

De Hiroshima a Fukushima: la conveniencia del uso de la energía nuclear

From Hiroshima to Fukushima: the convenience of nuclear power use

David Cáceres Bayona

David Cáceres es Ingeniero Electricista de la Universidad Nacional de Colombia y estudiante de la Maestría en Gobernanza Energética de FLACSO Ecuador. davidcaceresb@gmail.com

Fecha de recepción: 3 de mayo de 2011
Fecha de aceptación: 22 de septiembre de 2011

Resumen

El presente artículo expone una mirada amplia de la tecnología nuclear, haciendo hincapié en el uso civil de la misma. Se indican argumentos técnicos y antecedentes históricos a favor y en contra de la energía nuclear y se presenta de forma breve el efecto del riesgo nuclear en la sociedad moderna.

Palabras clave: tecnología nuclear, seguridad energética, calentamiento global, accidente nuclear, bomba atómica, riesgo.

Summary

This paper presents a wide view of nuclear technology, with emphasis on the civil use of it. For this purpose technical and historical arguments are exposed for and against nuclear energy and are briefly presented the effect of nuclear risk in modern society.

Keywords: nuclear technology, energy security, global warming, nuclear accident, atomic bomb, risk.

Introducción

El riesgo de un desastre nuclear se ha convertido en uno de los más profundos temores de la sociedad moderna. Dicho temor surge de las indiscutibles demostraciones del poder destructivo de la tecnología nuclear, en primer lugar con la destrucción de las ciudades japonesas Hiroshima y Nagasaki el 6 y 9 de agosto de 1945 respectivamente, y más adelante con la proliferación de pruebas nucleares como estrategia para la demostración de poderío entre los contrincantes de la Guerra Fría. Pero además, debido a las fallas de algunas centrales nucleares de producción de energía, como la de Three Miles en Estados Unidos el 28 de marzo de 1979, la de Chernóbil en Ucrania el 26 de abril de 1986 y por último la reciente falla de la central Fukushima en Japón el 11 de marzo de 2011. Estas fallas han tenido consecuencias considerables, debido tanto a efectos inmediatos de la

explosión de los reactores, como a los efectos prolongados causados por la liberación de radioactividad.

Los antecedentes de la tecnología nuclear han generado polémica frente a su uso. Por un lado, está la probabilidad de fallas en las centrales con efectos irreversibles y la posibilidad de su uso bélico camuflado como programa civil y, por el otro, la posición de este tipo de energía en la matriz energética global como una de las principales fuentes no dependientes de los hidrocarburos y como una de las más importantes alternativas de generación de energía sin liberación de gases de efecto invernadero.

La energía nuclear como alternativa

En términos técnicos, la energía nuclear es la generación de energía eléctrica a partir de las reacciones nucleares producidas en los átomos de algunos elementos como el uranio. El proceso comienza con la reacción producida cuando se bombardea un isótopo[1] de un elemento fisible, generalmente uranio 235, produciendo partículas más ligeras y una gran cantidad de energía, generando además una reacción en cadena que garantiza el bombardeo de otros isótopos. Esta reacción se denomina fisión nuclear[2].

Parte de la energía resultante del proceso de fisión nuclear se traduce en calor, el cual se usa para calentar agua y producir vapor en un ambiente controlado. El vapor de agua es conducido hacia una turbina que se encuentra acoplada con un generador, el cual, por medio de principios electromagnéticos, transforma la energía cinética del movimiento de la turbina en energía eléctrica.

Por lo tanto, el principio de funcionamiento de las centrales de generación eléctrica nuclear es el mismo de las centrales termoeléctricas convencionales. La diferencia es que estas últimas usan como combustible hidrocarburos (derivados del petróleo o carbón), y las centrales nucleares usan elementos fisibles como el uranio.

Es precisamente el uso de otro tipo de combustible lo que convierte a la energía nuclear en una alternativa para remplazar a los hidrocarburos, ya que no se emite CO₂ (gas de efecto invernadero) durante el proceso principal de producción de este tipo de energía[3]. Sin embargo, el uso civil de la energía nuclear es ampliamente discutido debido al riesgo de fallas y el difícil manejo de los residuos.

