



LIBERTAD Y DESARROLLO

SERIE INFORME **ECONÓMICO**

Energía nuclear: **¿Una alternativa para Chile?**

Susana Jiménez S.

SERIE
INFORME
ECONÓMICO
ISSN 0717 - 1536

Febrero 2016

254

SUSANA JIMÉNEZ S.

es ingeniera comercial y magíster en Economía de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Magíster en Humanidades de la Universidad del Desarrollo. Actualmente es Coordinadora de Políticas Públicas de Libertad y Desarrollo.

* La autora agradece la importante colaboración de Jorge Lira y Stefano Bruzzo, estudiantes de Ingeniería Comercial de la Universidad de Chile.

CONTENIDOS

RESUMEN EJECUTIVO **05**

1. ANTECEDENTES **GENERALES** **06**

2. LA ENERGÍA **NUCLEAR** **08**

3. REALIDAD **INTERNACIONAL** **11**

4. **CHILE:**
AVANCES Y RETROCESOS **15**

5. **CONCLUSIONES** **18**

6. RESEÑAS **BIBLIOGRÁFICAS** **19**

3.1 La experiencia nuclear en el mundo ... 11
3.2 Accidentes nucleares 12
3.3 Planes de apoyo 13

4.1 Estudios realizados 15
4.2 Una propuesta concreta 16
4.3 Percepción ciudadana 17

Resumen Ejecutivo

La energía nuclear se encuentra muy extendida en el mundo, representando cerca del 11,5% de la matriz eléctrica global. Países desarrollados y emergentes han confiado la generación eléctrica en esta fuente de energía por considerarla segura, competitiva y amigable con el medio ambiente.

Chile se ha quedado atrás en este proceso. Si bien existen aprensiones atendibles frente al uso de la energía nuclear, los avances tecnológicos y la experiencia internacional las revelan exageradas, volviendo inexplicable la sostenida negativa de abrir una discusión seria sobre las oportunidades que daría este tipo de energía a Chile. La evidencia mundial y los estudios a nivel local dan cuenta de la conveniencia de impulsar el desarrollo de la energía nuclear en el país, como una fuente de generación eléctrica confiable, económica y sustentable.

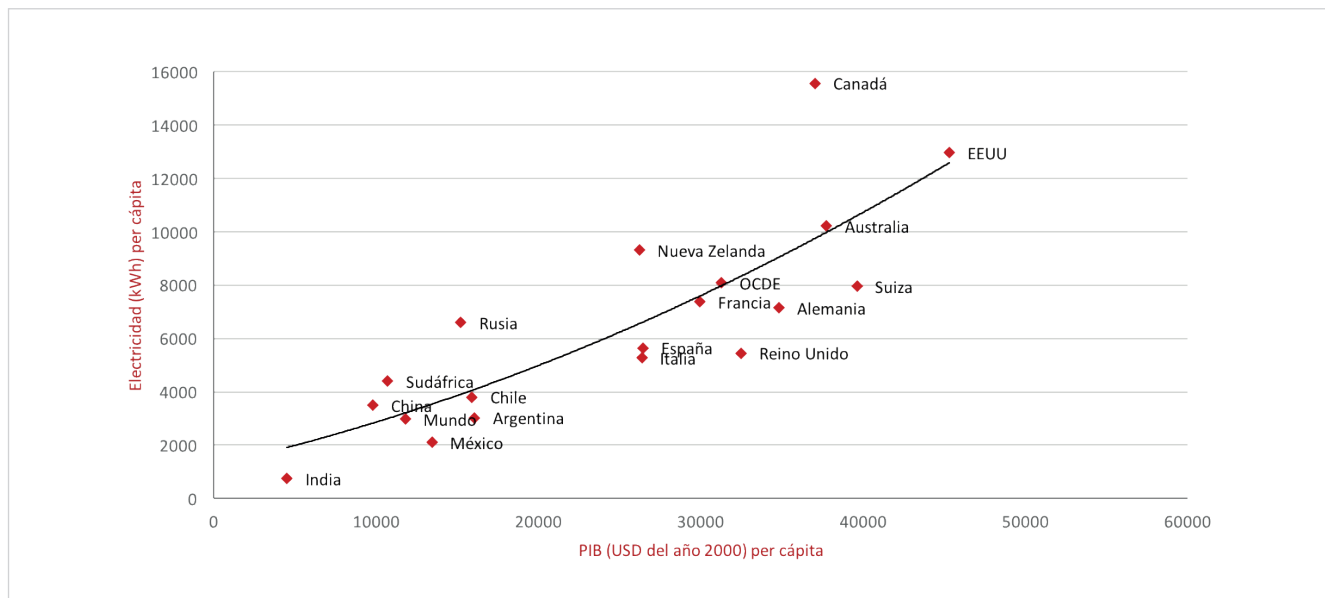
1. ANTECEDENTES GENERALES

El crecimiento económico de los países del mundo ha estado inevitablemente asociado a mayores requerimientos de energía, insumo necesario para prácticamente todos los procesos productivos. Es así como existe una clara relación entre el nivel de crecimiento económico alcanzado y el consumo de electricidad, tal como lo ilustra el Gráfico N°1¹. Ello permite prever que la demanda por energía seguirá incrementándose, especialmente en aquellos países que transitan hacia mayores niveles de desarrollo.

Gráfico 1
**CONSUMO ENERGÉTICO
Y DESARROLLO ECONÓMICO**

(Muestra de países al año 2012)

