en el tratamiento de efluentes líquidos), y el elemento combustible roto se extrae y gestiona como *combustible gastado fallado*, en piletas exclusivamente destinadas a estos elementos.

Mientras no ocurra rotura de los elementos combustibles gastados, el agua recibe sólo las radiaciones emitidas por los elementos, produciendo un aumento de la temperatura del agua de las piletas, sin que esto genere efectos adversos al medio.

El agua de las piletas está constantemente en circulación, en un sistema cerrado, teniendo pérdidas sólo por evaporación (se agrega agua para cubrir esta pérdida). El sistema cerrado por el que circula cuenta con filtros para retener los radionucleidos que pudieran escapar si hubiera un elemento combustible roto.

Las piletas son de 25m de profundidad, siendo necesarios 3m entre los residuos y la superficie de blindaje.

Luego de esta etapa de enfriamiento, el combustible gastado debe pasar a su almacenamiento seco en silos. Para realizar el traslado, se colocan dentro de recipientes cilíndricos 60 elementos combustibles, acomodados en una suerte de grilla que impide su movimiento o caída; esta grilla es a su vez introducida en otro recipiente de blindaje. Este proceso se lleva a cabo dentro de las piletas de enfriamiento, culminando con la colocación de una tapa herméticamente soldada, para transportar finalmente el combustible gastado, contenido en otro blindaje adicional, hacia los silos.

En la preparación del combustible gastado para el traslado a los silos, puede producirse el desarme de uno de los elementos combustibles, con la consecuente liberación de material radiactivo al entorno. Ante la ocurrencia de este suceso, los filtros de agua y aire actúan reduciendo la posibilidad de liberación de ese material al ambiente exterior, fuera de las instalaciones.

El combustible gastado permanece en los silos por períodos prolongados, de 30 a 50 años, hasta ser destinados a disposición final o a reprocesamiento.



Figura N° 9: Silos de almacenamiento en seco de la CNE<sup>25</sup>

#### Residuos radiactivos:

Los residuos radiactivos de baja y media actividad, como guantes, ropas, cables, etc., son llevados directamente a los silos para su almacenamiento provisorio, hasta que el nivel de actividad decaiga lo suficiente para permitir su disposición final.

Algunos de los residuos radiactivos, cuando decaen y no emiten radiación, pueden continuar presentando características de peligrosidad. Por ejemplo, el Uranio y el Berilio son elementos

<sup>25</sup> Fuente de la fotografía: [www.institucion.org/mestral/tecnoreball/centranucl.htm](http://www.institucion.org/mestral/tecnoreball/centranucl.htm)

tóxicos, por lo que una vez que decae su actividad continúan siendo residuos peligrosos por esta característica.

#### 4. IMPACTO AMBIENTAL

##### 4.1. El Impacto Ambiental

El impacto ambiental es el resultado que una actividad desarrollada por el hombre tiene sobre su ambiente, entendido éste como el producto de las interrelaciones de los elementos que lo componen (agua, aire, suelo, flora, fauna, el hombre mismo, los recursos naturales). Existe una relación causa-efecto entre la actividad del hombre (causa) y el impacto que ésta genera (efecto):

**Actividades desarrolladas por el hombre** (CAUSA)  **Impacto ambiental** (EFECTO)

Este impacto ambiental puede ser positivo o negativo, según beneficie o perjudique al ambiente.

Por ejemplo, en el caso de la generación de energía nuclear sería un impacto positivo la no emisión de gases de efecto invernadero; y uno negativo la contaminación térmica del agua por la refrigeración del núcleo del reactor.

Otro de los impactos, posiblemente el más significativo referido a la utilización de materiales radiactivos, es el de las radiaciones, que encuentra en la gestión de los residuos una de las mayores preocupaciones.

##### 4.2. Impacto de la Radiación sobre la salud y el ambiente

Los efectos de la radiación sobre la salud pueden separarse en dos: por un lado, mutaciones en las moléculas de ADN de las células hereditarias que pueden causar defectos genéticos en la descendencia directa de la persona afectada o varias generaciones más tarde; por otro lado, las radiaciones pueden producir daño a las células somáticas de los tejidos de los individuos a lo largo de la vida de la víctima, en forma de quemaduras, abortos, cataratas y cáncer.<sup>26</sup>

Otros daños que se pueden ocasionar como consecuencia de una exposición a la radiación ionizante son:

- aparición de síntomas como vómitos, postración, fiebre, diarreas, manchas en la piel (llamadas petequias);
- afección del sistema sanguíneo y capilar;
- lesiones oculares y en las gónadas (riesgo de esterilidad);
- teratogenia (riesgo de malformaciones congénitas);
- afección de los órganos (todos los órganos pueden ser afectados);
- disminución del tiempo de vida;
- cánceres.

Las formas en que se llega a estos efectos sobre la salud pueden ser la *irradiación externa*, cuando la fuente de radiación se encuentra fuera del cuerpo humano; o la *irradiación interna* cuando la fuente está en el interior del organismo, habiendo sido inhalada con el aire o ingerida con alimentos y agua.

El daño en forma de lesiones agudas (efectos inmediatos) se genera una vez que es superada una dosis mínima de radiación, llamada *umbral*.

---

<sup>26</sup> G. Tyller Miller, "Ecología y Medio Ambiente", 1994.

Numerosas dosis pequeñas son mejores que una sola mayor, porque de esta manera se le da tiempo al organismo a recuperarse<sup>27</sup>, mientras que la exposición de un individuo a una dosis de 5 Sieverts suele causar la muerte<sup>28</sup>.

Sin embargo, las dosis no deben pasar ningún umbral para causar daños genéticos o cáncer. A medida que recibimos mayores dosis de radiación aumenta el *riesgo* de que alguno de estos efectos ocurra, es decir, aumenta la probabilidad de ocurrencia de daños genéticos o cánceres, sin que esto signifique que necesariamente se produzcan.

Volviendo a las vías por las que viaja la radiación hasta llegar al hombre, pongamos un ejemplo para hacerlo más claro: supongamos que se produce la elusión<sup>29</sup> de radio-226 hacia ríos o arroyos. Se podrían alcanzar niveles que, tras la ingesta de ese agua por varias décadas, podrían ser causante de enfermedades de la sangre y de los huesos. Esto nos habla de la condición de interrelación que caracteriza a los elementos del medio, con lo que resulta pertinente exponer individualmente el impacto de las radiaciones sobre cada elemento del ambiente, estableciendo luego las vías que siguen éstas a través de los intercambios suscitados en los ciclos y procesos naturales.

Impacto de las radiaciones sobre el agua: Ya hemos dicho que existe en el ambiente, de forma natural, un cierto nivel de radiactividad (llamado *radiación de fondo*), cuyo origen no está relacionado con las actividades humanas. El Potasio-40 (K-40) y el Rubidio-27 (Rb-27) son algunos de los radioisótopos de origen natural más comunes<sup>30</sup>.

Actualmente, debido al desarrollo de actividades nucleares de origen industrial (civil o militar) y farmacológico, se ha incrementado la presencia de radioisótopos en los cuerpos de agua.

La presencia de radionucleidos en cuerpos de agua representa un riesgo para la vida acuática y para el hombre, si llegara a ingerir el agua contaminada o la fauna que habita en ese medio.

Si bien en este sector analizamos el efecto de las radiaciones sobre cada recurso o medio, resulta pertinente hablar, para el caso del agua, de otro impacto de la generación nucleoelectrónica: la contaminación térmica generada por las descargas de efluentes con elevada temperatura (agua utilizada en el circuito de refrigeración).

Cuando hablamos de la contaminación térmica del agua<sup>31</sup> nos referimos a una alteración física. La temperatura tiene gran importancia en relación a los fenómenos que se desarrollan en el agua, como la solubilidad de gases y sales, o las reacciones biológicas (que requieren de una temperatura óptima para llevarse a cabo).

Un aumento de la temperatura acelera los procesos de putrefacción y, por lo tanto, aumenta la demanda de oxígeno (O<sub>2</sub>). A su vez, la solubilidad de este gas (O<sub>2</sub>) disminuye a mayores temperaturas.

Impacto de las radiaciones sobre el suelo<sup>32</sup>: el riesgo asociado a la presencia de radionucleidos en el suelo está dado por el desprendimiento de gases radiactivos desde el mismo, que puede ser inhalado por los seres vivos (dosis de irradiación externa e irradiación interna por inhalación). Esto siempre y cuando hablemos de profundidades no mayores a 1 metro, ya que si nos trasladamos hasta una profundidad de 300 metros debemos hacer referencia a otro tipo de riesgo, asociado a la contaminación de las aguas subterráneas y de la cadena trófica, que puede llegar a nuestro cuerpo mediante la ingesta generando una dosis de irradiación interna.

Impacto de las radiaciones sobre el aire: como consecuencia de la emisión de radiaciones alfa, beta y gamma se puede dar la formación de núcleos de Aitken<sup>33</sup>, una forma de material

<sup>27</sup> "Radiación: dosis, efectos, riesgos", CNEA, 1985.

<sup>28</sup> Enciclopedia Microsoft® Encarta® 2002. © 1993-2001 Microsoft Corporation.

<sup>29</sup> Separación, por medio de un lavado progresivo con un líquido apropiado, de sustancias absorbidas por un cuerpo. Enciclopedia Microsoft® Encarta® 2002. © 1993-2001 Microsoft Corporation.

<sup>30</sup> Orozco Barrenetxea, Carmen. "Contaminación ambiental: una visión desde la química", Thompson.Paraninfo, Madrid, 2003.

<sup>31</sup> Lora Soria, F., "Técnicas de defensa del medio ambiente"

<sup>32</sup> Boletín de la Sociedad Argentina de Radioprotección, N° 12, 1988.

<sup>33</sup> Fundación MAPFRE, "Manual de Contaminación Ambiental", ITSEMAP Ambiental, España, 1994.



suspendido, cuyo tamaño está comprendido ente  $0,005\mu$  y  $0,1\mu$ .. Constituyen contaminantes químicos de la atmósfera, formando parte del Material Suspendido.

Las centrales nucleoelectricas emiten material radiactivo a la atmósfera, constituidas por radionucleidos que se desintegran a diferentes ritmos (según su vida media). Aquellos que se desintegran rápidamente revisten importancia local, mientras que otros con vida mayor perduran lo suficiente en la atmósfera para ser esparcidos por el mundo mientras decae su actividad. Finalmente, existen otros radionucleidos que permanecen prácticamente para siempre en el ambiente.

En este caso, el riesgo está representado por la posibilidad de inhalar los radionucleidos presentes en el aire, generando así una dosis por irradiación interna; y por la deposición sobre la superficie terrestre del material radiactivo en cuestión, lo que traería aparejados los riesgos mencionados en el resto de los ítems que describen el impacto sobre los distintos elementos del medio.

Impacto de las radiaciones sobre la flora: representa un peligro potencial para la salud del hombre que consuma, directamente o a través de la cadena trófica, un vegetal sobre el que se ha depositado material radiactivo o que haya absorbido por sus raíces agua contaminada.

Impacto de las radiaciones sobre la fauna: efectos directos sobre la salud de la fauna, potencialmente transmitidos al hombre si consume animales contaminados.

En el siguiente gráfico se muestran las vías por las que pueden circular los materiales radiactivos hasta llegar al hombre, mediante la ingestión (directamente o a través de la cadena trófica) o mediante la inhalación.

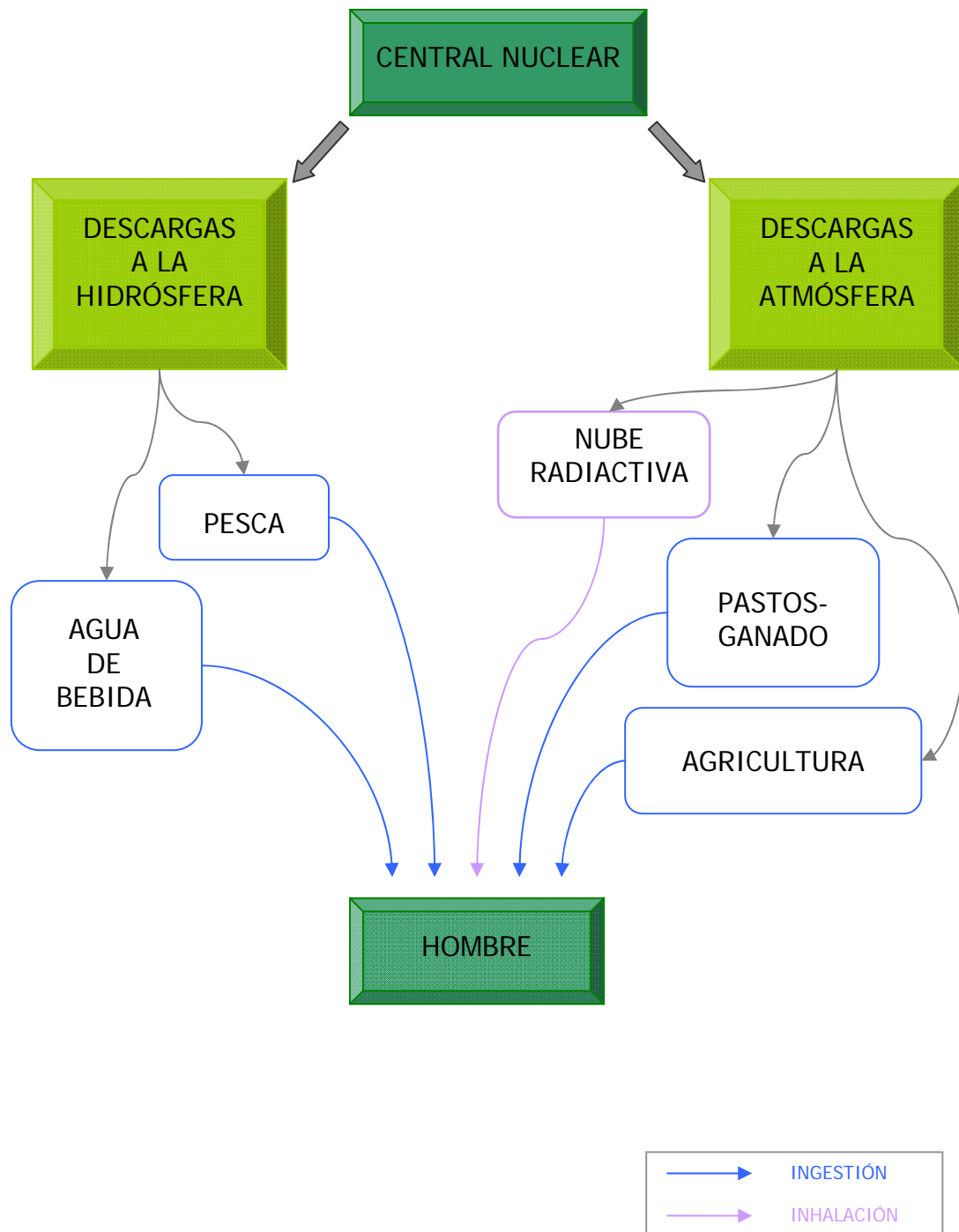


Figura N° 10: Vías de circulación del material radiactivo hasta llegar al hombre  
Elaboración propia con datos de "El libro de la Energía", 1992

### 4.3. Impacto ambiental del Ciclo del Combustible Nuclear

Si bien en la Central Nuclear Embalse se llevan a cabo sólo algunas de las etapas del Ciclo del Combustible Nuclear (CCN), cabe mencionar los impactos ambientales asociados a todo el ciclo, ya que para que la generación nucleoelectrónica sea posible, es necesaria la existencia de las etapas anteriores a la irradiación en el reactor, así como las posteriores, relativas a la gestión de residuos o el desmantelamiento de las centrales. Hacer este análisis forma parte del enfoque integrador que reviste este trabajo.

En las próximas páginas se exponen tres listados de impacto ambiental del CCN, correspondientes a fuentes diferentes.

