

de largo plazo para la exportación de materiales que servirán a la construcción de las plantas nucleares en otros países.

Sin embargo, a pesar de los subsidios, la opción núcleo-eléctrica no se reactiva. Uno de los ejemplos es Estados Unidos, donde el Departamento de Energía de este país estableció en 2002 un «Programa de Energía Nuclear-2010», con apoyos directos para la construcción de nuevas centrales: apoyo a las inversiones, préstamos subsidiados, disminución de impuestos, precios de compra de electricidad garantizados por sobre los precios de mercado. A 5 años de este programa, ninguna central nuclear ha comenzado construirse en EE.UU.<sup>10</sup>

Con excepción de Japón, Finlandia es el único país industrializado que ha iniciado la construcción de una central nuclear. Sin embargo, en lo referido al financiamiento, actualmente enfrenta problemas, pues la Comisión Europea ha comenzado una investigación en profundidad para establecer si el préstamo entregado por un grupo de bancos, y garantizado por el Estado francés, por un monto de 570 millones de euros a la compañía finlandesa, para la construcción de la central de Olkilvoto 3, es compatible con las leyes europeas sobre la ayuda estatal.<sup>11</sup>

## **2.1. Costos de inversión**

Una de las mayores dificultades para establecer estimaciones sobre los costos reales de la generación nuclear radica en los estudios especializados. Estos sitúan sus previsiones en rangos tan amplios que dificultan la comparación con otras fuentes de energía en las que las estimaciones son más acotadas.

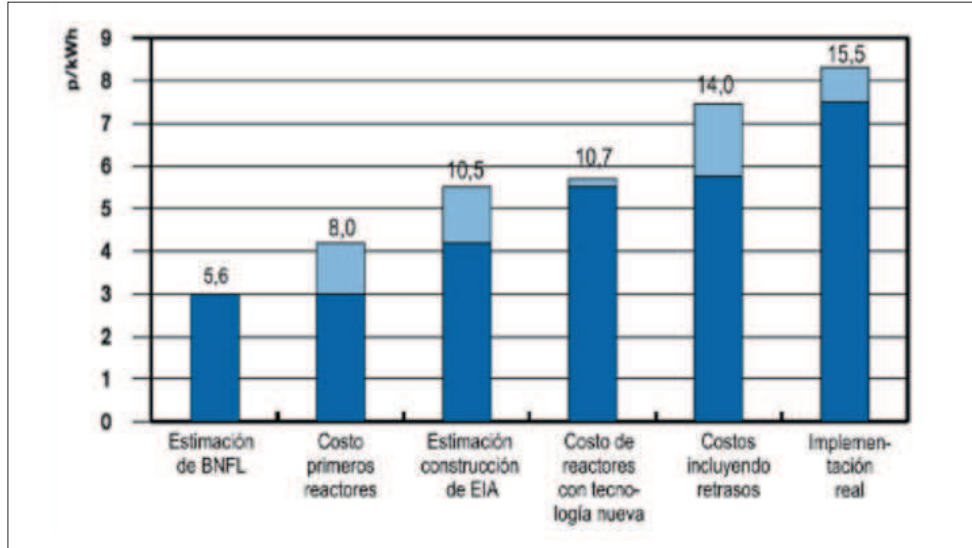
Un informe de la *New Economics Foundation* sobre estimaciones teóricas y costos reales de construcción de plantas nucleares, en base a datos de diversas instituciones gubernamentales (y sin considerar seguros por riesgo de accidente o atentado terrorista), muestra que el costo real puede incluso duplicar algunas estimaciones de la industria nuclear. El gráfico N° 7 muestra costos de electricidad nuclear de US 5,6 centavos de dólar por kilovatio/hora estimados por la Agencia Británica de Energía Nuclear (BNFL); un costo de US 8,0 centavos de dólar en el caso de los reactores ya construidos; uno de US 10,5 centavos de dólar el kilovatio/hora por la Agencia Internacional de Energía; de US 10,7 centavos kilovatio/hora en el caso de reactores con nueva tecnología; y US 14 centavos de dólar kilovatio/hora si se incluye los costos de retraso en la construcción, subiendo a US 15 centavos de dólar los costos de implementación real de este tipo de generadores de acuerdo a la experiencia histórica.

---

<sup>10</sup> Public Citizen, *Nuclear Power 2010 Unveiled, Bush plan for new nuclear reactors maps out monstrous subsidies*, Marzo del 2004. en <http://www.citizen.org/documents/nuke2010analysis.pdf>

<sup>11</sup> Comisión Europea, 26/10/2006, <http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=IP/06/1456>

**Gráfico N°7**  
**El costo creciente de la energía nuclear**  
*Excluyendo costos de seguros, contaminación y riesgos terroristas*



\*Valor en libras en el costado del grafico

\*\*Valor en centavos de dólar sobre las barras

Fuente: The New Economics Foundation, «Mirage and oasis, Energy choices in an age global warming», Junio del 2005. (encima de las barras valor en centavos de dólar)

Estas diferencias no sólo resultan de los costos atribuibles a la elección de tecnologías nucleares distintas, sino que se deben principalmente a las diferencias entre los supuestos de base utilizados y a las diferencia en los costos de los procesos incluidos en el proyecto.

Adicionalmente, la Agencia Internacional de Energía<sup>12</sup> reconoce que en la mayoría de los países, al incluirse mayores exigencias de seguridad y de inspección de las plantas nucleares, los costos de inversión han sido mayores a los aprobados inicialmente<sup>13</sup>. A esto se suma el incremento de costos por las demoras y mayores plazos de construcción.

Por ejemplo, algunos estudios, como el encargado por el Departamento de Energía de Estados Unidos al MIT de la Universidad de Chicago, y que estiman costos de inversión entre US 1200 y 1800 dólares el kilovatio para centrales nucleares, son teóricos.

El hecho de que ni en Estados Unidos ni en Canadá han existido órdenes para construir nuevas centrales nucleares en las recientes tres décadas dificulta realizar una evaluación de los costos de inversión ajustada a la realidad actual.

<sup>12</sup> IEA por sus siglas en inglés.

<sup>13</sup> IEA Energy Technology Essentials (marzo 2007)-Nuclear Power <http://www.iea.org/Textbase/techno/essentials4.pdf>

La misma Agencia Internacional de Energía, en su «Perspectivas sobre Energía Mundial 2006» (WEO 2006)<sup>14</sup> y en sus boletines técnicos<sup>15</sup>, muestra un costo creciente de la energía nuclear, con montos de inversión entre US 1200 y US 2500 dólares por kilovatio.

A objeto de transparentar la diferencia entre los supuestos teóricos y los costos reales de la generación nuclear, tomaremos todos los supuestos del completo estudio del MIT, “The Economic Future of Nuclear Power”, financiado por el Departamento de Energía (DOE) de EE.UU. Dicho informe asume los siguientes supuestos:

- Costos de inversión: entre US 1200 y 1800 dólares por kilovatio.
- Inversión financiada con créditos y capitales propios en un 50%-50% (con tasas de retornos de 10 y 15%, respectivamente).
- Vida útil de la planta: 40-60 años.
- Construcción de la planta: 5-7 años.
- Factor de carga: 85%.
- Costos del combustible: US 4,3 dólares por megavatio/hora.
- Costos de operación y mantenimiento: US 10 dólares por megavatio/hora.
- Costos de desmantelamiento de US 350 dólares por kilovatio.
- Costos de procesamiento de desechos: US 1 dólar por megavatio.

## **2.2. Vida útil de una planta y factor de carga**

Los estudios de la Universidad de Chicago parten del supuesto que las plantas nucleares tendrán una vida útil de 40 a 60 años, con un factor de carga del 85%.

En relación al supuesto de vida útil estimado en 40 a 60 años, y utilizado para calcular los costos de inversión y operación, es necesario señalar que actualmente ninguna central nuclear en operación tiene más de 40 años; por tanto, partir de un supuesto de vida útil de 60 años sigue estando en el terreno de lo estrictamente teórico.

Por otro lado, en relación al supuesto de 85% de factor de planta, es necesario señalar que los análisis sobre generación efectiva de electricidad en los reactores actualmente en operación muestran un factor de carga bastante más bajo. Tal como lo demuestran los gráficos siguientes, de cuatro reactores ubicados en Brasil, Argentina, Estados Unidos y Francia.

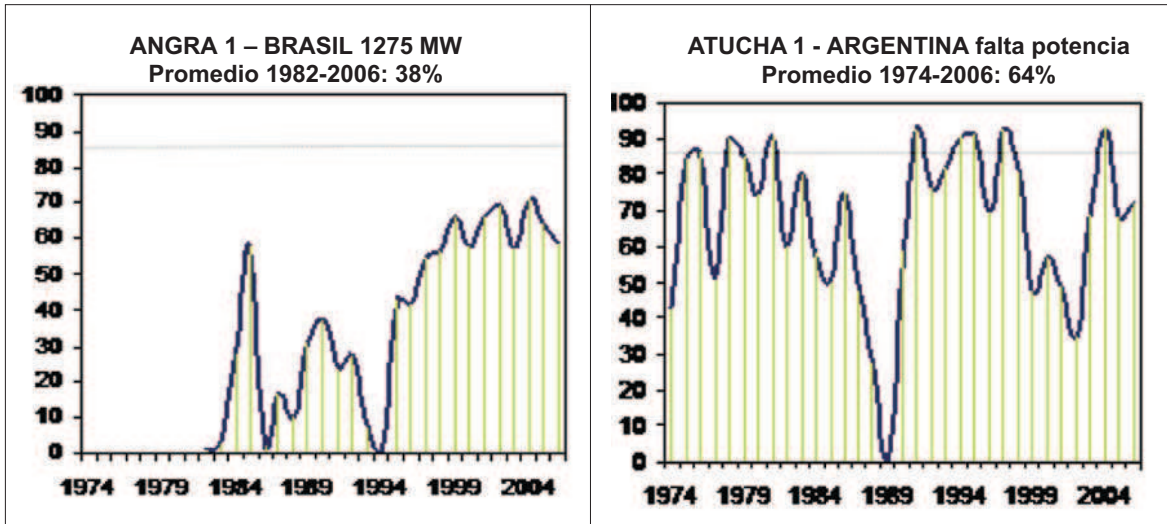
Particularmente pobre es el desempeño de las reactores ubicados en América Latina, donde Atucha 1 en Argentina ha tenido un factor de planta de 64% entre 1974 y 2006; mientras Angra 1 en Brasil sólo ha tenido un factor de planta promedio de 38% entre 1982 y 2006.

---

<sup>14</sup> IEA World Energy Outlook 2006 b)New Economics Foundation “Mirage and Oasis, Energy chices in an age of global warming” junio 2005

<sup>15</sup> IEA Energy Technology Essentials-Nuclear Power <http://www.iea.org/Textbase/techno/essentials4.pdf>

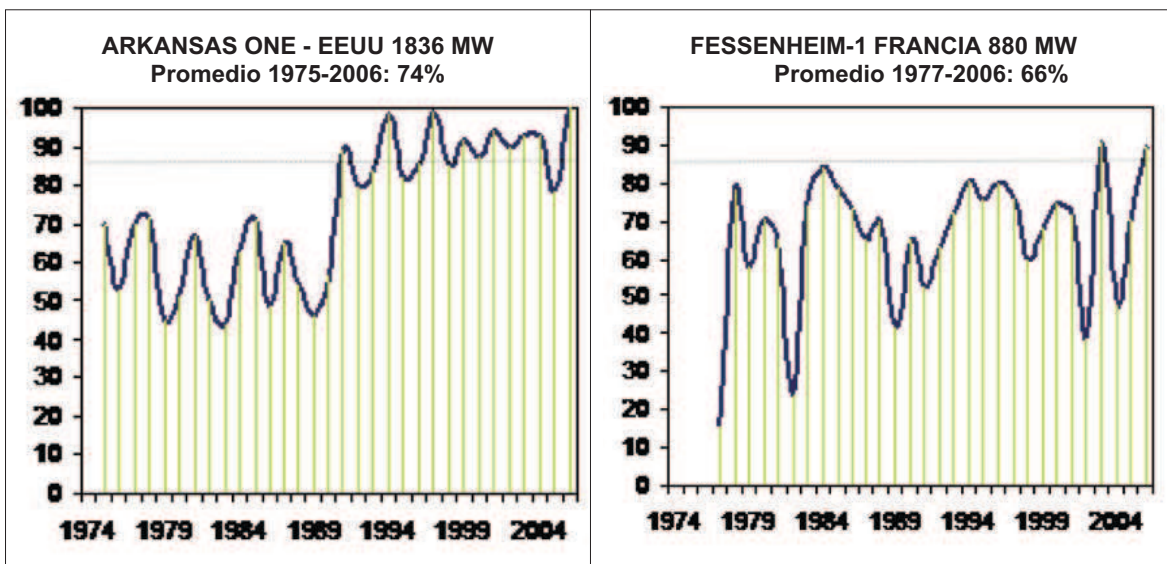
Gráfico N° 8  
Factor de carga



Fuente: Elaboración propia en base a datos de IAEA, Power Reactor Information System, <http://www.iaea.org/programmes/a2/>

El supuesto teórico de 85% como factor de carga tampoco se cumple en la mayor parte de las centrales de los países industrializados. Por ejemplo, el factor promedio de Arkansas One, una central representativa del parque nuclear de Estados Unidos, ha sido sólo de 74% entre 1975 y 2006; mientras que la central de Fessenheim-1, en Francia, ha presentado apenas un factor de planta de 66% entre 1977 y 2006.

