



# LA ENERGÍA NUCLEAR **NO** TIENE FUTURO

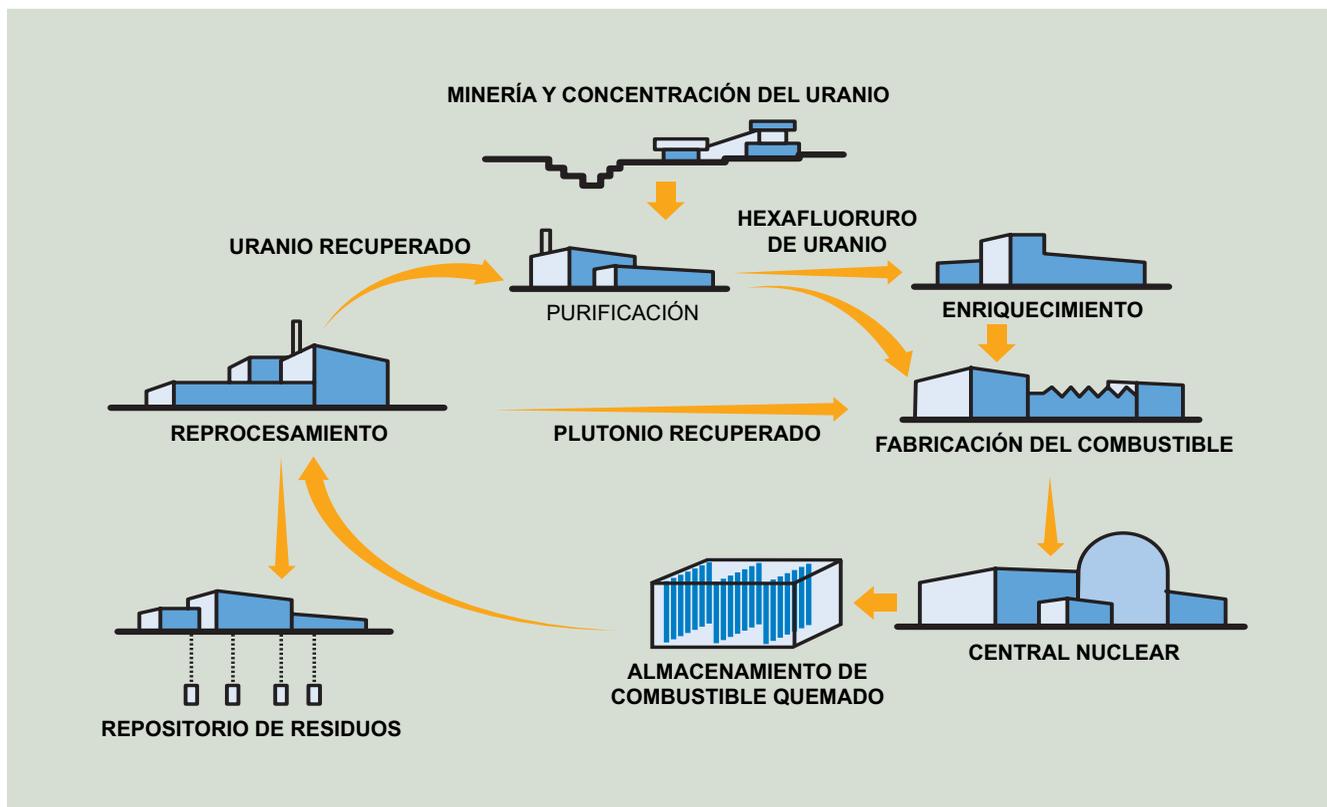
Fundamentos de la oposición del movimiento ambientalista a la opción núcleo-eléctrica

# Los problemas del ciclo nuclear

Para la mayoría de las personas, una central nuclear es una “caja negra”, pues produce energía, sin usar combustibles tradicionales como petróleo o carbón. Pero una central nuclear no es un sistema aislado, sino parte de un proceso industrial, que incluye:

1. Extracción y minería del uranio.
2. Conversión del mineral en elementos combustibles utilizables en un reactor.
3. Construcción de la central nuclear.
4. Operación y mantenimiento del reactor durante los años de vida útil.
5. Manejo de desechos y reprocesamiento.
6. Clausura y desmantelamiento del reactor y de la central nuclear.
7. Confinamiento definitivo de residuos radioactivos en depósitos geológicos.