Fuente: Key World Energy Statistics 2014, IEA

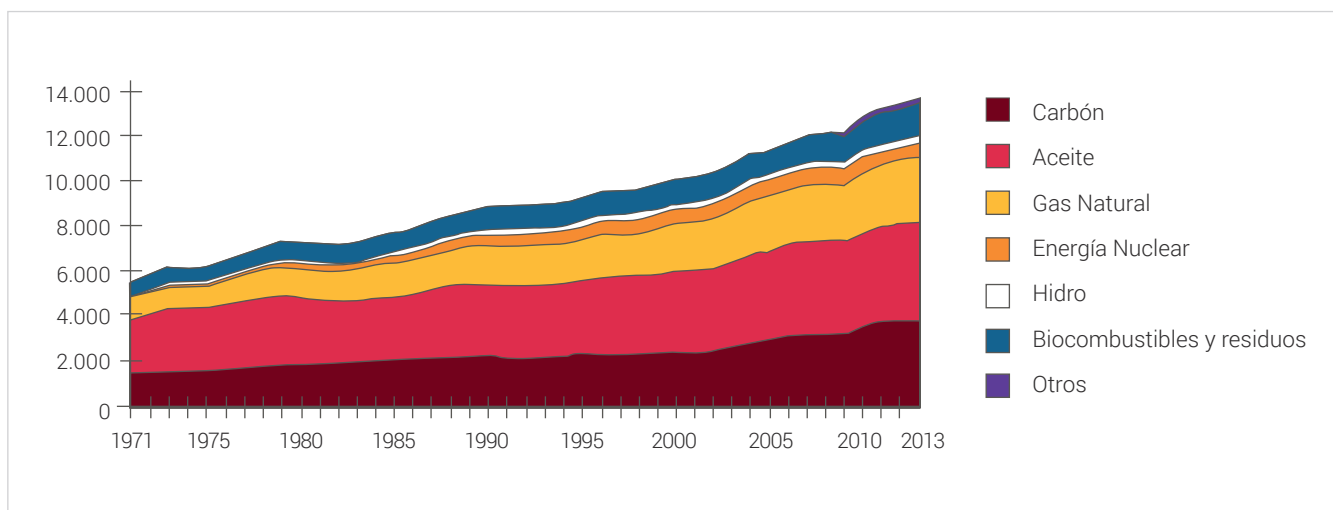


La Agencia Internacional de Energía estimó que durante el período 2010-2030, el consumo mundial de energía primaria crecerá a una tasa promedio de 2,5% anual², impulsado principalmente por la mayor demanda de China e India. Dada la actual matriz de generación eléctrica, se estima que este aumento en la demanda lo absorberán los principales combustibles fósiles: carbón, gas licuado natural

y petróleo. A partir de lo anterior surgirán principalmente dos problemas: en primer lugar, dada la mayor demanda proyectada, se pondría fin a la era de precios bajos de los combustibles fósiles; y en segundo lugar, dado el creciente uso de este tipo de energía, habría un mayor impacto sobre el medio ambiente.

¹ Los países o grupos de países considerados en el gráfico son: Argentina, Alemania, Australia, Canadá, Chile, China, España, Estados Unidos, Francia, India, Inglaterra, Italia, México, Mundo, Nueva Zelanda, OECD, Rusia, Sudáfrica, Suiza.

² Agencia Internacional de Energía (2009).



Ante esta evidencia, ha surgido la preocupación por diversificar la matriz energética. Nos adentramos hacia un futuro pluri-energético, donde la solución se basa en el desarrollo de fuentes diversas de energía, con una creciente preferencia del punto de vista ambiental por las energías renovables y la energía nuclear. La energía proveniente de fuentes hídricas se ha desarrollado ampliamente en el mundo y en los últimos años ha aumentado también la presencia de energías renovables no convencionales (solar, eólica, minihidro, biomasa, mareomotriz, etc.). Por su parte, desde mediados de la década de los 70' la energía nuclear ha ido adquiriendo una importancia relativa cada vez mayor (ver Gráfico N° 2).

La tendencia en el mundo apunta hacia la diversificación de la matriz energética para evitar la dependencia y el alza de precios de los insumos, garantizar la seguridad del suministro y proteger el medio ambiente. Es en este contexto que resulta interesante analizar el rol que ha jugado y seguirá jugando la energía nuclear en el mundo y su potencial de desarrollo en Chile.

Gráfico 2
ENERGÍA PRIMARIA EN EL MUNDO (TPES) DE 1971 A 2013 POR FUENTE (Mtoe)

Fuente: Key World Energy Statistics 2015, IEA

2. LA ENERGÍA NUCLEAR

Antes de realizar un diagnóstico sobre el uso de la energía nuclear en el mundo y la posibilidad de desarrollar este tipo de energía en Chile, es importante entender qué es la generación núcleo-eléctrica.

Se trata de un término genérico referido al proceso de transformación de la energía contenida en la materia nuclear en energía eléctrica, por ejemplo, mediante la ruptura o fisión de núcleos atómicos.

El funcionamiento de las centrales núcleo-eléctricas es muy similar al de las centrales térmicas convencionales, pero la diferencia está en la manera en la que se produce el vapor para accionar los turbogeneradores y producir la electricidad. Mientras las centrales convencionales usan combustibles fósiles como el carbón, petróleo y gas natural, en las centrales nucleares se genera el vapor aprovechando el calor que se obtiene al fisionar con neutrones a los núcleos del uranio. Este vapor se conecta a una turbina a alta presión y temperatura, permitiendo mover sus aspas y así generar energía eléctrica.

El desarrollo de capacidad de generación núcleo-eléctrica en distintos países del mundo tiene que ver con sus características, las que pueden resumirse en los siguientes beneficios:

1. Bajo costo de desarrollo: según un reporte preparado por la "World Nuclear Association"³, se ha podido observar que el costo de la generación de energía núcleo-eléctrica ha mejorado con respecto a los combustibles fósiles en las últimas décadas. Datos más actualizados proporcionados por el "Nuclear Energy Institute" muestran que al año 2014 producir un kilowatt

por hora en Estados Unidos mediante energía nuclear tenía un costo total de producción de 2,40 centavos de dólar, mientras que los costos de generar energía con carbón, gas y petróleo eran de 3,39 c/US\$, 4,58 c/US\$ y 22,49 c/US\$, respectivamente⁴. Sin embargo, las inversiones requeridas en capital son intensivas, por lo que el retorno es lento. En efecto, lo que muestra la evidencia es que las plantas nucleares tienen una estructura de costos muy altos para la construcción, pero relativamente bajos para la operación.

2. Bajo nivel de emisión: existe un amplio consenso respecto del carácter limpio de la generación núcleo-eléctrica, sobre todo al comparar con las actuales alternativas dominantes para la generación de energía en base a combustibles fósiles. Esta es una característica muy favorable dado que el sector eléctrico es responsable de un porcentaje importante de la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Los compromisos adquiridos a nivel país y a nivel internacional para enfrentar el cambio climático aumentan el valor de la calidad ambiental de los procesos de generación de energía que pueda contribuir a reducir emisiones de GEI.

La Tabla N° 1 presenta una estimación de los niveles de emisión de dióxido de carbono por fuente, en donde se puede constatar que efectivamente los combustibles fósiles son más contaminantes que otras fuentes alternativas de energía en tanto que la generación núcleo-eléctrica es una alternativa "limpia" con respecto al carbón, diesel y gas.