Gráfico N° 9  
Factor de carga



Fuente: Elaboración propia en base a datos de IAEA, Power Reactor Information System, <http://www.iaea.org/programmes/a2/>

Finalmente, en relación con la estimación de cronogramas de construcción de centrales nucleares utilizados para calcular los costos de inversión de la generación nuclear, es necesario señalar que estos muestran retrasos promediados de 40% en relación con los prometidos, lo que también significa costos adicionales.

El promedio de construcción de las plantas nucleares entre 1981 y 2005, de acuerdo a la información publicada en 2006 por la Agencia Internacional de Energía Atómica, fue de 8,6 años<sup>16</sup>; y no de 5 a 7 años como estima el estudio del MIT para el Departamento de Energía de Estados Unidos; ni de 5 años como supone la Agencia Internacional de Energía en «Perspectivas de la Energía Mundial 2006»(WEO 2006)<sup>17</sup>.

**Tabla N° 4**  
**Financiamiento e inversión**

	<b>Estudio DOE Universidad de Chicago</b>	<b>IEA World Energy Outlook 2006</b>	<b>Experiencia histórica</b>
Costos de inversión (USD/KWh)	1200-1800	2000-2500	2500 central de Olkiluoto-Finlandia (a)
Tiempo de construcción	5-7 año	5 años	Promedio 8.6 años (b)
Financiamiento inversión	Créditos 50%-Capitales propios 50%	Créditos 50%-Capitales propios	No hay proyectos privados en los últimos 20 años (c)
Vida útil	40-60 años	40 años	No hay centrales mayores de 40 años (d)
Factor de carga	85%	85%	Extremadamente variable (e)

(a) WISE, in <http://www.tegenstroom.nl/node/579>

(b) Promedio entre 1981-2005 según datos de IAEA, "Operating Experience with Nuclear Power Stations in Member States in 2005", Octubre, 2006.

(c) Salvo Finlandia, que ha sido financiada por COFACE, la que está bajo una investigación de la Unión Europea por posibles ayudas estatales indirectas.

(d) IAEA, PRIS.

(e) IAEA, PRIS.

### 2.3. Costos de Operación

Los costos de operación estimados por algunas potencias nucleares tampoco son consistentes con los costos reales. En general, no consideran el alza en los precios del uranio; los costos de los sistemas de control y seguridad; los subsidios directos entregados por el Estado; ni los seguros asociados a la operación de los reactores.

El estudio base del DOE, Universidad de Chicago, estima costos de operación y mantenimiento de US 10 dólares por megavatio, lo que no es consistente con la experiencia de generación nuclear en dicho país; sobre todo si se aplica la función del factor de carga a una planta nuclear durante todo el curso de su vida útil.

<sup>16</sup> IAEA, "Operating Experience with Nuclear Power Stations in Member States in 2005", octubre, 2006.

<sup>17</sup> IEA, «World Energy Outlook 2006»

Si comparamos las cifras de costos de generación nuclear de 4,7 a 7,1 centavos de dólar por kilovatio-hora entregadas por el estudio del DOE/Universidad de Chicago; la estimación entre 4,9 y 5,7 centavos de dólar por kilovatio/hora del informe «Perspectivas sobre Energía Mundial-2006» (World Energy Outlook, 2006) de la Agencia Internacional de Energía; con los 15,5 centavos de dólar por kilovatio/hora que muestra la experiencia histórica de los costos de generación<sup>18</sup>, es claro que los costos reales pueden duplicar o triplicar los costos teóricos.

Si agregamos 1,8 centavos de dólar por kilovatio/hora por concepto de subsidios directos, de acuerdo a la experiencia histórica, consignada en los cálculos del informe «Programa de Energía Nuclear-2010» del DOE-EEUU; y los 5 centavos de dólar el kilovatio/hora por subsidios históricos (entre 1947 y 1961) mencionados en el informe «Federal Energy Subsidies»<sup>19</sup>, resulta un costo de operación real de 22,3 centavos de dólar por kilovatio/hora. Esto, sin incluir los costos de los seguros, ni los gastos en seguridad para prevenir riesgos terroristas (tal como presentamos en la tabla N° 5).

**Tabla N° 5**  
**Aproximación a los costos reales**

En USD/KWh	Estudio DOE Universidad de Chicago	IEA World Energy Outlook 2006	Experiencia histórica
Costos de generación	4.7 - 7.1 ¢ (a)	4.9 - 5.7 ¢ (aa)	15.5 ¢ (c)
Subsidios directos	No incluidos	No incluidos	1.8 ¢ (d)
Subsidios históricos	No incluidos	No incluidos	5 ¢ (e)
Seguros (f)	No incluidos	No incluidos	No incluidos (f)
Gastos en seguridad por riesgos terroristas	No incluidos	No incluidos	No incluidos
<b>Total</b>	<b>4.7 - 7.1 ¢</b>	<b>4.9 - 5.7 ¢</b>	<b>22.3 ¢</b>

(a) *The Economic Future of Nuclear Power, University of Chicago, 2004*

(b) *World Energy Outlook-IEA 2006.*

(c) *New Economic Foundation, 2005*

(d) *Programa de Energía Nuclear 2010, EE.UU. EIA, 2004*

(e) *Goldberg, M., Federal energy subsidies, 2003. EE. UU. Se habría subsidiado entre 1947 y 1961 al desarrollo de la energía nuclear por un monto de 39 mil millones de dólares ( USD). Si se considera que EE. UU ha generado 760 TWh nuclear hasta 1999; esto significa 5 ¢ por KWh.*

(f) *Ver Price-Anderson Nuclear Industries Indemnity Act, vigente hasta el año 2026, donde se establece que cualquier incidente nuclear por sobre los 10 mil millones de dólares será financiado por el gobierno federal.*

En 1989, los costos anuales de operación y mantenimiento de una planta de 1000 megavatios se estimaban en US 100 millones de dólares, lo que para 2002 equivalen a US 138 millones de dólares <sup>20</sup>. Esto significa US 18,53 dólares por megavatio/hora, si la central mantiene un factor de carga promedio de 85%. Pero este monto aumenta a US 26,25 dólares por megavatio/hora si el factor de carga promedio de la planta disminuye a 60%.

<sup>18</sup> *New Economic Foundation, «Mirage and Oasis: Energy choices in an age of global warming, june, 2005.*

<sup>19</sup> *Goldberg, M., Federal energy subsidies, 2003. EE. UU. Se habría subsidiado entre 1947 y 1961 al desarrollo de la energía nuclear por un monto de 39 mil millones USD. Si se considera que EE. UU ha generado 760 TWh hasta 1999; ello significa 5 ¢ por KWh.*

<sup>20</sup> *Jan Willem Storm van Leeuwen and Philip Smith, "Nuclear energy. The energy balance", julio de 2005.*

Este análisis del Oxford Research Group presenta cifras semejantes a los costos reales de operación según la experiencia histórica (tabla N° 6). Es decir, costos bastante más altos que los que presenta el supuesto de base del estudio del DOE Universidad de Chicago y las estimaciones de la Agencia Internacional de Energía.

Finalmente, en los costos de operación hay que calcular los costos del combustible. El costo del uranio proyectado por el estudio del DOE Universidad de Chicago es de US 4,3 dólares por kilovatio/hora, lo que duplica el costo de US 1,79 dólar por kilovatio/hora proyectado por la Agencia Internacional de Energía. Sin embargo, la experiencia histórica muestra un aumento sostenido de los precios del concentrado de uranio a nivel mundial, cuyo precio *spot*, según la UX Consulting Company, ha tenido un alza de 565% entre diciembre de 2004 y abril de 2007, fluctuando entre US 36,25 dólares y US 113 dólares la libra en el mercado *spot*.

**Tabla N° 6**  
**Costos de combustible, operación y mantenimiento.**

En USD/KWh	Estudio DOE Universidad de Chicago	IEA World Energy Outlook 2006	Experiencia histórica
Costos de generación (USD / kWh)	4,7 - 7,1 €	4,9 - 5,7 €	22,3 €
Costos del combustible	4.3 USD/KWh	1.79 USD/KWh	Aumento de 565% entre 12/2004 y 04/2007 (f) de 36,25 a 113 USD/Kw entre 2004 y 2006
Costos de operación / mantención	10 USD/KWh	10 USD/KWh	18,53 USD con Fact Carga 85% 26,25 USD con Fact Carga 60% (g)

(f) Precios Spot de U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>. The Ux Consulting Company.

(g) Storm van Leeuwen "Nucleas energy. The energy balance", 2005. En base a costos de operación y mantenimiento de 138 millones de USD en 2002: Con un factor de carga del 85% tenemos 18.53 USD por megavatio/hora, cifra que aumenta 26.25 USD por megavatio/hora cuando el factor de carga disminuye al 60%.

#### **2.4. Costos de generación nuclear comparados con otras tecnologías**

Los costos de generación deberían estimarse en base a los costos reales de acuerdo a la experiencia histórica y no en base a supuestos teóricos no comprobados. Adicionalmente, en las decisiones sobre planificación energética, esos costos reales deben ser comparados con los costos de generación de otras tecnologías disponibles en el mercado. Esto, para evaluar el ciclo de vida y balance energético de cada opción tecnológica, a fin de asegurar la introducción de criterios de sustentabilidad ambiental y económica del desarrollo energético.

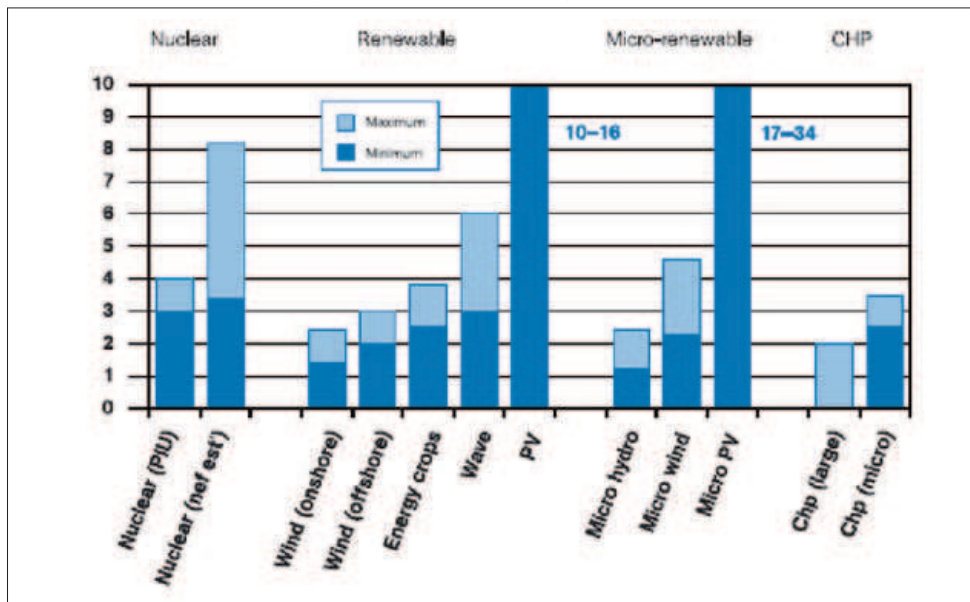
Respecto de los costos proyectados de generación eléctrica, el análisis del PIU Energy Review<sup>21</sup> y de la New Economics Foundation presenta los costos mínimos y máximos de generación eléctrica proyectados al año 2020 mediante diversas tecnologías; comprobando que los costos

<sup>21</sup> PIU Energy Review 2002; DTI/Ofgem 2004 -Distributed Coordinating Group, PO2a Working Paper Three: The Economic Value of Micro generation, Technical Steering Group.

mínimos y máximos de la opción núcleo-eléctrica (como ilustra el gráfico N° 10) son mayores que la generación mediante fuentes renovables (como la eólica, en tierra y plataformas marinas; la biomasa, la mareomotriz, la hidráulica y la cogeneración). Sólo la opción de generación eléctrica solar fotovoltaica resulta más cara que la opción nuclear.