Importancia de la energía nuclear en la matriz energética mundial

La producción de energía nuclear es, en gran parte, independiente de factores externos no controlables, a diferencia de las energías eólica, solar e hidroeléctrica que tienen una alta dependencia de las condiciones climáticas[4]. Esta ventaja relativa fue advertida a partir de la segunda mitad del siglo XX por los países que buscaban independencia del uso de los hidrocarburos (las causas de esta búsqueda son discutidas en la próxima sección), provocando que los Estados que tenían la capacidad financiera para emprender programas nucleares con fines civiles, comenzaran a patrocinar dichos programas, lo que posicionó

este tipo de energía como una de las principales fuentes alternativas (Comisión Europea, 2000: 32).

En el 2008, existían en operación 439 reactores nucleares en 30 países, lo que representaba el 14% de la generación global de electricidad y casi el 6% del consumo de energía en el mundo (IAEA, 2008b: 5).

Para el 2009, la matriz energética mundial estaba compuesta principalmente por los hidrocarburos (gas natural, carbón, petróleo crudo y líquidos), los cuales representaban el 81,6% de la producción mundial de energía, seguidos de la biomasa y la energía nuclear, como las principales fuentes alternativas, con un 9,8% y 5,9% respectivamente (Fontaine, 2010: 163).

Sin embargo, con la proliferación del uso de la energía nuclear, también aumentó la posibilidad de usar esta tecnología con fines bélicos, por lo que se realizaron distintos tratados internacionales con el fin de regularla. Los tratados principales fueron: el Tratado Euratom firmado en 1957, el Tratado de No Proliferación de 1968 y las normas del Organismo Internacional de Energía Atómica.

El Tratado de Euratom, firmado en 1957, tenía como objetivo reducir la creciente dependencia de la Unión Europea del petróleo a través del fomento del uso civil de la energía nuclear, incentivando para ello la cooperación entre los países en aspectos como los conocimientos, los medios de financiación y la infraestructura (Comisión Europea, 2000: 33).

El tratado de No Proliferación Nuclear, firmado en 1968, propuso limitar la tenencia de armamento nuclear a los países con tecnología consolidada (relacionada principalmente con armas)[5], quienes a su vez debían comprometerse a no transmitir sus conocimientos a otros países para evitar nuevos desarrollos nucleares con objetivos militares. Sin embargo, el tratado también reivindicó el derecho de las naciones de desarrollar energía nuclear con fines civiles, pero bajo supervisión de la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA por sus siglas en inglés)[6].

La seguridad energética y el calentamiento global

Los choques petroleros de 1973 y 1979 pusieron en evidencia la dependencia que los países occidentales tienen de los suministros de crudo de Medio Oriente. Para mitigar esta situación, se generaron desde los países desarrollados una serie de esfuerzos que confluyeron en la creación de la Agencia Internacional de Energía (AIE), cuyo fin era garantizar la seguridad de suministro de energía necesario para la demanda interna de cada país.

Esta preocupación inicial de la AIE sobre la seguridad de suministro energético se acopló posteriormente con los conceptos de desarrollo sostenible y cambio climático, evidenciados en la Cumbre de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, realizada en Río de Janeiro en 1992. Es así como se dio origen a una nueva generación de políticas

energéticas que desembocaron en la implementación de distintas medidas tales como los impuestos a la emisión de carbono (mercado de emisiones) y fomento a la investigación en energías alternativas (Helm, 2007).

Dentro de este nuevo conjunto de prioridades, la energía nuclear fue considerada como alternativa porque, a diferencia de la energía térmica tradicional, no basa su funcionamiento en hidrocarburos y, por lo tanto, no acarrea los inconvenientes del uso de estos combustibles; es decir, la dependencia del suministro de petróleo del medio oriente y la emisión de CO₂ (uno de los principales gases de efecto invernadero).

Entonces, debido a la responsabilidad de la generación de energía en la producción de emisiones de carbono y a la necesidad de diversificar las fuentes para garantizar la seguridad de suministro energético, la industria de la energía necesita seguir investigando en las tecnologías actuales y generando innovación, incluyendo la posibilidad de implementar una nueva generación de energía nuclear y de potencializar otras fuentes renovables (Yergin, 2005: 57).

Riesgos y desventajas del uso civil de la energía nuclear

Los accidentes nucleares

Los materiales que sirven de combustible para producir energía nuclear (uranio y plutonio), son elementos que requieren condiciones muy controladas de manipulación debido a que, tanto estos como los procesos a los que son sometidos, son altamente inestables. En dichos procesos, que involucran reacciones a nivel atómico, se corre el riesgo de perder fácilmente el control sobre las variables, lo que puede generar explosiones en los reactores[7] y fugas de radioactividad[8] al exterior.

