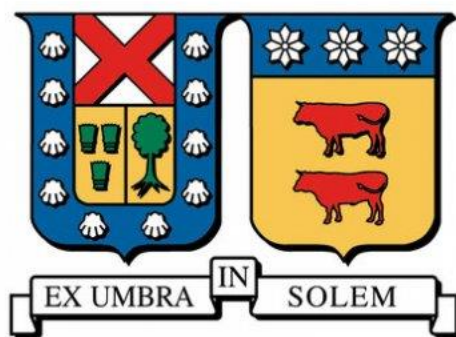




UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS

**PRIMEROS ACERCAMIENTOS PARA LA DECISIÓN DEL
EMPLAZAMIENTO DE UNA CENTRAL NUCLEAR DE POTENCIA EN
CHILE**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

AUTOR

PAULINA CECILIA MADRIGAL BAEZA

PROFESOR GUÍA

MÓNICA LÓPEZ CAMPOS

VALPARAÍSO, 30 OCTUBRE, 2019.

AGRADECIMIENTOS

*Solo agradecer por todo el apoyo y trabajo a mi
mamá Patricia Baeza y a mi papá Marco
Morales, además por cuidarme desde el cielo,
ayudarme y apoyarme desde siempre, sobre todo
en el ámbito académico, a mi mami Marina
Cuevas y a mi Tata Ricardo Morales, de verdad
que sin ustedes 4 nunca hubiese siquiera
imaginado estar en este momento.*

1. RESUMEN EJECUTIVO

Con la intención de apoyar los estudios de localización para una planta nuclear de potencia (PNP), este trabajo propone una metodología multicriterio para determinar la ubicación óptima de instalación de una planta nuclear de potencia en Chile. La metodología se emplea posterior a la evaluación técnica y económica de las localizaciones posibles con criterios que se funden desde las necesidades, requerimientos y metas de cada una de las regiones de Chile. La inclusión de la metodología multicriterio surge de la necesidad de incluir los beneficios (o perjuicios) que puedan estar relacionados con las estrategias regionales, que puedan apoyar (o rechazar) la instalación de una PNP.

En primer lugar, se procedió a estudiar sobre el tema de la energía nuclear, para entender los beneficios y repercusiones que esta podría traer tanto a la localidad en la que se decida localizar y a sus pobladores, como al país en su totalidad.

En segundo lugar, se llevó a cabo una recopilación de información relacionada con los efectos que ha conllevado la instalación de una planta nuclear de potencia tanto en las localidades en que se han instalado, como en distintos países que cuentan con ellas. Con la finalidad de generar una lista de criterios para ser considerados de manera previa. Además, se establece cuantitativamente el efecto que tendría una planta nuclear de potencia en cada uno de los criterios seleccionados. De acá emergen criterios

económicos tales como: los efectos en el PIB y el desempleo, y criterios ambientales, como el uso del recurso hídrico y la emisión de gases de efecto invernaderos, entre otros.

Posteriormente, se revisaron artículos y estudios relacionados con la aceptabilidad social de la energía nuclear. Con la intención de analizar qué tan importante puede ser esta al momento de decidir instalar una planta nuclear de potencia. Al mismo tiempo se buscó entender cuáles son los factores que suelen afectar tanto positiva como negativamente el nivel de aceptación que tiene la gente frente a una instalación nuclear. En esto aparecen dos ejemplos contrarios, como los son Gardoña y Oskarshamn, pero que muestran cómo la opinión de las personas puede afectar en las decisiones finales.

Con toda la información recabada anteriormente, se logró obtener un primer acercamiento a la lista de criterios que nace de este trabajo, teniéndose una lista inicial de los criterios que serán analizados en el desarrollo de esta memoria, con ello se emprendió a realizar una lectura de las estrategias regionales de desarrollo (ERD). Teniendo en cuenta que dentro de este escrito se tomaron en cuenta únicamente las regiones que forman parte del nuevo sistema eléctrico nacional, se inició la lectura de las ERD de las regiones consideradas, es decir desde la región de Arica y Parinacota hasta la región de Los Lagos, excluyendo la región de Aysén y la región de Magallanes. Además, es importante señalar que no se ha incluido dentro de este análisis a la nueva región del Ñuble, dado que esta región se encuentra recién en las primeras etapas de la confección de su estrategia regional de desarrollo. A medida que se desarrolló la lectura

se completó una tabla en la que se muestra a que regiones les afectaría, positiva o negativamente, al cumplimiento de sus metas el contar con una planta nuclear de potencia, para con esto analizar si cada uno de los criterios tomados en cuenta representa un interés para las diferentes regiones del país.

Paralelamente, se realizó una lectura y análisis del mapa de conflictos generados por el Instituto Nacional de Derechos Humanos (INDH), con la intención de saber que tan importante es la opinión de la gente frente a macroproyectos y proyectos de generación eléctrica, además de ver que tan fuerte ha sido la presión en cada una de las diferentes regiones, notando si se ha llegado al cierre, clausura o bajada de algún proyecto, además de cualquier imposición de multas o sanciones a las empresas correspondientes, agregando esta información a la tabla realizada durante la lecturas de las ERD.

Una vez realizadas las lecturas y completada la tabla se prosiguió a calcular los ponderadores correspondientes a cada uno de los criterios. Para esto se consideró un puntaje para cada uno de los criterios relacionados con la cantidad de regiones a las que este podría afectar en sus metas si se instalara en la región una planta nuclear de potencia (PNP). Obtenidos los puntajes respectivos a cada uno de los criterios, incluido en estos la aceptabilidad social, se realizó la suma de todos los puntajes para obtener un total. Finalmente se efectuó el cálculo de los ponderadores de los criterios mediante la razón del puntaje del criterio sobre el puntaje total.

Con los ponderadores de cada uno de los criterios, sorprendió el alto valor que tenían en su conjunto los ponderadores relacionados a aquellos criterios vinculados con el cuidado del medio ambiente, como la disminución en las emisiones de gases de efecto invernadero, el uso del recurso hídrico y el potenciamiento a las energías renovables no convencionales, obteniendo en conjunto una importancia cercana al 45%, en contraste a lo que se esperaba, pensando que la mayor importancia quedaría en los factores económicos, como el aumento al PIB regional y el efecto e el desempleo, los cuales en conjunto no superan un 15%.

Con lo anterior, fue posible llevar a cabo un estudio de caso, evaluando los criterios en dos regiones del país escogidas de manera arbitraria, seleccionando por conveniencia las regiones de Valparaíso y de Tarapacá. Para esto se fueron asignando puntajes a cada uno de los criterios según la variación que una PNP podría generar en el mismo. Por ejemplo, se asignó un puntaje positivo al aumento del PIB regional, que está relacionado con cuanto es capaz un PNP de aumentar el PIB de la región, y un puntaje negativo al criterio relacionado con las ERNC, ya que la instalación de una PNP reduciría su porcentaje en la matriz energética regional.

Finalmente al terminar la evaluación de ambas regiones, habiendo otorgado un puntaje a cada uno de los criterios, y calculado el total se obtuvo que, en el caso de que existiesen dos posible localizaciones para una planta nuclear de potencia en Chile, que estuviesen ubicadas en las regiones de Valparaíso y Tarapacá respectivamente, considerando que ambas contaran con características técnicas y económicas similares,

siendo ambas factibles en ambos aspectos, sería conveniente seleccionar el emplazamiento de la región de Tarapacá, dado que el puntaje obtenido por esta región fue considerablemente mayor al obtenido por la región de Valparaíso.

Contenido

1. RESUMEN EJECUTIVO.....	4
2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	12
3. OBJETIVOS	15
3.1 Objetivo General	15
3.2 Objetivos Específicos	15
4. MARCO TEÓRICO	16
4.1 Situación de la energía a nivel mundial.....	16
4.2 Situación de la energía nuclear de potencia a nivel mundial.	20
4.2.1 Accidentes e Incidentes.....	25
4.3 Situación de la energía nuclear en Chile.	28
4.4 Situación de la energía en Chile.	32
5. METODOLOGÍA.....	37
6. DESARROLLO	43
7. RESULTADOS	¡Error! Marcador no definido.
8. ESTUDIO DE CASO	67
9. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	80
10. CONCLUSIONES.....	94
11. REFERENCIAS.....	99

ILUSTRACIÓN 1: ESQUEMA REACTOR NUCLEAR DE POTENCIA (“NEWSLETTER FLASH NUCLEAR JUNIO 2019,” N.D.)	21
ILUSTRACIÓN 2: ESCALA INTERNACIONAL DE SUCESOS NUCLEARES Y RADIOLÓGICOS (SPOON, 2011).....	25
ILUSTRACIÓN 3: DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS NIVELES DE LA INES (IAEA, 2017)	27
ILUSTRACIÓN 4: MATRIZ ENERGÉTICA CHILE (ENERGÍA ABIERTA, 2018)	33
ILUSTRACIÓN 5: MAPA SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL (SEN) (COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL, 2018)	35
ILUSTRACIÓN 6: ESQUEMA DE METODOLOGÍA COMPLETA.....	37
ILUSTRACIÓN 7: ESQUEMA METODOLOGÍA PARTE 1.....	39
ILUSTRACIÓN 8: ESQUEMA METODOLOGÍA PARTE 2	40
ILUSTRACIÓN 9: REGIONES CONSIDERADAS EN EL TRABAJO	50
ILUSTRACIÓN 10: CANTIDAD (EN TONELADAS) DE DIÓXIDO DE CARBONO POR GIGAVATIO-HORA PRODUCIDO CONSIDERANDO EL CICLO DE VIDA COMPLETO (FORO NUCLEAR, 2013).....	55
ILUSTRACIÓN 11: MAPA ELÉCTRICO VALPARAÍSO (COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL, 2018).....	67
ILUSTRACIÓN 12: MAPA ELÉCTRICO TARAPACÁ (COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL, 2018)	77
 TABLA 1: LECTURAS SOBRE ENERGÍA NUCLEAR	 43
TABLA 2: LECTURAS INICIALES OIEA.....	45
TABLA 3: LECTURAS SITUACIÓN RUBRO ENERGÉTICO EN CHILE	46
TABLA 4: LECTURAS ENERGÍA NUCLEAR EN CHILE	47
TABLA 5: LECTURAS PARA DEFINIR CRITERIOS	48
TABLA 6: CRITERIOS Y ESTRATEGIAS REGIONALES DE DESARROLLO.....	60
TABLA 7: PONDERADORES DE CADA CRITERIO	66
TABLA 8: PIB REGIONAL VALPARAÍSO (EN MILES DE MILLONES)	68

TABLA 9: CONSUMO DE AGUA POR UNIDAD DE ENERGÍA EUA (“ESTADOS UNIDOS ELECTRICIDAD - CONSUMO - ENERGÍA,” 2017).....	69
TABLA 10: ÍNDICE DE CONSUMO DE AGUA VALPARAÍSO.....	70
TABLA 11: ÍNDICE DE CONSUMO DE AGUA REGIÓN DE VALPARAÍSO CON PNP	71
TABLA 12: TASAS DE OCUPACIÓN (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS, 2019)	71
TABLA 13: ¿ESTARÍA USTED DE ACUERDO CON LA CONSTRUCCIÓN DE UNA PLANTA DE ENERGÍA NUCLEAR EN CHILE? SEGÚN EDAD(MAGISTER INGENIERÍA DE LA ENERGÍA UC, 2010)	75
TABLA 14: CANTIDAD DE PERSONAS SEGÚ GRUPO ETARIO EN LA REGIÓN DE VALPARAÍSO (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS, 2017).....	75
TABLA 15: DESGLOSE PUNTAJE REGIÓN DE VALPARAÍSO	77
TABLA 16: DESGLOSE PUNTAJE REGIÓN DE TARAPACÁ	78
TABLA 17: PUNTAJES DE VALPARAÍSO Y TARAPACÁ.....	79

2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Actualmente ha sido posible notar cómo la demanda energética mundial aumenta a tasa creciente cada año. En Chile se espera que a 2030 la demanda aumente más de un 50%, según datos calculados en 2015 (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 2015). Es por ello que la generación de proyecto energéticos, y la construcción de plantas generadoras ha aumentado considerablemente teniendo en junio de 2016 un total de 54 proyectos en construcción versus los 28 existentes en marzo de 2014. Además, durante este mismo mes ingresaron 67 nuevos proyectos para ser estudiados (Unidad de Proyectos Ministerio de Energía, 2016). Por otro lado, esta masiva generación de proyectos no ha sido completamente fructífera puesto que varios de estos no han llegado a término por conflictos socioambientales. Según el mapa de conflictos generado por el Instituto Nacional De Derechos Humanos (INDH) existen 20 conflictos socioambientales activos en la industria energética (Mapaconflictos, 2017).

En cuanto a proyectos de generación eléctrica con energía nuclear, desde hace muchos años hasta la actualidad se ha podido ver como todo el mundo se han frenado proyectos en diferentes etapas, como estudios previos, posterior a la aprobación, durante la construcción e incluso una vez ya terminada la construcción y teniendo las plantas listas para el funcionamiento como posterior a la puesta en marcha, de varias centrales nucleares por diferentes factores que no suelen ser analizados previamente. Muchas de estas decisiones fueron posteriores a accidentes nucleares como Three Mile Island

(1979), Chernóbil (1986) y, el más reciente, Fukushima (2011), lo que muestra cómo estas decisiones muchas veces pueden ser tomadas por miedos.

Al no existir mecanismos, consejos o una simple lista de factores influyentes enfocados en lo social, económico y medioambiental, que sirva de guía para tomar decisiones en relación a la aprobación de una planta nuclear de potencia y al emplazamiento de la misma, las decisiones pueden ser tomadas sin considerar todo lo necesario, lo que en el caso de aprobar tanto la planta como la localización de la misma podría generar en algún momento de la vida del proyecto que esta deba ser cancelado por temas no afectos a las legalidades]. Por todo esto es que se ve necesario realizar un estudio y análisis de algunos factores que, por lo general no son considerados, con la finalidad de evitar posibles problemas imprevistos ya sea en la planificación, construcción, puesta en marcha, operación o inclusive en el desmantelamiento de una planta nuclear de potencia.

En 2015 el Ministerio de energía realizó la hoja de ruta energética para el 2050 con las metas y objetivos que se desean cumplir para ese año. Dentro de la hoja de ruta no se habla en ningún momento de la posibilidad de utilizar energía nuclear para la generación eléctrica ni de no utilizarla, simplemente es omitida, puesto que los miembros y el ministerio consideran que no existe la información suficiente como para evaluar la situación de la energía nuclear de potencia en Chile. Es por ello por lo que solicitaron a la Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN) que realice todos los informes y estudios necesarios para que, en 2020, cuando se genere una instancia de

revisión de la hoja de ruta se pueda dar la discusión sobre si la energía nuclear de potencia será o no una opción en Chile, se disponga de toda la información necesaria para discutirlo apropiadamente, como los requerimientos técnicos, posibles localizaciones, profesionales necesarios, inversión, entre otros. En cuanto a las posibles localizaciones y requerimiento de estas se tiene mucha información por las normativas internacionales y leyes nacionales, todo relacionado básicamente con seguridad, medio ambiente, funcionalidad y orgánica, pero nada relacionado en cómo podría afectar una planta nuclear de potencia al lugar donde se instale y su gente.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Generar recomendaciones que puedan ser tomadas en cuenta para la decisión del emplazamiento de una central nuclear de potencia en Chile, a partir del reconocimiento de la literatura y fuentes especializadas.

3.2 Objetivos Específicos

- Hacer una exploración bibliográfica
- Definir los criterios generales en los cuales una central nuclear de potencia podría afectar al emplazamiento
- Validar la importancia de cada uno de los criterios en Chile

4. MARCO TEÓRICO

4.1 Situación de la energía a nivel mundial

Actualmente el escenario energético mundial se encuentra en una etapa de grandes cambios, esto debido en parte al creciente desarrollo de las nuevas tecnologías de generación eléctrica, la mayor tecnologización que se está produciendo en todo el mundo y a la idea del desarrollo sostenible. En las últimas décadas se ha podido ver como, por un lado, el consumo de energía ha ido en un constante aumento y, por otro lado, se ha visto como se ha ido diversificando la matriz energética mundial con las nuevas tecnologías de generación.

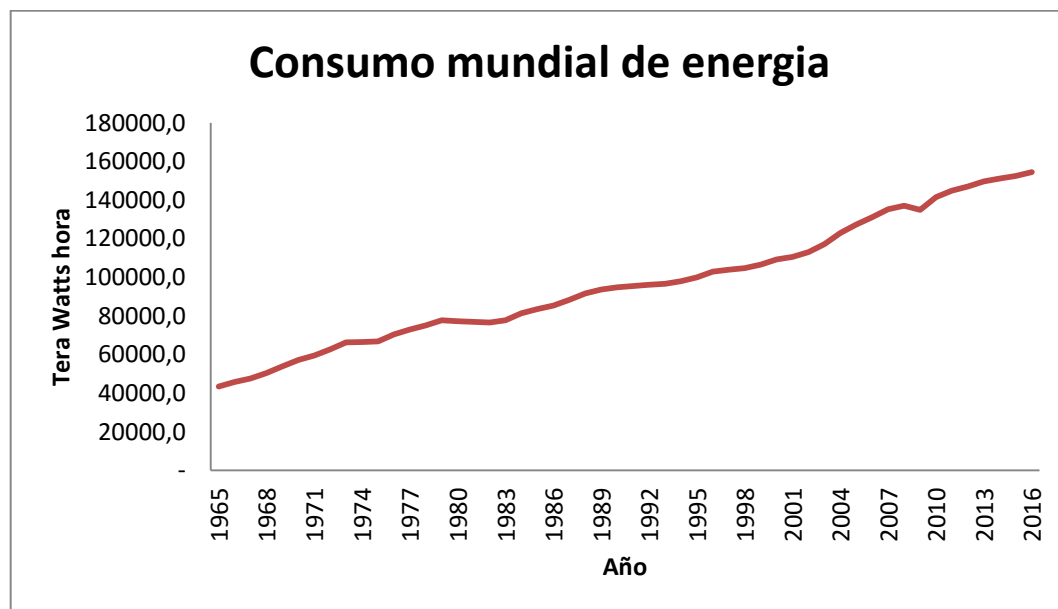


Gráfico 1: Consumo mundial de energía (British Petroleum, 2017)

Tal y como es posible observar en el gráfico 1, desde 1965 hasta el 2016 el consumo energético mundial aumentó a más del triple (3,5586 veces), mientras que desde inicios de siglo el aumento ha sido de un 140%. Esta situación se ha visto imitada en todas las regiones del mundo, pero se ha acentuado particularmente en el Medio Oriente y Asia pacífico, donde el consumo energético ha aumentado en 17,54 veces y en 11,62 veces respectivamente desde el año 1965 a 2016.