Este análisis de costos comparados de generación eléctrica es coincidente con las opciones de inversión que han primado en los años recientes en el sector eléctrico, particularmente en los países de la OECD<sup>22</sup>, y explican la ausencia de nuevos proyectos nucleares.

**Gráfico N° 10**  
Costo proyectado al 2020 de la generación eléctrica



Fuente: PIU Energy Review 2002; DTI/Ofgem 2004 -Distributed Coordinating Group, PO2a Working Paper Three: The Economic Value of Micro generation, Technical Steering Group.

<sup>22</sup> Fuente: Clean Edge 2005, en Ponjachik K, Ministra de Minería y Energía de Chile, Seminario Cámara Española de Comercio, Santiago Chile, julio, 2006.



### 3. LOS COSTOS NO CONSIDERADOS: PROCESOS POSTERIORES A LA GENERACIÓN NUCLEAR

El ciclo nuclear incluye también procesos y costos posteriores a la fase de generación. Estos deben ser evaluados como parte de los costos de la opción nuclear, y también en el balance energético de esta opción.

La fase posterior a la generación y a la vida útil del reactor contempla varios procesos:

- Desmantelamiento del reactor.
- Período de enfriamiento (10-100 años con operación y mantención después del cierre). Esto implica la disposición durante décadas en lugares adecuados del resto del combustible irradiado, para bajar la temperatura y la radioactividad.
- Demolición de las construcciones de la planta nuclear.
- Disposición del combustible y de otros desechos en contenedores adecuados.
- Construcción de depósitos geológicos adecuados.
- Disposición final de desechos radioactivos en depósitos geológicos.

Cada uno de estos procesos requiere insumos de materiales, energía, inversiones y personal técnico adecuado. Los montos en material y energía sólo pueden ser calculados de manera muy aproximada.

#### 3.1. *Procesamiento de desechos*

Dentro de un reactor, la fusión nuclear produce una serie de reacciones nucleares que provocan que parte del combustible de uranio enriquecido se transforme en elementos extremadamente radioactivos. Por eso, el combustible nuclear gastado (también llamado combustible quemado o irradiado) es un material altamente peligroso que emitirá una gran cantidad de radiactividad a lo largo de decenas de miles de años y cuyo simple contacto por parte de cualquier ser vivo, incluidos los humanos, resulta letal.

El combustible quemado o irradiado es considerado como un residuo de alta actividad. En algunos casos se procesa para obtener algunos elementos como plutonio 235, material altamente radioactivo y utilizado para la fabricación de armas nucleares.

El reprocesamiento es una etapa que produce un volumen final de residuos radiactivos entre 160 y 189 veces mayor que el que entra inicialmente a dicho proceso. Las barras de combustible irradiado son cortadas y disueltas en soluciones ácidas. Posteriormente, luego de diversos tratamientos químicos, se separan algunos de los productos radiactivos. De este proceso surgen:

- a) Residuos que pueden ser categorizados en bajo, medio y alto nivel de radioactividad.
- b) Uranio que puede ser reintroducido en el ciclo de fabricación del combustible.

- c) Plutonio, que es utilizado para la fabricación de bombas atómicas y cuya obtención sólo se logra por reprocesamiento de combustible nuclear quemado, pues es un material que no existe en la naturaleza.

Por ejemplo, en Alemania, un reactor PWR de 1300 megavatios produce cada año cerca de 60m<sup>3</sup> de residuos de nivel radioactivo bajo y medio, y cerca de 26 mgs. de combustible irradiado de alto nivel radioactivo. Durante su vida útil, considerando el límite actual operacional de 35 años de vida útil cada reactor, produce cerca de 300.000 m.<sup>3</sup> de desechos radioactivos que deberán encontrar una disposición final en alguna parte del mundo<sup>23</sup>.

### **3.2. Costos de procesamiento de los desechos radioactivos**

De todos los ítemes considerados como supuestos de base, el procesamiento de desechos radioactivos es el que tiene menos fundamentos reales, ya que hasta el momento no hay una solución de largo plazo para el procesamiento y disposición final de los desechos radioactivos, situación que es ampliamente reconocida por la propia industria nuclear.

Por esta razón, el costo real de la disposición final de los desechos radioactivos y del desmantelamiento de las centrales son difíciles de prever. Las primeras experiencias demuestran que estos costos han sido extremadamente subvaluados. Para la Central francesa de Brennilis, por ejemplo, se había estimado que el desmantelamiento podría costar 20 millones de euros, pero la realidad es que actualmente ya se ha gastado 480 millones de euros<sup>24</sup>. Y estos montos no consideran la gestión a largo plazo de los desechos nucleares en los depósitos geológicos.

Para la central Zorita, en España, cerrada en 2006, se estima un costo de desmantelamiento de 170 millones de euros, y un período de desmantelamiento y demolición que tomará más de 10 años, concluyendo preliminarmente en 2015. Por eso es muy probable que estos costos, al igual que en el caso de Brennilis, resulten en realidad mucho mayores que los proyectados por la Agencia Internacional de Energía (tabla N<sup>o</sup> 7).

---

<sup>23</sup> JÜRGEN KREUSCH y al.-Nuclear Fuel Cycle, Nuclear Issues Paper No. 3, febrero 2006, Heinrich Böll Foundation.

<sup>24</sup> Cour des comptes du France, « Synthèse du rapport Public particulier. Le démantèlement des installations nucléaires et la gestion des déchets radioactifs », Enero, 2005.

**Tabla N° 7**  
**Costos desmantelamiento y disposición final**

En USD por KWh	Estudio DOE Universidad de Chicago (USD/KWh)	IEA World Energy Outlook 2006 (USD/KWh)	Experiencia histórica
Costos de desmantelamiento (USD/KWh)	No se incluye	1	Estimado para Brennilis (Francia) 20 millones €, actual 480 millones (a) Zorita (2006-2015) tendría un costo estimado de 170 millones € (b).
Costos de procesamiento y disposición final desechos (USD/KWh)	1	1-2	El proyecto Yucca Mountain aun sin licencia de la Comisión Reguladora Nuclear ya ha costado 9 mil millones de USD (c).

(a) *Cour des comptes du France, Enero 2005.*

(b) *El Mundo, 02/05/2006. En el 2009 la propietaria Unión FENOSA traspasará la central a al empresa pública Enresa quien se hará cargo del desmantelamiento.*

(c) *Conosur Sustentable, Greenpeace, "A 20 años de Chernobil Los Mitos de la Energía Nuclear". 2006.*

Lo mismo ocurre para el caso del reprocesamiento y disposición final de desechos altamente radioactivos. En el pasado este tipo de residuos fue depositado en lugares no definitivos o bien se vertieron al mar. Esto último ha quedado estrictamente prohibido por la Convención del Mar, que ha sido ratificada por Chile y los países de América Latina.

Actualmente existen dos proyectos de disposición geológica de desechos relativamente avanzados en Estados Unidos: el Waste Isolation Pilot Plant (WIPP) en Nuevo México y el de Yucca Mountain en el estado de Nevada. El WIPP es un proyecto piloto para residuos de la fabricación de armas nucleares y no se conoce su costo.

En el caso de Yucca Mountain, el Departamento de Energía (DOE) de Estados Unidos ha estudiado la geología del lugar por más de veinte años, siendo recomendado en 2002 como adecuado para depósito geológico, y ratificado por el Congreso para ese fin. El DOE ahora debe probar que el depósito puede contener en forma razonablemente segura los desechos radiactivos por 10.000 años<sup>25</sup> después de cerrarse. Pero la Comisión Reguladora Nuclear (NCR) aún no le concede el licenciamiento para construir el depósito, tampoco se conocen los montos de inversión requeridos para el proyecto, aunque en 2006 se reconocía haber gastado 9 mil millones de dólares hasta esa fecha, aun sin iniciar la construcción del proyecto<sup>26</sup>.

<sup>25</sup> *Office of Civilian Radiactive Waste Management, US Department of Energy, Yuca Mountain Project en [www.ocrwm.doe.gov/factsheets/doeymp0026sv.shtml](http://www.ocrwm.doe.gov/factsheets/doeymp0026sv.shtml)*

<sup>26</sup> *Associated Press-2006, declaraciones del director del proyecto Yucca Mountain Project, en "Los mitos de la energía nuclear: a 20 años de Chernobyl" Greenpeace/Cono Sur Sustentable, 2006.*

A pesar de no existir información histórica fehaciente sobre lo que podría significar el costo de depósitos geológicos definitivos, la Universidad de Chicago y la Agencia Internacional de Energía estiman un costo de entre 1 y 2 dólares por kilovatio para el proceso de reprocesamiento y disposición final de desechos radiactivos.

### **3.3. El transporte de materiales nucleares**

Los costos del transporte y las medidas de seguridad para el transporte del combustible y de los desechos radioactivos<sup>27</sup>, tampoco son incluidos en los costos de operación de una central nuclear. Estos costos, tradicionalmente, en la práctica, han sido cubiertos por las fuerzas armadas o por operativos especiales gubernamentales.

Chile y Argentina se han enfrentado en varias oportunidades a los riesgos que implica el transporte de material radioactivo a través de sus aguas territoriales y de la zona económica exclusiva. Dichos transportes provenían desde reactores de Japón para ser reprocesados en la Hagué, Francia; también desde las instalaciones nucleares entre la costa oeste y la costa este de Estados Unidos. Esta situación ha llevado al Ministerio de Relaciones Exteriores de Chile a definir una política al respecto y al Congreso a modificar la Ley de Seguridad Nuclear, regulando expresamente el transporte de material radioactivo, incluido el paso por el mar presencial chileno<sup>28</sup>.

Estas modificaciones a la ley se basan en la constatación de que la seguridad absoluta del transporte de material radioactivo, en lo que se refiere a incidentes, accidentes o ataques terroristas, es imposible. Los accidentes graves durante el transporte de desechos altamente radioactivos, combustible irradiado o dióxido de plutonio, pueden causar dosis agudas letales en la vecindad inmediata y dosis mortales a largo plazo y a varios kilómetros en el radio del accidente, además de daños irreversibles al medio ambiente. Esto, en países como Chile, cuya economía depende de recursos naturales, significaría, además de riesgos inaceptables para la salud humana, consecuencias devastadoras para la economía nacional.

---

<sup>27</sup> Storm van Leeuwen, *op. cit.*

<sup>28</sup> LEY-18302 de Seguridad Nuclear modificada por la Ley 19825 del 1.10.2002.

## 4. EL BALANCE AMBIENTAL Y ENERGÉTICO NEGATIVO DE LA OPCIÓN NUCLEAR

El ciclo completo de la cadena nuclear, desde la construcción de una central nuclear hasta la disposición final de los residuos, toma aproximadamente entre 100 y 150 años. El balance energético de toda la cadena nuclear incluye la producción de energía acumulada durante el ciclo de vida y el gasto de energía acumulado durante dicho período.

Actualmente, la mayor parte de los análisis económicos y tecnológicos sólo cubren la fase asociada a la producción de energía: la vida útil operacional de la central nuclear y la producción de electricidad. Sin embargo, se ignora el análisis de energía neta, al no incluir tanto los procesos anteriores a la generación de electricidad como los posteriores a la vida útil de la central nuclear.

