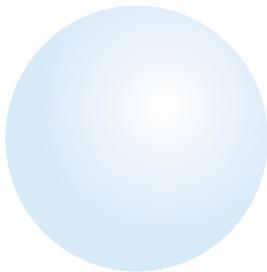


Generación Nucleo-Eléctrica en Chile

Hacia una decisión racional

Generación Nucleo-Eléctrica en Chile

Hacia una
decisión
racional



Contenido

I. Antecedentes	4
II. Objetivo	8
III. Alcance	9
IV. Contexto internacional	10
V. Revisión de áreas involucradas en un programa nuclear de potencia	14
1. Tecnología de Reactores	14
2. Ciclo del Combustible y Desechos	15
3. Seguridad Sísmica y Otros Riesgos Naturales	17
4. Marco Legislativo Institucional	19
5. Marco Regulatorio	20
6. Red Eléctrica	22
7. Aspectos Económicos	23
8. Aspectos Ambientales	26
9. Lecciones de Fukushima en la respuesta ante emergencias	29
10. Localización de CNPs	32
11. Opinión Pública	33
12. Recursos Humanos	35
13. Aspectos Estratégicos	36
VI. Conclusiones	39
VII. Recomendaciones	42
Referencias	46

Comité de Energía Nuclear de Potencia

INTEGRANTES

Renato Agurto Colima,
SYNEX Ingenieros Consultores

Carlos Barrientos Riveros,
Grupo de Estudios en Núcleo-Electricidad, Comisión Chilena de Energía Nuclear.

Edesio Carrasco Quiroga,
Schultz & Carrasco Abogados/Facultad de Derecho, Pontificia Universidad Católica de Chile

Gonzalo Gutiérrez Gallardo,
Departamento de Física de la Facultad de Ciencias, Universidad de Chile

Cristián Hermansen Rebolledo,
ACTIC Consultores

Ricardo Jordan Fuchs,
Unidad de Asentamientos Humanos, División de Desarrollo Sustentable y Asentamientos Humanos de CEPAL

Alejandro Jofré Cáceres,
Centro de Modelamiento Matemático, Universidad de Chile

Mauricio Lichtemberg Villarroel,
División de Seguridad Nuclear y Radiológica, Comisión Chilena de Energía Nuclear

Bárbara Nagel Araya (Secretaría Técnica),
Grupo de Estudios en Núcleo-Electricidad, Comisión Chilena de Energía Nuclear

Víctor Orellana Acuña,
Oficina Nacional de Emergencias - Ministerio del Interior y Seguridad Pública

Jerson Reyes Sánchez,

Grupo de Estudios en Núcleo-Electricidad, Comisión Chilena de Energía Nuclear.

Gabriel Rodríguez García-Huidobro,

Dirección de Energía, Ciencia y Tecnología e Innovación, Ministerio de Relaciones Exteriores de Chile.

Mauricio Sarrazin Arellano,

Departamento de Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

Leopoldo Soto Norambuena,

Departamento de Plasma Termonuclear, Comisión Chilena de Energía Nuclear.

Julio Vergara Aimone,

Depto. Ingeniería Mecánica y Metalúrgica de la Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile.

Jorge Zanelli Iglesias (Presidente),

Centro de Estudios Científicos (CECs - Valdivia)

Con la valiosa colaboración de:

Héctor García Cuevas,

Dirección de Energía, Ciencia y Tecnología e Innovación, Ministerio de Relaciones Exteriores de Chile.

Benjamín Infante Silva,

Unidad de Asentamientos Humanos, División de Desarrollo Sustentable y Asentamientos Humanos de CEPAL

Agradecimientos a:

Rodrigo Araya, Julio Bravo, Hugo Briso, Eugenio Marcos, Gonzalo Tapia, Gustavo Venegas, Loreto Villanueva.

I. ANTECEDENTES

En marzo de 2007, la Presidenta de la República, Sra. Michelle Bachelet Jeria, creó el Grupo de Trabajo en Núcleo-electricidad (GTNE), conformado por diez profesionales independientes en diversas áreas del conocimiento, a quienes se les encomendó la misión de asesorar al Gobierno en “la evaluación de los estudios tendientes a la identificación de las oportunidades, ventajas, desafíos y riesgos derivados que involucraría el uso de la energía nuclear para la producción de electricidad en nuestro país, dentro de los tratados internacionales que rigen la materia”.

En septiembre de 2007, el GTNE presentó al país el informe “La opción núcleo-eléctrica en Chile” [1], el cual recoge la opinión consensuada del grupo mediante un análisis de la experiencia internacional sobre generación núcleo-eléctrica (GNE) y la realidad nacional de ese momento. Si bien dicho informe no pretendió determinar la conveniencia de la opción de la GNE para Chile, este concluyó: “El examen de todos los antecedentes de que dispuso este grupo de trabajo no permite descartar la energía nuclear como una opción energética futura para el país”. Asimismo, el informe entregó una serie de recomendaciones para avanzar en el análisis de la viabilidad de la opción de GNE, y, al mismo tiempo, dimensionar los impactos y requerimientos de su incorporación. Entre las recomendaciones, se incluye la de realizar un conjunto de estudios agrupados en seis áreas relevantes de los ámbitos institucional, normativo, económico, ambiental y territorial, de la opinión pública, de la salud y de los recursos humanos.

En base a estas recomendaciones, la Presidenta Bachelet mandató al entonces Ministro de Energía Sr. Marcelo Tokman, avanzar en todos los aspectos necesarios para el análisis de la opción de GNE para Chile. De esta forma, en 2008, el Ministro Tokman conformó el Grupo Consultivo Nuclear (GCN), el cual tuvo como tarea el dirigir una serie de actividades tendientes a “determinar la conveniencia para el país de adoptar un Programa Nuclear de Potencia”. Para ello, se contrataron nueve estudios en las áreas que habían sido recomendadas por el GTN en su informe [1].

En enero de 2010, el Ministro de Energía presentó ante la ciudadanía el informe “Núcleo-electricidad en Chile: Posibilidades, brechas y desafíos” [2], el cual daba cuenta del trabajo realizado por el GCN durante el período 2008-2009, y que estaba destinado a evaluar la conveniencia de la incorporación de la GNE en la matriz eléctrica nacional, mediante el análisis de la infraestructura necesaria y los desafíos que implicaría para Chile la imple-

mentación de un programa nuclear de potencia (PNP).

Este segundo informe concluyó que, a la luz de la información disponible a esa fecha, la opinión de expertos internacionales y las proyecciones del Ministerio de Energía sobre demanda y suministro de electricidad, la GNE podría contribuir de manera significativa a resolver las necesidades futuras de la matriz eléctrica nacional y que este objetivo se podría lograr en condiciones de seguridad para las personas y el medio ambiente, reduciendo la huella de carbono proyectada del país, y a costos competitivos. Por estos motivos, dicho informe concluía que la GNE sería económica y ambientalmente sustentable.

Entre las conclusiones del informe [2], cabe destacar lo siguiente:

“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.”

“Tomar la opción nuclear [...] 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. 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.”

“La evidencia que surge del análisis realizado muestra que Chile no cumple hoy estos requisitos por lo que no se encuentra preparado para incorporar la energía nuclear dentro de su matriz eléctrica, de manera exitosa y segura, aun cuando el país tiene experiencia operando reactores de investigación y ha desarrollado capacidades por más de 30 años en la materia. Dicha experiencia es, no obstante, de gran valor pues permite que el plazo disponible sea suficiente para cubrir oportunamente las brechas de infraestructura entre lo existente y lo requerido.”

“Lo anterior implica que se requiere actuar con decisión y diligencia, pues en el caso de que los escenarios que se consideran más probables se materialicen, la puesta en marcha de un programa nuclear de potencia sería una necesidad ineludible.”

Este segundo informe subraya la necesidad de desarrollar la infraestructura nacional aún cuando el país no haya tomado una decisión sobre el inicio de un PNP. Al respecto el informe [2] concluye: “Si bien cerrar las brechas detectadas para desarrollar un programa nuclear de potencia de manera segura implica tiempo y recursos, este gasto se puede asimilar a compra de un seguro ante un futuro incierto. En el caso que se verifiquen los escenarios energéticos más probables se trata de un seguro que como se ha visto trae beneficios en eficiencia, seguridad y sustentabilidad ambiental”. De esta manera, el país estaría preparado para implementar un PNP, evitando así improvisar en un emprendimiento que debe ser abordado con los máximos estándares de rigor y seguridad.

En relación con el cierre de brechas, el informe incluyó un ejercicio de autoevaluación nacional siguiendo los lineamientos del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), el cual “permitió identificar aquellos aspectos donde no se requieren acciones, así como aquellos donde se requieren acciones menores o significativas. Entre los aspectos prioritarios en los que se requiere trabajar, destacan las áreas de recursos humanos, marco legal y regulatorio y realización de estudios geológicos.”¹

Este segundo informe afirma que a enero de 2010 el país ya contaba “con los antecedentes requeridos para generar una discusión informada, conducente a tomar una decisión sobre la conveniencia de considerar la energía nuclear como una opción más de generación eléctrica y comenzar el trabajo que permita cerrar brechas de infraestructura” [2]. Como se ha constatado, en los cinco años transcurridos desde entonces no se ha generado tal discusión ni tampoco se ha avanzado en el cierre de brechas. Por el contrario, Chile pareciera estar hoy más lejos de tomar alguna decisión respecto de un PNP.

No caben dudas respecto a que el terremoto y tsunami del 27 de febrero en la zona de Japón (terremoto de Tōhoku, 9.0 Richter) el 11 de marzo de 2011 -y que condujo al accidente en la central nuclear Fukushima Daiichi-, han producido un giro en la opinión pública respecto a la GNE. En el sector político, los líderes de opinión y la ciudadanía en general parece haberse

1 Véase Informe [2], Pág. 82

Chile pareciera estar hoy más lejos de tomar alguna decisión respecto de un PNP que hace 5 años atrás.

instalado un consenso tácito de que la GNE es inviable en el mundo en general, y particularmente inconveniente en un país sísmico como el nuestro.

No obstante la visión de los hechos difundida a través de los medios de comunicación, nacionales e internacionales, en noviembre de 2011, el informe de la Comisión Asesora para el Desarrollo Eléctrico (CADE) afirma: “Esta Comisión considera conveniente y, por ende, recomienda continuar el camino enunciado en dicho informe², completando el proceso de evaluación y preparación para que el país esté en condiciones de tomar una decisión informada en esta materia en los próximos años.” Finalmente, dicha comisión concluye “La mirada de futuro que se le ha pedido a esta Comisión, refrendada en los estudios prospectivos de escenarios que hemos realizado, nos señala la recomendación estratégica de mantener abierta la opción nuclear para Chile y en lo inmediato avanzar en las áreas de estudio enunciadas” [3].

El Ministerio de Energía ha encargado al Consejo Directivo de la Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN) -organismo que tiene entre sus funciones asesorar al Estado sobre los distintos aspectos de las aplicaciones nucleares, y en particular, sobre la utilización de la energía nuclear para la generación eléctrica- la conformación del Comité de Energía Nuclear de Potencia. Este comité ha sido integrado por profesionales provenientes de distintos sectores de la sociedad, convocados en atención a sus méritos, experiencia y capacidad crítica, quienes participaron a título personal y en forma no remunerada. El informe de este comité contiene la opinión consensuada de sus integrantes. Para ello se desarrollaron reuniones de trabajo entre enero y junio de 2015, en las cuales se abordaron los antecedentes existentes a la fecha en diversas áreas temáticas involucradas en el desarrollo de un programa nuclear de potencia.

2 Informe [2], Pág. 82

II. OBJETIVO

Se examina el estado de avance del país y la situación internacional en materia de núcleo-electricidad, considerando los cambios ocurridos en los últimos años y las lecciones derivadas de las experiencias de los terremotos de 2010 y 2011, en Chile y Japón respectivamente, indagando hasta qué punto la percepción en la opinión pública se sustenta en hechos y argumentos objetivos. Se proponen acciones que permitan generar la información requerida para que el país esté en condiciones de tomar una decisión informada sobre la incorporación -o no- de la generación núcleo-eléctrica (GNE) en la matriz energética nacional. Además, se busca determinar en qué medida las conclusiones y recomendaciones de los informes [1; 2; 3], así como los estudios realizados para su elaboración siguen siendo válidos, y qué nuevos estudios sería necesario realizar, en vista de los antecedentes surgidos en los últimos años.



III. ALCANCE

Cualquier proyecto de gran escala (energético, minero, industrial, vial) debe satisfacer simultáneamente tres criterios:

- Seguridad para las personas, el medio ambiente y los bienes públicos y privados
- Viabilidad económica
- Aceptación social

Cada uno de estos criterios depende de condiciones específicas del país. No existe un programa de GNE de tipo universal, igual para todos los países. Además, la evolución tecnológica, los cambios en los mercados, las modificaciones legales y regulatorias, los cambios en la percepción del riesgo y la disponibilidad de información, pueden cambiar la satisfacción de cada uno de estos criterios en el tiempo. En el caso de la GNE, es importante que las variaciones temporales no signifiquen abortar el proyecto a medio camino.

