
This is the **published version** of the article:

Pradenas Canales, Karen; Nel·lo, Oriol. La Huella Territorial de la de generación de Energía Eléctrica en Chile : el caso de las regiones de Antofagasta, Metropolitana y del Biobío. 2018. 54 p.

This version is available at <https://ddd.uab.cat/record/208042>

under the terms of the  license

TRABAJO FINAL DE MÁSTER

**LA HUELLA TERRITORIAL DE LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELECTRICA EN CHILE:
EL CASO DE LAS REGIONES DE ANTOFAGASTA, METROPOLITANA DE SANTIAGO Y DEL BIOBÍO.**

AÑO ACADÉMICO 2017- 2018



KAREN PRADENAS
AUTORA

ORIOLELO
TUTOR

JORDI NADAL
COORDINADOR MÁSTER

CONTENIDO

RESUMEN

1.	INTRODUCCIÓN	5
1.1.	OBJETIVOS.....	6
1.2.	HIPÓTESIS	7
1.3.	METODOLOGÍA.....	7
1.4.	ESTRUCTURA.....	8
2.	ENERGÍA Y TERRITORIO.....	9
2.1.	LA SITUACIÓN ACTUAL DE LAS ENERGÍAS EN EL MUNDO Y LAS NECESIDADES DE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA.....	9
2.2.	ENERGÍA Y USO DE SUELO.....	11
3.	LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN CHILE	15
3.1.	EL DESARROLLO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN CHILE.....	15
3.1.1.	LOS INICIOS DEL PROCESO DE ELECTRIFICACIÓN	15
3.1.2.	EL DESARROLLO DEL MODELO EN MANOS DEL ESTADO.....	15
3.1.3.	LA PRIVATIZACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO	18
3.1.4.	LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN CHILE, EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LAS ERNC.	19
3.2.	EL SISTEMA ELÉCTRICO EN CHILE	22
3.2.1.	LA APORTACIÓN DE LOS DIVERSOS SISTEMAS, REGIONES Y FUENTES DE ENERGÍA EN LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD.....	22
3.2.2.	TRES REGIONES CLAVES: ANTOFAGASTA, REGIÓN METROPOLITANA Y DEL BIOBÍO.	25
4.	LA HUELLA TERRITORIAL DE LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD EN LAS REGIONES DE ANTOFAGASTA, METROPOLITANA Y DEL BIOBÍO.	29
4.1.	FUENTES DE INFORMACIÓN Y TRATAMIENTO DE LOS DATOS	29
4.2.	CRITERIOS PARA LA MEDICIÓN DE SUPERFICIE Y UBICACIÓN DE LAS INSTALACIONES ESTUDIADAS	31
4.3.	EL AUMENTO DE SUPERFICIE DE LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL PERÍODO 2007-2017.	35
4.4.	EFICIENCIA TERRITORIAL: SUPERFICIES V/S PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	39
4.5.	LA HUELLA ESPACIAL DE LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR TIPOS DE ENERGÍA.....	40
4.6.	LAS PROYECCIONES AL 2035.....	41
5.	CONCLUSIONES.....	44

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

RESUMEN

La presente investigación tiene por objeto el estudio de los desafíos que conlleva la transición energética en materia de ocupación y uso de suelo. Para ello se aborda la problemática surgida respecto de las mayores superficies de suelo requeridas para la implementación de las energías renovable. El estudio aborda la cuestión a partir del caso de Chile, país altamente dependiente de los combustibles fósiles, en el cual se ha producido en los últimos años un notable desarrollo de las energías renovables no convencionales. En particular la investigación estudia tres regiones del país consideradas claves por sus patrones de consumo y generación eléctrica, así como por su ubicación geográfica. Los resultados muestran que las superficies utilizadas por cada región difieren considerablemente. Asimismo, los distintos tipos de energía comportan potenciales diversos en la producción de electricidad, así como de ocupación de suelo.

La relación entre estos dos parámetros, potencial energético y requerimientos de suelo permite estimar la superficie de suelo necesaria para la producción de una unidad de energía. Esta situación muestra que las energías que utilizan combustibles fósiles comportan en términos generales menores requerimientos de suelo para la generación de una unidad de energía eléctrica, mientras que las hidroeléctricas de embalse implican los mayores requerimientos de suelo. Las ERNC, como las eólicas y solares fotovoltaicos, requieren superficies de suelo por debajo de las hidroeléctricas de embalse, pero muy por encima de las que utilizan combustibles fósiles. Considerando que la transición conllevará una mayor incorporación de ERNC y teniendo en consideración las condiciones idóneas existentes en el país para el desarrollo de estas energías, la transición conllevará notables desafíos en materia de gestión y planificación del suelo.

ABSTRACT

The present research studies the challenges that the energetic transition in terms of occupation and land use entail. It focuses on the problem emerged with respect to the larger land areas required for the implementation of renewable energies. The study addresses the issue within the case of Chile, a country highly dependent on fossil fuels, in which there has been a remarkable development of non-conventional renewable energies in recent years. Specifically, this paper studies three regions of the country considered crucial by their patterns of consumption and power generation, as well as by their geographical location. The results show that the required surface area used by each region differ considerably. Likewise, different types of energy have different potentials in the production of electricity, as well as land occupation.

The relationship between these two parameters, energy potential and land requirements, allow estimating the surface area of land necessary to produce a unit of energy. This situation shows that fossil fuel-based energies generally have lower land requirements for the generation of an electric power unit, while reservoir hydroelectric plants demand the highest land requirements. NCREs, such as wind and solar PV, have lower land area requirements than reservoir hydroelectric plants, but well above those that use fossil fuels. Considering that the transition will entail a greater assimilation of NCRE and taking into consideration the ideal conditions

existing in the country for the development of these energies, the transition will demand considerable challenges in land management and planning.

RESUM

La present investigació té com objectiu l'estudi dels diferents reptes que comporta la transició energètica en matèria d'ocupació i ús del sòl. Per aquest motiu, es tracta la problemàtica que sorgeix d'un major requeriment de superfície del sòl per a la implementació d'energies renovables. L'estudi aborda la qüestió a partir del cas de Xile, un país altament dependent dels combustibles fòssils i en el qual s'ha produït en els darrers anys un notable desenvolupament de les energies renovables no convencionals. En particular, la investigació estudia tres regions del país considerades claus pels seus patrons de consum i generació elèctrica, així com per la seva ubicació geogràfica. Els resultats mostren que les superfícies utilitzades per cada regió difereixen considerablement. Així mateix, els diferents tipus d'energia comporten potencials diversos en la producció d'electricitat, i també en l'ocupació de sòl.

La relació entre aquests dos paràmetres, potencial energètic i requeriments de sòl, permet estimar la superfície de sòl necessària per a la producció d'una unitat d'energia. Els resultats mostren que les energies que utilitzen combustibles fòssils comporten, en termes generals, menors requeriments de sòl per a la generació d'una unitat d'energia elèctrica, mentre que, per exemple, les hidroelèctriques d'embassament impliquen els majors requeriments de sòl. Les ERNC, com les eòliques i solars fotovoltaïques, requereixen superfícies de sòl menors que les hidroelèctriques d'embassament, però molt per sobre de les que utilitzen combustibles fòssils. Considerant que la transició comportarà una major incorporació de ERNC i tenint en compte les condicions idònies existents al país per al desenvolupament d'aquestes energies, la transició comportarà grans reptes en matèria de gestió i planificació del sòl.

1. INTRODUCCIÓN

El incremento del consumo energético en Chile ha estado asociado al crecimiento económico (Pastene, 2012), situación que generó un aumento promedio anual de un 8% en el consumo eléctrico entre los 1986 y 2002, (Chilesustentable, 2004). En conjunto, la generación de electricidad se ha más que duplicado en las últimas tres décadas. A su vez, este aumento de la generación eléctrica se ha enmarcado dentro de un modelo de desarrollo cuyas bases se empezaron a cimentar durante el período de la dictadura militar a mediados de los años 80, el cual tenía por objeto la liberalización de la economía. En materia energética, este modelo, se tradujo en la privatización de la generación, transmisión y distribución de electricidad, quedando estas en manos de un reducido número de empresas (Sohr 2011). El Estado en tanto, se vio relegado a un papel de regulación, control y supervisión de la actuación de los agentes privados, con capacidad de indicar a las empresas por medio de la Comisión Nacional de Energía (CNE) las necesidades relativas a la generación y la expansión de líneas de transporte. En cambio, la ubicación geográfica de los proyectos y las energías primarias utilizadas eran aspectos que formaban parte de las propuestas presentadas por las propias empresas que quedaron de hecho a cargo del sistema eléctrico del país (Sohr 2011).

El desarrollo de este modelo eléctrico ha comportado la dependencia de combustibles fósiles principalmente importados, situación que ha derivado en la inseguridad y vulnerabilidad en el suministro, el encarecimiento de los servicios y consecuentemente problemas de equidad en el acceso, dificultad de cobertura en zonas lejanas a las redes eléctricas y la falta de eficiencia, traducida en un incremento sostenido de la demanda energética (Chile Sustentable, 2004). A su vez, que se ha incrementado de forma drástica las emisiones de dióxido de carbono, uno de los principales gases causantes del calentamiento global.

A nivel territorial, la ausencia de una planificación en materia energética, sumada a la inexistencia de una política efectiva de ordenamiento y planificación del territorio (Sohr, 2011), han ocasionado una serie de conflictos sociales y ambientales con las comunidades locales, así como con algunos sectores productivos como, agricultores, pescadores y el sector turístico los cuales han visto amenazadas sus actividades por el impacto de diversos proyectos energéticos (CNID, 2017). A escala nacional, esta ausencia de planificación ha provocado un desarrollo desigual de la matriz eléctrica a lo largo del país, no correspondiéndose los proyectos de generación necesariamente con las necesidades de consumo de cada una de las regiones. De esta manera, existen regiones que han debido albergar una gran cantidad de proyectos de generación energética asumiendo un rol más bien de áreas “generadoras”, versus otras regiones que albergan un menor número de estos proyectos, los cuales no logran abastecer la demanda de consumo, por lo que, necesitan de abastecerse de la producción de energía eléctrica proveniente de otras regiones, asumiendo un rol, más bien, de “consumidoras”. Se trata como puede verse, de la reproducción, a escala nacional, de uno de los principales aspectos que caracterizan la generación y el consumo energético a escala planetaria.

Actualmente en Chile se reconoce que un abastecimiento seguro y confiable es clave para el desarrollo económico y social del país (Ministerio de Energía, 2014), por lo que se precisa disminuir la dependencia de

combustibles fósiles. A su vez, el país debe cumplir con los compromisos que ha asumido en materia de Cambio Climático que incluyen la descarbonización de la matriz energética. En este este escenario, las Energías Renovables No Convencionales (ERNC) energías con bajas emisiones de dióxido de carbono, inagotables y que en Chile poseen una serie de escenarios idóneos para su desarrollo, aparecen como una alternativa viable para superar las disyuntivas que se derivan de este reto. Si bien el desarrollo de este tipo de energías ha sido obstaculizado por dificultades tecnológicas y la resistencia del oligopolio existente (Sohr 2011), la baja en los precios de estas energías, las cuales aseguraron menores precios que las energías convencionales por los próximos 20 años a partir del 2021 en la Licitación eléctrica realizada el año 2016 (El Mostrador 17 de agosto de 2016), hace prever un porcentaje cada vez más alto de energía producido por este tipo de fuentes, las que en el año 2017 ya alcanzaron un 13 % de la matriz.

Ahora bien, la transición hacia estas nuevas formas de generación energética no puede considerarse exenta de costes. Uno de los más destacados desde el punto de vista territorial es la ocupación del suelo necesario para la generación energética a partir de fuentes renovables. A nivel internacional la literatura académica ha estudiado la cuestión al detalle, pero no se dispone de una investigación similar para el caso chileno. Este es el vacío que la presente investigación se propone, con la debida modestia, contribuir a llenar.

1.1. OBJETIVOS

El objetivo principal de este estudio es determinar las superficies de suelo que ocupa en Chile la generación de energía eléctrica y su eventual expansión futura. Para ello se han seleccionado en base a criterios de ubicación geográfica, generación y consumo, tres regiones del país. Se trata de:

- a) La Región de Antofagasta ubicada en el norte del país y una de las regiones con la mayor producción de energía eléctrica, así como también de consumo.
- b) La Región Metropolitana de Santiago ubicada en la zona central, y que por ser la región que concentra a más del 40% de la población, ostenta los mayores índices de consumo, no así los de generación.
- c) La Región del Biobío, región que junto a Antofagasta posee uno de los más altos porcentajes de generación de energía eléctrica, pero cuyo consumo no alcanza el 50% de lo producido, por lo cual cumple un papel de exportadora de electricidad a otras regiones del país.

Mediante el estudio de estas regiones se buscará en primer lugar:

- a) Determinar el aumento de superficie destinado a la generación de energía eléctrica que ha conllevado el desarrollo de la matriz eléctrica en cada una de estas regiones, en el período de 10 años, comprendido entre los años 2007 y 2017.
- b) Determinar la huella espacial de cada tipo de energía, es decir, la superficie de suelo que utiliza cada uno de los distintos tipos de energía existentes en cada región.
- c) Determinar la eficiencia territorial de cada uno de los distintos tipos de energías existentes en cada una de las regiones.

d) Proyectar la superficie de suelo que sería necesaria utilizar para la producción de las distintas energías renovables no convencionales (ERNC) en cada una de las regiones, de acuerdo con los objetivos propuestos para el horizonte 2035.

1.2. HIPÓTESIS

El crecimiento de la matriz eléctrica experimentado en los últimos ha comportado una mayor utilización de superficie de suelo para la construcción y funcionamiento de las plantas generadoras de energía eléctrica. Teniendo en consideración el hecho de que las energías renovables requieren, en principio, un mayor uso de suelo para su operación respecto a las energías convencionales, podríamos deducir que la expansión de este tipo de energías en los últimos años ha contribuido a dicho incremento de superficie. A su vez, la matriz de generación de energía eléctrica no se distribuye de forma uniforme en el territorio, ni responde necesariamente a las necesidades de consumo de cada región. Por ello, podemos deducir que deben existir regiones que se habrán visto impactadas en mayor o menor medida por la superficie de suelo que han debido destinar para la generación de energía eléctrica.

1.3. METODOLOGÍA

Para la realización del estudio se utilizan diversas metodologías. En primer lugar, con el fin de determinar el aumento de superficie en cada una de las regiones en el período 2007-2017, se ha procedido a identificar la totalidad de plantas generadoras de energía eléctrica construidas y en operación durante los años 2007 y 2017 en cada una de las regiones consideradas, y a clasificarlas de acuerdo con sus fuentes de energía primaria y el tipo de tecnología de producción. Luego, se ha procedido a poligonar y calcular la superficie de suelo que utilizan las plantas generadoras para la producción de energía eléctrica. Una vez obtenida esta información, la cual no se encontraba disponible hasta la fecha, se ha procedido a realizar la comparación entre la superficie utilizada el año 2007 y 2017.