### 4.1. Balance energético del ciclo de vida

Estudios recientes a nivel internacional ya han empezado a incluir el análisis del balance energético global del ciclo de vida de cada una de las opciones de generación de energía, incluida la núcleo-eléctrica. Dichos estudios establecen que un correcto balance energético de la cadena nuclear debe considerar:

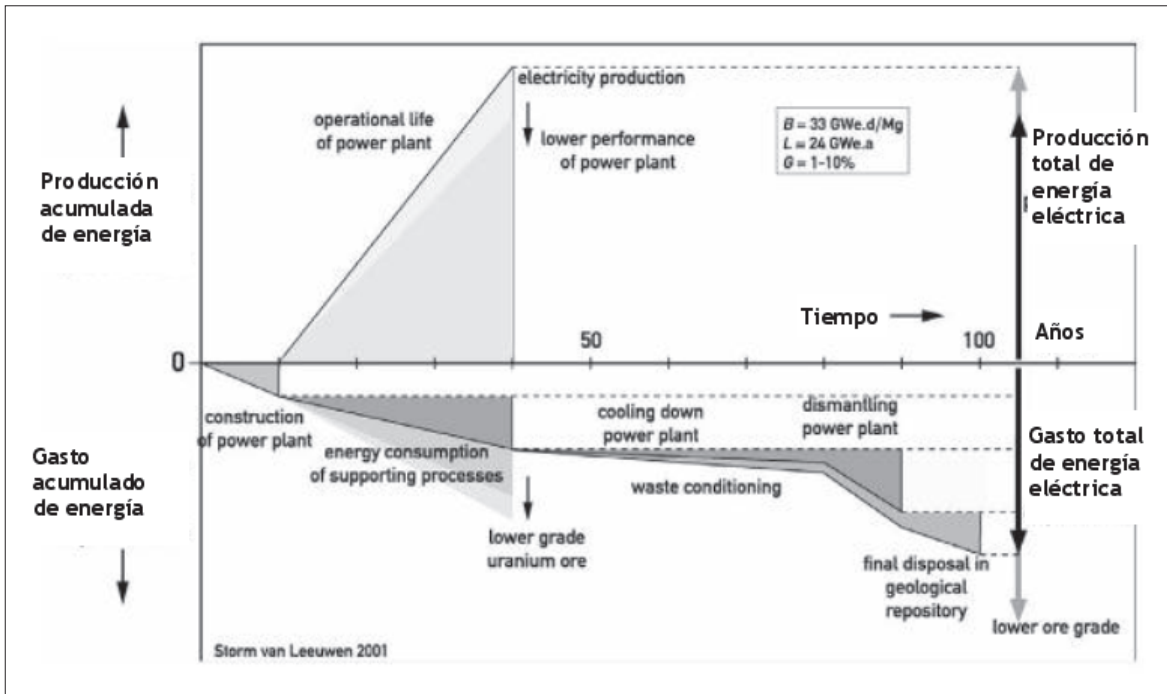
- Los costos energéticos necesarios para producir la energía.
- Los costos energéticos para reparar y restablecer la situación anterior a la producción energética (restauración de impactos mineros, desmantelamiento de la central, tratamiento de desechos radiactivos, confinamiento definitivo, etc.).

El balance energético del ciclo nuclear, como presenta la figura N° 3 en una línea de tiempo, incluye la generación eléctrica de la planta durante su vida útil; es decir, los primeros 30 años después de construida, y un consumo energético de más de 100 años. Este consumo considera la energía para construir la central y sus equipos; la energía para mantener la operación de la central durante los años de funcionamiento, incluyendo la energía gastada para extraer el uranio, concentrarlo y enriquecerlo para obtener el combustible nuclear; la energía para tratar y depositar definitivamente todos los desechos generados durante su funcionamiento; y la energía para desmantelar la planta luego de su vida útil.

Como se aprecia en la evaluación global de la central tras su ciclo completo de 100 años, existe un balance de energía neta muy estrecho (entre energía generada y energía consumida), lo cual se convierte en un balance negativo si la generación se realiza con uranio proveniente de reservas de baja ley, pues ello aumenta los insumos energéticos necesarios para producir el combustible nuclear.

El balance energético de la opción núcleo-eléctrica, también requiere analizar los años que quedan de energía nuclear neta con las actuales tasas de extracción de uranio, ya que la núcleo-electricidad es dependiente de las reservas de uranio existentes.

**Figura N° 3**  
**Esquema de producción energética y costos energéticos**  
**en la generación nuclear en función del tiempo**



Fuente: Jan Willem Storm van Leeuwen and Philip Smith, "Nuclear energy. The energy balance", Julio 2005.

En base a las estimaciones de reservas razonablemente aseguradas y conservando las tasas de extracción actual de uranio, e igual generación nuclear, Fleming, la Agencia Internacional de Energía Atómica y la industria nuclear estiman respectivamente en 60, 80 y 100 años la disponibilidad de reservas de uranio para mantener la generación actual.

En este contexto y realizando un balance de la generación neta existente en base a dichas reservas, se estima que sólo quedaría disponibilidad de uranio para generación energética neta de 15 años (Fleming), 25 años (AIEA) y 35 años (industria nuclear). Pues se requeriría el combustible equivalente a 15 años de generación para cubrir los procesos previos a la generación; 15 años de generación para tratar los residuos ya generados en los pasados 60 años y 15 más para tratar los desechos futuros. Lo que suman 45 años de generación para cubrir el gasto del ciclo de vida, quedando combustible sólo para generación de energía neta hasta 2025.

**Tabla N° 8:**  
**Generación neta limitada a pocos años**  
**El balance energético de la núcleo-electricidad**  
**(en años de generación)**

<b>AÑOS DE GENERACIÓN NUCLEAR NETA.</b> (en base a reservas uranio con ley similar a la usada actualmente)	<b>Fleming</b>	<b>IAEA</b>	<b>Industria Nuclear</b>
1. Años de generación eléctrica posible con las reservas de uranio disponibles, si se mantienen las tasas de extracción actual, y sin una expansión de la capacidad nuclear en el mundo.	60	80	100
2. Años de generación necesarios para cubrir los procesos energéticos previos a la generación eléctrica (25%).	15	20	25
3. Años de generación para tratar los residuos que se generarán en los años futuros de generación eléctrica (25%).	15	20	25
4. Años de generación para tratar residuos que se han generado en los últimos 60 años (25%).	15	15	15
5. Total de años de generación núcleo-eléctrica necesaria para cubrir todos los procesos (2+3+4.)	45	55	65
6. <b>Años disponibles de núcleo-electricidad neta (1-5).</b>	<b>15</b>	<b>25</b>	<b>35</b>
7. Punto de quiebre energético (toda la energía producida se necesita para tratar los desechos generados y futuros): 2010 + punto 6.	2025	2035	2045

Fuente: David Fleming, "The Lean Guide to Nuclear Energy: A Life-Cycle in Trouble", The Lean Economy Connection, febrero de 2007.

El Energy Watch Group, por su parte, estima el balance energético del combustible nuclear, en base a los kilos de roca que se debe extraer para obtener 1 kilo de uranio, según la ley del mineral. Esto permite establecer que, si la ley del mineral es de 1%, se necesita extraer 100 kilos de material para obtener 1 kilo de uranio; y si la ley del mineral es de 0,01%, se necesita extraer 10.000 kilos de material para obtener 1 kilo de uranio. Sobre esta base, concluye que la energía necesaria para cubrir la extracción, conversión, enriquecimiento, fabricación y transporte de combustible presenta un balance energético negativo si se extrae uranio con una ley menor a 0,02%-0,01%. Este hecho agrega un límite adicional en relación con las reservas de uranio actualmente existentes.

**Tabla N° 9**  
Balance Balance negativo en referencia a reservas de Uranio

Ley del mineral [% U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ] (a)	Rendimiento del uranio (teórico) (b)	Rendimiento del uranio (empírico)	Demanda energética (teórica) E <sub>0</sub> /(a)*(b)
1%	0,98	0,98	E <sub>0</sub>
0,10%	0,91	~0,9	11 veces E <sub>0</sub>
0,05%	0,86	~0,85	23 veces E <sub>0</sub>
0,03%	0,81	~0,75-0,8	41 veces E <sub>0</sub>
0,015%	0,74	~0,5	90 veces E <sub>0</sub>
0,010%	0,70	?? (prob. 0)	143 veces E <sub>0</sub>

Fuente: Energy Watch Group, "Uranium Resources and Nuclear Energy" 12/2006.

#### 4.2. Emisiones de gases con efecto invernadero:

El argumento principal para proponer la reactivación y el desarrollo de la núcleo-electricidad consiste en afirmar que esta no produciría emisiones de carbono y por lo tanto contribuiría a combatir el cambio climático<sup>29</sup>. Dichas afirmaciones se basan en la comparación de la generación nuclear con la generación a carbón o a gas, y sin incluir un análisis del ciclo completo de cada opción energética.

Desde el punto de vista de la sustentabilidad ambiental, y de las emisiones de carbono en particular, es fundamental evaluar con precisión todo el ciclo de vida de la generación eléctrica. El conocimiento de todos los procesos extractivos y productivos es fundamental para una evaluación a largo plazo de la reducción de gases con efecto invernadero (GEI). En el caso de

<sup>29</sup> " IEA Energy Technology Essentials-Nuclear Power, marzo de 2007. "Nuclear energy is a nearly carbon-free source of heat and electricity. When it replaces coal-fired power, the operation of a 1-GW nuclear power plant can avoid about 6-7 million tonnes of CO<sub>2</sub> per year, as well as related airborne pollutants».



la núcleo-electricidad, una proporción significativa de las emisiones de GEI proviene de procesos anteriores a la etapa de generación, pero que son esenciales para hacer posible la generación nuclear. Entre ellos, la extracción del mineral, su conversión, el enriquecimiento del uranio y la fabricación del combustible.

Sin embargo, pese a su importancia, los datos sobre las emisiones de GEI en las minas de uranio son muy escasos, también lo son respecto de la ley del mineral, que influye tanto en los costos como en las emisiones totales de GEI.

También son escasos los estudios sobre las emisiones de GEI en los procesos posteriores a la generación, como el desmantelamiento de las centrales, el tratamiento, reprocesamiento y disposición final de desechos radiactivos.

Uno de los pocos estudios que se hace cargo de calcular las emisiones de GEI durante todo el ciclo de vida de las diversas tecnologías de generación eléctrica, es el *Global Emission Model for Integrated Systems* (GEMIS), desarrollado por el Öko-Institut de Alemania. El modelo GEMIS<sup>30</sup> compiló datos sobre las centrales nucleares y la totalidad de sus ciclos de vida útil.

En base a esos datos se realizaron cálculos que permitieron concluir (para el caso de Alemania, donde se aplicó el modelo) que se generaban unos 31 gramos de CO<sub>2</sub> por kilovatio/hora de núcleo-electricidad. Los demás gases con efecto invernadero emitidos a lo largo del ciclo de vida nuclear aportan otros 33 gramos de CO<sub>2</sub>-equivalentes por kilovatio/hora.

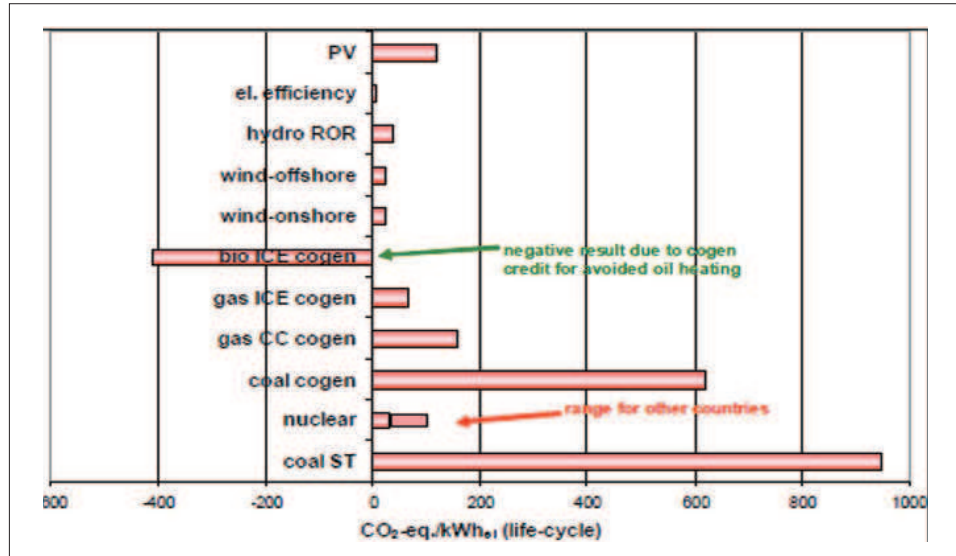
Para una central nuclear de tamaño estándar (1250 megavatios, 6.500 horas) en Alemania, las emisiones indirectas equivalen a un total aproximado de 250.000 toneladas cada año<sup>31</sup>. El gráfico N° 11, en la siguiente página, muestra los cálculos expresados en toneladas de carbono equivalentes, que fueron obtenidos con el modelo GEMIS para las diversas tecnologías.