Un antecedente que confirma lo anterior dice relación con las emisiones que se dejan de producir gracias al reemplazo de fuentes alternativas por la generación nuclear. De acuerdo al Informe de la Agencia Internacional de Energía

³ World Nuclear Association, Report 2005.

⁴ <http://www.nei.org/Knowledge-Center/Nuclear-Statistics/Costs-Fuel-Operation,-Waste-Disposal-Life-Cycle/US-Electricity-Production-Costs-and-Components>

Fuente de Energía	Co2
Carbón	1058
Diesel	742
Gas Natural	608
Geotérmica	567
Nuclear	8,6
Eólica	7,4
Hidráulica	6,6
Fotovoltaica	5,9
Solar Térmica	3,6

Atómica⁵ (IAEA) las emisiones de CO₂ que evita la energía nucleoelectrónica es significativa, tal como se muestra en el Gráfico N° 3 que describe las tendencias históricas de las emisiones mundiales de CO₂ producidas por el sector eléctrico y las evitadas gracias a energía hidráulica, nucleoelectrónica y otras ERNC.

Adicionalmente, es importante recalcar que la energía nuclear tiene una ventaja por sobre las Energías Renovables No Convencionales (ERNC) de carácter intermitente, como la solar y la eólica. Cuando el viento no sopla o el sol no brilla, la energía nuclear sigue ofreciendo un suministro de electricidad confiable y de casi nulas emisiones de carbono. Las ERNC intermitentes, en cambio, requieren de centrales de respaldo para proveer el suministro durante las horas en que no generan energía eléctrica, lo que termina por aumentar las emisiones, si no se acompañan de centrales hidroeléctricas con capacidad de regulación.

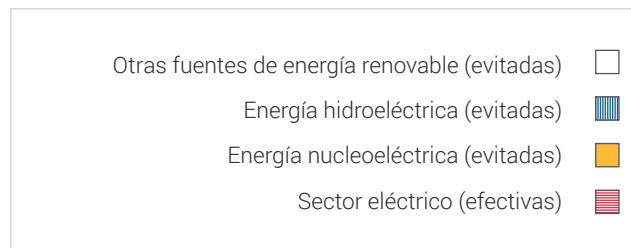
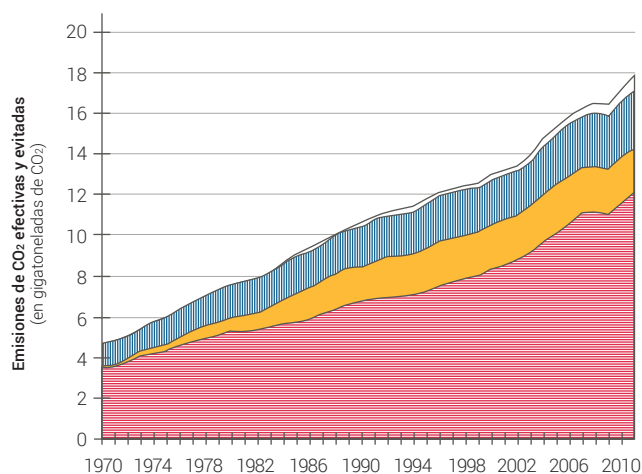


Tabla 1
EMISIONES DE CO₂ POR FUENTE
(Toneladas por GWh producido)

Nota: los datos corresponden a todo el ciclo de vida de la generación eléctrica.
Fuente: US Department of Energy, Council for Renewable Energy, Worldwatch Institute, CRIEPI. Citado en Núcleo-electricidad en Chile: Posibilidades, brechas y desafíos (2010), p. 19.

Gráfico 3
EMISIONES DE CO₂ EVITADAS CON GENERACIÓN ELÉCTRICA LIMPIA

Fuente: World Energy Statistics and Balances (2014) de la AIE/OCDE.



5 Este organismo fue establecido en 1957 como organismo autónomo de la ONU y sus funciones son alentar el intercambio de información científica y técnica sobre la energía nuclear, inspeccionar la aplicación de salvaguardias nucleares y medidas de verificación de los programas nucleares para usos civiles, promover la transmisión de conocimientos teóricos y prácticos para

que los países puedan ejecutar de forma segura y eficaz sus programas de energía atómica, formular normas básicas de seguridad para la protección contra radiaciones y publicar reglamentos y códigos de prácticas sobre determinados tipos de operaciones, incluido el transporte de material radiactivo.

3. Suficiente disponibilidad del uranio: la energía nuclear requiere de insumos, por lo que su accesibilidad es clave para la seguridad del suministro. Lo que muestra la evidencia internacional es que la disposición local de uranio, que es el combustible más utilizado por la energía nuclear, no es un requisito para desarrollar la núcleo-energía. Para el caso de países que no disponen de este elemento químico y dependen del suministro externo, la suspensión del insumo no representa un riesgo relevante. Lo anterior se sustenta principalmente en el hecho que existen grandes reservas de uranio distribuidas en diversas áreas geográficas alrededor del mundo, en donde los principales proveedores de uranio presentan un bajo riesgo geopolítico⁶. No es el caso de otros insumos, como por ejemplo, el petróleo. A ello se suma que los análisis de largo plazo incorporan también como combustible para la generación nuclear el torio que es un mineral aún más abundante.

Estudios de la Agencia de Energía Nuclear de la OCDE (OECD NEA) y de la IAEA estiman que, dadas las condiciones económicas actuales, los recursos identificados a la fecha alcanzarían para 80 años de suministro, lo que puede aumentar en la medida que se inicien nuevas exploraciones -las que se han triplicado desde 2002 en respuesta a los mayores precios- y se concreten nuevos descubrimientos⁷. Cabe señalar además que se está trabajando en reducir el uso del Uranio Muy Enriquecido (UME) y su eventual remplazo por el Uranio Poco Enriquecido (UPE), el cual es más seguro y rentable.

En contraposición a los beneficios señalados, un tema que causa preocupación dice relación con la gestión de los desechos nucleares. Al año 2014 se acumulan 380.500 toneladas de combustible nuclear gastado, de las cuales cerca de 258.700 toneladas están almacenadas en instalaciones dentro o fuera de los emplazamientos de los reactores y menos de un tercio del total ha sido reprocesada. La gestión de desechos, así como el tratamiento, transporte y disposición final de éstos, posee un carácter obligatorio, junto con la planificación a largo plazo de actividades de clausura y restauración ambiental. Existe obligatoriedad jurídica sobre esto para los Estados Miembros de la UE, en tanto, países como EE.UU., Corea, Rusia, China, Ucrania y Japón poseen estudios de planificación al respecto, de acuerdo a sus plantas instaladas y otras en proyección. Sin embargo, debido al aplazamiento de una decisión política sobre la gestión del combustible gastado, esta acumulación no ha cesado de aumentar.