Según los autores Henry y Heinke del libro "Ingeniería Ambiental", los impactos generados por la industria nuclear a lo largo del CCN son los que se resumen en el siguiente cuadro:

Ambiente	TIPO DE ACTIVIDAD			
	Exploración	Extracción, producción, procesamiento	Transmisión	Uso y eliminación
Atmósfera	-	Accidentes Emisiones de radón de los desechos de las minas	-	-
Hidrosfera	-	Accidentes Percolado de desechos de las minas	-	Efectos térmicos
Litósfera	-	Accidentes Contaminación por desechos de las minas	Líneas de transmisión	Eliminación del combustible agotado y los desperdicios
Impactos humanos	-	Accidentes y riesgos de explosión en la explotación de minas y operación de plantas mineras	Accidentes durante el transporte del combustible	Exposición a desperdicios Terrorismo

Cuadro N° 5: Impactos ambientales de la energía nuclear  
Henry, Heinke, "Ingeniería Ambiental", Prentice Hall, México, 1999

La OIEA publicó en el año 1978 un artículo donde se describían las consecuencias ecológicas del uso de la energía nuclear. A continuación se presenta una síntesis de su contenido, de acuerdo a las etapas del CCN:

- **Extracción y tratamiento de uranio:**
  - o Efectos de los desechos y aguas servidas provenientes del drenaje de las minas o del agua utilizada en perforaciones.
  - o Riesgos profesionales para la salud (aumento de la incidencia del cáncer entre los mineros del yacimiento uranífero).
  - o Generación de polvo en los procesos de extracción minera (contaminación atmosférica).
  - o Efectos de los escoriales<sup>34</sup>:

<sup>34</sup> Los residuos sólidos resultantes del tratamiento del mineral (escoria) presentan un 70% de la radiactividad total de ese mineral.

- Erosión eólica.
  - Contaminación a partir de escoriales ubicados cerca de riberas o debido a inundaciones por crecidas de ríos cercanos, causando la lixiviación del radium de los materiales y la precolación del agua hacia las napas.
  - Inhabilitación de la zona donde se sitúan los escoriales para construcciones (tampoco debe usarse el material de los escoriales en materiales de construcción ni de relleno en edificios destinados a la ocupación humana, debido a las emanaciones de radión).
- **Fabricación del combustible nuclear:**
- Producción de hexafluoruro de uranio: uso de sustancias tóxicas → fluoruro de hidrógeno y de flúor.
  - Generación de residuos en las plantas de enriquecimiento: uranio agotado → material ligeramente radiactivo, que gradualmente produce los nucleidos Ra-226 y Rn-222 (mucho más peligrosos que el residuo original)<sup>35</sup>
- **Explotación del reactor:**
- Difusión de radionucleidos en el refrigerante → eliminación mediante sistemas de tratamiento de desechos gaseosos o líquidos.
  - Emisiones gaseosas: gases nobles (<sup>133</sup>Xe), gases de activación (<sup>41</sup>Ar, <sup>14</sup>C, <sup>16</sup>N y <sup>35</sup>S), vapor y gas de tritio, halógenos y partículas.<sup>36</sup>
  - Efluentes líquidos: tritio, <sup>137</sup>Cs, <sup>134</sup>Cs, <sup>131</sup>I, <sup>133</sup>I, <sup>58</sup>Co y <sup>60</sup>Co; productos de corrosión como <sup>51</sup>Mn.<sup>37</sup>
  - Contaminación térmica.
  - Riesgo de accidentes que originen escapes de material radiactivo al medio circundante.
  - Desmantelación: el bombardeo de neutrones en los materiales utilizados para construir el reactor produce una gama de nucleidos radiactivos.
- **Reelaboración de combustibles:**
- Emisión gamma por la desintegración.
  - Generación de residuos radiactivos sólidos y líquidos.
  - Uso de disolventes químicos.
  - Liberación de productos radiactivos de la fisión (como actínidos):
    - Emisiones gaseosas<sup>38</sup>: tritio, <sup>85</sup>Kr, <sup>129</sup>I y <sup>14</sup>C.
    - Efluentes líquidos: tritio.
    - Sólidos: material de revestimiento del combustible<sup>39</sup>, también contaminado con cantidades pequeñas de combustible agotado.

De acuerdo al trabajo *"Definición de los contenidos para un mural didáctico: explicación del ciclo del combustible nuclear"*<sup>40</sup>, se establecen los siguientes impactos ambientales para las diferentes etapas del CCN:

## Minería:

### Atmósfera

- Contaminación sonora por detonaciones.
- Emisión de gas radón a la atmósfera proveniente de las colas de mineral depositadas en pilas de lixiviación.
- Contaminación atmosférica por la generación de polvos y gases (debido al uso de explosivos y al movimiento de suelo).

<sup>35</sup> Rn: radón. Ra: radio.

<sup>36</sup> Xe: xenón; Ar: ; C: carbono; N: nitrógeno; S: azufre.

<sup>37</sup> Cs: cesio; I: yodo; Co: cobalto; Mn: manganeso.

<sup>38</sup> Kr: criptón.

<sup>39</sup> Su radiactividad depende de su composición y de la irradiación a la que ha sido sometido.

<sup>40</sup> Oliva M., *"Definición de los contenidos para un mural didáctico: explicación del ciclo del combustible nuclear"*, Córdoba, Argentina, 2007.

#### Suelo

- Impacto visual por alteración de la topografía: la explotación minera a cielo abierto genera grandes oquedades y pilas de acopio.
- Contaminación del suelo debido al asentamiento de escombreras de estériles y mineral, y de pilas de lixiviación (de colas de mineral).
- Restricción del uso de la tierra una vez que finaliza la explotación minera.

#### Agua

- Contaminación del agua por ingreso de líquidos del depósito de colas a acuíferos subterráneos.
- Potencial contaminación de aguas subterráneas por posible inundación de galerías (minas subterráneas), debido al contacto del agua con áreas mineralizadas expuestas.
- Contaminación del agua superficial con radón (Ra) y sulfato (SO<sub>4</sub>).
- Potencial contaminación con uranio de la escorrentía superficial y subterránea.
- Generación de efluentes contaminados con amonio, manganeso y radio.

#### Generación de residuos peligrosos

- Desechos con contaminantes metálicos tóxicos (arsénico, cadmio, mercurio, molibdeno, vanadio y zinc junto con hierro, iones amonio, cloruro y sulfato); y desechos radiactivos: radio-226, torio-230 y radón-222.

#### **Concentrado:**

- El proceso de concentración del uranio implica el uso de compuestos ácidos. Los impactos asociados son la generación de efluentes con contenido de estas sustancias ácidas, y la posible contaminación del agua que podría darse si no se gestiona adecuadamente el efluente.
- Contaminación atmosférica por emisiones tóxicas y radiactivas debido al uso de hornos de secado.

#### **Purificación y conversión:**

- En esta etapa se lleva a cabo el tratamiento del mineral de uranio para obtener dióxido de uranio.  
En los procesos de purificación y conversión se utiliza ácido nítrico y fluoruro de hidrógeno, que podrían generar impacto sobre el agua o el aire de no ser tratados en forma correcta.

#### **Enriquecimiento:**

- Potenciales impactos asociados al carácter venenoso y corrosivo del flúor, utilizado para la conversión del concentrado de uranio a hexafluoruro de uranio.
- Generación de residuos con contenido de uranio.

#### **Fabricación del combustible:**

- Contaminación de la atmósfera por emisión de gases de combustión por el uso de gas en hornos de alta temperatura para la fabricación de las pastillas de combustible. Existe la posibilidad de emitir aerosoles con cierto nivel de actividad, siendo éstos filtrados antes de liberarlos a la atmósfera.

#### **Irradiación en el reactor:**

- Generación de residuos radiactivos:
  - Por el uso del combustible en el reactor, se genera el combustible gastado que ha sido irradiado.
  - Por tareas de operación, se generan:
    - filtros de agua (elementos que se desprenden por abrasión y son retenidos por los filtros)
    - purga del circuito primario (residuos líquidos)
    - filtros de aire
    - elementos de usar y tirar
  - Por tareas de mantenimiento se generan:
    - elementos mecánicos: herramientas, útiles, etc., producto de la sustitución y reparación de equipos o tuberías
  - Residuos líquidos de las duchas de descontaminación, aguas de descontaminación y de laboratorios analíticos.
  - Resinas de intercambio iónico (constituyen uno de los tipos de filtros utilizados para la descontaminación de aguas).
- Contaminación térmica del agua del circuito de refrigeración, que es vertida al lago.
- Emisión de gases radiactivos (representa una pequeña parte, debido al uso de filtros de aire que retienen la mayor parte del material radiactivo)

#### **Almacenamiento provisorio:**

- Contaminación térmica del agua y por radioisótopos liberados fortuitamente durante el almacenamiento del combustible gastado en piletas destinadas a tal fin. Debido a la existencia de filtros, se reduce la posibilidad de liberación de material radiactivo a través de los efluentes al ambiente exterior.

#### **Reprocesamiento:**

- Contaminación de la atmósfera por emisión de gas tritio.
- Generación de residuos radiactivos líquidos (con contenido de productos de fisión y transuránicos).

#### **Repositorio:**

- Inhabilitación del terreno para otros usos.
- Potencial contaminación del suelo y del agua por eventual escape de material radiactivo.

### **4.4. VIGILANCIA AMBIENTAL**

La vigilancia ambiental hace referencia a las actividades destinadas a controlar los aspectos ambientales, en este caso, de instalaciones nucleares, incluidas las centrales nucleares. La ARN realiza en los alrededores de todas las instalaciones nucleares del país tareas de monitoreo ambiental, a través de la toma de muestras de diversos parámetros. En el caso de la CNE, la ARN realiza las siguientes determinaciones (dentro de su plan de monitoreo ambiental):

Impacto ambiental de descargas líquidas, muestreo de:

- agua del lago
- sedimentos
- plancton
- peces
- agua potable de la ciudad de Embalse<sup>41</sup>

---

<sup>41</sup> La ciudad de Embalse utiliza el agua del lago homónimo para todas sus actividades, incluido el consumo.

Impacto ambiental de descargas gaseosas, muestreo de:

- alimentos producidos en la zona de influencia de la central (vegetales, leche)
- recolección de pasto en el perímetro de la instalación (indicador del depósito de material radiactivo)

En las muestras recogidas se analizan principalmente los productos de fisión (cesio 137, estroncio 90, yodo 131) y de activación (tritio y cobalto 60) dada su importancia radiológica.

Nucleoeléctrica Argentina S.A. (NA-SA) también lleva a cabo actividades de monitoreo ambiental, que se pueden resumir en el siguiente esquema:

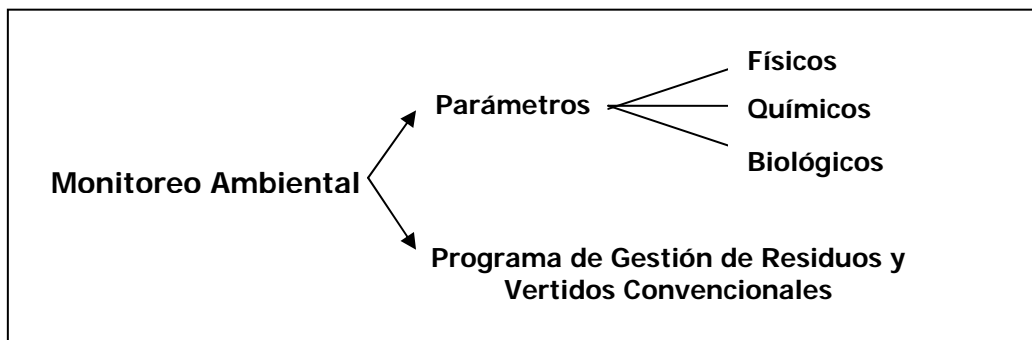


Figura N° 11: Monitoreo ambiental de la ARN

Una vez por año, desde 1977, se realizan estudios del lago del embalse del río Tercero. Los parámetros que se miden son:

- balance de nutrientes
- estado trófico del lago
- biomasa
- actividad bacteriana
- fitoplancton y zooplancton
- plantas acuáticas y biomasa
- condición y número de las diferentes especies de peces
- temperatura del lago

Los estudios han estado y están actualmente a cargo del Instituto de Limnología Dr. Ringuelet, perteneciente a la Facultad de Ciencias Naturales y Museo de la Universidad Nacional de La Plata.

El segundo aspecto ambiental monitoreado, *Gestión de Residuos y Vertidos Convencionales*, se refiere a aquellos residuos (sólidos y líquidos) "comunes", libres de radiactividad, derivados de las actividades que no corresponden estrictamente al uso de material radiactivo.

Esto no significa que los residuos peligrosos (baterías, aceites, pilas) sean gestionados como comunes, ya que se tratan de acuerdo a las disposiciones de la legislación aplicable (Ley Nacional N° 24051 de Residuos Peligrosos).

En lo que a residuos sólidos respecta, se ha llegado a la siguiente clasificación:

- baterías
- neumáticos en desuso
- aceites varios
- chatarra
- pilas mercuriales y alcalinas
- resinas de intercambio
- residuos menores (maderas, restos de mampostería, etc)
- residuos orgánicos (generada fundamentalmente en los comedores de la instalación).

Los Residuos Sólidos urbanos son llevados a al enterramiento sanitario de Bouwer.

Por otra parte, la gestión de vertidos cloacales contempla el tratamiento de los mismos en una Planta de Tratamiento ubicada dentro del perímetro de la CNE. Se realizan controles periódicos de los parámetros más significativos (presencia de bacterias, como escherichia coli, y de compuestos químicos).

Argentina es miembro del UNESCEAR (Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas), gracias a lo cual se llevaron a cabo estudios ambientales para analizar el movimiento del material radiactivo proveniente de los radionucleidos presentes en la atmósfera como consecuencia de los ensayos de armas nucleares.

Esto permitió, antes de que el desarrollo de la actividad nuclear en Argentina fuera significativo, conocer los parámetros de transferencia en cadenas alimenticias, y establecer criterios para limitar las descargas de material radiactivo al ambiente.<sup>42</sup>

---

<sup>42</sup> H.R.Martín, "La Política Nuclear en el Contexto de las Relaciones Internacionales".



## MATERIALES Y METODOLOGÍAS

Las actividades de extensión de vida útil a las que se encuentra abocada la Central, hacen que no exista disponibilidad de personal para atender a los requerimientos que surgieran de las tareas de diagnóstico ambiental, estudio planteado originalmente.

A partir de esto hubieron de replantearse los objetivos del trabajo, así como la metodología a emplear.

Si bien el objetivo primordial (determinar el impacto ambiental de la operación normal de la CNE) se mantuvo, su abordaje fue diferente a partir de la información disponible. El resultado fue un relevamiento más superficial que lo propuesto en un comienzo, llevado a cabo a partir de dos visitas a la Central y una entrevista con el Jefe de Seguridad Radiológica de la Central. Además se contó con el asesoramiento de personal de la Comisión Nacional de Energía Atómica.

En función de los objetivos planteados, se han desarrollado los siguientes pasos para dar cumplimiento a los mismos: en primer lugar la realización de un relevamiento de aspectos e impactos ambientales de la CNE; en segundo lugar una caracterización tipológica y evaluación de los impactos detectados; en tercer y último lugar, se procedió a la elaboración de gráficos para cada uno de los radionucleidos monitoreados, a partir de los datos de las descargas radiactivas líquidas y gaseosas de la central a lo largo de su operación. De esta manera se puede observar con facilidad la evolución de las descargas, y corroborar los valores de las mismas con los límites establecidos en los Informes Nacionales de Seguridad, publicados por la Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN).

### 1. Relevamiento de aspectos e impactos ambientales

Para determinar el impacto ambiental generado por la Central Nuclear Embalse, se realizó un relevamiento de los aspectos e impactos ambientales asociados al desarrollo de la actividad. Sólo fueron contempladas los aspectos estrictamente relacionados al proceso de producción de energía, sin considerar los relativos a las actividades comunes entre las distintas industrias (como la gestión de residuos sólidos urbanos, el consumo de recursos, la generación de efluentes domésticos, etc.). Esto se debe a la imposibilidad de acceder a información más detallada.

El relevamiento se realizó de la siguiente manera:

#### 1.1. Matriz de Identificación de Aspectos

En primera instancia, se desarrolla una matriz de doble entrada donde se identifican los aspectos ambientales a partir de un listado de actividades propias de la operación de la Central. Se toman en cuenta también aquellos aspectos que pueden no llegar a tener incidencia en el ambiente externo (por ser controlados previa salida).

Los aspectos están estandarizados, en función de la disponibilidad de información y a fin de simplificar el proceso evaluativo.

En los cuadros donde se produce interacción o cruce, es porque se ha detectado un aspecto ambiental; ese cuadro es coloreando a fin de identificar la interacción.