---

<sup>30</sup> El modelo GEMIS (*Global Emission Model for Integrated Systems*) elaborado por el Öko-Institut está disponible como software de acceso público, para hacer prospecciones comparativas de los impactos ambientales de las diversas tecnologías utilizadas para la generación de electricidad. Ver: <http://www.oeko.de/service/gemis/en/index.htm>

<sup>31</sup> Uwe R. Fritsche, *Comparison of Greenhouse-Gas Emissions and Abatement Cost of Nuclear and Alternative Energy Options from a Life-Cycle Perspective*, Öko-Institut e.V., Enero 2006.

Gráfico N° 11  
Emisiones de CO2 por tecnología de generación eléctrica



Fuente: Uwe R. Fritsche, *Comparison of Greenhouse-Gas Emissions and Abatement Cost of Nuclear and Alternative Energy Options from a Life-Cycle Perspective*, Öko-Institut e.V., Enero 2006.

Otros estudios internacionales, muestran cifras semejantes o más elevadas: entre 11 y 22 gramos de CO<sub>2</sub> por kilovatios/hora, según la OECD<sup>32</sup>; entre 84 y 122 grs. de CO<sub>2</sub> por kilovatio/hora, Storm y Smith<sup>33</sup>; y entre 10 y 130 gramos de CO<sub>2</sub> por kilovatio/hora, el ISA de la Universidad de Sydney<sup>34</sup>.

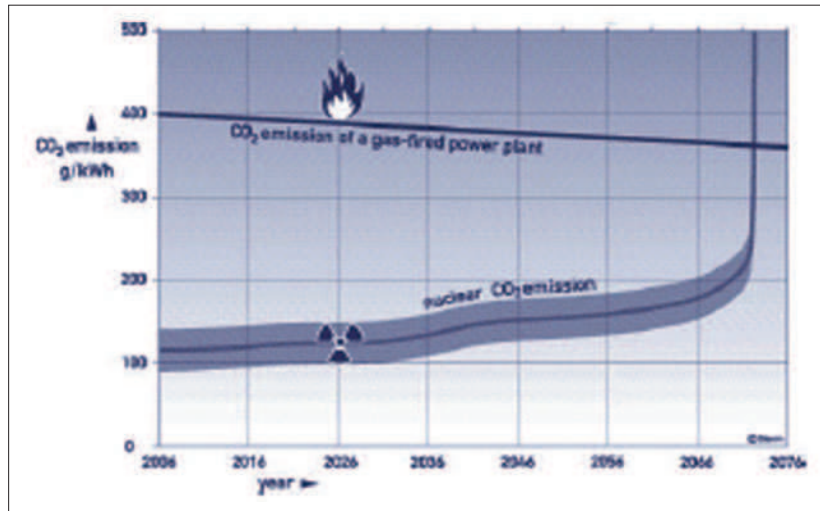
Por ejemplo, Storm y Smith, realizando un análisis del ciclo de vida, demuestran que si se consideran todas las etapas del ciclo, la generación núcleo-eléctrica proveniente de minerales de alta ley emite entre 15% y 40% de CO<sub>2</sub> por kilovatio/hora en relación con las emisiones de una central a gas. Pero si el mineral es de baja ley (menor a 0,1%; es decir, un kilo de uranio por tonelada de granito extraído), las emisiones aumentan rápidamente; y con concentraciones de 0,02 a 0,01% se llega a sobrepasar las emisiones de CO<sub>2</sub> de una central a gas. Es necesario destacar que la mayor parte de las reservas de uranio tienen esta y aun menores concentraciones de uranio (gráfico N° 12).

<sup>32</sup> Frank Barnaby & James Kemp «Too hot to handle? The future of civil nuclear power» Oxford Research Group, Julio 2007

<sup>33</sup> Storm van Leeuwen, en Oxford Research Group «Secure Energy». [www.oxfordsresearchgroup.org.uk/pa/cm200506/cmselect/cmenvaud/584/58402.htm](http://www.oxfordsresearchgroup.org.uk/pa/cm200506/cmselect/cmenvaud/584/58402.htm)

<sup>34</sup> [www.pmc.gov.au/umpner/doc/commissioned/isa\\_report.pdf](http://www.pmc.gov.au/umpner/doc/commissioned/isa_report.pdf)

**Grafico N° 12**  
**Emisiones de CO2 en la generación nuclear<sup>35</sup>**



Fuente:Oxford Research Group»Energy Security and Uranium Reserves»Factsheet 4- Secure energy: options for a safer world- Julio, 2006.

#### 4.3. La argumentación tecnológica: los reactores “breeder” o reactores reproductores rápidos

La argumentación de la industria nuclear, para soslayar el hecho de la escasez de reservas de uranio de alta ley, y mantener la actual generación nuclear o expandirla, es que existe una tecnología de generación núcleo-eléctrica que produce más combustible del que consume. Esta tecnología, denominada “fast breeder”, utiliza un reactor de neutrones rápido, diseñado para reproducir combustible, generando más material fisible del que consume. El objetivo es producir plutonio que, al ser reprocesado, permite obtener combustible MOX que posteriormente será utilizado en los reactores nucleares.

La tecnología de los reactores “fast breeder” ha fracasado en su intento de demostrar que la reproducción es factible, luego de 50 años de intensa investigación, con inversiones que cifran cientos de miles de millones de dólares. El reactor Monju (280 megavatios) de Japón, puesto en operación en 1995, fue cerrado definitivamente a los 4 meses de funcionamiento. Pero el más emblemático de los “fast breeder” es el reactor Superphenix, de Francia, de 1242 megavatios, cuya construcción comenzó en 1976 y se conectó a la red en 1986. Doce años más tarde fue cerrado definitivamente por los costos excesivos que implicaba su funcionamiento.

El Superphenix tuvo apenas en un año, en 1996, un factor de carga de 32%, con un máximo de operación de 5.692 horas, y una generación de apenas 3392 gigavatios. Su mal desempeño durante 9 años (6 operando y 3 parado) y con bajo rendimiento, hicieron inviable su funcionamiento<sup>36</sup>, como se muestra en la tabla N° 10.

<sup>35</sup> El uso de combustible proveniente de un uranio con menor ley, implicara cada vez mas un incremento en las emisiones de CO2 en el ciclo de la cadena nuclear.

<sup>36</sup> :IAEA, Power Reactor Information System, año

Tabla N° 10  
Rendimiento del Superphenix durante sus años de operación comercial

Año	Energía	Capacidad	Factor de disponibilidad energética	Factor de Carga	Operación Anual	Factor de operación
	(GWe.h)	(MWe)	Anual (%)	Anual (%)	(horas)	(%)
1986	929	1200	10,6	9,16	2625	31,1
1987	812	1200	8,4	7,73	1489	17,0
1988	0	1200	0,0			
1989	1.756	1200	17,4	16,71	2202	25,1
1990	588	1200	14,3	5,60	595	6,8
1991	0	1200				
1992	0	1200				
1994	8	1200	0,1	0,07	58	0,7
1996	3.392	1200	32,6	32,18	5692	64,8

Fuente: IAEA, Power Reactor Information System

Pero a pesar de estos hechos, la Agencia Internacional de Energía continúa declarando que “fast breeder reactors” (reactores reproductores rápidos) pueden en principio aumentar 30 veces o más la energía extraída del uranio natural<sup>37</sup>.

<sup>37</sup> " IEA Energy Technology Essentials-Nuclear Power, marzo de 2007. **"Nuclear energy is a nearly carbon-free source of heat and electricity. When it replaces coal-fired power, the operation of a 1-GW nuclear power plant can avoid about 6-7 million tonnes of CO2 per year, as well as related airborne pollutants».**



# INSUSTENTABILIDAD ECONÓMICA, AMBIENTAL Y POLÍTICA DE LA OPCIÓN NUCLEAR

El análisis convencional en torno a la núcleo-electricidad no incluye el abordaje de problemas que deben ser estudiados en profundidad, antes de pensar en dicha opción de generación. No considerar estos problemas puede aumentar la vulnerabilidad ambiental y la insustentabilidad económica y política de la matriz eléctrica de los países de América Latina.

## 1. SUBSIDIOS DIRECTOS E INDIRECTOS DEL ESTADO

Los enormes subsidios estatales a la industria nuclear están ampliamente reconocidos en la literatura especializada. La razón se debe principalmente a que estas tecnologías han estado siempre estrechamente ligadas a las políticas de defensa nacional y al desarrollo de las armas nucleares.

Es solo a partir de los años '80, en los inicios del proceso de liberalización de los sistemas eléctricos en las diversas regiones del mundo, que las ayudas directas gubernamentales se comienzan a transparentar. Este período además se caracterizó por la suspensión de la mayor parte de los proyectos de centrales nucleares en los países industrializados.

Según el estudio de Goldberg<sup>38</sup>, desde 1947 a 1961 la industria núcleo-eléctrica de los Estados Unidos fue subsidiada por un monto de US 39,4 mil millones de dólares, lo que equivale a US 15,3 dólares por kilovatio/hora generado durante dicho período.

---

<sup>38</sup> Goldberg, M., *Federal energy subsidies: Not all technologies are created Equal*, REPP, Julio 2000 in European Environment Agency, *Energy subsidies in the European Union: A brief overview*, Technical Report, 2004.

### **1.1. Seguros**

Entre los subsidios indirectos que ha tenido esta industria están las leyes nacionales específicas, que ponen un techo a los montos de los seguros ante incidentes o accidentes nucleares, tanto durante el funcionamiento de las plantas como durante el transporte de combustible o de material radioactivo.

Por ejemplo, en Estados Unidos existe una ley con vigencia hasta 2026, llamada Price-Anderson Nuclear Industries Indemnity Act, que establece que cualquier incidente por sobre los US 10 mil millones de dólares será financiado por el gobierno federal. En 2005, en caso de incidente o accidente nuclear en Estados Unidos, el importe máximo de un seguro para una planta nuclear era de US 300 millones de dólares (fuente). Los daños por sobre este monto deben ser financiados por todas las empresas que poseen centrales nucleares, con un tope máximo para cada una de US 95,8 millones de dólares.

Esta ley fue establecida en 1957 como un incentivo a la producción privada de energía nuclear, dado que los inversionistas no estaban dispuestos a aceptar los riesgos que implican estas tecnologías sin que el Estado pusiera un límite a la responsabilidad civil.

### **1.2. Seguridad de las instalaciones y del transporte nuclear**

Como se ha mencionado anteriormente, la seguridad de las instalaciones nucleares debe ser supervisada y fiscalizada por instituciones adecuadas. Además, se debe considerar la posibilidad de sismos, terremotos, tsunamis y ataques terroristas a las instalaciones nucleares, las que generalmente son protegidas por dispositivos de la defensa nacional.

El transporte de materiales radioactivos también debe contar con protección especial, la que en general corre por cuenta de servicios estatales de seguridad pública o defensa nacional con cargo a fondos del Estado, lo cual constituye un subsidio adicional a la generación núcleo-eléctrica.

El Estado también debe disponer de sistemas adecuados para la protección de la salud de la población y del medio ambiente frente a incidentes y accidentes radioactivos.

Finalmente, los estudios sobre posible localización de las centrales, la adaptación de la red eléctrica, la adecuación de rutas y carreteras y otras infraestructuras son áreas del desarrollo nuclear que generalmente han sido realizados con fondos fiscales.

### **1.3 Inversión científica y formación tecnológica**

El manejo de procesos nucleares con niveles de seguridad que prevengan incidentes radioactivos exige una formación científica y tecnológica inexistente en la mayor parte de los países de América Latina. Es más, en opinión del propio sector académico, países como Chile se caracterizan por una cantidad muy reducida de profesionales capacitados y activos en

física experimental, y con capacidad de entregar formación a nivel de doctorado. A modo de comparación, la cantidad de físicos experimentales como fracción de la población es aproximadamente 400 veces menor que en Estados Unidos, o 6 veces menor que en Brasil”.

Para Chile, la opción núcleo-eléctrica implicaría un compromiso e inversión del Estado en una línea de desarrollo científico y tecnológico que distorsiona gravemente los desafíos del país en ciencia, innovación y tecnología; también requeriría la implementación de cátedras nacionales y formación académica en el extranjero de centenares de profesionales altamente calificados, para manejar tecnologías extremadamente complejas y riesgosas, con poco potencial de apropiación nacional.