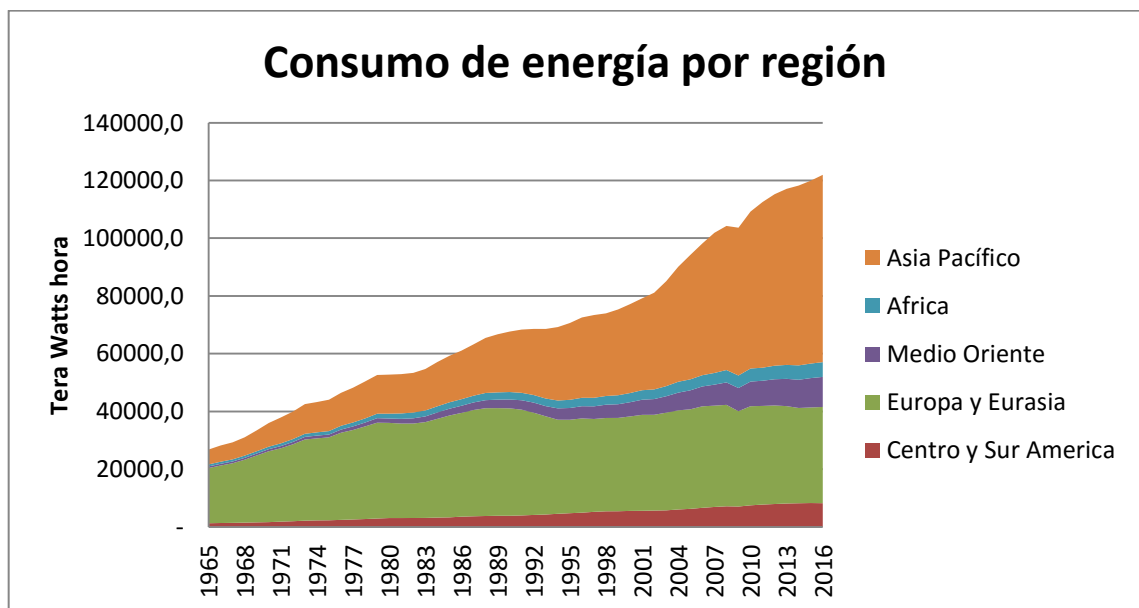


Gráfico 2: Consumo de energía por región(British Petroleum, 2017)

En otro orden de cosas, y en relación con las distintas tecnologías de generación eléctrica, la matriz energética que ha sido capaz de satisfacer este creciente consumo ha sufrido varios cambios con el correr de los años. Estas variaciones han sido tal, que durante la década de los 60 y hasta fines de los 70 no se utilizaba en lo absoluto la energía proveniente ni del viento y ni del sol, siendo recién en el año 1978 donde

aparece por primera vez la energía eólica en la matriz energética mundial, con un pequeño aporte total al consumo de energía de 0,003 TWh correspondiente a un 0,0000042% del consumo mundial. Mientras, la energía solar debió esperar su turno hasta 1983, año en el que haría su aparición por primera vez con un aporte al consumo mundial de energía también de 0,003 TWh. En este caso este valor corresponde a un menor porcentaje, pues en los años concurridos el consumo mundial ha aumentado, correspondiéndole un 0,0000041% de la matriz energética mundial. Estos son valores extremadamente reducidos, pero con el paso del tiempo han ido en incremento constante, llegando durante el 2016 a un aporte al consumo energético del 0,67810% por parte de la energía eólica y del 0,23537% por parte de la energía solar.

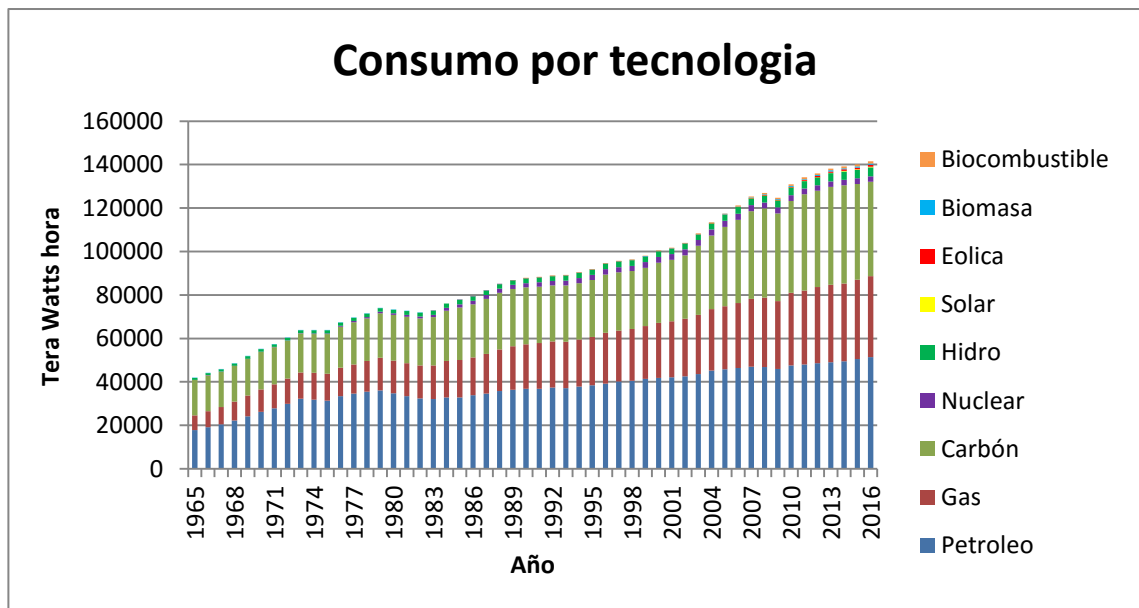


Gráfico 3: Consumo por tecnología (British Petroleum, 2017)

Luego del paso de los años y las constantes variación y desarrollo de cada una de las tecnologías de generación energética, en 2016 la matriz energética mundial está compuesta de un 93,3% de energía producida por la quema de petróleo, gas y carbón, un 2,8% de energía hidroeléctrica, 1,3% de energía renovable no convencionales, un 0,7% de energía proveniente de la quema de biocombustible y un 1,8 % de energía proveniente de los átomos.

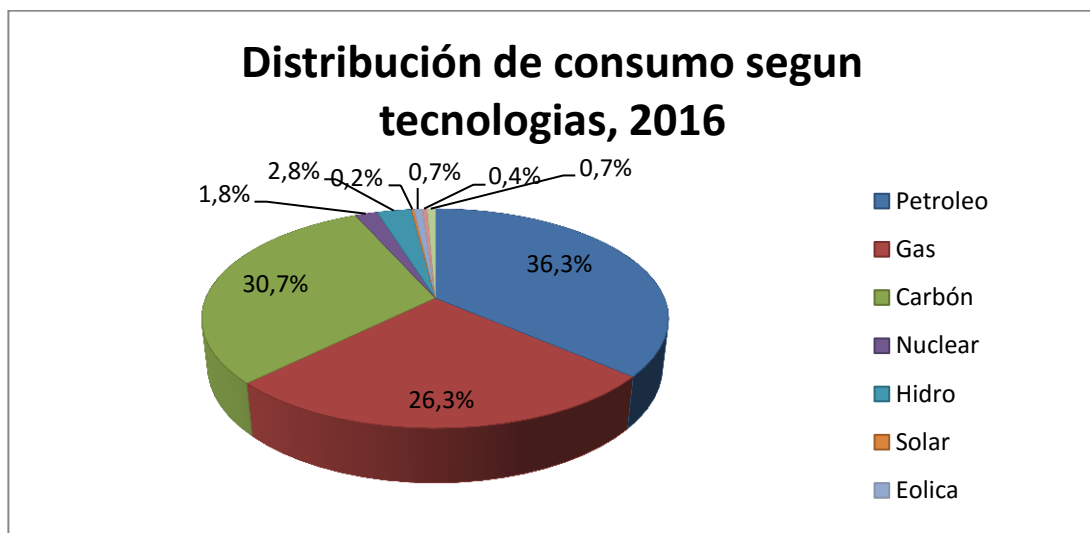


Gráfico 4: Matriz Energética Mundial 2016 (British Petroleum, 2017)

Esta última se podría presentar como una tecnología más competitiva como energía base, puesto que las emisiones de gases de efectos invernadero (GEI) por kilowatts-hora de las centrales nucleares de potencia llega a ser menor hasta en dos órdenes de magnitud frente a la generación proveniente de la quema de combustible fósiles, pudiendo ser comparables con las energías renovables en su mayoría (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 2014).

4.2 Situación de la energía nuclear de potencia a nivel mundial.

Lo primero, al empezar con este punto es comprender a qué nos referimos cuando hablamos de energía nuclear. Lo primero es entender que dentro de un átomo existen dos pequeñas partículas (los neutrones, sin carga, y los protones, con carga positiva). La energía nuclear es aquella que logra mantener unidas a todas las partículas que se encuentran en el núcleo de un átomo. Pero, como esta se encuentra almacenada en el interior de los átomos, para que esta sea utilizada, necesita ser liberada. Para lograr esto se conocen dos métodos, la fusión y la fisión nuclear. En la primera se libera la energía al combinar o fusionar los núcleos de dos átomos ligeros formando un nuevo átomo de mayor masa. La segunda es un proceso en el cual la energía se libera al separar el núcleo de un átomo pesado para formar dos. Al producirse ya sea la fisión o la fusión nuclear en un átomo, este tendrá una ligera pérdida de masa la cual se convierte en energía calorífica y radiación. La energía calorífica que se ha extraído en el proceso es utilizada para calentar agua y con ello producir vapor (Consejo de Seguridad Nuclear, 2015).

En la generación de energía eléctrica a partir de la energía nuclear, el vapor de que se genera por el calentamiento de agua, es utilizado para hacer girar una turbina, la cual se encuentra acoplada a un generador capaz de transformar la energía mecánica producida por el giro de la turbina en energía eléctrica, lista para ser llevada a la red eléctrica (Consejo de Seguridad Nuclear, 2015).

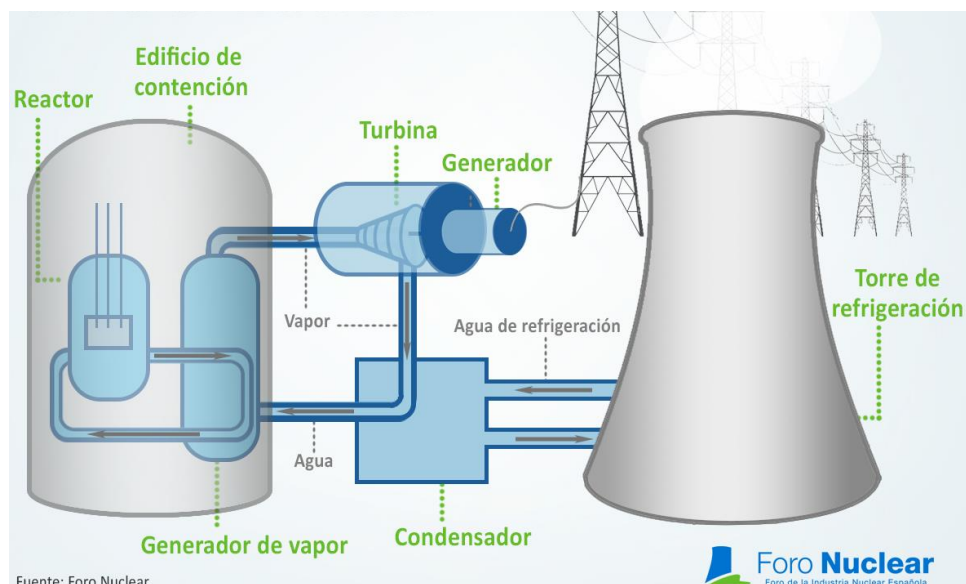


Ilustración 1: Esquema Reactor Nuclear de Potencia (“Newsletter Flash Nuclear
Junio 2019,” n.d.)

Actualmente existe un total de 448 reactores nucleares de potencia (aquellos reactores nucleares que son capaces de generar electricidad) en el mundo, repartidos alrededor de 30 países, los cuales en conjunto tienen una capacidad de producción de energía eléctrica de 391.744 [MW] (Organismo Internacional de Energía Atómica, 2017). Dentro de los 30 países que cuentan con energía nuclear de potencia, los países que poseen mayor capacidad de energía eléctrica producida en reactores nucleares de potencia son Estados Unidos de América, Francia y Japón, los que en conjunto acumulan más de un 50% de la capacidad nucleoelectrica en el mundo. En particular Estados Unidos de América es el país que cuenta con mayor capacidad de producción nucleoelectrica con un total de 99.869 [MW] repartidos en 99 reactores actualmente conectados a la red (Organismo Internacional de Energía Atómica, 2017).

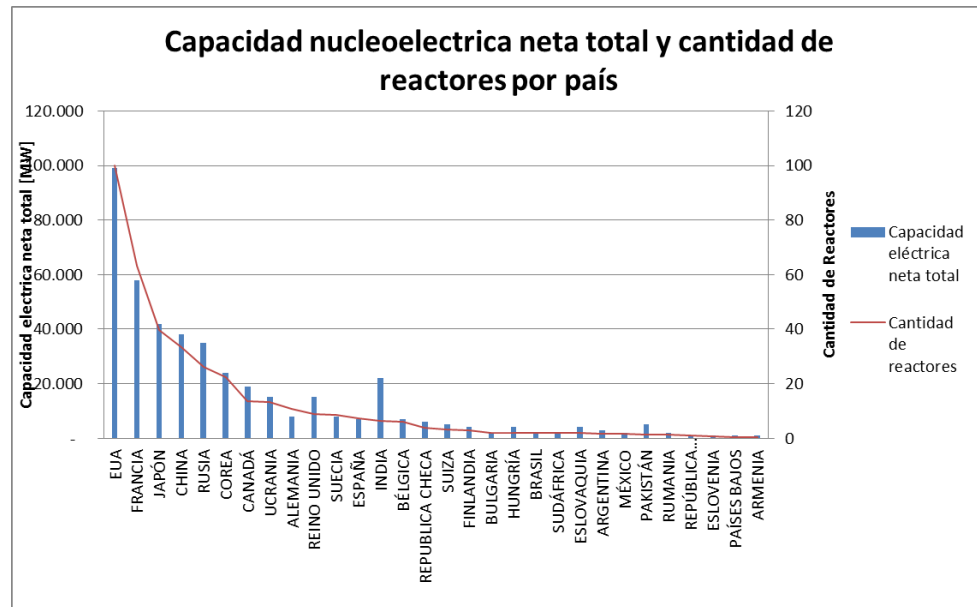


Gráfico 5: Capacidad nucleoelectrica neta total y cantidad de reactores por país

(IAEA, 2017).

Si bien Estados Unidos es el país que cuenta con una mayor cantidad de reactores nuclear de potencia y de capacidad de generación nucleoelectrica, esta corresponde únicamente a un 19,7% de la matriz energética de este país, muy por debajo de países como Hungría, Bélgica, Ucrania, Eslovaquia y Francia, cuya matriz energética está compuesta en más de un 50% de energía nuclear de potencia. En particular Francia es el país que cuenta con mayor participación de energía nuclear de potencia en su matriz energética en el mundo, alcanzando una participación de un 72,2%. Por otro lado, y más cercanos a Chile, todos los países de América latina que cuentan con energía nuclear de potencia (Brasil, Argentina y México) tienen una participación de esta tecnología de generación en su matriz energética menor a un 7% (Organismo Internacional de Energía Atómica, 2017).

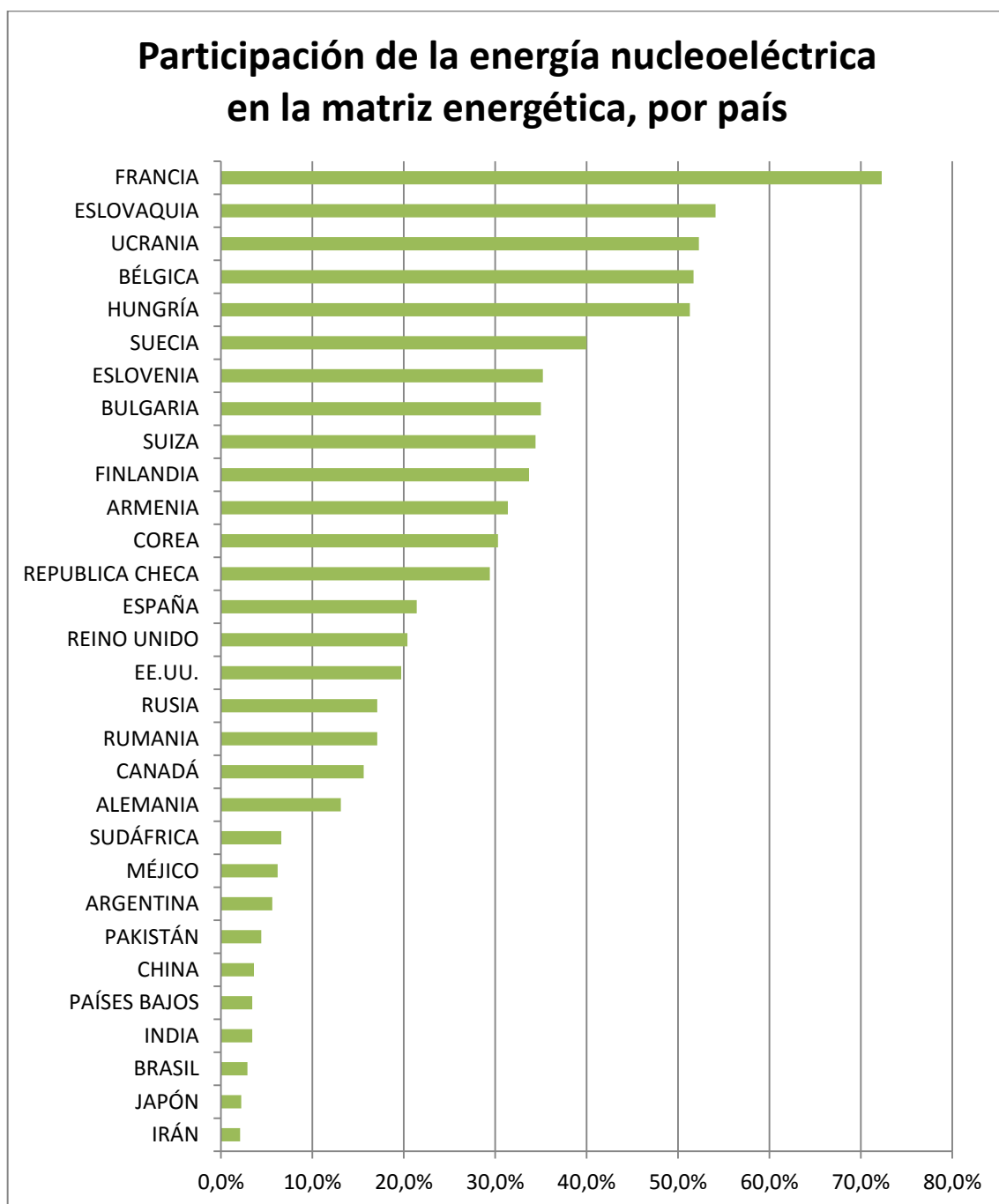


Gráfico 6: Participación de la energía nucleoelectrica en la matriz energética, por país (IAEA, 2017).

Adicionalmente a los 448 reactores que se encuentran conectados a las diferentes redes eléctricas, existen 59 reactores que están en proceso de construcción, correspondiente a 60.366 [MW]. Estos reactores nucleares de potencia se encuentran en 16 países, 3 de los cuales por primera vez están incorporando la energía nuclear en su matriz energética, Bangladesh (1 reactor), Bielorrusia (2 reactores) y Emiratos Árabes Unidos (4 Reactores y 5.380 [MW]) siendo el tercer país con mayor capacidad nucleoelectrica en construcción superado por Rusia (7 reactores y 5.520 [MW]), y China (19 reactores y una capacidad de 19.936 [MW]), equivalente a un 33% de la capacidad total en construcción (Organismo Internacional de Energía Atómica, 2017).