Durante la operación de algunas centrales de energía nuclear, se han presentado accidentes con graves consecuencias. Los más renombrados, por su magnitud y protagonismo mediático son:

- *Three Mile Island*: sucedió en 1979 debido a la fusión parcial del núcleo de uno de los reactores. No tuvo consecuencias considerables en la población cercana a la central pero redujo considerablemente la confianza en la energía nuclear a nivel mundial.
- *Chernóbil*: ocurrió en abril de 1986 por un error en una prueba de respuesta del sistema de la central nuclear a un corte de energía, lo que provocó una explosión de uno de los reactores de la central, dejando expuesto el núcleo y arrojando una nube radioactiva al exterior. Este accidente es considerado el más grave de la historia de la energía atómica.

El accidente nuclear de Chernóbil provocó numerosas muertes inmediatas causadas por la explosión del reactor, pero además tuvo efectos prolongados producidos por la exposición de las personas a la excesiva radioactividad. Además de las afectaciones a los tejidos de las

personas expuestas, esta alta radioactividad puede tener implicaciones genéticas negativas (Tardón, 2011).

Estos sucesos incrementaron la desconfianza en la producción de energía nuclear. Es por esto que la mayoría de los países que utilizan este tipo de energía han recurrido a moratorias con el fin de reducir gradualmente su uso; o bien, se han comprometido a mejorar la seguridad de las instalaciones de sus centrales nucleares (Comisión Europea, 2000: 34).

A pesar de estas consideraciones, otro grave accidente ha vuelto a ocurrir, esta vez en la central de Fukushima. El colapso de esta central se debió a la salida de funcionamiento del sistema de enfriamiento de los reactores causada por el terremoto que tuvo lugar en Japón el 11 de marzo de 2011. El terremoto desactivó la generación interna de energía y deshabilitó la alimentación externa, situación que empeoró con el posterior tsunami que dañó los generadores diesel de emergencia. La agencia de noticias Reuters informó que: “La crisis nuclear en Fukushima se encuentra a la fecha en el nivel más alto de severidad^[9], quedando a la par con el accidente de Chernóbil en 1986” (Reuters, 2011). No obstante, se debe hacer notar la diferencia entre estos dos tipos accidentes.

La tecnología empleada en la central de Fukushima hace que la planta sea más robusta de lo que fue la central de Chernóbil incluyendo, entre otras cosas, una estructura de contención adicional que evitó que la radioactividad fuera inmediatamente arrojada a la atmósfera, como ocurrió en Chernóbil, permitiendo que la población fuera advertida y desalojada de forma rápida (Reuters, 2011).

Los residuos

El manejo de los residuos es otro de los principales problemas del uso de este tipo de energía. Los residuos de la producción de energía nuclear, requieren un manejo especial por tratarse de materiales radioactivos de larga duración y que, por tanto, representan un peligro prolongado para las personas que puedan verse expuestas a las radiaciones de estos elementos. “Desde que empezó a utilizarse la energía nuclear, se consideró que el período de explotación de las centrales debía ir acompañado de la definición de una política de almacenamiento, depósito y tratamiento de los residuos” (Comisión Europea, 2000: 35).

La investigación en energía nuclear ha logrado determinar formas adecuadas de almacenamiento de residuos a corto plazo, asegurando que las propiedades radiactivas de los elementos que componen los desechos permanezcan aisladas, evitando así efectos negativos en las personas. Sin embargo, no se han resuelto todos los problemas prácticos relacionados con el almacenamiento a largo plazo de los desechos nucleares (Comisión Europea, 2000: 35), debido a la prolongada vida de los elementos radiactivos.

La factibilidad económica

Los costos de los proyectos de generación eléctrica pueden clasificarse en costos de instalación y de generación. Éstos pueden variar dependiendo de diferentes factores como:

la potencia y las características técnicas de los equipos a instalar, el combustible usado, el mantenimiento, la operación y la regulación energética a la que esté sometido el proyecto.