**Figura N° 1:**  
**Ciclo de vida completo de la energía nuclear**



Fuente: Centro Atómico Ezeiza, Argentina.

Los promotores de la energía nuclear aseguran que la tecnología nuclear es una alternativa que solucionará para siempre las necesidades de energía de la humanidad. Esta afirmación es incorrecta por dos razones:

- a) porque la energía nuclear depende de un combustible **no renovable**, el uranio; y cuyas reservas de alta ley son escasas.
- b) porque las centrales nucleares sólo tienen una vida útil de 40 años<sup>1</sup>, luego de lo cual hay que costear su total desmantelamiento, además del procesamiento y **disposición final de los desechos radioactivos por miles de años**.

# La energía nuclear depende de un recurso no renovable

Los promotores de la energía nuclear aseguran que esta tecnología es una alternativa que aportaría independencia a la matriz energética y que soluciona para siempre las necesidades de energía de la humanidad. Esta afirmación es incorrecta, pues la energía nuclear depende de un recurso **no renovable**, el uranio, cuyas reservas de alta ley (alta concentración de uranio por tonelada de roca extraída) son escasas.

Por ejemplo, para abastecer a un reactor nuclear de 1 gigavatio (GW), que necesita entre 160 y 200 toneladas de dióxido de uranio por año, es necesario extraer 80.000.000 de toneladas de rocas de granito. (si la mina es de alta ley, es decir, con concentraciones de 4 gramos de uranio natural por tonelada de granito), Por ello, sólo es rentable la explotación de minas cuyas rocas poseen alta concentración de uranio

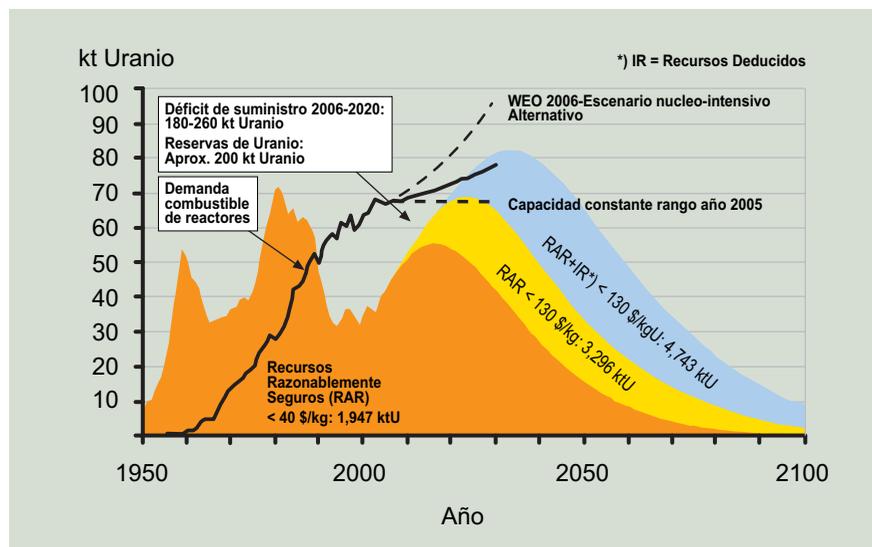
La Agencia Internacional de Energía (AIE) reconoce reservas probadas de uranio de 4,6 millones de toneladas, las que sólo permitirían abastecer la actual demanda de 65.000 toneladas/año del parque nuclear existente por 85 años<sup>2</sup>.

La producción de uranio a nivel mundial ha disminuido desde los años 80. Los últimos 20 años parte del abastecimiento de uranio ha venido de los inventarios militares, que hoy se han reducido. Esta reducción de *stocks* de uranio de alta ley ha generado desde 2004 un alza en el precio del concentrado de uranio de 565%, llegando a U\$ 113 dólares la libra, en abril de 2007.