Por lo general, tanto promotores como opositores de la GNE no se preocupan de este problema pues dan por supuesto que estos criterios siempre -o bien nunca-, se cumplen.

Este informe consideró la información relevante en trece ámbitos que deberían ser abordados al momento de evaluar la conveniencia de iniciar un programa de GNE en Chile. A partir de las constataciones resultantes de esta revisión se derivan diversas recomendaciones de acciones necesarias para retomar el análisis de la opción núcleo-eléctrica que llevó adelante el Gobierno hasta 2010. De esta manera se podría completar la tarea para que el país llegue a estar en condiciones de decidir de manera informada, responsable y democrática sobre la opción nuclear en el futuro. Para esto, resulta fundamental que tanto las autoridades como la ciudadanía cuenten con todos los antecedentes necesarios para tomar esta decisión.

No es el propósito de este comité recomendar la adopción de la GNE, sino evitar que ésta sea aceptada o rechazada prematuramente por las razones equivocadas. En este sentido, este trabajo busca ayudar a que el país examine la evidencia sin prejuicios, de modo que pueda decidir en las mejores condiciones, basándose en información objetiva, con argumentos racionales y con el interés nacional en primer lugar.

No es el propósito de este comité recomendar la adopción de la GNE, sino evitar que ésta sea aceptada o rechazada prematuramente por las razones equivocadas.

IV. CONTEXTO INTERNACIONAL

En los últimos años ha aumentado la evidencia y el consenso respecto al rol de las actividades humanas en el fenómeno de calentamiento global, particularmente el uso de combustibles fósiles. El reporte de la Agencia Internacional de Energía (AIE) [36] enfatiza que el mundo se encamina de forma acelerada hacia un aumento de la temperatura media global a largo plazo de 3,6°C. Por su parte, el Panel Intergubernamental en Cambio Climático (IPCC) considera que, con el fin de limitar el aumento de la temperatura a 2°C -objetivo acordado internacionalmente para evitar las repercusiones más graves y extendidas del cambio climático-, los países deberán frenar el aumento de emisiones de dióxido de carbono (CO₂), y por lo tanto, evitar sobrepasar en su conjunto las 1000 gigatoneladas de CO₂ a partir de 2014 [14]. Lo anterior significa que, de continuar con las tasas actuales de generación de emisiones, a partir del año 2040 el mundo debería emitir cero CO₂ a la atmósfera, por cualquier vía de generación, lo que, obviamente, resulta inviable.

En los últimos 5 años, la disponibilidad de gas de esquisto (*shale gas*) ha crecido sostenidamente debido al avance tecnológico en los medios para su extracción, aumentando de esta forma la oferta de combustibles fósiles a nivel mundial. Esto ha producido como contrapartida un descenso en el precio internacional del petróleo desde mediados de 2014, lo que sumado al reciente acuerdo que levanta las sanciones comerciales a Irán, generará un escenario más favorable para el uso de los energéticos que mayormente contribuyen a la emisión de CO₂ a la atmósfera.

Por su parte, las fuentes renovables de energía -que contribuyen a limitar la emisión de gases de efecto invernadero (GEI)- han crecido aceleradamente en los últimos años en el mundo, debido a la reducción de sus costos y al apoyo de subvenciones directas e indirectas, siendo hoy más competitivas que hace algunos años, sin embargo, aún representan una participación menor en el mix eléctrico global. Por otra parte, también existen esfuerzos dedicados a promover la eficiencia y el ahorro energético, las cuales son herramientas fundamentales para aliviar la presión sobre el crecimiento de la demanda de energía.

Sin embargo, la gravedad del problema acentúa la necesidad de reducir drásticamente la utilización de combustibles fósiles a nivel mundial. Para ello, resulta imprescindible analizar todas las opciones disponibles para frenar la emisión de GEI y evitar así sobrepasar la barrera crítica de 2°C acordada

La gravedad del problema acentúa la necesidad de reducir drásticamente la utilización de combustibles fósiles a nivel mundial.

internacionalmente. Dentro de estas opciones, un aumento en la disponibilidad y utilización de electricidad generada a partir de fuentes y tecnologías bajas en emisiones de GEI puede contribuir a disminuir de manera significativa el uso de combustibles fósiles para fines industriales, comerciales, de transporte, y calefacción de hogares, entre otros.

En este sentido, organismos internacionales, científicos y académicos han planteado la necesidad de abordar la energía nuclear como una opción importante a considerar frente a los escenarios climáticos y energéticos más probables. De acuerdo al informe de la AIE, *“La energía nuclear es la mayor fuente de electricidad con bajas emisiones de carbón en la OCDE, y la segunda a escala global. La energía nuclear puede jugar un rol clave en la reducción de emisiones de la matriz, al tiempo que mejora la seguridad de suministro, ayudando a la diversificación de la electricidad a gran escala a costos estables. En un escenario de 2°C, sería necesario más que duplicar la capacidad instalada global del nivel actual de 396GW a unos 930GW en 2050, con la nuclear representando 17% de la producción global de electricidad.”* [15]

El gran terremoto de marzo 2011 en Tohoku, Japón, produjo un tsunami que inundó una vasta zona habitada por unas 500.000 personas. Todos los reactores nucleares de la región en que se registró el sismo respondieron de acuerdo a lo esperado, deteniendo su funcionamiento y desconectándose de la red eléctrica. Sin embargo, en la central nuclear de Fukushima Daiichi el tsunami inhabilitó las plantas de generación auxiliar que alimentaban los sistemas de refrigeración de 3 de los 6 reactores de la central nuclear. En consecuencia, los tres reactores resultaron gravemente dañados, produciéndose liberación de sustancias radiactivas al medioambiente. Sin embargo, a diferencia de lo que ocurrió en Chernobyl, el núcleo del reactor nunca llegó a quedar expuesto al exterior, lo cual explica por qué no hubo casos de síndrome de radiación aguda en Fukushima.

A pesar de que gran parte del parque de GNE de Japón -el cual suministraba cerca del 30% del total de la electricidad del país antes del accidente de Fukushima Daiichi- se encuentra actualmente en condiciones apropiadas para reanudar la operación, las autoridades no han permitido su reingreso a la red, manteniendo apagados casi la totalidad de los reactores nucleares. Esta decisión se ha traducido en un importante incremento en la demanda interna de combustibles fósiles, con los consiguientes impactos en las emi-

A pesar del impacto a nivel mundial del accidente de Fukushima Daiichi, la mayoría de los países que ya cuentan con un PNP continúan considerando la GNE dentro de su política energética y varios de ellos mantienen sus planes de expansión en curso.

siones de GEI, la economía del país y en el mercado internacional. No obstante -en su política energética- el Gobierno de Japón ha manifestado que la GNE seguirá teniendo una participación relevante en su matriz eléctrica, existiendo solicitudes en proceso para reactivar 24 de sus 43 reactores.

A pesar del impacto a nivel mundial del accidente de Fukushima Daiichi, la mayoría de los países que ya cuentan con un PNP continúan considerando la GNE dentro de su política energética y varios de ellos, entre los que se cuentan, China, Rusia, India, Estados Unidos, Corea del Sur, mantienen sus planes de expansión en curso. En América Latina, tanto Argentina, Brasil y México³ -que son los países que ya cuentan con CNPs- están actualmente construyendo o bien ya han finalizado la construcción de nuevos reactores nucleares, y/o mantienen en curso sus planes para el desarrollo de nuevas CNPs. Si bien están los casos de Alemania, Suiza y Bélgica que han optado por el abandono gradual de la GNE, y España que ha declarado una moratoria a la construcción de nuevas CNPs, otros países como Emiratos Árabes Unidos y Bielorrusia han decidido iniciar PNPs, en tanto que Turquía ha encargado la construcción de su primera CNP. Por su parte, Polonia, Bangladesh, Vietnam, Egipto y Jordania están en etapas avanzadas de la evaluación de la opción de GNE o bien en la preparación de la infraestructura requerida para un PNP [16].

A nivel global, la GNE está siendo analizada, evaluada o bien implementada decididamente en países emergentes que requieren crecer en su capacidad eléctrica para sustentar así sus elevadas tasas de crecimiento de demanda. Por el contrario, aquellos casos en que se ha planteado reducir o abandonar la GNE corresponden a países desarrollados cuya demanda energética crece a tasas menores.

La realidad nacional tampoco está ajena a los escenarios climáticos y energéticos antes descritos. En la última década, el cambio climático ha afectado progresivamente la disponibilidad de agua, tanto para consumo humano como para generación hidroeléctrica, disminuyendo de manera significativa la contribución de esta última en el mix eléctrico de Chile. A nivel ambiental, la contaminación atmosférica que afecta a las ciudades de la zona cen-

³ Argentina: 3 reactores en operación y 3 más proyectados; Brasil: 2 reactores en operación y 1 en construcción; México: 2 reactores en operación, y planes para la construcción de 3 nuevos reactores.

tro-sur de Chile, ocasionada por el uso extensivo de leña para la calefacción de hogares y el crecimiento del parque automotriz, ha incidido sustancialmente en el aumento de episodios anuales de preemergencia y emergencia ambiental. A nivel económico, las proyecciones de crecimiento de la demanda energética de Chile se asemejan más a las de países emergentes que a las de países desarrollados, por lo que también resulta necesario contar con una matriz eléctrica que proporcione un suministro seguro a fin de sustentar el crecimiento económico que requiere el país para alcanzar el desarrollo.

Al respecto, existe conciencia de la necesidad de reducir la huella de carbono de la matriz energética del país, afectando la participación en el sistema eléctrico de las principales fuentes de emisiones como son las centrales a carbón y propiciando el desarrollo de las energías renovables no convencionales (ERNCS), al tiempo que continúan los esfuerzos por aumentar la eficiencia y el ahorro energético tanto en los hogares como en los procesos productivos. Frente a este escenario, el análisis de la opción núcleo-eléctrica tiene sentido para el país, sin que esto resulte excluyente respecto de la implementación de todas las medidas antes mencionadas y que por su parte también contribuyen al mismo objetivo.

A la luz de este nuevo contexto, este comité ha revisado los antecedentes con que se cuenta hasta a la fecha y los cambios acontecidos en los últimos años, en áreas que abarcan aspectos relevantes involucrados en el análisis de un PNP, entre las cuales se incluyen: tecnologías de reactores, ciclo de combustible y desechos, marco legislativo, seguridad sísmica, regulación nuclear, red eléctrica, aspectos económicos, aspectos ambientales, respuesta ante emergencias, localización, opinión pública, recursos humanos, y aspectos estratégicos. Al revisar cada una de estas áreas se han examinado los informes y estudios descritos anteriormente a fin de determinar si las conclusiones y recomendaciones contenidas en estos permanecen vigentes, si requieren ser actualizados, o si es necesario realizar nuevos estudios en mayor profundidad.

V. REVISIÓN DE ÁREAS INVOLUCRADAS EN UN PROGRAMA NUCLEAR DE POTENCIA

1. Tecnología de Reactores

- En la actualidad existen 438 reactores nucleares con una potencia unitaria media de 900 MW, operativos comercialmente en 31 países que aportan alrededor del 11% de la energía eléctrica generada a nivel mundial. Adicionalmente, se encuentran en construcción 70 reactores nucleares, 56 de ellos del tipo PWR (agua liviana a presión) [4].
- Los reactores PWR representan la tecnología dominante a nivel mundial, seguido por los reactores BWR (agua liviana hirviendo a presión) y CANDU (agua pesada a presión) [4].⁴
- Los reactores nucleares operan con mayor regulación que otras formas de generación eléctrica, lo que se traduce en un bajo registro de accidentes e incidentes en comparación con otras tecnologías.
- Si bien las principales tecnologías de reactores no han sufrido cambios arquitectónicos relevantes en las últimas décadas, estas sí han evolucionado desde sus inicios. La nueva generación de reactores (GEN III) ofrece diseños más seguros y más eficientes en cuanto al aprovechamiento del calor y a la utilización del combustible.
- El avance y la experiencia adquirida e incorporada en los reactores disponibles hoy en el mercado hacen que sean más seguros que los que se ofrecían antes de 2011.
- De acuerdo a los informes [17; 18] la tecnología nuclear es más segura que otras formas de generación eléctrica si se compara mortalidad por energía generada. Esto, a pesar de las consecuencias del accidente de Fukushima Daiichi y los cambios en la percepción pública sobre la GNE. Asimismo, su operación no emite gases de efecto invernadero que gatillan el cambio climático, ni productos de combustión en suspensión que forman el smog y afectan la calidad del aire urbano.
- Luego del accidente de Fukushima Daiichi, las autoridades regulatorias nucleares exigieron a sus operadores la realización de pruebas de seguridad para verificar la robustez de los reactores ante eventos naturales extremos, no considerados originalmente en su diseño y construcción. Tras el resultado de estas pruebas, se recomendaron mejoras físicas a varios reactores así como también la suspensión de otros. Las unidades aprobadas cumplen los objetivos de la seguridad nuclear, con procedimientos actualizados de anticipación y respuesta a emergencias.
- Varias empresas de la industria nuclear se encuentran actualmente trabajando en nuevos diseños de reactores, los cuales buscan mejorar la seguridad, elevar la eficiencia en el uso de combustible -reutilizando aquel

Los reactores nucleares operan con mayor regulación que otras formas de generación eléctrica, lo que se traduce en un bajo registro de accidentes e incidentes en comparación con otras tecnologías.