En el caso de la energía nuclear, los costos de instalación de una planta de aproximadamente 1350 MW de potencia nominal, varían entre 1.200 dólares/kW y 1.600 dólares/kW, mientras que centrales de gas y carbón con potencias entre 560 MW y 700 MW tienen un costo de instalación de 450 dólares/kW y 1.000 dólares/kW respectivamente (Alonso et al, 2006: 42-43). Los costos de generación plantean un panorama distinto ya que, dependiendo del país, las condiciones del mercado y el contexto regulatorio estos pueden oscilar entre 30 dólares/MWh y 70 dólares/MWh para una planta nuclear. Estos precios son comparables en magnitud con los costos de una central a gas, los cuales, a su vez, pueden variar entre 40 dólares/MWh y 65 dólares/MWh (AIEA, 2008b: 30).

Enfocándose en los costos de instalación de las centrales nucleares para los países que no poseen infraestructura de este tipo, es más barato seguir generando energía a través del uso de combustibles fósiles e hídricos en lugar de experimentar con energía nuclear ya que el costo es muy elevado como consecuencia del control de la tecnología que ostentan los países desarrollados. No obstante, los países que tienen reactores nucleares actualmente en uso, pueden seguir generando electricidad más barata con las plantas nucleares que con centrales térmicas convencionales, teniendo en cuenta que los precios de los hidrocarburos están sujetos a mayor especulación que el combustible nuclear.

La factibilidad económica de la energía nuclear plantea otro importante problema que puede tener una relación directa con algunas fallas presentadas en centrales nucleares: la reducción indiscriminada de los costos de implementación y mantenimiento con el objetivo de aumentar las ganancias. Según indica el experto Yuli Andreyev^[10], el diseño de las centrales de Three Mile Island, Chernóbil y Fukushima tenía defectos fundamentales puesto que, con el fin de hacerlas más competitivas, se habían reducido sus costos y la operación se realizaba con materiales de menor calidad (Andreyev, 2011).

El dilema de la factibilidad económica es el problema de la relación entre costo y seguridad. Es claro que esta relación es directamente proporcional y esto provoca la construcción y operación de centrales baratas, pero con un alto riesgo de colapsar.

Un riesgo adicional, el uso bélico de la tecnología nuclear y su relación con el uso civil

Las dos bombas atómicas arrojadas sobre Japón en 1945 como estrategia para poner fin a la segunda guerra mundial, dejaron como resultado no solo la destrucción de las ciudades atacadas y miles de víctimas (muertos, enfermos y damnificados), sino también una preocupación mundial generalizada frente al gran potencial destructivo de la tecnología nuclear en su uso bélico.

La inquietud aumenta si tenemos en cuenta que el combustible nuclear puede usarse para fines bélicos en dos momentos del tratamiento para su uso civil: el enriquecimiento y el reproceso^[11]. Para controlar los usos armamentistas de la energía nuclear, el grupo de los ocho (G-8) planteó la posibilidad de establecer un control completo del combustible,

evitando que los países que produzcan energía nuclear tengan acceso a las dos etapas consideradas peligrosas.

La propuesta del G-8 radica en que los países que no tengan infraestructura para el enriquecimiento de uranio y estén en proceso de implementar proyectos de aprovechamiento nuclear con uso civil, no adquieran dicha infraestructura y, a cambio se les garantizará el suministro del combustible por parte de los países que posean la capacidad para entregárselo, con vigilancia directa del procedimiento por parte de la Agencia Internacional de Energía Atómica IAEA (Deutch, 2007: 41).

La preocupación mediática del gobierno de Estados Unidos sobre un mal uso de la energía nuclear, relacionada principalmente con el desarrollo de armas de destrucción masiva y puesta de manifiesto en la propuesta del G-8, ha justificado la intervención diplomática y/o militar de varias naciones. Uno de los ejemplos más representativos y recientes de estas intervenciones es la invasión de Estados Unidos a Iraq, justificada por la sospecha de desarrollos nucleares en este país con fines armamentistas. Sin embargo, es más plausible la idea de que la invasión a Iraq haya tenido el fin de garantizar el dominio estadounidense en medio oriente, ya que la zona cuenta con la mayoría de las reservas y la producción de petróleo mundial, por lo que la incidencia política y militar en la región es clave para garantizar la seguridad de suministro de occidente (seguridad energética).

Lo anterior muestra cómo el miedo generalizado al uso de las armas nucleares es utilizado como un factor determinante del control geopolítico mundial y como garante indirecto de la seguridad energética de los países desarrollados.