Si la industria nuclear se expandiera de acuerdo a las proyecciones de la Agencia Internacional de Energía, en su Perspectiva de la Energía Mundial 2006 (World Energy Outlook-WEO-2006) solo podría alimentarse de las reservas de uranio razonablemente aseguradas, mas las reservas teóricas; las cuales, de existir, igual iniciarían su declinación en 2040.<sup>3</sup>

Por tanto es claro constatar que no existe uranio para expandir la actual capacidad nuclear.

**Gráfico N° 1**  
**Demanda de uranio en base a los escenarios de la Agencia Internacional de Energía y posible abastecimiento desde recursos conocidos**



Fuente: Energy Watch Group, Uranium Resources and Nuclear Energy, 2006

En base a escenarios WEO 2006: IEA, World Energy Outlook 2006

RAR : Recursos razonablemente asegurados

RAR+IR : Recursos razonablemente asegurados + Recursos teóricos

Datos sobre las reservas provienen de "The Red Book Retrospective" Nuclear Energy Agency, IAEA, 2006

# Los Fast Breeder fracasaron como alternativa a la escasez de uranio

Frente a la escasez de reservas de uranio de alta ley, la Agencia Internacional de Energía y la industria nuclear declaran que la tecnología de los Reactores Reproductores Rápidos (*fast breeder reactors*) podrían aumentar en 30 veces la energía extraída del uranio natural; lo que permitiría mantener la actual generación nuclear o expandirla.

Pero la realidad es que luego de 50 años de intensa investigación, y con inversiones de cientos de miles de millones de dólares esta tecnología ha sido un fracaso. El reactor Monju de 280 Megavatios, desarrollado por Japón y puesto en operación en 1995, fue cerrado tras un incendio, por razones de seguridad, luego de solo 4 meses de funcionamiento. El reactor Superphenix de 1.242 Megavatios, desarrollado por Francia, y puesto en operación en 1986 después de 10 años de construcción, fue cerrado luego de 9 años de mal desempeño (6 operando y 3 parado) por los costos excesivos de su funcionamiento. Actualmente no existe ningún reactor con esta tecnología funcionando en el mundo.

## Una vez hecha la inversión, ¿es la energía nuclear más barata?

La generación nuclear, incluyendo el ciclo completo desde la fabricación del combustible hasta el almacenamiento final de desechos radiactivos, tiene costos más altos que las demás tecnologías actualmente disponibles. Esta razón, mas los problemas de inseguridad y el rechazo de la ciudadanía, explican porque esta tecnología no se ha expandido en los últimos 30 años.



Central Angra 1, Brasil

# Costos y subsidios de la energía nuclear

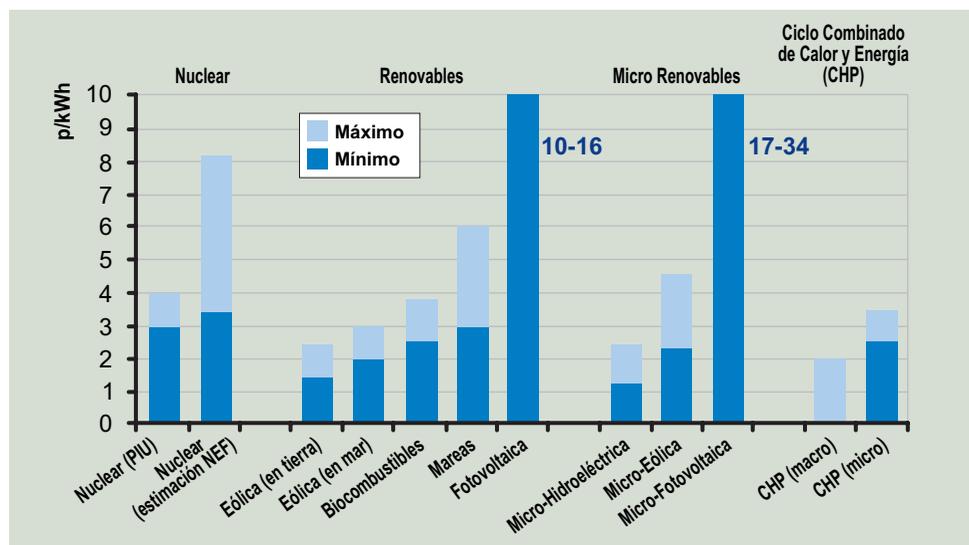
La energía nuclear requiere grandes inversiones: La central de Olkiluoto en Finlandia la única que se construye actualmente en Europa, ha tenido un costo de inversión de U\$2.500 dólares por kilowatt. La demora promedio en la construcción de plantas nucleares es de 8,6 años<sup>4</sup>. Los costos de generación (con subsidios) según la experiencia histórica de EEUU es de 22,3 centavos de dólar por kilovatio. Estos costos no incluyen el desmantelamiento de la central al fin de su vida útil, ni el transporte, ni el reprocesamiento de combustible quemado, ni la disposición final de desechos altamente radiactivos; tampoco se incluyen los costos asociados a la seguridad y a la institucionalidad nuclear.