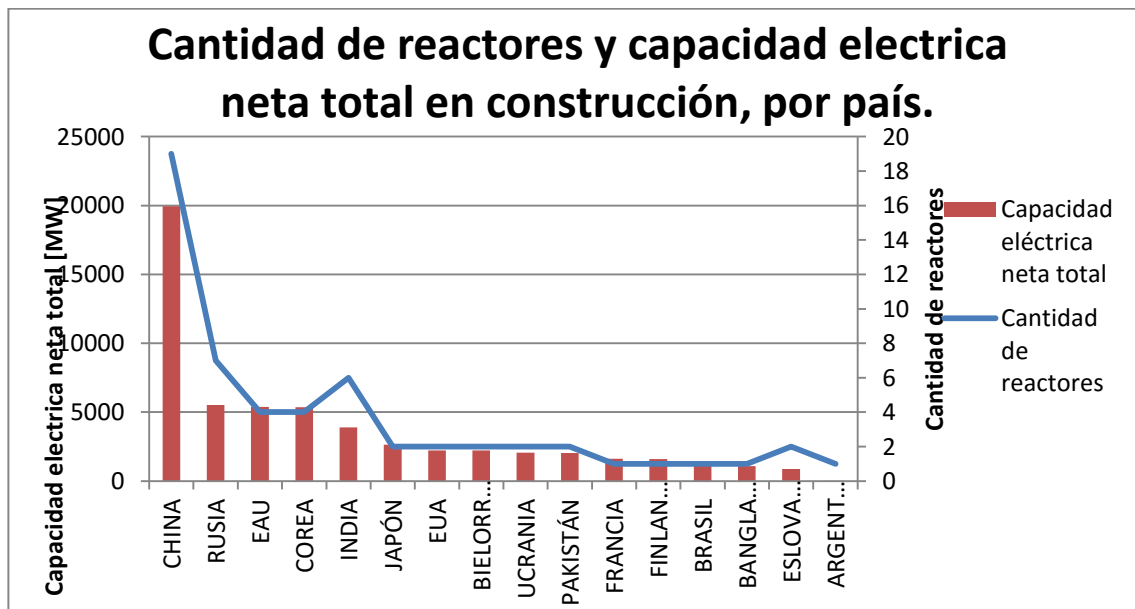


Gráfico 7: Cantidad de reactores y capacidad eléctrica neta total en construcción, por país (IAEA, 2017)

4.2.1 Accidentes e Incidentes.

Los accidentes e incidentes nucleares se miden según la Escala Internacional de Sucesos Nucleares y Radiológicos (INES por su sigla en inglés), la cual fue introducida por la Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA), la función de esta escala es lograr entender la magnitud de los sucesos nucleares, tal como se hace con las escalas Richter y Mercalli para saber ante qué nivel de terremoto nos encontramos, pero en este caso es para saber cuál es el nivel de la accidente o incidente nuclear.

En esta escala se generan primeramente 7 divisiones, desde lo que es considerado como una anomalía, en el primer nivel, hasta un accidente grave, en el séptimo nivel. Además se realiza una agrupación que divide a estos 7 niveles en dos grupos, por un lado se encuentran los incidentes que agrupa desde el nivel 1 hasta el 3 y por el otro los accidentes que se encuentran desde el nivel 4 hasta el nivel 7 (IAEA, 2017), tal como se puede observar en la ilustración 2.

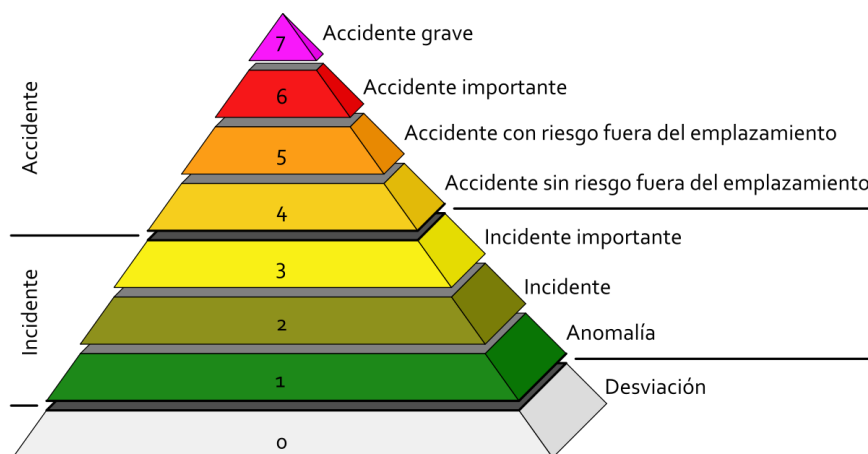


Ilustración 2: Escala Internacional de Sucesos Nucleares y Radiológicos (Spoon, 2011)

Los niveles están descritos según 3 ítems:

- Personas y medio ambiente: Relacionado con la dosis de radiación que reciben las personas situadas en las cercanías del lugar donde ocurre el evento, además de la liberación no prevista, en un área amplia, de materiales radiactivos en zonas fuera de la instalación (IAEA, 2017).
- Barreras y controles radiológicos: Relacionado con el interior de las grandes instalaciones, los niveles altos de radiación no previstos y la liberación de considerables cantidades de materiales radiactivos confinados en dicha instalación (IAEA, 2017).
- Defensa en profundidad: Relacionado con el conjunto de medidas que se han establecido para prevenir los accidentes y no han funcionado según lo previsto (IAEA, 2017).

Según estos ítems, se describe cada uno de los niveles de la escala INES de la siguiente manera:

DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS NIVELES DE LA INES			
Nivel de la INES	Personas y medio ambiente	Barreras y controles radiológicos	Defensa en profundidad
Accidente grave Nivel 7	• Liberación grave de materiales radiactivos con amplios efectos en la salud y el medio ambiente, que requiere la aplicación y prolongación de las contramedidas previstas.		
Accidente importante Nivel 6	• Liberación importante de materiales radiactivos, que probablemente requiere la aplicación de las contramedidas previstas.		
Accidente con consecuencias de mayor alcance Nivel 5	• Liberación limitada de materiales radiactivos, que probablemente requiere la aplicación de algunas de las contramedidas previstas. • Varias defunciones por radiación.	• Daños graves en el núcleo del reactor. • Liberación de grandes cantidades de materiales radiactivos dentro de una instalación, con alta probabilidad de exposición del público; provocada posiblemente por un incendio o un accidente de criticidad grave.	
Accidente con consecuencias de alcance local Nivel 4	• Liberación menor de materiales radiactivos, con escasa probabilidad de tener que aplicar las contramedidas previstas, salvo los controles locales de alimentos. • Al menos una defunción por radiación.	• Fusión de combustible o daño al combustible, que provoca una liberación superior al 0,1% del inventario del núcleo. • Liberación de cantidades considerables de materiales radiactivos dentro de una instalación, con alta probabilidad de importante exposición del público.	
Incidente importante Nivel 3	• Exposición diez veces superior al límite anual establecido para la exposición de los trabajadores. • Efecto no letal de la radiación en la salud (p. ej., quemaduras).	• Tasas de exposición superiores a 1 Sv/h en una zona de operación. • Contaminación grave en una zona no prevista en el diseño, con escasa probabilidad de exposición importante del público.	• Cuasi accidente en una central nucleoelectrica sin disposiciones de seguridad pendientes de aplicación. • Pérdida o robo de fuentes selladas de radiactividad alta. • Entrega equivocada de fuentes selladas de radiactividad alta, sin que existan procedimientos adecuados para manipularlas.
Incidente Nivel 2	• Exposición de una persona del público por encima de 10 mSv. • Exposición de un trabajador por encima de los límites anuales reglamentarios.	• Niveles de radiación superiores a 50 mSv/h en una zona de operación. • Contaminación importante dentro de una instalación en una zona no prevista en el diseño.	• Fallos importantes en las disposiciones de seguridad, aunque sin consecuencias reales. • Hallazgo de una fuente sellada huérfana, de un dispositivo o de un embalaje para el transporte de radiactividad alta, con indicación de las disposiciones de seguridad, sin que haya habido menoscabo. • Embalaje inadecuado de una fuente sellada de radiactividad alta.
Anomalia Nivel 1			• Sobreexposición de una persona del público por encima de los límites anuales reglamentarios. • Problemas menores en componentes de seguridad, con importantes medidas de defensa en profundidad pendientes de aplicación. • Pérdida o robo de fuentes radiactivas, de dispositivos o de embalaje para el transporte de actividad baja.
SIN SIGNIFICACIÓN PARA LA SEGURIDAD (Debajo de la escala/Nivel 0)			

Ilustración 3: Descripción General de los Niveles de la INES (IAEA, 2017)

Pero la generación de energía eléctrica no es la única aplicación de la energía nuclear, sino que además puede ser aplicada en muchos otros sectores, como en medicina o medioambiente, En particular Chile es un ejemplo de la aplicación de la energía nuclear en otras áreas, pues en este país existen dos reactores nucleares que se usan únicamente para aplicaciones distintas a la generación de energía eléctrica.

4.3 Situación de la energía nuclear en Chile.

La Energía nuclear aparece por primera vez en Chile en 1964, luego de que el Doctor Eduardo Cruz-Coke propusiera en 1955 al Senado un proyecto de creación de una institución con la capacidad de regular los aspectos relacionados con la energía nuclear en el país, creándose el 16 de abril de 1964 la Comisión Nacional de Energía Nuclear, que luego el 23 de octubre de 1965 pasó a llamarse Comisión Chilena de Energía Nuclear (“Energía nuclear en Chile,” 2019).

Desde 1955 a la fecha el desarrollo de la energía nuclear en Chile ha tenido 3 etapas distintivas:

- Exploración tecnológica

En esta etapa, comprendida entre 1955 y 1964, se envió a científicos y otros fuera del país a estudiar sobre energía nuclear (avances y tecnologías), y además se hizo ingreso a organismos internacionales como la CIEN (Comisión Interamericana de Energía Nuclear) y la OIEA (Organismo Internacional de Energía Atómica) que tienen

como fin la cooperación tanto científica como técnica entre los países miembros y el uso pacífico de la tecnología nuclear (“Energía nuclear en Chile,” 2019).

Adicionalmente a esto se realizó la firma de tratados y acuerdos, en 1959 se firma acuerdo con Estados Unidos para prestar apoyo en lo a que investigación de la energía nuclear se refiere (“Energía nuclear en Chile,” 2019), el mismo año se firmó el tratado Antártico el cual establecía en su primer artículo que “La Antártida se utilizará exclusivamente para fines pacíficos”, por lo cual, y entre otras cosas, se prohíben las explosiones nucleares y la eliminación de desecho radiactivos dentro del territorio (“STA - El Tratado Antártico,” n.d.). Por último, en 1963 firmó el tratado de prohibición parcial de ensayos nucleares en la atmósfera, el cual prohibía cualquier detonación nuclear exceptuando las que se efectuarán bajo tierra (IAEA, 1963).

- Investigación Tecnológica

La etapa de investigación tecnológica, que se llevó a cabo entre los años 1964 y 1974, tuvo la característica de crear infraestructura, formar planes, crear comités asesores de diversas áreas, firmar acuerdos de asistencia técnica y la captación de profesionales para el desarrollo de la energía nuclear en el país. Lo más destacado fue:

La creación de la Comisión Nacional de Energía Nuclear en 1964, que luego desde 1965 sería la Comisión Chilena de Energía nuclear, la cual se creó para atender todas las problemáticas relacionadas con la producción, adquisición, transferencia, transporte y uso pacífico tanto de la energía atómica como de los

materiales fisionables y radiactivos (“Uso de la energía nuclear en Chile - aprende con energía,” 2017).

En el año 1966 se creó el primer centro de estudios nucleares de Chile en la Reina, que inicialmente contaba con 120 profesionales, agrupados en 29 grupos de docentes investigadores, que se enfocaron en los aspectos nucleares de diversas áreas como medicina, física, bioquímica, ciencias puras, farmacología, entre otras (“Energía nuclear en Chile,” 2019).

El mismo año el departamento de física de la Universidad de Chile realizó las primeras mediciones de la radiactividad de aire tanto en la isla de Pascua como en Juan Fernández. Posteriormente la CCHEN genera un programa nacional de mediciones de la radiactividad ambiental de la mano del Servicio Nacional de Salud, la Fuerza Aérea, la Universidad Técnica Federico Santa María y la Universidad de Chile (“Energía nuclear en Chile,” 2019).

En 1972 se firmó un acuerdo de colaboración en la investigación de la energía nuclear con España, que generó que en los inicios de los trabajos del centro de estudios nucleares de Lo Aguirre se trabajara en conjunto con la Junta de Energía Nuclear de España (“Energía nuclear en Chile,” 2019).

- Nivel Experimental

Esta etapa comprende desde 1983 hasta la fecha. Al inicio de la etapa se contaba con laboratorios de análisis por activación, análisis de uranio por conteo de neutrones, entre otros. Se diseñó un plan para realizar una reglamentación y

normativa técnica en lo a que seguridad nuclear y radioprotección se refiere, además de desarrollar una política de relaciones internacionales y establecer instalaciones a nivel piloto (“Energía nuclear en Chile,” 2019).

El día 2 de mayo de 1984 fue promulgada la ley de seguridad nuclear que generó, 4 años más tarde que la CCHEN tuviese el control de las instalaciones radiactivas de primera categoría en el país. Al año siguiente se firmó el protocolo para la cooperación de los usos pacíficos de la energía nuclear con la Corporación Nuclear China, en el cual ambos países se comprometieron a cooperar (“Energía nuclear en Chile,” 2019).

Hasta el día de hoy Chile no cuenta con electricidad a partir de la energía nuclear, pero la energía producida por los reactores existentes aporta en otras áreas como lo son la medicina, agricultura, alimentación, medio ambiente, industria e investigación.

En medicina aporta mediante la producción de radioisótopos y radiofármacos usados para la detección y el tratamiento del cáncer además de enfermedades cardiovasculares y neurológicas (“Comisión Chilena de Energía Nuclear,” 2019). También es utilizada para irradiar sangre que será transfundida a pacientes con inmunodeficiencia, piel para pacientes con quemaduras y huesos que serán trasplantados (“Uso de la energía nuclear en Chile - aprende con energía,” 2017).

En agricultura contribuye en la inocuidad de las frutas y verduras por medio de la irradiación de las mismas (SERNAC, 2004), en el control de plagas tal como la mosca de la fruta o el gusano de tebo (Colegio de Ingenieros Agrónomos de Chile, 2014).

En alimentación ayuda aumentando la conservación de los alimentos (Legislación Chilena, 2016). En medio ambiente genera un aporte determinando las cantidades de algunas sustancias contaminantes en el ambiente, con isótopos (energía-nuclear.net, 2019).

4.4 Situación de la energía en Chile.

Tal como ha sido mencionado anteriormente, en Chile la energía nuclear no es parte de la matriz energética, la cual a fines de 2018 se encontraba constituida en más de un 50% por energías fósiles mientras que las ERNC no alcanzaban un 10%, valor que, aunque es pequeño, es mayor que el correspondiente a nivel mundial, además se encuentra en constante aumento.

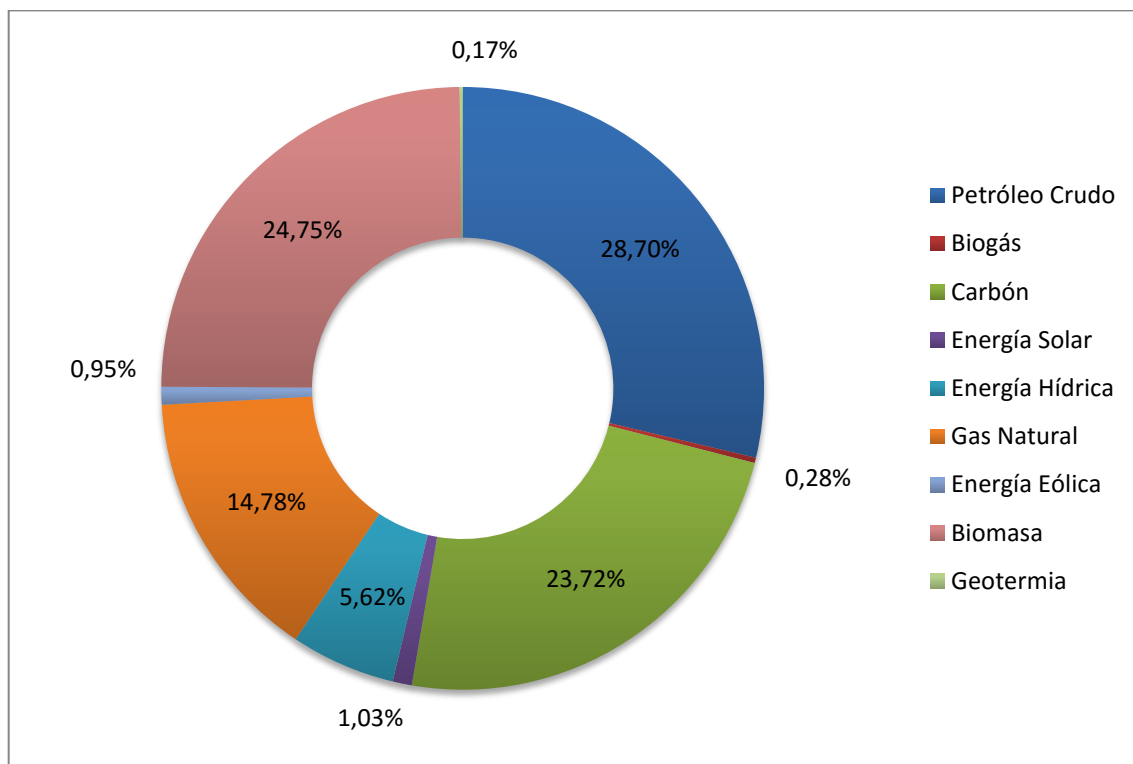


Ilustración 4: Matriz energética Chile (Energía Abierta, 2018)

En la hoja de ruta 2050°, no se muestra la energía nuclear de potencia como opción (Ministerio de Energía, 2014), pero tampoco se declara que no se permitiría la instalación de una planta nuclear de potencia. Donde se muestra los lineamientos, metas y objetivos del país en temáticas energéticas para los años 2035 y 2050, algunos de los lineamientos que se pueden encontrar son:

- Promover una alta penetración de energías renovables en la matriz eléctrica con un mínimo de 70% al 2050
 - Al menos 70% de energía renovable en la matriz eléctrica al 2050.

- Fomentar la participación de combustibles de bajas emisiones de GEI y contaminantes atmosféricos en la matriz energética
 - Al menos 65% de combustibles bajos en emisiones de GEI y de contaminantes atmosféricos en la matriz de combustibles al 2050.
 - Al menos 50% de combustibles bajos en emisiones de GEI y de contaminantes atmosféricos en la matriz de combustibles al 2035.
- Asegurar que el desarrollo energético favorezca el desarrollo local definido por las comunidades (indígenas y no indígenas), de manera coherente con la estrategia nacional y regional. Se promoverá la implementación de proyectos impulsados por comunidades interesadas en aprovechar los recursos energéticos de su territorio.
 - Se espera que tanto al 2035 como al 2050 los indicadores de desarrollo local se vean impactados positivamente por la materialización de iniciativas energéticas.
- Promover un intercambio regional eficiente sin crear dependencias energéticas
 - La integración energética regional es una realidad y no afecta negativamente la seguridad de abastecimiento al 2050
 - Al 2030 hay al menos 2 países con los que se realiza un intercambio energético significativo, sin afectar negativamente la seguridad de abastecimiento

Para el último de los lineamientos que se han enlistado, en noviembre de 2017 se dio un gran paso con la puesta en marcha del sistema eléctrico nacional, el cual conecta Chile desde Arica en el norte hasta la isla de Chiloé en el sur y cuenta con una capacidad instalada neta de 22.369 MW versus los 62 MW y 104 MW del sistema de Aysén y el Sistema de Magallanes respectivamente (“Generadoras de Chile - Generación eléctrica en Chile,” 2019).