En segundo lugar, con fin de obtener la eficiencia territorial de los distintos tipos de energía que se utilizan en cada región, se contrastarán los datos de superficie con los de producción de energía eléctrica anual en cada una de las regiones en los años 2007 y 2017. En este caso sólo se utilizarán las plantas generadoras que poseían una producción durante la totalidad de los meses del 2017, por tanto, no se considerarán las plantas que hayan entrado en operación durante el 2017 y las que estando operativas no registren producción los años 2007 y 2017.

En tercer lugar, con el fin de determinar la huella espacial, es decir, la superficie de suelo que utiliza cada uno de estos tipos de energía para la producción de una unidad de energía, se dividirá la generación anual de electricidad en GWh, correspondientes a las plantas que han tenido una producción durante todo el 2017, por la superficie de suelo en hectáreas que utilizada por cada uno de los distintos tipos de energía en cada región ese mismo año. En el caso de la energía hidráulica de embalse, se ha establecido un promedio de generación

entre los años 2014 al 2017, debido a la variabilidad climática a las cuales suelen estar sometidas este tipo de energías.

Finalmente, para estimar los eventuales consumos futuros de suelo correspondientes al horizonte 2035, se han proyectado las ratios actuales de ocupación de superficie para cada tipo de energía de acuerdo con las previsiones de su desarrollo para aquel horizonte temporal.

1.4. ESTRUCTURA

El trabajo se estructura en cuatro grandes apartados. El primero aborda la situación actual de las energías en el mundo, así como los desafío que comporta la transición hacia energías renovables, especialmente en lo que se refiere a las superficies de suelo utilizadas por los distintos tipos de energía. Asimismo, se exponen los métodos existentes para la medición de la superficie de suelo que comporta la generación de electricidad con cada uno de los tipos de energía.

En un segundo apartado se aborda el desarrollo histórico del sector eléctrico en Chile, poniendo énfasis en la importancia que han tenido la energía térmica e hidráulica en el país. A su vez, se revisa la situación actual, haciendo hincapié en los conflictos ambientales, la incorporación que han tenido las energías renovables y la situación de Chile en relación con el Cambio Climático. En este mismo apartado se incorpora una breve reseña de las tres regiones a estudiar respecto a los aspectos que caracterizan a la región en materia de generación y consumo de electricidad.

El tercer apartado constituye el corazón de la investigación, puesto que en el de detallan los resultados obtenidos en relación con el suelo superficializado de producción eléctrica en las tres regiones estudiadas y su previsible evolución futura. Finalmente se exponen unas breves conclusiones que cierran el trabajo.

2. ENERGÍA Y TERRITORIO

Establecidos los objetivos y el método mediante el cual se desarrollará la presente investigación, podemos proceder a describir brevemente cuales son las coordenadas en las que cabe considerar el tema estudiado. Así se recordarán en primer lugar cual es el escenario actual al cual se ve enfrentado el sector energético, abordando el previsible agotamiento de los combustibles fósiles y sus consecuencias, así como la problemática en materia de emisiones. A su vez revisaremos los desafíos que supone la transición hacia energías más limpias y sostenibles, profundizando respecto a los altos requerimientos de suelo que esta transición implicaría.

2.1. LA SITUACIÓN ACTUAL DE LAS ENERGÍAS EN EL MUNDO Y LAS NECESIDADES DE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA.

El uso de la energía a gran escala impulsado por la Revolución Industrial ha permitido el desarrollo económico de las sociedades contemporáneas, así como los grandes intercambios de recursos energéticos a nivel mundial. Para llevar a cabo este proceso ha sido necesaria la utilización de recursos fósiles y minerales que proporciona la energía, la cual se inició con el uso del carbón, y se ha sucedido con la extracción y quema de petróleo, así como en las últimas décadas con el uso del gas natural y el uranio (Berners -Lee & Clark, 2013). Actualmente es sabido que estos recursos son finitos y de acuerdo con varios estudios el pico de extracción, del petróleo convencional ya ha ocurrido. Esto se explica ya que si bien hasta 1973 la extracción mundial de petróleo aumentó a razón de un 7-8% anual, a partir de 1979 el incremento disminuyó al 1-2%, y en 2005 la extracción de petróleo convencional se estancó en una meseta irregular (Fernández & González, 2014 p. 88). Respecto a los otros combustibles se espera que probablemente el gas natural alcance su pico en 2020-2030, mientras que el del carbón se produzca en 2025-2040; en tanto el del uranio, es probable que al igual que el del petróleo ya se haya producido, ya que hacia el 2015 los costes de explotación se han incrementado haciéndolos menos asumibles (Fernández & González, 2014).

Alcanzar el pico de extracción, no sólo significa que la extracción comienza a declinar, sino también, que el producto obtenido es de menor calidad, debido a que se explotan primero los yacimientos que poseen un mejor rendimiento. Asimismo, continuar la extracción implica mayores costos ambientales, técnicos y financieros. (Fernández & González, 2014). Por otra parte, no debe olvidarse que los recursos energéticos fósiles, se encuentran concentrados en sólo ciertas partes del planeta, por lo que si tenemos en cuenta que un 83% (Sanz & Pulla, 2013 p. 42) de la demanda mundial de energía se satisface en base al abastecimiento de combustibles fósiles y uranio, es fácil visualizar la dependencia que existe entre países “proveedores” y países “consumidores”. Por tanto, el abastecimiento no sólo depende del volumen de las reservas, sino que también de las relaciones comerciales y geopolíticas entre estos países, así como de la existencia de redes de abastecimiento y de una distribución segura y eficaz. (Sanz & Pulla, 2013).

El aumento reciente de la población y la necesidad continua de crecimiento que impone el modelo económico comportara altos consumos energéticos, y aunque los países desarrollados han empezado a moderar o incluso reducir el consumo, los países en vías de desarrollo presentan un panorama radicalmente distinto. (Sanz &

Pulla, 2013). La necesidad de abastecimiento, en consecuencia, ha impulsado la búsqueda de nuevos yacimientos de combustibles fósiles en entornos frágiles como es el caso del Ártico y en zonas de alta biodiversidad (Smith, 2010), lo que supondrá la destrucción de ecosistemas altamente valiosos a nivel mundial. Sin embargo, la pérdida y destrucción de los valores naturales de estos lugares es sólo uno de los daños colaterales que tendría el permanente uso de energías no renovables. En efecto, a estos impactos se suman los problemas ambientales y de salud que sufren poblaciones cercanas a las zonas de generación de este tipo de energía debido a la emisión de gases y desechos contaminantes. Pero sin lugar a duda uno de los efectos más relevantes a nivel planetario de las mismas, ha sido el impacto que han tenido las emisiones de CO₂ provenientes de la generación de energía en el fenómeno del calentamiento global. De acuerdo con un estudio de University of Cambridge & World Energy Council, el impacto de la generación de energía alcanzó un 35% de las emisiones directas de GEI el año 2010, es decir que la generación de energía estaría emitiendo poco más de un tercio de los GEI a nivel mundial. (University of Cambridge & World Energy Council, 2014).

Actualmente, los efectos del Cambio Climático son cada vez más evidentes, de modo que, con los modelos climáticos realizados por el IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático), si las emisiones continúan aumentando al ritmo actual, se estima que los impactos para finales del siglo comportarían una temperatura media global de 2,6 a 4,8 grados Celsius (°C) por encima de la actual, así como niveles del mar de 0,45 a 0,82 metros (m) por encima de los actuales (University of Cambridge & World Energy Council, 2014). Con el fin de prevenir estos impactos la Convención Marco de la ONU sobre el Cambio Climático (CMNUCC) acordó el año 2015, en la Cumbre por el Clima celebrada en París, realizar los esfuerzos necesarios para mantener el incremento de la temperatura media mundial por debajo de 2 °C con respecto a los niveles preindustriales y seguir trabajando para limitarlo a 1,5 °C en un futuro cercano (University of Cambridge & World Energy Council, 2014).

Para lograr el objetivo de limitar el aumento de temperatura, se requieren reducciones sustanciales y sostenidas de las emisiones de gases de efecto invernadero, de tal modo que el rubro energético se enfrenta a un gran desafío, teniendo en consideración su incidencia en las emisiones de CO₂. Hacer frente a dicho reto comporta la inviabilidad de consumir las reservas todavía existentes de combustibles fósiles, esto ya que para lograr el objetivo de mantener el calentamiento global por debajo de los 2°C para este siglo, se requiere dejar en el suelo un tercio de todas las reservas de petróleo, la mitad de las reservas de gas y en torno al 80% de las reservas de carbón, ya que las emisiones de gases de efecto invernadero que produciría explotar las reservas estimadas de combustibles fósiles son tres veces mayores de lo que el mundo se puede permitir si quiere evitar los peores efectos del cambio climático (McGlade & Ekins, 2015). Por tanto, se precisa integrar nuevas tecnologías y fuentes primarias de energía que posibiliten un modelo más sostenible y que a su vez asegure el suministro a largo plazo.

En este sentido, las fuentes de energía renovables, eólicas, solares fotovoltaicos, geotérmica y biomasa, se posicionan como alternativas viables en la medida que suponen un gran avance en materia de reducción de

CO₂, y a la vez que permiten asegurar el abastecimiento debido a ser recursos inagotables. Estas energías se encuentran distribuidas, en mayor y menor medida, a lo largo de toda la superficie terrestre, lo que permite en principio contrarrestar la dependencia entre “proveedores” y “consumidores”, así como la especulación y la incertidumbre. Además, es preciso mencionar que la mayoría de ellas generan electricidad de forma directa, por lo que requieren de procesos de producción más cortos y sencillos (Sanz & Pullas, 2013). Por tanto, las energías renovables no son sólo más limpias, sino que a su vez potencialmente más democráticas en términos de equidad ambiental.

Sin embargo, y pese a los múltiples beneficios ya mencionados, la adopción de este tipo de energías no ha estado exenta de críticas y problemas, y es que las fuentes de energía renovable a menudo se consideran dispersas y difíciles de gestionar, por lo que requieren recursos de suelo sustanciales en comparación con las fuentes de energía convencionales (Fthenakis & Chul, 2009). La búsqueda de lugares idóneos para la captación de este tipo de energías, muchas veces las sitúa alejadas de los centros de consumo, lo que supone a su vez la construcción de líneas de transporte. Por tanto, la implementación de este tipo de energías renovables no excluye en modo alguno la existencia de conflictos, entre los que se halla el alto consumo de suelo asociado a este tipo de energías, lo que ha llevado incluso a cuestionar su sostenibilidad y viabilidad.

2.2. ENERGÍA Y USO DE SUELO

El estudio de la transición energética en términos de ocupación y uso de suelo es un tema complejo de abordar debido a que la medición de las superficies de suelo ocupadas por los distintos tipos de energías difiere según los criterios utilizados y no existe una metodología generalmente aceptada (Canals, 2007). En el siguiente apartado hemos clasificado las diversas aproximaciones según los criterios que utilizan. Estas son esencialmente siete: el impacto directo del suelo, la huella territorial, la duración del impacto, el ciclo de vida de los diversos tipos de energía, los efectos más o menos permanente de la transformación del suelo, la compatibilidad con otros usos, y por último las intensidades de energía, es decir, la energía que se genera respecto a la superficie de suelo utilizada.

Un primer grupo de criterios bajo el cual se suele establecer la discusión respecto a la energía y uso del suelo tiene relación con el contexto espacio temporal que será tomado en cuenta para llevar a cabo las mediciones.

a) En este sentido los criterios más simples corresponden a los que abordan el impacto directo (Denholm, 2009), es decir, el suelo perturbado para la instalación de la infraestructura. En este caso, por ejemplo, se estaría considerando el impacto que tendrían la instalación de aerogeneradores eólicos, sin contar el terreno circundante posiblemente afectado.

b) En segundo lugar, encontramos los estudios que utilizan como criterio la ocupación del suelo (Fthenakis & Chul, 2009) o huella (Andrews, Dewey-Mattia, Schechtman, & Mayral, 2011) para referirse al suelo utilizado por la infraestructura, así como también al suelo asociado a su funcionamiento. Es esta forma de medición la que sugiere que las energías renovables utilizarían mayores superficies de suelo que las energías

convencionales. De acuerdo con este criterio las energías podrían clasificarse en tres grupos. Un primero grupo, con la menor huella, estaría compuesto por las energías generadas a partir de combustibles fósiles (carbón, gas, petróleo), así como a la energía solar térmica y la geotermia, esta última utilizando procesos de extracción similares a los del petróleo (Andrews et Al, 2011). En un segundo grupo con una huella mayor, se encontrarían la energía solar fotovoltaica, los parques eólicos y las hidráulicas de embalse. En tanto que, en un tercer grupo, con la mayor huella, encontraríamos la biomasa o bioenergías, con los correspondientes cultivos y cosechas asociadas (Andrews, et Al, 2011). Sin embargo, esta situación difiere en el caso de la biomasa generada a partir de residuos y desechos en la cual la huella disminuiría considerablemente (IRENA 2017). Otros estudios también incluirían en este último grupo a la energía nuclear, debido a las áreas de exclusión que deben existir en torno a estas plantas, así como los espacios de barrera reservados para un posible accidente (Sanz & Pulla, 2013).

c) Un tercer criterio corresponde a la duración del impacto (Koellner y Scholz 2008), o aquello que podríamos denominar la “vida útil” de las instalaciones y plantas de generación. En este caso, la ocupación del suelo se pondera por el tiempo de duración de dicha ocupación. En este sentido existen estudios que fijan la vida útil de las plantas generadoras de energía en un promedio de 10 a 20 años en el caso de las geotérmicas, 25 años en el caso de las plantas solares, eólicas y a petróleo, en 35 años las plantas a gas natural, 55 años las plantas a carbón, entre 40 y 60 años las plantas nucleares y entre 50 a 100 o más años en el caso de las hidroeléctricas de embalse. (Pomykacz & Olmsted, 2014).

d) Un cuarto criterio, y a la vez uno de los más complejos de abordar, corresponde al del ciclo de vida, el cual a su vez difiere respecto a los tipos de energía. En el caso de las plantas solares fotovoltaicas y los aerogeneradores eólicos, se contabilizan los procesos de adquisición de materiales para la producción de los módulos o los aerogeneradores; procesos de transporte, operación y mantenimiento, y eliminación de materiales (Fthenakis & Chul, 2009; Cheng & Hammond 2014). En un contexto más amplio, como es en el caso de los combustibles fósiles estos conllevan procesos de prospección (carbón, petróleo, gas natural), de extracción y explotación (minas subterráneas y a cielo abierto), así como procesos de purificación (gas natural), o de refinación (petróleo) de la materia prima. A estos se suma el transporte (actividad de gran relevancia en países “consumidores”); esta operación conlleva en algunos casos espacios para el almacenaje del combustible (canchas de carbón) y por último el tratamiento de desechos. (Fthenakis & Chul, 2009). Existe a su vez una serie de impactos “indirectos” los cuales no siempre suelen considerarse dentro de los ciclos de vida debido a la complejidad de medición, tal es el caso de los espacios contaminados, las alteraciones a los ecosistemas de los suelos adyacentes, así como las perturbaciones causadas por accidentes relacionados con el ciclo del combustible (Fthenakis & Chul, 2009), los cuales a su vez conllevarían la restauración de los sitios (Cheng & Hammond 2014). Aunque las estimaciones varían según las condiciones regionales, en el caso del ciclo de vida existen estudios que situarían a los parques solares fotovoltaicos como la energía que utiliza menos suelo dentro de las energías renovables, mientras que el ciclo de biomasa requieren la mayor cantidad

debido a los cultivos asociados. Sin embargo, en el caso de los parques solares que se sitúan en zonas de alta insolación estos requerirían cantidades similares de suelo que las fuentes de energía convencionales, como el carbón y el gas natural, a lo largo de sus ciclos de vida (Fthenakis & Chul, 2009).