#### 1.2. Matriz de Identificación de Impactos

Una vez que se han establecido los aspectos de la actividad, se construye una matriz en la que se determinarán los impactos ambientales asociados a cada uno de los aspectos, así como el control operativo aplicado y si el impacto es de ocurrencia Efectiva (ocurre siempre que se presenta el aspecto) o Potencial (puede llegar a ocurrir ante la manifestación del aspecto). Esta matriz está constituida de la siguiente manera:

Grandes actividades	Sector/Etapa del proceso	Nº	Actividad	Aspecto	Impacto	Control operativo aplicado/Gestión del aspecto	Ocurrencia	Importancia
(A)	(B)	©	(D)	(E)	(F)	(G)	(H)	(I)

(A) **Grandes actividades:** Se dividen las actividades de la Central en tres grandes grupos para facilitar la ubicación de los aspectos e impactos ambientales detectados. Los grupos son: Generación de energía, Gestión de combustible gastado/residuos radiactivos en la central, y Vigilancia ambiental.

(B) **Sector/Etapa del proceso:** Divide los grupos de *Grandes actividades* por sectores (reactor, piletas, etc.) o etapas del proceso (circuito primario, mantenimiento), de manera tal de poder ubicar el aspecto físicamente y en las sucesivas instancias de la actividad.

© **Nº:** Se asigna una numeración a los impactos a medida que van surgiendo, con el propósito de identificarlos en la caracterización tipológica.

(D) **Actividad:** Se describen en esta columna cuáles son las acciones concretas a partir de las cuales se han detectado los aspectos ambientales. Por ejemplo, *Cambio de filtros de aire, Almacenamiento húmedo de residuos radiactivos, Uso de duchas de descontaminación en zonas controladas*. Ya que tanto los aspectos como los impactos están estandarizados, es en esta columna donde se puede apreciar claramente el vínculo entre el impacto y la operación de la Central.

(E) **Aspecto**<sup>43</sup>: Se refiere a los hechos puntuales de la actividad que establecen una relación con el medio. Es decir, si la actividad es el *Uso de duchas de descontaminación en zonas controladas*, entonces el aspecto asociado será *Generación de efluentes contaminados con material radiactivo*.

(F) **Impacto:** Es el cambio que se produce en el ambiente como consecuencia de una actividad de la Central. Siguiendo con el ejemplo anterior, el impacto asociado sería *Riesgo de transferencia de material radiactivo al agua y potencialmente a los seres vivos*. Se considera que es éste el impacto y no la generación del efluente ya que debido a los controles existentes, lo que verdaderamente genera el cambio en el medio no es la generación del efluente, sino la posibilidad de falla en alguno de los controles establecidos que pudiera dar lugar efectivamente a la contaminación, en este caso, del agua.

(G) **Control operativo aplicado/Gestión del aspecto:** Son aquellos procedimientos o medidas de control como filtros, blindajes, tratamientos, etc. que se establecen a fin de evitar el impacto ambiental.

(H) **Ocurrencia:** Puede ser Efectiva o Potencial, como se explicó al comienzo de este apartado.

(I) **Importancia:** Es la valoración cualitativa del impacto a partir de la ecuación de importancia.

Las matrices se completan a partir de la información proveniente del relevamiento bibliográfico, de visitas a la Central Nuclear Embalse, y de la entrevista con el Jefe de Seguridad Radiológica de la central, Ingeniero Hugo Guzmán.

<sup>43</sup> Por una cuestión de simplicidad a la hora de relevar los aspectos ambientales, la gestión de los residuos radiactivos se refiere a su almacenamiento, no a la generación y tratamiento.

## 2. Caracterización tipológica y evaluación de impactos ambientales

Para efectuar la evaluación de los impactos relevados, y dar así con los factores críticos de la gestión ambiental de la Central, se realizó la Caracterización Tipológica de los mismos y la Evaluación de su Importancia.

Para realizar la evaluación de los impactos relevados se utiliza como base la ecuación de importancia planteada por Conesa Fernández Vítora.

Para que los criterios tenidos en cuenta en esta ecuación sean pertinentes para la evaluación de los impactos derivados de la generación nucleoelectrónica, se hacen las aclaraciones pertinentes en cuanto a la interpretación de los parámetros considerados.

Esta adaptación se hace necesaria ya que uno de los problemas que plantea el uso de metodologías de evaluación de impacto ambiental es que no son aplicables para el análisis de factores de riesgo<sup>44</sup>.

Dado que casi la totalidad de los impactos relevados se refieren a riesgos, se aclara cómo ha sido interpretado cada uno de los parámetros contemplados en la ecuación de importancia, para que la evaluación de los riesgos se lleve a cabo de la forma más adecuada posible.

Sólo se reformuló uno de los parámetros considerados por Conesa F. V., la Intensidad, para adaptarla a las características de los elementos puestos en juego en esta evaluación.

A continuación se describen los parámetros de la ecuación de importancia según Conesa F. V., y la interpretación de los mismos empleada en este estudio:

### SIGNO

El signo del impacto se refiere al carácter beneficioso o perjudicial del mismo sobre el medio.

*Reformulación:* No se realizó.

*Detalle sobre su aplicación:* -

*Valuación:*

Naturaleza	
Beneficioso	+
Perjudicial	-

### INTENSIDAD

Se refiere al grado de incidencia de la acción sobre el factor, en el ámbito específico en que se actúa.

*Reformulación:* Para evaluar la intensidad de los riesgos relevados, se considera la peligrosidad asociada al material manipulado o en consideración. Para el caso de los residuos, la intensidad del riesgo será proporcional a la clasificación establecida para los mismos:

- Residuos de Baja actividad: intensidad baja
- Residuos de Baja y Media actividad: intensidad media
- Residuos de Media actividad: intensidad media
- Residuos de Alta actividad: intensidad muy alta

Para las emisiones gaseosas radiactivas la intensidad será baja, y para los efluentes radiactivos será media. Esta diferencia se debe a que la atmósfera constituye un volumen mayor que el del lago (donde se dirigen todos los efluentes generados por la central), por lo que la posibilidad de dispersión y dilución de los radionucleidos es mayor, reduciendo la intensidad de su impacto en el medio.

*Detalle sobre su aplicación:* Los valores correspondientes a cada categoría se mantienen.

<sup>44</sup> V. Conesa Fdez. – Vítora; "Guía metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental".

*Valuación:*

Intensidad (I)	
Baja	1
Media	2
Alta	4
Muy alta	8

### EXTENSIÓN

Alude al área de influencia teórica del impacto, en relación al entorno del proyecto. Es el porcentaje de área, respecto al entorno, en que se manifiesta el efecto.

*Reformulación:* Se eliminan dos de los niveles de valuación (el total y crítico) ya que se consideran suficientes tres niveles para caracterizar los impactos detectados.

*Detalle sobre su aplicación:* En este caso, al evaluar la extensión de los riesgos, se hace referencia al punto físico en que se presenta el mismo, independientemente del alcance que podría tener si el riesgo se concretara.

Los impactos puntuales serán aquellos que se manifiesten dentro de las instalaciones. Los parciales serán los que se presenten en el predio de la central, fuera de los edificios. Los impactos serán de extensión extrema cuando su alcance exceda los límites físicos del predio de la central.

*Valuación:*

Extensión (EX)	
Puntual	1
Parcial	2
Extremo	4

### MOMENTO

Se refiere al tiempo que transcurre entre la aparición de la acción y el comienzo del efecto.

*Reformulación:* No se realizó.

*Detalle sobre su aplicación:* Se considera que el momento de ocurrencia es inmediato para todos los impactos de riesgo, ya que a partir del momento en que se realiza la actividad aparece el riesgo asociado.

*Valuación:*

Momento (MO)	
Largo plazo	1
Medio plazo	2
Inmediato	4
Crítico	4

### PERSISTENCIA

Es el tiempo que permanecería el efecto en el ambiente desde su aparición, y a partir del cual el factor afectado retornaría a las condiciones iniciales previas a la acción por medidas naturales o mediante la introducción de medidas correctoras.

*Reformulación:* No se realizó.

*Detalle sobre su aplicación:* Se considera que todos los riesgos son permanentes porque las actividades que los originan no cesan. Luego, al evaluar la recuperabilidad, se contempla el efecto del control sobre estos riesgos, disminuyendo su valuación.

*Valuación:*

Persistencia (PE)	
Fugaz	1
Temporal	2
Permanente	4

### REVERSIBILIDAD

Es la posibilidad de reconstrucción del factor afectado, es decir, de volver a las condiciones iniciales previas a la acción, por medios naturales, una vez que aquella deja de actuar sobre el medio.

*Reformulación:* No se realizó.

*Detalle sobre su aplicación:* Los riesgos son irreversibles por medio naturales.

*Valuación:*

Reversibilidad (RV)	
Corto plazo	1
Medio plazo	2
Irreversible	4

### RECUPERABILIDAD

Es la posibilidad de reconstrucción del factor afectado por medios antrópicos. Se refiere a la introducción de medidas correctoras.

*Reformulación:* No se realizó.

*Detalle sobre su aplicación:* Los riesgos pueden ser disminuidos a través de los controles y las medidas de seguridad aplicadas.

*Valuación:*

Recuperación (MC)	
Inmediata	1
Medio plazo	2
Mitigable	4
Irrecuperable	8

### SINERGIA

Contempla el reforzamiento de dos o más efectos simples. La componente total de la manifestación de los efectos simples, provocados por acciones que actúan simultáneamente, es superior a la que cabría esperar de la manifestación de efectos cuando las acciones que las provocan actúan de manera independiente no simultánea.

*Reformulación:* No se realizó.

*Detalle sobre su aplicación:* Todos los riesgos actúan de manera sinérgica, ya que de concretarse más de uno de ellos simultáneamente, los resultados alcanzados superarían en gravedad y alcance al efecto de uno sólo de ellos.

*Valuación:*

Sinergia (SI)	
Simple	1
Sinérgico	2
Muy sinérgico	4

### ACUMULACIÓN

Se refiere al incremento progresivo de la manifestación del efecto, cuando persiste de manera continuada o reiterada la acción que lo genera.

*Reformulación:* No se realizó.

*Detalle sobre su aplicación:* Los riesgos son acumulativos porque mientras más veces se repite la actividad aumenta la probabilidad de que el riesgo se concrete.

*Valuación:*

Acumulación (AC)	
Simple	1
Acumulativo	4

### EFECTO

Alude a la relación causa-efecto. Es la forma de manifestación del efecto sobre un factor, como consecuencia de una acción.

*Reformulación:* No se realizó.

*Detalle sobre su aplicación:* Los riesgos están directamente asociados a la realización de las actividades que los generan.

*Valuación:*

Causa-efecto (EF)	
Indirecto	1
Directo	4

### PERIODICIDAD

Se refiere a la regularidad de la manifestación del efecto.

*Reformulación:* No se realizó.

*Detalle sobre su aplicación:* Los riesgos se evalúan como continuos, ya que aparecen cada vez que se presenta la acción, y están presentes a lo largo de la realización de la actividad, ininterrumpidamente.

*Valuación:*

Periodicidad (PR)	
Irregular	1
Periódico	2
Continuo	4

Una vez caracterizados cada uno de los impactos a partir de estos criterios, se procede a la suma de los mismos según la Ecuación de Importancia, para obtener el valor de importancia de los mismos:

$$I = \text{.} [3 I + 2 EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC]$$

El paso siguiente en la evaluación, es establecer un umbral de impactos significativos. Para este caso, el umbral es de 36.

Fundamento del umbral: se considera que un valor de importancia igual a 36 representa los impactos de mayor relevancia en el contexto de la generación nucleoelectrónica, ya que quedan incluidos aquellos de mayor intensidad, y los relacionados a posibles fugas de material radiactivo. Se considera que a partir de este valor los impactos son significativos.

Los valores de la ecuación de importancia van de 13 a 100. De esta manera los impactos comprendidos entre 40 y 60 son de importancia intermedia (según lo planteado por Conesa F.V.)

Si bien los resultados más significativos de la valoración de los impactos relevados en este trabajo no están comprendidos siquiera en los de importancia intermedia, se considera que, dado el diferente carácter interpretativo que se dio a los criterios, esta valoración no resulta aplicable. Sin embargo, los valores de importancia sirven a fin de comparar los impactos relevados y deducir cuáles representan puntos críticos de la gestión ambiental de la Central, dando de esta manera cumplimiento al segundo objetivo<sup>45</sup> del presente trabajo.

Una de las cuestiones destacables resultante de este relevamiento es que la casi totalidad de los impactos detectados son riesgos.

Salvo las *Dificultades socio-políticas asociadas a la gestión definitiva de los residuos radiactivos* y la *Contaminación acústica*, el resto de los impactos asociados a los aspectos ambientales de la operación normal de la Central están englobados en un número reducido de impactos estandarizados. Éstos están referidos al riesgo de transferencia de material radiactivo a los distintos elementos del medio (agua, atmósfera o suelo) y la posibilidad de que a través de éstos llegue a los seres vivos.

La matriz de identificación de Impactos ha sido planteada de esta manera, es decir, definiendo los aspectos e impactos como se explicó, porque se ha considerado que la evaluación, utilizando la ecuación de importancia, resultaría más apropiada y reflejaría con mayor fidelidad el impacto de la Central sobre el ambiente.

De haberse planteado como impactos los aspectos (es decir, la generación de efluentes o de residuos, por ejemplo) la valoración a través de la caracterización tipológica habría reducido los valores de tres parámetros: intensidad, persistencia y reversibilidad. De esta manera, el resultado no estaría considerando tres factores fundamentales de esta actividad en particular, ya que su relevancia recae en la peligrosidad del material manejado (intensidad<sup>46</sup>), en la durabilidad de los mismos en el medio, ya que no son elementos degradables sino que pierden su peligrosidad con el paso del tiempo (persistencia) y, en relación con lo anterior, que no son degradables por medios naturales (reversibilidad).

A diferencia de los impactos cuya importancia no supera el umbral establecido, éstos, los significativos, presentan la particularidad de referirse a material de alta actividad y la posibilidad de liberación del mismo al medio. Con esto, al hacer la caracterización tipológica, se percibe un aumento de la intensidad de los impactos.

No se profundizará en la explicación de los impactos, ya que los efectos de las radiaciones sobre el medio y la salud han sido descriptos anteriormente, en la sección 4.1.

---

<sup>45</sup> Se hace referencia a los Objetivos Generales.

<sup>46</sup> Al evaluar los efluentes se estaría haciendo una valoración cuantitativa (la intensidad se referiría a la cantidad de efluente generado), mientras que al evaluar el riesgo se hace una valoración cualitativa (calidad del efluente descargado).

### 3. Límites de descargas radiactivas

A continuación se presentan los valores establecidos por el Informe Nacional de Seguridad (2006) como límites máximos de descargas gaseosas y líquidas para la CNE.

Límite de descargas gaseosas autorizadas para Embalse<sup>47</sup>

Nucleido	TBq
Ar-41	$7.4 \times 10^3$
Kr-85m	$3.7 \times 10^4$
Kr-87	$7.4 \times 10^3$
Kr-88	$3.7 \times 10^3$
Xe-133	$1.9 \times 10^5$
Xe-135	$3.7 \times 10^4$
H-3	$3.7 \times 10^4$
I-131	$2.2 \times 10^1$
Co-58	$3.7 \times 10^1$
Co-60	$3.7 \times 10^{-1}$
Sr-89	$1.1 \times 10^2$
Sr-90	$3.7 \times 10^0$
Ru-106	$1.5 \times 10^0$
Cs-134	$1.5 \times 10^0$
Cs-137	$3.7 \times 10^{-1}$
Ba-140	$1.5 \times 10^2$

Tabla N° 1: Descargas gaseosas autorizadas para CNE

Límite de descargas líquidas autorizadas para Embalse<sup>48</sup>

Nucleido	TBq
H-3	$3.7 \times 10^3$
Cr-51	$3.7 \times 10^2$
Mn-54	$7.4 \times 10^{-1}$
Fe-59	$3.7 \times 10^1$
Co-60	$1.5 \times 10^{-1}$
Zn-65	$7.4 \times 10^{-2}$
Ni-65	$7.4 \times 10^3$
Sr-89	$3.7 \times 10^0$
Sr-90	$1.5 \times 10^{-1}$
Zr-95	$1.9 \times 10^0$
Ru-103	$3.7 \times 10^0$
Ru-106	$1.5 \times 10^{-1}$
Ag-110m	$1.1 \times 10^0$
Sb-125	$1.1 \times 10^0$
I-131	$1.9 \times 10^{-1}$
Cs-134	$3.7 \times 10^{-2}$
Cs-137	$3.7 \times 10^{-2}$
Ba-140	$1.1 \times 10^1$
Ce-144	$1.9 \times 10^{-1}$
Gd-153	$3.0 \times 10^1$

Tabla N° 2: Descargas líquidas autorizadas para CNE

<sup>47</sup> Informe Nacional de Seguridad, 2006.