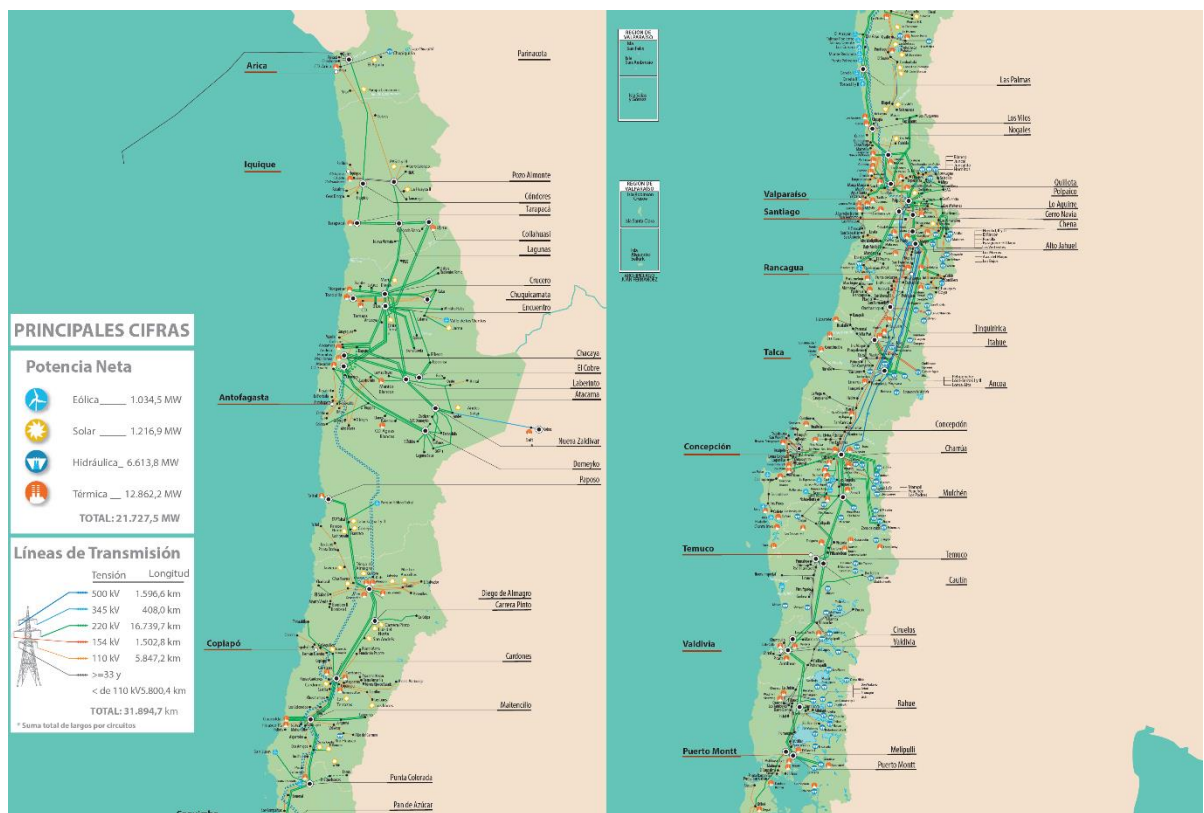


Ilustración 5: Mapa Sistema Eléctrico Nacional (SEN) (Coordinador Eléctrico Nacional, 2018)

Otro de los lineamientos que se menciona es el lineamiento 12 el cual hace referencia a que el desarrollo energético debe ser coherente con las estrategias regionales. Estas son un instrumento de planificación a largo plazo que elaboran los

gobiernos regionales donde indican la misión y visión de su región, además de declarar los objetivos y metas de la región en un plazo establecido. En gran parte estos tienen un enfoque económico, social y ambiental

5. METODOLOGÍA

En este capítulo se describe la metodología a utilizar durante el proceso de este trabajo. Esta se dividirá en dos etapas, tal como se muestra en el Ilustración 6. La primera etapa busca generar relaciones entre estudios y artículos con las estrategias regionales de desarrollo. La segunda se relaciona con la aceptabilidad social. Este tema se abordará de manera aparte y desde un principio puesto que en reuniones con miembros de la Comisión Chilena de Energía nuclear se mencionó la importancia de tomar en cuenta este tema para la selección del emplazamiento E. Vargas (comunicación personal, mayo, 2018), basadas ambas en un análisis documental.

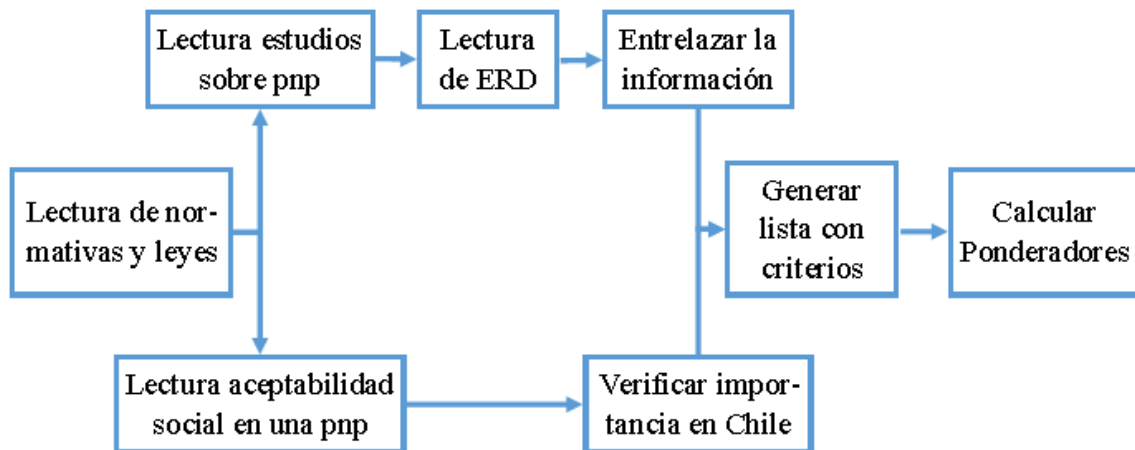


Ilustración 6: Esquema de metodología completa

Lo primero, será realizar una revisión bibliográfica lo más extensa posible, indagando en todas las normativas, nacionales e internacionales existentes actualmente para la selección y aceptación del emplazamiento de una planta nuclear de potencia (PNP), considerando todas las características y requisitos que debe tener el lugar en cuestión. Con la finalidad de saber cuáles son los criterios existentes y obligatorios que deben ser considerados, para no redundar en las recomendaciones que se realicen, repitiendo criterios ya establecidos por norma, se revisarán tanto las normativas impuestas por la Organización Internacional de Energía Atómica (SSR-1, NS-R-3, entre otras) como los reglamentos y leyes chilenas relacionadas.

Una vez concluido de manera efectiva y satisfactoria el primer paso, se deberá proseguir trabajando en dos líneas paralelas. Una línea está enfocada en realizar un análisis de la importancia y la influencia de la aceptabilidad social tanto en el terreno de la energía nuclear a nivel mundial, como en Chile en diferentes áreas y distintos macroproyectos que puedan ser asemejados a la instalación de una planta nuclear de potencia, además de los factores que podrían afectar al nivel de aceptabilidad social que tenga la población con el proyecto. La otra línea de trabajo estará orientada en cómo una planta nuclear de potencia podría generar aportes y/o causar perjuicio en el cumplimiento de las metas y los objetivos de la región en la cual esta sea emplazada, basándose en lo que cada una de las regiones ha declarado en las estrategias regionales de desarrollo.

La primera línea de trabajo que será explicada es aquella relacionada con las estrategias regionales de desarrollo (ERD). Inicialmente se deberá llevar a cabo una exploración bibliográfica, que intentará ser diversa en los puntos de vista para no generar un sesgo, y que pretenderá abarcar la mayor cantidad de textos, artículos y estudios que hablen y hagan referencia a las repercusiones, tanto positivas como negativas que han tenido distintos países y ciudades por tener al menos una planta nuclear de potencia. Esta exploración estará enfocada principalmente en temáticas económicas y sociales, no considerando por ende los accidentes o incidentes, ni otros relacionados con la seguridad, temas ambientales o aportes energéticos. Este enfoque tiene la intención de generar un registro de todos aquellos criterios que podrían afectar socialmente al lugar del emplazamiento posterior a la instalación de una planta nuclear de potencia.



Ilustración 7: Esquema metodología Parte 1

Un vez concluida esta etapa y generado el registro, se procederá a la lectura de las estrategias regionales de desarrollo de cada una de las regiones tomadas en cuenta para este trabajo, que serán las conectadas mediante el nuevo sistema eléctrico nacional, teniendo para esto, como base el registro desarrollado en la etapa anterior, para poder ir extrayendo de las estrategias la información útil para continuar el trabajo, es decir, aquella que demuestre que una planta nuclear de potencia podría influir directamente en



Ilustración 8: Esquema Metodología Parte 2

los objetivos y metas de cada una de las regiones que estén relacionados con los criterios. Por ejemplo, si en el registro de los criterios se está considerando el aporte al PIB que puede generar una planta nuclear de potencia y dentro de las metas u objetivos de una región en particular está declarado el aumento en el PIB regional, ya sea en relación al país o en un porcentaje fijo, se considerará que en aquellas metas u objetivos que esto se plantee, la instalación de una planta nuclear de potencia podría generar un avance en el cumplimiento de los mismos. Además, con la lectura de las ERD podrían aparecer nuevos criterios que debiera ser considerados, para ello se deberán realizar nuevamente las lecturas y análisis de las estrategias regionales de desarrollo, de aquellas regiones que hayan sido revisadas sin haber considerado el o los nuevos criterios.

Una vez concluida la etapa de lectura de todas las estrategias regionales de desarrollo, se proseguirá a cruzar la información contenida en el registro de criterios y las obtenida a través de las ERD. Para un mejor entendimiento de este cruce de información se construirá una matriz en la cual se ordenarán en las filas todas las regiones consideradas dentro de este trabajo y en columnas todos los criterios que serán considerados para este trabajo, realizando una marca en la celda donde se encuentre la fila de una región con la columna referente a un criterio que tenga relación con sus

objetivos y metas en particular, con esto, además se podrá observar cuales de los criterios se repiten en las regiones.

En la línea de trabajo relacionada con la temática de aceptabilidad social, los primero será realizar, al igual que en la otra línea de trabajo, una revisión bibliográfica en la búsqueda de artículos y estudios que demuestran la importancia a nivel mundial de la aceptabilidad social durante toda la vida útil de un proyecto de generación eléctrica a partir de energía nuclear, buscando además en esta exploración bibliográfica casos en los cuales la aceptabilidad social haya generado repercusiones tanto positivas como negativas en un proyecto, además de los factores influyentes en el nivel de aceptabilidad de la población para con los proyectos de generación eléctrica y particular a partir de energía nuclear.

Más adelante, y una vez concluida la etapa descrita anteriormente, si y sólo si se ha considerado la aceptabilidad social como un tema importante a nivel de la energía nuclear en el mundo, se realizará una búsqueda relacionada con la aceptabilidad social de macroproyectos en Chile, idealmente de proyectos energéticos, con la finalidad de verificar, o no, que este aspecto puede tener una repercusión real en la puesta en marcha y vida útil de un proyecto de la envergadura que tiene una planta nuclear de potencia, o al menos similar. Para esto se intentará buscar ejemplos de casos reales en los últimos tiempos en que se haya bajado proyectos en Chile por no contar con el apoyo de la gente. Y se estudiarán los casos más emblemáticos de rechazo popular a proyectos de generación eléctrica, como los son HidroAysén y Alto Maipo.

Posteriormente, y cuando se tengan todos los criterios que serán tomados en cuenta se procederá a calcular los ponderadores respectivos a cada uno de estos. Para ello se asignará un puntaje a cada criterio, al cual se irá sumando un punto por cada región en que este pueda influir al cumplimiento de un objetivo, lineamiento o meta, ya sea de manera positiva o negativa. En cuanto al criterio relacionado con la aceptabilidad social, se hará una revisión de los conflictos sociales en el mapa de conflictos del Instituto Nacional de Derechos Humanos, sumando un punto por cada región en la que se ha clausurado, bajado o cerrado algún proyecto, energético o no, como consecuencia de los conflictos, y medio punto por aquella región en que no se haya bajado, cerrado o clausurado, pero sí se hayan impuesto multas o sanciones a las empresas. Una vez se tengan los puntajes correspondientes a todos los criterios se hará la suma de todos generando un total con el cual se calcularán los ponderadores de cada criterio como la razón entre el puntaje relativo al criterio y el total.

6. DESARROLLO

En el presente capítulo se explicará cómo se llegó a los resultados, los textos que se ha utilizado para llegar a estos, el cómo y por qué se han utilizado y como fueron encontrados. Concluirá con la lista de los criterios que se recomienda sean considerados en la decisión del emplazamiento de una central nuclear de potencia en Chile, con los ponderadores relativos a cada uno de los criterios, en el caso en que se decidiera instalar una planta nuclear de potencia en Chile.

Lo primero fue aprender sobre la energía nuclear leyendo algunos textos explicativos encontrados mediante el buscador de Google, teniendo especial cuidado en que los autores fueran confiables, los cuales además fueron apoyados con explicaciones de profesionales de la Comisión Chilena de Energía Nuclear, con la finalidad de tener un entendimiento más acabado del tema.

Nombre	Autor o Página Web	Año de publicación
Nuclear energy	https://www.nationalgeographic.org/	2011
La energía nuclear (Monografía)	Consejo de Seguridad Nuclear Español	2015
Energía nuclear	https://energia-nuclear.net/	2018
What Is Nuclear Energy?	https://www.nei.org/	2019
¿Qué es la Energía Nuclear?	https://www.argentina.gob.ar/	No aparece
What is nuclear energy?	http://www.nnr.co.za/	No aparece
Tecnología y aplicaciones nucleares	https://www.iaea.org	No aparece

Tabla 1: Lecturas sobre Energía Nuclear (Fuente: Elaboración propia)

Posteriormente se realizó una búsqueda de documentos relacionados con la seguridad y el diseño en las publicaciones del OIEA, con la finalidad de saber cuáles son las normas y recomendaciones que Chile, como país miembro de la OEIA, debe seguir, para esto se leyeron los siguientes títulos, obtenidos desde la página de la organización.

Nombre	Serie	Autor	Año de publicación
Hitos en el desarrollo de una infraestructura nacional para la energía nuclear	Energía nuclear	OIEA	2007
Garantizar sistemas nacionales de seguridad nuclear robustos: fortaleza institucional en profundidad	Grupo internacional de seguridad nuclear (INSAG)	OIEA	2017
Infraestructura de seguridad nuclear para un programa nacional de energía nuclear respaldado por los principios fundamentales de seguridad del OIEA	Grupo internacional de seguridad nuclear (INSAG)	OIEA	2012
Licencia de la primera planta de energía nuclear	Grupo internacional de seguridad nuclear (INSAG)	OIEA	2012
Participación de las partes interesadas en cuestiones nucleares	Grupo internacional de seguridad nuclear (INSAG)	OIEA	2006
Basic infrastructure for a nuclear power project	Norma de seguridad	OIEA	2006
Evaluación del emplazamiento de instalaciones nucleares	Norma de seguridad	OIEA	2017
Seguridad de las centrales nucleares: Explotación	Normas de seguridad	OIEA	2004

Seguridad de las centrales nucleares: Diseño	Normas de seguridad	OIEA	2016
Diseño de sistemas de energía eléctrica para centrales nucleares	Normas de seguridad	OIEA	2016
Establecimiento de la infraestructura para la seguridad radiológica	Normas de seguridad	OIEA	2018
Evaluación del sitio para instalaciones nucleares	Normas de seguridad	OIEA	2016
Evaluación prospectiva del impacto radiológico ambiental para instalaciones y actividades	Normas de seguridad	OIEA	2018
Establecimiento de la infraestructura de seguridad nuclear para un programa de energía nuclear	Seguridad nuclear	OIEA	2018

Tabla 2: Lecturas iniciales OIEA (Fuente: Elaboración propia)

Luego de esto se continuó con la búsqueda de información relacionada con normativas del sistema eléctrico y la situación eléctrica en Chile, además de leyes nacionales, sobre los usos de suelo y otras que pudieran ser importantes para la decisión del emplazamiento de una central nuclear de potencia. Para la búsqueda de información de esta parte se utilizó el buscador de Google, puesto que era información accesible y fácil de encontrar. Los textos y leyes revisados se encuentran en la tabla 3.

Nombre	Organismo o Autor	Año de publicación
Ley 20930: Establece el derecho real de conservación medioambiental	Ministerio del Medio Ambiente	2016
Ley 18362: Crea un sistema nacional de áreas silvestres protegidas del estado	Ministerio de Agricultura	2014
Decreto 52: Aprueba reglamento del coordinador independiente del sistema	Ministerio de energía	2018

eléctrico nacional		
Ley 19613: Modifica la ley N°18410, orgánica de la superintendencia de electricidad y combustibles, y el decreto con fuerza de ley N°1, de 1982, de minería, ley general de servicios eléctricos, con el objeto de fortalecer el régimen de fiscalizador del sector.	Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción; Subsecretaría de Economía, Fomento y Reconstrucción	1999
Hoja de Ruta 2050: Hacia una energía sustentable e inclusiva para Chile	Comité consultivo de energía 2050	2015
Energía 2050: Política energética de Chile	Ministerio de Energía	2015
Guía para la descripción del uso del territorio en el SEAI: Guía para la descripción del área de influencia	Servicio de Evaluación Ambiental	2013

Tabla 3: Lecturas Situación rubro energético en Chile (Fuente: Elaboración propia)

Más adelante, teniendo en claro todo lo que debe cumplir un central nuclear de potencia tanto por las normativas internacionales como por las leyes y reglamentos chilenos es que se procedió a una inspección de estudios y artículos realizados sobre energía nuclear en Chile, por diferentes autores. Los textos leídos en esta parte del desarrollo fueron encontrados en parte por recomendación de personas de la Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN) y otros fueron encontrados por el buscador de Google.

Nombre	Autor	Año de publicación
Consideraciones para el Emplazamiento de un CNP: Condicionantes que impone una CNP sobre el sitio y Criterios de seguridad.	Loreto Sepúlveda V.	2017
Energía nuclear: ¿Una alternativa para Chile?	Susana Jiménez S.	2016

Factores incidentes en la viabilidad de la núcleo-electricidad en Chile	Comité energía nuclear de la Comisión de energía del Colegio de ingenieros de Chile A.G.	2015
Generación Núcleo-eléctrica en Chile: Hacia una decisión racional	Comité de Energía Nuclear de Potencia	2015
Dilema energético: La energía Nuclear	Jorge Zanelli	2011

Tabla 4: Lecturas Energía Nuclear en Chile (Fuente: Elaboración propia)

Posteriormente, y sabiendo sobre requerimientos y los trabajos que se han realizado en relación con las posibilidades de la energía nuclear en Chile y que debería considerarse, se empezó la revisión de literatura para encontrar los criterios que serán considerados en primera instancia dentro de este trabajo. Para encontrar los textos revisados en esta etapa del trabajo se utilizaron varios buscadores, entre ellos el buscador de Google, scielo.org y sciencedirect.com, además para lograr descargar algunos de los documentos se debió utilizar sci-hub. Los textos examinados durante esta etapa se muestran, junto a sus autores y años de publicación en la tabla 5.

Nombre	Autor	Año de publicación
¿Cómo influye la energía nuclear en el medio ambiente?	Foro Nuclear	2013
‘From the Familiar to the Extraordinary: Local Residents’ Perceptions of Risk When Living With Nuclear Power in the UK’	K. Parkhill, N. Pidgeon, K. Henwood	2012
Economic benefits from UK nuclear plans	World nuclear news	2012

El agua consumida por las nucleares en España no supera los 2,8 Hm3 anuales	ABC.es	2008
Estados Financieros del Organismo correspondientes a 2017	OIEA	2018
Guidance Document for Measuring Employment Generated by the Nuclear Power Sector	Internacional Atomic Energy Agency Guidance	2015
How would social acceptance affect nuclear power development? A study from China	X. Yuan, J. Zou, R. Ma et al	0
Impacto socioeconómico de la industria nuclear en España	PwC	2014
Jobs for two centuries in nuclear	d. Harkery p. Has Hirschboek	2010
Los gases de efecto invernadero y el ciclo del combustible nuclear: ¿qué emisiones se generan?	M. Taylor	1997
Mapa de conflictos socioambientales en Chile	INDH	2012
Miles de puestos de empleo por cada 1000 Mwe de capacidad nuclear construida	Foro Nuclear	2017
Noticias de Garoña 2019: última hora de la central nuclear	etb.eus (Página web)	2019
Nuclear technology and economic development in the Republic of Korea	OIEA	2008
Public involvement as a tool to enhance nuclear safety	P. Richardson, K. Rickwood, P. Rickwood	2012
The cognitive and Economic Value of a Nuclear Power Plant in Korea	G. Lim, W. ung, T. Kim et al	2017
Trabajo Decente	ILO	2016
Understanding social acceptance of electricity generation surces	N. Bronfman, R. Jiménez, P. Arévalo et al.	2012
Valuing the greenhouse gas emissions from nuclear power: A critical survey	Benjamín Sovacool	2008
Viviendo con la energía nuclear	L. Potterton	2010

Tabla 5: Lecturas para definir criterios (Fuente: Elaboración propia)

A continuación, tanto para verificar la validez de los criterios en Chile, como para realizar el cálculo del ponderador que le correspondería a cada uno de ellos, se concretó la revisión de las estrategias regionales de desarrollo las cuales fueron obtenidas en su totalidad desde el centro de documentos de la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (subdere), y además se realizó una nueva indagación en el mapa de conflictos sociales del Instituto Nacional de Derechos Humanos (INDH).