Dadas las distintas condiciones en cada país y las diferentes especies de reactores, en el más reciente Foro Científico de la Conferencia General del Organismo (IAEA) se insistió en la necesidad de un enfoque “amplio e integrado” de la gestión de desechos radiactivos, destacando que ya existían soluciones aplicables de acuerdo a los tipos de reactores en cada país.

Es así como también la IAEA, en cooperación con la Comisión Europea y la AEN de la OCDE, han iniciado un proyecto que busca presentar informes nacionales precisos que puedan utilizar los Estados Miembros de la IAEA⁸ para el cumplimiento de sus obligaciones en la materia. Para esto se ha reforzado la NEWMDB⁹, responsable de entregar estimaciones exactas de los desechos mundiales.

⁶ Destacan principalmente Australia, Kazajistán, Rusia y Canadá (ver OECD-NEA, IAEA (2014), Uranium 2014: Resources, Production and Demand).

⁷ OECD NEA-IAEA (2008 y 2009).

⁸ A noviembre del 2015 eran 167 los Estados Miembros de la IAEA.

⁹ The IAEA Online Information Resource for Radioactive Waste Management.

3. REALIDAD INTERNACIONAL

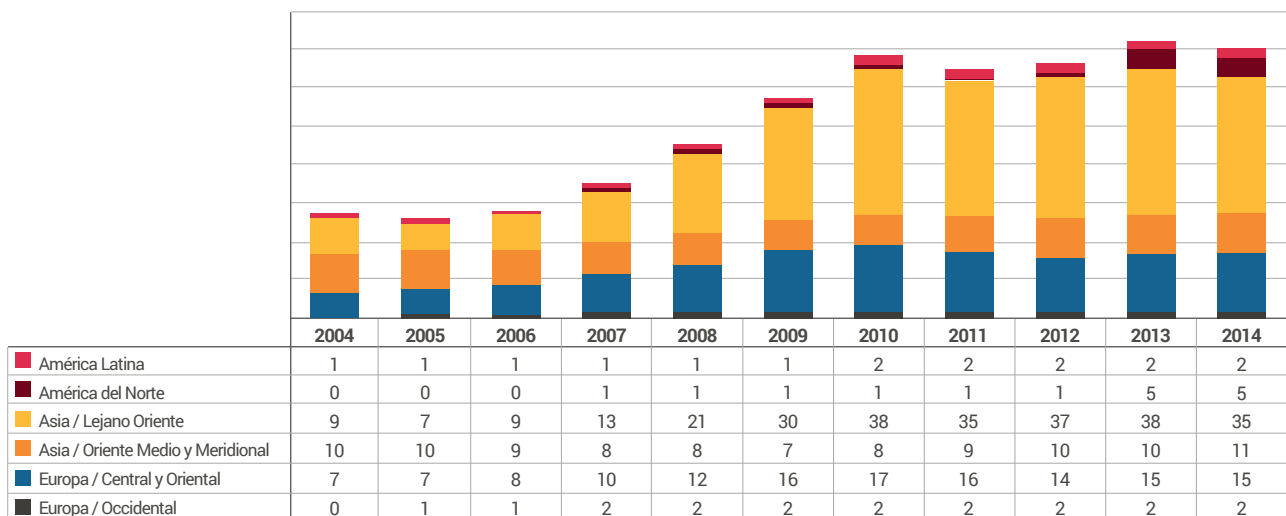
La tendencia mundial, en vista de la mayor demanda de energía y la creciente preocupación por el medio ambiente, ha tendido a privilegiar la diversificación de la matriz energética. En este contexto, la energía nuclear no solo se ha consolidado sino que sigue extendiéndose en el mundo.

3.1 La experiencia nuclear en el mundo

De acuerdo al Examen de la Tecnología Nuclear elaborado en julio del 2015 por la IAEA, a fines del 2014 existían 438 reactores nucleares en funcionamiento, lo que significa una capacidad de generación mundial de 376,2 GW(e) (con un aumento de 4,5 GW(e) con respecto a 2013). Adicionalmente, había 70 centrales nucleares en construcción en ese momento.

Gráfico 4
**REACTORES EN CONSTRUCCIÓN
POR REGIONES**

Fuente: Examen de la Tecnología Nuclear de 2015, IAEA, 08/07/2015.



A noviembre de 2015, según datos de la “World Nuclear Association”¹⁰, existían 29 países en el mundo generando en base a energía nuclear el equivalente a 11,5% del total de la generación de electricidad en el mundo.

Dentro de estos 29 países destaca Estados Unidos, que representa a la nación que genera más electricidad a partir de la energía nuclear, con 798 billones de KWh, y Francia, que es el país que tiene la mayor proporción de electricidad generada mediante la energía nuclear, representando un 76,9% de su matriz energética.

Es interesante destacar, que esta treintena de países están distribuidos a lo largo de todo el mundo, con países de Europa, Asia, África y América. En Sudamérica los únicos países con reactores para la generación de electricidad son actualmente Brasil y Argentina¹¹. Existen otros países con reactores nucleares pero con fines de investigación, no de generación eléctrica, como es el caso de Chile.

Resulta evidente que existe un gran interés por la generación nuclear a lo largo del mundo que debiera perdurar en el tiempo debido a que en la mayoría de los países con centrales en operación se observa un proceso de extensión de la vida útil de los reactores. Actualmente habría 165 reactores en construcción, la mayoría de los cuales se encontrarán en China, Rusia e India.

Por último, además de las centrales en operación y construcción, hay un número significativo de proyectos nucleares de potencia en evaluación: de acuerdo a los antecedentes entregados por la “World Nuclear Association”, a la fecha hay más de 324 proyectos en estudio, de los cuales, una parte importante se encuentra en países que hoy no cuentan con energía nuclear.

El auge en la generación núcleo-eléctrica y el reconocido interés de nuevos países por integrarse a esta tendencia se ha visto favorecido por la existencia de organizaciones internacionales que han velado por el buen desarrollo de esta opción. En efecto, la IAEA ha sido un gran apoyo para que los países que están en proceso de evaluar la opción núcleo-eléctrica puedan determinar responsablemente si esta opción es o no adecuada y viable para la realidad local.