<sup>48</sup> Idem Nota N° 36.



## RESULTADOS

### 1. Descargas de material radiactivo gaseoso y líquido de la Central Nuclear Embalse

#### Descargas gaseosas CNE<sup>49</sup>

AÑO	I-131 (TBq)	Tritio (TBq)	Gases Nobles (TBq)	C-14 (TBq)
1984	0	$7.3 \times 10^0$	$4.1 \times 10^1$	$2.8 \times 10^{-1}$
1985	$1.9 \times 10^{-3}$	$3.0 \times 10^1$	$1.5 \times 10^3$	$3.9 \times 10^{-1}$
1986	$2.5 \times 10^{-3}$	$2.7 \times 10^1$	$4.2 \times 10^2$	$3.2 \times 10^{-1}$
1987	$1.9 \times 10^{-6}$	$3.3 \times 10^1$	$3.1 \times 10^2$	$4.7 \times 10^{-1}$
1988	$3.7 \times 10^{-4}$	$4.9 \times 10^1$	$9.6 \times 10^1$	$4.6 \times 10^{-1}$
1989	0	$8.6 \times 10^1$	$1.3 \times 10^2$	$4.7 \times 10^{-1}$
1990	$1.4 \times 10^{-3}$	$7.5 \times 10^1$	$6.6 \times 10^2$	$5.5 \times 10^{-1}$
1991	$1.6 \times 10^{-3}$	$5.5 \times 10^1$	$1.2 \times 10^3$	$5.0 \times 10^{-1}$
1992	$7.0 \times 10^{-5}$	$6.9 \times 10^1$	$1.5 \times 10^2$	$4.8 \times 10^{-1}$
1993	0	$1.4 \times 10^2$	$4.2 \times 10^1$	$5.3 \times 10^{-1}$
1994	$2.6 \times 10^{-4}$	$1.3 \times 10^2$	$1.7 \times 10^1$	$5.7 \times 10^{-1}$
1995	$1.7 \times 10^{-3}$	$8.3 \times 10^1$	$4.4 \times 10^1$	$4.3 \times 10^{-1}$
1996	$2.7 \times 10^{-4}$	$6.9 \times 10^1$	$1.8 \times 10^2$	$5.4 \times 10^{-1}$
1997	0	$7.7 \times 10^1$	$3.0 \times 10^1$	$5.2 \times 10^{-1}$
1998	0	$7.2 \times 10^1$	$2.1 \times 10^1$	$5.1 \times 10^{-1}$
1999	0	$7.8 \times 10^1$	$1.6 \times 10^1$	$5.8 \times 10^{-1}$
2000	0	$2.7 \times 10^2$	$1.4 \times 10^1$	$3.9 \times 10^{-1}$
2001	$0,0 \times 10^0$	$2,4 \times 10^2$	$4,6 \times 10^1$	$4,9 \times 10^{-1}$
2002	$0,0 \times 10^0$	$2,7 \times 10^2$	$2,4 \times 10^1$	$4,2 \times 10^{-1}$
2003	$0,0 \times 10^0$	$2,6 \times 10^2$	$7,2 \times 10^1$	$4,8 \times 10^{-1}$
2004	$5,3 \times 10^{-7}$	$3,3 \times 10^2$	$4,5 \times 10^1$	$4,4 \times 10^{-1}$
2005	$1,2 \times 10^{-8}$	$3,4 \times 10^2$	$3,4 \times 10^1$	$4,2 \times 10^{-1}$
2006	$3,2 \times 10^{-7}$	$4,0 \times 10^2$	$3,5 \times 10^1$	$4,8 \times 10^{-1}$

Tabla N° 3: Descargas gaseosas de la CNE para el período 1984-2006

Los gráficos que se presentan a continuación son de elaboración propia con datos obtenidos de los Informes de Seguridad Nuclear publicados por la ARN en su página web, correspondientes a los años 2001, 2004 y 2006.

Se muestra la evolución de las descargas gaseosas de la Central Nuclear Embalse, desde el inicio de su operación en el año 1984 hasta el año 2006, último período para el que se publicaron los datos correspondientes al monitoreo de los radionucleidos emitidos. Cuando aparece el valor de 0 (cero) significa que se está por debajo de los valores mínimos detectables. Gráficamente, las áreas correspondientes a tales mínimos se encuentran discontinuadas (es preciso no confundir esta discontinuidad con la ausencia de datos).

<sup>49</sup> Informe Nacional de Seguridad, 2001, 2004 y 2006.

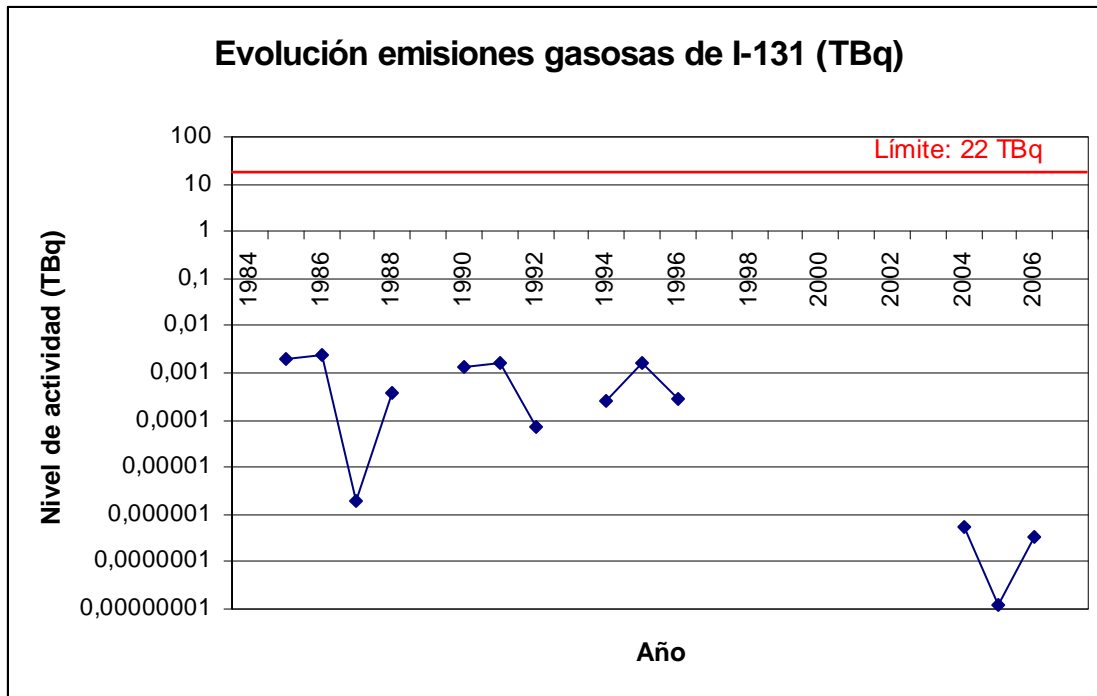


Gráfico N° 2: Evolución emisiones gasosas de I-131 en CNE

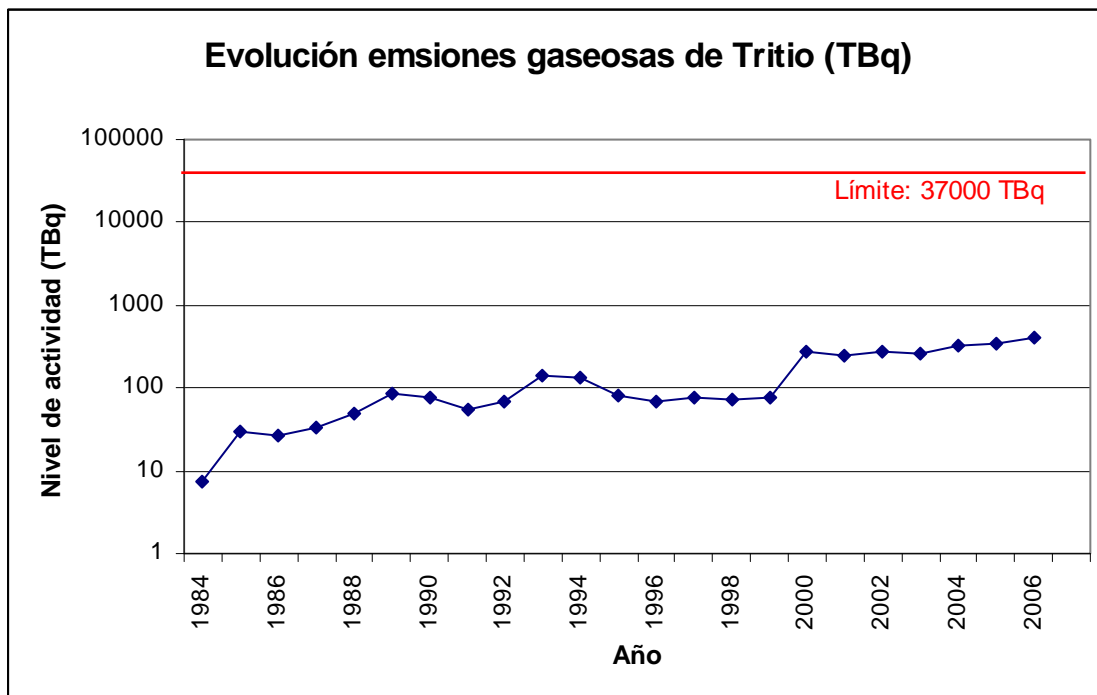


Gráfico N° 3: Evolución emisiones gasosas de Tritio en CNE

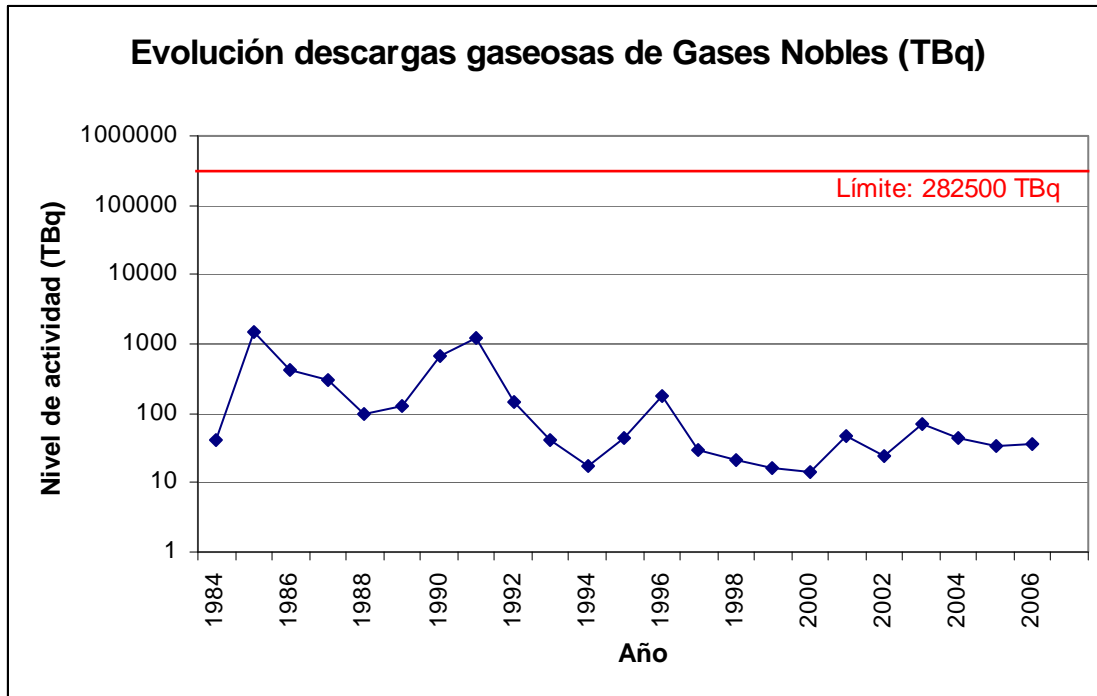


Gráfico N° 4: Evolución emisiones gaseosas de Gases Nobles en CNE

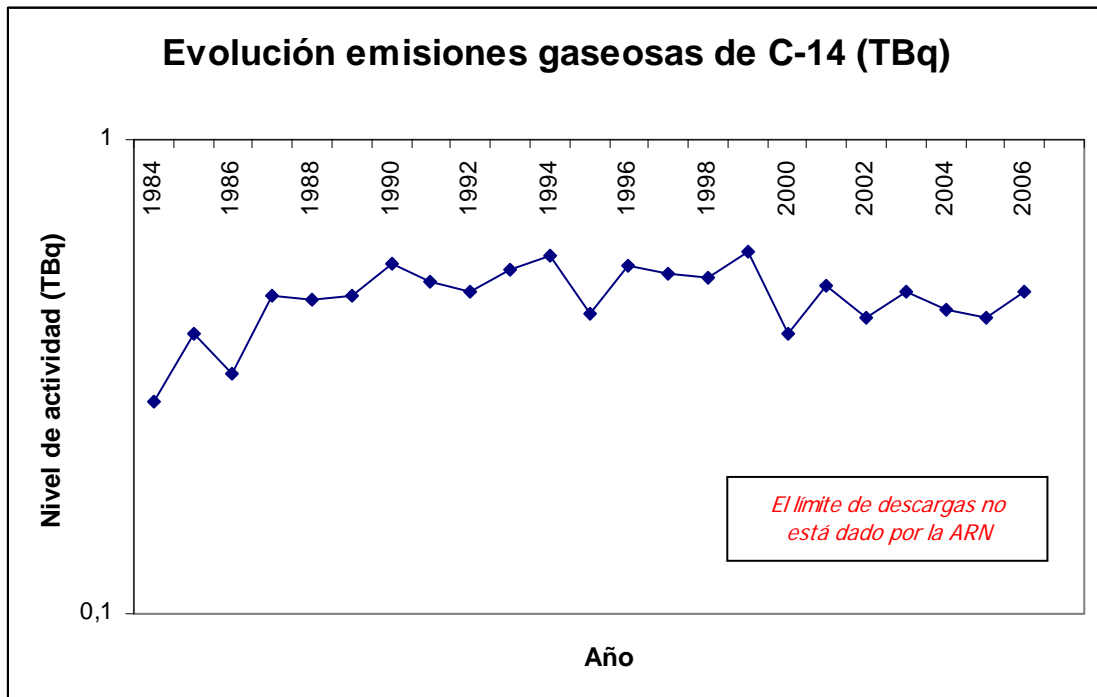


Gráfico N° 5: Evolución emisiones gaseosas de C-14 en CNE

Descargas líquidas CNE<sup>50</sup>

AÑO	Tritio (TBq)	Otros radionucleidos
1984	$3.5 \times 10^0$	$7.8 \times 10^{-3}$
1985	$1.6 \times 10^1$	$1.9 \times 10^{-3}$
1986	$7.9 \times 10^1$	$7.1 \times 10^{-3}$
1987	$1.6 \times 10^2$	$4.5 \times 10^{-3}$
1988	$1.7 \times 10^2$	$2.7 \times 10^{-3}$
1989	$2.2 \times 10^2$	$5.8 \times 10^{-3}$
1990	$2.2 \times 10^2$	$3.5 \times 10^{-3}$
1991	$5.2 \times 10^2$	$2.0 \times 10^{-2}$
1992	$1.6 \times 10^2$	$2.0 \times 10^{-3}$
1993	$2.0 \times 10^2$	$2.0 \times 10^{-3}$
1994	$1.4 \times 10^2$	$1.6 \times 10^{-3}$
1995	$2.3 \times 10^2$	$4.3 \times 10^{-3}$
1996	$3.2 \times 10^2$	$4.6 \times 10^{-3}$
1997	$1.6 \times 10^2$	$2.0 \times 10^{-3}$
1998	$2.2 \times 10^2$	$2.0 \times 10^{-3}$
1999	$1.4 \times 10^2$	$4.5 \times 10^{-3}$
2000	$2.0 \times 10^1$	$1.6 \times 10^{-3}$
2001	$8,0 \times 10^1$	$1,2 \times 10^{-3}$
2002	$6,9 \times 10^1$	$1,6 \times 10^{-3}$
2003	$1,1 \times 10^2$	$1,8 \times 10^{-3}$
2004	$8,3 \times 10^1$	$1,9 \times 10^{-3}$
2005	$7,0 \times 10^1$	$3,5 \times 10^{-3}$
2006	$1,6 \times 10^2$	$7,5 \times 10^{-3}$

Tabla N° 4: Descargas líquidas de la CNE para el período 1984-2006

Los gráficos que se presentan a continuación son de elaboración propia con datos obtenidos de los Informes de Seguridad Nuclear publicados por la ARN en su página web, correspondientes a los años 2001, 2004 y 2006.