Finalmente se ejecutó una búsqueda de información para calcular los puntajes que obtendrían dos regiones, para hacer un caso de estudio y realizar una comparación entre ambas. Para esto, se utilizaron en su mayoría páginas web, a excepción del criterio relacionado con la emisión de gases de efecto invernadero, en el cual se tenía la información sobre la emisiones generadas en el rubro de la energía para el año 2016, pero no se contaba con la información de generación eléctrica de dicho año para las regiones evaluadas para hacer el cálculo del ratio necesario en este criterio, por lo que se decidió solicitar la información vía correo electrónico a los seremis de energía correspondiente para cada región.

Para la continuidad del trabajo es importante tener en cuenta que se trabajará considerando una planta nuclear de potencia de 1000 MW para cualquier referencia, por consecuencia se tomará en cuenta únicamente con el sistema eléctrico nacional, pues el resto de los sistemas eléctricos del país son muy pequeños y una central nuclear de potencia de esta envergadura podría generar inseguridades en el sistema.



Ilustración 9: Regiones consideradas en el trabajo

Al leer y estudiar las normas relacionadas con el emplazamiento de una PNP, tanto a nivel nacional, con las leyes de Chile, como internacional, con las normativas de la OIEA, fue posible notar la gran cantidad de criterios considerados en estas, desde temáticas de viabilidad técnica como disposición de un sumidero de calor durante toda la vida útil del proyecto u otras como no considerar zonas protegidas, hasta la probabilidad de colisión de dos aviones sobre el sitio. Por ello se decidió cambiar la forma de trabajo y enfocarse a las estrategias de desarrollo regional, y el cómo podría afectar a sus objetivos y metas el tener una planta nuclear de potencia. Pero es fundamental recordar seguir todas las normativas y leyes para no tener problemas durante la vida útil del proyecto.

Dado lo anterior se comenzó con la revisión de textos de diferentes índoles (revistas, artículos web, papers, entre otros) relacionados con los efectos de una PNP en el lugar donde ésta se ubica. De los textos y estudios leídos se pudo encontrar varios ítems en los que una planta nuclear de potencia podría generar impactos, algunos cuantificables de manera previa considerando una PNP típica de 1.000MW de potencia instalada, y otros que, aunque se sabe que podrían ser impactados son difíciles de cuantificar, ya sea por la no existencia de datos o por la gran diferencia entre los datos y estudios existentes.

1. Aporte directo al PIB

Se considera el aporte directo de una central nuclear de potencia, es decir, remuneraciones y ventas entre otros, puesto que el indirecto que podría venir de tratamientos médicos o aumento en exportaciones por irradiación, no será un aporte a la región donde se localiza la planta sino a todo el país. Para este ítem se consideraron los datos de 3 países, España donde el aporte directo al PIB de la industria nuclear el año 2013 fue de 1.967.000.000 euros con una capacidad instalada de 7120 MW (PwC, 2014), considerando estos datos y que el valor promedio del euro en ese año fue de \$657,54, según la base de datos estadísticos del Banco Central de Chile, el aporte por cada 1000 MW fue de \$181.653.813.497. Corea que con una capacidad instalada de 17.715 MW en 2005 generó un aporte al PIB de 9.162.000.000.000 won (IAEA, 2008) al tomar los datos del Banco Central de Chile para la conversión del won en 2005 este se estima en 0,55 pesos chilenos, teniendo así que el aporte de cada 1000 MW al PIB fue de \$282.740.882.258. Por

último, en Reino Unido al 2012 se contaba con una capacidad instalada de 8918 MW, los cuales fueron capaces de generar 3,993 millones de dólares en aporte al PIB (World Nuclear News, 2012). Tomando en cuenta que el valor promedio del dólar en 2012 fue 486,75 pesos, se obtiene que el aporte por cada GW instalado fue de \$217.938.888.642. Finalmente, al realizar el cálculo de la media aritmética se tiene que el aporte medio de cada 1000 MW de capacidad instalada es alrededor de \$227mil millones de pesos, equivalente a un 0,000119% del PIB chileno y a un 0,004045% del actual aporte del sector energético al PIB nacional, valor que aumenta considerablemente al considerar los PIB regionales de algunas regiones, teniendo aumentos desde el 0,00037% en la región metropolitana hasta un 0,0303% en la región de Aysén, la cual no será considerada dentro del estudio, y dentro de las consideradas en el trabajo la que recibiría un mayor impacto en el PIB regional sería la región de Arica y Parinacota con un 0,02157%

2. Generación de empleo

Para este punto se considerará el promedio de los valores extraídos de 4 estudios para el empleo generado en la fase de operación, la cual puede llegar a durar entre 50 a 60 años. En el primero se muestra que en España se han generado 8.472 empleos directos por la industria nuclear, la que tiene una capacidad instalada de 7.120 MW (PwC, 2014), por consiguiente para la capacidad de nuestro interés (1000MW) se estiman 1190 puestos de trabajos directos. En el segundo texto se dice que para la capacidad instalada de 1000 MW serán

requeridos 615 puestos de trabajos directos en la fase de operación (International Atomic Energy Agency Guidance, 2015), mientras que en “Miles de puestos de empleo por cada 1000 MWe de capacidad nuclear construida” el Foro Nuclear (2017) expresa que para la capacidad en cuestión se generarán 600 puestos de trabajo directos. Por último, Harker y Hirschboeck (2010) explican que la razón entre empleos generados y MW es de 0,5. En consecuencia, para una capacidad instalada de 1000 MW se requerirían 500 empleados. Finalmente se realiza el cálculo del promedio de los valores antes mencionados, obteniendo que para 1000 MW de capacidad nuclear instalada se generarán aproximadamente 726 puestos de trabajo directos.

3. Uso del Recurso Hídrico

Para este ítem se considerarán los valores presentes en “El agua consumida por las nucleares en España no supera los 2,8 Hm³ anuales” de ABC.es (2008), donde se muestran las cantidades de agua que utiliza una central nuclear tipo de 1000 MW, considerando tanto el flujo que entra al proceso y sale completo como las pérdidas que se producen por evaporación. El texto muestra que anualmente pasan por una planta de 1000 MW entre 15 y 20 Hm³, de los cuales 0,4 se transforman en pérdidas por la evaporación.

4. Aporte a investigación y desarrollo

En este ítem no se considerará un valor o un promedio para la inversión que se podría llegar a hacer en investigación y desarrollo puesto que depende en gran medida de las intenciones y recursos con los que se cuente, pero el ítem si será considerado para hacer el cruce con las ERD puesto que en la industria nuclear hay grandes oportunidades de realizar investigación y con ella desarrollar nuevas tecnologías, tanto para generación de energía eléctrica como para medicina y otros. En España la industria nuclear hizo una inversión de más de \$45 millones euros en I+D, equivalente al 1,03% de la inversión total en I+D realizada en el país (PwC, 2014). De todas maneras, este criterio no será utilizado en el desarrollo de este trabajo, puesto que no se puede asumir ciertamente que el proyecto que acompañe la instalación de una PNP en Chile tenga contemplado generar investigación y desarrollo en la misma instalación, ni cuanto se invertirá en estos ítems en caso de hacerlo, aunque si se incluirá en la revisión de las estrategias regionales de desarrollo. El objetivo de incluir este ítem es que si existiese un proyecto que contemple inversión en investigación y desarrollo pueda ser incluido en la evaluación propuesta por este trabajo, y el ponderador correspondiente pueda ser calculado fácilmente.

5. Gases de efecto invernadero

Este debe ser el ítem más complicado debido a que en la literatura no existe consenso sobre si la emisión de gases de efecto invernadero durante la fase de operación es neutra o si es comparable con la de una planta termoeléctrica

alimentada por carbón. El Foro Nuclear (2013), plantea que durante la operación de una PNP no emite CO₂, ocasionando un ahorro del 8% en emisiones a nivel mundial y muestra con la siguiente tabla comparativa que la energía nuclear sería una de las que menos dióxido de carbono emite.

CANTIDADES (EN TONELADAS) DE DIÓXIDO DE CARBONO	
POR GIGAVATIO-HORA PRODUCIDO CONSIDERANDO EL CICLO DE VIDA COMPLETO	
Carbón	1.100
Gas natural (cogeneración)	650
Gas natural (ciclo combinado)	450
Biomasa	50
Solar	40
Hidráulica	20
Nuclear	5
Eólica	4

Ilustración 10: Cantidad (En toneladas) de dióxido de Carbono por gigavatio-hora producido considerando el ciclo de vida completo (FORO NUCLEAR, 2013)

Por otro lado, Benjamín Sovacool (2008), tras observar grandes diferencias en estudios realizados sobre las emisiones de la energía nuclear partiendo en 1,4 *gramos de CO₂/kWh* y hasta 288 gramos de *CO₂/kWh*, decide en su trabajo “Valuing the greenhouse gas emissions from nuclear power: A critical survey” llegar a un valor medio, habiendo considerado sólo los estudios más recientes (posteriores a 1997) y que además fuesen accesibles y con metodologías comparables obteniendo que las emisiones serían de 66 gramos de $\frac{CO_2}{kWh}$. Considerando que $\frac{1 \text{ gr de } CO_2}{kWh} = \frac{1 \text{ Ton } CO_2}{GWh}$, Sovacool (2008) propone un valor 13,2 veces más grande que el Foro Nuclear de España (2013). Esto se debe , según el mismo Sovacool (2008), a que en muchas ocasiones no se consideran las emisiones generadas por la fabricación del combustible, y sería justamente esta la que más emisiones genera.

En relación a esto último, la organización internacional de energía atómica expresa que esto se basa en un argumento que supone un gran aumento en el uso de la energía nuclear acrecentando la demanda de uranio, obligando a la utilización de uranio de baja ley, el cual en su proceso productivo aumentaría las emisiones, pero según la OIEA y apoyándose en datos del Instituto del Uranio (UI) existe suficiente uranio de bajo costo para satisfacer la demanda hasta después de 2020 (Taylor, 1997).

6. Empleos de Calidad

Dentro de los textos revisados, en varias ocasiones se encontraron cifras describiendo el aporte de la industria nuclear a la generación de empleos de calidad, considerando esto como la estabilidad de los empleos, es decir la generación de empleos estables con contratos fijos. Para entender mejor el concepto y confirmar que los empleos de calidad tuviesen relación con lo que estos textos mostraban es que se realizó una búsqueda en la cual se obtuvo que el concepto es más amplio que solo la estabilidad. Según la Organización Internacional del Trabajo (ILO por sus siglas en inglés) el trabajo decente o de calidad es “la oportunidad de acceder a un empleo productivo que genere ingreso justo, la seguridad en el lugar de trabajo y la protección social para las familias, mejores perspectivas de desarrollo personal e integración social, libertad para que los individuos expresen sus opiniones, se organicen y participen en las decisiones que afectan sus vidas, y la igualdad de oportunidades y trato para todos, mujeres y hombres.” (“Trabajo decente,” 2016). Por lo anterior es que no es posible para este trabajo determinar si la construcción de una PNP tendría como consecuencia directa la generación de empleos de calidad en alguna de las fases de proyecto.

7. Capacitaciones

Se considera este ítem, aunque el aporte de este no sea cuantificable de manera previa puesto que, dentro de la industria nuclear, aún más en un país virgen en lo a que generación nucleoelectrica se refiere, es muy importante mantener capacitados a los trabajadores, desde los choferes hasta el jefe del

reactor. Por lo peligroso que puede llegar a ser que no tengan los conocimientos o habilidades necesarias y porque es una industria en constante desarrollo en todos sus ámbitos (seguridad, operaciones, medicina, entre otros). Es por ello que el OIEA cuenta con una amplia gama de cursos de capacitaciones mostrando en el presupuesto asignado la importancia de los mismo, en 2017 la organización utilizó 34,7 millones de euros en capacitaciones, equivalente al 6% del presupuesto total (“Estados Financieros del Organismo correspondientes a 2017,” 2018).

Teniendo todos ítems en cuenta se empieza con la revisión de las estrategias regionales de desarrollo de cada región, poniendo especial énfasis en buscar si existen dentro de los objetivos, metas y lineamientos alguno en que una central nuclear de potencia podría ser un aporte positiva o negativamente. Por ejemplo, en la región de Antofagasta el primer objetivo del tercer lineamiento (Región sustentable) dice “Proteger el recurso hídrico a través de una eficiente administración, en concordancia con las condiciones regionales de extrema aridez y atendiendo a las presiones que se ejercen sobre su oferta limitada y poco conocida.”, lo que tiene relación con el punto 3 Uso del Recurso Hídrico. En este caso se agregaría en la tabla 6 una x en la celda que une la región de Antofagasta con el criterio relacionado con el uso eficiente del recurso hídrico. En la región del Maule, su segundo lineamiento tiene como meta el “disminuir a la mitad la brecha actual entre el PIB per cápita regional y nacional...”, lo que se relaciona con el primer punto aporte directo al PIB. En este caso debe poner la x en la

celda donde se intercepta la región del Maule con el criterio relacionado con el aumento del PIB regional.

Haciendo este tipo de analogías con cada una de las regiones se construye la tabla 6, en la que se muestra en cada una de las regiones los criterios que han sido encontrados dentro de sus objetivos, metas y lineamientos definidos en las estrategias regionales de desarrollos respectivas. Con esto se puede ver para cuantas regiones se ha establecido como importante cada uno de los criterios, lo que nos servirá para decidir qué criterios serán utilizados, y más adelante establecer las ponderaciones respectivas a cada uno de los criterios.

		Arica y Parinacota	Tarapacá	Antofagasta	Atacama	Coquimbo	Valparaíso	Metropolitana	O'Higgins	Maule	Biobío	La Araucanía	Los Ríos	Los Lagos
1	Aumento del PIB Regional				x		x			x				
2	Mejorar empleabilidad		x		x		x			x				
3	Uso eficiente o sustentable del recurso hídrico	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x		x
4	Investigación y Desarrollo	x		x	x	x						x		
5	Disminuir Gases de Efecto Invernadero						x	x	x	x	x			
6	Capacitaciones y/o Formación del capital humano		x	x	x		x			x	x	x		x
7	Generar empleos de calidad			x			x				x			

8	Incentivar ERNC	x	x	x			x		x		x	x		
9	Diversificación de la matriz energética	x		x		x			x			x	x	
10	Nuevas alternativas de empleo					x	x							
11	Atraer inversiones										x	x		
12	Atraer y retener capital humano		x							x	x			

Tabla 6: Criterios y Estrategias Regionales de Desarrollo

Anteriormente desde la revisión bibliográfica se habían considerado 7 criterios y en esta tabla hay 12. Del criterio uno al siete se encuentran los criterios obtenidos de la revisión bibliográfica. El número 7 es el de empleos de calidad. Este criterio se consideró, aunque no se pudiese establecer el aporte que una PNP pudiese generar en este dado que 3 regiones lo consideran en sus ERD, por lo cual sería importante definir a que se refiere con esto y poder realizar un estudio relacionado con la calidad de empleos generados por las PNP. Luego el punto de incentivar las ERNC, aunque no apareció previamente en la revisión bibliográfica, es de conocimiento general que la energía nuclear no es una energía renovable no convencional, puesto utiliza uranio para su generación (el cual no es infinito en la tierra). Por otro lado, el punto sobre diversificar la matriz energética será un aporte en cualquier región, puesto que ninguna cuenta con energía nuclear y por consecuencia el emplazamiento de una PNP diversificará la matriz de la región. Lo mismo ocurre con el punto referente a generar nuevas alternativas de empleo y con la atracción de inversión, pues un proyecto de esta envergadura sería financiado o por el estado o por privados o por ambos, pero no por la región. Finalmente, el punto 12 habla sobre atraer y retener en la región nuevo capital humano. Este criterio no necesariamente será influido por una PNP, y al igual que la investigación

y desarrollo, dependerá de las necesidades y características particulares del proyecto, pero considerando el nivel de la mano de obra requerida es de esperar que se produzca un traslado de capital humano.

La aceptabilidad, que es un tema que cada vez toma mayor importancia en la vida de los grandes proyectos y que ha generado el cierre o la aprobación de algún proyecto, también ha hecho de los suyos en proyectos de energía nuclear. Por lo que se han realizado una gran cantidad de estudios en diferentes partes del mundo para analizar este tema con los cuales se pueden ir respondiendo varias preguntas, como Qué factores influyen en nivel de aceptabilidad de una PNP, serían principalmente factores asociados con el medio ambiente y la salud (Yuan, Zuo, Ma, & Wang, 2017), o la existencia, en el último tiempo, de accidentes e incidentes, lo que genera un aumento en la percepción de riesgo de la gente (Parkhill, Pidgeon, Henwood, Simmons, & Venables, 2010). Un estudio realizado en Chile sobre la aceptación de diferentes tecnologías de generación de energía, basado en la opinión y percepción de estudiantes chilenos obtuvo que uno de los factores más relevantes en la aceptación de una fuente de energía es el beneficio que se percibe de la misma (Bronfman, Jiménez, Arévalo, & Cifuentes, 2012).

La importancia de la aceptabilidad social recae en esencia en la posibilidad de que por este motivo se cierre o apruebe un proyecto. Uno de los casos que mejor ejemplifica como la baja aceptabilidad social puede votar un proyecto se dio en España, donde la organización “Araba sin Gardoña” por medio manifestaciones habría logrado que las autoridades del país decidieran el cierre de la planta Santa María de Gardoña.

Pero esto podría haber sido revertido en marzo de 2017 donde las autoridades tenían pensado otorgar los permisos para reabrir la, posterior a múltiples manifestaciones organizadas por la misma organización es que se opta, a finales de 2017 por el desmantelamiento de la central, estando en este momento en la etapa de pre desmantelamiento (eitb.eus, 2019). Desde el otro lado está el ejemplo de la ciudad de Oskarshamn en Suecia, donde por varios motivos entre los que más destacan la transparencia y sinceridad de la empresa, es una ciudad declarada a favor de la energía nuclear de potencia, teniendo una planta con 3 reactores, llegando a tal punto que en una encuesta realizada por SKB (empresa sueca de gestión de combustible y residuos nucleares) más de un 80% de la población estaba a favor de que la planta de encapsulamiento que se instalaría en Suecia fuese emplazada en su ciudad (Potterton, 2010).