3.2 Accidentes nucleares

Gracias a la experiencia que se ha adquirido a nivel mundial y a las organizaciones dedicadas al desarrollo de este tipo de energía es que hoy en día, la generación núcleo-eléctrica es una realidad y se ha presentado como una opción totalmente viable. Persiste, sin embargo, una percepción de riesgo que permea a la opinión pública y con ello la posición política frente al tema del desarrollo nuclear. Sin duda, hay que considerar el temor de la opinión pública con respecto a implementar este tipo de tecnologías (debido a la posibilidad de accidentes nucleares o la relación con el terrorismo), pero la evidencia demuestra que los accidentes nucleares que han ocurrido se han debido a errores humanos, y que bajo condiciones normales los reactores nucleares representan menores riesgos que cualquier otro tipo de fuente de energía. De hecho, de acuerdo con la estadística de accidentes severos en el sector energía (ENSAD) que lleva el instituto Paul Scherrer, los accidentes relacionados con la producción de energía distinta de la nuclear han causado mucho más víctimas (muertos y heridos) que aquellos habidos en centrales nucleares¹².

¹⁰ <http://www.world-nuclear.org/info/Facts-and-Figures/World-Nuclear-Power-Reactors-and-Uranium-Requirements/>

¹¹ Recientemente, Argentina firmó un acuerdo con China para financiar y construir dos nuevas plantas nucleares en Argentina, los que una vez terminados prácticamente duplicarán la capacidad de energía nuclear que actualmente tiene el país con sus tres plantas nucleares en funcionamiento.

¹² Comparative risk assessment of severe accidents in the energy sector, Peter Burgherr, Stefan Hirschberg, EnergyPolicy 74 (2014). <http://www.aben.com.br/Arquivos/323/323.pdf>

Una breve reseña de las causas que provocaron los 3 grandes accidentes nucleares así lo demuestran. Nos referimos a Three Mile Island (EEUU, 1979), Chernobyl (URSS, 1986) y Fukushima (Japón, 2011).

- a) **Three Mile Island:** ocurrido el 28 de marzo de 1979, el accidente fue provocado por una falla en el circuito de refrigeración del núcleo de uno de los reactores. El sobrecalentamiento producido activó las barras de control para detener el aumento en la presión del reactor mientras bombas suplementarias de agua actuaban como refrigeración de emergencia. Ante el bloqueo de una de las válvulas del mecanismo refrigerante, el ingeniero a cargo desconectó el automatismo de control, confundiendo también diversos instrumentos, lo que generó una salida de agua contaminada hacia el edificio de contención del reactor y hacia el río aledaño, liberando a la atmósfera gases nobles radiactivos como el Xenón y Kriptón. Treinta mil personas, que vivían en los alrededores de la central nuclear distribuidas en un radio de 8 km, se vieron expuestas a ciertos niveles de radioactividad, aunque no hubo víctimas fatales ni impactos severos medioambientales. Este accidente incentivó la mejora de procesos de seguridad y capacitación de recursos humanos en otras instalaciones nucleares del mundo.
- b) **Chernobyl:** el accidente se produjo el 26 de abril de 1986, cuando los técnicos de la central efectuaban pruebas con un sistema eléctrico de control de uno de los reactores. El accidente se desencadenó por una combinación de defectos de diseño del reactor y negligencias por parte de los operadores: se habían desconectado los mecanismos de seguridad y se habían removido las barras de control, mientras el reactor se encontraba muy por debajo de su rango de funcionamiento. Una brusca caída en la potencia del reactor y los intentos por restablecerla sin las medidas de seguridad activas, generaron fuertes oscilaciones y una descontrolada alza de su potencia máxima en 4 segundos, lo cual causó 2 explosiones en el reactor. Las explosiones y sus consecuentes incendios provocaron la muerte de 2 trabajadores de la planta y la liberación de nubes radiactivas por 10 días, alcanzando un largo rango de contaminación y severas muertes por el Síndrome de Irradiación Aguda (SAR).
- c) **Fukushima:** el 11 de marzo de 2011, un terremoto de 8,9 grados Richter, seguido de un tsunami con olas de 10 metros, tuvo su epicentro a 130 km al este del puerto de Sendai, muy cerca de la central nuclear Fukushima-Dai-Ichi (Fukushima I), en el norte de Japón. El terremoto causó daños al tendido del suministro eléctrico exterior y el tsunami provocó una destrucción sustancial de la infraestructura operacional y de seguridad de las instalaciones. El efecto combinado fue la pérdida de la alimentación eléctrica dentro y fuera del

emplazamiento. Ello privó de la función de refrigeración a los tres reactores que estaban en funcionamiento, así como a las piscinas de combustible gastado. Las otras cuatro centrales nucleares situadas a lo largo de la costa también se vieron afectadas por el terremoto y el tsunami en diferentes grados. Sin embargo, todos los reactores que estaban en funcionamiento en esas centrales se detuvieron de forma segura. Pese a los esfuerzos de los operadores de la central nuclear por mantener el control, los núcleos de los reactores de las Unidades 1 a 3 se sobrecalentaron, el combustible nuclear se fundió y las tres vasijas de contención se fracturaron. El hidrógeno que escapó de las vasijas a presión de los reactores provocó explosiones en los edificios de los reactores de las Unidades 1, 3 y 4, causando daños a las estructuras y lesiones al personal de la planta. La central dejó escapar radio nucleidos a la atmósfera, que se depositaron en la tierra y el océano, así como también hubo emisiones directas al mar. El error de diseño se hizo evidente en este caso, dada la cercanía de las centrales a la costa, y la construcción a una altura insuficiente respecto del nivel del mar.

Los errores cometidos han permitido perfeccionar la tecnología, tanto en términos de seguridad, preparación de recursos humanos y eficiencia. Adicionalmente, para garantizar el funcionamiento normal de las plantas nucleares existen estándares internacionales bien definidos para los procesos de instalación, puesta en marcha, operación, manejo de los residuos radiactivos y desmantelamiento de plantas nucleares que permiten que no se produzcan emisiones ionizantes constitutivas de riesgo para la salud humana.

3.3 Planes de apoyo

La experiencia adquirida ha permitido sistematizar recomendaciones y políticas de apoyo para los países que buscan incursionar en la opción nuclear para diversificar su matriz eléctrica. Es así como la IAEA, dentro de sus planes de apoyo a los países que se encuentran en proceso de evaluar la opción nuclear, elaboró un documento en el que se postulan tres fases claves por las que hay que pasar en este proceso.