⁴ Los reactores tipo RBMK (grafito y agua en ebullición), como el que se usaba en la central nuclear de Chernobyl (Ucrania, ex URSS), actualmente se encuentran en vías de extinción.

El avance y la experiencia adquirida e incorporada en los reactores disponibles hoy en el mercado hacen que sean más seguros que los que se ofrecían antes de 2011.



quemado para reducir los residuos- y minimizar a la vez los riesgos de la proliferación de armas nucleares. Algunos diseños apuntan a lograr desempeños de órdenes de magnitud superiores en la utilización de los recursos naturales.

- El OIEA tiene a disposición de sus Estados miembros nuevas metodologías que permiten comparar y evaluar las tecnologías nucleares vigentes y en desarrollo, ajustado a los criterios que cada país considera relevante de acuerdo a su estrategia nacional.
- Las conclusiones de los informes [1; 2], en relación a que la tecnología nuclear convencional es segura, ambientalmente sostenible y competitiva comercialmente, siguen siendo válidas.
- Para continuar con el análisis de esta opción, se recomienda realizar un estudio que abarque las tecnologías nucleares disponibles y las que se espera lo estén en los próximos años, con base en los criterios que permitan comparar y evaluar estas tecnologías, de modo de determinar aquellas que podrían ser convenientes en el caso que el país tome la decisión de iniciar un PNP.

2. Ciclo de Combustible y Desechos

- Los ciclos de combustible convencionales se dividen en dos grandes clases:
 - a) Ciclo abierto. Aquel que descarta el combustible ya usado sin ser procesado y lo destina al final del período a un repositorio definitivo; y,
 - b) Ciclo cerrado. El cual contempla el reprocesamiento del combustible ya usado para separar el uranio remanente -que conforma aproximadamente el 95% del combustible quemado [19]-, el plutonio y ciertos actínidos menores, que también son fisionables.

- En el caso de ciclo abierto, los elementos combustibles gastados son encapsulados en contenedores especiales a fin de ser destinados a un almacenamiento definitivo en un repositorio geológico profundo cuando ello sea necesario. Actualmente, la tecnología permite asegurar que los desechos no entren en contacto con el medioambiente en un plazo del orden de 10.000 años, que es lo que exigen los estándares internacionales para repositorios geológicos profundos. [20]
- Para el caso de ciclo cerrado, el combustible usado se envía a una planta de reproceso para separar sus elementos constituyentes. Sólo los productos de fisión de larga vida y ciertos actínidos, correspondientes al 5% del volumen total, son vitrificados y/o encapsulados como desecho final en contenedores especiales para posteriormente ser destinados a un repositorio geológico profundo. Los demás materiales son reinyectados al ciclo del combustible para ser luego utilizado como nuevo combustible y así extraer más energía.
- Por ser más económico, la mayoría de los países actualmente utiliza el ciclo abierto, si bien algunos como China, Inglaterra, Francia, Rusia o Japón reprocesan o consideran reprocesar el combustible gastado. Otros países, en tanto, mantienen esta opción abierta en caso que a futuro pudiese resultar comercialmente viable.
- Un reactor convencional de agua liviana de 1000MWe produce entre 200-350 m³ de desechos de baja y media actividad al año. Asimismo, genera unos 20 m³ (aprox. 27 toneladas) de combustible quemado al año, el cual es almacenado en piscinas de enfriamiento durante un tiempo promedio de 15 a 20 años. Esto se compara con un volumen de 400 mil toneladas de cenizas que una central a carbón, de potencia equivalente, genera durante el mismo período de tiempo. [21]
- Algunas de las tecnologías actualmente en desarrollo buscan maximizar el uso del combustible nuclear [22], reduciendo a la vez el número de recargas de combustible necesarias durante la vida útil del reactor, disminuyendo de esta forma el volumen de desechos generado y, por ende, el tamaño del lugar de almacenamiento definitivo. Por esta razón, algunos países han postergado la decisión de construir un repositorio geológico profundo.
- Debido a que se trata de una inversión técnicamente postergable, a la fecha ningún país cuenta con un repositorio geológico profundo operativo. No obstante, en la actualidad existen algunos proyectos de este tipo que cuentan con licencia para su construcción (Suecia y Finlandia), están en fase de adopción (Francia) o se encuentran en etapa avanzada de diseño

(Japón) en miras a su materialización a largo plazo.

- Algunos países han planteado la opción de exportar el combustible ya usado al proveedor de este. Sin embargo, a la fecha este planteamiento no se ha materializado, ya que, en su legislación, la mayoría de los países prohíbe la recepción de desechos radiactivos producidos fuera de sus fronteras. Por ello, lo más probable es que cada país deba hacerse cargo de los desechos finales en su propio territorio.
- El estudio sobre ciclo del combustible [8] sobre el cual se basó el informe [2] se enfoca en los ciclos de combustible abierto y cerrado para reactores tradicionales, con énfasis en sus desechos operacionales. Tal estudio debiera ser extendido para agregarle sugerencias acerca de opciones de política estratégica relativas al suministro del combustible nuclear y a la gestión final de los desechos, y para contrastar las ventajas y desafíos de los sistemas nucleares avanzados desde la perspectiva del ciclo.

3. Seguridad Sísmica y otros Riesgos Naturales

- Siendo Chile uno de los países de mayor actividad sísmica del mundo, al momento de tomar una decisión sobre desarrollar un PNP resulta imprescindible considerar el riesgo sísmico. El peligro sísmico está presente en todo el territorio nacional debido a la confluencia de la placa de Nazca con la placa Sudamericana. Este movimiento relativo entre placas, del orden de 10 cm por año, es el que genera sismos en la zona de contacto de Benioff (subductivos o interplaca), en la placa de Nazca que se dobla al penetrar bajo el continente americano (intraplaca), y en la placa Sudamericana (corticales).
- El OIEA cuenta con protocolos para el diseño sísmico de reactores nucleares, los que incluyen estudios geológicos y geosísmicos de las áreas macro y micro sísmicas asociadas al lugar de emplazamiento del reactor, la definición de las solicitaciones a considerar en el diseño y aspectos especiales de diseño por comportamiento. Estas exigencias permiten asegurar el correcto funcionamiento del reactor en caso de sismo severo.
- En nuestro país existe una vasta y exitosa experiencia en diseño sismo-resistente reconocida internacionalmente. En el caso de instalaciones industriales, se aplica la norma NCh2369, basada en el principio de “continuidad de operación”, es decir, en el caso de plantas generadoras de energía eléctrica por ejemplo, éstas deben seguir operando luego de un sismo excepcionalmente severo. Así ocurrió efectivamente en las plantas

Los reactores nucleares tienen exigencias de diseño sísmico superiores a las instalaciones industriales, lo que garantiza su buen comportamiento frente a un evento.

En nuestro país existe una vasta y exitosa experiencia en diseño sísmo-resistente reconocida internacionalmente.

eléctricas de Tocopilla, luego del terremoto de 2007 de magnitud 7.7 Richter que afectó al lugar, con una intensidad de movimiento igual a VII en la escala Mercalli. Lo mismo ocurrió con obras emblemáticas como el Metro de Santiago, que continuó su operación a las pocas horas del terremoto del Maule, de febrero de 2010, que tuvo una intensidad VII Mercalli en gran parte de su recorrido.

- Los reactores nucleares tienen exigencias de diseño sísmico muy superiores a las instalaciones industriales, las cuales, si se siguen en forma estricta, garantizan su buen comportamiento. Además, estos cuentan con sistemas automáticos de apagado al detectar un movimiento sísmico de cierto grado de intensidad.
- El efecto de los movimientos sísmicos sobre las instalaciones de una CNP puede aminorarse mediante la utilización de sistemas de protección sísmica, como aisladores de base y disipadores de energía, de lo cual se tiene experiencia en Chile, pues ya se cuenta con más de 100 estructuras en el territorio que emplean dichos sistema.
- En el ámbito internacional, no se han producido fallas que comprometan la seguridad de reactores nucleares debido a terremotos. La falla de los reactores de Fukushima Daiichi fue consecuencia del tsunami posterior al terremoto, el cual dañó los sistemas de refrigeración de los reactores. Cabe destacar en este sentido el caso de la central nuclear de Onagawa, localizada aún más cerca del epicentro del terremoto de Tohoku, y que resistió sin inconvenientes ambos eventos naturales extremos a pesar de que, según las mediciones, el tsunami en ese lugar alcanzó una altura mayor que en Fukushima Daiichi. [23]
- En el caso del terremoto de Chuetsu, Japón, ocurrido en 2007 y que afectó a la central Kashiwasaki-Kariwa, no se detectaron fallas en el reactor mismo, sino problemas en un transformador externo. En el caso del terremoto de Ji-Ji, Taiwan acontecido el 21 de septiembre de 1999, y que presentó una magnitud 7.6 Richter, los reactores existentes en la zona macro-sísmica se detuvieron automáticamente, sin producirse daño alguno en estos. Por otro lado, los accidentes de Chernobyl, Ucrania (1986) y Three Mile Island, EEUU (1979) se debieron a errores de operación.
- Los tsunamis constituyen un riesgo natural relevante que debe tenerse en consideración si se considera situar el reactor cerca del mar. Este riesgo se puede evitar si se emplaza a una altura suficiente sobre el nivel del mar para que no sea alcanzado por las olas. En el caso de nuestro país, existe en gran parte del territorio una altura suficiente, a corta distancia de la costa, donde se podría instalar un reactor de modo que quede fuera

del alcance de las olas. Sin embargo, deberá considerarse el efecto que pudiera tener el tsunami sobre las obras de toma de agua de mar, en el caso que las hubiere.

- Otros riesgos naturales que deben considerarse son el volcanismo, las inundaciones, los aluviones y los fenómenos de remoción en masa.
- En caso de que el país decidiera implementar un PNP, el Gobierno debería impulsar programas de investigación y preparar profesionales sobre estos temas orientados a su aplicación al diseño de reactores nucleares de potencia.

4. Marco Legislativo Institucional

- Cualquier desarrollo de la energía nuclear debe considerar cinco dimensiones jurídicas para su implementación, cuya jerarquía debe ser respetada. Ellas son: i) la Constitución Política de la República; ii) las leyes orgánicas constitucionales, de quórum calificado y las leyes simples; iii) los tratados internacionales (rango de ley); iv) la potestad reglamentaria (decretos supremos, reglamentos, circulares, etc.); v) y los principios jurídicos del derecho nuclear (softlaw).
- En lo que concierne a la actividad de generación de electricidad, la institucionalidad y el marco regulatorio eléctrico, (Ley General de Electricidad, D.F.L N° 4/2006), son plenamente aplicables a las condiciones de seguridad, a la calidad de servicio eléctrico y a su comercialización. No ocurre lo mismo en materia de la institucionalidad y del marco regulatorio para el desarrollo de la energía nuclear en particular.
- Las dimensiones jurídicas señaladas anteriormente deben ser complementadas con el rol subsidiario del Estado que la Constitución Política de la República reconoce. Este principio tiene, actualmente, plena aplicación en Chile en materia eléctrica, al ser empresas privadas las que generan, transmiten y distribuyen energía.
- Tanto una modificación a la CCHEN de carácter orgánico o la creación de una Agencia de Seguridad Nuclear de naturaleza autónoma, pero de rango legal, requerirá de una ley orgánica constitucional (4/7 de senadores y diputados en ejercicio) para su aprobación, lo que implica un consenso político amplio en el Congreso.
- Para que el Estado participe de esta actividad, éste deberá ser autorizado mediante una ley especial de quórum calificado, lo que implica la mayoría de los diputados y senadores en ejercicio.

La central nuclear de Onagawa, localizada aún más cerca del epicentro del terremoto de Tohoku, resistió sin inconvenientes ambos eventos naturales extremos.

El riesgo de tsunami se puede evitar si se emplaza la central a una altura suficiente sobre el nivel del mar. Sin embargo, deberá considerarse el efecto que pudiera tener el tsunami sobre las obras de toma de agua de mar, en el caso que las hubiere.