Diversos estudios concluyen, luego de analizar los costos mínimos y máximos de generación eléctrica al año 2020, en base a diversas tecnologías, que la energía nuclear es más costosa que la generación con fuentes renovables y limpias como la eólica la biomasa, la mareomotriz, la hidráulica y la cogeneración. Sólo la opción solar-fotovoltaica es actualmente más costosa que la opción nuclear.

El desarrollo nuclear no es rentable y su motivación original fue la de obtener elementos fisionables para la fabricación de armas nucleares.

Por esta razón el sector privado no está interesado en invertir en plantas nucleares; y los programas de privatización, como en el caso de Argentina, han fracasado.

**Gráfico N° 2**  
**Costo proyectado al 2020 de la generación eléctrica**



Fuente: Mirager and Oasis, *Energy Choices in an Age of Global Warming*. The New Economics Foundation, junio 2005.

Además de subsidios directos e históricos por casi 7 centavos de dólar por kilovatio/hora, en el caso de Estados Unidos<sup>5</sup>, la industria nuclear tiene subsidios indirectos tales como leyes nacionales que ponen techo a los seguros ante incidentes o accidentes nucleares en las centrales y durante el transporte de combustible o de materiales radioactivos.

Adicionalmente, la Agencia Internacional de Energía reconoce que en la mayoría de los países, al incluirse mayores exigencias de seguridad e inspección de las plantas nucleares, los costos de inversión han sido mayores a los aprobados inicialmente. A esto se suma el mayor costo por demoras en plazos de construcción. El hecho de que ni Estados Unidos ni Canadá hayan construido nuevas centrales nucleares los últimos 30 años dificulta evaluar los costos reales de esta opción energética.

# El estancamiento histórico del negocio nuclear

Los accidentes de Three Mile Island en EE.UU. y de Chernobyl en Ucrania, además de la incapacidad de la industria nuclear para atraer 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 por ello la industria nuclear tendrá que gastar cientos de millones de dólares para desmantelar cada una de estas centrales, demoler sus instalaciones.

Los costos de **desmantelamiento** son altísimos. Para la central francesa de Brennilis, por ejemplo, se estima un costo de 20 millones de euros, pero la realidad es que ya han gastado 480 millones de euros<sup>6</sup>, sin considerar la gestión a largo plazo de los desechos en depósitos geológicos. Para la central Zorita, en España, cerrada en 2006, se estima un costo de desmantelamiento de 170 millones de euros, y una demora de 10 años, terminando en 2015.

**Tabla N°1**  
**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, n° 1/2006, Diciembre, 2006.

Además del cierre definitivo de 9 centrales en Eslovaquia, Bulgaria, Inglaterra, España, Alemania, Suecia y Lituania durante el período 2004-2007, se espera que entre 2007 y 2009 se cierren al menos otras 13 centrales que cumplen con su vida útil (Tabla N°1). Estos desmantelamientos implican un gran costo para la industria nuclear que tendrá dificultades de enfrentar si no logra contratos para nuevas plantas nucleares.

Además, países como Bélgica, Alemania, Holanda, España y Suecia ya establecieron en los años 90 acuerdos políticos para evitar la construcción de nuevas centrales.