En Chile también se han visto múltiples conflictos sociales contra grandes proyectos, con más de 100 conflictos sociales en los últimos años, de los cuales 44 corresponden a conflictos provocados en base a proyectos energéticos. Los más reconocidos son Alto Maipo, proyecto ubicado en la Cuenca alta del río Maipo, que desde que se presentó en 2008 tuvo gran oposición de organizaciones de los alrededores por la vulneración que se generaría a las reservas de agua potable y de riego. En 2011 obtuvo el permiso para la construcción y en 2012 se desestimó un recurso de protección interpuesto por la coordinadora No Alto Maipo (INDH, 2012), por parte de la corte de apelaciones de Santiago. Luego de varias demandas, el proyecto se está llevando a cabo, reportándose a febrero de 2019 un avance de 75%. Otro proyecto emblemático es

HidroAysén, ubicado en la región de Aysén, que consta de la construcción y operación de 5 centrales hidroeléctricas con embalse. Este proyecto fue aprobado en 2011, y reafirmando en 2012 donde la tercera sala de la corte suprema confirma la resolución de la corte de apelaciones de Puerto Montt, rechazando los 7 recursos de protección interpuestos en contra del proyecto. Luego de varios vaivenes de rechazar y acoger recursos, con campañas de sensibilización y difusión, el 20 de enero de 2015 la empresa encargada del proyecto informó que desistió de continuar con el proyecto, posterior a que la DGA denegara los derechos de agua solicitados por HidroAysén (INDH, 2012). Es por todo lo anterior que resulta fundamental para el proceso de un proyecto que considere la construcción de una PNP considerar la opinión y percepción de la gente, sobre todo de los sectores aledaños.

En razón a lo anteriormente mencionado en este trabajo se presenta una lista de las recomendaciones emanadas desde el mismos.

1. Lo primero será considera un lugar que cumpla con todas las normas impuestas por la OIEA tanto en temática de seguridad como en otras, y con las leyes del país, en lo que refiere a usos de suelo, distancias etcétera.

Al comparar entre regiones será mejor escoger aquellas en que:

2. El aporte al PIB regional sea mayor.
3. Se genere un mayor aumento a la empleabilidad.
4. El impacto en el uso del recurso hídrico sea lo menor posible, inclusive negativo (es decir, se disminuya el ratio de litro de agua

por kW generado, o en el caso de que por instalar una PNP se retire un central correspondiente a otra tecnología, la PNP consuma menos litros de agua por kW generado).

5. Se contribuya a disminuir el ratio de gases efectos emanados por kW generado, aportando a disminuir la contaminación.
6. Los esfuerzos no estén enfocados únicamente en ERNC, por ser zonas mayormente aptas, pues de considerar un PNP se estaría utilizado espacio y recursos que inicialmente estarían destinadas para ERNC.
7. Aquellas regiones donde se desee o requiera una mayor diversificación en la matriz energética.
8. Sea más necesario, por la poca cantidad que exista o el bajo desarrollo regional, generar capacitaciones y calificar mayormente al capital humano o se requiera atraer capital humano calificado.
9. Por último, pero no menos importante donde la gente tenga una reacción más favorable frente al proyecto.

Finalmente se asignará un coeficiente a cada uno de los criterios, con la finalidad de poder hacer las comparaciones correspondientes entre cada una de las regiones. Para esto se considerará en los criterios emanados de las ERD la cantidad de regiones en que cada uno es considerado, lo que se estimará como puntaje de este criterio. Para el valor que se asigne a la aceptabilidad social se considerará la cantidad de regiones en que proyectos han sido bajados por temáticas de aceptabilidad social más la

mitad de la cantidad de regiones en que proyectos o empresas han sido multados o hayan dejado de operar por un tiempo determinado, según los datos existentes en el mapa de conflictos sociales del Instituto Nacional de Derechos Humanos. Luego una vez sumado todos los puntajes y obtenido el total, se calcularán los ponderados, siendo estos la razón entre el puntaje de cada uno de los criterios y el total.

En la Tabla 7 se encuentra la suma puntos que ha obtenido cada uno de los ocho criterios y la ponderación correspondiente, notando que el criterio más relevante será el uso eficiente del recurso hídrico, seguido muy de cerca por la realización de capacitación y formación del capital humano y la aceptabilidad social. En último lugar se encuentra la generación de nuevas alternativas de empleo.

	Arica y Parinacota	Tarapacá	Antofagasta	Atacama	Coquimbo	Valparaíso	Metropolitana	O'Higgins	Maule	Biobío	La Araucanía	Los Ríos	Los Lagos	Puntos	Ponderación
Uso eficiente del recurso hídrico	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1		1	11	0,212
Capacitación y formación del capital humano		1	1	1		1			1	1	1		1	8	0,154
Aceptabilidad Social	0,5	0,5	0,5	1	0,5	1	1		0,5	1		0,5	1	8	0,154
Incentivar ERNC	1	1	1			1		1		1	1			7	0,135
Diversificación de la matriz energética	1		1		1			1			1	1		6	0,115

Disminuir GEI por unidad de energía						1	1	1	1	1				5	0,096
Mejorar empleabilidad		1		1		1			1					4	0,077
Aumento del PIB Regional				1		1			1					3	0,058
TOTAL														52	

Tabla 7: Ponderadores de cada criterio

7. ESTUDIO DE CASO

En este capítulo se hará un estudio de caso, evaluando los criterios en dos regiones. Se ha seleccionado la región de Valparaíso y la región de Tarapacá de manera arbitraria. Además, se irá mostrando como se ha asignado el puntaje para cada una de las regiones, y como se podrán asignar para el resto de las regiones. Los puntajes relativos a cada criterio tendrán valores enteros entre -100 y 100, considerando que la suma de los ponderadores de todos los criterios es 1, es que el puntaje final correspondiente a cada una de las regiones también estará entre -100 y 100.



Ilustración 11: Mapa Eléctrico Valparaíso (Coordinador Eléctrico Nacional, 2018)

El primer criterio por evaluar será el aporte del PIB. Para esto se considerará el monto de aporte al PIB directo que genera una planta nuclear de potencia en el aumento del PIB regional promedio que ha tenido la región desde 2014 al 2017, según los datos estadísticos del Banco Central de Chile. En la tabla 8 se muestran los valores del producto interno bruto de la región de Valparaíso en miles de millones, y el aumento que ha tenido el PIB año a año. Con esto se calcula el promedio del aumento que se ha generado en los últimos años, el cual equivale a \$253.000.000.000 pesos.

Año	2013	2014	2015	2016	2017
PIB Regional	11.379	11.439	11.777	12.107	12.390
Aumento		60	338	330	283

Tabla 8: PIB Regional Valparaíso (en miles de millones)

El aporte directo al PIB que genera una planta nuclear de potencia considerado en este trabajo es de \$154.966.444.720 pesos chilenos. La instalación de una planta nuclear de potencia generaría un aumento al aumento anual del PIB de un 61,31% inicialmente. Por ello que el puntaje que se dará al criterio de aumento al PIB regional será de 61 puntos.

Con la finalidad de obtener el puntaje del criterio relacionado con el uso eficiente del recurso hídrico se calculará un índice estimativo de la cantidad de litros que se requiere para generar un kWh en la región en cuestión (índice de consumo de agua) según su matriz energética, y datos de consumo de agua relacionados con generación de energía de diferentes fuentes en Estados Unidos, y luego se calculará el porcentaje de variación que existiría en el índice si se instalara una planta nuclear de potencia en la región. Para calcular esto se considerará que, por una planta nuclear de potencia de 1000

MW pasan entre 1.500.000 y 2.000.000 litros de agua al año, de los cuales 40.000 son consumidos por causa de la evaporación y el resto son devueltos a la fuente en su totalidad (ABC.es, 2008). Para realizar el cálculo del índice de consumo de agua se utilizarán datos de Estados Unidos los cuales han sido ordenados y trabajados en la en la tabla 9.

Fuente	Generación anual (kWh)	Agua consumida (litros)	Agua consumida por unidad de energía (litros/kWh)
Petróleo	1.839.110.000.000.000	2,5173E+15	1,36876
Etanol	78.260.000.000.000	2,91477E+15	37,24464
Carbón	391.300.000.000.000	2,38481E+15	6,09458
Gas Natural	1.252.160.000.000.000	1,32489E+15	1,05809
Hidroeléctrica	39.130.000.000.000	1,85485E+15	47,40227
Solar	39.130.000.000.000	0	0
Biomasa	78.260.000.000.000	1,32489E+14	1,69294
Geotérmica	39.130.000.000.000	7,94936E+14	20,31526

Tabla 9: Consumo de agua por unidad de energía EUA (“Estados Unidos Electricidad - consumo - Energía,” 2017).

Con la información de la tabla 9 y la información de la generación bruta por cada fuentes (Comisión Nacional de Energía, 2019), se pudo realizar un cálculo de cuánta agua se consumió por cada fuente de energía en 2018 en la región. Posteriormente se realizó la suma del consumo de agua de todas las fuentes, lo que se divide por la generación bruta de energía en la región, obteniendo un índice de consumo de agua para la región de Valparaíso de $4,17 \frac{\text{Litros}}{\text{kWh}}$, tal como se muestra en la tabla 10.

Tipo	Generación anual (kWh)	Agua (litros)
Petróleo	48.000.000	65.700.413
Carbón	5.208.000.000	31.740.561.274
Gas Natural	7.164.000.000	7.580.131.161
Hidroeléctrica	289.440.000	13.720.113.583
Solar	60.000.000	0
Biomasa	12.000.000	243.783.113
TOTAL	12.781.440.000	53.350.289.543
Índice de consumo de agua (litros/kWh)		4,17

Tabla 10: Índice de consumo de Agua Valparaíso

Luego, considerando el supuesto de que se instalará una PNP de 1000MW de potencia con un factor de uso de 40%, se realiza el mismo cálculo incluyendo la generación de la PNP por un lado y el consumo de agua anual de la misma por el otro, obteniendo un índice de consumo de agua de $3,28 \frac{\text{Litros}}{\text{kWh}}$, tal y como se muestra en la tabla 11. Habiendo generado una disminución en el índice de un 22%, por lo que el puntaje en la región de Valparaíso en el criterio de uso eficiente del recurso hídrico es de 22 puntos. En el caso de que en alguna región el índice se viera aumentado con la instalación de una PNP el puntaje deberá ser negativo e igual a los puntos porcentuales de aumento.

Tipo	Generación anual (kWh)	Agua (litros)
Petróleo	48.000.000	65.700.413
Carbón	5.208.000.000	31.740.561.274
Gas Natural	7.164.000.000	7.580.131.161
Hidroeléctrica	289.440.000	13.720.113.583
Solar	60.000.000	0
Biomasa	12.000.000	243.783.113
Nuclear	3.504.000.000	40.000

TOTAL	16.285.440.000	53.350.329.543
Índice de consumo de agua (litros/kWh)	3,28	

Tabla 11: Índice de consumo de agua región de Valparaíso con PNP

Para el puntaje correspondiente al criterio relacionado con mejorar la empleabilidad regional se consideró la diferencia porcentual, originada por el empleo generado en la región debido a la instalación de la PNP, entre la distancia de la tasa de empleo regional y la tasa de empleo nacional, tomándose como puntaje del criterio el valor aproximado al entero.

Tasa de Ocupación Nacional	55,4%
Tasa de Ocupación Valparaíso	53,572%
Tasa de Ocupación Valparaíso con PNP	53,594%

Tabla 12: Tasas de Ocupación (Instituto Nacional de Estadísticas, 2019)

Para esto se tomaron datos del trimestre enero-marzo 2019 publicados por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE), donde se muestra que la tasa de ocupación a nivel nacional es de un 55,4% y la de la región de Valparaíso es de un 53,572% (Instituto Nacional de Estadísticas, 2019), produciendo una diferencia de 1,876 puntos porcentuales en desmedro de la región portuaria. Luego se calcula la tasa de ocupación que se tendría con la instalación de una PNP considerando que esta podría generar 726 puesto de empleo directo, obteniendo una tasa de ocupación de 53,594%, generando una disminución en la diferencia de la región frente al escenario nacional, llegando a 1,854 puntos porcentuales, logrando acortar la diferencia en 0,022 puntos porcentuales, esta diferencia porcentual corresponde a un 1,149% de la distancia inicial. Finalmente, el

puntaje correspondiente a la mejora en la empleabilidad de la región de Valparaíso es de 1 puntos.

El puntaje del criterio relacionado con la diversificación de la matriz energética de cada región será igual al porcentaje al cual equivaldría la potencia de la PNP sobre el total de la potencia instalada en el escenario actual. La región de Valparaíso cuenta, actualmente, con una capacidad instalada de 3.399 MW (“Región de Valparaíso - Energía Región,” n.d.), al considerar la instalación de una PNP de 1000 MW en el escenario actual, la capacidad instalada aumentaría a 4.399 MW y la PNP correspondería a un 22,73% del total de la capacidad instalada en la región, en consecuencia el puntaje correspondiente al criterio de diversificación de la matriz energética será de 23 puntos.

En relación al criterio vinculado con la emisión de gases de efecto invernadero se calculó el ratio de gramos de CO₂ equivalentes por kWh generado en la región (R1), y el ratio que tendría la región si es que contará con una PNP (R2), se calculó la diferencia porcentual entre ambos con base en R1, el puntaje será positivo si R1 es mayor que R2 y negativo si R1 es menor que R2 y la norma del puntaje equivale a los puntos porcentuales de la diferencia entre ambos ratios.

Tal como se ha mencionado en capítulos anteriores no se han logrado encontrar similitudes razonables como obtener un valor promedio o aproximado, por lo cual se

optara por evaluar el puntaje con dos valores, los $66 \frac{gr\ de\ CO_2}{kWh}$ de Sovacool (2008) y los $5 \frac{gr\ de\ CO_2}{kWh}$ del Foro Nuclear de España (2013).

Según datos expuestos por la Oficina de Cambio Climático del Ministerio del Medio ambiente (2019), en 2016 en la región de Valparaíso se emitieron 14.727 toneladas de CO₂ equivalentes de los cuales 13.283 provenían del sector energético. Mediante correo electrónico fue posible obtener la información de la generación eléctrica bruta de la región de Valparaíso en 2016, que fue de 15.468,52 GWh H. Balde (comunicación personal, 2019). Al cruzar la información se obtiene que en el año 2016 se produjeron $0,85876 \frac{gr\ de\ CO_2}{kWh}$ por generación eléctrica en la región de Valparaíso. Al incluir la planta de energía nuclear de potencia en el cálculo se obtiene un ratio de $12,88958 \frac{gr\ de\ CO_2}{kWh}$ considerando el ratio de emisión de gases de efecto invernadero propuestos por Sovacool (2008) ($66 \frac{gr\ de\ CO_2}{kWh}$) y un ratio de $0,70108 \frac{gr\ de\ CO_2}{kWh}$ considerando el ratio de emisión de gases de efecto invernadero propuesto por el Foro Nuclear de España(2013) ($5 \frac{gr\ de\ CO_2}{kWh}$), teniendo una diferencia porcentual con el ratio calculado sin considerar la PNP de -1400% y 18% respectivamente. Con lo anterior se tiene que los puntajes asignados deberán ser de (-) 100 y 18 a correspondencia para las ratios de Sovacool y el Foro Nuclear.

En cuanto al criterio relacionado con el incentivo a las energías renovables no convencionales (ERNC), el puntaje será calculado como el porcentaje de disminución en la proporción de energías renovables no convencionales en la matriz energética regional.

Además, como la incorporación de un PNP no es favorable a este criterio, el puntaje será negativo.

Actualmente la matriz energética de Valparaíso cuenta con un 9,24% de ERNC. Si en el escenario actual se considera un PNP de 1000MW en operaciones, el porcentaje disminuiría a un 7,14%, generando una disminución de 2,1 puntos porcentuales equivalentes a un 22,73% de la participación inicial de las ERNC en la región. Por consiguiente, el puntaje asignado al criterio en la región de Valparaíso será de (-)23 puntos.

El puntaje referente al criterio sobre las capacitaciones se calculó como los puntos porcentuales de la relación entre el gasto en capacitación por país miembro de la OIEA y el gasto en capacitaciones sence de la región. Si el porcentaje obtenido es mayor a 100% el puntaje que se otorgará será 100 puntos. Para este cálculo se considerará que la inversión en capacitaciones de la OIEA es repartida de manera igualitaria entre los 169 países miembros con los que contaba en 2017, tomando en cuenta que la inversión en capacitaciones del organismo durante el año 2017 fue de 34,7 millones de euros (Estados Financieros del Organismo correspondientes a 2017, 2018), y que el valor promedio del euro durante ese año fue de 732,44 pesos (BANCO CENTRAL DE CHILE, 2017), la inversión asignada a cada país para capacitaciones es de 150.388.568 pesos, lo que equivale a un 6,25% del gasto en capacitaciones sence de la región de Valparaíso, el cual corresponde a 2.405.089.001 pesos (Servicio Nacional de

Capacitación y Empleo, n.d.), en consecuencia el puntaje que debe ser otorgado al criterio capacitaciones en la región de Valparaíso es de 6 puntos.

En cuanto al puntaje que se asignará al criterio de la aceptabilidad social, dado que no existen datos ni encuestas que tengan información sobre la opinión pública separada por lugar de procedencia u otro similar, se tomaron los datos de la encuesta publicada por la universidad católica del estudio de percepción ciudadana sobre energía nuclear del ministerio de energía, donde se muestra la respuesta a la pregunta ¿Estaría usted de acuerdo con la construcción de una planta de energía nuclear en Chile? según edad y género entre otros (Magister Ingeniería de la Energía UC, 2010), junto con datos del censo 2017 donde se muestra la cantidad de personas en la región de Valparaíso según su edad (Instituto Nacional de Estadísticas, 2017).

GRUPO ETARIO	NO	SI
18 - 34	67,3%	27,2%
35 - 54	72,4%	23,8%
55 +	59,8%	33,6%

Tabla 13: ¿Estaría usted de acuerdo con la construcción de una planta de energía nuclear en Chile? Según edad(Magister Ingeniería de la Energía UC, 2010) .

GRUPO ETARIO	CANTIDAD	PROPORCIÓN
18 - 34	481.886	0,341
35 - 54	468.161	0,331
55 +	465.049	0,329

Tabla 14: Cantidad de Personas Según Grupo Etario en la Región de Valparaíso (Instituto Nacional de Estadísticas, 2017).

Para generar el cruce entre ambos datos se calculó la proporción correspondiente a cada uno de los grupos etarios de la región, tal como se observa en la Tabla 14, para luego multiplicar cada uno de los ponderadores con el porcentaje correspondiente al mismo grupo etario de la respuesta si, que se considera equivalente a

que una persona acepte la instalación de una PNP. De esto se obtiene que el porcentaje de aceptación equivalente con esta metodología de cálculo para la región de Valparaíso es de un 28,2%, por lo que el puntaje que se otorga en el criterio de aceptabilidad social en la región de Valparaíso es de 28 puntos.

Finalmente, con todo lo mostrado en este capítulo se construye una tabla para la región de Valparaíso donde se muestra el ponderador de cada criterio, el puntaje correspondiente para el caso de considerar la emisión de gases de efecto invernadero propuestos por Benjamín Sovacool (2008) (caso 1) y el caso de considerar la emisión de gases de efecto invernadero propuestos por el Foro Nuclear de España (2013) (caso 2), y el puntaje final para la región de Valparaíso para ambos casos, siendo este para el caso 1 de 3,4 puntos, y para el caso 2 de 14,8 puntos.

	Ponderación	Sovacool	Foro Nuclear
Uso eficiente del recurso hídrico	0,212	22	22
Capacitación y formación del capital humano	0,154	6	6
Aceptabilidad Social	0,154	28	28
Incentivar ERNC	0,135	- 23	- 23
Diversificación de la matriz energética	0,115	23	23
Disminuir GEI por unidad de energía	0,096	-100	18
Mejorar empleabilidad	0,077	1	1

Aumento del PIB Regional	0,058	61	61
PUNTAJE TOTAL	3,4	14,8	

Tabla 15: Desglose Puntaje Región de Valparaíso

Utilizando exactamente el mismo método y consiguiendo los datos e información de las mismas fuentes, inclusive aquella que fue obtenida por medio de correos electrónicos, se calcula el puntaje de la región de Tarapacá con la finalidad de realizar una comparación con los puntajes de ambas regiones. Se escoge esta región en parte por la gran diferencia tanto en población como en los indicadores económicos y la actividad de generación eléctrica, con la finalidad de que las diferencias que se generen en el total sean aclaradoras y no se expliquen únicamente por la inexactitud de algunos datos.