La primera fase incluye todas las consideraciones previas a la decisión de desarrollar un proyecto nuclear con lo que se busca que el país esté preparado para tomar un compromiso frente al proyecto. En esta fase es fundamental la aceptación por parte del sector público, el sector privado y de la opinión pública en general. Esta organización postula que si un Estado está contemplando la posibilidad de introducir la energía nuclear como parte del portafolio de oferta energética, es fundamental que se adquiera un conocimiento global de todas las obligaciones

y compromisos involucrados antes de tomar cualquier decisión. En particular, se recomienda buscar cooperación nacional e internacional y se espera que el Estado cuente con una infraestructura adecuada para manejar la radiación, los residuos y el transporte, la cual pueda ser complementada con estándares internacionales.

Durante la segunda fase se deben llevar a cabo todas las acciones necesarias para iniciar la construcción de una planta nuclear y así poder licitar la primera central nuclear de potencia. Los principales requisitos que se postulan en esta fase son la instauración de un órgano regulador competente y desarrollar toda la infraestructura necesaria.

La tercera y última fase tiene relación con todas las actividades relacionadas con la instalación de una planta nuclear, con lo cual se espera que el país se encuentre en condiciones para licenciar y operar su primera planta nuclear. Se recalca que esto requerirá el desarrollo y capacitación significativa para todos los niveles de personal involucrados en estos proyectos, y se debe demostrar que el propietario/operador puede gestionar el proyecto de la mejor forma durante toda su vida.

Sin entrar en los detalles, se puede desprender que efectivamente para comenzar a operar una planta nuclear se debe pasar por un largo proceso de aceptación y preparación. De hecho, la misma IAEA indica que para finalizar las tres fases deben transcurrir al menos entre 10 y 15 años, período en que el gobierno, el órgano regulador y el propietario u operador de la planta nuclear cumplen un rol clave a medida que avanza el proceso.

En el mercado eléctrico, cuando se quiere incorporar una nueva fuente de generación es necesario realizar un análisis económico detallado cubriendo aspectos como la oferta, la demanda, la estructura y actores del mercado eléctrico, el papel del Estado, los requerimientos de estabilidad y los incentivos necesarios para atraer inversión al sector. Pero en el caso específico de la generación núcleo-eléctrica, además de lo anterior debe sumarse el análisis de los recursos humanos, la investigación y desarrollo, la seguridad y el medio ambiente. El desafío, por tanto, no es menor y requiere de tiempo y recursos para su implementación.

4. CHILE: AVANCES Y RETROCESOS

En Chile ha habido algunos avances en materia de energía nuclear, pero no se han difundido mayormente para evitar la oposición ciudadana. El problema es que las aprensiones suelen ser el resultado de una amplia desinformación respecto de las reales ventajas y riesgos de la opción nuclear.

Entre los avances logrados se cuentan una serie de estudios realizados a solicitud de la autoridad de turno y otros que han surgido desde el interés privado por contribuir a un debate informado en torno a esta materia. A continuación se presenta un breve resumen de los mismos.

4.1 Estudios realizados

Distintos gobiernos de nuestro país han encargado estudios para analizar la conveniencia y factibilidad de desarrollar proyectos nucleares en nuestro país. El año 2007, la Presidente Michelle Bachelet oficializó la creación del Grupo de Trabajo en Núcleo-Electricidad (Comisión Zanelli) el cual fue continuado por el Grupo Consultivo Nuclear (GCN) liderado por el Ministro de Energía. En ambos grupos de trabajo, luego de rigurosos estudios, se estableció que hoy en día Chile no cuenta con los requisitos para generar núcleo-electricidad, pero se identificaron los aspectos fundamentales en los cuales avanzar para ello, proponiendo cursos de acción bastante específicos. Más recientemente se publicó un nuevo informe, esta vez de la Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN) por encargo del Ministerio de Energía, con características similares a los informes anteriores. A continuación se resumen algunas de las conclusiones y recomendaciones de estos estudios.

1. La Opción Núcleo-Eléctrica en Chile (2007): el estudio concluye que el examen de todos los antecedentes disponibles "no permite descartar la energía nuclear como una opción energética futura para el país". Sin embargo, postula que el escenario institucional y legal aún no es propicio para la generación núcleo-eléctrica. Para ello se requiere potenciar en forma significativa la investigación y desarrollo sobre energía,

independientemente de si se optara o no por la núcleo-electricidad. En este sentido, el informe señala que sería conveniente contar con centros de investigación capaces de evaluar el potencial de generación en el país, así como impulsar el desarrollo de todas las opciones tecnológicas posibles.

En línea con lo anterior, las recomendaciones formuladas contemplan realizar un conjunto de estudios orientados a proveer de información relevante para el proceso de toma de decisiones respecto del futuro de la matriz eléctrica de Chile y en particular con respecto de la núcleo-electricidad; diseñar y encargar estudios específicos que definan las instituciones que deben ser modificadas y/o creadas en el caso de que se opte por la incorporación de la núcleo-electricidad; e informar y educar sobre el significado de la energía nuclear y sus implicancias.

2. Núcleo-Electricidad en Chile: Posibilidades, Brechas y Desafíos (2010): el informe señala que "la evolución proyectada del sector energético mundial y nacional indica que Chile -en los escenarios más probables- requerirá de energía nuclear a mediados de la década del 2020, para apoyar el cumplimiento de sus objetivos de eficiencia económica, seguridad de abastecimiento y precios, así como de sustentabilidad ambiental". En este contexto, señala que tomar la opción nuclear constituye un compromiso de largo plazo que requiere disponer de las condiciones de infraestructura (en un sentido amplio) que garanticen que la utilización de esta forma de energía no conllevará riesgos inaceptables para la sociedad. Muy importante es que el informe concluye que "la energía nuclear no genera impactos relevantes si su desarrollo se enmarca dentro de los más altos estándares de seguridad en todo el ciclo de vida. Ni siquiera las condiciones y peligros naturales de nuestro país son un impedimento para desarrollar un programa nuclear de potencia de manera segura si se toman las precauciones necesarias. Para ello se requiere de capacidades humanas así como de infraestructura física, organizacional y regulatoria de primer nivel en esta materia". El estudio abunda en la materia señalando que el gasto que involucra un programa nuclear de potencia se puede

asimilar a la compra de un seguro ante un futuro energético incierto, que traería beneficios en eficiencia, seguridad y sustentabilidad ambiental.