Las dificultades para resolver aspectos críticos de la tecnología nuclear, 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.

# El problema de los desechos

Las centrales nucleares sólo tienen una vida útil de 40 años, luego hay que costear su desmantelamiento, el procesamiento y disposición final de los desechos radiactivos.

La fase posterior a la generación contempla varios procesos:

- Desmantelamiento del reactor.
- Período de enfriamiento (10-100 años con operación y mantención después del cierre).
- Demolición del edificio de la planta nuclear.
- Disposición de combustible y otros desechos en contenedores adecuados.
- Construcción de depósitos geológicos.
- Disposición final de desechos radiactivos por miles de años.

Cada uno de estos procesos requiere insumos de materiales, energía, inversiones y personal técnico adecuado.

Durante su vida útil, considerando el límite operacional de 35 años de vida útil, cada reactor nuclear produce cerca de 300.000 m<sup>3</sup> de desechos

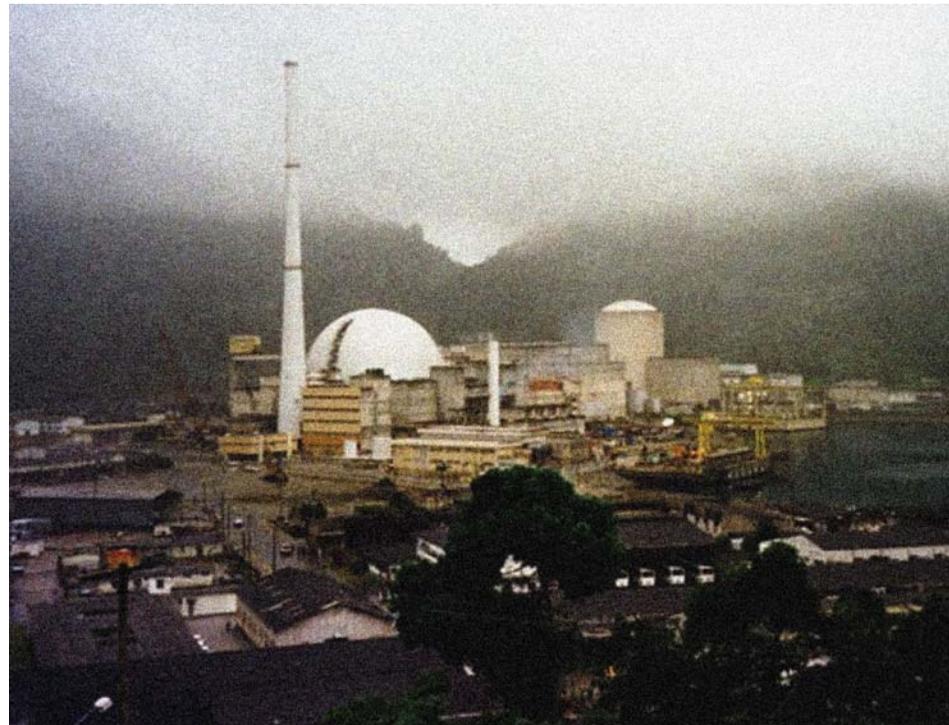
tes del desmantelamiento y demolición del edificio del reactor.

El combustible quemado o irradiado es considerado como un residuo de alta actividad; es un material altamente peligroso que emite radiactividad a lo largo de decenas de miles de años, y su simple

contacto por un ser vivo, incluidos los humanos, resulta letal.

En algunos casos el combustible quemado se reprocessa para obtener plutonio 235, material altamente radioactivo y utilizado para la fabricación de armas nucleares. El **reprocesamiento** produce un volumen final de residuos radiactivos entre 160 y 189 veces mayor que el material que entra a dicho proceso.

En cuanto a los **depósitos geológicos** de desechos, existen 2 en Estados Unidos: el Waste Isolation Pilot Plant (WIPP) en Nuevo México para



Central Angra 1, Brasil.

radioactivos (la mayor parte del cual es combustible quemado) que deberán encontrar una disposición final en alguna parte del mundo<sup>7</sup>. A ello hay que sumarle el reactor y los materiales proceden-

residuos de fabricación de armas nucleares y no se conoce su costo; y el Yucca Mountain en Nevada, en el que se ha gastado 9 mil millones de dolares, y aun no tiene permiso para ser construido<sup>8</sup>.