- El rol del Estado en materia económica y el principio de subsidiaridad han sido recientemente puestos en duda en el debate público, lo que podría tener consecuencias para un futuro debate nuclear, incidiendo en quién podría desarrollar la GNE a futuro, pudiendo hacerse una excepción al modelo actualmente existente, incorporando al Estado en alguna proporción en cualquiera de las etapas del ciclo nuclear.
- Un instrumento de carácter institucional, inexistente a la fecha en que los primeros informes fueron hechos (2007-2010), es la Evaluación Ambiental Estratégica (EAE), hoy reconocida en la Ley N° 19.300.
- Por medio de este instrumento, que implica coordinación pública y sus respectivas instancias de diseño y aprobación (que incluye un informe ambiental y consulta pública), tendría sentido que una política o PNP pueda ser evaluado mediante una EAE. El someter una política o plan nuclear a este instrumento permitiría legitimar una decisión de esta naturaleza, ello bajo la condición de que el país haya decidido avanzar, previamente, hacia la incorporación de este tipo de energía en su matriz eléctrica.
- Todo lo anterior lleva, al menos en su dimensión nacional, a que sea necesario actualizar el informe realizado anteriormente [9] en estos puntos, lo que también podría ser necesario en otros ámbitos de la legislación eléctrica.

5. Marco Regulatorio

- El marco regulatorio nuclear no ha sido modificado, salvo cambios menores realizados al incorporarse el Ministerio de Energía en el ámbito autorizador. Sin embargo, si existe una nueva institucionalidad ambiental que tendría importantes consecuencias sobre el proceso de autorización, construcción, operación, cierre y fiscalización que cualquier CNP, al menos en el ámbito ambiental, deberá enfrentar.
- En 2010 comenzaron a operar el Ministerio del Medio Ambiente; el Servicio de Evaluación Ambiental; y la Superintendencia de Medio Ambiente. Asimismo, desde el año 2012 se encuentran en funciones los Tribunales Ambientales, por lo que todas las controversias en materia ambiental, que tengan determinadas características y cumplan ciertas condiciones, podrán ser resueltas por esta justicia especializada. Considerando que los reactores y establecimientos nucleares e instalaciones relacionadas deben, de acuerdo al artículo 10 de la Ley N° 19.300, evaluarse ambien-

talmente en conformidad al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, no hay duda que una nueva institucionalidad ambiental configuraría un marco distinto al existente al año 2007-2008.

- Sin perjuicio de esta nueva institucionalidad, los demás aspectos regulatorios están, en general, vigentes, por lo que el marco regulatorio para desarrollar un proyecto de esta envergadura sigue siendo el mismo, pese a los vacíos, aún pendientes desde el punto de vista económico, social y regulatorio/institucional.
- Uno de los principales desafíos identificados son los problemas institucionales y de marco normativo nacional. Existen ciertos principios del derecho nuclear que deben ser cumplidos por cada legislación y que el derecho internacional nuclear reconoce, incluyendo, entre otros, principios como el principio de seguridad y el de responsabilidad, reconocidos en la Ley N° 18.302. Por su parte, el principio autorizatorio genera cierta confusión en nuestro ordenamiento jurídico, al existir más un de órgano de la administración del Estado con funciones para ello, lo que debe ser aclarado.
- Lo mismo ocurre con el principio de independencia del órgano regulador, que tampoco se cumpliría, al carecer hoy, la CCHEN, de la autonomía funcional necesaria. Dado que el país no cuenta actualmente con un organismo regulador nuclear con las características y competencias requeridas para desarrollar un PNP, debe hacerse un esfuerzo legislativo y administrativo para cumplir con algunos de los principios jurídicos mencionados.
- Más allá de desarrollar o no un PNP, debe avanzarse en el desarrollo de una Ley Marco de Protección contra los Riesgos Radiológicos en la que se establezcan los principios fundamentales de la seguridad nuclear, radiológica y física, que permita definir las funciones y responsabilidades del Estado y de los explotadores, como así también las características del organismo regulador nuclear, fijando las áreas de competencia y las relaciones entre las autoridades que lo conforman, entre ellas, autoridad reguladora nuclear, autoridad competente ambiental y autoridad sanitaria.

El país no cuenta actualmente con un organismo regulador nuclear con las características y competencias requeridas para desarrollar un PNP.

La interconexión entre el SIC y el SING proporciona un sistema eléctrico de mayor capacidad que facilita el ingreso de centrales nucleares de mayor potencia.

La interconexión entre el SIC y el SING proporciona un sistema eléctrico de mayor capacidad que facilita el ingreso de una CNP de mayor potencia.



6. Red Eléctrica

- De acuerdo a las prácticas internacionales, se recomienda que una unidad generadora no represente más del 10% de la demanda máxima de la red a la que se encuentre conectada. Esto no constituye una restricción para el sistema eléctrico existente en el país, considerando los reactores nucleares disponibles comercialmente hoy.
- Si bien desde el punto de vista económico una CNP opera como generación de base, las reglas de operación del sistema eléctrico permiten fijar un mínimo técnico. Por este motivo, de existir elementos que lo justifiquen y, respetando las condiciones de competencia, la tecnología nuclear podría asimilar un nivel de operación mínimo en el sistema eléctrico que fuera compatible con sus requerimientos de seguridad.
- La incorporación de una CNP al sistema eléctrico requeriría que este cuente con una red de transmisión segura tanto para recibir la energía generada por la CNP, como para proporcionar a esta la alimentación a sus servicios requeridos para su apagado seguro.
- Existe la posibilidad de incorporar automatismos en el sistema de transmisión que permitan configurarlo en zonas de generación/consumo aisladas entre sí (operación en isla) para así evitar el corte general de suministro eléctrico ante fallas sistémicas que pudiesen producirse, por ejemplo, en el caso de una catástrofe natural.
- Las regulaciones vigentes prevén la planificación de la Expansión del Sistema Troncal de Transmisión que acompañará el plan esperado de expansión de la generación a 20 años plazo. Dentro de esta planificación se

prevé que el sistema cuente con holguras para admitir variaciones tanto en la demanda eléctrica como en el plan de incorporación de nuevas centrales.

- Por otro lado, la interconexión entre el SIC y el SING proporciona un sistema eléctrico de mayor capacidad que facilita el ingreso de centrales nucleares de mayor potencia, en caso que ello resultara económicamente más conveniente.
- Se requiere sin embargo realizar un análisis del comportamiento de la red eléctrica, para verificar aspectos tales como robustez y operatividad del sistema al momento del ingreso y salida de una CNP, de modo de velar por la seguridad y calidad de servicio de la red y la seguridad de la central.
- El aspecto clave para evaluar la viabilidad técnica de que el sistema eléctrico admita la incorporación de una CNP en las condiciones de seguridad requeridas, es verificar si las reglas para desarrollar la red eléctrica son suficientes para planificar una red adecuada para una CNP.
- Dentro de las exigencias regulatorias aplicables a la red de transmisión eléctrica, se deberán incluir en su momento los requerimientos de seguridad de ésta, los cuales deberán, a su vez, adaptarse a las condiciones de seguridad de una CNP.
- La tecnología nuclear puede contribuir al desarrollo de la energía renovable, compensando las desventajas de una generación intermitente y de la operación a plena carga de los reactores, mediante su integración en sistemas de tecnología híbrida, para crear ventajas económicas y termodinámicas frente a futuras demandas variables de electricidad, mejorando la seguridad, sostenibilidad y costos del sistema eléctrico nacional.

7. Aspectos Económicos

- El modelo para el desarrollo de la generación de electricidad vigente en el país considera un mercado con regulaciones que propenden a la competencia, y en el cual las tecnologías más convenientes económicamente son incorporadas al sistema eléctrico para satisfacer la demanda eléctrica, toda vez que se han cumplido las exigencias técnicas y ambientales y se ha obtenido la aceptación de las comunidades locales afectadas por los proyectos.
- Debido a lo que se presume es una consideración más amplia de los aspectos sociales y ambientales de la energía, y sumado a un mayor empoderamiento de la ciudadanía, durante la última década se ha desarrollado en

La tecnología nuclear puede contribuir al desarrollo de la energía renovable, compensando las desventajas de una generación intermitente mediante su integración en sistemas de tecnología híbrida.

La CNP competiría con otro tipo proyectos de generación de base como son las centrales a carbón, las centrales a gas natural y los grandes proyectos hidroeléctricos factibles de desarrollar.

el país una creciente oposición social - tanto a nivel local como nacional - frente a los proyectos energéticos. Esta situación se ha traducido en algunos casos en la paralización y cancelación de proyectos, o bien en el aumento de los costos de aquellos que logran materializarse.

- De acuerdo a la experiencia internacional, las CNPs son competitivas frente a tecnologías térmicas convencionales.
- En principio, bajo las actuales reglas del mercado eléctrico, una CNP debiera poder incorporarse a la red eléctrica en caso de que resultara factible desde el punto de vista técnico, económico y financiero, siempre y cuando se cumpla con la legislación ambiental y se cuente con la aceptación social.
- La CNP competiría con otro tipo proyectos de generación de base como son las centrales a carbón, las centrales a gas natural y los grandes proyectos hidroeléctricos factibles de desarrollar. A largo plazo, serán estos proyectos de generación de base los que marcarán los precios estabilizados de la electricidad.
- Una forma de comparar la competitividad de la GNE con proyectos alternativos térmicos, como son las centrales a carbón o a gas natural, es a través de los costos nivelados de generación (levelized costs). La Agencia Internacional de Energía⁵ estima el costo nivelado de la GNE en 100 US\$/MWh en Estados Unidos y en 110 US\$/MWh en la Unión Europea; para centrales a carbón, sin captura de CO₂, la estimación de la AIE es de 97 US\$/MWh en Estados Unidos y 95 US\$/MWh en la Unión Europea; para la generación de centrales de ciclo combinado con gas natural, la estimación del costo nivelado de generación es de 95 US\$/MWh tanto en Estados Unidos como en la Unión Europea. Es importante recalcar que estas cifras podrán variar en una u otra dirección dependiendo de las características del país donde se emplacen las centrales, de la tasa de descuento utilizada y de las distintas políticas energéticas que se puedan adoptar.
- La factibilidad económica de una CNP dependerá también de la competitividad de las tecnologías alternativas, las cuales pueden verse afectadas por aspectos como el cambio climático y su efecto en la hidroelectricidad, la posibilidad de seguir desarrollando centrales a carbón y GNL sin

5 Ver Ref. [14] Pág. 371. En las estimaciones de costo nivelado de energía señaladas la agencia considera precios de carbón y gas natural de 90 US\$/Ton y 10 US\$/MBtu, respectivamente, en Estados Unidos, y de 80 US\$/Ton y 9 US\$/MBtu, respectivamente, en la Unión Europea. El impuesto considerado para las emisiones de CO₂ fue 30 US\$/ton.

captura de CO₂, o bien considerando los efectos que una eventual alza del impuesto a emisiones de CO₂ tendría en el costo de desarrollo de centrales a carbón y a gas natural⁶. También incidirán los costos de desarrollar proyectos ERNC de alto factor de planta, tales como termo solar, solar fotovoltaica más central hidroeléctrica de bombeo y geotermia.

- Considerando los plazos estimados para desarrollar un PNP, las variables que intervienen en la evaluación económica de una CNP deben proyectarse considerando un horizonte de al menos 15 años. La evaluación económica de una CNP debe ser un ejercicio periódico basado en escenarios proyectados en el largo plazo.
- Si bien las condiciones sísmicas del país agregarían costos adicionales en seguridad a una CNP, la experiencia internacional muestra que la principal componente del costo total de una CNP corresponde al costo de capital, por lo cual en la evaluación económica el estudio del costo financiero constituye un aspecto clave.
- Un aspecto relevante que debe analizarse en la Fase 1 preparatoria para un PNP, es el tipo y tamaño del reactor, considerando las economías de escala de los reactores de alta potencia versus la mayor modularidad y de reactores más pequeños.⁷
- En cuanto a la operación de una CNP en el sistema eléctrico, dado su costo variable menor que el de las térmicas más baratas, esta sería despachada en base y después de las hidroeléctricas y las ERNCs. En caso de que estas últimas tendieran a desplazar a la CNP, esta se colocaría en el mínimo técnico a definir por el propietario en base a las características de la central. En consecuencia, no se visualizan dificultades para la operación de una CNP en el sistema eléctrico en relación a la necesidad de que funcione sin variaciones importantes en sus niveles de generación.
- Los estudios realizados durante 2008-2010, que dieron origen al informe [2], demostraban la conveniencia desde el punto de vista económico de desarrollar un PNP con 5 reactores de 1.100 MWe a ser instalados entre 2024 y 2035 (bajo el supuesto de incluir HidroAysen antes de 2020). Bajo las actuales condiciones de desarrollo de la demanda y oferta de gene-

6 Ver Ref. [14] Pág. 4. El impuesto a las emisiones de CO₂ en Chile es de 5 US\$/ton. Para el año 2020 la Agencia Internacional de Energía pronostica el valor del impuesto a las emisiones de CO₂ en 7US\$/ton en Chile y 20 US\$/ton en la Unión Europea y en Estados Unidos.

7 Ver Ref. [32]. Milestones in the Development of a National Infrastructure for Nuclear Power, IAEA, 2007

ración eléctrica, y considerando que se requerirían unos 15 años para el desarrollo seguro de una primera CNP, su incorporación no sería antes del 2030. Los estudios de evaluación que se debiesen realizar durante una primera fase de evaluación de un PNP - y una vez cerradas las brechas respecto de los riesgos sísmicos y sus efectos sobre los costos de construir una CNP- permitirán realizar un pronóstico de la fecha en que la incorporación de una primera unidad resultaría económicamente conveniente.