Se muestra la evolución de las descargas líquidas de la Central Nuclear Embalse, desde el inicio de su operación en el año 1984 hasta el año 2006, último período para el que se publicaron los datos correspondientes al monitoreo de los radionucleidos emitidos.

Cuando aparece el valor de 0 (cero) significa que se está por debajo de los valores mínimos detectables.

<sup>50</sup> Informe Nacional de Seguridad, 2001, 2004 y 2006.

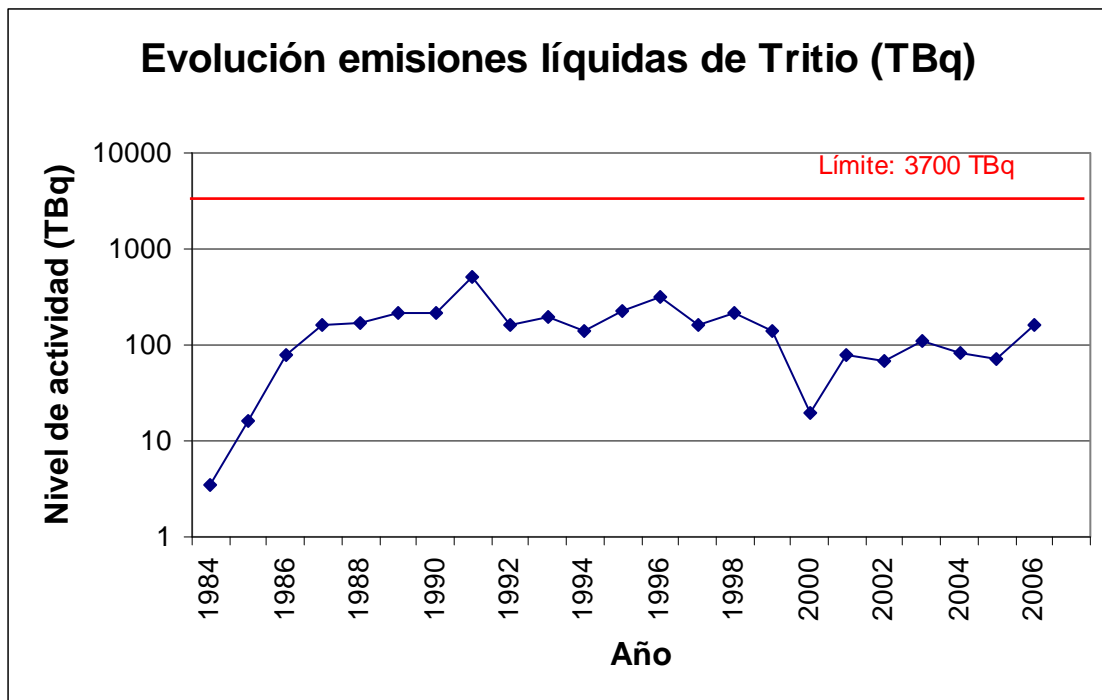


Gráfico Nº 6: Evolución emisiones líquidas de Tritio en CNE

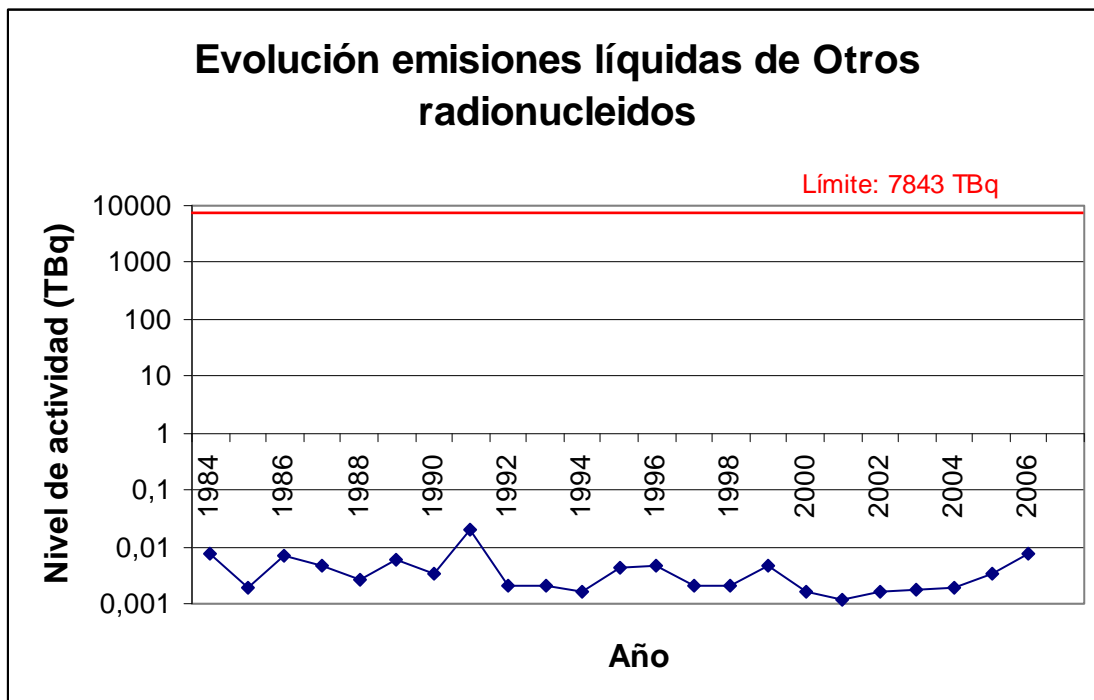


Gráfico Nº 7: Evolución emisiones líquidas de otros radionucleidos en CNE

En el siguiente gráfico se puede observar la evolución de todos los radionucleidos emitidos por la Central, desde el inicio de su operación hasta el año 2006.

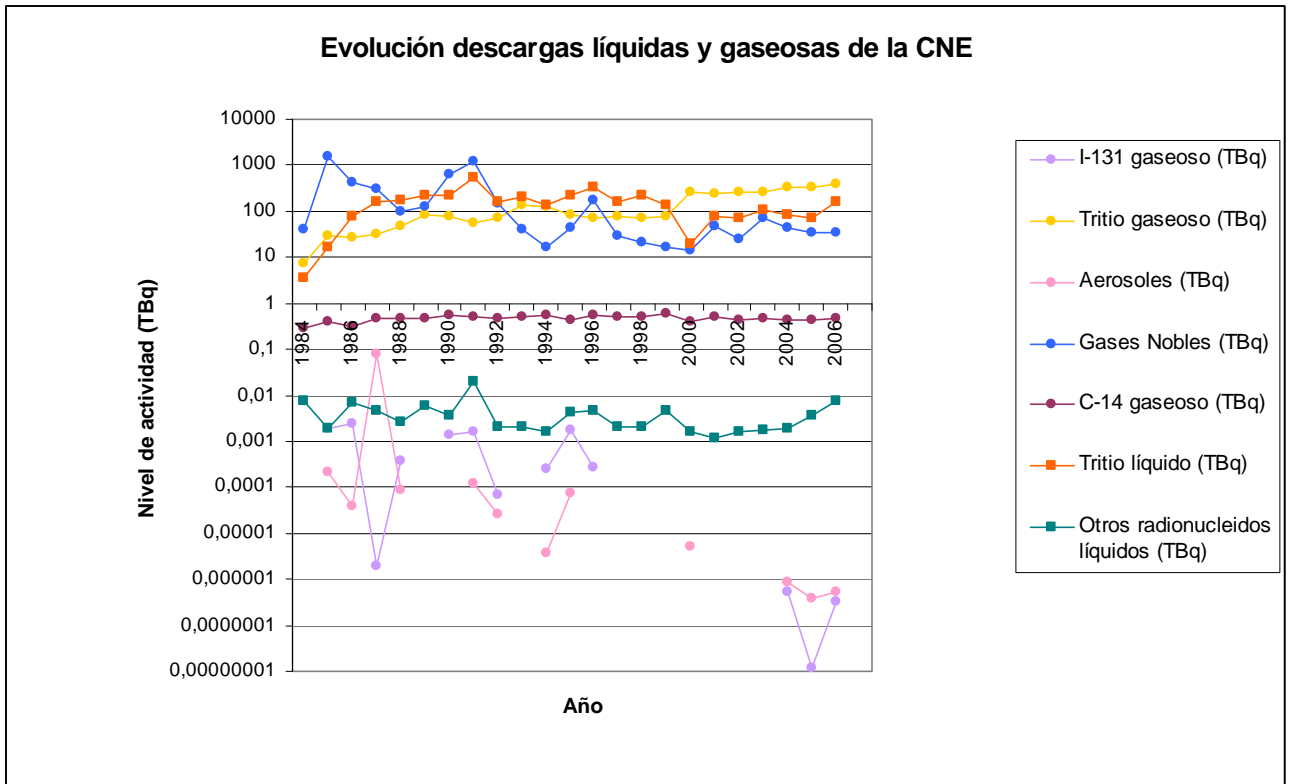


Gráfico N° 8: Evolución de descargas de radionucleidos líquidos y gaseosos de la CNE

ACTIVIDADES	Sector/Etapa del proceso	Actividades/tareas del proceso (describir brevemente)	ASPECTOS																		
			A	B	C	D	E	F	G	H											
GENERACIÓN DE ENERGÍA	REACTOR	1	Almacenamiento del combustible antes de ser cargado en el reactor																		
		2	Utilización de elementos de una y tres para tareas de operación (gantes, espas, otros.)																		
		3	Dirección de flujo en elemento combustible																		
		4	Regulación del flujo mecánico con barras cobalto: extracción de barras																		
		5	Inyección del combustible en el núcleo del reactor																		
		CIRCUITO PRIMARIO	CIRCUITO PRIMARIO	6	Refrigeración del núcleo con agua pesada		P														
				7	Generador de vapor: traslado del calor desde el agua pesada hacia el agua ligera		P	P													
				8	Condensación de vapor		P	P													
				CIRCUITO SECUNDARIO Y DE REFRIGERACIÓN	CIRCUITO SECUNDARIO Y DE REFRIGERACIÓN	9	Traslado de agua de refrigeración (obtenida del lago) al lago														
						10	Cambio de filtros de agua														
						11	Cambio de filtros de agua en los circuitos de refrigeración (elementos que se desprenden por abrasión y son reemplazados por los filtros)														
						12	Cambio de filtros de agua en Traspas														
						13	Reparaciones / Sustitución de equipos o tuberías: residuos de elementos mecánicos (herramientas, viticos, otros)														
						MANTENIMIENTO	MANTENIMIENTO	14	Funcionamiento de generadores eléctricos												
								15	Uso de ductos de descontaminación en zonas controladas												
OTROS	OTROS							16	Traslado del combustible gastado hacia las piletas												
								17	Acondicionamiento de combustible gastado para su almacenamiento húmedo (en piletas)												
								18	Almacenamiento húmedo del combustible gastado (en piletas)												
								19	Acondicionamiento de combustible gastado para su almacenamiento seco (en silos)												
								20	Traslado del combustible gastado desde las piletas hacia los silos												
		SILOS	SILOS					21	Almacenamiento seco de combustible gastado (silos)												
								22	Movimiento de los elementos combustibles gastados almacenados posicionalmente												
								VIGILANCIA AMBIENTAL	ACTIVIDADES DE VIGILANCIA AMBIENTAL	23	Análisis de muestras en el Laboratorio Ambiental										

En la Matriz de Aspectos la "Ocurrencia" se refiere al aspecto.

GRANDES ACTIVIDADES	Sector/Etapa del proceso	Nº	Actividad	Aspecto	Impacto	Control operativo aplicado/Gestión del aspecto	Ocurrencia	Importancia
GENERACIÓN DE ENERGÍA	REACTOR	1	Regulación del flujo neutrónico con barras cobalto; extracción de varillas	Generación de residuos de media actividad (cables otros elementos)	Riesgo de transferencia de material radiactivo al agua, suelo o atmósfera, y potencialmente a los seres vivos	Blindaje	Potencial	33
		2	Utilización de elementos de usar y tirar para tareas de operación (guantes, estopa, otros.)	Generación de residuos de baja y media actividad	Riesgo de transferencia de material radiactivo al agua, suelo o atmósfera, y potencialmente a los seres vivos	Blindaje	Potencial	33
		3	Detección de falla en elemento combustible	Generación de residuos de alta actividad	Riesgo de transferencia de material radiactivo al agua, suelo o atmósfera, y potencialmente a los seres vivos	Blindaje. Gestión como combustible gastado fallado; almacenamiento en piletas especiales	Potencial	39
		4			Riesgo de transferencia de material radiactivo al agua, suelo o atmósfera, y potencialmente a los seres vivos	Blindaje	Potencial	39
		5		Generación de combustible gastado (material de alta actividad)	Dificultades socio-políticas asociadas a la gestión definitiva	-	Efectivo	27
		6	Irradiación del combustible en el núcleo del reactor; cambio del combustible gastado	Generación de emisiones gaseosas	Riesgo de transferencia de material radiactivo a la atmósfera, y potencialmente a los seres vivos	Filtro	Potencial	33
	CIRCUITO PRIMARIO	7		Liberación de material radiactivo al medio físico circundante (agua pesada); radionúclidos por corrosión de los tubos y contaminación externa de los elementos combustibles	Riesgo de transferencia de material radiactivo al agua, y potencialmente a los seres vivos	Filtros	Potencial	33
		8	Refrigeración del núcleo con agua pesada	Liberación de material radiactivo al medio físico circundante (agua pesada); posibles fugas de elementos combustibles	Riesgo de transferencia de material radiactivo al agua, y potencialmente a los seres vivos	Filtros	Potencial	36
		9	Generador de vapor: traspaso del calor desde el agua pesada hacia el agua liviana	Liberación de material radiactivo al medio físico circundante (agua liviana del circuito secundario)	Riesgo de transferencia de material radiactivo al agua, y potencialmente a los seres vivos	Filtros	Potencial	33
	CIRCUITO SECUNDARIO Y DE REFRIGERACIÓN	10		Emisión de gases radiactivos	Riesgo de transferencia de material radiactivo a la atmósfera, y potencialmente a los seres vivos	Contención dentro del edificio del reactor y filtros	Potencial	33
		11		Liberación de material radiactivo a través de poros hacia el medio físico circundante (agua liviana proveniente del lago; circuito de refrigeración)	Riesgo de transferencia de material radiactivo al agua, y potencialmente a los seres vivos	Filtros	Potencial	33
		12	Condensación de vapor	Emisión de gases radiactivos	Riesgo de transferencia de material radiactivo a la atmósfera, y potencialmente a los seres vivos	Contención dentro del edificio del reactor y filtros	Potencial	33
		13	Vertido de agua de refrigeración (obtenida del lago al lago)	Generación de efluentes de elevada temperatura	Riesgo de alteración del ecosistema lacustre	Canal de 7km de largo desde el punto de vertido hasta la descarga al lago, próxima a la afluencia de dos ríos.	Potencial	29
	MANTENIMIENTO	14	Cambio de filtros de aire	Generación de residuos de baja y media actividad	Riesgo de transferencia de material radiactivo al agua, suelo o atmósfera, y potencialmente a los seres vivos	Blindaje	Potencial	33
		15	Cambio de filtros de agua en los circuitos de refrigeración (elementos que se desprenden por abrasión y son retenidos por los filtros)	Generación de residuos de media actividad	Riesgo de transferencia de material radiactivo al agua, suelo o atmósfera, y potencialmente a los seres vivos	Blindaje	Potencial	33
		16	Cambio de filtros de agua en Piletas	Generación de residuos de baja actividad	Riesgo de transferencia de material radiactivo al agua, suelo o atmósfera, y potencialmente a los seres vivos	Blindaje	Potencial	32
		17	Cambio de filtros de agua en Piletas cuando se produce rotura del combustible gastado	Generación de residuos de alta actividad	Riesgo de transferencia de material radiactivo al agua, suelo o atmósfera, y potencialmente a los seres vivos	Blindaje	Potencial	39
		18	Reparaciones / Sustitución de equipos o tuberías; residuos de elementos mecánicos (herramientas, útiles, otros)	Generación de residuos de baja y media actividad	Riesgo de transferencia de material radiactivo al agua, suelo o atmósfera, y potencialmente a los seres vivos	Blindaje	Potencial	33
	OTROS	19	Funcionamiento de generadores eléctricos	Generación de ruido	Contaminación acústica	-	Efectivo	31
GESTIÓN DE COMBUSTIBLE GASTADO/RESIDUOS RADIATIVOS EN LA CENTRAL	20	Uso de duchas de descontaminación en zonas controladas	Generación de efluentes contaminados con material radiactivo	Riesgo de transferencia de material radiactivo al agua, y potencialmente a los seres vivos	Filtros	Potencial	32	
	21	Traslado del combustible gastado hacia las piletas	Liberación de material radiactivo al medio físico circundante (aire del edificio)	Riesgo de transferencia de material radiactivo al aire, y potencialmente a los seres vivos	Contención dentro del edificio del reactor y filtros	Potencial	29	
	22	Acondicionamiento de combustible gastado para su almacenamiento húmedo (en piletas)	Liberación de material radiactivo al medio físico circundante (aire del edificio)	Riesgo de transferencia de material radiactivo al aire, y potencialmente a los seres vivos	Contención dentro del edificio del reactor y filtros	Potencial	29	
	23	Almacenamiento húmedo de combustible gastado	Contaminación del medio circundante con material radiactivo (plutonio) por rotura de elemento combustible gastado	Riesgo de transferencia de material radiactivo al agua, y potencialmente a los seres vivos	Filtros: resinas de intercambio iónico	Potencial	36	
	24	Acondicionamiento de combustible gastado para su almacenamiento seco (en silos)	Liberación de material radiactivo al medio físico circundante (agua de las piletas) por desarme accidental del elemento combustible	Riesgo de transferencia de material radiactivo al agua, y potencialmente a los seres vivos	Filtros: resinas de intercambio iónico	Potencial	29	
	25	Traslado del combustible gastado desde las piletas hacia los silos	Liberación de material radiactivo al medio físico circundante (ambiente) por accidente en el transporte	Riesgo de transferencia de material radiactivo al agua, suelo o atmósfera, y potencialmente a los seres vivos	Blindaje del combustible gastado. Medidas de seguridad durante la operación.	Potencial	30	
	26		Liberación de material radiactivo al medio físico circundante (paredes de los silos)	Riesgo de transferencia de material radiactivo a la atmósfera, y potencialmente a los seres vivos	Blindaje (las mismas paredes del silo)	Potencial	32	
SILOS	27	Almacenamiento seco de combustible gastado	Rotura de elemento combustible gastado	Riesgo de transferencia de material radiactivo a la atmósfera, y potencialmente a los seres vivos	Reacondicionamiento	Potencial	37	
VIGILANCIA AMBIENTAL	ACTIVIDADES DE VIGILANCIA AMBIENTAL	28	Análisis de muestras en el Laboratorio Ambiental	Generación de efluentes contaminados con material no radiactivo	Posible contaminación del agua	Tratamiento	Potencial	35