# Luego de Chernobyl, ¿es más segura la tecnología nuclear?

Desde los accidentes de Three Mile Island en Estados Unidos en 1979 y de Chernobyl, en Ucrania en 1986, existe mucha información sobre las víctimas de dichos accidentes y sobre la contaminación radiactiva para la salud humana, por lo que han generado regulaciones más estrictas para prevenir accidentes radioactivos. (tabla)

**Tabla N°**  
**Estimaciones de la morbilidad y mortalidad en cánceres**  
**a raíz del accidente de Chernobyl 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.

Sin embargo después de Chernobyl han continuado ocurriendo varios incidentes en plantas nucleares, significando riesgos graves para la población y los ecosistemas. Muchos de ellas han sido cerradas.

Algunos incidentes más recientes son:

- **Inglatera, 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:** Luego de un sismo de 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.

Son justamente los altos costos y riesgos de la tecnología nuclear los que han paralizado el desarrollo nuclear a nivel mundial. En países sísmicos como Chile además, la opción nuclear implicaría riesgos inaceptables para la sociedad, los recursos naturales y el desarrollo nacional; pues terremotos como el de Valdivia en 1960 y en la zona central en 1985 con una intensidad de 9,7 y 8,5 grados Richter respectivamente, superan largamente la magnitud 7,7° Richter considerada por la seguridad nuclear.



# El desinterés de los inversionistas

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.
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 altamente 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 nuevos contratos; si no logra relajar las actuales normativas y traspasar a costo estatal parte de sus procesos, puede enfrentar una bancarrota.

## Usos civiles y militares del uranio

Como residuo de la fabricación de las barras de combustible nuclear, queda gran cantidad de uranio de descarte, el cual es denominado **uranio empobrecido** o DU por sus siglas en inglés (Depleted uranium) y que contiene principalmente uranio 238 (U-238). Para fines pacíficos, se usa como contrapeso en aviones; blindaje en radioterapia y depósitos para transporte de material radiactivo. Pero cada vez más para vehículos militares y en munición para perforar blindajes de tanques, debido a su alta densidad y a otras propiedades físicas.

Se estima que entre 17 y 20 países ya han incluido la munición de uranio empobrecido en sus arsenales, aunque su utilización solamente ha sido admitida por EE.UU. e Inglaterra, en particular en los conflictos de Bosnia (1995), Kosovo (1998) e Iraq (1991 y 2003).