- Es esperable que la demanda eléctrica en Chile continúe creciendo, empujada por factores tales como el crecimiento económico, la incorporación de sectores sociales postergados al consumo, la necesidad de electrificar importantes sectores como el transporte, el aumento de los sistemas inteligentes y la disminución del uso de la leña, entre otros. Cuánto de este crecimiento podrá ser absorbido por un aumento en eficiencia y ahorro energético está por verse, si bien la experiencia internacional muestra que las políticas de reducción del consumo energético resultan más eficaces en aquellas sociedades que cuentan con mayores niveles de desarrollo y bienestar, donde las necesidades básicas de la mayor parte de la población están ya cubiertas, y cuyo consumo de energía per cápita es mucho mayor que el de nuestro país.

8. Aspectos Ambientales

- El impacto ambiental de una CNP se manifiesta en tres niveles: el sitio y su entorno inmediato⁸, el área de influencia directa, y la escala global o planetaria. En relación a este aspecto, resulta fundamental destacar la diferencia entre los impactos bajo condiciones normales de operación de la CNP y aquellos derivados de situaciones extraordinarias.
- Si se considera el ciclo de vida completo de una CNP, es posible categorizar los impactos ambientales según estos se produzcan durante la fase de construcción, operación o cierre.
- Los impactos ambientales en fase de construcción de una CNP no difieren de los de cualquier otro proyecto de generación eléctrica de gran envergadura, y normalmente son de baja significancia, transitorios y mitigables y requieren de medidas similares. Los impactos derivados de las fases de operación y cierre de la CNP, por el contrario, son específicos de este tipo de proyectos y están sujetos a una estricta regulación.
- En fase de operación, una CNP no emite gases de efecto invernadero. No obstante, se produce un incremento en la temperatura a nivel local, tanto

⁸ Los impactos a nivel de sitio están determinados principalmente por las características ambientales del lugar de emplazamiento, particularmente la vulnerabilidad de los componentes ambientales y su condición basal.

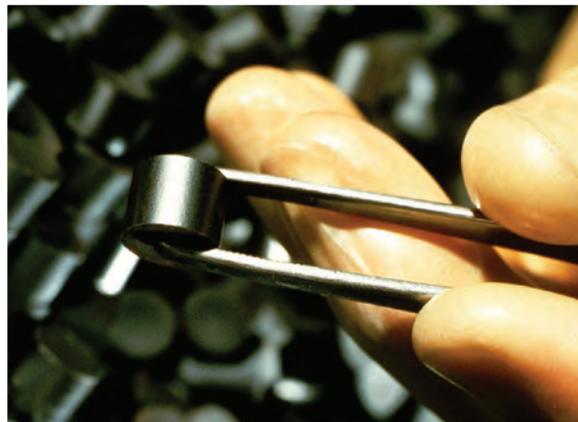
del aire a través del vapor de agua que emana de las torres de enfriamiento, así como también del cuerpo de agua receptor a través de la descarga del agua utilizada para enfriar el reactor.

- Con una demanda de suelo de 1.200 m²/GWh/año, la GNE es eficiente en el uso del espacio si se le compara con otras fuentes de generación eléctrica como son la biomasa (4.600), la solar fotovoltaica (7.500), o la hidráulica de embalse (200.000), ya que requiere menor superficie de terreno para generar la misma potencia eléctrica.⁹
- Bajo condiciones normales de operación, los niveles de radiación en los alrededores de una CNP durante su operación son bajos e incluso menores que los que se detectan en las inmediaciones de una central a carbón¹⁰, debido a las sustancias radiactivas contenidas en las cenizas que generan estas últimas. [24]
- Por otra parte, podría existir potencial impacto positivo sobre la salud de los habitantes de los centros poblados que tendría un eventual reemplazo tanto de la biomasa como fuente de calefacción domiciliaria, como así también de los vehículos a combustible -y la contaminación atmosférica asociada a ambos- por sistemas de calefacción y transporte en base a energía eléctrica generada a partir de fuentes no contaminantes, como es el caso de la GNE.

9 <http://thebreakthrough.org/index.php/programs/energy-and-climate/nuclear-has-one-of-the-smallest-footprints>

10 Ver Ref.[43] Gerry Thomas. Health effects of nuclear accidents - Providing facts not fiction (2013)

La factibilidad económica de una CNP dependerá también de la competitividad de las tecnologías alternativas.



Si se considera el ciclo de vida completo de una CNP, su huella de carbono es comparable a las de tecnologías eólicas y de generación hidroeléctrica.

- Si se considera el ciclo de vida completo de una CNP, su huella de carbono es comparable a las de tecnologías eólicas y de generación hidroeléctrica, fundamentalmente debido al proceso de extracción de uranio y fabricación de elementos combustibles para la central.
- El más significativo de los potenciales impactos ambientales de una CNP tiene relación con la posibilidad de contaminación radiactiva, lo cual se da bajo condiciones excepcionales, como es el caso de un accidente. La magnitud de este tipo de impacto dependerá de las características propias del entorno en cual se sitúe la CNP, así como también del tipo de accidente.
- Bajo condiciones normales, los impactos más relevantes durante la fase de operación de una CNP se dan sobre la economía, el sistema urbano regional, la funcionalidad, y la imagen del territorio en el cual esta se emplaza.
- En tal sentido, los impactos sobre los componentes socioeconómicos y funcionales del territorio son comparables en magnitud a los que generaría una planta de celulosa o una mina de considerable tamaño.¹¹ Al respecto, existen experiencias a nivel nacional e internacional que han sido estudiadas y otras que podrían ser analizadas a fin de determinar los impactos territoriales esperables. [1]
- Otro aspecto ambiental significativo de la GNE se da en el marco de los compromisos establecidos por los países en miras a lograr un acuerdo global para la reducir las emisiones a la atmósfera de GEI, en particular el CO₂. En este contexto, existe consenso en que cualquier esfuerzo por 'descarbonizar' la economía global requiere de una matriz energética baja en emisiones de CO₂.
- Al tratarse de una fuente de generación eléctrica baja en emisiones de CO₂ -lo cual la distingue respecto de otras formas de generación de energía de base como el carbón o el gas-, la GNE ha sido reconocida como una de las principales medidas sobre las cuales se sustentan sus compromisos de reducción de emisiones de CO₂. Según informe de la AIE, "se calcula que la energía nuclear ha evitado la emisión de unas 56 gigatoneladas de CO₂ desde 1971, o el equivalente de casi dos años de emisiones mundiales totales al ritmo actual". [14]

¹¹ Una CNP genera entre 1.400 y 2.400 puestos de trabajo durante su fase de construcción, y alrededor de 700 empleos permanentes en su fase de operación, los cuales se suman a un número equivalente de empleos adicionales generados a nivel local a fin de proveer de bienes y servicios a la CNP. (Nuclear Energy Institute [NEI], 'New Nuclear Plants: An Engine for Job Creation, Economic Growth'.)

- Tanto la inclusión como la exclusión de la GNE en la matriz eléctrica generan impacto ambiental. De este modo, si el país opta por incorporar la GNE como fuente energética, ciertos impactos se derivarán de su construcción, operación y cierre. Si, por el contrario, se descarta GNE, deberán emplearse otras formas de generación de electricidad, las que a su vez generarán sus propios impactos ambientales. En consecuencia, al momento de analizar el impacto ambiental de la GNE resulta fundamental considerar los impactos de la generación eléctrica de base alternativa a la GNE.

9. Lecciones de Fukushima en la respuesta ante emergencias

- El informe encargado por el Parlamento de Japón sobre el accidente en Fukushima Daiichi afirma que este “fue resultado de una colusión entre el Gobierno, los reguladores y TEPCO y la falta de gobernanza entre ellos”. [25] Este informe afirma además que el accidente no puede ser considerado como un desastre natural, sino que como un accidente producido por errores humanos que deberían haber sido previstos y evitados.
- El accidente podría haberse evitado si el operador hubiese sido diligente en seguir las recomendaciones internacionales, el órgano regulador hubiese sido más firme en su función fiscalizadora y el Gobierno más activo en su rol de conductor. Según este informe, las raíces de estas conductas se encuentran profundamente asentadas en la cultura nacional de ese país, de modo que si otros japoneses hubiesen estado en el lugar de los responsables del accidente, el resultado bien podría haber sido el mismo. [25]
- Como consecuencia del accidente, se produjo liberación de sustancias radiactivas, principalmente Yodo-131 y Cesio-137, lo cual fue manejado por las autoridades de Japón distribuyendo pastillas o jarabe de yodo para consumir en caso de ser necesario, y evacuando la población en una extensa zona. [26]
- No obstante lo anterior, gran parte de la afectación a la salud de la población se atribuye a hechos posteriores al evento y tienen relación con las medidas tomadas por el gobierno tanto a nivel local, regional como nacional como respuesta a la emergencia y la manera en como éstas afectaron a la población.
- En efecto, el reporte de UNSCEAR de 2013 revela el impacto negativo que

“Se calcula que la energía nuclear ha evitado la emisión de unas 56 gigatoneladas de CO₂ desde 1971, o el equivalente de casi dos años de emisiones mundiales totales al ritmo actual”.

(Informe AIE, 2014)

las medidas de evacuación y albergue forzado de la población han tenido en la salud y convivencia de las personas movilizadas desde la zona de exclusión, las cuales han generado daños incluso mayores a las causadas directamente por el accidente nuclear. [27]

- En tal sentido, se considera que la evacuación prolongada de alrededor de 200.000 personas, sumada a la destrucción de las comunidades, la falta de atención adecuada, las pérdidas económicas, y el estrés en la población, entre otros factores, han generado una seria crisis humanitaria y sanitaria.
- La experiencia internacional sobre accidentes ocurridos con anterioridad a Fukushima Daiichi indica que los niveles de radiación definidos como mínimos aceptables por la autoridad sanitaria son injustificadamente bajos y que esto ha prolongado innecesariamente la evacuación forzada. En este sentido, la actual crisis humanitaria constituye el peligro mayor, dado que los efectos psicológicos producidos por el miedo a la radiación superan ampliamente a los impactos reales de ésta.
- Los esfuerzos para lograr el retorno de la población y la reconstrucción social y económica de la zona afectada por el accidente se ven menoscabados por la desconfianza existente entre la población evacuada respecto a las medidas adoptadas para la descontaminación. Lo anterior es a su vez agravado por la imagen externa que se ha construido y que habla de un terreno irrecuperable en lo ambiental y en lo productivo.
- El OIEA tiene entre sus funciones la evaluación de las potenciales consecuencias de las emergencias nucleares y su posible progresión, así como también la provisión de asistencia en la respuesta a emergencias ante la solicitud de algún país. En este contexto, existe un marco para la preparación y respuesta a emergencias nucleares y radiológicas en conformidad con la Convención sobre la Pronta Notificación de Accidentes Nucleares y la Convención sobre Asistencia en Caso de Accidente Nuclear o Emergencia Radiológica - ambas suscritas por Chile - bajo la coordinación del Centro de Incidentes y Emergencias (IEC), el cual es el encargado de la coordinación mundial para reparación y respuesta ante esta clase de eventos.
- La experiencia de Fukushima Daiichi es relevante para Chile en dos aristas: por un lado, aporta antecedentes a la discusión sobre la factibilidad de incorporar la GNE en la matriz energética y, por otro, presenta un caso relevante para la evaluación de la fortaleza y/o vulnerabilidad del actual Sistema Nacional de Emergencia y Protección Civil y su capacidad de enfrentar un contexto de múltiples amenazas tanto de origen natural como antrópico.

El informe encargado por el Parlamento de Japón sobre el accidente en Fukushima Daiichi afirma que este “fue resultado de una colusión entre el Gobierno, los reguladores y TEPCO y la falta de gobernanza entre ellos”.

- En Chile, el Sistema Nacional de Emergencia y Protección Civil es la instancia que coordina todas las acciones para atender emergencias naturales e inducidas por la acción humana. La coordinación general está a cargo de la Oficina Nacional de Emergencias (ONEMI) entidad que depende del Ministerio del Interior y Seguridad Pública.
- A nivel nacional existe un arreglo de competencias institucionales, a partir del cual se constituirá el Sistema Nacional de Emergencias Radiológicas, encargado de la coordinación de la preparación y atención de una emergencia nuclear o radiológica proporcional con el actual tipo de instalaciones nucleares y radiactivas existentes en el país.
- Existe hoy un convencimiento transversal respecto a que es necesaria una mirada que vaya más allá de la respuesta al daño, y que se debe adoptar una manera de pensar y actuar sustentada en una base institucional y cultural a nivel nacional, regional y local que permita construir comunidades más resilientes que puedan enfrentar de mejor manera los desastres provocados por amenazas de cualquier origen. Un sistema basado en la suma de todas las capacidades disponibles al momento de un desastre puede asegurar una mejor contención de los efectos adversos que surjan, independientemente de la fuente de donde estos provengan¹².
- En esta línea, es recomendable que en Chile se realice un análisis más profundo a lo sucedido en Fukushima Daiichi, de manera de recabar información y experiencias que permitan construir una opinión informada en cuanto a las respuestas ante posibles emergencias que aporte a una discusión nacional en torno a la opción de incorporar la GNE en nuestra matriz energética.¹³

¹² Hoy se encuentra en proceso de discusión en el Congreso Nacional un nuevo marco institucional que pone el énfasis en la Gestión del Riesgo como pilar fundamental para responder mejor a las futuras emergencias y desastres. Esta iniciativa propone la implementación de un nuevo Sistema Nacional de Gestión del Riesgo y Emergencias, el cual deberá ser capaz de enfrentar estas amenazas de manera más robusta y con mayores recursos y capacidades.