El riesgo nuclear y sus efectos en la sociedad

El riesgo nuclear representa una clase de peligro que está profundamente relacionado con la modernidad y que es generado en la misma sociedad y en sus aparatos productivos, es decir que ya no depende de factores extrínsecos como los desastres naturales. “A diferencia de anteriores riesgos industriales, este tipo de riesgos no están delimitados local, temporal, ni socialmente; no son imputables conforme a las actuales normas de causalidad, culpa y responsabilidad; y no son compensables ni asegurables” (Beck, 2011). Lo anterior, según Ulrich Beck, convierte los riesgos modernos (entre los que se encuentra el riesgo nuclear), en problemas difíciles de manejar mediante herramientas políticas.

La radioactividad excesiva, que puede escapar de las centrales nucleares y afectar negativamente la salud de las personas, es invisible, inodora, imperceptible, pero sumamente peligrosa. Esto modifica la percepción de peligro de las personas, que cada vez se sienten más preocupadas por los efectos de este nuevo factor de riesgo (Beck, 1996). Del mismo modo, después de presenciar las demostraciones de poder destructivo de las armas nucleares, su potencial uso es un riesgo que genera terror en la sociedad moderna.

Beck, Giddens Wynne y otros autores, escribiendo sobre la proliferación de los nuevos riesgos globales y su significación sociológica, han señalado que el peligro de una

conflagración nuclear es probablemente la amenaza más aterradora a la que la humanidad ha tenido que enfrentarse en la modernidad (Lemkow, 2002: 161).

El riesgo nuclear ha despertado numerosas protestas de personas y organizaciones que intentan oponerse al uso de ese tipo de tecnología. Los primeros en emitir una voz de oposición en la década de 1950 fueron prestigiosos científicos como Einstein[12] y Russell, los cuales emitieron comunicados como “El manifiesto por la paz” firmado en 1955, donde advertían sobre los efectos perversos del uso de la tecnología nuclear, incluso con fines civiles (Lemkow, 2002).

El apoyo de la sociedad civil a este tipo de protestas se inició con la creación, en la década de 1960 de movimientos pacifistas y opositores al uso de armas nucleares, como la Campaign for Nuclear Disarmament CND, que tuvo logros marginales relacionados en su mayor parte con alcances mediáticos. Estos movimientos evolucionaron hasta convertirse, en la década de 1980 en grupos políticos con reivindicaciones menos monotemáticas y más globales, dando más seriedad y alcance a sus luchas (Lemkow, 2002)

Actualmente, el accidente nuclear de la central de Fukushima, ha revivido la controversia sobre uso de la energía nuclear y la capacidad que tiene la tecnología de controlar este tipo de procesos, provocando que gobiernos como los de Alemania, Italia, México y Venezuela suspendan los planes de construcción de nuevas centrales nucleares, y en el caso de Alemania se ordene la desconexión de siete reactores de los diecisiete que se encuentran en funcionamiento en ese país, lo que podría ocasionar una crisis energética en un país donde el 21.7% de la energía eléctrica proviene de centrales nucleares (EFE, 2011).

Conclusiones

Es importante analizar la producción y el uso de la tecnología nuclear desde una visión holística, con el fin de obtener un análisis completo de las ventajas y desventajas del uso y las aplicaciones de este tipo de energía, incluyendo, entre otros aspectos, su posición en la modernidad.

En el proceso de producción de energía nuclear se generan residuos tóxicos radioactivos que tienen una extensa vida activa y cuyo almacenamiento aún no ha sido perfeccionado a largo plazo. Adicionalmente, el riesgo de fallas de las centrales no es nulo (al igual que en la totalidad de los procesos industriales de cualquier tipo) lo que implica la posibilidad de liberación de radioactividad a la atmósfera. Del mismo modo, la tecnología nuclear también ha posibilitado la producción de armas de destrucción masiva de gran poder que dan origen al miedo de una conflagración nuclear mundial, que podría tener resultados catastróficos.