En términos de los avances requeridos, el informe propone cerrar las brechas tecnológicas, institucionales y de conocimiento fundamentales tales como completar la información geológica disponible, modificar la actual institucionalidad legal y regulatoria en materia nuclear, implementar un plan para cubrir las necesidades de recursos humanos y finalizar otros estudios complementarios específicos, además de establecer un programa de educación y difusión nacional sobre las distintas opciones energéticas del país y el rol que puede cumplir la energía nuclear.

3. Capítulo 7.4 del Informe de la Comisión Asesora de Desarrollo Eléctrico-CADE (2011): basada en los análisis prospectivos realizados, que mostraron que la opción nuclear aparece recomendable económicamente, particularmente en los escenarios en los que existen limitaciones al desarrollo de grandes proyectos de generación, y en las ventajas que la energía nuclear presenta desde el punto de vista de su seguridad para las personas y su bajo impacto ambiental local y global, la CADE recomendó como estratégico mantener abierta la opción nuclear para Chile y avanzar en las diversas áreas de estudio identificadas en el informe. Estos estudios permiten cerrar las brechas de manera que el país esté en condiciones de tomar una decisión informada sobre el desarrollo de la nucleoelectricidad.

4. Generación Núcleo-Eléctrica en Chile: Hacia una Decisión Racional (2015): la CCHEN, por encargo del Ministerio de Energía, conformó el Comité de Energía Nuclear de Potencia, el cual analizó el estado actual de los estudios y avances en nucleoelectricidad en el país y en el mundo, entregando un informe con importantes antecedentes y recomendaciones. En particular, da cuenta de significativos avances en seguridad nuclear en los últimos años, del desarrollo de tecnologías que maximizan el uso del combustible nuclear disminuyendo el volumen de desechos generados (y aseguran el control de los residuos por 10.000 años), de exigencias de diseño de los reactores nucleares que aseguran su correcto funcionamiento en caso de sismos severos y de la reducción de costos a niveles competitivos con tecnologías térmicas convencionales, entre otros.

El informe recomienda la inclusión de la opción nuclear en la agenda prospectiva de largo plazo. Señala que es responsabilidad del Estado considerar todas las alternativas de generación de energía, en especial en un país vulnerable energéticamente como el nuestro. Para ello propone la

creación de una instancia independiente de evaluación de la opción núcleo-eléctrica y completar la evaluación de la infraestructura nuclear nacional y conducir un debate nacional informado, transparente y participativo. También recomienda la adecuación institucional de la CCHEN; planes de educación y difusión para atacar el desconocimiento de la población que muchas veces se basa en mitos y errores conceptuales; y avanzar en estudios e investigación en el ámbito nuclear.

En síntesis, todos los estudios que se han efectuado en Chile coinciden en indicar que la opción nuclear no debe ser descartada, promueven la adaptación institucional y regulatoria para avanzar hacia una eventual implementación de un programa nuclear en el país y proponen una mayor difusión de sus virtudes para lograr un debate más informado con la ciudadanía.

4.2 Una propuesta **concreta**

El Colegio de Ingenieros de Chile publicó el año 2009 un Programa de Desarrollo de Centrales Nucleares en Chile para el período 2009-2030. El objetivo de este estudio, que fue recientemente actualizado por el gremio, fue examinar la opción nuclear para diversificar la matriz energética en Chile, determinando los beneficios y alcances de su implementación y estableciendo un cronograma para la implementación de la primera planta nuclear en Chile, siguiendo los lineamientos del Organismo Internacional de Energía Atómica.

El Colegio de Ingenieros de Chile presenta los siguientes argumentos a favor de implementar la generación de energía eléctrica a través de energía nuclear en Chile:

- a) Los avances tecnológicos y de ingeniería sísmica a la fecha permiten que el funcionamiento de plantas nucleares sea libre de riesgo de desastres y seguro incluso en zonas sísmicas como Chile.
- b) Las fuentes de energía nuclear (Uranio y Torio) aseguran al menos 1.000 años de abastecimiento, superando con creces a las fuentes de energía comunes (petróleo, gas natural y carbón), las cuales se agotarían en 200 años más.
- c) Se estima que la energía nuclear costaría entre 70 y 80 US\$/MWh, lo cual es favorable frente a los 120 – 170 US\$/MWh de costo energético (2008).
- d) La contribución específica de CO₂ de la energía nuclear es inferior a los 59[g. eq/KWh], similar a la hidroelectricidad, habida cuenta de que una central nuclear no produce CO₂ en su operación, por lo que

dicho valor proviene de etapas anteriores del ciclo del combustible, como la fabricación del reactor. Esto da cuenta de la viabilidad medioambiental de la implementación de este tipo de energía.

- e) La cooperación internacional a través del "Global Nuclear Energy Partnership" (GNEP), asegura facilitar el acceso a los países en desarrollo a combustibles nucleares, retiro de suministros y reserva de depósitos.

Dados estos beneficios, el informe presenta una planificación y cronograma para la implementación de la primera planta nuclear en Chile. Señala para ello que, de acuerdo la IAEA, el proyecto de implementación de la primera central nuclear deberá seguir 5 claras etapas: Anteproyecto, Toma de Decisión, Construcción, Operación y Desmantelamiento. Esto dentro de un marco de desarrollo nuclear en el país que siga ciertos aspectos claves como una legislación adecuada en temas de seguridad, ubicación, abastecimiento y residuos, la formación exhaustiva de Recursos Humanos y la formación de opinión pública que genere comprensión, seguridad y apoyo al proyecto.

El programa trata además acerca de la formación de recursos humanos, la aceptación pública, la gestión de los residuos nucleares, el reforzamiento del sistema eléctrico interconectado, los tipos de reactores más adecuados a la realidad chilena, entre otros aspectos de interés.

4.3 Percepción ciudadana

Pese a los beneficios asociados al desarrollo de energía nuclear y los avances alcanzados, es claro que uno de los puntos más complejos a tener en consideración es que la eventual implementación de un programa nuclear constituye un punto sensible para la opinión pública. Durante el año 2009, la Comisión Nacional de Energía (CNE) encargó un estudio específico con el objetivo de medir el conocimiento y actitud de la ciudadanía hacia la generación nucleoelectrónica, denominado "Asesoría técnica en la elaboración de un programa de comunicaciones para avanzar a una toma de decisión informada y participativa sobre el desarrollo de infraestructura nuclear"¹³. Este estudio confirma que el manejo de la opinión pública representará un gran desafío para poder implementar un proyecto de este tipo en el país.