¹³ Actualmente, el Gobierno de Chile mantiene estrechos vínculos con el Gobierno de Japón a raíz del terremoto de Tohoku a partir de proyectos de cooperación científica y técnica en el área de tsunamis, desarrollo comunitario y salud mental. Gracias a estas iniciativas ha sido posible acercarse y conocer la experiencia japonesa vivida tras el desastre, incorporando a nivel gubernamental, académico y científico una serie de nuevos conocimientos, tecnologías y prácticas para fortalecer nuestra capacidad nacional de enfrentar futuros desastres.

El reporte de UNSCEAR de 2013 revela el impacto negativo que las medidas de evacuación y albergue forzado de la población han tenido en la salud y convivencia de las personas movilizadas desde la zona de exclusión, las cuales han generado daños incluso mayores a las causadas directamente por el accidente nuclear.

El país cuenta con las capacidades técnicas necesarias para definir criterios y metodologías que permitan generar información para la toma de decisiones acerca del emplazamiento de CNPs.

10. Localización de CNPs

- Por lo general, los criterios de emplazamiento de una CNP se establecen en función de las condiciones geográficas que permitan garantizar, en primer lugar, la capacidad de operar el reactor y, en segundo lugar, las condiciones mínimas de seguridad y salvaguarda para la población y el territorio en torno a la CNP.
- Si bien el OIEA provee directrices generales para el emplazamiento de CNPs basadas en la vasta experiencia internacional en esta materia¹⁴, para un emplazamiento efectivo se deben considerar, además, la realidad, contexto y características propias de cada país.
- Cabe señalar que el país cuenta con las capacidades técnicas necesarias para definir criterios y metodologías que permitan generar información para la toma de decisiones acerca del emplazamiento de CNPs.¹⁵ [28]
- Una decisión sobre emplazamiento requiere de información espacial de detalle, así como también de datos precisos acerca de las variables sociales, económicas y ambientales, y su comportamiento con base en distintos escenarios.
- Si bien hoy no se cuenta con información espacial a una escala óptima para la totalidad del territorio nacional, sí están instaladas las capacidades para generar la información en la calidad y cantidad necesarias para tomar decisiones en materia de emplazamiento de una CNP.
- A partir de la información espacial actualmente disponible para el territorio nacional, es posible realizar un análisis preliminar de emplazamiento a nivel regional.
- En un análisis preliminar de la factibilidad y/o conveniencia de instalar una CNP en Chile, una de las primeras interrogantes a responder es si acaso existe en el país alguna condición territorial o ambiental crítica que constituya un impedimento insalvable para el emplazamiento de una CNP.¹⁶

14 Ver Ref. [46] IAEA, 2012, 'Managing Siting Activities for Nuclear Power Plants'.

15 En el informe [2] se afirma que existe en el país las capacidades profesionales y científicas necesarias para tomar una decisión de este tipo. No obstante, existen ciertas áreas de conocimiento que requieren ser desarrolladas para aportar en este tipo de decisiones, no sólo en el caso de la GNE, sino de cualquier mega-proyecto estratégico.

16 De existir una limitante ambiental crítica insalvable, o cuya mitigación fuese inviable económicamente, la GNE quedaría descartada.

- Dado que a la fecha no existe evidencia sobre la existencia de limitantes críticas que afecten a la totalidad del territorio nacional¹⁷, ni información que permita descartar el emplazamiento de una CNP sobre este, es probable que en Chile sí sea posible encontrar lugares aptos para estos fines. Por estos motivos, en la fase preliminar de análisis de la factibilidad de la GNE es posible trabajar bajo la premisa de que no existen en el país impedimentos territoriales para la instalación de una CNP.
- Respecto a la normativa territorial, no existen en el país instrumentos de política que contengan lineamientos específicos sobre esta materia.
- No obstante y en estricto rigor, la zonificación y usos de suelo estipulados incluso en los instrumentos de planificación territorial de carácter vinculante pueden ser considerados elementos no determinantes en la localización, dado que estos pueden ser modificados en caso que sea necesario.
- Antes de iniciar una discusión acerca de la localización óptima de una CNP es necesario definir un mecanismo que establezca el procedimiento y los criterios a considerar en la selección del sitio de emplazamiento de una CNP. Esto incluye crear un marco institucional y regulatorio que guíe el proceso de selección. En este sentido, cabe señalar que actualmente se carece de tal estructura para apoyar un proceso de toma de decisiones de este tipo.
- Al tratarse de un aspecto clave para la seguridad de las personas y el ambiente, al momento de tomar una decisión respecto a la localización de una CNP los aspectos técnicos debiesen constituir el principal factor a considerar, y primar por sobre cualquier factor de índole político o económico.

11. Opinión Pública

- La aceptación pública es uno de los aspectos más complejos en la implementación de un PNP.
- La energía nuclear es percibida negativamente por la población, tanto por la imagen asociada a su utilización en armas nucleares, como por el desconocimiento sobre el efecto real de las radiaciones ionizantes en la salud. Errores comunes son, por ejemplo, la creencia que un reactor puede explotar como una bomba atómica, que una central nuclear en operación normal emite radiaciones ionizantes a su entorno o que en un accidente nuclear se producen centenares o miles de víctimas fatales.
- Parte de la dificultad de comprensión radica en la complejidad de los

¹⁷ El informe [1] señala que en Chile condiciones tales como la diversidad geográfica, el extenso litoral y a la existencia de grandes extensiones de territorio con baja densidad de población resultan favorables para el emplazamiento de una CNP, al tiempo que las características sísmicas del territorio no constituyen limitantes insalvables.

El desconocimiento sobre la energía nuclear, unida a esta percepción de riesgo que a menudo no se sustenta en la realidad, produce fuertes reacciones emocionales, lo que modifica fácilmente la opinión en base del temor.

procesos físicos que permiten la utilización de la energía de fisión para la GNE, lo que agrega el miedo a lo desconocido a la imagen de destrucción instalada desde los tiempos que la tecnología fuera concebida para fines bélicos.

- El desconocimiento sobre la energía nuclear, unida a esta percepción de riesgo que a menudo no se sustenta en la realidad, produce fuertes reacciones emocionales, lo que modifica fácilmente la opinión en base del temor. Esto dificulta abrir un debate público informado y basado en información objetiva que permita tomar decisiones de manera racional.
- La volatilidad de la opinión pública ante eventos imprevistos dificulta la toma de decisiones de largo plazo y que requieren de un consenso perdurable, como es el caso de un PNP. Esto resalta la necesidad de reforzar la confianza de la ciudadanía hacia las autoridades, instituciones y capacidades nacionales, la cual en diversas ocasiones suele verse afectada.
- De acuerdo al estudio de opinión pública [13], una gran parte de la ciudadanía encuestada se mostraba contraria a un PNP. Por otra parte, en el mismo estudio se indica que una fracción importante de esta mayoría estaría dispuesta a cambiar de opinión de ser presentados argumentos convincentes provenientes de instituciones tales como universidades, centros de estudios y academia en general.
- Luego del accidente en Fukushima Daiichi, a nivel nacional la percepción pública parecería estar dominada por un convencimiento de que el debate sobre la GNE “está cerrado” o que de reabrirse, esto ocurriría en un tiempo muy lejano.
- Es responsabilidad del Estado crear las instancias que permitan generar la información requerida, ponerla a disposición de las personas y promover su discusión. Es recomendable además, que la conducción de este debate incorpore aquellos actores que presentan mayor credibilidad para los ciudadanos.
- Esta tarea requiere de un trabajo estable que recoja las inquietudes de todos los sectores de la sociedad, de modo que puedan ser incorporados en un proceso transparente y participativo.

12. Recursos Humanos

- La adopción de un PNP en un país requiere contar con una masa crítica de personas calificadas, concentrada en diferentes empresas (operadores, mantenedores, intermediarios, fabricantes, servicios, etc.) y organizaciones (instituciones pertinentes del Estado, reguladores, fiscalizadores, universidades, institutos técnicos, etc.), que permitan desarrollar un sector nuclear equilibrado y coherente y, al mismo tiempo, capaz de relacionarse con los actores competentes externos.
- El tamaño de esta masa crítica debiese ir en aumento en la medida que se va desarrollando el PNP, comenzando con un reducido núcleo de personas en las etapas iniciales para posteriormente ir creciendo en las siguientes etapas de desarrollo, hasta estabilizarse cuando alcance el equilibrio deseado, el cual dependerá de la profundidad de la participación nacional en la industria nuclear.¹⁸
- De igual modo, el nivel de formación suele ser acorde al estado de desarrollo del PNP; más estratégico y generalista en sus inicios, y más técnico y específico a partir del inicio de la construcción, pero siempre operando en concordancia con las exigencias de calidad que impone la tecnología. Las personas se pueden formar en el extranjero o en el país, desarrollando capacidades sostenibles en el tiempo.
- De igual modo se requiere de una masa dispersa de personas con conocimientos mínimos de la tecnología nuclear y que sean capaces de discutir de manera informada en los diferentes entornos y planos de la sociedad.
- Las disciplinas básicas necesarias para desarrollar el sector nuclear y que ya están instaladas en el país son las ingenierías, economías y ciencias de amplio espectro tradicionales. Las disciplinas especiales adicionales que se requieren y que sería necesario potenciar son sobre todo la ciencia e ingeniería nuclear y la seguridad nuclear. En este sentido, existen actualmente en el país universidades que imparten cursos generales, diplomas y grados relacionados a la GNE y que además exhiben condiciones para adaptarse a las crecientes exigencias que se presentan en esta materia.
- Adicionalmente, para implementar con éxito un PNP se requiere de un liderazgo significativo, gran capacidad de gestión global y competencias específicas de gestión de proyectos.
- El OIEA recomienda que el primer paso en miras a desarrollar un PNP sea la conformación por parte del Gobierno de un grupo para estudiar la conveniencia y viabilidad de embarcarse en un programa de este tipo.
- Para desarrollar las fases iniciales se requiere contar con un núcleo es-

Las disciplinas especiales adicionales que se requieren y que sería necesario potenciar son sobre todo la ciencia e ingeniería nuclear y la seguridad nuclear.

¹⁸ Nuclear Energy Institute (NEI). 'New Nuclear Plants: An Engine for Job Creation, Economic Growth'.

table de alrededor de 30 personas que posean cierta profundidad de conocimientos en las disciplinas claves de la GNE y áreas afines. El OIEA recomienda la formación de un grupo denominado como Nuclear Energy Programme Implementation Organization (NEPIO), que es el encargado de coordinar el trabajo interno, supervisar el proceso de autoevaluación y establecer la infraestructura nacional necesaria para implementar un eventual programa. El NEPIO es además el responsable de las relaciones con los agentes internacionales y de preparar el camino para las fases siguientes del PNP.

13. Aspectos Estratégicos

- El rol de la energía en las sociedades modernas es esencial y estratégico, y su disponibilidad determina gran parte del funcionamiento de éstas. Por tanto, la adecuada provisión y acceso a ella resulta fundamental. Esta percepción existente desde hace décadas, se ha visto reforzada por el surgimiento de conflictos globales, muchos de ellos centrados en áreas geográficas de abastecimiento energético, así como también por los conflictos regionales que dificultan la operación segura de las redes de distribución de las fuentes de energía, en especial los gasoductos.
- En tal sentido, los países avanzan de manera decidida en pos de alcanzar la soberanía energética dada la estabilidad económica y la mejor posición

En nuestro país la falta de conocimiento limita la libertad para tomar una decisión amplia, informada y responsable sobre esta materia.



estratégica que esta otorga, buscando a la vez evitar los altos costos, la pérdida de competitividad, la debilidad en las negociaciones internacionales y el riesgo para el desarrollo de los países que la escasez de esta representa. Por estos motivos, la energía es considerada hoy un recurso estratégico y de seguridad nacional.