No obstante, en la producción de energía nuclear no se generan emisiones de carbono, por lo cual constituye una alternativa para reducir la responsabilidad de la producción de energía en el aumento del calentamiento global, en remplazo de la energía térmica basada en los hidrocarburos. Además, la tecnología nuclear civil ha tenido un avance acelerado desde su inicio formal a mediados del siglo XX, lo que se traduce en el planteamiento e implementación de mejores formas de reciclar y almacenar desechos nucleares, y en una

reducción considerable del número y la gravedad de los accidentes conforme aumenta la investigación y el desarrollo. Es notable el hecho de que, aunque fueron calificadas con el mismo nivel gravedad en la escala INES, el accidente de Fukushima tuvo considerablemente menos víctimas que el de Chernóbil. Adicionalmente, las propuestas de control sobre los procesos de manejo del combustible nuclear para evitar desarrollos bélicos, podrían plantear una interesante oportunidad para implementar programas de uso civil sin riesgo armamentista si se acompañan con políticas de cooperación y transferencia tecnológica entre países, reduciendo los costos y los riesgos al mismo tiempo.

Por último, la diversificación de fuentes de energía es un proceso necesario para evitar la dependencia de los hidrocarburos (dependencia que tiene consecuencias tanto sociales como económicas y ambientales), lo cual es un importante paso para garantizar la seguridad energética de los países. Dentro de este objetivo de diversificación, la energía nuclear tiene un importante rol concedido por su posición como la energía alternativa con mayor presencia en la matriz energética global después de la biomasa.

Para la implementación eficaz de la energía nuclear, debe haber un mejoramiento continuo de los aspectos técnicos y económicos inherentes a este tipo de aprovechamiento. El costo de construcción y mantenimiento debe reducirse para hacer más factible económicamente su uso, pero manteniendo ineludiblemente una política de redundancia en la seguridad. Dicha redundancia, implica que existan varios niveles de respaldo en cada uno de los procesos involucrados en la central; es así como deben tenerse varias fuentes de alimentación que garanticen el funcionamiento de los sistemas neurálgicos tales como el sistema de enfriamiento. (Cabe recordar que la falla de Fukushima se debió a que el desastre natural desactivó las fuentes internas y externas de energía del sistema de enfriamiento).

Del mismo modo, se debe avanzar en el manejo de los desperdicios con el fin de evitar efectos en las personas expuestas a estos elementos y mejorar las prácticas de construcción y operación de las plantas para evitar accidentes con consecuencias catastróficas (Deutch, 2007: 40).

Notas

[1] Los isótopos son los diferentes átomos de un mismo elemento que contienen en su núcleo distinto número de neutrones (partículas de carga neutra); de esta forma, los isótopos tienen el mismo número atómico pero distinta masa atómica.

[2] La fisión es el proceso que se usa actualmente para la generación de energía eléctrica a partir de reacciones nucleares. También existe otro proceso denominado fusión nuclear, sobre el cual aún no hay el dominio tecnológico necesario, pero que es considerado como una importante opción para la generación de energía en el futuro (a partir de la segunda mitad del siglo XXI) (EURATOM, s/f).

[3] Puede producirse CO₂ u otros gases de efecto invernadero en procesos asociados como la extracción del combustible nuclear.

[4] La energía solar depende de los niveles de iluminación y calor obtenidos del sol, por lo que está directamente ligada con las estaciones. La energía eólica depende de las velocidades del viento del lugar donde sean instalados los generadores. La confiabilidad de la energía hidroeléctrica depende del nivel de pluviosidad, por lo que una temporada de sequía prolongada puede reducir o anular la generación de este tipo de centrales.

[5] Los cinco países a los cuales se les autoriza la posesión de armas nucleares en el tratado son: Estados Unidos, Francia, Inglaterra, Rusia y China, los cuales son también los miembros permanentes del consejo de seguridad de las Naciones Unidas.

[6] La Agencia Internacional de Energía Atómica es una entidad anexa a las Naciones Unidas que regula la actividad nuclear y establece normas sobre seguridad y protección ambiental. Fue creada en 1957 como la organización mundial “Átomos por la paz”.

[7] Un reactor nuclear es el lugar donde se producen de manera controlada las reacciones nucleares. El núcleo del reactor es el elemento que sirve de combustible de la reacción, generalmente uranio, en el caso de la producción de la energía eléctrica.

[8] La radioactividad es la propiedad de algunos elementos, como el uranio y el plutonio, de producir un tipo especial de radiaciones que afectan negativamente la salud de las personas expuestas.

[9] Una crisis nuclear se clasifica según su gravedad en 7 niveles establecidos por la Escala Internacional de Eventos Nucleares INES, siendo el nivel 7 el de más gravedad (IAEA, 2008a).