e) Otros criterios utilizados para la medición del suelo ocupado para la generación de energía guardan relación con la ocupación y transformación del suelo. En el caso de la ocupación, y tal como el criterio lo especifica, el suelo se ocupado para la generación de energía, sin embargo, las propiedades del suelo se mantienen. En el caso de la transformación, en cambio, las propiedades del suelo se modifican para que sea adecuado para el uso previsto (Koellner, de Baan, Beck, Brandão, Civit, Margni, & Milà i Canals, Saad, de Souza & Müller-Wenk, 2013). Este criterio podría ser complementado con el que se denomina calidad del impacto o función de daño, (Koellner y Scholz 2008) el cual evalúa tanto el estado inicial de la tierra afectada como los estados finales a través de una variedad de factores, incluida la calidad del suelo y la calidad general del ecosistema. En base a estos criterios se podría deducir que las energías convencionales comportan las mayores transformaciones de superficies de suelo debido a los procesos de extracción y explotación en el caso de los combustibles fósiles, así como por la inundación de suelos que generan las hidroeléctricas de embalse, lo que conlleva a su vez que una vez acabado el recurso o terminada la vida útil de los proyectos se necesiten nuevos requerimientos de suelo. Esta situación es distinta en el caso de las fuentes de energía renovables las cuales suelen usar el suelo de manera estática, una vez que se construye la infraestructura para su operación no hay mayores necesidades de extracción de recursos (Fthenakis & Chul, 2009). A su vez, una vez terminada la vida útil de estos proyectos, los suelos pueden ser reutilizados para la misma u otras actividades, como es el caso también de los suelos cultivados para la biomasa si son gestionados de manera sostenible, situación que difiere en el caso de los combustibles fósiles, ya que esta reutilización dependerá del tiempo que dure la recuperación de las áreas alteradas. (Fthenakis & Chul, 2009),

f) Un criterio distinto pero que a la vez podría considerarse complementario a estos últimos, corresponde a la intensidad del uso del suelo, este criterio se refiere a la duplicidad de actividades que puede acoger un mismo suelo de acuerdo con la intensidad de su uso (IRENA, 2017). En el caso de los usos no intensivos del suelo, como es el de los parques eólicos y solares fotovoltaicos, estas instalaciones podrían acoger dentro o bajo de sus instalaciones, otros usos simultáneos como es el pastoreo o cultivos. Esta compatibilidad es más difícil en el caso de los combustibles fósiles debido a lo contaminante de la actividad la que suele a menudo más bien interferir con otras actividades. Situación particular es la de los embalses, los cuales, si bien suelen ser compatibles con otros usos, como es el de reservas de agua para riego (López, 2017) o uso recreativo, para su construcción conllevan la transformación de grandes superficies. La inundación y consiguiente modificación del ecosistema cambia el ciclo bioquímico en el sistema fluvial natural. Los embalses interrumpen el flujo río abajo de carbono orgánico, lo cual conduce a emisiones de gases de efecto invernadero, como metano y dióxido de carbono, que contribuyen al cambio climático global. (Comisión Mundial de Represas, 2000)

g) Finalmente, otra forma de comparar las fuentes de energía en relación con el uso del suelo es la densidad de potencia o de energía. En el caso de la densidad de energía esta depende directamente de la intensidad de energía que es posible capturar en una determinada ubicación, medida en (vatios (W)/m²), por lo que este estudio es más específico ya que depende directamente de la ubicación geográfica en el cual se localiza la central generadora (IRENA, 2017). Aun así, las energías renovables suelen ser criticadas, por su baja densidad de energía en relación con los combustibles fósiles, o la energía nuclear, ya que estas energías producirían una "electricidad diluida" con una densidad de energía que es de órdenes de magnitud más bajos que las fuentes convencionales (Cheng & Hammond, 2014). La huella espacial, en tanto, corresponde a la proporción inversa que la densidad de energía midiendo la cantidad de suelo utilizado para producir una unidad de energía a través de diversos sistemas de producción. En términos generales, los tipos de energía no renovables implican huellas de tierra de 0.1-1 m² / MWh, mientras que el uso de tierra de fuentes renovables a excepción de la biomasa es del orden de 1-10 m² / MWh y 100 -1,000 m² / MWh para biomasa (excepto residuos y desechos) (IRENA, 2017).

Evidentemente los criterios en ningún caso son excluyentes entre sí. Obviamente según el criterio o combinación de criterios utilizados las conclusiones respecto a las superficies de suelo utilizadas por los distintos tipos de energía serán diversas. Así entonces, es posible apreciar que existen varios criterios que señalan a las energías renovables como grandes consumidoras de suelo, sin embargo, esta situación varía en la medida que consideramos los ciclos de vida y los impactos directos e indirectos que generan las energías generadas por combustibles fósiles.

Pese a ello, resulta innegable que la transición hacia un modelo más limpio y sostenible implicará grandes superficies de suelo. Por tanto, un nuevo modelo energético basado en energías renovables no precisa sólo el cambio de unas energías por otras, sino de un cambio estructural del sistema. Este cambio, debería implicar una matriz equilibrada que combine diversos tipos de energías renovables, tener especial cuidado en la selección de los lugares de emplazamiento, así como lograr un modelo energético distribuido que acerque los centros de generación a los de consumo. En este sentido un modelo descentralizado de energías renovables resulta especialmente atractivo en áreas remotas, escasamente habitadas, donde no se han establecido vínculos con las redes eléctricas (IRENA 2017).

Por otra parte, reforzar la generación distribuida precisa de la construcción de proyectos más pequeños, situación que implicaría desmonopolizar los sistemas actuales, con el fin de lograr una mayor cercanía a los usuarios, atenuar los impactos sobre el territorio que han provocado los grandes proyectos, así como reducir las pérdidas de la distribución, además de aliviar la carga de las líneas de transmisión y distribución (Sohr, 2011). A su vez, un despliegue innovador de las energías renovables (por ejemplo, tejas solares, integración del viento con la agricultura) puede reducir las presiones del uso del suelo, así como evitar las perturbaciones del paisaje causadas por los combustibles fósiles, la energía nuclear y las energías renovables convencionales.

3. LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN CHILE

Una vez revisado el contexto actual en que se encuentra el sector energético a nivel mundial y las implicaciones de la transición energética respecto a lo que al uso de suelos significa, procederemos en el presente capítulo a estudiar el sector energético en Chile. En concreto nos centraremos, específicamente en el sector de la energía eléctrica, para lo cual ofreceremos una breve panorámica acerca de lo que ha sido el desarrollo de este sector desde sus inicios. A continuación, trataremos los principales rasgos de la situación actual y enunciaremos los más destacados desafíos que se prevén a futuro. También se expondrán aspectos como la conformación del sistema eléctrico chileno y el crecimiento de los últimos años. Por último, nos adentraremos en la situación particular de las tres regiones elegidas, en materia de generación y consumo eléctrico.

3.1. EL DESARROLLO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN CHILE

3.1.1. LOS INICIOS DEL PROCESO DE ELECTRIFICACIÓN

El proceso de electrificación en Chile se inicia a finales del siglo XIX mediante la implementación de centrales hídricas y plantas térmicas a carbón. Este proceso fue llevado a cabo por una serie de pequeñas empresas eléctricas nacionales y extranjeras, que se instalaron con el propósito de servir a industrias locales, y que, por medio de sus excedentes, permitieron iluminar ciudades y pueblos a lo largo del país (ENDESA, 1995). De forma paralela, el rubro minero construyó sus propias plantas eléctricas con el fin de modernizar sus operaciones. De hecho, fue para cubrir las necesidades de iluminación de las minas de carbón de Lota, que se construyó la primera planta generadora de electricidad, la Central Hidroeléctrica Chipilingo el año 1897.

La disponibilidad de recursos hídricos existentes en el país permitió que la energía hidráulica fuese tomando un rol protagónico, logrando abastecer en gran parte la demanda creciente de energía eléctrica generada en el centro-sur del país. Por su parte la energía térmica, con una menor incidencia fue quedada relegada más bien a la zona norte (zona con escasos recursos hídricos), donde la demanda provenía principalmente del rubro minero.

3.1.2. EL DESARROLLO DEL MODELO EN MANOS DEL ESTADO

Este modelo eléctrico, dejado en manos de privados, se fue expandiendo hasta mediados de los años cuarenta, década en que se creó la Empresa Nacional de Energía, S.A ENDESA. Esta empresa estatal quedó a cargo de desarrollar y administrar un Plan de Electrificación Nacional, creado previamente por la Corporación de Fomento de la Producción CORFO, el cual pretendía “echar los cimientos para un sistema eléctrico de proyección nacional” (ENDESA, 1995, p. 44). Este plan dividió al país en 7 “zonas geográficas” que luego pasaron a denominarse “zonas eléctricas”. La primera se extendía de Arica a Vallenar, la segunda desde la Serena hasta los Vilos, la tercera desde Petorca hasta Linares, la quinta desde Lautaro hasta Puerto Montt, la sexta abarcaba a Chiloé continental y Aysén y la séptima Magallanes. Mediante esta zonificación, se buscaban

establecer diversos sistemas regionales que se desarrollarían en forma paralela y que en una segunda etapa serían interconectados, con el fin de poder trasladar sus excedentes hacia otras regiones. El criterio para esta división fue hidrológico y en el caso de las regiones ubicadas más al norte del país, las cuales carecen de estos recursos, se complementarían mediante la implementación de plantas térmicas. A partir de este momento comenzó la construcción de una serie de centrales hidroeléctricas, Pilmaiquén y Pullingue en la quinta región eléctrica, Abanico en la cuarta; Cipreses, Isla, Sauzal y Sauzalito en la tercera; y Los Molles en la segunda. Además de la implementación de centrales térmicas en Magallanes y Aysén, así como en ciudades y pueblos de la primera región. (ENDESA, 1995). Este proceso que se desarrolló entre los años 1944 y 1963, permitió aumentar de forma significativa la producción y consumo de energía eléctrica, especialmente en el mundo rural.

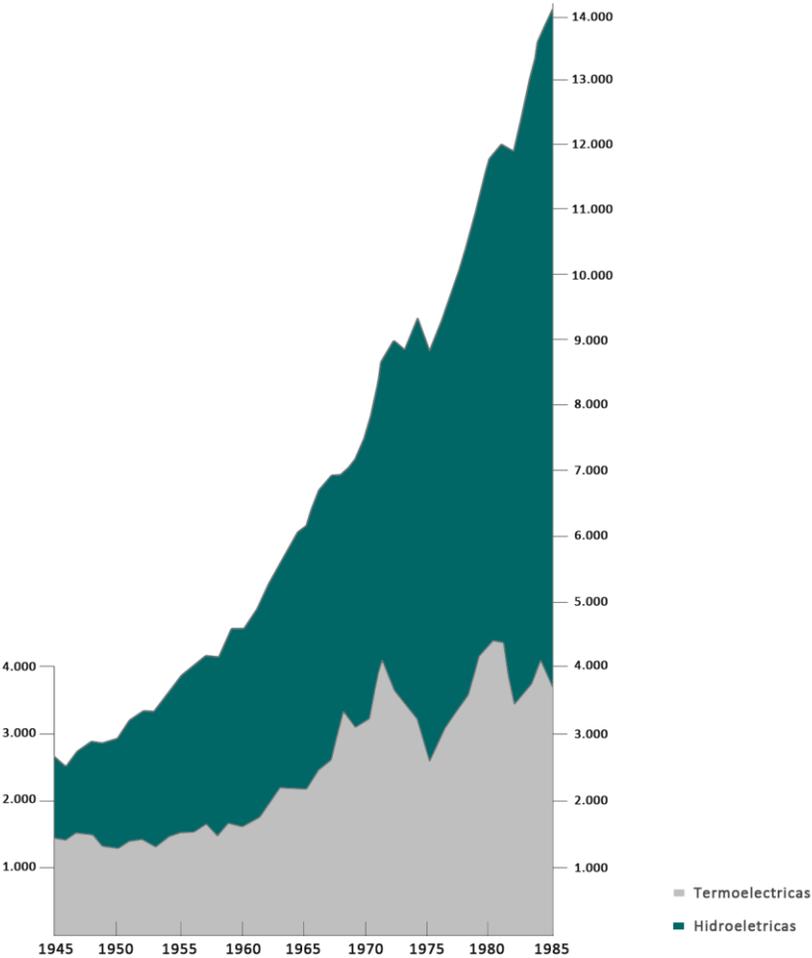
FIG. 1. ZONAS ELÉCTRICAS PLAN DE ELECTRIFICACIÓN NACIONAL



Fuentes: Elaboración propia en base a datos de la Política Eléctrica (1988)

En los años posteriores, con el fin de dar respuesta a una demanda que requería duplicar la generación de energía eléctrica cada siete años, se inició un proceso de construcción de grandes centrales hidroeléctricas, las cuales permitirían almacenar el agua estacional y transmitir la energía eléctrica del norte al sur, o del sur al norte, según fuese necesario. Es así como al final de este período que culmina el año 1985 con la implantación de un nuevo modelo eléctrico, se habían incorporado al sistema eléctrico cuatro nuevas centrales hidroeléctricas de embalse Rapel, El Toro, Antuco y Colbún-Machicura. El gran desarrollo de la energía hidroeléctrica impulsado por ENDESA, logró que este tipo de energía alcanzara una participación en la matriz de un 65% en los años setenta, y aumentara a un 80% durante los años ochenta (Ministerio de Energía, 2015). Sin embargo, esta situación cambiaría radicalmente los años posteriores.

FIG. 2. EVOLUCIÓN DE LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR TIPOS DE ENERGÍA EN MWH PERÍODO 1945-1985.