- Los escenarios energéticos que se proyectan para nuestro país dan cuenta de una estrechez energética en el mediano plazo (2025) y la urgente necesidad de definir escenarios de largo plazo (2050). Lo anterior, sumado a las cada vez más continuas variaciones climáticas, generan un contexto cambiante que hace necesaria la ampliación y diversificación de la matriz como una prioridad estratégica de primer orden para el país.
- En consecuencia, y a fin de garantizar el suministro necesario de energía, parece prudente incluir en la planificación de escenarios todas aquellas fuentes de generación posibles.
- A nivel internacional, luego del accidente de Fukushima Daiichi algunos gobiernos anunciaron el cierre de CNPs, moratorias de nuevos proyectos y término anticipado de operaciones en la industria nuclear. Sin embargo, la gran mayoría de los países ha continuado con sus planes de forma inalterada, ya sea de expansión o de inicio de un programa nuclear por primera vez.¹⁹
- Nuestro país se encuentra en un proceso de cambio de paradigma sobre el rol del Estado en los asuntos energéticos, en el sentido de otorgarle a este un rol activo que permita conciliar los objetivos energéticos y de competitividad con los de seguridad y sustentabilidad. Dichas ideas están planteadas en la Agenda de Energía del Gobierno.
- En tal sentido, el Estado debería promover y conducir una discusión informada en cuanto a los posibles escenarios energéticos de largo plazo, considerando todas las opciones disponibles, incluyendo la GNE.
- En nuestro país la falta de conocimiento limita la libertad para tomar una decisión amplia, informada y responsable sobre esta materia.
- En América Latina, la energía nuclear es hoy un componente activo de la matriz eléctrica de Argentina, Brasil y México. Por su parte, Bolivia ha anunciado su interés en avanzar hacia la construcción de un primer reactor nuclear, declaración que, más allá de su factibilidad real en tiempos razonables, amplía el espacio de aceptación de la GNE en la región.
- Geopolíticamente la decisión sobre avanzar en el estudio y análisis de la GNE, independiente de su adopción, posicionaría al país en una red de colaboración científico-tecnológica y lo situaría en un contexto de flujos de

La decisión sobre incorporar la GNE debe ser el resultado de un proceso transparente y democrático, basado en una política explícita, clara, y fundada que se haga cargo de la responsabilidad de Estado de mantener todas las opciones técnicas abiertas.

¹⁹ De los 31 países que actualmente tienen CNPs, sólo Alemania, Suiza, Bélgica y España han anunciado una política de cierre de centrales o no construcción de nuevos proyectos. Véase Ref. [16]. International Status and Prospects for Nuclear Power 2014, Board of Governors General Conference, IAEA, 2014.

El desarrollo de un PNP abre la puerta a un desarrollo científico y tecnológico que va más allá de la GNE, y que le permitiría al país insertarse en la investigación de frontera.

- información que le permitiría estar preparado para tomar las decisiones que estime convenientes en horizontes de tiempo razonables.
- En el marco de los tratados, convenios y salvaguardias que Chile ha ratificado, nuestro país debe dejar en claro que cualquier decisión en este campo se dará dentro del marco del OIEA. Lo anterior no obsta a que, de ser necesario, las fórmulas específicas de organización que se dé el país para avanzar en el tema, puedan ser adaptadas a nuestra realidad y decisiones de política.
 - La decisión sobre incorporar la GNE debe ser el resultado de un proceso transparente y democrático, basado en una política explícita, clara, y fundada que se haga cargo de la responsabilidad de Estado de mantener todas las opciones técnicas abiertas en su planificación energética estratégica de largo plazo. Todo este proceso, cualquiera sea su resultado final, debiera representar un ejemplo de decisión democrática e informada.
 - Es importante considerar que la utilización de la energía nuclear puede ir más allá del sector eléctrico, abarcando sistemas que incorporen cogeneración, así como desalinización y producción de combustibles sintéticos incluyendo el hidrógeno, mejorando así la seguridad del sistema energético nacional. Asimismo, las características de operación y estabilidad de la energía nuclear hacen de esta una alternativa que favorecería una potencial integración energética a nivel regional.
 - El desarrollo de un PNP abre la puerta a un desarrollo científico y tecnológico que va más allá de la GNE, y que le permitiría al país insertarse en la investigación de frontera. El desborde tecnológico, es decir, aquello anexo al fin propio de la GNE, supone ventajas de acceso y de transferencia tecnológica similares a las que ha podido observar el país los últimos años en otros campos como la astronomía, permitiendo desarrollar capacidades y know-how a las universidades y centros de investigación y otros potenciales actores.

VI. CONCLUSIONES

A partir de las constataciones resultantes de esta revisión éste comité concluye lo siguiente:

1. La información disponible hoy muestra que, no obstante la preocupación generada a raíz del terremoto de Tohoku en Japón, las conclusiones de los informes de 2007 [1] y 2010 [2] continúan vigentes. Esto es, que a nivel internacional, la GNE es:

- Segura, al ser la tecnología de menor accidentabilidad a igual potencia generada.
- Sostenible, al ser la tecnología de menor impacto ambiental en su operación y una huella de CO₂ comparable a la generación eólica y fotovoltaica.
- Confiable, al presentar altos factores de planta y estabilidad de precio, sin limitaciones de recursos naturales disponibles en el largo plazo; y
- Competitiva, al mostrar costos nivelados de generación comparables al GNL y carbón.

2. El informe del Parlamento de Japón [25] establece que el accidente de Fukushima fue el resultado de una combinación de factores humanos y que este no se produjo por una incompatibilidad entre la tecnología nuclear y la condición sísmica del país. Esto permite concluir que, de tomarse las medidas necesarias, la condición sísmica de nuestro país no impediría la implementación de un PNP ni comprometería la seguridad de éste.

3. Los nuevos reactores comercialmente disponibles han incorporado mejoras para evitar el tipo de fallas y reducir las vulnerabilidades observadas en el accidente de Fukushima. Asimismo, las lecciones aprendidas de ese accidente han dado lugar a la revisión y mejoramiento de los protocolos de manejo de emergencias. En consecuencia, los reactores disponibles y los procedimientos de la industria nuclear son hoy más seguros que los que existían en 2011.

El accidente de Fukushima fue el resultado de una combinación de factores humanos y que este no se produjo por una incompatibilidad entre la tecnología nuclear y la condición sísmica del país.

(Informe del Parlamento de Japón)

4. La creciente preocupación por los efectos del cambio climático aumentará la presión sobre los países para que estos reduzcan sus emisiones de CO₂. En este contexto, la baja huella de carbono asociada a la GNE la transforma en una alternativa a considerar para estos fines. Según la AIE, *“La energía nuclear es una de las pocas opciones disponibles para reducir las emisiones de CO₂ a la vez que se proporciona o reemplaza otras formas de producción de base.”* [14] En línea con la conclusión del informe [2], esta afirmación refuerza la conveniencia de la GNE para que Chile pueda cumplir sus metas de reducción de CO₂.

5. El impacto del calentamiento global sobre nuestra matriz energética hace previsible prolongados períodos de sequías y fenómenos climáticos inesperados que posiblemente modifiquen la hidrología, los patrones de vientos, y la distribución espacial y temporal de la demanda energética, entre otros factores climáticos que inciden en la generación eléctrica. Esto hará necesario contar con formas de generación eléctrica que no dependan de dichos factores.

6. La experiencia internacional en el manejo de residuos nucleares y la investigación asociada, indica que la disposición final de combustible ya utilizado, aún sin considerar reciclaje, puede ser gestionado de manera segura con un horizonte de tiempo de al menos 10.000 años, en concordancia con los estándares de seguridad para repositorios geológicos profundos.

7. Por todo lo anterior, no se justifica descartar la GNE sin antes haber realizado un análisis racional y exhaustivo que considere todos los aspectos relevantes de esta tecnología y la factibilidad de su utilización en Chile.

8. Es importante que, tal como se indicaba en el informe [2], el país siga avanzando en el cierre de brechas, manteniendo abierta la opción nuclear en su matriz energética de largo plazo. El costo que ello implica resulta ínfimo si se le considera como un seguro a mantener ante escenarios imprevisibles de estrechez energética y requerimientos de reducción de emisiones. Resulta relevante recalcar que una decisión de este tipo no puede ser dejada para último momento, cuando una crisis energética se torne inminente. El desarrollo de un PNP es un proceso que demanda de 10 a 15 años, dado que se requiere el desarrollo de una infraestructura previa de apoyo a este, como el marco legal y regulatorio, y la formación de RRHH. Dado que los escenarios energéticos dan cuenta de una estrechez energética para el país

La energía nuclear es una de las pocas opciones disponibles para reducir las emisiones de CO₂ a la vez que se proporciona o reemplaza otras formas de producción de base.

(Informe AIE, 2014)

al 2025, el análisis de esta opción se torna una necesidad impostergable a fin de avanzar de manera responsable hacia la búsqueda de alternativas para la futura matriz energética nacional.

9. Finalmente, la decisión sobre el inicio de un programa nuclear de potencia requiere necesariamente de la aceptación social. El debate público en torno a la GNE suele estar polarizado y la discusión es frecuentemente dominada por percepciones emocionales sin fundamento real en lugar de basarse en información veraz y objetiva. Para transformar esta discusión en un proceso conducente a una decisión informada y responsable, se debe antes generar y difundir la información necesaria, educar y promover el debate argumental.

Para tomar una decisión informada se debe generar y difundir la información necesaria, educar y promover el debate argumental.



VII. RECOMENDACIONES

Luego de revisar la documentación generada en cada área temática de los estudios realizados en el período 2008-2010, y analizar el panorama internacional en el período 2010-2015, resulta pertinente recomendar algunas acciones que permitan retomar la hoja de ruta que quedó suspendida en 2010, algunas de las cuales ya fueron recogidas por el *Informe CADE* en 2011 [3].

1. Inclusión de la opción nuclear en la agenda prospectiva de largo plazo

La agenda energética de largo plazo debería incluir todas las formas disponibles de generación de energía para su aprovechamiento, independientemente de si ellas se utilizan o no actualmente en Chile. Esto incluye, junto con los combustibles fósiles tradicionales -con y sin captura de GEI- y la hidroelectricidad, las formas no convencionales de generación, la energía nuclear, así como la eficiencia y el ahorro energético. La consideración de todas estas alternativas constituye una responsabilidad del Estado, en especial en un país vulnerable energéticamente como el nuestro.

2. Creación de una instancia independiente de evaluación de la opción núcleo-eléctrica

La decisión de iniciar un PNP debe contar con un amplio apoyo ciudadano. Para ello es necesario informar a la sociedad y a los actores relevantes del Estado acerca de los desafíos y riesgos, así como también de las ventajas y oportunidades que ofrece la GNE.

Siguiendo en esta línea, una decisión sobre el desarrollo de un PNP requiere:

- a) Completar la evaluación de la infraestructura nuclear nacional, a través de un trabajo sistemático que permita llegar a una conclusión confiable; y,
- b) Conducir un debate nacional informado, transparente y participativo en torno la conveniencia de la adopción de esta tecnología en el país.

Ambas tareas son de la máxima importancia y deben llevarse a cabo a través de un proceso que cuente con el amplio reconocimiento de parte de la ciudadanía en cuanto a su competencia técnica y a la prescindencia de intereses particulares.

Con este propósito, este comité recomienda el establecimiento de una instancia con reconocimiento transversal dentro de la sociedad y del poder político,

y estabilidad más allá de los períodos gubernamentales, capaz de realizar estas tareas con idoneidad, autonomía, imparcialidad y reconocimiento social amplio. Este ente podría asimismo cumplir las funciones que el OIEA recomienda encomendar al Organismo para la Implementación de un Programa de Energía Nuclear (NEPIO). La existencia de este organismo es un requisito exigido como contraparte nacional en los países interesados en desarrollar un PNP y que solicitan la asesoría del OIEA. Esta instancia debe contar con los recursos económicos, humanos y estructurales que permitan un análisis profundo y objetivo, a ser transmitido a la ciudadanía y a sus representantes.

3. Adecuación institucional de la CCHEN

La Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN) es el organismo nacional encargado de diversas tareas en el ámbito de las aplicaciones nucleares, como lo son la operación de instalaciones nucleares y radiactivas para proveer productos y servicios, el desarrollo de investigación básica y aplicada, la innovación y transferencia tecnológicas, la asesoría al Estado en tecnología nuclear y en la relación con el OIEA, entre otras. Por otra parte, la CCHEN es el órgano regulador y fiscalizador de las instalaciones nucleares y radiológicas de primera categoría, correspondiéndole por lo tanto la fiscalización de todos quienes se desempeñen en ellas, incluida los de la misma CCHEN. Este último aspecto, el tener un rol dual de promotor y regulador, requiere ser corregido aún cuando no hubiese un PNP en desarrollo.

La CCHEN fue creada hace más de medio siglo, cuando la tecnología nuclear estaba en una etapa de desarrollo muy distinta a la de hoy, y tanto nuestro país como el contexto internacional eran totalmente diferentes. Esto hace pensar que sería oportuna una revisión más profunda de esta institución que permita ponerla al día y en sintonía con la realidad presente y futura del país, y de acuerdo a lo requerido por los tratados internacionales firmados por Chile.