Impactos significativos



4. Caracterización Tipológica y Evaluación de Importancia

Impacto	naturaleza	causa-efecto	intensidad	persistencia	extensión	momento	recuperación	acumulación	reversibilidad	periodicidad	sinergia	IMPORTANCIA
1	perjudicial	- directo	4 media	2 permanente	4 puntual	1 inmediato	4 mitigable	4 acumulativo	4 irreversible	4 continuo	4 sinérgico	2 33
2	perjudicial	- directo	4 media	2 permanente	4 puntual	1 inmediato	4 mitigable	4 acumulativo	4 irreversible	4 continuo	4 sinérgico	2 33
3	perjudicial	- directo	4 muy alta	8 permanente	4 puntual	1 inmediato	4 mitigable	4 acumulativo	4 irreversible	4 continuo	4 sinérgico	2 39
4	perjudicial	- directo	4 muy alta	8 permanente	4 puntual	1 inmediato	4 mitigable	4 acumulativo	4 irreversible	4 continuo	4 sinérgico	2 39
5	perjudicial	- indirecto	1 media	2 temporal	2 extremo	4 inmediato	4 mitigable	4 acumulativo	4 medio plazo	2 periódico	2 sinérgico	2 27
6	perjudicial	- directo	4 baja	1 permanente	4 puntual	1 inmediato	4 mitigable	4 acumulativo	4 irreversible	4 continuo	4 sinérgico	2 32
7	perjudicial	- directo	4 media	2 permanente	4 puntual	1 inmediato	4 mitigable	4 acumulativo	4 irreversible	4 continuo	4 sinérgico	2 33
8	perjudicial	- directo	4 muy alta	8 permanente	4 puntual	1 inmediato	4 mitigable	4 acumulativo	4 irreversible	4 irregular	1 sinérgico	2 36
9	perjudicial	- directo	4 media	2 permanente	4 puntual	1 inmediato	4 mitigable	4 acumulativo	4 irreversible	4 continuo	4 sinérgico	2 33
10	perjudicial	- directo	4 baja	1 permanente	4 puntual	1 inmediato	4 mitigable	4 acumulativo	4 irreversible	4 continuo	4 sinérgico	2 32
11	perjudicial	- directo	4 media	2 permanente	4 puntual	1 inmediato	4 mitigable	4 acumulativo	4 irreversible	4 continuo	4 sinérgico	2 33
12	perjudicial	- directo	4 baja	1 permanente	4 puntual	1 inmediato	4 mitigable	4 acumulativo	4 irreversible	4 continuo	4 sinérgico	2 32
13	perjudicial	- directo	4 baja	1 permanente	4 puntual	1 inmediato	4 mitigable	4 simple	1 irreversible	4 continuo	4 sinérgico	2 29
14	perjudicial	- directo	4 media	2 permanente	4 puntual	1 inmediato	4 mitigable	4 acumulativo	4 irreversible	4 continuo	4 sinérgico	2 33
15	perjudicial	- directo	4 media	2 permanente	4 puntual	1 inmediato	4 mitigable	4 acumulativo	4 irreversible	4 continuo	4 sinérgico	2 33
16	perjudicial	- directo	4 baja	1 permanente	4 puntual	1 inmediato	4 mitigable	4 acumulativo	4 irreversible	4 continuo	4 sinérgico	2 32
17	perjudicial	- directo	4 muy alta	8 permanente	4 puntual	1 inmediato	4 mitigable	4 acumulativo	4 irreversible	4 continuo	4 sinérgico	2 39
18	perjudicial	- directo	4 media	2 permanente	4 puntual	1 inmediato	4 mitigable	4 acumulativo	4 irreversible	4 continuo	4 sinérgico	2 33
19	perjudicial	- directo	4 baja	1 permanente	4 extremo	4 inmediato	4 mitigable	4 simple	1 irreversible	4 continuo	4 simple	1 31
20	perjudicial	- directo	4 baja	1 permanente	4 puntual	1 inmediato	4 mitigable	4 acumulativo	4 irreversible	4 continuo	4 sinérgico	2 32
21	perjudicial	- directo	4 media	2 temporal	2 puntual	1 inmediato	4 mitigable	4 acumulativo	4 irreversible	4 periódico	2 sinérgico	2 29
22	perjudicial	- directo	4 media	2 temporal	2 puntual	1 inmediato	4 mitigable	4 acumulativo	4 irreversible	4 periódico	2 sinérgico	2 29
23	perjudicial	- directo	4 muy alta	8 permanente	4 puntual	1 inmediato	4 mitigable	4 acumulativo	4 irreversible	4 irregular	1 sinérgico	2 36
24	perjudicial	- directo	4 media	2 temporal	2 puntual	1 inmediato	4 mitigable	4 acumulativo	4 irreversible	4 periódico	2 sinérgico	2 29
25	perjudicial	- directo	4 media	2 temporal	2 parcial	2 inmediato	4 mitigable	4 acumulativo	4 irreversible	4 periódico	2 sinérgico	2 30
26	perjudicial	- directo	4 baja	1 permanente	4 puntual	1 inmediato	4 mitigable	4 acumulativo	4 irreversible	4 continuo	4 sinérgico	2 32
27	perjudicial	- directo	4 muy alta	8 permanente	4 puntual	1 inmediato	4 irrecuperable	8 simple	1 irreversible	4 irregular	1 sinérgico	2 37
28	perjudicial	- directo	4 baja	1 permanente	4 puntual	1 inmediato	4 mitigable	4 acumulativo	4 irreversible	4 periódico	2 sinérgico	2 30

intensidad	
baja	1
media	2
alta	4
muy alta	8
total	12

persistencia	
fugaz	1
temporal	2
permanente	4

extensión	
puntual	1
parcial	2
extremo	4
total	8
crítico	4

momento	
largo plazo	1
medio plazo	2
inmediato	4
crítico	4

recuperación	
inmediata	1
medio plazo	2
mitigable	4
irrecuperable	8

acumulación	
simple	1
acumulativo	4

reversibilidad	
corto plazo	1
medio plazo	2
irreversible	4

periodicidad	
irregular	1
periódico	2
continuo	4

sinergia	
simple	1
sinérgico	2
muy sinérgico	4

causa-efecto	
indirecto	1
directo	4

naturaleza	
beneficioso	+
perjudicial	-

**4.1. Impactos significativos:**

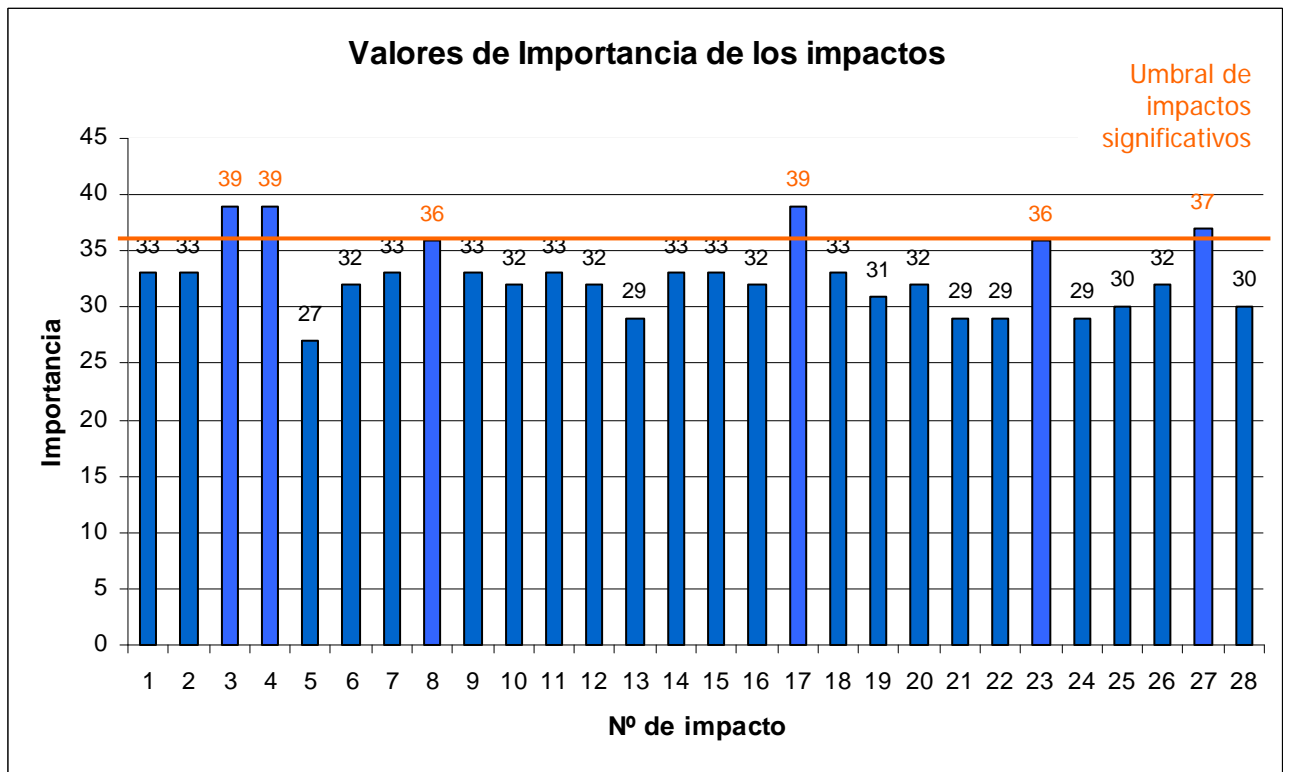


Gráfico N° 9 : Valores de importancia de los impactos

**Importancia: 39**

- Impacto N° 3  
(Reactor) Generación de residuos de alta actividad por detección de falla en elemento combustible: riesgo de transferencia de material radiactivo al agua, suelo o atmósfera, y potencialmente a los seres vivos.
- Impacto N° 4  
(Reactor) Generación de combustible gastado (material de alta actividad) por irradiación en el núcleo del reactor: riesgo de transferencia de material radiactivo al agua, suelo o atmósfera, y potencialmente a los seres vivos.
- Impacto N° 17  
(Almacenamiento húmedo) Generación de residuos de alta actividad por cambio de filtros de agua en Piletas cuando se produce rotura del combustible gastado: riesgo de transferencia de material radiactivo al agua, suelo o atmósfera, y potencialmente a los seres vivos.

**Importancia: 37**

- Impacto N° 27  
(Almacenamiento seco) Rotura de elemento combustible gastado durante su almacenamiento seco: riesgo de transferencia de material radiactivo a la atmósfera, y potencialmente a los seres vivos.

**Importancia: 36**

➤ Impacto N° 8

(Circuito Primario) Liberación de material radiactivo al medio físico circundante (agua pesada) debido a posibles fugas de elementos combustibles durante la refrigeración del núcleo: riesgo de transferencia de material radiactivo a la atmósfera, y potencialmente a los seres vivos.

➤ Impacto N° 23

(Almacenamiento húmedo) Contaminación del medio circundante con material radiactivo (plutonio) por rotura de elemento combustible gastado durante su almacenamiento húmedo: riesgo de transferencia de material radiactivo al agua, y potencialmente a los seres vivos.

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Del análisis de las descargas radiactivas de la CNE, tanto gaseosas como líquidas, se desprende que en ningún momento, a lo largo de la vida de la central, se han traspasado los límites de emisión establecidos por las autoridades competentes. Incluso se han mantenido en valores mucho más bajos que los máximos admisibles.

Sin embargo, la diferencia entre los máximos admisibles y los máximos alcanzados se ha reducido desde el año 2001. Desde el inicio de la operación de Embalse hasta el año 2000 sus descargas de radionucleidos fueron de menos del 10% de los límites de descarga anual autorizados<sup>51</sup>, mientras que para el período 2001-2006 ese valor bajó al 3%<sup>52</sup>.

La contribución porcentual de tritio a las descargas totales de la CNE ha ido aumentando progresivamente con los años. Del promedio total anual de descargas de la central en el período 1984-2000 un 47% correspondió al tritio, mientras que para el período 2001-2003 el tritio constituyó el 88% y para el período 2004-2006, un 92%.

Asimismo, se observa una disminución en las emisiones de yodo, gases nobles; tritio líquido y otros radionucleidos (líquidos).

En el año 1991 se produce un pico en los valores de radionucleidos liberados al ambiente en las emisiones líquidas y gaseosas, salvo para tritio y aerosoles. Esto puede hablar de una instancia de operación anormal, aunque no se cuenta con la información para asegurar que ésta sea la causa del incremento de las emisiones. Aún así, los valores se han mantenido por debajo de los máximos fijados por la reglamentación.