Fuentes: Elaboración propia en base a datos de la Política Eléctrica (1988)

3.1.3. LA PRIVATIZACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO

En la década de los ochenta, la dictadura militar, con el fin de liberalizar la economía, promulga en 1982 la Ley General de Servicios Eléctricos, mediante esta legislación se separa la generación de la transmisión y distribución de la energía eléctrica. Este proceso continuó en 1985 con la privatización de las empresas eléctricas estatales las cuales fueron entregadas a un grupo reducido de empresas privadas, que a partir de entonces quedarían a cargo de desarrollar el sistema eléctrico nacional. Por su parte el Estado asumió un rol de regulación y supervisión de la cartera de inversiones en la materia, a la vez que indicaba por medio de la Comisión Nacional de Energía (CNE) los aumentos en la generación requeridos y la expansión necesaria de líneas de transmisión. De este modo, tanto las decisiones sobre la ubicación geográfica de los proyectos, como las fuentes primarias de energía correspondían en buena medida a las empresas privadas.

Una vez a cargo del desarrollo de la matriz eléctrica, las empresas privadas, debieron tratar de dar solución al crecimiento de la demanda experimentado entre los años 1985 y 2005. Para llevar a cabo este proceso se buscó modernizar la matriz eléctrica, mediante la incorporación del gas natural como combustible para la generación de energía térmica. A la vez, se continuó la construcción de centrales hidroeléctricas, como fueron las centrales Ralco, Pangué, Llanquén, Aguas Blancas, Huequecura y Quitramán, las cuales conformaron un megaproyecto ubicado en la zona sur del país (Román, 2012).

El uso del gas natural comienza su operación el año 1997 con la inauguración del gasoducto construido para transportar el gas desde Argentina, este trajo consigo una reducción de los costos en la generación, así como mejoras de la calidad del aire. La reducción de los costos fue de un tercio en el Sistema Interconectado del Norte grande (SING) respecto a los del año 1985, y de un 10% en el caso del Sistema Interconectado Central (SIC) (Sohr, 2012). Este panorama de reducción de costos comportó el incremento de la participación del gas natural en la matriz eléctrica el cual llegó a alcanzar un 15% a comienzos del 2007.

Sin embargo, esta tendencia había sufrido un grave revés a partir del año 2004, debido a las limitaciones en las exportaciones desde Argentina experimentadas por la escasez de gas en dicho país. De acuerdo con Sohr, en dos ocasiones durante 2007, por períodos de 24 horas, el gasoducto entre los dos países no recibió ninguna inyección de gas, y durante varios meses el abastecimiento del gas se redujo al consumo domiciliario, por lo que las plantas termoeléctricas y las industrias debieron quemar diésel. Esta situación generó un cambio radical en la composición de la matriz a partir del año 2007, pues tal como se mencionó con anterioridad, a comienzos de este año el gas natural representaba un 15% del combustible destinado a las centrales termoeléctricas, en tanto que el diésel alcanzaba sólo el 2%. En junio de ese mismo año la participación del gas natural era nula, en tanto que el diésel alcanzaba un 38% por ciento (Sohr, 2012). Sin embargo, el uso del petróleo diésel no era en ningún caso una solución, ya que en medio de la crisis de inseguridad energética que experimentó el país entre los años 2004 y 2008 el petróleo experimentó subidas abruptas en sus precios los años 2005, 2008 y 2011. De esta forma, y con el fin de disminuir los elevados costos, se ha ido utilizando de forma progresiva el carbón, el cual pasó de tener una participación en la generación de la energía eléctrica de

un 26% el año 2007 a un 40% el año 2017, generando con ello un proceso de carbonización de la matriz, justo en el momento en el que los organismos y los acuerdos internacionales propugnan la evolución inversa.

3.1.4. LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN CHILE, EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LAS ERNC.

El desarrollo histórico del sector eléctrico ha generado en la actualidad una situación de inseguridad respecto al abastecimiento de energía eléctrica. Esta situación obedece a dos factores, la dependencia de combustibles fósiles que son en su mayoría importados, y a la importancia de la energía hidráulica, la cual constituye como es sabido, una fuente relativamente poco confiable debido a los recurrentes períodos de sequía (Wittelsbürger, 2007).

El rol pasivo que ha asumido el Estado en la materia ha generado fuertes críticas de parte de organismos internacionales, los cuales han llegado a afirmar que “Chile carece de una política energética seria y responsable” (Wittelsbürger, 2007 p.1). Asimismo, se ha afirmado que “La debilidad del Estado en la planificación estratégica sumada a las iniciativas privadas dispersas redundan en un sistema disfuncional, expresado en los altos precios y la fragilidad del abastecimiento” (Sohr, 2011 p.25). Por su parte la CEPAL ha sido todavía más explícita cuando ha alertado sobre los riesgos “El debilitamiento o falta de operatividad de las instituciones encargadas de la planificación energética, como consecuencia de la creencia de que los mecanismos de mercado pueden, por sí mismos, resolver de manera eficaz y eficiente el conjunto de los aspectos vinculados a la política energética” (Sohr, 2012 p. 34).

E esta ausencia de planificación no sólo ha generado un escenario de inseguridad en el abastecimiento. La ausencia de una política formal, vinculante, comprensiva y coordinada de ordenamiento territorial a nivel nacional (SUBDERE, 2011), así como el hecho de haber dejado en mano de las empresas privadas la ubicación geográfica, las fuentes primarias y envergadura de los proyectos, ha ocasionado un sinnúmero de conflictos ambientales con las comunidades aledañas, así como con otros sectores de la economía, como son el agrícola y el turístico, los cuales se han visto a menudo afectados por las externalidades negativas que conllevan estos proyectos.

Un estudio elaborado por la Comisión Nacional de Innovación para el Desarrollo (CNID) y entregado al gobierno en marzo del 2017, establecía que Chile es uno de los países con más conflictos ambientales por habitante en el mundo. Pues bien, de los 49 casos analizados el 57,1% correspondían al rubro energía. Los proyectos que generan mayor cantidad de conflictos, de acuerdo con este mismo informe, corresponden a las termoeléctricas (28 casos), hidroeléctricas (17 proyectos), mientras que se identificó un conflicto relacionado a un parque eólico. En tanto, en el estudio *Environmental Justice Atlas*¹, puede constatarse que Chile aparece

¹ El Environmental Justice Atlas (Atlas de Justicia Ambiental) forma parte del proyecto europeo EJOLT: Environmental Justice Organizations, Liabilities and Trade (Organizaciones de Justicia Ambiental, Pasivos y Comercio), que cuenta con la participación de un equipo internacional de expertos procedentes de 23 universidades y organizaciones de justicia

entre los 15 países con más conflictos ambientales con un total de 49 conflictos, de los cuales 14 están relacionados con el sector eléctrico.

Respecto a la naturaleza de los conflictos, en el caso de las termoeléctricas, que se ubican a lo largo del país principalmente en las zonas costeras, las polémicas guardan relación sobre todo con la contaminación generada por la emisión de sustancias tóxicas, así como también, con la descarga de agua a alta temperatura y los desechos industriales arrojados al mar. Estos impactos se asocian a daños a la salud, sobre todo con la ocurrencia de enfermedades respiratorias y cáncer (CNID, 2017, p. 32). Tal es el nivel de impactos en comunas que concentran este tipo de proyectos, como es el caso de Mejillones (Región de Antofagasta), Huasco (Región de Atacama), Coronel (Región del Biobío), Ventanas y Puchuncaví (Región de Valparaíso), que las mismas comunidades han comenzado a denominarlas “Zonas de Sacrificio” (CNID, 2017, p.32).

En el caso de las Hidroeléctricas, las cuales se ubican en mayor medida en el centro y sur del país, la causa de los conflictos obedece a la afectación que sufre el patrimonio natural y cultural por la inundación de tierras, lo que ha afectado el turismo, pero también el patrimonio ancestral y modos de vida de pueblos indígenas. Además, diversos estudios han demostrado que embalses de grandes dimensiones modifican el microclima. (Wittelsbürger, 2007). No es pues de extrañar que, actualmente exista una fuerte oposición de parte de la ciudadanía a la construcción de este tipo de proyectos, lo cual incide en el retraso de su ejecución, con los consiguientes costos económicos que esto implica (CNID, 2017), así como también en la cancelación total de los proyectos, como es el caso emblemático de HidroAysén (Electricidad. La revista energética de Chile, 17 de noviembre del 2017).

En materia de Cambio Climático ya hemos comentado en términos globales, que el sector energético es uno de los grandes emisores de gases de efecto invernadero (GEI). De acuerdo con el Balance de GEI del año 2013, en Chile las emisiones del sector energético ese año constituyeron un 69,9% del total, mientras que el 45,3% provenía directamente de la generación de electricidad. Si bien Chile sólo aporta un 0,25% de las emisiones globales (Gobierno de Chile, 2015), en los últimos años estas se han incrementado de tal forma que han posicionado al país en segundo lugar a nivel mundial, después de China, en la velocidad con que aumentan sus emisiones de dióxido de carbono (Sohr, 2012).

El año 2015 en la Cumbre del Clima celebrada en París, Chile comprometió reducir sus emisiones en un 30% al 2030, respecto al año 2007, y en un 45% si cuenta con ayuda internacional, esto implica, por tanto, desacoplar las emisiones del crecimiento económico del país. Para dar respuesta a este desafío en materia energética, se precisa incorporar energías renovables que hagan posible transitar hacia una matriz con bajas emisiones. La implementación de las energías renovables en Chile ha sido resistida por el oligopolio existente en el ámbito energético, sin embargo, a partir de 2004, con los cortes de gas producidos por los problemas de suministro desde Argentina, se introdujeron tímidas disposiciones que removían algunas barreras no

ambiental de 18 países, y que está coordinado por investigadores del Instituto de Ciencia y Tecnología de la Universidad Autónoma de Barcelona (ICTA-UAB).

económicas para las energías renovables no convencionales (Sohr, 2012). Seis años más tarde, el año 2010 entraría en vigor la Ley N° 20.257, también llamada Ley ENRC ya que se incorpora la definición de Energías Renovables No Convencionales, que se define como “centrales hidroeléctricas pequeñas (menos de 20 MW de potencia máxima), y a proyectos de energía que aprovechen la biomasa, la geotérmica, la solar, la eólica, la mareomotriz, entre otras”. A su vez, la ley, establece una exigencia respecto a los retiros realizados por las empresas de generación para servir sus contratos de suministro, teniendo que acreditar un porcentaje de inyección de ERNC en el origen de dicha energía. Los porcentajes fueron establecidos de acuerdo con un crecimiento anual que proyecta al 2025 un 10% de la generación en base a ERNC. Posteriormente el año 2013 se promulga la Ley N° 20.698, la cual realiza cambios sobre los porcentajes anuales proyectados con anterioridad, aumentando las exigencias sobre las empresas generadoras, estableciendo como objetivo alcanzar un 20% de ERNC para el año 2025.

Dichas medidas podrían considerarse tímidas y poco ambiciosa, teniendo en cuenta que los costos de las energías renovables se han reducido, tal como lo establece el informe de la IEA² (2015) sobre "Projected Costs of Generating Electricity". Este estudio indica que la tendencia es que las energías renovables tengan costos de desarrollo cada vez menores, mientras que, para las tecnologías convencionales, los costos se mantienen o aumentan” (Gobierno de Chile, 2015). A su vez, cabe tener en cuenta que Chile presenta condiciones únicas para el desarrollo de las energías renovables (Wittelsbürger, 2007). Esto se debe a la diversidad geográfica que le permite disponer de condiciones privilegiadas de radicación de energía solar, principalmente en el norte del país en donde se encuentra el desierto de Atacama; fuertes vientos en el sur, principalmente en la Patagonia; una larga costa para el desarrollo de la energía mareomotriz; una geología que le permite el desarrollo de la geotermia y, como ya ha sido mencionado con anterioridad, diversos recursos hídricos.

El año 2015 fue lanzada por el gobierno una propuesta de Política Energética Nacional, denominada Energía 2050, este documento establece los lineamientos bajo el cual se debe regir el desarrollo del sector eléctrico con el fin de lograr un modelo energético confiable, inclusivo, competitivo y sostenible al 2050. A su vez se busca que el Estado asuma un rol articulador mediante el Ministerio de Energía, para lo cual se establece mediante decreto de Ley la responsabilidad de este Ministerio de liderar la implementación de la Política Nacional de Energía, realizar su seguimiento y desarrollar un informe anual de sus avances al Consejo de la Sociedad Civil del Ministerio de Energía. En materia de generación e incorporación de ERNC a la matriz eléctrica, se crea la Mesa de ERNC³ de Energía 2050, con el objetivo de estudiar aspectos técnicos y económicos, así como escenarios de largo plazo de incorporación de ERNC en la expansión de los principales sistemas interconectados, SIC y SING. Los resultados obtenidos indican que al 2035, bajo distintos escenarios,

² Agencia Internacional de Energía

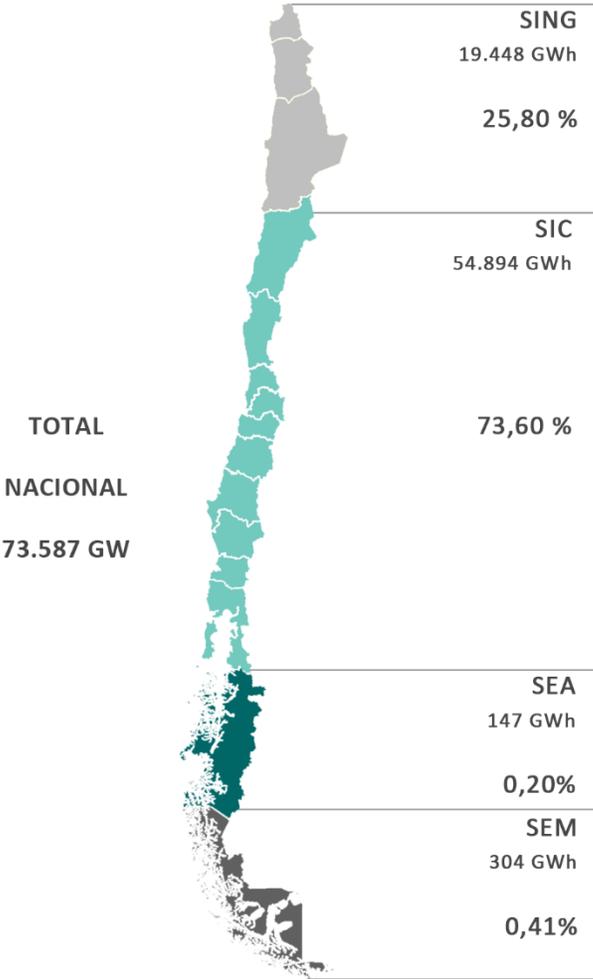
³ La Mesa sobre ERNC en el marco del proceso de Energía 2050 reunió a especialistas del sector público, privado y académico, con apoyo de la cooperación del Gobierno Alemán a través de GIZ, quienes aportaron su experiencia para que investigadores de la Universidad de Chile realizaran un análisis inédito en el país. Disponible en <http://www.energia2050.cl/material/633>

en promedio, las ERNC pueden llegar a constituir un 40% de la generación del país, y si consideramos el conjunto de las energías renovables, esa participación podría situarse en torno al 60% (Gobierno de Chile, 2015). A su vez, el Centro de Energía de la Universidad de Chile realizó un estudio para el gobierno, sobre la expansión de la matriz eléctrica para el horizonte 2015-2050. Los resultados obtenidos, bajo prácticamente todos los escenarios analizados prevén una gran penetración de energía renovable, lográndose una matriz de generación con al menos un 70% de energía renovable al 2050. Este análisis considera principalmente energía solar y eólica, así como también el aporte de la geotermia (Gobierno de Chile, 2015).