4. Educación y difusión

Diversos estudios muestran un gran desconocimiento de la población sobre la energía, sus usos y transformaciones en general, lo cual es aún más acentuado en el caso de la GNE. Esto hace que el debate se produzca desde posiciones intuitivas, simplistas, muchas veces basadas en mitos y errores conceptuales.

Se requiere, por tanto, de un proceso de educación y difusión amplio y en profundidad desde la formación básica hasta la universitaria, que permita a la ciudadanía entender los impactos, riesgos y desafíos de las distintas formas de generación eléctrica, incluida la GNE. Así mismo, resulta necesario comprender los aspectos relevantes relacionados con la transmisión, eficiencia y ahorro energético, junto con otras formas de energía donde la tecnología nuclear puede participar (i.e. producción de calor, hidrógeno, combustibles sintéticos, etc.).

Este proceso debe poner a disposición de la ciudadanía información confiable y objetiva, de modo de minimizar las simplificaciones superficiales y la selección tendenciosa de contenidos para favorecer una opinión sesgada.

5. Investigación

Se debe mantener y fomentar la capacidad de investigación en ciencias nucleares y aplicaciones tales como fisión, fusión y efectos de las radiaciones ionizantes sobre los sistemas vivos. Además de contribuir al desarrollo nacional, la generación de conocimiento en esta área permitirá al país dar soporte de calidad, y ajeno a conflictos de interés, al país y a la instancia para la evaluación de la GNE.

6. Estudios

Con el fin de completar el ejercicio de cierre de brechas y a la luz de los antecedentes con que el país cuenta, este comité considera necesario realizar, al menos, los siguientes estudios:

- Lecciones aprendidas del accidente en Fukushima Daiichi, tanto desde el punto de vista de la seguridad de las instalaciones, como de la preparación, mitigación y respuesta ante emergencias radiológicas. También se deben examinar aspectos relacionados con la responsabilidad civil, los cambios en la institucionalidad regulatoria, los efectos sobre la salud de las personas y el medioambiente, y las consecuencias económicas, entre otras.
- Tecnologías nucleares: Se recomienda realizar un estudio que abarque las tecnologías nucleares actualmente disponibles y las que se espera lo estén en los próximos años, incluyendo criterios que permitan comparar y evaluar estas tecnologías, así como sus respectivos ciclos del combustible.

- Estudio que permita contar con información geológica adicional, y en mayor profundidad, (sísmica, litológica, vulcanológica, etc.) de todo el territorio nacional.
- Metodologías y criterios de localización: Se deben definir una metodología y los criterios de exclusión, elusión e idoneidad aplicables al territorio que permitan determinar las potenciales zonas que podrían albergar CNPs u otras instalaciones de carácter crítico-estratégico. Es fundamental que dichos criterios estén basados en las consideraciones del OIEA y las entidades regulatorias de aquellos países con mayor experiencia en GNE y que presenten características geográficas similares a las de Chile - particularmente en cuanto a la sismicidad del territorio -, además de considerar los aspectos económicos, ambientales y sociales propios del país.
- Marco legal: Dados los cambios ocurridos en la institucionalidad ambiental, se requiere desarrollar un nuevo estudio que revise si acaso la actual institucionalidad es suficiente para desarrollar un PNP o si deben crearse instancias adicionales, como sería un procedimiento de licencias o concesión para operar, al margen de o bien de manera adicional al existente.
- Rol del Estado en la GNE. A la luz de las modificaciones legales y constitucionales que podrían haber tenido lugar, sería recomendable actualizar el estudio [11].
- Planificación energética de largo plazo que permita evaluar la viabilidad y potencial rol de la tecnología nuclear en el mercado nacional de manera integrada con las energías renovables no-convencionales, que también podrían contribuir significativamente a la reducción de nuestras emisiones de GEI, así como en el contexto de integración regional.

- [1] La Opción Núcleo-Eléctrica en Chile, Grupo de Trabajo en Núcleo-Electricidad, Gobierno de Chile, 2007.
- [2] Núcleo-electricidad en Chile: Posibilidades, brechas y desafíos, Ministerio de Energía, Gobierno de Chile, 2010.
- [3] Informe de la Comisión Asesora para el Desarrollo Eléctrico, Ministerio de Energía, Gobierno de Chile, 2011.
- [4] Nuclear Power Reactors in the World 2015 Edition. IAEA Reference Data Series N° 2, 2015.²⁰
- [5] Marco Regulador Nuclear: Experiencia Internacional, Organismo de Seguridad Radiológica y Nuclear de Finlandia, STUK, Ministerio de Energía, Gobierno de Chile, 2007.
- [6] Caracterización de riesgos naturales para el desarrollo de un programa núcleo-eléctrico en Chile, Departamento de Geología de la Universidad de Chile, Ministerio de Energía, Gobierno de Chile, 2009
- [7] Análisis relativo de impactos y riesgos de la generación núcleo-eléctrica, Corporación Nuclear Eléctrica Chile, Ministerio de Energía, Gobierno de Chile, 2009.
- [8] Estudio de Opciones de Ciclo de Combustible Nuclear, AMEC-CADE, Ministerio de Energía, Gobierno de Chile, 2009
- [9] Estudio Requerimientos de adecuaciones de Marco Legal ante la eventual incorporación de la energía nuclear de potencia, Fundación Facultad de Derecho, Universidad de Chile - Barros & Errázuriz Abogados, U. de Chile, Ministerio de Energía, Gobierno de Chile, 2010.
- [10] Análisis y propuesta de regulación núcleo-eléctrica, SYSTEP Ingeniería y Diseños, Ministerio de Energía, Gobierno de Chile, 2009
- [11] Roles del Estado y el Sector Privado en la Generación Núcleo-Eléctrica: Experiencia internacional aplicable a Chile, Universidad Adolfo Ibáñez UAI - SENES, Ministerio de Energía, Gobierno de Chile, 2008
- [12] Cost of Nuclear Energy in Chile, MZ Consulting, Ministerio de Energía, Gobierno de Chile, 2010.
- [13] Asesoría técnica en la elaboración de un programa de comunicaciones para avanzar en una toma de decisión informada y participativa sobre el desarrollo de infraestructura nuclear, Tironi y Asociados, Ministerio de Energía, Gobierno de Chile, 2009
- [14] World Energy Outlook 2014, International Energy Agency,
- [15] Technology Roadmap: Nuclear Energy, IEA/NEA, 2015
- [16] International Status and Prospects for Nuclear Power 2014, Report by the Director General, Board of Governors General Conference, IAEA, 2014
- [17] Severe Accidents in the Energy Sector, Paul Scherrer Institute, Energie-Spiegel N°13/ may 2005. Peter Burgherr and Stefan Hirschberg, Comparative risk assessment of severe accidents in the energy sector, Energy Policy 74 S45-S56, 2014.
- [18] UNO, Human Consequences of the Chernobyl Nuclear Accident: A Strategy for Recovery, 2002.
- [19] The Economics of the Back End of the Nuclear Fuel Cycle, NEA-OECD, NEA No. 7061, 2013 <http://www.oecd-nea.org/ndd/pubs/2013/7061-ebenfc.pdf>
- [20] Environmental Protection Agency
<http://www.epa.gov/radiation/yucca/about.html>
- [21] World Nuclear Association
<http://www.world-nuclear.org/info/Nuclear-Fuel-Cycle/Nuclear-Wastes/Radioactive-Waste-Management/>

20 El OIEA dispone de una base de datos en permanente actualización en el sitio web IAEA-PRIS Power Reactor Information System (<https://www.iaea.org/pris/>)

- [22] Status of Fast Reactor Research and Technology Development, IAEA-TECDOC-1691, 2012.
http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te_1691_web.pdf
- [23] Why You Haven't Heard About Onagawa Nuclear Power Station after the Earthquake and Tsunami of March 11, 2011 - Nuclear Safety Culture in TEPCO and Tohoku: The root-cause of the different fates of Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant and Onagawa Nuclear Power Station, AiriRyu & Najmedin Meshkati, Vitebi School of Engineering University Of Southern California (USC), 2014.
- [24] U.S Geological Survey
<http://pubs.usgs.gov/fs/1997/fs163-97/FS-163-97.html>
- [25] Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission, The National Diet of Japan, K. Kurokawa et al., Tokyo, 2012.
- [26] Fukushima Nuclear Accident Update Log, IAEA
<https://www.iaea.org/newscenter/news/fukushima-nuclear-accident-update-log-27>
- [27] Sources, effects and risks of ionizing radiation, UNSCEAR 2013 Report. Volume I Report to the General Assembly Scientific Annex A: Levels and effects of radiation exposure due to the nuclear accident after the 2011 great east-Japan earthquake and tsunami, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation.
- [28] Selección de Potenciales Sitios Para el Emplazamiento de una Central Nuclear de Potencia en el Norte de Chile. Tesis para optar al grado académico de Licenciado en Geografía, P.Universidad Católica de Chile, Santiago 2009. Benjamín Infante Silva.
- [29] Nuclear Energy Basic Principles, IAEA Nuclear Energy Series N° NE-BP, 2008
- [30] Nuclear Energy General Objectives, IAEA Nuclear Energy Series, N° NG-O, 2011
- [31] Nuclear Power Objectives: Achieving the Nuclear Energy Basic Principles, IAEA Nuclear Energy Series NP-O, 2009
- [32] Milestones in the Development of a National Infrastructure for Nuclear Power, IAEA Nuclear Energy Series N° NG-G-3.1, 2007
- [33] Evaluation of the Status of National Nuclear Infrastructure Development, IAEA Nuclear Energy Series N° NG-T-3.2, 2008
- [34] Responsibilities and Capabilities of a Nuclear Energy Programme Implementing Organization, IAEA Nuclear Energy Series N° NG-T-3.6, 2009
- [35] Initiating Nuclear Power Programmes: Responsibilities and Capabilities of Owners and Operators, IAEA Energy Series N° NG-T-3.1, 2009
- [36] Managing Human Resources in the Field of Nuclear Energy, IAEA Nuclear Energy Series N° NG-G-2.1, 2009
- [37] Stakeholder Involvement throughout the Life Cycle of Nuclear Facilities, IAEA Nuclear Energy Series N° NG-T-1.4, 2011
- [38] Fundamental Safety Principles, IAEA Safety Standards N° SF-1, 2006
- [39] Establishing the Safety Infrastructure for a Nuclear Power Programme, IAEA Safety Standards Series SSG-16, 2012
- [40] Operating Experience with Nuclear Power Stations in Member States in 2014, 2015 Edition; IAEA Nuclear Energy Series, 2015.
- [41] Prevented Mortality and Greenhouse Gas Emissions from historical and projected nuclear power, Kharecha, Hansen, Environ. Sci. Technol., 47, 4889 (2013). Doi:10.1021/es3051197.
- [42] Radiation and Reason, W. Allison, (2009), DOI: 10.13140/2.1.1834.5925 www.radiationandreason.com
- [43] Health effects of nuclear accidents - providing facts not fiction, Gerry Thomas, http://www.jaif.or.jp/ja/annual/46th/46-s3_gerry-thomas_e.pdf
- [44] Workforce Planning for New Nuclear Power Programmes, IAEA Nuclear Energy Series N° NG-T-3.10, 2011

Glosario

- [45] Managing Siting Activities for Nuclear Power Plants, IAEA Nuclear Energy Series N° NG-T-3.7, 2012
- [46] Managing Environmental Impact Assessment for Construction and Operation in New Nuclear Power Programmes, IAEA Nuclear Energy Series N° NG-T-3.11, 2014
- [47] Why Fukushima Was Preventable - Carnegie Endowment for International Peace, J.M. Acton and M. Hibbs, <http://carnegieendowment.org/2012/03/06/why-fukushima-was-preventable>
- [48] Nuclear Power in Japan, 2015, World Nuclear Association.

AIE: Agencia Internacional de Energía. Véase también IEA

BWR: Boiling water reactor

CADE: Comisión Asesora para el Desarrollo Eléctrico

CANDU: CANada Deuterium Uranium

CCHEN: Comisión Chilena de Energía Nuclear

CNP: Central nuclear de potencia

EAE: Evaluación ambiental estratégica

ERNC: Energías renovables no convencionales

GEI: Gases de efecto invernadero

GNE: Generación núcleo-eléctrica

IAEA: International Atomic Energy Agency. Véase también OIEA.

IEA: International Energy Agency. Véase también AIE.

IEC: Incidents and Emergency Center

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change

NEA: Nuclear Energy Agency, de la OECD

NEI: Nuclear Energy Institute

NEPIO: Nuclear Energy Programme Implementing Organization

OIEA: Organismo Internacional de Energía Atómica. Véase también IAEA.

ONEMI: Oficina Nacional de Emergencias del Ministerio del Interior

PNP: Programa Nuclear de Potencia

PWR: Pressurized Water Reactor

RBMK: Reaktor Bolshoy Moshchnosty Kanalny. Reactor de diseño soviético

SIC: Sistema Interconectado Central

SING: Sistema Interconectado del Norte Grande

UNSCEAR: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation

Comité de Energía Nuclear de Potencia

Septiembre 2015