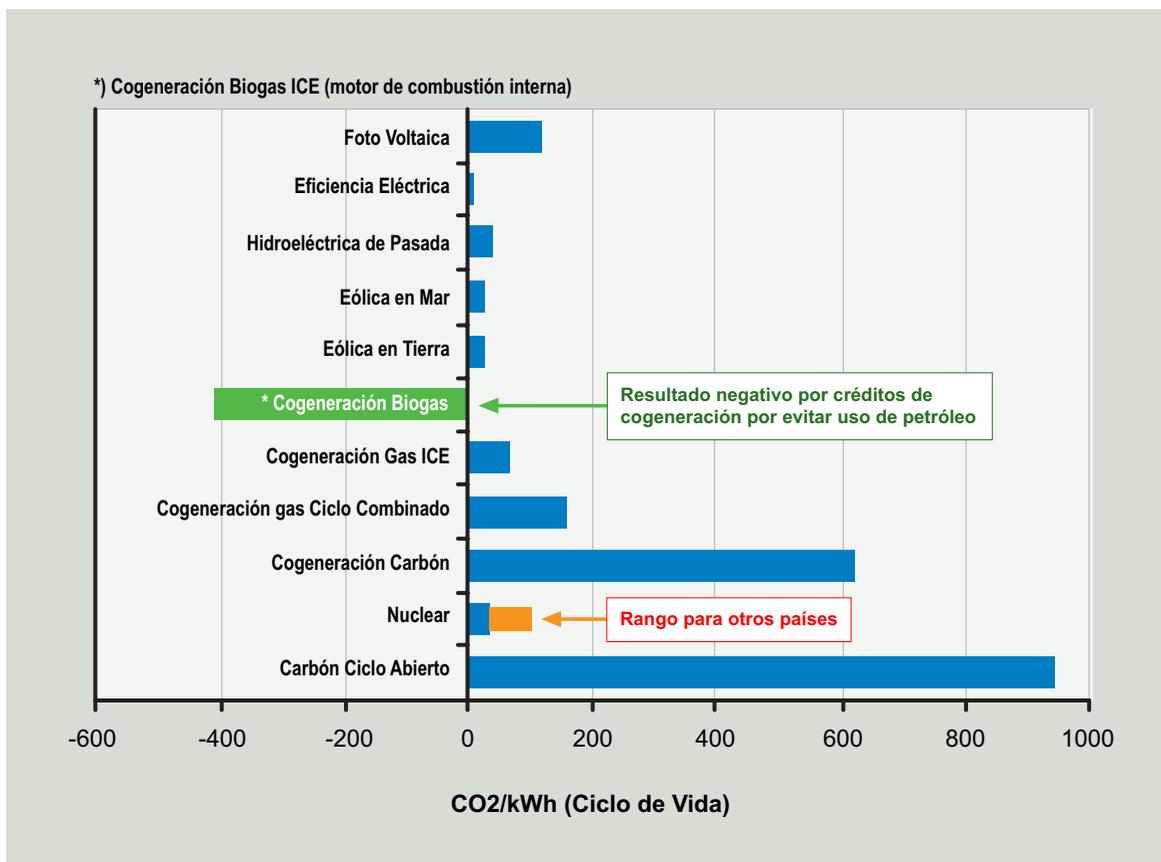
# Energía nuclear: ¿es una opción limpia frente al cambio climático?

Actualmente, la industria nuclear intenta promoverse como una “opción energética limpia” frente al cambio climático, porque una central nuclear emite menos dióxido de carbono CO<sub>2</sub> que una planta a carbón o petróleo. Este argumento oculta el peligro que conllevan los materiales radioactivos que usa la tecnología nuclear.

Dichas afirmaciones además no incluyen las emisiones de CO<sub>2</sub> del ciclo completo de la opción nuclear. Los estudios señalan que solo en la fase de mineración del uranio se emite entre 8,4 y 253 toneladas de CO<sub>2</sub> por tonelada de óxido de uranio producida<sup>8</sup>.

Para el caso de Alemania, el Öko Institut calculó emisiones de 31 gramos de CO<sub>2</sub> por kilovatio/hora generado, y otros 33 gramos de CO<sub>2</sub> equivalentes por kilovatio/hora para el ciclo nuclear completo. El Oxford Research Group de Inglaterra, calculó emisiones entre 84 y 122 gramos de CO<sub>2</sub> por kilovatio/hora si el combustible nuclear se fabrica con uranio de alta ley. Pero dicha institución aclara que si el combustible nuclear se fabrica con mineral de bajo contenido en uranio, puede generar más gases de invernadero que una central a gas de de igual potencia.

**Gráfico N° 3**  
**Emisiones de CO<sub>2</sub> 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.

Además de sus emisiones a la atmósfera, la tecnología nuclear demanda grandes cantidades de agua para su proceso de refrigeración, lo que significa una presión adicional sobre el medio ambiente.

# Energía Nuclear: Vulnerabilidad y tensiones geopolíticas

Por su doble uso para generación eléctrica y fabricación de armas nucleares, la tecnología nuclear siempre ha constituido un tema de seguridad nacional y tensiones geopolíticas. El dominio del ciclo de combustible fue la justificación para invadir Irak en 2003; para disolver el programa nuclear de Corea del Norte a inicios de 2007 y es causa de las actuales amenazas de invadir Iran.

El Organismo Internacional de Energía Atómica ha reconocido que convertir plutonio, extraído de combustible nuclear quemado solo requiere 7 a 10 días; y que como institución no tiene recursos ni atribuciones de impecion internacional para reducir el riesgo de actividades nucleares clandestinas. Esta falencia quedo demostrada en 2005 cuando se descubrió que Israel, India y Pakistán habían desarrollado armas nucleares a partir de sus programas nucleares civiles.