Entre ellos debería contarse a lo menos con profesionales como físicos experimentales, titulados en Física Nuclear aplicada; físicos experimentales e ingenieros en Ciencias de Materiales; ingenieros en técnicas nucleares; químicos nucleares; constructores civiles especializados; ingenieros en medio ambiente y biólogos especializados en impactos radioactivos y médicos expertos en contaminación radioactiva.

## 2. LA GENERACIÓN DE EMPLEOS: COMPARACIÓN CON OTRAS TECNOLOGÍAS.

Otra argumentación que no puede ser desestimada es aquella que destaca el potencial de la generación núcleo-eléctrica en la creación de empleos, los aportes a las economías, y el entrenamiento de ingenieros y científicos para otras tecnologías de generación eléctrica.

La electricidad nuclear en todo el mundo es subsidiada por el Estado, con los impuestos de los ciudadanos. Es decir, cada empleo nuclear recibe un subsidio público, el que se suma al subsidio para seguridad y control, transporte de materiales sensibles, seguros por caso de accidentes, etc

Adicionalmente, la generación nuclear presenta uno de los problemas más difíciles de enfrentar y revertir en la economía de muchos países en desarrollo: la dificultad de generación de empleos en sectores económicos intensivos en capital, tales como la minería y la energía. En Chile, por ejemplo, ambos sectores son los mas intensivos en capital y menos intensivos en empleo: en minería, con 33% de la inversión extranjera, sólo genera 2% del empleo, mientras que el sector energía, con 20% de la inversión extranjera, genera solo 1% del empleo.<sup>39</sup>

Este hecho es particularmente grave en el caso de la núcleo-electricidad, en comparación con otras opciones tecnológicas de generación eléctrica. Un estudio realizado por el brasileño Jose Goldenberg, uno de los especialistas en energía más reconocido a nivel mundial, muestra que la opción nuclear es la de peor desempeño con la creación de apenas 75 empleos por

---

<sup>39</sup> Instituto Nacional de Estadísticas, *Participación económica de sectores en empleo e inversión extranjera total entre 1990-2002, (Comité de Inversiones Extranjeras) Chile*

teravatio/hora, en comparación con 120 empleos por teravatio/hora de la mini-hidro; 250 del gas natural y la gran-hidro; entre 700 y 1000 de la leña: entre 900 y 2400 de la energía eólica, etc. (Tabla N° 11)

**Tabla N° 11**  
**Creación de empleos por año y TWh**  
**Incluyendo producción del combustible y generación eléctrica**

Nuclear	75
Mini-hidro	120
Gas natural	250
Hidroelectricidad	250
Carbón	370
Bio-masa (leña)	733 - 1067
Energía eólica	918 - 2.400
Bio-masa (caña de azúcar)	3.711 - 5.920
Fotovoltaica	29.580 -107.000

*Fuente: José Goldemberg, "The Case for Renewable Energies" International Conference for Renewable Energies, Bonn 2004.*

### 3. IMPACTOS Y VULNERABILIDADES AMBIENTALES

Actualmente existe una vasta literatura sobre los impactos de los elementos y la contaminación radiactiva sobre la salud humana, y estrictas regulaciones para prevenir incidentes o accidentes. Sin embargo, a nivel internacional, existe menos información sobre los impactos ambientales del ciclo de vida de la energía nuclear, particularmente sobre la minería del uranio, los desechos de alta radioactividad y los accidentes de plantas nucleares. De estos, la información más abundante es la sobre los accidentes de Three Mile Island en Estados Unidos en 1979 y de Chernobyl, en Ucrania en 1986. En América Latina destaca como el caso más grave el derrame de cesio 137 en Goiania, Brasil, en 1987.

Posteriormente al grave accidente de Chernobyl han continuado ocurriendo varios incidentes de magnitud en plantas nucleares, significando riesgos graves para la población y los ecosistemas. Muchos de ellos han requerido el cierre de las plantas. Algunos de los accidentes ocurridos después de Chernobyl son los siguientes:

- **Alemania, 4 de mayo de 1986:** el reactor THTR-300 de Hamm-Uentrop sufrió un escape de radiación que se pudo detectar a dos kilómetros del reactor.
- **Ex República Democrática Alemana (RDA), 1989:** fusión parcial del núcleo en la central de Greifswald.
- **España, 19 de octubre de 1989:** la central nuclear de Vandellós, sufrió un incendio en la zona de turbinas.



- **Rusia (Ex Unión Soviética), 6 de abril de 1993:** fallo mecánico explosivo, en un vaso reactor de las instalaciones de reprocesado de plutonio de la Empresa Química Siberiana en Tomsk. La explosión desplazó la cubierta de hormigón del búnquer, y voló una amplia sección del tejado del edificio, permitiendo el escape de aproximadamente 6 gigabequerel (GBq) de 239 plutonio (Pu) y 30 terabequerelio (TBq) de varios otros elementos radiactivos. La contaminación se extendió por 28 kilómetros en dirección noreste.
- **Japón, 30 de septiembre de 1999:** accidente en la central de reprocesado de uranio en Tokaimura. Tres trabajadores fueron expuestos a dosis de radiación neutrónica por encima de lo permitido, y dos de ellos murieron. Otros 116 empleados recibieron dosis de 1 mSv o más.
- **EE.UU., 15 de febrero de 2000:** el reactor número 2 de la central nuclear de Indian Point, descargó una pequeña cantidad de vapor radiactivo tras la rotura de una tubería del generador de vapor.
- **Japón, 9 de febrero de 2002:** incendio en los cimientos del reactor número 3 en la central nuclear de Onagawa.
- **Gran Bretaña, 19 de abril de 2005:** una solución de 20 toneladas de uranio y 160 kgs. de plutonio en 83.000 litros de ácido nítrico se filtró desapercibidamente durante varios meses, por una tubería rota, en la planta de reprocesado de combustible nuclear THORP. El derrame, parcialmente procesado, fue bombeado a tanques en el exterior de la planta.
- **Gran Bretaña, septiembre de 2005:** la central de cimentado de Dounreay fue cerrada después de un vertido de 266 litros de residuos radiactivos de reprocesado.
- **Japón, julio de 2007:** A consecuencia de un sismo de intensidad 6,8 grados Richter, la central Kashiwazaki Kariwa sufrió un incendio parcial, derrames radioactivos al mar y derrame de 40 contenedores con desechos radioactivos sólidos, además de filtraciones de cromo, yodo y cobalto en una de las chimeneas del complejo nuclear.

Sin embargo, el accidente de Chernobyl es el más estudiado en la historia de la industria nuclear. La imagen y tablas a continuación muestran de acuerdo a los estudios de la Organización Mundial de la Salud, el Organismo Internacional de Energía Atómica y otras agencias internacionales, los afectados directos por el accidente y las dosis recibidas por la población local entre 1986 y 2005, en relación a la radiación natural.

**Tabla Nº 12**  
**Resumen de dosis medias acumuladas en**  
**las poblaciones afectadas por el accidente de Chernobyl**

Categorías de población	Número	dosis media (mSv)
Trabajadores que participaron en la mitigación (1986-1989) llamados liquidadores	600 000	~100
Evacuados de las zonas altamente contaminadas (1986)	116 000	33
Residentes de las zonas de "control estricto" (1986-2005)	270 000	>50
Residentes de otras áreas contaminadas (1986-2005)	5 000 000	10-20
Radiación natural promedio durante todo un año		2,4

Fuente: *The Chernobyl Forum 2003-2005, IAEA, WHO, UNDP et al.*

El mapa (Figura N° 4) presenta la expansión de la nube radioactiva sobre Ucrania, Bielorrusia y los diversos países europeos, seguido de las estimaciones sobre morbilidad y mortalidad de los afectados directos entre 1986 y 2056 (proyección a 70 años) por cánceres a la tiroides, leucemia y otros cánceres tanto en Bielorrusia como en los demás países afectados (Tabla N° 13).

**Figura N° 4**  
**Extensión de la nube radioactiva por el accidente de Chernobyl**



Fuente: *The Chernobyl Forum 2003-2005, "Chernobyl's Legacy: Health, Environmental and Socio-Economic Impacts and Recommendations to the Governments of Belarus, the Russian Federation and Ukraine"*, IAEA, WHO, UNDP y otros asociados.

**Tabla N° 13**  
**Estimaciones de la morbilidad y mortalidad en cánceres**  
**a raíz del accidente de Chernobil entre 1986 y 2056 (70 años)**

Patología	Morbilidad		Mortalidad	
	Todos los países	Bielorusia	Todos los países	Bielorusia
Cáncer a la tiroides	31.400	137.000	3.140	13.700
Otros cánceres	28.300	123.000	16.400	71.340
Leucemia	2.800	12.000	1.880	8.040
<b>Total</b>	<b>62.500</b>	<b>270.000</b>	<b>21.420</b>	<b>93.080</b>

Fuente: Greenpeace, *"The Chernobyl Catastrophe Consequences on Human Health"*, 2006.

Además de los impactos por probables incidentes o accidentes producidos en plantas de generación núcleo-eléctrica y procesos asociados, se deberá también tener en cuenta la gestión de los desechos a corto y a largo plazo, su disposición definitiva, el desmantelamiento de las plantas nucleares, así como todos los riesgos cuando el material radioactivo es transportado a lo largo de los diversos procesos industriales de la cadena nuclear.

Dentro de los riesgos de la industria nuclear con mayor visibilidad durante 2007 están aquellos provenientes de los eventos sísmicos, como lo ocurrido en la planta nuclear Kashiwazaki Kariwa, en Japón. Las fugas radiactivas provocadas por un terremoto de apenas 6,8 grados Richter, reinstalan la preocupación y alerta internacional ante los riesgos humanos y ambientales que acarrea la opción nuclear. El riesgo sísmico en países como Chile, cuyos más recientes terremotos superaron ampliamente esos niveles, con 9,7 grados Richter (Valdivia) en el año 1960 y 8,5 grados Richter (zona central) el año 1985, implica asumir riesgos inaceptables. El terremoto de Niigata y Kyoto, que afectó la planta nuclear de Kashiwazaki Kariwa, echa por tierra el principal argumento del *lobby* nuclear, en el sentido que Chile podría acceder a una tecnología “de vanguardia”, similar a la nipona, y superar así el peligro latente de los terremotos.

Actualmente, el requerimiento de seguridad sísmica para la construcción de plantas nucleares en EEUU y Japón es de 7,7 grados Richter<sup>40</sup>; y sabemos que Japón lo aplica con el máximo estándar de tecnología antisísmica. Este hecho pone en cuestión los niveles de seguridad que asume la industria nuclear, los que resultan francamente insuficientes. Para el caso de muchos países de América Latina, que frecuentemente sufren sismos de alta intensidad, ello significaría asumir irresponsablemente niveles de vulnerabilidad potencialmente catastróficos.

Un segundo aspecto que queda en evidencia luego de este derrame radiactivo en Japón, es la falta de transparencia de la industria nuclear, hecho que también quedó en evidencia en el caso de Three Miles Island y de Chernobyl. El ocultamiento frecuente de información por parte del sector nuclear ha agravado siempre los impactos de esta tecnología sobre el medio ambiente, la salud y vida de las personas.

En la central de Kashiwazaki Kariwa se comprobaron 50 fallas y derrames tras el terremoto, incluyendo incendios, escapes de agua radiactiva que fueron a parar al océano con consecuencias indeterminadas, además de derrame de desechos radiactivos, tuberías desplazadas y diversos equipos rotos. Esto sólo se conoció luego de que el alcalde de Kashiwazaki ordenó mantener cerrada la planta y presionó a la empresa eléctrica Tokyo Electric Power (TEPCO), a informar a la población.

Luego de ello, en una segunda versión de lo ocurrido, la empresa reconoció que se derramó el doble de agua radioactiva al mar; que los barriles de desechos radioactivos sólidos que se volcaron no eran 100, sino 400 y que 40 de ellos se abrieron derramando desechos radiactivos. Adicionalmente admitió haber detectado emisiones con niveles anormales de isótopos radiactivos de cromo 51, yodo y cobalto 60 en una chimenea de los reactores. Ante estos hechos, el gobierno central ordenó clausurar la central hasta saber de los verdaderos alcances del incidente. Lo acontecido, sin duda obligará al gobierno japonés a evaluar y elevar las exigencias de seguridad a su industria nuclear.