3.2. EL SISTEMA ELÉCTRICO EN CHILE

3.2.1. LA APORTACIÓN DE LOS DIVERSOS SISTEMAS, REGIONES Y FUENTES DE ENERGÍA EN LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD

FIG. 3. SISTEMAS ELÉCTRICOS CHILENOS Y SU GENERACIÓN EL AÑO 2017 EN GW

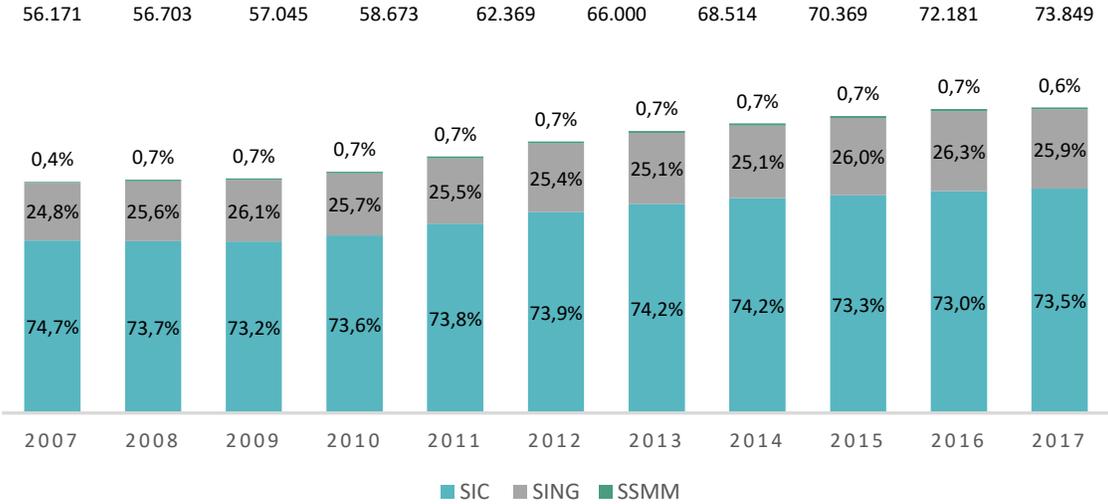


Fuente: Elaboración propia en base a datos de generación de la CNE.

La matriz eléctrica en Chile, como muestra la figura 3, se encuentra compuesta por cuatros sistemas eléctricos, el Sistema Interconectado del Norte Grande (SING), que abarca las tres primeras regiones del país, el Sistema Interconectado Central (SIC), el cual se extiende desde Taltal, al sur de la tercera región, hasta la décima región de Los lagos, y los Sistemas Eléctrico de Aysén (SEA) y Magallanes (SEM), ubicados en el extremo sur del país. Los dos primeros sistemas SING y SIC corresponden a los sistemas más cuantitativamente importantes, aportando alrededor de un 99 % de la energía total generada, y a partir de noviembre del año 2017 han comenzado a operar de forma interconectada.

Respecto a la generación anual de electricidad en la figura 4 podemos apreciar que en el período comprendido entre los años 2007 -2017 pasó de producirse 56.171 GW a 74.260 GW. Este aumento significó un crecimiento de un 32% en la generación anual de energía eléctrica en dicho periodo, durante el cual, a su vez, no ha variado de forma significativa el porcentaje de participación que tiene cada uno de los sistemas eléctricos en la producción nacional de electricidad, manteniéndose este desde el punto de vista territorial, más bien constate.

FIG.4. EVOLUCIÓN DE LA GENERACIÓN ELÉCTRICA BRUTA POR SISTEMA ENTRE LOS AÑOS 2007 Y 2017 EN GW

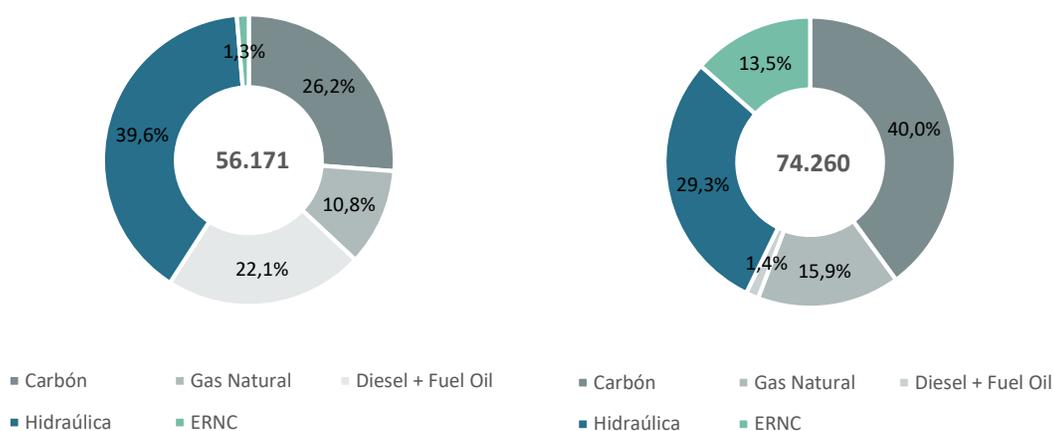


Fuente: COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA. Anuario Estadístico de energía 2016 y 2017

Con el aumento de la generación, las fuentes primarias de energía eléctrica, así como las tecnologías de producción, han experimentado notables cambios en los últimos años. El año 2007 la energía era producida en un 59% por combustibles fósiles, principalmente carbón y diésel, al año 2017 el porcentaje de generación en base a este tipo de combustibles no había variado considerablemente, pero tal y como mencionamos con anterioridad, si lo ha hecho la presencia del carbón, la cual ha aumentado su participación de un 26% a un 40%, mientras el diésel prácticamente ha desaparecido alcanzando el 2017 sólo un 1,4%. Asimismo, la

participación de la energía hidráulica ha ido disminuyendo a diferencia de lo que ha sucedido con las ERNC, las cuales, con aún una baja participación, han aumentado de un 1,3% el 2007 a un 13,5% el 2017.

FIG. 5 GENERACIÓN TOTAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA AÑOS 2007 - 2017 POR TIPO DE TECNOLOGÍA EN GW



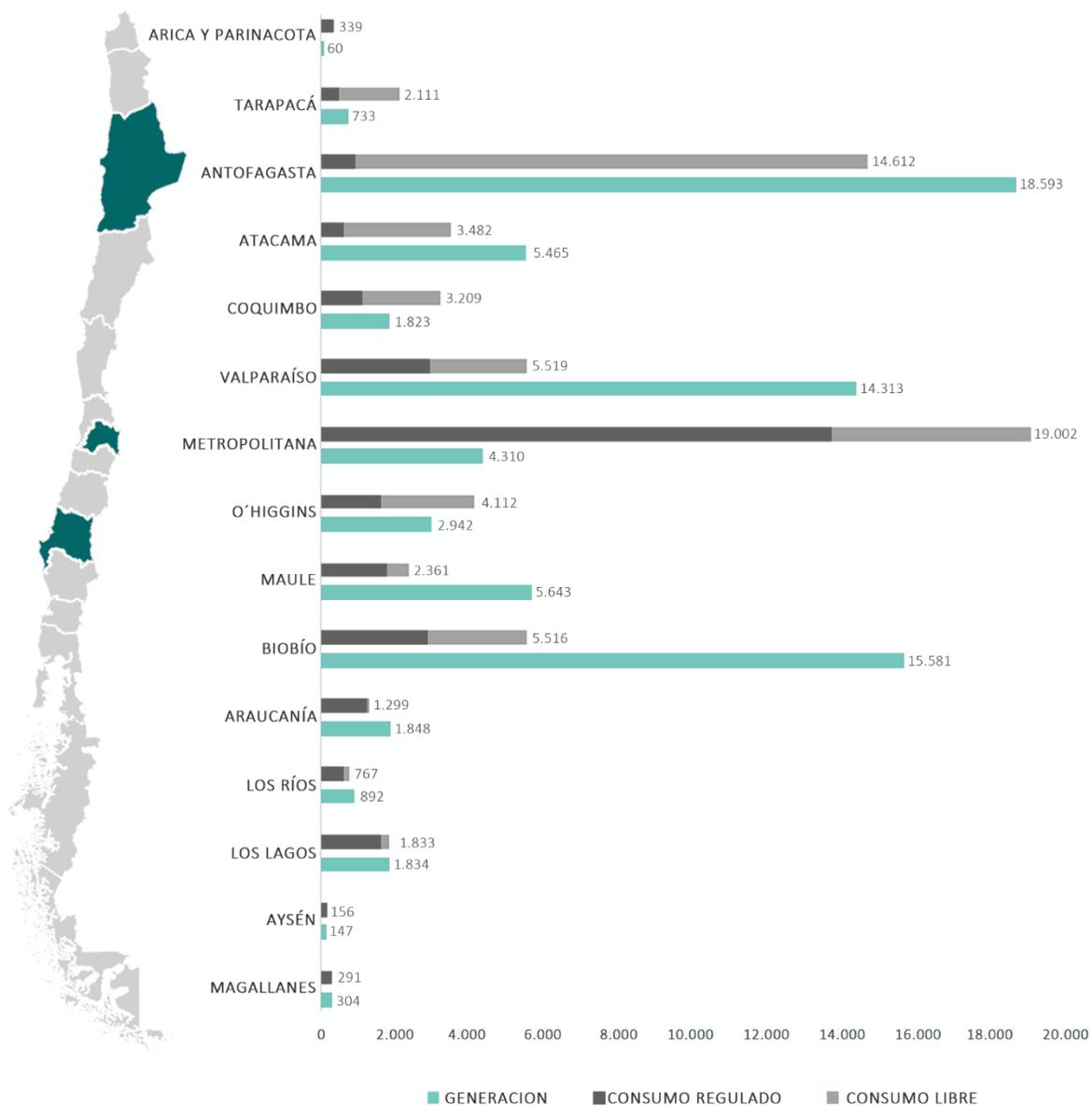
Fuente. Elaboración propia a partir de datos de la CNE

Si analizamos el sistema a nivel regional podemos apreciar en la figura 6, que las regiones que aportaron una mayor producción de energía eléctrica el año 2017 son las regiones de Antofagasta, Valparaíso y del Biobío. Respecto al consumo de electricidad, el cual se compone por clientes regulados⁴ y clientes libres⁵, podemos apreciar en la misma figura, que los ámbitos territoriales que retiran una mayor cantidad de electricidad del sistema corresponden a las regiones de Antofagasta y Metropolitana. Es en base a estos patrones de generación y consumo, además de un criterio respecto a la ubicación geográfica, que se han seleccionada las regiones de Antofagasta, Metropolitana y Biobío para el estudio, y las cuales serán analizadas en mayor profundidad en el siguiente apartado.

⁴ Usuarios finales cuya potencia conectada es inferior o igual a 5.000 kW. Son considerados sectores donde las características del mercado son de monopolio natural y, por lo tanto, la Ley establece que están afectos a regulación de precios.

⁵ Usuarios finales cuya potencia conectada es superior a 5.000 kW. Para ellos la Ley dispone la libertad de precios, suponiéndoles capacidad negociadora y la posibilidad de proveerse de electricidad de otras formas, tales como la autogeneración o el suministro directo desde empresas generadoras.

FIG. 6 GENERACIÓN Y CONSUMO DE ELECTRICIDAD A NIVEL REGIONAL AÑO 2017.



Fuente: Elaboración propia en base a dato de la Comisión Nacional de Energía.

3.2.2. TRES REGIONES CLAVES: ANTOFAGASTA, REGIÓN METROPOLITANA Y DEL BIOBÍO.

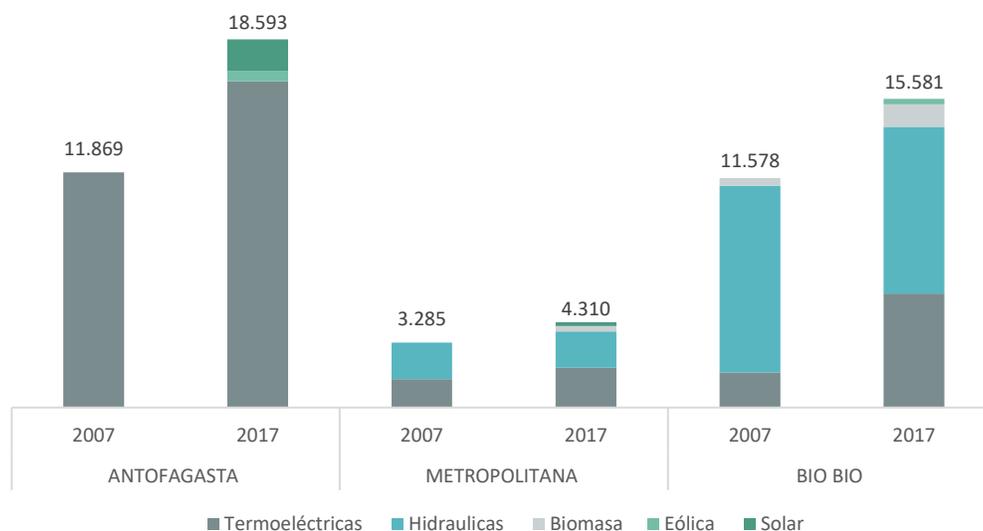
Tal como se mencionó anteriormente Antofagasta es la región que produce la mayor cantidad de energía eléctrica en el país, abasteciendo principalmente al SING, sistema caracterizado por la necesidad de satisfacer la demanda creciente de electricidad proveniente del rubro minero. Si comparamos la generación con el consumo, así, tal como se aprecia en la figura 6, puede decirse que Antofagasta corresponde a una región

“Proveedora” o “Excedentaria⁶” de energía eléctrica, pues si bien el consumo es alto y queda en gran parte dentro de la región, existe un excedente que es desviado hacia otras regiones del SING y a partir de septiembre del 2017 también al SIC.

En el caso de la Región Metropolitana, el consumo de energía eléctrica supera más de 3 veces la generación, por lo que puede ser considerada como una región “Consumidora” o “Deficitaria”. Dicho de otra forma, esta región debe abastecerse de la energía proveniente de otras regiones del país para satisfacer su demanda interna. Su alto consumo se debe principalmente a que este ámbito, que alberga la gran conurbación de Santiago, corresponde a la región más poblada del país, con una población de 7.112.808⁷ habitantes, y un 43,47% de la población total nacional.