Ilustración 12: Mapa Eléctrico Tarapacá (Coordinador Eléctrico Nacional, 2018)

Los puntajes obtenidos para la región de Tarapacá se muestran desglosados en la tabla 16, en la que se ve que los totales obtenidos por la región de Tarapacá son de 31,4 puntos para el caso 1 y de 49,20 puntos para el caso 2.

	Ponderación	Sovacool	foro nuclear
Uso eficiente del recurso hídrico	0,212	81	81
Capacitación y formación del capital humano	0,154	100	100
Aceptabilidad Social	0,154	27	27
Incentivar ERNC	0,135	- 77	- 77
Diversificación de la matriz energética	0,115	77	77
Disminuir GEI por unidad de energía	0,096	- 100	85
Mejorar empleabilidad	0,077	1	1
Aumento del PIB Regional	0,058	100	100
PUNTAJE TOTAL		31,4	49,2

Tabla 16: Desglose Puntaje Región de Tarapacá

Es de fácil apreciación que los puntajes correspondientes a la región de Valparaíso, para ambos casos, son menos que los obtenidos por la región de Tarapacá. Por lo que en el caso de que existiesen dos posibles localizaciones para una planta nuclear de potencia en Chile, las cuales estuviese ubicadas una en la región de Tarapacá

y la otra en la región de Valparaíso, ambas cumpliendo con las necesidades, reglamentos y normas para la instalación, según este método se debería escoger la ubicación de la región de Tarapacá.

	Sovacool	Foro Nuclear
Puntaje Valparaíso	5,2	18,4
Puntaje Tarapacá	21,9	38,0

Tabla 17: Puntajes de Valparaíso y Tarapacá

8. RESULTADOS

Dentro de este capítulo se desarrolla un análisis de los resultados, discutiendo la importancia y la influencia de los mismo para la resolución del problema desde el cual nace este trabajo.

En relación con esto, dentro de este trabajo se pueden diferenciar los resultados separándolos en tres partes: los criterios que son considerados, las ponderaciones de los criterios y los resultados emanados desde el estudio de caso. Las tres partes de este trabajo se unifican dado que, cada parte requiere de la anterior para ser desarrollada en su cabalidad.

En cuanto a los criterios obtenidos de este trabajo, resultó interesante la existencia de diversas temáticas, tales como económicas (PIB y desempleo), ambientales (recurso hídrico, emisión de GEI y ERNC) y sociales (aceptabilidad social y capacitaciones), considerando de manera positiva que el método de selección de localización tome en cuenta varias temáticas diferentes e importante para la localidad.

Uso eficiente del recurso hídrico
Capacitación y formación del capital humano
Aceptabilidad Social
Incentivar ERNC
Diversificación de la matriz energética
Disminuir GEI por unidad de energía
Mejorar empleabilidad
Aumento del PIB Regional

Tabla 18: Criterios considerados

La calidad de empleo es un criterio que no se tomó en cuenta para los resultados de este trabajo puesto que los estudios que relacionaba las plantas nucleares de potencia con la calidad del empleo, lo hacían en gran parte considerando como calidad del empleo la estabilidad del mismo, es decir, empleos con contrato fijo, mientras que la organización internacional del trabajo (ILO) considera varios factores más para considerar un empleo de calidad, como la generación de ingreso justo, la protección para la familia, el desarrollo tanto personal como social, la libertad de expresión y la igualdad de oportunidades entre hombres y mujeres, y en la mayor parte de las regiones que mencionan la calidad de empleo en su ERD no especifican a qué se refieren en particular con esto. De igual manera se estima que la calidad de empleo es un criterio bastante importante, por lo que sería interesante que fuese uno más de los criterios pero para ello se debería, primero hacer estudios para lograr cuantificar de alguna manera la calidad de empleo, y segundo hacer comparaciones además de analizar cuál sería la importancia del factor, viendo que ha considerado como calidad de empleo cada una de las regiones que toma en cuenta este tema dentro de sus ERD.

Por otro lado, sería sugestivo para un nuevo trabajo de esta índole, considerar las estrategias regionales de desarrollo que deben estar trabajando cada una de las regiones, esto dado que la mayoría de las ERD utilizadas en este trabajo tiene como fecha de meta el 2020, por lo que se cree que al considerar las nuevas ERD podrían variar los criterios considerados, apareciendo nuevos o eliminando algunos. El hacer esto sería relevante puesto que, si se considera la instalación de una planta nuclear en Chile, es claro que esto sería llevando a cabo posterior a 2020, quizás incluso posterior a

2030, por lo que al comenzar la operación las metas de cada una de las regiones serán distintas a las consideradas dentro de este trabajo que a esa fecha será obsoletas. Igualmente, no ha sido considerada la nueva región del Ñuble, dado que la ERD de esta región está en desarrollo. Lo anterior no solo podría influir en los criterios que son considerados, sino que también en la importancia que cada uno tiene en el método, es decir en los ponderadores que tendrá cada uno de los criterios, esto en parte porque las ERD con las que se trabajó fueron desarrolladas previo a la unión del SING y el SIC, por lo que temas relacionados con la seguridad del sistema o emisiones de GEI podría disminuir su relevancia.

En relación con cada uno de los criterios emanados desde este trabajo, es de suma importancia realizar estudios propios, para cuantificar el aporte que estos podrían forjar. En parte porque la realidad de Chile es distinta a la que viven países como España, Corea y Suecia, y al tener un proyecto en particular se podría estimar cuánto será su aporte al PIB, cuánto empleo generará, cuánta agua utilizará y cuántos GEI emitirá entre otros, y en otra parte por las diferencias que se presentan en varios de los estudios relacionados sobre todo con la cuantificación de los criterios, lo que se puede explicar en cierto grado porque los estudios en su mayoría están realizados por entes a favor de la energía nuclear y entes en contra de la energía nuclear, pero muy pocos han sido realizado por agentes completamente imparciales (o los más imparcial posible), lo que genera datos bastante extremos en algunos de los criterios, en el criterio que más se notan estas diferencias es en la emisión de GEI.

En cuanto a los criterios medioambientales, estos se consideran de suma importancia, sobre todo considerando la actual situación que atraviesa el planeta. Sobre el uso del recurso hídrico, es importante en todos los ámbitos disminuir el consumo de agua, considerando que existen muchos lugares del planeta con sequías y que Chile, no exento a esto, está pasando por una crisis hídrica. También estamos pasando por uno de los mayores cambios climáticos, lo cual en gran parte es ocasionado por los gases de efecto invernadero. Por ello es importante tomar medidas para su mitigación, entre las cuales está disminuir la emisión de gases de efecto invernadero en todas las formas. En esta temática se encuentran dos criterios, primero el incentivo a las energías renovables no convencionales, las cuales aportan al no generar emisiones y en su lugar utilizar energías provenientes de fuentes limpias y naturales, y segundo la reducción de emisión de gases de efecto invernadero.

Es sustancial la consideración de criterios económicos, dado que, para toda economía, país, región, comuna entre otros, es importante crecer, desarrollarse y generar oportunidades para todos sus habitantes. Al considerar un macroproyecto de cualquier tipo es fundamental saber cómo afectará en los aspectos económicos, cuánto aportará al PIB y cuánto empleo generará, para así poder analizar en qué lugar el proyecto será de mayor aporte.

Por lo que toca a los criterios sociales, no pueden ser dejados de lado. Por un lado, es importante saber cómo afectará en diferentes ámbitos algún proyecto en quienes habitan en las cercanías a la instalación de este. Un aumento en las capacidades y mejor

formación de la gente podría generar mayor sensación de éxito personal, además de aumentar los ingresos de los habitantes, y mejorar la mano de obra del lugar, lo que podría generar aportes en diferentes áreas.

Por otro lado, es trascendental la opinión que tenga la población, las reacciones que puedan tener y las acciones que puedan llegar a tomar tanto si el proyecto es de su agrado o no, puesto que su reacción puede generar desde mayores requerimientos en la inversión (por multas o sanciones) hasta el cierre del proyecto.

Finalmente, la diversificación de la matriz energética es un criterio relacionado con el sistema eléctrico, y la seguridad el mismo. Este criterio es de suma importancia para la estabilidad y seguridad de la red eléctrica y el suministro, puesto que al depender de pocas fuentes de energía o bien depender en grandes proporciones de una (o quizás dos) fuentes de energía es posible que se ocasionen problemas. Un ejemplo es cuando Argentina dejó de suministrar Gas a Chile, lo que ocasionó una crisis energética puesto que la energía eléctrica en Chile provenía casi en 25% del gas. Para tener una red eléctrica estable y segura es indispensable contar con una matriz energética lo más variada posible, donde no exista dependencia de ninguna tecnología en particular. Es decir, aunque faltase la generación proveniente de alguna de las fuentes en su totalidad la red debería poder seguir con su funcionamiento entregando energía a todos los clientes.

Desde otro ángulo, y en relación con los ponderadores correspondientes a cada uno de los criterios, resulta interesante la importancia que han obtenido los criterios

ambientales por sobre los sociales y económicos, lo cual se explica por la situación mundial, siendo además uno de los criterios ambientales, el uso eficiente del recurso hídrico, el que tiene mayor importancia dentro de este trabajo. Aunque considerando lo importante que sería rehacer un trabajo como este con las nuevas ERD junto con la ERD de la nueva región del Ñuble, los ponderadores podrían tener cambios, se podría esperar, por la actual situación mundial durante la cual se están desarrollando las nuevas ERD que los aspectos medioambientales sigan predominando.

	Ponderación
Uso eficiente del recurso hídrico	0,212
Aceptabilidad Social	0,154
Capacitación y formación del capital humano	0,154
Incentivar ERNC	0,135
Diversificación de la matriz energética	0,115
Disminuir GEI por unidad de energía	0,096
Mejorar empleabilidad	0,077
Aumento del PIB Regional	0,058

Tabla 19: Criterios y ponderadores

Un punto que generó desconcierto al obtener los resultados para la autora fue la ponderación del criterio relacionado con el aumento del PIB regional, puesto que, se pensaba que este criterio junto a la mejora de la empleabilidad, la reducción en la emisión de gases de efecto invernadero y la aceptabilidad social, sería uno de los criterios más importantes, es decir, uno de los criterios cuyo ponderador sería mayor, pero al contrario de lo que se esperaba, el PIB regional queda en último lugar, siendo el criterio menos relevante seguido muy de cerca (menos de 2 puntos porcentuales) por la mejora de la empleabilidad y un poco más arriba en sexto lugar las emisiones de gases de efecto invernadero. Además, causó una grata sorpresa la importancia en el uso del

recurso hídrico, dado que no se esperaba que tantas de las regiones consideradas (once de trece) tuvieran metas relacionadas con esta temática, siendo además la única en aparecer en más de un 65% de las regiones contabilizadas, seguida recién por la aceptabilidad social y capacitación y formación del capital humano, ambas con 8 puntos. La aceptabilidad social presentó medios puntos en la mayoría de las regiones, lo que significa que no se han cerrado, clausurado o bajado proyectos en las regiones, pero sí se han realizado multas y sanciones. La capacitación y formación del capital humano también fue generadora de un positivo asombro al darse cuenta de que en varias regiones la formación de su capital humano es una de las preocupaciones centrales.

Dentro de los criterios hay dos bastante similares: el incentivo a las ERNC y la diversificación de la matriz energética. En el estudio de caso se puede ver que los puntajes asignados a ambos criterios son iguales, pero con signo contrario, algebraicamente son idénticos, dada la metodología usada para el cálculo de estos, lo que tiene bastante sentido, dado que lo que se logra diversificar la matriz energética por la instalación de un PNP es equivalente a la participación en la matriz que se le resta a las ERNC. Aun así, se decidió dejar ambos criterios puesto que con los ponderadores se genera una diferencia. Se habría podido dejar un único criterio que los una y cuyo ponderador sea la resta entre ambos (con lo que se obtendría el mismo valor en los puntajes finales de cada una de las regiones), pero se consideró relevante, por un lado mostrar que el factor ambiental (incentivar las ERNC) tiene un ponderador mayor, es decir, mayor importancia, que el factor de seguridad de la red eléctrica (diversificación

de la matriz energética) y por otro que ambas temáticas son importantes para la decisión de localización, y ninguna debe ser dejada de lado.

Finalmente, en relación con los resultados emanados desde el estudio de caso, en el cual se evaluaron los criterios en dos regiones, la región de Valparaíso y la región de Tarapacá, siendo Valparaíso la segunda región más poblada de Chile, quedando por debajo de la región Metropolitana, mientras que Tarapacá se encuentra en el onceavo lugar, diferencia que previo al desarrollo del estudio de caso llevó a ciertas suposiciones de cómo serían los resultados.

Dentro de lo esperado estaba que la región de Valparaíso obtuviera un mayor puntaje en uso del recurso hídrico, considerando que la matriz energética de esta región cuenta con mayor porcentaje de energía hidráulica, una muy pequeña participación de energía solar además de que más de un 90% de la energía de la región proviene de la quema de combustibles fósiles, las que para el enfriamiento de las plantas requiere de bastante agua. En comparación, la región de Tarapacá que cuenta con una gran participación de energía solar, muy poca energía hidráulica además de tener solo un 78% de energía fósil. Es por todo lo anterior que se esperaba que la instalación de un PNP genere una mayor disminución en el uso del recurso hídrico por unidad de energía en la región de Valparaíso, obteniendo esta un mayor puntaje. Pero contrario de lo esperado la región de Tarapacá obtuvo un puntaje sustancialmente mayor con 81 puntos versus los 22 de la región de Valparaíso, lo que en parte se explica por que la producción energética en Valparaíso es 11 veces mayor que la generación en la región de Tarapacá.

En cuanto a las capacitaciones y formación del capital humano era esperado que la región de Valparaíso obtuviera un menor puntaje al de la región de Tarapacá, puesto que en Valparaíso cuenta con una población más grande, más de 5 veces la población de la región de Tarapacá, y una mayor industrialización, y se asume que la inversión destinada en capacitaciones será mayor, por lo que el efecto de la PNP en cuanto a capacitaciones generaría un mayor aporte en Tarapacá. En este caso lo esperado se condijo con los resultados, puesto que en este punto la región de Tarapacá tuvo un puntaje abismantemente mayor que el de la región de Valparaíso, obteniendo 100 y 6 puntos respectivamente.

En cuanto a los criterios relacionados con las variaciones de la matriz energética de cada una de las regiones, es decir, el incentivo a las energías renovables no convencionales y la diversificación de la matriz energética regional se figuraba que los puntajes correspondientes a la región de Valparaíso estarían más cercanos al cero que los de la región de Tarapacá. Esto dado que, en la región de Valparaíso existe mayor generación eléctrica, y la participación de la ERNC es menor que en Tarapacá, por lo que el efecto de instalar un PNP afectaría en menor grado a las ERNC y la participación de la cual se haría acreedora la energía nuclear sería menor. En este criterio los puntajes fueron acorde con los supuestos. Por otro lado, no está demás agregar lo importante que es, sobre todo para regiones como Valparaíso (que han sido denominadas zonas de sacrificio), incentivar las energías renovables, para descontaminar las zonas más afectadas por la quema de combustibles fósiles o los malos usos de los sumideros de calor.

Era de esperar que la región de Valparaíso obtuviese un mayor puntaje en el criterio relacionado con disminuir la emisión de gases de efecto invernadero, ya que en esta región existen mayores emisiones, en gran parte porque su matriz energética cuenta con un mayor participación de energía proveniente de la quema de combustibles fósiles, muy por sobre la participación de las ERNC, con un 90,61% de energía fósiles y un 9,24% de energías renovables versus los 78,03% y 21,97 respectivamente, de la región de Tarapacá. Pero la comparación en este criterio no fue tan fácil como en los anteriores puesto que los estudios sobre las emisiones de un PNP mostraron diferencias demasiado grandes como para calcular un valor único mediante la media aritmética, por ejemplo, por lo que se decidió tomar en cuenta dos valores entregados por diferentes autores, por un lado Benjamín Sovacool (2008) y por el otro el Foro Nuclear de España (2013). Con el primero los puntajes para ambas regiones fueron -100 puntos por lo que no se puede afirmar o refutar lo que se esperaba, mientras que con el valor obtenido por el Foro Nuclear de España se obtuvo puntajes diferentes para cada una de las regiones, y positivos, obteniéndose, tal y como se esperaba un mayor puntaje en la región de Valparaíso.

El punto anterior es donde se ve de manera más clara la importancia de homogeneizar los estudios existentes o bien, en caso de no lograrse, realizar estudios propios, puesto que no corresponde tener criterios en que según lo dicho por diferentes autores haya diferencias de hasta 185 puntos en una región, generando discrepancias en los puntajes totales. En particular en la región de Tarapacá uno de los totales es más de 4 veces el otro. Aunque las diferencias en los puntajes en cada una de las regiones son

importantes, esto no logró generar diferencias en lo comparativos totales, es decir. al basarse en cualquiera de los dos autores para el criterio sobre emisiones, la decisión final será la misma, al menos entre las dos regiones tomadas para el estudio de caso, lo que podría no repetirse al evaluar el método en todas las regiones, generando conclusiones erradas al momento de seleccionar el emplazamiento de la PNP.

En cuanto a la mejora en la empleabilidad, no se tenía certeza de cuál de las regiones podría obtener un mayor puntaje puesto que, aunque la región de Valparaíso cuenta con una mayor oferta laboral, también existe una mayor población en la región. Considerando que se conoce la existencia de varias personas que desde la región de Valparaíso se trasladan a la región metropolitana para trabajar generando una disminución en la tasa de desempleo, se creía más probable que el efecto fuese mayor en la región de Tarapacá, siendo esto contrario a la realidad, tomando en cuenta que ambas regiones obtuvieron el mismo puntaje, que a decir verdad es bastante pequeño (un punto). Esto puede deberse en parte a la metodología usada para el cálculo del puntaje de este criterio y en otra parte a la pequeña cantidad de empleos que genera la PNP, en comparación al universo total de empleos existentes en una región.

Por el lado del criterio que respecta al aumento del PIB regional, se pensaba que el PIB de la región de Valparaíso es mayor al de la región de Tarapacá y por consiguiente sería a esta última región a la que la instalación de una planta nuclear de potencia afecte en mayor cuantía. Para este criterio en particular se usó un método de cálculo distinto, considerándose el puntaje igual a los puntos porcentuales de aumento

que hubiese generado la existencia de una PNP en la región en el aumento anual promedio del PIB regional. Este método fue utilizado con el afán de que el puntaje este entre 0 y 100 (no se consideran los negativos, puesto que siempre aumentaría el PIB). Otra de las opciones que se barajó para la obtención del puntaje de este criterio fue considerar el aumento porcentual que generaría en el PIB regional y multiplicar este valor por un factor común, múltiplo de 10 (para no afectar el valor del puntaje versus los otros criterios), mientras que en todas las regiones los puntajes quedaran como enteros entre 1 y 100 (utilizando aproximación), pero no se continuó con esta opción puesto que al hacer el cálculo sin multiplicar, había regiones que quedaban bajo 1 posterior a la aproximación, como la región de Arica y Parinacota, por ejemplo, y si se multiplicaba por 10 había regiones que quedaban por sobre los 100 puntos, como es el caso de la región metropolitana.

Como último criterio en el estudio de caso, se encuentra la aceptabilidad social, criterio en el que no se esperaban grandes diferencias, ni se tenía un estimado de cuál región podría sobreponerse ante la otra, lo primero por la técnica utilizada para el cálculo del puntaje, la cual utiliza una encuesta a nivel país y genera un cálculo para cada región a partir de una segmentación de los grupos etarios, y lo segundo porque no se tenía información de ningún tipo de cómo es la opinión de la gente sobre temáticas de energía nuclear en las diferentes regiones del país. En cuanto a lo primero se considera sustancial generar una encuesta que además de generar diferencias por sexo, edad y grupo socioeconómico, lo haga por región además de considerar el nivel de conocimiento de cada encuestado sobre las temáticas de energía nuclear, con la finalidad

de analizar si en las opiniones generadas por la gente influye o no la información que tienen de este tema.