---

<sup>40</sup> Nuclear Energy Institute, con sede en Washington.

## 4. LOS ASPECTOS GEOPOLÍTICOS DEL CICLO DE COMBUSTIBLE

### 4.1 Vulnerabilidad y tensiones geopolíticas:

Por su doble utilización para generación eléctrica y fabricación de armas nucleares, la tecnología nuclear siempre ha constituido un factor de alta incidencia en la seguridad nacional e internacional. A pesar del Tratado de No Proliferación Nuclear (TNP) de 1970<sup>41</sup> y del fin de la Guerra Fría, el enriquecimiento de uranio y el dominio del ciclo de combustible nuclear han continuado generando tensiones geopolíticas y constituyendo causa y justificación de conflictos bélicos, tales como los de la invasión de Irak y las recientes tensiones entre Estados Unidos y otras potencias nucleares, con Irán y Corea del Norte.

Actualmente, a pesar del TNP y del control que ejerce el sistema de Naciones Unidas sobre la tecnología y los materiales nucleares a través de la Agencia Internacional de Energía Atómica (AIEA); la comunidad internacional evalúa que no existen garantías para asegurar un uso exclusivamente pacífico de la tecnología nuclear.

Desde fines de los años 80, la mayor parte de los países de Europa abandonó la opción nuclear de su política energética, por razones de rechazo ciudadano y por los riesgos de esta tecnología para la salud y el ambiente; pero también crecientemente por las tensiones geopolíticas y los riesgos de terrorismo. Esta razón ha sido especialmente sensible para Inglaterra, afectada recientemente por tráfico de polonio, material radioactivo que además de haber provocado muertes e involucrado a agentes de servicios secretos estatales, entre ellos el de la Federación Rusa, evidencia los desafíos a la seguridad que presentan los materiales utilizados en esta tecnología.

El conjunto de riesgos asociados a la proliferación de la tecnología nuclear y a los materiales radioactivos susceptibles de ser utilizados con fines bélicos, ha sido una de las razones por las cuales, políticamente, la Unión Europea no consideró la opción nuclear en su plan energético para enfrentar el cambio climático, a pesar de la insistencia de algunos gobiernos, como el de Francia.

A pesar de que el control de salvaguardias de la AIEA ha sido reforzado recientemente para asegurar que no se desarrollen materiales, ni actividades nucleares no declaradas<sup>42</sup>, ni que se desvíen materiales nucleares de programas civiles hacia desarrollos militares, es claro que los recursos de dicha institución y su régimen de salvaguardias no han sido capaces de asegurar la prevención de la actual proliferación nuclear, y ciertamente tampoco de los futuros.

---

<sup>41</sup> El Tratado de No Proliferación de Armas Nucleares, de 1970, tiene 187 países miembros, y compromete transferencia tecnológica para uso pacífico de la energía nuclear a los países que no poseen esta tecnología a que no poseen armas nucleares.

<sup>42</sup> IEA (Agencia Internacional de Energía. AIE en español) IEA Energy Technology Essentials: Nuclear Power, march 2007.

La misma AIEA ha reconocido que convertir plutonio (extraído de combustible nuclear quemado) en bombas sólo requiere entre 7 y 10 días. Institucionalmente, a pesar de ser el brazo operativo del Tratado de No Proliferación Nuclear, la AIEA no tiene recursos ni atribuciones para regular e inspeccionar las instalaciones nucleares a nivel mundial, en rangos que reduzcan el riesgo de actividades militares clandestinas<sup>43</sup>. Ello ha quedado en evidencia en la evaluación realizada a dicha institución en 2005, la cual demostró que cuatro países: Israel, Corea del Norte, India y Pakistán, han desarrollado armas nucleares a partir de sus programas civiles. La AIEA reconoce que en los próximos 30 a 40 años cerca de treinta países podrían tener, en base a sus programas civiles, materiales y personal técnico capacitado para fabricar armas nucleares.

#### **4.2- Terrorismo e inseguridad:**

Es claro que cualquier expansión de los programas nucleares a nivel mundial incrementará la producción, transporte y utilización de materiales sensibles, intensificando aun más los actuales riesgos de terrorismo y de proliferación. Por ello los escenarios futuros refuerzan aun más la preocupación por los aspectos geopolíticos y de seguridad de la tecnología nuclear.

Una nueva fase de generación nuclear enfrentaría un contexto donde muy probablemente los niveles de inseguridad y vulnerabilidad se intensificarán debido a la competencia por recursos naturales como el agua y el petróleo; por los impactos del cambio climático; por el desarrollo y acceso a elementos nucleares y biológicos susceptibles de uso bélico; y en un contexto donde no es claro quien responderá en caso de accidentes o acciones terroristas<sup>44</sup>.

La acción terrorista más simple en base a materiales nucleares es el uso de un arma radiológica. Esto se conoce como “bombas sucias” pues consiste en un explosivo convencional (dinamita, TNT, etc.), algún material incendiario y cierta cantidad de un isótopo radiactivo. Así, aún no existiendo explosión nuclear, se genera una grave contaminación radioactiva. Para este tipo de atentados, lo más probable es la utilización de radioisótopos de fácil acceso, que poseen larga vida media y emiten rayos gamma como el cesio 137, el cobalto 60, el iridio 192, u otros como el estroncio 90, que emite partículas beta y se concentra en los huesos.

Si una bomba sucia se realizara en base a plutonio, el impacto masivo sobre la salud humana sería devastador. También es posible la utilización de desechos radioactivos para fabricación.<sup>45</sup> El efecto en todos los casos será muertes, altas incidencias de cáncer, pero también pánico, contaminación de la infraestructura y de la cadena alimentaria, con efectos catastróficos sobre la economía.

---

<sup>43</sup> Oxford Research Group "Secure Energy?. Are the risks of new nuclear power too great?", Summer 2007.

<sup>44</sup> Ibid nota 44

<sup>45</sup> Barnaby, Frank y Kemp, James "Too hot to handle?: the future of civil nuclear power", Oxford Research Group, London, United Kingdom, Julio, 2007.

Otra de las acciones que se prevé en los análisis de seguridad es el ataque terrorista a centrales nucleares. Se han identificado dos blancos potenciales en este tipo de acciones: el reactor mismo y las piscinas de enfriamiento del combustible quemado ya utilizado. Un ataque al reactor puede provocar un colapso del núcleo del reactor e incendio (como ocurrió en Chernobyl), o provocar pérdida del refrigerante del núcleo del reactor (como ocurrió en Three Miles Island)<sup>46</sup>

Como explicamos en capítulos anteriores, el ciclo del combustible nuclear incluye procesos que se desarrollan en diversos países, desde la extracción del uranio hasta el reprocesamiento y disposición final de desechos. Por ello, anualmente se desarrollan miles de transportes de materiales susceptibles de ser usados para fabricar bombas nucleares o bombas radiológicas o “sucias”<sup>47</sup>.

Por ello, un aumento de estos transportes implicaría mayores costos para los Estados en sistemas y personal de seguridad, inteligencia y prevención de contaminación. Estas condiciones ciertamente no podrán ser asumidas adecuadamente en la mayoría de los países cuyo personal, sistemas regulatorios, fiscalización y de control están menos desarrollados.

Reducir estos riesgos requiere incrementar los niveles de seguridad de los transportes y de las instalaciones nucleares, lo que significará mayores costos para la generación nuclear.

### **4.3 Dependencia tecnológica y vulnerabilidad**

Otro factor de vulnerabilidad que implicaría la opción nuclear para nuestro país, es el incremento de materiales nucleares contaminantes en el territorio nacional, y la adopción de un paquete tecnológico que nos haría más dependientes, no sólo porque el sistema de salvaguardias y controles de esta tecnología impiden acceder a todos los procesos, sino también porque las potencias nucleares no transfieren todo el paquete tecnológico del ciclo de combustible; lo que nos haría depender de muy pocos países que dominan todos los procesos de la cadena nuclear:

- a) Dependeríamos de un reducido número de países que pueden fabricar el combustible nuclear (en particular, Francia, Canadá, Japón, Rusia, Inglaterra, EE.UU., Bélgica, Alemania, Corea del Sur, España y Suecia)
- b) Dependeríamos de un número aún más reducido de países que pueden reprocesar los desechos radioactivos (Francia, Japón, Rusia e Inglaterra.)
- c) Dependeríamos del único país -Rusia- que ha aceptado los desechos radioactivos de otros países en su territorio, en la localidad de Mayak<sup>48</sup>. Salvo que Chile aceptara la disposición geológica de desechos altamente radioactivos en el territorio nacional.

---

<sup>46</sup> *Ibid* nota 46.

<sup>47</sup> Oxford Research Group “Secure Energy ? Are the risks of new nuclear power too great?”, Summer 2007.

<sup>48</sup> IAEA, (AIEA en español) “Country Nuclear fuel Profiles”, Technical Report Series n° 425, Vienna 2005.

La opción nuclear también significaría para Chile hacer más rígido su sistema eléctrico, ya que las centrales actualmente más competitivas son de gran potencia, en torno a los 1000 megavatios, lo que resulta inadecuado para el tamaño relativamente pequeño del sistema eléctrico chileno, y para la estabilidad de los sistemas eléctricos del Norte Grande (SING) y el Sistema Interconectado Central (SIC).

Adicionalmente a la vulnerabilidad energética, a la dependencia tecnológica y a los riesgos de seguridad militar, humana y ambiental, optar por la tecnología de generación nuclear significaría para Chile concentrar inversiones de gran escala en una tecnología compleja, riesgosa y rechazada por la ciudadanía, apartando al país de la tendencia mundial que apunta prioritariamente al liderazgo de las energías limpias, renovables y socialmente populares, para enfrentar la seguridad energética y el calentamiento global.

## 5. CONCLUSIONES

### *Desmantelamiento de centrales, falta de contratos y “lobby” nuclear.*

Los accidentes de Three Mile Island y de Chernobyl entre otros, al igual que la incapacidad de la industria nuclear para atraer las inversiones privadas, detuvieron a partir de los años '80 el desarrollo de la núcleo-electricidad en el mundo. Actualmente, la mayoría de las centrales nucleares en funcionamiento están llegando al fin de su vida útil proyectada para 40 años.

Adicionalmente, países como Bélgica, Alemania, Holanda, España y Suecia ya establecieron en los años 90 acuerdos políticos para evitar la construcción de nuevas centrales; o bien establecieron un cronograma con planes de cierre para las que están aún en funcionamiento.

**Tabla Nº 14**  
**Centrales con Planes de Cierre 2004-2007**

País	Nombre Planta	Capacidad Neta MW
Suecia	Barsebäck 2	600
Alemania	Obrigheim	340
España	Zorita	142
Bulgaria	Kosloduy	816
Eslovaquia	Bohunice	408
Lituania	Igualina 1	1.185
Inglaterra	Dungeness A	450
	Sizewell A	420
	Chapelcross	200

Fuente: Agencia Internacional de Energía Atómica.

Además del cierre definitivo de centrales en Eslovaquia, Bulgaria, Inglaterra, España, Alemania, Suecia y Lituania durante el período 2004-2007 (Tabla N° 14), se espera que entre 2007 y 2009 se cierren al menos 13 centrales que cumplen con su vida útil (Tabla 15). Esta situación implica un gran costo para la industria nuclear que tendrá dificultades de enfrentar si no logra contratos para nuevas plantas nucleares.

**Tabla N° 15**  
**Cierre previsto de centrales 2007-2009**

País	Nombre	Capacidad Neta MW	Comienzo operaciones
Francia	Phenix	233	1974
Alemania	Biblis A	1.167	1974
	Neckarwestheim	785	1976
	Biblis B	1.240	1976
	Brunsbüttel	771	1976
Lituania	Ignalina 2	1,185	1987
	Bohunica 2	408	1980
Inglaterra	Sizewell A1	210	1961
	Sizewell A2	210	1961
	Oldbury A1	230	1962
	Oldbury A2	230	1962
	Wylfa 1	490	1963
	Wylfa 2	490	1963

Fuente: Energy Watch Group, "Uranium Resources and Nuclear Energy", EWG-Series No 1/2006, Diciembre 2006.

Esta situación, junto a las dificultades para resolver aspectos críticos de la tecnología nuclear, tales como el problema de los desechos y los riesgos de terrorismo y proliferación; así como su incapacidad para superar el rechazo ciudadano, coloca a la industria nuclear frente a dificultades estructurales que ciertamente no auspician su desarrollo<sup>49</sup>. Si estos problemas no son resueltos por la industria nuclear, de acuerdo a los organismos internacionales especializados, la generación nuclear no se expandirá, sino tenderá a caer y a desaparecer en el futuro.