Finalmente, la Región del Biobío, es la segunda región que produce más energía eléctrica en el país después de Antofagasta y la primera dentro del SIC. La producción de energía eléctrica, por sobre el consumo, también la convierte en una región “Proveedora” o “Excedentaria” de energía eléctrica, sin embargo, en este caso el consumo interno alcanza sólo un tercio de la generación, por lo que esta región destina principalmente la electricidad a otras regiones. Esta situación es el resultado de los abundantes recursos hídricos que posee la región, los cuales han sido utilizados históricamente en proyectos hidroeléctricos de gran envergadura.

FIG. 7. EVOLUCIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA ENTRE 2007-2017 POR TIPOS DE ENERGÍA EN GW.



Fuente: Elaboración propia en base a datos de la CNE.

⁶ Término utilizado en el portal www.energiaregion.cl para referirse a la región.

⁷ Información correspondiente al último Censo realizado en Chile el año 2017.

Ahora bien, en los últimos años, cada una de estas regiones ha experimentado un aumento de la generación de electricidad, el cual ido de la mano de la diversificación de los tipos de energía y las tecnologías utilizadas para la producción de dicha electricidad.

En Antofagasta, de acuerdo con la figura 7, el aumento de la generación eléctrica en el período 2007 -2017 fue de un 57%, pasando de los 11.869 a los 18.597 GW. El año 2007 la electricidad provino en un 100% de plantas termoeléctricas, situación derivada en parte a los escasos recursos hídricos existentes en la región, los cuales no habrían permitido desarrollar la hidroelectricidad. En tanto, en el año 2017 la electricidad fue producida en un 88,5% por centrales termoeléctricas y el restante 11,5 % fue producto de la entrada de ERNC mediante la construcción de parques solares y eólicos.

En la Región Metropolitana, la generación de energía eléctrica paso de 3.285 GW el 2007 a los 4.310 GW el 2017 aumento correspondiente a un 31%. El año 2007 la energía eléctrica producida provenía en un 56;5% de centrales hidroeléctricas, situación no casual si pensamos que, en esta región, durante los años cuarenta, se construyeron las primeras centrales hidroeléctricas de envergadura. En tanto que el 43,5% restante provino de centrales termoeléctricas, con las cuales se solía complementar la matriz. En el año 2017 en cambio, la energía térmica incrementó levemente la generación de electricidad a un 46%, mientras que la energía hidroeléctrica redujo su participación a un 42%, y se experimentó la entrada de ERNC con un porcentaje de un 10,4% correspondiente a biomasa y parques solares.

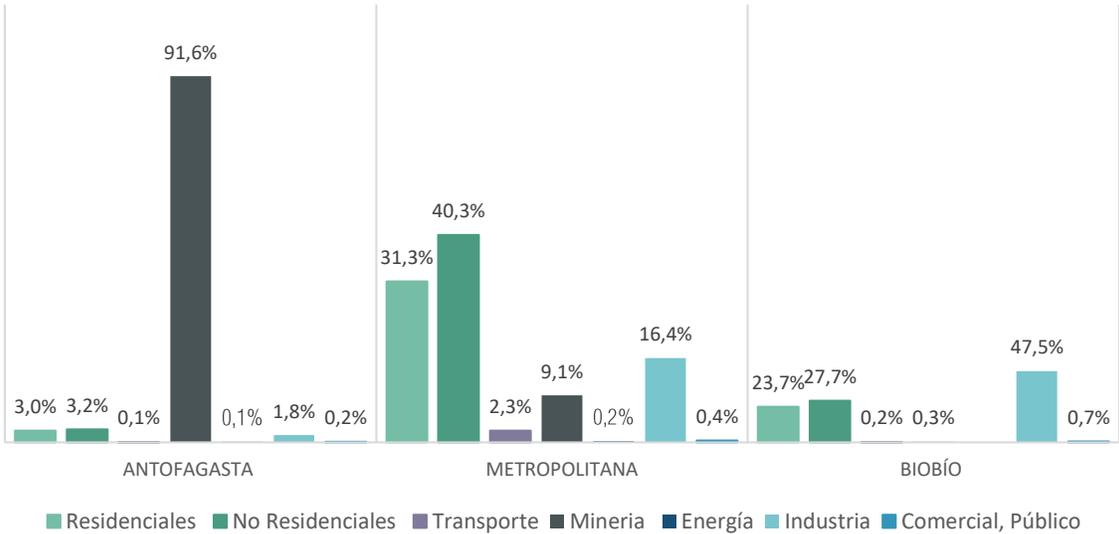
En el caso de la Región del Biobío⁸, el aumento en la generación en el período 2007-2017 fue de un 35% pasando de los 11.578 GW a los 15.581 GW en dicho período. Respectos a los tipos de energía el año 2007 la electricidad fue producida principalmente por energía hidroeléctrica, la cual representó un 81% de la generación total. Cabe mencionar que esta región se ha caracterizado por el gran desarrollo de la energía hidroeléctrica, al contar con abundantes recursos hídricos como es la presencia del río que le da nombre a la región, el cual ha sido “considerado como uno de los ríos con mayor potencial energético a nivel hidroeléctrico” (Toro, 2011). El porcentaje restante de electricidad fue producido en un 15% por energía térmica y en un 3% de biomasa, siendo la única de las tres regiones analizadas que para el 2007 ya había incorporado las ERNC. El año 2017, la producción de la hidroelectricidad disminuyó a un 54% del total, la energía termoeléctrica aumento su participación en un 36% al igual que la biomasa que aumento su producción al 7%. Con un porcentaje muy menor se incorpora la energía eólica con un 1,77% de participación.

En relación con el consumo eléctrico, en la región de Antofagasta, este es propiciado en casi su totalidad por un cliente libre en particular, el de la gran minería (Fig.8), el cual es responsable del 91% del consumo total en

⁸ Cabe mencionar que en septiembre del 2017 fue oficialmente dividida, pasando una parte del territorio a conformar la Región de Ñuble. Esta división no ha sido considerada para este estudio, debido a lo reciente de la conformación de esta nueva región, la cual no se encuentra aún representada en los datos utilizados.

la región, en tanto que la electricidad dirigida al consumo residencial sólo alcanza un 2,97%. En la Región Metropolitana en cambio, los mayores demandantes de electricidad en la región son con clientes regulados los cuales concentran el 71% del consumo, del cual el 31% corresponde a consumo netamente residencial y el 40% a no residencial, es decir comercio, servicios e industrias de pequeña y mediana escala, sumamente necesaria para llevar a cabo las dinámicas de una ciudad con semejante concentración de población. Por último, en la región del Biobío, el consumo se encuentra repartido de forma bastante equitativa entre clientes libres y clientes regulados: mientras los primeros consumen en 48% los segundos consumen el 52% restante. Respecto a los sectores que consumen más electricidad, encontramos que dentro de los clientes libres el principal sector es el industrial con un 42% del total. En relación con los clientes regulados, un 23% de la electricidad consumida en la región es para el sector residencial, y el 27% para el sector no residencial.

FIG. 8 CONSUMO DE ENERGÍA CLIENTES REGULADOS Y CLIENTES LIBRES POR SECTORES, AÑO 2017 EN %.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la CNE. Consumo regulado 2015-2017 y Retiro de energía clientes libres 2010-2017

4. LA HUELLA TERRITORIAL DE LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD EN LAS REGIONES DE ANTOFAGASTA, METROPOLITANA Y DEL BIOBÍO.

Establecido el marco conceptual y definidos los patrones de generación y consumo eléctrico en Chile y de las tres regiones seleccionadas, a continuación, nos adentraremos en el estudio de las superficies de suelo que ha destinado cada una de las regiones a la generación de electricidad en los últimos años. Asimismo, revisaremos la eficiencia territorial de cada uno de los distintos tipos de energía, su huella espacial y los escenarios que se vislumbran para el futuro respecto a una mayor participación de ERNC en la matriz.

4.1. FUENTES DE INFORMACIÓN Y TRATAMIENTO DE LOS DATOS

Para llevar a cabo el estudio, se ha definido un período de diez años que permite comparar el aumento de superficie experimentado por la generación de energía eléctrica en Chile. Este período se ha establecido entre los años 2007, cuando las ERNC comenzaban a implementarse y sólo producían un 1,3% de la generación total nacional, hasta el año 2017, año más reciente para el que es posible disponer de datos, y en el cual las ERNC ya alcanzaban un 13% de participación.

Una vez definido el período de estudio hemos procedido a identificar cada una de las centrales generadoras de energía eléctrica en las regiones seleccionadas. Esta información ha sido obtenida a partir del archivo “Capacidad Instalada de Generación, abril del 2018”, disponible en portal web de la Comisión Nacional de Energía CNE y del cual hemos procedido a seleccionar todas las centrales que habían entrado al sistema a diciembre del 2017, dejando fuera, por tanto, las que entraron en los primeros meses del 2018 y las que figuraban en prueba.

Una vez obtenida esta información hemos determinado las fuentes de información a utilizar para medir la superficie de cada central. Cabe destacar que el acceso a esta información es escaso ya que no se contaba con bases cartográficas que reúnan estos datos, más allá de la indicación de su ubicación. Por tanto, para llevar a cabo esta investigación, ha sido preciso recurrir a distintas fuentes de información las cuales se han complementado en ciertos casos o contrastado en otros. El Portal del Ministerio de Energía IDE (Infraestructura de datos Espaciales) se ha utilizado como base para obtener la ubicación de los proyectos en imágenes satelitales, y los Estudios de Impacto Ambientales han servido para obtener superficies, así como también coordenadas de los polígonos de las superficies.

Una vez obtenida esta información se ha procedido a poligonar todas las instalaciones, operación no por laboriosa menos interesante, puesto que ha permitido crear una base de datos común respecto a las superficies ocupadas por las instalaciones de generación eléctrica, en cada una de las regiones estudiadas.

En el cuadro siguiente se presentan las fuentes de información consultadas y el tratamiento de los datos, de acuerdo con los tipos de energías y sus medios de producción.

CUADRO1. FUENTES DE INFORMACIÓN Y TRATAMIENTO DE LOS DATOS

TIPO DE INSTALACIÓN	FUENTES CONSULTADAS	ORGANISMOS	TRATAMIENTO
Termoeléctricas Tradicionales Ciclo Combinado Cogeneración	<ul style="list-style-type: none"> . Imágenes y mapas satelitales . Foto aérea ciudades Antofagasta . Estudios de Impacto Ambiental . Imágenes satelitales 	<ul style="list-style-type: none"> IDE Energía IDE Chile SEIA Google Earth 	<ul style="list-style-type: none"> . Identificación y ubicación de proyectos en imágenes satelitales. . Digitalización manual y cálculo de superficies en archivo SIG. . Obtención de superficies declaradas en Informes . Obtención de coordenadas de los vértices del terreno y envío a archivo SIG para cálculo de superficie . Polinigonización de terrenos y envío a archivo SIG para el cálculo de superficie.
Hidroeléctricas Embalse	<ul style="list-style-type: none"> . Imágenes y mapas satelitales . Catastro de uso de suelo y vegetacional 	<ul style="list-style-type: none"> IDE Energía IDE Chile 	<ul style="list-style-type: none"> . Identificación y ubicación de proyectos en imágenes satelitales. . Medición de la superficie de los polígonos correspondientes a los embalses en archivo SIG.
Biomasa	<ul style="list-style-type: none"> . Imágenes y mapas satelitales . Estudios de Impacto Ambiental . Imágenes satelitales 	<ul style="list-style-type: none"> IDE Energía SEIA Google Earth 	<ul style="list-style-type: none"> . Identificación y ubicación de proyectos en imágenes satelitales. . Obtención de superficies declaradas en los Informes . Obtención de las coordenadas de los vértices del terreno de las plantas y envío a archivo SIG para el cálculo de superficie. . Polinigonización de los terrenos y envío a archivo SIG para el cálculo de superficie.
Parques Eólicos	<ul style="list-style-type: none"> . Imágenes y mapas satelitales . Estudios de Impacto Ambiental 	<ul style="list-style-type: none"> IDE Energía SEIA 	<ul style="list-style-type: none"> . Identificación y ubicación de proyectos en imágenes satelitales. . Obtención de las coordenadas de los puntos de ubicación de los aerogeneradores y envío a archivo SIG para el cálculo de superficie.

TIPO DE INSTALACIÓN	FUENTES CONSULTADAS	ORGANISMOS	TRATAMIENTO
Parques Eólicos	. Imágenes satelitales	Google Earth	. Identificación y ubicación de proyectos más recientes.
Parques Solares	. Imágenes y mapas satelitales . Estudios de Impacto Ambiental . Imágenes satelitales	IDE Energía SEIA ArcGis Mi mapa	. Identificación y ubicación de proyectos en imágenes satelitales. . Obtención de coordenadas de los vértices del terreno y envío a archivo SIG para cálculo de superficie. . Consulta de imágenes áreas más recientes.

4.2. CRITERIOS PARA LA MEDICIÓN DE SUPERFICIE Y UBICACIÓN DE LAS INSTALACIONES ESTUDIADAS

Para llevar a cabo la medición de superficies se han establecido diversos criterios de acuerdo con el tipo de energía y sus sistemas de producción. En el caso de las termoeléctricas se contabilizó el terreno correspondiente a las diversas instalaciones necesarias para el proceso de generación de electricidad, así como los sitios de acopio de material contiguo a las plantas como es el caso de las canchas de carbón. En el caso de las centrales que se ubican dentro de terrenos que esperan albergar futuras etapas se contabilizó solo el área que se encuentra actualmente en operación.

Respecto a las hidroeléctricas las superficies calculadas corresponden a las centrales que conllevan depósitos de agua, como es el caso de los embalses, las hidroeléctricas de pasada y minihidros no fueron consideradas debido a que las superficies de suelo utilizadas son relativamente bajas, ya que su mayor impacto corresponde más bien al desvío de caudales a nivel subterráneo.