En cuanto al puntaje final que obtendrían las regiones se esperaba que la región de Valparaíso obtuviera con un total mayor, puesto que, dentro de los supuestos, contaba con un mayor puntaje en más criterios que la región de Tarapacá, además de que la concentración de estos era mayormente en aquellos criterios más importantes, es decir, aquellos con ponderadores mayores. Esto se puede explicar desde dos ángulos distintos, primero está que en el uso del hídrico, que se esperaba supremacía por parte de la región de Valparaíso y además es el criterio con mayor ponderador, al región de Tarapacá obtuvo un puntaje significativamente mayor, segundo en los criterios en que la región de Tarapacá obtuvo mayores puntajes, la diferencia fue sustancial y mayor que las diferencias positivas obtenidas por la región de Valparaíso, alcanzando en su mayoría diferencias superiores a 50 puntos

Por último, es sumamente importante para un nuevo trabajo, o para realizar una mejora de este mismo, contar con nuevos estudios para cuantificar el aporte de una planta nuclear de potencia en cada uno de los criterios, sobre todo para la emisión de gases de efecto invernadero, que es donde se presenta las mayores diferencias e incluso tintes en los diferentes estudios, pero en particular este punto no genera grandes cambios al enfrentar los puntajes totales en las regiones. Sin embargo, podría generarse una diferencia considerable, al realizar una encuesta con la que se pueda obtener un puntaje diferenciador para cada una de las regiones, tomando como puntaje la aprobación real

que exista en cada una de las regiones frente a la instalación de una PNP en el país o región del encuestado.

La metodología utilizada en este trabajo fue comentada de manera previa con expertos del área nuclear en Chile los que tuvieron una grata recepción a esta, mayoritariamente porque no tenían conocimientos de la existencia de un trabajo similar en el que se utilizaran los planteamientos de metas y objetivos de los diferentes lugares de un país para estudiar la selección de la localización de un PNP. Al no tener precedentes en los cuales basarse, los expertos no tenían referencia ni estimativos de cuáles serían los resultados, ni en cuanto a los criterios seleccionados, los ponderadores o la comparación entre regiones realizada en este trabajo.

Una vez obtenidos los resultados en su totalidad, estos fueron mostrados a los expertos, los que se mostraron sorprendidos por algunos de estos, como la presencia del criterio relacionado con el uso eficiente del recurso hídrico y la capacitación y formación del capital humano. En cuanto a los ponderadores correspondientes a cada uno de los criterios la sorpresa de los expertos fue mayor, en gran medida porque no se esperaban a importancia que obtuvieron los criterios ambientales en su conjunto.

En cuanto al estudio de caso, cuando los expertos supieron las regiones seleccionadas para esto, aunque no sabían los puntajes obtenidos por las regiones en cada una de las regiones, se inclinaban más por la región de Valparaíso. Por lo que, aunque no generó sorpresa si una leve decepción al enterarse que Tarapacá había obtenido un puntaje sustancialmente mayor.

9. CONCLUSIONES

Es claro notar el gran aumento que ha tenido el consumo energético en los últimos años, y también el cómo la matriz energética se ha ido desarrollando tanto para satisfacer este consumo como para adecuarse a la situación mundial de crisis ambiental, aumentando cada vez en mayor cantidad la generación a partir de energías limpias, lo que podría generar un beneficio o un perjuicio para las posibilidades de la energía nuclear de potencia en el mundo. Tal como se pudo apreciar con la exploración bibliográfica realizada en este trabajo, la cual conllevó al cumplimiento del primer objetivo específico, el tema de la energía nuclear genera controversia a nivel de que los estudios encontrados, y en parte por la visión e intención de los autores, muestran resultados diametralmente opuestos. Es por ello por lo que se considera que, de proseguir con la intención de instalar una planta nuclear de potencia en Chile, uno de los primeros pasos deberá ser aunar los resultados de los estudios o bien realizar estudios propios considerando los criterios que se estimen apropiados y por supuesto evitando la generación de sesgos en los estudios, para tener en claro los valores a tomar en cuenta para hacer los estudios de factibilidad, entre otros.

Un tema importa en Chile es el cambio de la matriz energética, ya que no es posible, con la crisis ambiental que se vive en el mundo, que continuemos con una matriz donde más de 50% de la generación viene de la quema de combustibles fósiles. En este escenario la instalación de una o más plantas nucleares de potencia es una gran

opción, sobre todo para ser considerada como energía base, pero el proceso de la energía nuclear de potencia en Chile al igual que en el resto del mundo ha sido bastante más lento que el de otras tecnologías de generación eléctrica, lo que en parte se debe a los accidentes nucleares y a las bombas atómicas, que en gran parte de la población genera ciertos miedos asociados a la energía nuclear, pues es natural pensar que si en Chernóbil ocurrió una gran catástrofe y toda la gente debió dejar sus hogares o murió, o que, aún más cercano para los chilenos por vivir en un país muy sísmico, en Fukushima aunque el terremoto no generó desperfectos, si lo hizo el tsunami el que generó un gran siniestro. ¿Cómo podría alguien considerar la idea de plantear a la gente la instalación de una central nuclear de potencia posterior a estos momentos? es por ello que se considera indispensable educar e informar a la gente en relación a la energía nuclear y las diferencias tanto positivas como negativas que esta tiene con el resto de las tecnologías de generación eléctrica, pero no enfocado a que la gente lo acepte, sino más bien a que sepan y conozcan del tema, y que con ese conocimiento cada uno pueda hacerse una opinión individual. Una vez la población esté informada y haya logrado generar su propia opinión se deben realizar los estudios de aceptabilidad social tanto nivel nacional, para ver la recepción de la gente a tener energía proveniente de los átomos como a nivel local (regional, o más pequeño) para saber la opinión de la gente de cada sector el contar con una planta nuclear de potencia con todo lo que esto conlleva.

Como se plantea en el segundo objetivo específico de este trabajo, se generó una lista con los criterios a considerar con sus respectivos ponderadores. Se prevé que varios de los criterios podrían influir en la aceptabilidad social, o bien entre ellos en

general. Se podría considerar obvio que si un proyecto da empleo o aumenta el PIB de una región (la gente lo podría sentir en la calidad de vida), o disminuye la cantidad de agua que actualmente se utiliza para producir energía o disminuye el nivel de contaminantes en una región o todos juntos, la gente estará más propensa a apoyarlo mientras que si un proyecto aumenta el consumo de agua en generación eléctrica, aumenta la contaminación, o hace que emigre capital humano mejor calificado, o si la población está a favor únicamente de las ERNC no será fácil que acepten un proyecto de generación eléctrica desde la energía nuclear.

En relación a lo anterior es importante realizar los estudios correspondientes para considerar los valores exactos en todos los ítems, puesto que si bien para algunos, como el empleo , el PIB, el uso del recurso hídrico entre otros se pudieron establecer valores, cada proyecto es diferente pero al tener el proyecto en papel con las dimensiones del mismo es posible generar estimativos de la cantidad de gente que se requerirá para su operación, de los ingresos que podrá generar, de los recursos de los que requerirá, y más.

Es interesante observar la importancia que tiene dentro de los criterios el cuidado del medio ambiente, teniéndose tres de los 9 criterios apuntando a esto: uso eficiente del recurso hídrico, incentivar ERNC y disminuir emisión de GEI por unidad de energía, teniendo además que la suma de sus ponderadores es de 0,442, es decir, la importancia en este método de los factores medio ambientales es de un 44,2%, frente a un 13,5 de los factores económicos, como lo son el aumento del PIB regional y la

mejora de la empleabilidad, generando además en este último diferencias bastante pequeñas, al menos en las regiones evaluadas.

Este método, el cual ha sido validado con el uso de información que muestra la importancia de cada criterio en Chile (ERD y mapa de conflictos) y con la evaluación de expertos, los que al no tener algo en que basarse hicieron su evaluación según opiniones y conocimientos adquiridos en los años, pero no en base científica ni con referencia en otros trabajos. Junto con la lista de recomendaciones que de él ha emanado tiene como intención evaluar posibles localizaciones que cumplan con los requerimientos técnicos y económico, en las cuales se hayan realizado los análisis correspondientes. De esta manera una vez teniendo opciones reales de emplazamientos poder escoger alguna en que la instalación de la PNP genere mayores beneficios y menores perjuicios para la región y sus intereses a corto y largo plazo. Se considera importante analizar el cómo un proyecto de esta envergadura puede influir en las temáticas socioeconómicas del sector en que se encuentren y no únicamente como el lugar puede ayudar a que sea más fácil la implementación del proyecto.

En relación con la comparación que se realizó entre la región de Valparaíso y la Región de Tarapacá, fue posible observar en varios de los criterios diferencias sustanciales (siendo el puntaje de una región más del doble que el de la otra). Las discrepancias que más llamaron la atención fueron la ocasionada en el criterio de uso eficiente del recurso hídrico, dado que no se esperaba un puntaje tanto mayor en la región de Tarapacá considerando la importancia de la energía solar junto a la poca

participación de la energía hidráulica en la matriz energética de esta región confrontada con las mismas fuentes de energía en la matriz energética en la región de Valparaíso, y el criterio relacionado con la disminución de las emisiones de GEI, puesto que no se esperaba que la región de Tarapacá consiguiera un puntaje mayor al de la región de Valparaíso, y menos aún una diferencia tan alta, considerando que en la región de Tarapacá cuenta con más del doble (porcentualmente hablando) de energía renovables no convencionales que la región de Valparaíso.

Así mismo, la diferencia en los puntajes de otros criterios era más esperada como por ejemplo en el criterio relacionado con el aumento de capacitaciones y formación del capital humano de la región, ya que se suponía previamente que en la región de Tarapacá la inversión en capacitaciones y formación sería bastante menor, considerando que en la región de Valparaíso existe una mayor industrialización además de que en esta se encuentran varias universidades.

Desde otro ángulo, y en relación con el criterio relacionado con aceptabilidad social se vio una diferencia muy pequeña en el puntaje, pero esto puede ser explicado fácilmente con el método utilizado. Se esperaría que, al contar con información separada para cada una de las regiones, este escenario sería distinto, por lo que nuevamente se hace énfasis en lo importante que es actualizar la información y realizar nuevos estudios que puedan ayudar a realizar comparaciones más certeras entre cada una de las regiones.

10. REFERENCIAS

- ABC.es. (2008). El agua consumida por las nucleares en España no supera los 2,8 Hm³ anuales | Sociedad | Medio Ambiente - Abc.es. Retrieved June 19, 2019, from https://www.abc.es/hemeroteca/historico-08-06-2008/abc/Sociedad/el-agua-consumida-por-las-nucleares-en-espana-no-supera-los-28-hm3-anuales_1641918843294.html#
- BANCO CENTRAL DE CHILE. (2017). Indicadores del día. Retrieved August 16, 2019, from https://si3.bcentral.cl/Indicadoressiete/secure/Serie.aspx?gcode=PRE_EUR¶m=cgBnAE8AOQBIAgCAIwBiAFUALQBsAEcAYgBOAEkASQBCAEcAegBFAFkAeABkADgASAA2AG8AdgB2AFMAUgBYADIAQwBzAEEARQBMAG8ASgBWADQATABrAGQAZAB1ADIAeQBBAFAAZwBhADIAbABWAHcAXwBXAGgATAAkAFIAVAB1AEIA
- British Petroleum. (2017). Statistical Review of World Energy 2017. Retrieved from <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/downloads.html>
- Bronfman, N. C., Jiménez, R. B., Arévalo, P. C., & Cifuentes, L. A. (2012). Understanding social acceptance of electricity generation sources. *Energy Policy*, 46, 246–252. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.03.057>

Colegio de Ingenieros Agrónomos de Chile. (2014). COMISIÓN CHILENA DE ENERGÍA NUCLEAR (CCHEN) CUMPLE 50 AÑOS - Colegio de Ingenieros Agronomos de Chile. Retrieved July 5, 2019, from <https://ingenierosagronomos.cl/comision-chilena-de-energia-nuclear-cchen-cumple-50-anos/>

Comisión Chilena de Energía Nuclear. (2019). Retrieved July 5, 2019, from <http://www.cchen.cl/?p=3091&highlight=medicina>

Comisión Nacional de Energía. (2019). Región de Valparaíso - Energía Región. Retrieved August 20, 2019, from <https://energiaregion.cl/region/VALPO>

Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (2015). Informe de Prevision de Demanda 2015-2030. Retrieved from <http://www.cne.cl/>

Consejo de Seguridad Nuclear. (2015). La energía nuclear Fisión nuclear Fusión nuclear. Madrid.

Coordinador Eléctrico Nacional. (2018). MAPA Coordinador Eléctrico Nacional enero-2017, 1. Retrieved from https://sic.coordinadorelectrico.cl/wp-content/uploads/2016/11/Mapa-Coordinador-Eléctrico-Nacional_enero_20171.pdf

eitb.eus. (2019). Noticias de Garoña 2019: última hora de la central nuclear | EITB Temas de Interés. Retrieved July 9, 2019, from <https://www.eitb.eus/es/tag/garona/>

energia-nuclear.net. (2019). Aplicaciones de la energía nuclear. Retrieved July 5, 2019,

from <https://energia-nuclear.net/aplicaciones>

Energía Abierta. (2018). Balance Nacional de Energía · Comisión Nacional de Energía. Retrieved July 5, 2019, from <http://datos.energiaabierta.cl/dataviews/238711/balance-nacional-de-energia/>

Energía nuclear en Chile. (2019). Retrieved July 1, 2019, from https://energia-nuclear.net/situacion/energia_nuclear_chile.html

Estados Financieros del Organismo correspondientes a 2017. (2018), (62).

Estados Unidos Electricidad - consumo - Energía. (2017). Retrieved August 13, 2019, from https://www.indexmundi.com/es/estados_unidos/electricidad_consumo.html

FORO NUCLEAR. (2017). Miles de puestos de empleo por cada 1.000 MWe de capacidad nuclear construida. Retrieved June 18, 2019, from <https://www.foronuclear.org/es/newsletters/octubre-2017/123280-miles-de-puestos-de-empleo-por-cada-1-000-mwe-de-capacidad-nuclear-construida>

Generadoras de Chile - Generación eléctrica en Chile. (2019). Retrieved June 18, 2019, from <http://generadoras.cl/generacion-electrica-en-chile>

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2014). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Working Group III Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. New York. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415416>

- Harker, D., & Hirschboeck, P. (2010). Jobs for two centuries in nuclear - World Nuclear News. Retrieved June 18, 2019, from <http://www.world-nuclear-news.org/NN-Jobs-for-two-centuries-in-nuclear-1509171.html>
- IAEA. (1963). El Tratado sobre la Prohibición de los Ensayos.
- IAEA. (2008). Nuclear technology and economic development in the Republic of Korea. *International Atomic Energy Agency Sales and Promotion Publishing Saction*, 1–148. Retrieved from www.iaea.org/Publications/Booklets/ROK/rok0809.pdf
- IAEA. (2017). Escala Internacional de Sucesos Nucleares y Radiológicos.
- INDH. (2012). Mapa de conflictos socioambientales en Chile. *97 Conflictos Sociambientales En Chile*. Retrieved from http://www.indh.cl/mapaconflictos/assets/pdf/34_Central_Guacolda.pdf
- Instituto Nacional de Estadísticas. (2017). WEB DISEMINACIÓN CENSO 2017. Retrieved August 18, 2019, from <http://resultados.censo2017.cl/Region?R=R05>
- Instituto Nacional de Estadísticas. (2019). *Boletín Estadístico: Empleo Trimestral, Región de Valparaíso*. Retrieved from [https://regiones.ine.cl/documentos/default-source/region-v/estadisticas-r5/boletines-informativos/encuesta-nacional-de-empleo-\(ene\)/2019/boletín_regional_-efm_2019.pdf?sfvrsn=9f60c3dd_2](https://regiones.ine.cl/documentos/default-source/region-v/estadisticas-r5/boletines-informativos/encuesta-nacional-de-empleo-(ene)/2019/boletín_regional_-efm_2019.pdf?sfvrsn=9f60c3dd_2)
- International Atomic Energy Agency Guidance. (2015). Guidance Document for Measuring Employment Generated by the Nuclear Power Sector, 1–24.

- Legislación Chilena. (2016). Biblioteca del Congreso Nacional de Chile - www.leychile.cl - documento generado el 12-Mar-2016, 121–127. <https://doi.org/10.1145/1542130.1542154>
- Magister Ingeniería de la Energía UC. (2010). Aplicacion a Chile. Retrieved August 18, 2019, from http://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno10/nuclear/nuclear_archivos/Page925.htm
- Ministerio de Energía. (2014). Hoja de Ruta 2050. *Ministerio de Energía*, 25.
- Newsletter Flash Nuclear Junio 2019. (n.d.). Retrieved July 1, 2019, from <https://www.foronuclear.org/es/newsletters/101285-newsletter/mayo-2017/123032-infografia-el-interior-de-una-central-nuclear>
- Oficina de Cambio Climático Ministerio del Medio Ambiente. (2019). INVENTARIOS REGIONALES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO, SERIE 1990-2016.
- Organismo Internacional de Energía Atómica. (2017). Bases de datos | OIEA. Retrieved August 20, 2019, from <https://www.iaea.org/es/recursos/bases-de-datos>
- Parkhill, K. A., Pidgeon, N. F., Henwood, K. L., Simmons, P., & Venables, D. (2010). ‘ From the Familiar to the Extraordinary: Local Residents ’ Perceptions of Risk From the familiar to the extraordinary: local residents ’ perceptions of risk when living with nuclear power in the UK, (April 2018). <https://doi.org/10.1111/j.1475-5661.2009.00364.x>

Potterton, L. (2010). Viviendo con la energía nuclear, 28–31.

PwC. (2014). *Impacto socioeconómico de la industria nuclear en España*.

Región de Valparaíso - Energía Región. (n.d.). Retrieved August 15, 2019, from <https://energiaregion.cl/region/VALPO>

SERNAC. (2004). Alimentos Irradiados: Información sobre el tratamiento con energía ionizante - SERNAC: Información de mercados y productos. Retrieved July 5, 2019, from <https://www.sernac.cl/portal/619/w3-article-6091.html>

Servicio Nacional de Capacitación y Empleo. (n.d.). Anuarios 2004 a 2018. Retrieved from <http://www.sence.cl/portal/Estudios/Anuario-estadistico/Anuarios-2004-a-2018/>

Sovacool, B. K. (2008). Valuing the greenhouse gas emissions from nuclear power: A critical survey. *Energy Policy*, 36(8), 2950–2963. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.04.017>

Spoon, S. (2011). INES. Retrieved July 9, 2019, from https://commons.wikimedia.org/wiki/File:INES_es.svg

STA - El Tratado Antártico. (n.d.). Retrieved July 1, 2019, from <https://www.ats.aq/s/ats.htm>

Taylor, M. (1997). Los gases de efecto de invernadero y el ciclo del combustible nuclear : ¿ qué emisiones se generan ?, 1–3.

Trabajo decente. (2016). Retrieved from <https://www.ilo.org/global/topics/decent-work/lang--es/index.htm>

Unidad de Proyectos Ministerio de Energía. (2016). Construcción e Ingresados a SEIA Principales conclusiones.

Uso de la energía nuclear en Chile - aprendeconenergia. (2017). Retrieved July 1, 2019, from <https://www.aprendeconenergia.cl/uso-de-la-energia-nuclear-en-chile/>

World Nuclear Nwes. (2012). Economic benefits from UK nuclear plans - World Nuclear News. Retrieved June 19, 2019, from http://www.world-nuclear-news.org/C_Economic_benefits_from_UK_nuclear_plans_2606121.html

Yuan, X., Zuo, J., Ma, R., & Wang, Y. (2017). How would social acceptance affect nuclear power development? A study from China. *Journal of Cleaner Production*, 163, 179–186. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.04.049>