Se podría decir, a partir de estos primeros resultados, que el impacto de la CNE es mínimo, ya que sus efectos sobre el medio respetan la reglamentación establecida. Sin embargo, al relevar los aspectos e impactos ambientales, y evaluar estos últimos, se accede a una visión más amplia del efecto de la actividad sobre el medio, y se pueden apreciar los factores críticos asociados al impacto ambiental generado por la CNE.

Dichos factores son aquellos vinculados a la gestión de material radiactivo de alta actividad (fundamentalmente combustibles gastados). Este punto, la peligrosidad del material, así como la existencia y el grado de efectividad de los controles aplicados, son los que determinan la diferencia de importancia que se presenta entre los impactos evaluados.

Se ha observado la existencia de controles operativos asociados a todos los aspectos ambientales relevados, detectándose sin embargo la falta de procedimientos concretos para actuar ante desviaciones en los ensayos de laboratorio (en la realización de tareas de monitoreo ambiental). Esto podría plantearse como sugerencia de mejora para la gestión ambiental de la central.

Los impactos que resultaron significativos son 6. De todos los parámetros empleados en su caracterización tipológica, hay cuatro para los que los Impactos Significativos toman los máximos valores: la intensidad (muy alta), la persistencia (permanente), el momento (inmediato) y la reversibilidad (irreversible).

Eso no quiere decir que todos los impactos con máxima valoración en estos criterios sean significativos. Por ejemplo, no todos los impactos de ocurrencia inmediata son significativos, a pesar de que los 6 impactos significativos son inmediatos.

Sin embargo, todos los impactos de mayor intensidad (muy alta) resultaron ser significativos, por lo que este parámetro representa un factor clave en la importancia de los impactos ambientales de la central.

Para final esta discusión de resultados, se presentan comentarios sobre la valoración hecha de los impactos. A través de las siguientes líneas se pretende mostrar, en forma resumida, las características de los impactos relevados:

Todos los impactos son irreversibles (hace referencia al cese del efecto por medios naturales), ya que los riesgos sólo pueden mitigarse con la intervención del hombre mediante la aplicación de medidas de control y seguridad.

Todos los impactos son inmediatos, porque se considera que siempre que se realicen actividades automáticamente aparecen los riesgos vinculados.

---

<sup>51</sup> Informe de Seguridad Nuclear 2001, ARN.

<sup>52</sup> Informe de Seguridad Nuclear 2004 y 2007, ARN.

En cuanto a la extensión de los impactos, cabe aclarar cada una de las tres valuaciones utilizadas.

La extensión para los riesgos asociados a la gestión de residuos radiactivos y combustible gastado es *puntual*, ya que el riesgo se encuentra en el punto donde está el residuo, más allá de que el alcance de los efectos si ese riesgo se concretara sería mayor (hacia distintos elementos del medio, como agua, aire y suelo, y seres vivos).

En el caso del ruido (impacto N° 19) la extensión es *extrema* porque sobrepasa los límites físicos del predio de la central. No alcanza a ser crítico porque, al estar alejada la central aproximadamente 8km de la ciudad de Embalse, el impacto no repercute en la vida de los habitantes.

También es *extremo* en su extensión el impacto asociado a las dificultades sociopolíticas (impacto N° 5) de la gestión de los residuos radiactivos, ya que su alcance trasciende los límites de la central, llegando a tener repercusión nacional.

Se identificó sólo un impacto de extensión *parcial*, referido a un posible accidente en el traslado del combustible gastado desde las piletas hacia los silos con la consecuente liberación de material radiactivo al ambiente. Ya que este transporte se lleva a cabo fuera de los edificios (al aire libre), pero dentro del predio de la central, el alcance del impacto sería mayor que el de uno puntual debido a la ausencia de un blindaje externo más allá de los propios aplicados al residuo (no existe la contención que brinda el edificio del reactor).

Resulta conveniente dar el fundamento de la valoración de ciertos parámetros para algunos de los impactos detectados:

Impacto N° 5: Cambio del combustible gastado: dificultades socio-políticas asociadas a la gestión definitiva del mismo.

El impacto es mitigable si se trabaja sobre la comunicación.

Es acumulable, ya que de acuerdo a las decisiones y a los hechos en torno al sector nuclear, se va generando una determinada postura frente a la problemática de los residuos nucleares.

Su duración es de corto plazo, aunque puede ser variable: dependiendo, entre otros factores, de las circunstancias y la forma en que se realice la comunicación por parte de los organismos del sector nuclear y de otras entidades (como ONGs u otras), puede darse mayor o menor aceptación sobre este ítem, o suscitarse mayor o menor polémica al respecto.

Es sinérgico con la ocurrencia de otros impactos, fundamentalmente con aquellos relativos a incidentes o fallas en la operación de la central, cuestiones que producen un aumento de la sensibilidad con respecto al tema.

Impacto N° 21: Traslado del combustible gastado hacia las piletas: riesgo de transferencia de material radiactivo al aire y potencialmente a los seres vivos por liberación de material radiactivo al medio físico circundante.

Es puntual porque el traslado se realiza dentro de las instalaciones.

Es periódico (y no continuo) porque se repite cada vez que se traslada el combustible.

Impacto N° 22: Acondicionamiento de combustible gastado para su almacenamiento húmedo (en piletas): riesgo de transferencia de material radiactivo al aire y potencialmente a los seres vivos por liberación de material radiactivo al medio físico circundante.

Es temporal porque el acondicionamiento es pasajero.

## CONCLUSIÓN

Se puede decir a través de la evaluación de impactos que, a grandes rasgos, el impacto generado por la central no es significativo, debido a que sus aspectos ambientales (ya sean críticos o no) son gestionados bajo criterios de calidad ambiental y de seguridad, y sometidos a diversos controles que reducen significativamente su incidencia en el medio. A su vez, esto (la existencia de controles) se traduce en la disminución del valor de importancia resultante de la evaluación de los impactos mediante su caracterización tipológica.

La metodología empleada para este estudio no resulta la más adecuada para evaluar el impacto ambiental de la generación nucleoelectrónica. En primer lugar, porque las metodologías de evaluación de impacto ambiental no se utilizan para el análisis de riesgos, y hemos visto que la mayor parte de los impactos relevados son riesgos. Por otro lado, existe una particularidad de esta actividad que hace a su importancia y que no es reflejada en toda su magnitud dentro de la evaluación: la operación normal de una central, en la que los aspectos ambientales están gestionados y cuentan con los controles operacionales apropiados, no genera de forma directa impactos severos sobre el medio. Al ser relevados se registran como impactos potenciales, es decir, quedan asentados como *riesgos de ocurrencia* de determinados efectos ambientales. Al estar controlado el riesgo, la valoración a través de la ecuación de importancia resulta baja. De esta manera no se refleja la gravedad de los posibles impactos en el caso que se produjeran fallas en los procedimientos de control. Esto nos habla de una brecha considerable entre el impacto de la operación normal de la central (en el que tampoco se incluye la gestión definitiva de los residuos radiactivos) y el impacto que tendría una falla operacional, cuyos efectos en el medio serían catastróficos.

Para poder evaluar la efectividad de los controles es necesario acceder a información más detallada, que no se encuentra disponible. De esta manera, el presente estudio se torna una muestra del nivel de información al alcance de la comunidad, en cuanto a los aspectos ambientales la actividad nuclear de la central.

El análisis producto de la metodología empleada resulta acotado, al no contemplar variables claves que están invariablemente ligadas a la generación nucleoelectrónica, aunque no formen parte del proceso operativo de la central nuclear. Los estudios ambientales deben ser abordados desde una perspectiva global, por esta razón. Sería equivocado plantear, extrapolando los resultados obtenidos para la CNE, que la generación nucleoelectrónica es de bajo impacto ambiental, ya que esto dejaría fuera del análisis variables como la gestión definitiva de residuos radiactivos, una de las principales limitaciones o preocupaciones en torno del sector nuclear.

Si bien actualmente esta cuestión (la gestión definitiva de los residuos radiactivos) no está a cargo de la CNE, y es responsabilidad del Estado Nacional a través de la CNEA, sería adecuado vincular este aspecto a la generación nucleoelectrónica al evaluar su impacto ambiental, ya que representa uno de los mayores desafíos de esta industria y forma parte de los impactos generados por la misma, independientemente del organismo encargado de gestionarlos (a los residuos radiactivos) y de que esta gestión trascienda los límites físicos del predio de operación de la central.

Más allá de las restricciones de la metodología empleada (puntualmente la evaluación de impactos a través de la ecuación de importancia), los resultados de la misma son válidos debido a las modificaciones realizadas en su aplicación. Resulta coherente la comparación entre los valores arrojados en la evaluación de cada impacto. Asimismo, la metodología sirve para detectar los parámetros claves en la valoración de los impactos generados por la operación de la central nucleoelectrónica y, de esta manera, dar pie al desarrollo de una herramienta más idónea para realizar este tipo de evaluación.

Tal herramienta podría constituir una ecuación de la que resulta la importancia del impacto al multiplicar su *gravedad* por su *probabilidad* de ocurrencia.

Para este estudio, no fue factible emplearla debido a la limitación que plantea la información disponible, ya que para determinar la *probabilidad* es necesario conocer con detalle los controles aplicados, así como la eficacia real de los mismos.

De aquí se desprende que las dificultades para adquirir información pormenorizada obstaculizan el estudio ambiental del sector nuclear.

En cuanto al análisis de las descargas de material radiactivo de la central desde el inicio de su operación hasta el año 2006<sup>53</sup>, se determinó que en ningún momento se traspasan los límites de descarga de material radiactivo establecidos (para todos los radionucleidos muestreados); incluso los valores se mantienen en niveles mucho más bajos que los máximos permitidos. A pesar de que no se detectan desviaciones con respecto a la norma, se detectan algunos puntos sobre los que convendría profundizar el análisis. Uno de ellos es el aumento de la contribución porcentual del tritio a las descargas totales. Ha pasado progresivamente del 47% (1984-2000), al 88% (2001-2003) y finalmente al 92% (2004-2006). Por otro lado, cabe resaltar que, si bien se respetan los límites admisibles de descargas, éstas se han ido acercando a los máximos. Pasaron de estar un 10% (de 1984 a 2000) a estar un 3% (de 2001 a 2006) por debajo de lo que establece la norma.

La creciente demanda de energía debida al aumento de la población mundial y del consumo de energía per cápita hacen que la alternativa nuclear aparezca como la más atractiva ante otras opciones energéticas menos competitivas y de menor rendimiento en la actualidad, de fuentes renovables o de flujo (como la solar y eólica)<sup>54</sup>. A esto se suma el bajo nivel de emisión de gases de efecto invernadero, que también posiciona a la nuclear como una de las opciones más viables frente al calentamiento global y a los compromisos surgidos del Protocolo de Kioto. La extensión de la vida útil de las centrales existentes podría permitir un paso gradual hacia una participación mayor de fuentes alternativas en la provisión de energía, mitigando los efectos de la crisis energética. Sin embargo, eventualmente se deberá pensar en otras vías para la obtención de energía a gran escala, ya que las reservas de uranio, sin bien son abundantes, son finitas.

Si se plantea que el conflicto de raíz es el modelo consumista, y no la escasez de recursos o de energía, es evidente que una verdadera solución a la crisis energética no reside en la generación de más energía eléctrica para poder satisfacer la creciente demanda. De hacerse así, se ingresaría en un círculo vicioso marcado por el crecimiento de la población, de la demanda de energía eléctrica, y de la presión sobre los recursos, que alcanzaría su límite en la disminución de la capacidad de regeneración de los sistemas naturales. Esto llevaría a un vuelco brusco en el estilo de vida preponderante.

Para que ese cambio, que debe producirse, no sea tan violento, se debe planificar con visión integradora y a largo plazo el aprovechamiento de todos los recursos energéticos con que se cuenta, contemplando las necesidades de la sociedad (que incluyen la de un ambiente sano) y respetando la capacidad regenerativa de los sistemas. De otra manera, se estaría trasladando para el futuro la búsqueda y el desarrollo de una solución legítima.

Comenzar desde hoy a desarrollar energías alternativas<sup>55</sup>, principalmente a través de mayor inversión e investigación en ellas, imprimiendo mayor diversidad a la matriz energética, podría configurarse en el principio de esa solución genuina. Esto debería ir de la mano, necesariamente, de un fuerte trabajo en educación ambiental, con ahínco en las dificultades que plantea el actual modelo de consumo, que exacerba las necesidades del hombre llevándolas a niveles injustificados, traspasando la capacidad de carga del planeta.

Así, comenzar desde hoy a invertir en energías limpias poco desarrolladas es una apuesta al futuro, tendiente a evitar la aparición de situaciones críticas en las que no se cuente con un respaldo que contribuya a la resolución de los conflictos devenidos de las mismas. Es precisa la previsión de esos escenarios, para articular desde la actualidad medidas que mejoren la preparación y la capacidad de gestión de crisis.

---

<sup>53</sup> Aún no se ha publicado el Informe de Seguridad Nuclear donde aparecerán los valores para el año 2007.

<sup>54</sup> La generación nucleoelectrónica permite generar cantidades significativas de energía, aspecto que no es satisfecho por otras fuentes no emisoras de gases de efecto invernadero.

<sup>55</sup> Las energías alternativas hacen referencia en este caso a aquellas provenientes de fuentes renovables o de flujo.

## BIBLIOGRAFÍA

- H.R.Martin, *"La Política Nuclear en el Contexto de las Relaciones Internacionales"*, Universidad Nacional de Córdoba, Centro de Estudios Avanzados, Argentina, 2002.
- Navarro, N.R.; Autoridad Regulatoria Nuclear, Argentina, *"Regulación de la energía nuclear en Argentina"*, Presentado en: "Simposio de Energía Nuclear de las Américas". Miami, EE. UU, 16-18 octubre 2002.
- M.Barrachina Gómez, et. al., *"El libro de la Energía"*, Ed. Forum, España, 1992.
- Sociedad Argentina de Radioprotección, *"Radiación: Dosis, Efectos, Riesgos"*, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, CNEA, 1985.
- Ente Nacional Regulador Nuclear, *"Actividades regulatorias en seguridad radiológica y nuclear, salvaguardias y protección física"*, Buenos Aires, 1994.
- Comisión Nacional de Energía Atómica, *"Proyecto de Restitución Ambiental de la Minería del Uranio (PRAMU) –Evaluación Ambiental–"*, 1998.
- Organismo Internacional de Energía Atómica, Boletín, Volumen 20, Número 2, Viena, 1978.
- Fundación MAPFRE, *"Manual de Contaminación Ambiental"*, ITSEMAP Ambiental, España, 1994.
- J.Glynn Hemry, G. W. Heinke, *"Ingeniería Ambiental"*, Ed. Prentice Hall, México, 1999.
- J.Aguado Alonso, et. al., *"Los residuos peligrosos: caracterización, tratamiento y gestión"*, Ed. Síntesis, España, 1999
- G.Tyller Miller, *"Ecología y Medio Ambiente"*, Grupo Editorial Iberoamérica, México, 1994.
- T.Brown, *"Química: La ciencia central"*, Ed. Prentice Hall, México, 1998.
- Orozco Barrenetxea, Carmen. *"Contaminación ambiental: una visión desde la química"*, Ed. Thompson.Paraninfo, Madrid, 2003.
- Loria Soria, Federico de, *"Técnicas de defensa del medio ambiente"*, Ed. Labor, Barcelona, 1978.
- V. Conesa Fernández-Vitora, *"Guía metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental"*, Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 1997.
- OIEA Boletín, Vol.20, N°2, Viena, 1978.
- *"Actividades Regulatorias"*, ARN, 2001.
- [www.na-sa.com.ar](http://www.na-sa.com.ar)
- [www.cnea.gov.ar](http://www.cnea.gov.ar)
- <http://www.econoticias.org.ar/econoticias/modules.php?name=News&file=article&sid=427>
- [www.institucion.org/mestral/tecnoreball/centranucl.htm](http://www.institucion.org/mestral/tecnoreball/centranucl.htm)



## ANEXO 1

### MARCO LEGAL DE LA ACTIVIDAD NUCLEAR EN ARGENTINA Y EN EL MUNDO

#### 1) Marco Legal Nacional

- Ley Nacional de Actividad Nuclear N° 24804

Establece las funciones del Estado, los criterios regulatorios y las jurisdicciones. Hace referencia a las funciones de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) y de la Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN), que no describiremos aquí ya que estos datos se detallan en la sección 3.3.3. *Autoridades y Organismos relacionados a la Actividad Nuclear.*

Sólo haremos mención a dos de sus artículos.