En particular, la encuesta arrojó que un 67% de los entrevistados a nivel nacional dice no estar de acuerdo con que se construya una central nuclear en Chile. Por otra parte, demuestra que existe desinformación de la ciudadanía con respecto a las distintas fuentes de energía. Por ejemplo, un 34% de los encuestados señalaron que la energía solar es la

más barata, mientras que un 35% indicó que la más cara era la energía hidráulica, cuando en la realidad de ese momento ocurría justamente lo contrario.

Esta situación más que desincentivar la idea de desarrollar este tipo de energía, señala un curso de acción, en donde se debe trabajar por un lado el desconocimiento y prejuicio con respecto a las características y desempeño de la energía nuclear y, por otro, la desconfianza con respecto a las capacidades nacionales para llevar adelante un proyecto nuclear en potencia. La percepción negativa no es en sí un obstáculo infranqueable. Por el contrario, la encuesta reveló que de los encuestados que declaraban estar en contra de la energía nuclear, un 74,4% señalaba que estaría dispuesto a cambiar de opinión si se le asegura que la energía nuclear es más limpia que otras energías, que permite asegurar un suministro continuo y que es más económica que otro tipo de energía, entre otras cosas.

Con todo, lo cierto es que se requiere desarrollar un consenso amplio en la población sobre la conveniencia de implementar un programa de energía nuclear, lo que representa un desafío incluso mayor que el desarrollo de los estudios y cambios institucionales necesarios para su realización. Los estudios geológicos, sísmicos, etc. tienen, sin duda, una solución técnica, siendo, en cambio, mucho más complicado resolver el prejuicio social y lograr la aceptación general para que el país pueda incursionar en la energía nuclear.

¹³ Ver Tironi y Asociados (2009).

5. CONCLUSIONES

La generación núcleo-eléctrica es un tema sensible para la población ante la posibilidad de que se repliquen desastres como los ocurridos en otros países, lo que se suma a la falta de capacidad técnica y de infraestructura en el país, a la escasez de capital humano especializado y de investigación en el área y el nulo compromiso político para implementar un proyecto de este calibre.

No obstante lo anterior, las tendencias mundiales han impulsado el desarrollo de este sector principalmente debido a sus bondades en precio, seguridad de suministro y protección del medio ambiente bajo operación normal, con lo que actualmente un gran número de países está haciendo uso de este tipo de energía eléctrica y diversos países están en planes para adoptarlo. Chile ha quedado rezagado en este proceso pues sólo cuenta con algunos estudios, sin planes concretos para desarrollar este tipo de energía y lo que es peor aún, con brechas o incógnitas sobre aspectos básicos, tales como análisis de condiciones geológicas, tecnologías de reactores, información a la opinión pública y conformación de una institucionalidad apropiada, que deben resolverse para llegar al punto de adoptar una decisión informada acerca de la viabilidad o inconveniencia de emprender un programa de energía nuclear.

La negativa a incluir la generación nuclear en el debate respecto de la matriz energética tiene mucho de prejuicio sin fundamento y poco de evidencia científica. Siendo una tecnología ampliamente extendida en el mundo -de acuerdo al MIT representará el 18% de la matriz eléctrica global al 2050- en nuestro país parece existir una suerte de veto a siquiera estudiarlo. De hecho, el informe elaborado por el Comité Consultivo de Energía que desarrolló la hoja de ruta al año 2050 la descartó señalando sin mayor fundamento que "no se vislumbra hoy como una opción, dado sus altos costos y potencial oposición por parte de las comunidades".

Lo anterior es especialmente reprochable al considerar que distintos gobiernos de nuestro país han conformado grupos de trabajo con la misión de asesorar al ejecutivo en la evaluación de la opción nuclear en nuestro país. Los

respectivos informes han revelado que Chile no cuenta actualmente con los requisitos para generar núcleo-electricidad, pero se señalan aspectos fundamentales en los cuales avanzar. Sorprende además que no parecen valorarse otras ventajas de la energía nuclear, como ser una fuente de generación de muy bajas emisiones de CO₂, hacer un uso más eficiente del espacio, favorecer el desarrollo de energías renovables no convencionales al compensar la generación intermitente y contribuir a la seguridad del sistema energético general.

Considerando lo anterior, lo razonable sería que en la planificación energética de largo plazo se mantuviera abierta la opción nuclear, tal como lo han hecho 29 países, que hoy suman más de 400 reactores nucleares y varias decenas en construcción. Negarse a ello no sólo limita la posibilidad de tomar decisiones eficientes en el futuro sino que introduce un costo oculto de reemplazar esta fuente de energía por otras alternativas eventualmente más costosas y contaminantes.

La decisión de avanzar en completar los estudios de cierre de brechas, que permitan al país adoptar una decisión informada acerca de la viabilidad de la opción nuclear, requiere de voluntad política que mire al largo plazo, en un tema en que los logros no son percibidos por el Gobierno que adopte la decisión.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agencia Internacional de Energía, AIE (2009). World Energy Outlook.

Comité Nuclear del Colegio de Ingenieros de Chile A.G. (2009). Programa de Desarrollo de Centrales Nucleares en Chile, 2009-2030.

Comité Nuclear del Colegio de Ingenieros de Chile A.G. (2015). Factores Incidentes en la Viabilidad de la Núcleo-Electricidad en Chile, septiembre.

Generación Nucleo-Eléctrica en Chile, Hacia una decisión racional (2015) . Comité de Energía Nuclear de Potencia, *Comisión Chilena de Energía Nuclear*.

IAEA. (2007). Milestones in the development of a national infrastructure for nuclear power. *Nuclear Energy Series*.

IAEA, Examen de la Tecnología Nuclear de 2015. Conferencia General, 8 de julio de 2015.

IAEA, Examen de la Tecnología Nuclear de 2015. Conferencia General, 8 de julio de 2015. pp. 21-28.

NÚCLEO-ELECTRICIDAD, GDTE. (2007). La opción núcleo-eléctrica en Chile.

OECD (2009). Resources, production and demand. OECD Publications. Paris, 7(28), 2010.

OECD-NEA, IAEA (2008). Uranium 2007: Resources, Production and Demand.

Tironi y Asociados. (2009). Asesoría técnica en la elaboración de un programa de comunicaciones para avanzar a una toma de decisión informada y participativa sobre el desarrollo de infraestructura nuclear.

Tokman, M. (2010). Núcleo-electricidad en Chile: Posibilidades, brechas y desafíos. *Ministerio de Energía. Gobierno de Chile*.

World Nuclear Association. (2005). The economics of nuclear power. *World Nuclear Association information paper*.