Cualquier expansión de la energía nuclear aumentara la producción y transporte de materiales sensibles, intensificando el riesgo de proliferación y terrorismo nuclear. Además, una central nuclear puede ser de echo un blanco estratégico de acciones bélicas y terroristas. También los materiales radioactivos unidos a cualquier explosivo convencional, pueden transformarse en bombas radiológicas, generando impactos devastadores sobre la salud de la población; contaminar la infraestructura y la cadena alimenticia con efectos catastróficos sobre la economía nacional y regional de cualquier país. Reducir estos riesgos implica enormes costos para la generación nuclear.



*Ojiva nuclear*

## La energía nuclear genera dependencia energética

Otro factor de vulnerabilidad de la opción nuclear para nuestro país, además del incremento de materiales nucleares en el territorio nacional, es la adopción de paquetes tecnológicos que nos haría más dependientes de las salvaguardias de esta tecnología y de los países que dominan el ciclo nuclear.

Al contrario de lo que dice el lobby nuclear, la energía nuclear no garantiza independencia ni seguridad del suministro. A consecuencia del posible desvío de materiales desde proyectos civiles a programas militares, el sistema de controles de la tecnología nuclear no permite acceder a todo el ciclo de combustible.

De optar por la generación nuclear:

- Chile dependería de una decena de países que pueden fabricar combustible nuclear (EE.UU., Francia, Inglaterra, Alemania, Canadá, Suecia, Corea del Sur, España, Japón y Rusia);
- Dependería de 4 países que reprocesan desechos nucleares (Francia, Inglaterra, Japón y Rusia);
- Dependería de un solo país que ha aceptado almacenar basura radioactiva extranjera en su territorio (Rusia, en la zona de Mayak); salvo que Chile acepte desechos nucleares en territorio nacional.

# Empleo

La generación nuclear también tiene problemas para generar empleos. Al igual que la minería es intensiva en capital pero mala generadora de empleos.

Estudios de Jose Goldenberg, reconocido especialista a nivel mundial, muestran que la opción nuclear es la energía de peor desempeño generando apenas 75 empleos por teravatio/hora (TWh), en comparación con 120 empleos/TWh de la mini-hidráulica; 250 de la generación gran-hidro y gas natural; entre 700 y 1000 la biomasa (leña); y entre 900 y 2400 la energía eólica.

**Tabla N°**  
**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.

## Notas

- <sup>1</sup> Agencia Internacional de Energía Atómica
- <sup>2</sup> Agencia Internacional de energía «Energy Technology Essentials, marzo 2007 (www.iea.org)
- <sup>3</sup> Energy Watch Group, Parlamento Aleman, «Uranium Resources and Nuclear energy», diciembre 2006
- <sup>4</sup> Promedio de construcción entre 1981 y 2005 según datos de la IAEA «Opening experience with nuclear power stations in member states in 2005, octubre 2006
- <sup>5</sup> Goldberg.M. «Federal energy subsidies»: not all technologies are created equal, REPP, julio 2000
- <sup>7</sup> Jurgen Kreuzsch et al «Nuclear Fuel Cycle», Nuclear Issues Paper N° 3 febrero del 2006, Fundación Heinrich Boell.
- <sup>6</sup> Cour de comp. Du France «Synthese du rapport public particulier: Le desmantelamiento de las instalaciones nucleares y la gestión de los residuos radioactivos, enero 2005
- <sup>8</sup> Mudd y Diesendorf, «Sustainability aspects of uranium mining: towards accurate accounting» 2<sup>nd</sup> Conference on sustainability Engineering & Science, New Zealand, febrero 2007
- <sup>8</sup> Cono Sur Sustentable-Greenpeace «Los mitos de la energía nuclear: a 20 años de Chernobyl, 2006



Acuerdo de Chagual

FUNDACIÓN  
HEINRICH  
BÖLL

PROGRAMA  
**CHILE SUSTENTABLE**  
Propuesta Ciudadana para el Cambio