En su Artículo 12, esta ley instituye que *"para definir la ubicación de un repositorio para residuos de alta, media y baja actividad, la CNEA propondrá un lugar de emplazamiento. Éste deberá contar con la aprobación de la ARN en lo referente a seguridad radiológica y nuclear y la aprobación por ley del estado provincial donde se ha propuesto la localización. Tales requisitos son previos y esenciales a cualquier trámite."*

Por otro lado, en el Capítulo IV de Disposiciones Generales, el Artículo 31 versa: *"La responsabilidad por la seguridad radiológica y nuclear, salvaguardias y protección física recae inexcusablemente en el poseedor de la licencia, permiso o autorización. El cumplimiento de los establecido en esta ley, y en las normas y requerimientos que se ellas se deriven, no lo exime de tal responsabilidad ni de hacer todo lo razonable y compatible con sus posibilidades a favor de la seguridad radiológica y nuclear, la salvaguardia y la protección física.*

*El titular de una licencia, permiso o autorización puede delegar total o parcialmente la ejecución de tareas, pero mantiene integralmente la responsabilidad establecida en este artículo."*

- Ley N° 25018 Régimen de Gestión de Residuos Radiactivos (aut. apl.: CNEA)

Esta ley define la Gestión de Residuos Radiactivos en su Artículo 2° como *"el conjunto de actividades necesarias para aislar los residuos radiactivos de la biosfera derivados exclusivamente de la actividad nuclear efectuada en el territorio de la Nación Argentina, el tiempo necesario para que su radiactividad haya decaído a un nivel tal, que su eventual reingreso en la misma no implique riesgos para el hombre y su ambiente."*

Se establece también en la presente que el Estado Nacional es responsable de la gestión de estos residuos a través de la CNEA, una vez que hayan sido transferidos a ésta por el generador del residuo. Es decir que el generador es responsable del acondicionamiento y almacenamiento de los residuos radiactivos generados en la instalación que él opera.

- Norma AR 3.1.2 Limitación de efluentes radiactivos en reactores nucleares de potencia

Se refiere a la limitación de las descargas de efluentes radiactivos al ambiente, estableciendo el límite de la dosis efectiva total al grupo crítico y de la dosis efectiva colectiva.

Establece en su apartado **D. Criterios:**

*D.6. Debe preverse como mínimo suficiente retención de modo tal que se cumplan las siguientes **restricciones de dosis**:*

*a) La dosis efectiva anual en el grupo crítico debida a la liberación de efluentes radiactivos no exceda de 0,3 mSv.*

*b) La dosis efectiva colectiva no exceda 15 mSv hombre por MW año de energía eléctrica generada.*

*D.7. Debe preverse que la actividad de los efluentes radiactivos descargados al ambiente en un (1) trimestre calendario, no debe exceder 1/3 del valor anual deducido a partir de los criterios N° 5 y N° 6.*

*D.8. Debe preverse que la actividad de los efluentes radiactivos descargados en un (1) día, no debe exceder 4 veces del valor promedio deducido a partir de los criterios N° 5 y N° 6.*

- Norma AR 3.1.3. Criterios radiológicos relativos a accidentes en reactores nucleares de potencia

Establece que:

- *Se deben tomar todas las medidas que sean razonables para evitar accidentes minimizando los riesgos radiológicos asociados.*
- *Es necesario identificar todas las secuencias accidentales que, de ocurrir, podrían conducir a exposiciones no deseables de personas a la radiación.*
- *Se debe calcular la probabilidad anual de ocurrencia de cada una de ellas y las consecuencias radiológicas resultantes en el grupo crítico.*

- Norma AR 3.9.1. Criterios generales de seguridad para la operación de un reactor nuclear de potencia

Establece en su apartado **D. Criterios**:

*D.19. El reactor nuclear de potencia debe contar permanentemente con una reserva para almacenar elementos combustibles irradiados, equivalente como mínimo al número de elementos combustibles contenidos en el núcleo del reactor.*

- Norma AR 6.1.2 Limitación de efluentes radiactivos de instalaciones radiactivas Clase I
- Norma AR 10.1.1. Norma básica de seguridad radiológica

Su objetivo es "*lograr un nivel apropiado de protección de las personas contra los efectos nocivos de las radiaciones ionizantes y de seguridad de las fuentes de radiación.*"

Establece en su apartado **D. Criterios**:

***D3.3.2. LÍMITES Y RESTRICCIONES DE DOSIS PARA LA EXPOSICIÓN DE MIEMBROS DEL PÚBLICO***

*104. Los límites de dosis para miembros del público se aplican a la dosis promedio en el grupo crítico.*

*105. El **límite de dosis efectiva es 1 milisievert en un año** y los límites anuales de dosis equivalente son 15 milisievert para el cristalino y 50 milisievert para la piel.*

Algunas de las definiciones que se incluyen en esta norma, y que pueden resultar útiles para el entendimiento de los distintos temas tratados en este trabajo, son:

*C. Explicación de términos*

14. *Gestionadora de Residuos Radiactivos: Instalación en la que se realiza la gestión de los residuos radiactivos transferidos por las instalaciones generadoras de residuos radiactivos, incluyendo la disposición final de tales residuos.*

15. *Grupo Crítico: Grupo de población representativo de los individuos más expuestos y homogéneo en cuanto a los parámetros que influyen en las dosis recibidas, durante la operación normal o en caso de accidentes, en una instalación o práctica no rutinaria.*

16. *Instalación: Instalación Nuclear, Instalación Radiactiva, Instalación Minero Fabril o Acelerador de Partículas.*

17. *Instalación Clase I: Instalación o práctica que requiere un proceso de licenciamiento de más de una etapa.*

18. *Instalación Clase II: Instalación o práctica que sólo requiere licencia de operación.*

19. *Instalación Clase III: Instalación o práctica que sólo requiere registro.*

21. *Instalación Nuclear: Instalación donde se procesa, manipula, almacena transitoriamente o utiliza material fisionable, excluyendo Instalaciones Minero Fabriles.*

22. *Instalación Radiactiva: Instalación donde se procesa, manipula, almacena transitoriamente o utiliza material radiactivo no fisionable.*

23. *Instalación Relevante: Toda Instalación clasificada en la Clase I.*

31. *Optimización: Procedimiento para reducir tanto como sea razonablemente alcanzable, teniendo en cuenta factores sociales y económicos, la dosis colectiva originada en una Instalación o en una práctica.*

*D. Criterios*

*D1. GENERALES*

47. *Las INSTALACIONES CLASE I llamadas también Instalaciones Relevantes comprenden las siguientes subclases:*

1. **Reactores Nucleares de Potencia**<sup>56</sup>

2. *Reactores Nucleares de Producción e Investigación.*

3. *Conjuntos Críticos.*

4. *Instalaciones nucleares con potencial de criticidad.*

5. *Aceleradores de Partículas con  $E > 1$  MeV (excepto los aceleradores de uso médico).*

6. *Plantas de Irradiación fijas o móviles.*

7. *Plantas de producción de fuentes radiactivas abiertas o selladas.*

8. *Gestionadora de Residuos Radiactivos.*

9. *Instalaciones Minero Fabriles que incluyen el sitio de disposición final de los residuos radiactivos generados en su operación.*

*D2. RESPONSABILIDADES POR LA SEGURIDAD RADIOLÓGICA*

54. *La responsabilidad por la seguridad radiológica de las Instalaciones o prácticas señaladas en los Criterios N° 47, 48<sup>57</sup> y 49<sup>58</sup>, y de las prácticas no rutinarias recae en el titular de licencia, registro o autorización de práctica no rutinaria, según corresponda.*

- Norma AR 10.12.1. Gestión de residuos radiactivos

Su objetivo es " *Establecer requisitos generales para que la gestión de residuos radiactivos se realice con un nivel adecuado de protección radiológica de las personas y de preservación del ambiente tanto en el caso de las generaciones actuales como en el de las futuras.*"

Establece en su apartado **D. Criterios:**

*D.27. El titular de Licencia de una Generadora de Residuos Radiactivos deberá llevar inventarios de los residuos radiactivos generados, los almacenados y los transferidos a la Gestionadora de Residuos Radiactivos, manteniendo permanentemente actualizado*

<sup>56</sup> La CNE entra dentro de esta categoría.

<sup>57</sup> El Criterio N° 48 corresponde a las Instalaciones Clase II; establecimiento de subclases.

<sup>58</sup> El Criterio N° 49 corresponde a las Instalaciones Clase III; establecimiento de subclases.

*dichos inventarios durante la etapa de operación de la instalación, e informando periódicamente a la Autoridad Regulatoria. En el momento del retiro de servicio de la instalación, deberá remitir todos los registros a la Autoridad Regulatoria.*

A continuación se presenta un listado de las Normas AR que son aplicables a la CNE. Dados los objetivos de este trabajo, resulta innecesario profundizar en el contenido de cada una de ellas, pero resulta pertinente al menos mencionarlas para tener conocimiento de los aspectos regulados, y su implicancia más o menos directa en la seguridad radiológica y la protección ambiental.

NORMA	NOMBRE
AR 3.1.1.	Exposición ocupacional en reactores nucleares de potencia
AR 3.1.2.	Limitación de efluentes radiactivos en reactores nucleares de potencia
AR 3.1.3.	Criterios radiológicos relativos a accidentes en reactores nucleares de potencia
AR 3.2.3.	Seguridad contra incendios en reactores nucleares de potencia
AR 3.3.1.	Diseño del núcleo de reactores nucleares de potencia
AR 3.3.2.	Sistemas de remoción de calor de reactores nucleares de potencia
AR 3.3.4.	Seguridad de elementos combustibles para reactores nucleares de potencia
AR 3.4.1.	Sistema de protección e instrumentación relacionada con la seguridad de reactores nucleares de potencia
AR 3.4.2.	Sistemas de extinción para reactores nucleares de potencia
AR 3.4.3.	Sistema de confinamiento en reactores nucleares de potencia
AR 3.8.1.	Pruebas preliminares y puesta en marcha de reactores nucleares de potencia
AR 3.9.1.	Criterios generales de seguridad para la operación de reactores nucleares de potencia
AR 4.2.1.	Diseño de conjuntos críticos
AR 4.9.1.	Operación de conjuntos críticos
AR 6.1.1.	Exposición ocupacional de instalaciones radiactivas Clase I
AR 6.1.2.	Limitación de efluentes radiactivos de instalaciones radiactivas Clase I
AR 10.1.1.	Norma básica de seguridad radiológica
AR 10.12.1.	Gestión de residuos radiactivos
AR 10.13.1.	Norma de protección física de materiales e instalaciones nucleares
AR 10.14.1.	Garantías de no desviación de materiales nucleares y de materiales, instalaciones y equipos de interés nuclear

## 2) Régimen Jurídico Internacional de las Actividades Nucleares para la Protección Ambiental

A partir del año 1972, cuando se produjo la Primera Conferencia de las Naciones Unidas para el Ambiente Humano, en Estocolmo (Suecia), se comenzó a difundir la idea de que un ambiente sano es un factor de importancia fundamental en lo referido al bienestar humano. Diversas normas y documentos jurídicos se han desarrollado desde entonces a nivel internacional, con el fin de que los Estados realicen las actividades (aquellas que pudieran tener un efecto ambiental a escala global) con responsabilidad y brindando razonables garantías a la comunidad internacional.

Dentro de estas actividades encontramos la nuclear, para la que se han fijando estándares de protección radiológica. Pero estos criterios de protección están referidos sólo a los seres humanos, dejando fuera todas las otras formas de vida. Es así que en la década de los 70, la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) sostenía que si el hombre se encontraba adecuadamente protegido, entonces las otras especies también lo estaban. Esta concepción fue cambiando con el tiempo, hasta llegar a sostener en la actualidad que el nivel de protección adecuado para el hombre no pone en riesgo a las otras especies (sin asegurar ya su protección).

Antes de hablar del régimen jurídico internacional, mencionaremos los principios del derecho ambiental internacional:

- No daño:
  - Los Estados deben tomar las medidas adecuadas para controlar y regular las fuentes que ocasionan contaminación ambiental o daños transfronterizos a nivel mundial dentro de sus territorios o en territorios sujetos a su jurisdicción. (Arbitraje de la Fundición de Trail, Estados Unidos, Canadá, 1941).
  - Los Estados tienen la responsabilidad de velar por las actividades que se realicen dentro de su jurisdicción o bajo su control no dañen el medio ambiente de otros Estados o de zonas fuera de sus límites. (Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano, Sección 21, Estocolmo, 1972).
- Cooperación Internacional:
  - Los Estados deben cooperar entre sí para mitigar los riesgos ambientales transfronterizos. (Arbitraje de Lac Lanoux, España, Francia, 1954).
- El que contamina paga:
  - El responsable de la contaminación es quien primariamente debe tomar a su cargo los costos de remediación.
- Igual acceso y no discriminación:
  - Los efectos de contaminación nacionales y transfronterizos deben ser tratados de la misma manera.

Estos principios son aplicables a todos los aspectos ambientales de un Estado, incluyendo también los asociados a la actividad nuclear.

Veremos en las siguientes líneas los aspectos a los que la comunidad internacional se ha referido, en relación a la actividad nuclear, y los convenios o tratados que han resultado.

- ❖ **Convenio de Londres:** Establece la prevención de la contaminación del mar por vertimiento de desechos y otras sustancias. Prohíbe y regula la disposición de contaminantes radiactivos en el medio marino.
- ❖ **Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (UNCLOS):** Establece disposiciones para el ingreso legal de contaminación al medio marino por río y actividades costeras.
- ❖ **Directrices de Montreal (PNUMA):** Establece la protección del medio marino contra la contaminación procedente de fuentes terrestres. Permite la descarga de pequeñas cantidades de materiales radiactivos siempre que no provoquen contaminación.
- ❖ **Declaración de Río, Conferencia de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y Desarrollo (CNUMAD):** Creación del Programa 21, cuyo Capítulo N° 22 trata de la gestión inocua y ecológicamente racional de los desechos radiactivos. Se establece que los Estados deben:
  - Apoyar, dentro del OIEA, la confección de normas y códigos de prácticas como base internacionalmente aceptada para la gestión de los desechos radiactivos,
  - Promover medidas para reducir y limitar la generación de residuos radiactivos,

- Prever el tratamiento, acondicionamiento, transporte y eliminación inocua de los desechos radiactivos, y
- Facilitar la transferencia de tecnologías a los países en desarrollo o la devolución de las fuentes usadas al proveedor.

A continuación se presenta un listado de las convenciones que integran el Marco Jurídico Global de Seguridad Nuclear, Radiológica y de Desechos:

- ❖ Convención Conjunta sobre Seguridad en la Gestión del Combustible Gastado y sobre Seguridad en la Gestión de Desechos Radiactivos
- ❖ Convención sobre Protección Física de los Materiales Nucleares
- ❖ Convención sobre Pronta Notificación en caso de Accidente Nuclear
- ❖ Convención sobre Asistencia en caso de Accidente Nuclear o Emergencia Radiológica
- ❖ Convención sobre Seguridad Nuclear
- ❖ Convención de Viena sobre Responsabilidad Civil por Daños Nucleares y Protocolo de Enmienda a la Convención de Viena sobre Indemnización Suplementaria por Daños Nucleares

El Artículo 1° de la Convención Conjunta sobre Seguridad en la Gestión del Combustible Gastado y sobre Seguridad en la Gestión de Desechos Radiactivos plantea como uno de sus objetivos "*Asegurar que en todas las etapas de la gestión del combustible gastado y de desechos radiactivos haya medidas eficaces contra los riesgos radiológicos potenciales a fin de proteger a las personas, a la sociedad y al medio ambiente de los efectos nocivos de la radiación ionizante, actualmente y en el futuro, de manera que se satisfagan las necesidades y aspiraciones de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus necesidades y aspiraciones.*"

Es pertinente aclarar la diferencia que existe entre combustible gastado y desecho radiactivo, establecida en esta Convención. El primero hace referencia al combustible nuclear irradiado y extraído permanentemente del núcleo de un reactor, mientras que los desechos radiactivos son aquellos materiales radiactivos, gaseosos, líquidos o sólidos, para los cuales no se prevé ningún uso ulterior.