Adicionalmente, la reticencia de los privados a asumir los riesgos de inversión de la tecnología nuclear, muy posiblemente reduzca cada vez mas este tipo de generación. Ante esta situación, la decaída industria nuclear ha tratado de introducir cambios en las políticas públicas en diversos países para mantener sus actividades. Entre ellas, se ha esforzado por lograr:

1. Que la vida útil permitida de las centrales (hoy de 30-40 años) sea extendida a 60 años.

<sup>49</sup> IEA (Agencia Internacional de Energía. AIE en español) IEA Energy Technology Essentials: Nuclear Power, march 2007.



2. Que el desmantelamiento y la disposición geológica de los desechos sea retomado y financiado por organismos estatales separados de la industria nuclear.
3. Encontrar lugares geológicos y países dispuestos a aceptar los desechos radioactivos.
4. Que se establezca un transporte internacional expedito de desechos altamente radioactivos, entre los lugares de generación y los lugares disposición geológica de los desechos.
5. Mantener al menos la actual capacidad de generación núcleo-eléctrica mediante la instalación de centrales en Asia.

Si la industria nuclear no logra relajar las actuales normativas y traspasar a costo estatal parte de sus procesos, puede enfrentar una bancarrota.

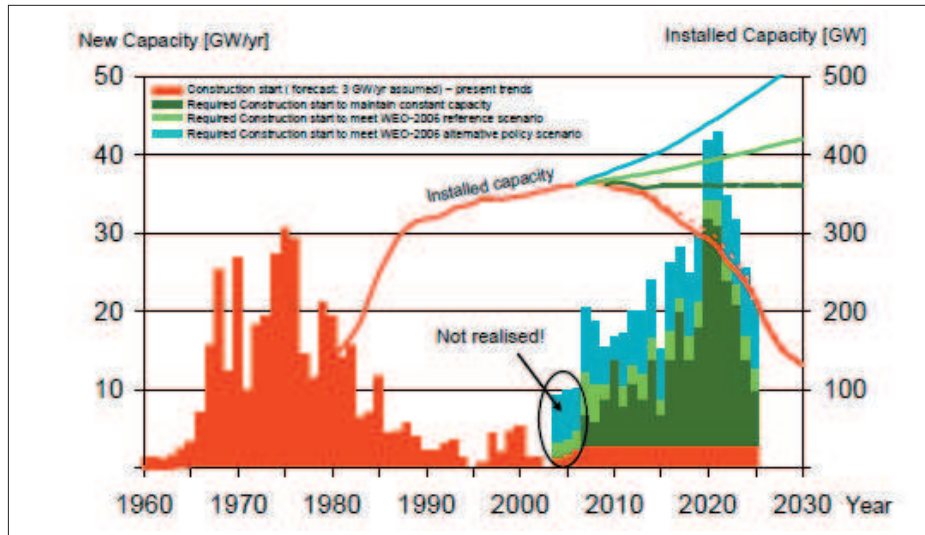
El único fundamento que tiene la industria y el *lobby* nuclear para demandar estos cambios en las políticas públicas a nivel mundial, es el hecho de que la generación núcleo-eléctrica emite menos CO<sub>2</sub> que los combustibles fósiles. Sin embargo dicho fundamento es parcial, pues tal como presentamos en el capítulo 3, si se considera todo el ciclo del combustible nuclear, desde la mineración del uranio hasta la disposición final de desechos, las emisiones de CO<sub>2</sub> de la cadena nuclear puede ser similar a las emisiones de una planta a gas natural, especialmente si el uranio base de su combustible es de baja ley.

La Agencia Internacional de Energía Atómica<sup>50</sup>, ha realizado estudios de proyección del potencial nuclear al año 2030, en base a la capacidad actualmente instalada. De este análisis presenta 4 escenarios: el requerimiento de aumentar la construcción de nuevas centrales nucleares con una generación nueva equivalente a 30 o 40 gigavatios/año, si se quiere alcanzar el **escenario de referencia** (línea verde claro en el gráfico N° 13 ) o el **escenario alternativo o intensivo en nuclear** (línea celeste) proyectado por la Agencia Internacional de Energía a solicitud de la OECD. El requerimiento de una nueva generación nuclear de 30 gigavatios/año si se pretende mantener el **escenario de capacidad nuclear actualmente instalada** (línea verde oscuro). Finalmente establece que de mantenerse el **escenario actual**, de acuerdo a la tendencia observada, y asumiendo que se aumenta en 3 gigavatios la capacidad anual, la generación nuclear iniciaría una curva de drástica reducción (línea roja).

---

<sup>50</sup> Fuente: IAEA, en Energy Watch Group, "Uranium Resources and Nuclear Energy", EWG-Series No 1/2006, Diciembre 2006

**Gráfico N° 13**  
**Proyecciones de la capacidad eléctrica nuclear**



Fuente: IAEA, en Energy Watch Group, "Uranium Resources and Nuclear Energy", EWG-Series No 1/2006, Diciembre 2006.

En este contexto de evidente decrecimiento en la apuesta internacional por la energía nuclear, y donde parece urgente para la industria nuclear jugarse por sobrevivir, Chile aparece como un país clave, pues su política históricamente ha sido activa en contra de la proliferación nuclear; y durante los últimos años se ha opuesto claramente a los transportes de desechos radioactivos, tanto por la Zona Económica Exclusiva como por el mar presencial.

Existe una estrategia de la industria nuclear, particularmente en el caso de Francia y Rusia, que consiste en la relegitimación de la opción nuclear en Chile. Aunque como industria no tenga perspectivas reales de desarrollo en el ámbito nacional, por sus costos, por las dimensiones de la red eléctrica, por el peso de la empresa privada en la generación eléctrica o por los conocidos impactos ambientales.

Por ello, a pesar de que actualmente es inviable el desarrollo de la opción nuclear en nuestro país, la industria nuclear se empeña en mostrar como políticos chilenos de la coalición de gobierno, y en especial parlamentarios de las comisiones de energía y dirigentes de partidos políticos, concurren a visitar sus programas nucleares y demandan al gobierno utilizar fondos públicos para evaluar la viabilidad de dicha forma de generación.

Chile cuenta con una conciencia ciudadana mayoritariamente crítica a la energía nuclear; por lo tanto será difícil para las autoridades políticas ser funcionales a la estrategia de la industria y el *lobby* nuclear, que claramente alejarían al país de un desarrollo energético limpio, seguro y sustentable. Como es evidente que cualquier decisión nacional de esta envergadura deberá seguir los cauces de las decisiones políticas, es fundamental que la ciudadanía y sus representantes sepan por qué la energía nuclear está hoy en decadencia y ya no es una alternativa para el desarrollo energético en el futuro.

---

## Referencias Bibliográficas

- BarnabFrank y & James Kemp «Too hot to handle? The future of civil nuclear power» Oxford Research Group, Julio 2007
- Comisión Europea, 26/10/2006, <http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=IP/06/1456>
- Cour des comptes du France, « Synthèse du rapport Public particulier. Le démantèlement des installations nucléaires et la gestion des déchets radioactifs », Enero 2005.
- David Fleming, “The Lean Guide to Nuclear Energy, A Life-Cycle in Trouble”, The Lean Economy Connection, Febrero 2007.
- Energy Watch Group, “Uranium Resources and Nuclear Energy”, EWG-Series No 1/2006, Diciembre 2006.
- Goldberg, M. (2000), Federal energy subsidies: Not all technologies are created, Equal, REPP, Julio 2000.
- Greenpeace, “The Chernobyl Catastrophe Consequences on Human Health”, 2006.
- Greenpeace/Cono Sur Sustentable Associated Press-2006, declaraciones del director del proyecto Yuca Mountain Project, en “Los mitos de la energía nuclear: a 20 años de Chernobyl” 2006
- Goldemberg, José. “The Case for Renewable Energies” *International Conference for Renewable Energies, Bonn 2004.*
- IAEA, “Country Nuclear fuel Profiles”, Technical Report Series nº 425, Vienna 2005.
- IAEA, Energy Technology Essentials – Nuclear Power
- The Chernobyl Forum 2003-2005, “Chernobyl’s Legacy: Health, Environmental and Socio-Economic Impacts and Recommendations to the Governments of Belarus, the Russian Federation and Ukraine”, IAEA, WHO, UNDP ..
- IAEA, Power Reactor Information System, en <http://www.iaea.org/programmes/a2/>
- IAEA, “Operating Experience with Nuclear Power Stations in Member States in 2005”, octubre, 2006.
- IEA, «World Energy Outlook 2006»
- IEA/OECD, Energy Technology Essentials – Nuclear Power , march 2007. En <http://www.iea.org/Textbase/techno/essentials4.pdf>
- Instituto Nacional de Estadísticas, Participación económica de sectores en empleo e inversión extranjera total entre 1990-2002, (Comité de Inversiones Extranjeras) Chile
- Jürgen Kreuzsch y al.—Nuclear Fuel Cycle, Nuclear Issues Paper No. 3, febrero 2006, Heinrich Böll Foundation.
- LEY-18302 de Seguridad Nuclear modificada por la Ley 19825 del 1.10.2002.
- Milet, Paz Verónica. Chile-Perú: las dos caras de un espejo. Rev. cienc. polít. (Santiago), 2004, vol.24, no.2, p.228-235.
- Monstrous subsidies, Marzo del 2004, en <http://www.citizen.org/documents/nuke2010analysis.pdf>
- Mudd & Diesendorf, “Sustainability Aspects of Uranium Mining: Towards Accurate Accounting?”, 2nd International Conference on Sustainability Engineering & Science, Auckland, New Zealand - 20-23 February 2007.
- NEA, IAEA, “Forty Years of Uranium Resources, Production and Demand in Perspective” The Red Book Retrospective, OECD Publishing, 2006.

- New Economics Foundation “Mirage and Oasis, Energy choices in an age of global warming” junio 2005
- Office of Civilian Radiactive Waste Management, US Department of Energy, Yucca Mountain Project en [www.ocrwm.doe.gov/factsheets/doeymp0026sv.shtml](http://www.ocrwm.doe.gov/factsheets/doeymp0026sv.shtml)
- OMS, Uranio empobrecido: origen, exposición y efectos en la salud, Resumen de orientación. Oxford Research Group “Secure Energy? Are the risks of new nuclear power too great?”, Summer 2007.
- Oxford Research Group “Secure Energy? Are the risk of nuclear power too great?” Briefing Dialogue, Summer 2007.
- PIU Energy Review 2002; DTI/Ofgem 2004 -Distributed Coordinating Group, PO2a Working Paper Three: The Economic Value of Micro generation, Technical Steering Group.
- Public Citizen, Nuclear Power 2010 Unveiled, Bush plan for new nuclear reactors maps out monstrous subsidies, Marzo del 2004. en <http://www.citizen.org/documents/nuke2010analysis.pdf>
- Storm van Leeuwen, Jan Willem and Philip Smith, “Nuclear energy. The energy balance”, Julio 2005.
- Storm van Leeuwen, J.W., “Energy from Uranium”, Oxford Research Group, 2006.
- Storm van Leeuwen, “Greenhouse Gases from Nuclear”, 2006.
- Storm van Leeuwen, J.W., en Oxford Research Group «Secure Energy». [www.oxfordresearchgroup.org.uk/pa/cm200506/cmselect/cmenvaud/584/58402.htm](http://www.oxfordresearchgroup.org.uk/pa/cm200506/cmselect/cmenvaud/584/58402.htm).
- Storm van Leeuwen, J. W. «Energy Security and Uranium Reserves» Secure energy: options for a safer world- Factsheet 4- Oxford Research Group .Julio 2006
- The Economic Future of Nuclear Power, University of Chicago, Agosto 2004, en [http://www.anl.gov/Special\\_Reports/NuclEconSumAug04.pdf](http://www.anl.gov/Special_Reports/NuclEconSumAug04.pdf).
- The New Economics Foundation, “Mirage and oasis, Energy choices in an age of global warming”, Junio del 2005
- Uwe R. Fritsche, Comparison of Greenhouse-Gas Emissions and Abatement Cost of Nuclear and Alternative Energy Options from a Life-Cycle Perspective”, Öko-Institut e.V., Enero 2006.