[10] Yuli Andreyev fue ingeniero de Chernóbil, sobreviviente del accidente nuclear y participante de su limpieza, fue además vicedirector del *Spetsatom*, organismo soviético de lucha contra accidentes nucleares (Andreyev, 2011).

[11] Para conocer el ciclo completo de tratamiento del combustible nuclear y las etapas que plantean la posibilidad de desarrollar armas de destrucción masiva, ver la sección “Nuclear Energy” del documento de la comisión trilateral “Energy Security and Climate Change”.

[12] Einstein fue uno de los principales impulsores del proyecto de la bomba atómica en Estados Unidos y algunas de sus teorías constituyen los más importantes fundamentos científicos de la tecnología nuclear.

Referencias citadas

Alonso, Gustavo; Ramón Ramírez y Javier Palacios (2006). “Análisis de costos nivelados de la generación de electricidad en México”. En *Boletín Energetico*, N° 18: 39-47.

Disponible en <http://www.cnea.gov.ar/xxi/energe/b18/B18art3.pdf> (visitada el 3 de Septiembre de 2011).

Andreyev, Yuli (2011). “En la industria nuclear no hay organismos independientes”. *La Vanguardia*. Disponible en <http://www.lavanguardia.es/internacional/20110317/54129422489/andreyev-en-la-industria-nuclear-no-hay-organismos-independientes.html> (visitada el 16 de abril de 2011).

Agencia Internacional de Energía Atómica IAEA (2008a). “Escala internacional de sucesos nucleares y radiológicos INES”. Disponible en http://www.iaea.org/Publications/Factsheets/Spanish/ines_sp.pdf (visitada el 17 de abril de 2011)

Agencia Internacional de Energía Atómica IAEA (2008b). “International status and prospects of nuclear power”. Disponible en www.iaea.org/Publications/Booklets/NuclearPower/np08.pdf (visitada el 3 de Septiembre de 2011).

Beck Ulrich (1996). *La sociedad de riesgo*. Barcelona: PAIDOS.

Beck Ulrich (2011). “La industria nuclear contra sí misma”. *El país*. Disponible en http://www.elpais.com/articulo/opinion/industria/nuclear/misma/elpepuopi/20110405elpepiopi_12/Tes (visitada el 16 de abril de 2011).

Comisión Europea (2000). *Libro Verde Hacia una estrategia europea de seguridad del abastecimiento energético*. Italia: Oficina De Publicaciones Oficiales de Las Comunidades Europeas.

Deutch, John; Anne Lauvergeon y Widhyawan Prawiraatmadja (2007). *Energy security and climate change: a report to the Trilateral commission*. Washington D.C: Trilateral Commission.

EFE (2011). “Alemania arranca una comisión para acelerar el ‘apagón nuclear’”. *CNN México*. Disponible en <http://mexico.cnn.com/mundo/2011/04/04/alemania-arranca-una-comision-para-acelerar-el-apagon-nuclear> (visitada el 20 de abril de 2011).

Tardón, Laura (2011). “¿Qué efectos tiene la radiactividad sobre la salud?”. *El mundo.es*. Disponible en <http://www.elmundo.es/elmundosalud/2011/03/15/noticias/1300203080.html> (visitada el 23 de Septiembre de 2011).

EURATOM (s/f). “Energy from fusion”. Disponible en http://bacterio.uc3m.es/investigacion/fusion/intro/fusion_leaflet_euratom.pdf (visitada el 17 de abril de 2011).

Fontaine, Guillaume (2010). *Petropolítica*. Quito: FLACSO-IEP-Abya Yala.

Helm, Dieter (2007). "The new energy paradigm". En *The new energy paradigm*. Oxford: Oxford University Press.

Lemkow, Louis (2002). *Sociología ambiental: pensamiento socioambiental y ecología social del riesgo*. Barcelona: Icaria.

Reuters (2011). "Conozca diferencias entre crisis nucleares de Fukushima y Chernóbil". *El Tiempo*. Disponible en http://www.eltiempo.com/mundo/asia/diferencias-entre-fukushima-y-chernbil_9159329-4 (visitada el 16 de abril de 2011).

Yergin, Daniel (2005). "Energy Security and Markets". En *Energy Security. Toward a new foreign policy strategy*, H. Kalicki y L. Goldwyn (Ed.). Washington D.C.: Woodrow Wilson Center Press.