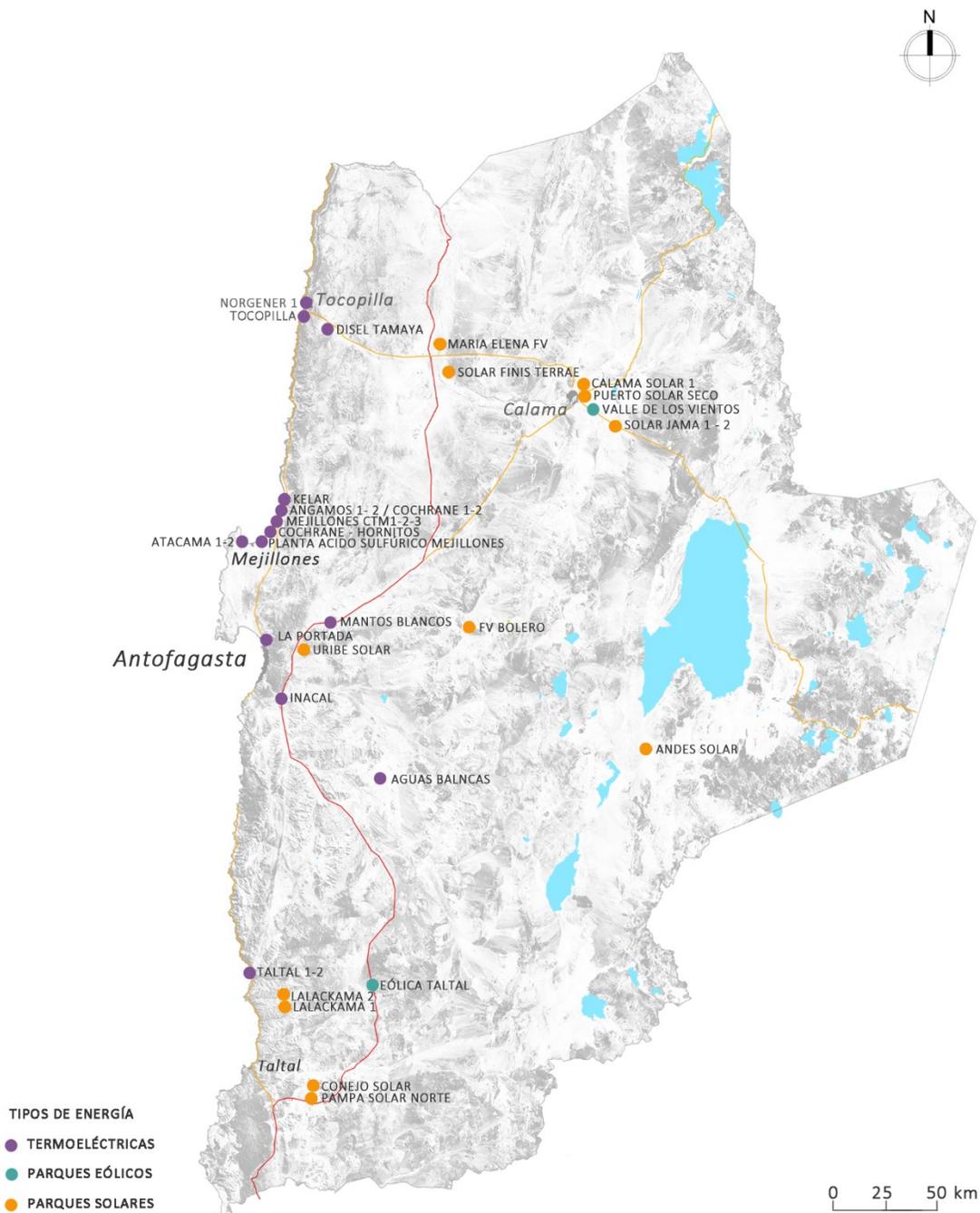
En el caso de la biomasa se contabilizaron sólo las superficies correspondientes a las instalaciones de generación de electricidad, ya que la totalidad de los casos estudiados corresponden a centrales que utilizan los gases provenientes de los depósitos de basura, como es en el caso de la región Metropolitana, así como los desechos provenientes de las forestales y plantas de celulosas en el caso de las Región del Biobío.

Para la medición de la superficie de los parques eólicos se utilizó la metodología descrita en López (2017), la cual delimita un radio de 150 metros en torno a cada aerogenerador, los cuales corresponden a la altura máxima de las torres de los grandes generadores modernos, 100 metros, más la mitad del diámetro de los rotores, de 90 metros, más 5 metros.

Por último, en el caso de la energía solar se contabilizaron sólo las superficies correspondientes a los parques fotovoltaicos, sin considerar las plantas ubicadas en techos, ya que estas no añadirían superficie artificializada, puesto que se ubican sobre un suelo ya utilizado por otro uso.

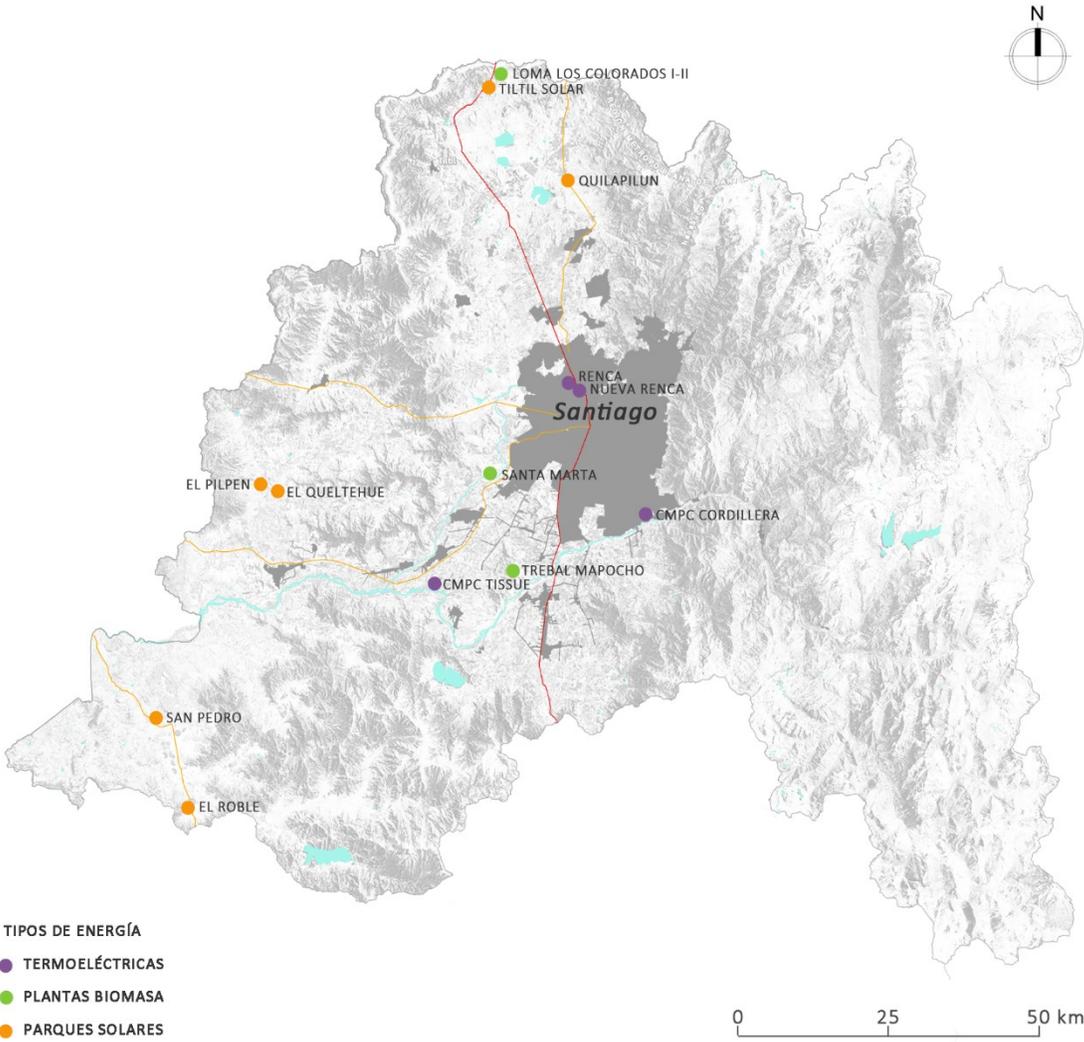
En los siguientes mapas (figuras 9,10,11) puede observarse la localización de las plantas e instalaciones de generación eléctrica estudiadas en las tres regiones de referencia.

FIG. 9. REGIÓN DE ANTOFAGASTA



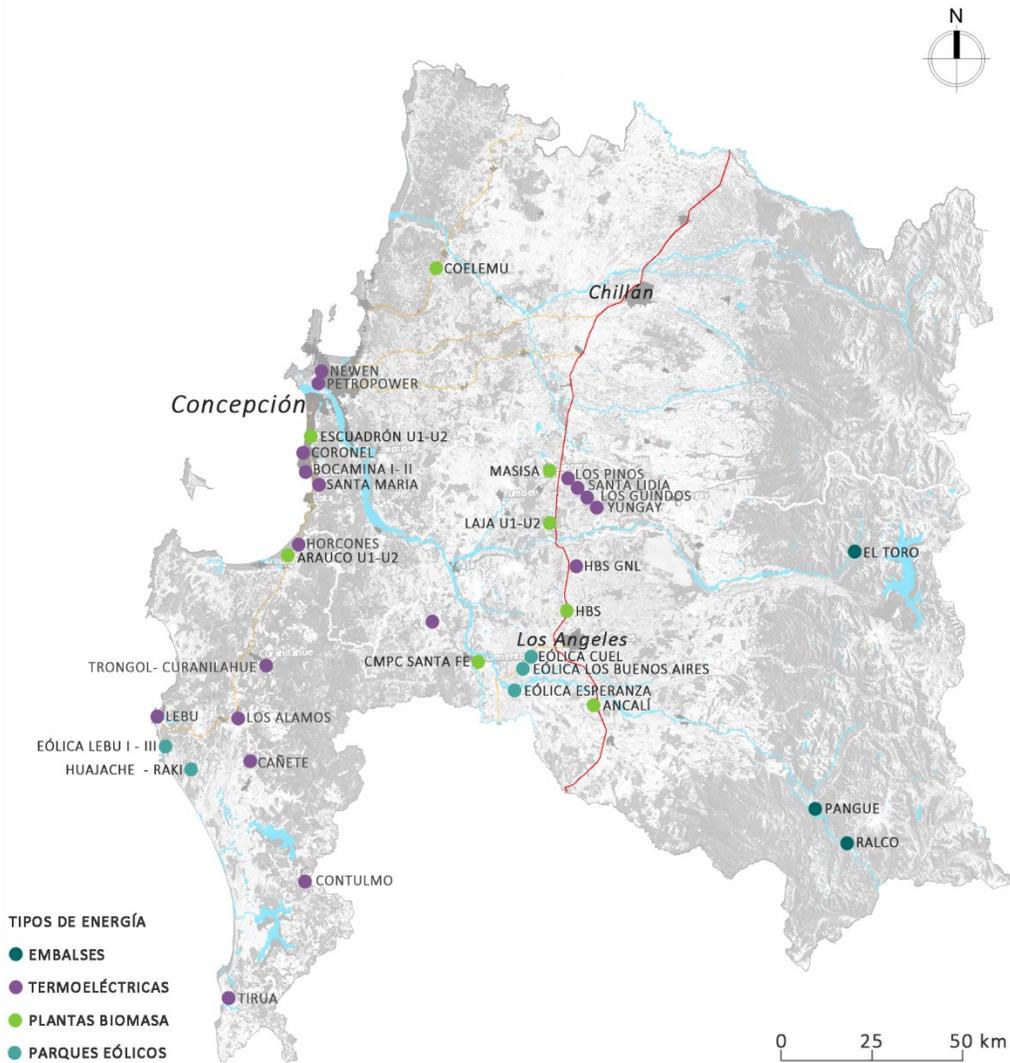
Fuente: Elaboración propia en base a datos obtenidos en IDE Energía Chile.

FIG. 10 REGIÓN METROPOLITANA



Fuente: Elaboración propia en base a datos obtenidos en IDE Energía Chile.

FIG. 11. REGIÓN DEL BIOBÍO



Fuente: Elaboración propia en base a datos obtenidos en IDE Energía Chile.

4.3. EL AUMENTO DE SUPERFICIE DE LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL PERÍODO 2007-2017.

En el presente apartado se exponen los resultados obtenidos al cuantificar la superficie de suelo utilizada el año 2007 para la generación de energía eléctrica, la cual es contrastada con los resultados de superficie utilizados para el mismo fin el año 2017, en las tres regiones analizadas.

En la figura 12 pueden observarse las superficies utilizadas en cada una de las regiones estudiadas por tipos de energía⁹. Como se puede apreciar las regiones de Antofagasta y Metropolitana destinaban a la generación de electricidad superficies notoriamente menores que la región del Biobío el año 2007. Mientras que la región de Antofagasta destinaba un total de 78,75 hectáreas para la generación de electricidad, la región Metropolitana destinaba sólo 6,04 hectáreas (cabe destacar que esta región posee varias centrales hidroeléctricas de pasada las cuales no fueron consideradas en este estudio). A su vez es posible apreciar que la totalidad de superficies utilizadas en estas regiones para la generación de electricidad ese mismo año corresponden únicamente a centrales termoeléctricas.

Ahora bien, tal como fue ya mencionado, la región que en el año 2007 destinaba la mayor superficie para la generación eléctrica era la del Biobío, con una superficie de 12.992 hectáreas, 165 veces más que la región de Antofagasta y 2.152 veces más que la región Metropolitana. El 99,87% de esta superficie corresponde a tres hidroeléctricas (El Toro, Ralco y Pangüe) con un total 12.974 hectáreas. Esta situación no es casual si consideramos el desarrollo que históricamente ha tenido la energía hidroeléctrica en el país, y por ser Biobío una de las regiones con mayor potencial hidroeléctrico. Las energías que ocupan el 0,13% de superficie restante, corresponden a energía térmica con 12,22 hectáreas y la biomasa con 4,48 hectáreas. Cabe destacar que la región de Biobío, a su vez, es la única región que incorporaba ERNC ya al año 2007.

Respecto al aumento de superficie entre los años 2007 y 2017, puede observarse que las regiones que experimentaron un mayor aumento de superficie fueron las de Antofagasta y Metropolitana. La primera pasó de las 78,75 a 2.936,23 hectáreas, un aumento extraordinario de un 3.628 %, es decir, algo más de 36 veces la superficie ocupada el 2007 para la generación eléctrica. En tanto la región Metropolitana, pasó de las 6,04 a 321,13 hectáreas, con un aumento de un 5.216%, es decir, algo más de 52 veces la superficie destinada para este mismo concepto el año 2007. La región del Biobío en cambio aumentó sólo un 3,88%, pasando de las 12.992 hectáreas a las 13.496 hectáreas. Si bien este aumento es mínimo en términos relativos, las 504 hectáreas son muy importantes en términos absolutos, más si consideramos que este aumento es muy superior al de la región Metropolitana. Ello se explica por el hecho que como hemos visto esta región era la que en 2007 dedicaba una superficie mayor a la producción eléctrica. Por otra parte, la del Biobío sigue siendo la región que más superficie destina a la a la generación eléctrica de las tres regiones analizadas.

⁹ El detalle de superficies por centrales es posible encontrarlo en los Anexos.

FIG. 12. EVOLUCIÓN DE LA SUPERFICIE EN HECTÁREAS UTILIZADA PARA LA GENERACIÓN ELÉCTRICA POR REGIONES



Para visualizar lo que implica la superficie de suelo ocupada para la generación de electricidad en las tres regiones al año 2017, debe tenerse en cuenta que los algo más de 167 km² que las tres regiones destinan a la producción eléctrica, suponen una superficie muy considerable, superior a ciudades como París (105,4 Km²) o Barcelona (101,9 km²). A su vez podemos mencionar que la superficie utilizada por la región de Antofagasta (29,36 km²) para la generación de electricidad corresponde a un 4,5% de la superficie de la ciudad de Santiago (641,5 km²) y un 26,96% de la ciudad de Barcelona. En el caso de la Región Metropolitana la superficie utilizada (3,21 km²), corresponden a 0,51% de la superficie de Santiago y a un 3,16% de la superficie de Barcelona. En tanto la superficie para la generación de electricidad en la región del Biobío (133,83 km²) corresponde a un 20,25% de la superficie de Santiago y un 128,18% la ciudad de Barcelona, es decir, esta ciudad completa y un cuarto más

En relación con los tipos de energía, podemos apreciar en la figura 12, que en las tres regiones aumentó la superficie correspondiente a energía térmica, sin embargo, los mayores aumentos de superficie fueron resultado de la incorporación de ERNC. La energía solar fotovoltaica experimentó los mayores aumentos de superficie en la región de Antofagasta y Metropolitana. Mientras que en la región de Antofagasta lo hizo con un aumento de 2.214 ha, posicionándose como la energía que ocupa el mayor porcentaje de superficie en la región, con un 75% del total de suelo ocupado, en la región Metropolitana el aumento de superficie fue de 255,28 ha, posicionándose este tipo de energía al igual que en Antofagasta como la energía que utiliza el mayor porcentaje de superficie en la región con un 79,5 % del total del suelo ocupado el 2017.

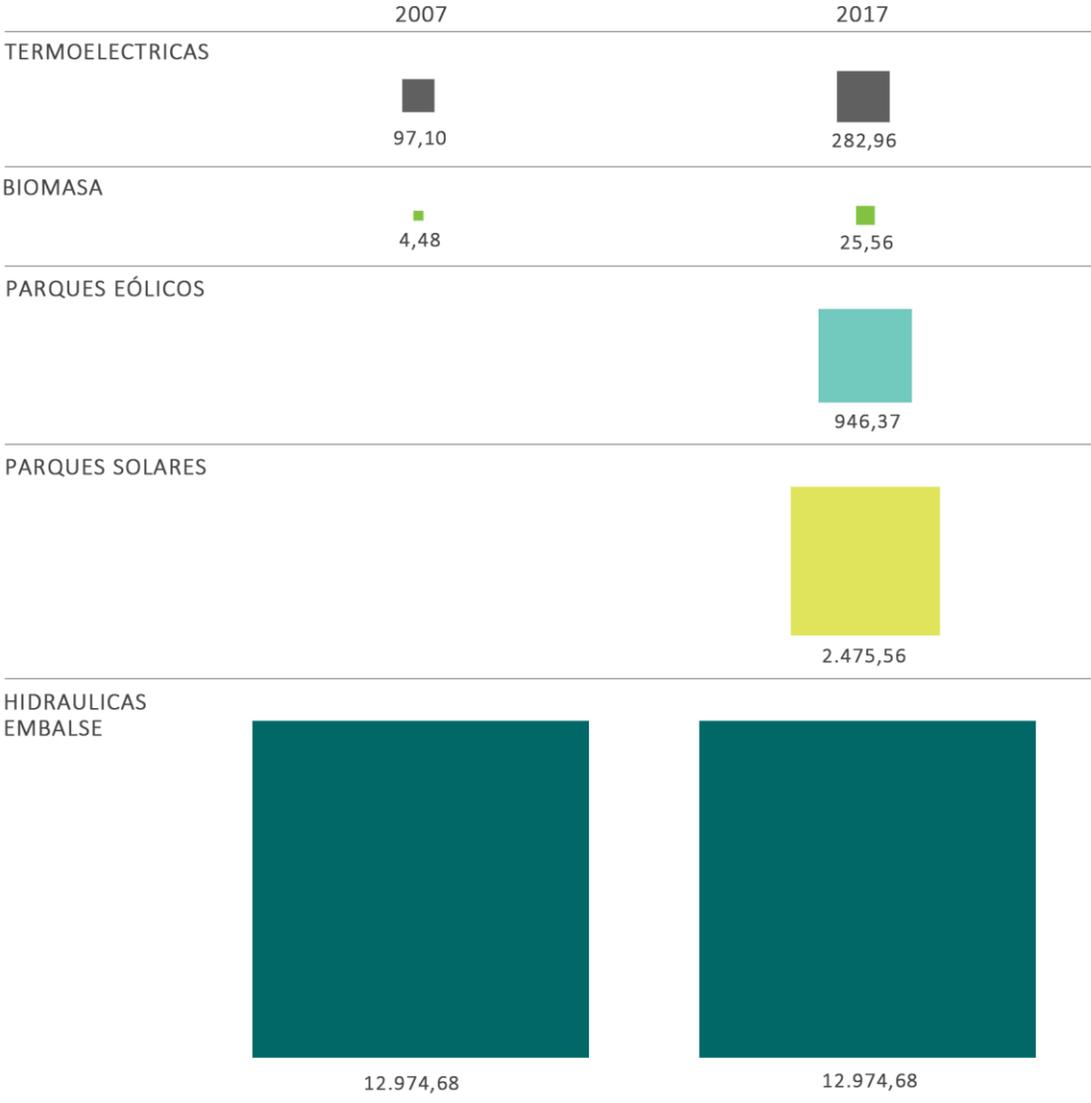
La energía eólica se incorporó asimismo en la región de Antofagasta y del Biobío; en la primera región mencionada aumentó la superficie en 537 ha, correspondiente a un 18% del total del suelo ocupado en la región el 2017; por su parte en la región del Biobío, la energía eólica aumentó la superficie en 409,62 hectáreas, siendo el tipo de energía que generó el mayor aumento de superficie en dicho período, con el 82% del total del aumento de superficie. Sin embargo, la energía eólica sólo representa el 3,04% de la superficie ocupada el 2017 en esta región, ya que siguen siendo los embalses los que utilizan la mayor superficie de suelo en la región con un 96% del total el año 2017. En tanto, la Biomasa en dicho período se incorporó a la región Metropolitana y aumentó la superficie en la región del Biobío, sin embargo, los porcentajes de participación de esta energía se encuentra muy por debajo de las energía eólica y solar.

Establecidos los patrones territoriales del crecimiento podemos evaluar lo que ha significado el incremento total de cada uno de los distintos tipos de energía en el período 2007-2017. Así tal como se puede apreciar en la figura 13, mientras la energía térmica y la biomasa aumentaron su superficie, la incorporación de la energía eólica y solar supuso requerimientos de suelo por encima de las dos primeras mencionadas. Sin embargo, sigue siendo la energía hidráulica de embalse el tipo de energía que utiliza la mayor cantidad de suelo para la generación de electricidad en las tres regiones analizadas.

Si consideramos la cantidad de proyectos que estas superficies representan el año 2017, termoeléctricas (38 proyectos), biomasa (11 proyectos), eólicas (7 proyectos), solares (17 proyectos) e hidráulica de embalse (3

proyectos), y realizamos un simple ejercicio de dividirlos por la superficie total correspondiente a cada tipo de energía ese mismo año, resulta que en promedio las centrales termoeléctricas utilizan 7,44 hectáreas por unidad, las centrales de biomasa 2,32 hectáreas, las eólicas 135,19 hectáreas, las solares 145,62 hectáreas y las hidráulicas de embalse 4.325,89 hectáreas. Estos números son relevantes en la medida que logran representar la envergadura que alcanzan los proyectos correspondientes a cada tipo de energía. Estos datos nos permiten aproximarnos al impacto que suponen los distintos tipos de energía en materia de ocupación de suelo en los diversos territorios y sus comunidades y acercarnos a la relevancia de su eficiencia energética en términos de ocupación de suelo.

FIG. 13. EVOLUCIÓN DE LA SUPERFICIE UTILIZADA PARA LA GENERACIÓN ELÉCTRICA POR TIPOS DE ENERGÍA 2007 – 2017.

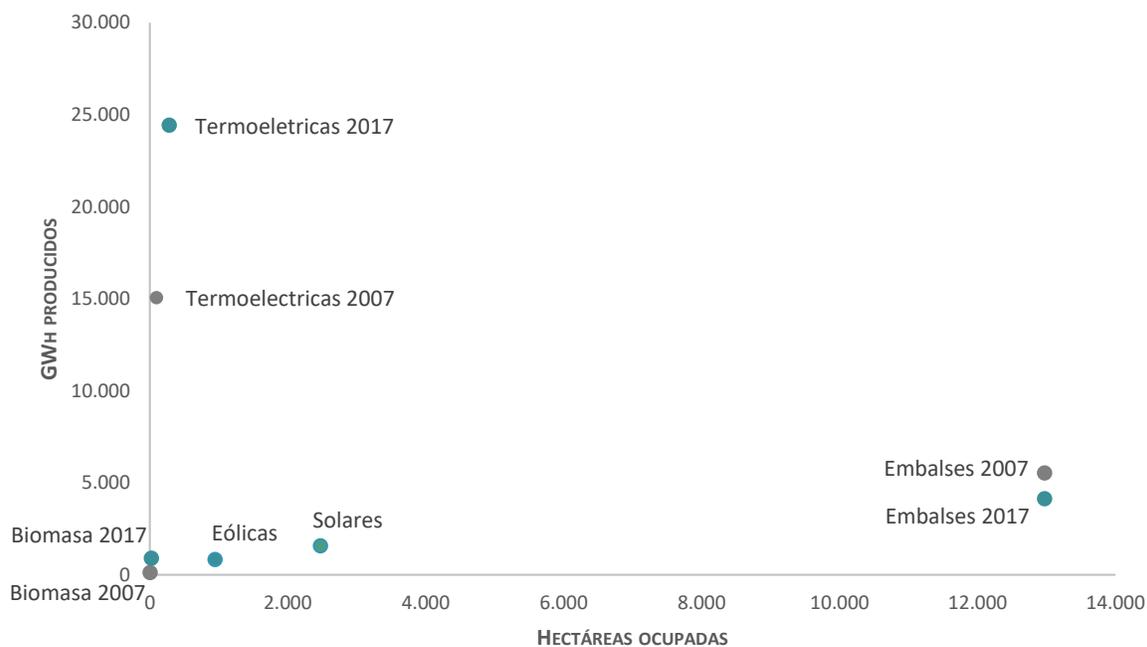


4.4. EFICIENCIA TERRITORIAL: SUPERFICIES V/S PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Como hemos visto en el apartado anterior, las superficies utilizadas en cada región difieren de forma considerable de acuerdo con el tipo de energía a partir de la cual se produce la electricidad. Poniendo en relación la superficie ocupada y la energía eléctrica producida podemos definir la eficiencia de la generación de electricidad en términos de ocupación de suelo. En la figura 14 se observa la eficiencia de cada uno de los distintos tipos de energía los años 2007 y 2017. Como es posible apreciar, las centrales termoeléctricas son las que alcanzaron la mayor producción de electricidad los años 2007 y 2017, a su vez lo hicieron con bajos requerimientos de suelo. La biomasa, al igual que las termoeléctricas, presenta bajos requerimientos de suelo, sin embargo, la contribución a la producción de electricidad es notoriamente más baja que la de las termoeléctricas. En tanto, la hidráulica de embalse posee los más altos requerimientos de suelo, sin embargo, su contribución a la producción de electricidad se encuentra muy por debajo de la producción de las termoeléctricas. Cabe destacar a su vez, que la producción de electricidad el año 2017 de los embalses, se encuentra por debajo de la producción del año 2007 a pesar de que los requerimientos de suelo no variaron. Esta situación no es casual si consideramos las sequías que se han sucedido en el país.

Ahora bien, el año 2017 se aprecia la incorporación de la energía solar y eólica, las cuales han comportado altos requerimiento de suelo, no similares a los de la de los embalses, pero muy por encima de las termoeléctricas, sin embargo, comportan una contribución relativamente baja en la producción de electricidad.

FIG.14. PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN GWH Y HECTÁREAS OCUPADAS, POR TIPOS DE GENERACIÓN AÑO 2007 Y 2017



Fuente: Elaboración propia a partir de fuentes citadas con anterioridad.

4.5. LA HUELLA ESPACIAL DE LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR TIPOS DE ENERGÍA

De acuerdo con la información de superficie y producción de energía eléctrica correspondientes al año 2017, es posible determinar la huella espacial de cada uno de los tipos de energía, es decir, la superficie necesaria para la producción de 1GWh en un año. Los resultados de este ejercicio pueden observarse en el cuadro 2, aquí se aprecia que las energías que provienen de combustibles fósiles, como es el caso de las termoeléctricas, son las que requieren menor superficie de suelo, con un promedio de 115 m² para la producción de un GWh anual. La biomasa en tanto requiere de superficies que pese a doblar la de las termoeléctrica en la producción de un GWh anual, sigue siendo muy reducida: con un promedio de 226 m² por cada GWh anual. Esta situación, en el caso de la biomasa, difiere de diversos estudios que sitúan a esta fuente como uno de los tipos de energía que requiere de mayor cantidad de suelo, con una producción de electricidad relativamente baja. Esto se debe a que la totalidad de las plantas de biomasa existentes en las tres regiones estudiadas no poseen cultivos asociados, ya que el combustible utilizado se genera a partir de desechos y residuos, lo que permite disminuir considerablemente su huella espacial.

En el otro extremo, en los casos de la energía solar y eólica podemos apreciar que requieren superficie de suelo para la generación de un GWh anual que superan la hectárea. En tanto los requerimientos de suelo serían algo menor en el caso de las eólicas con un promedio de 11.630 m², la energía solar requeriría de 13.304 m² por cada GWh anual. Finalmente, la energía hidráulica de embalse es la energía que requiere las mayores afectaciones de suelo para la producción de un GWh anual, estos ascienden en promedio a los 28.900 m², superficie que más que dobla los requerimientos de suelo ya elevados que poseen la energía solar y eólica.

CUADRO 2. SUPERFICIE REQUERIDA PARA LA PRODUCCIÓN ANUAL DE 1GWH POR TIPOS DE ENERGÍA.

	TIPOLOGÍAS DE ENERGÍA	HECTÁREAS OCUPADAS	GENERACIÓN GWH 2017	HA / GWH	M2 / GWH
CONVENCIONALES	Termoeléctricas	282,14	24.417	0,011	115
	Hidráulica de Embalse	12.874,98	4.455	2,890	28.900
ERNC	Biomasa	19,54	863	0,022	226
	Parques eólicos	946,72	814	1,163	11.630
	Parques solares	2090,18	1.571	1,330	13.304

* En el caso de las hidroeléctrica de embalse, se utilizó la generación promedio de los años 2014 al 2017, debido a la variabilidad climática que suele afectar a estas centrales.

4.6. LAS PROYECCIONES AL 2035

Los resultados presentados en el apartado anterior resultan a nuestro entender, muy relevantes para evaluar en, términos espaciales, la eficiencia de los distintos sistemas de generación eléctrica. A partir de estos resultados podemos evaluar los requerimientos de suelo necesarios en el futuro. Para ello deben considerarse en primer lugar, que las previsiones efectuadas en el marco de la Política Energética Nacional, Energía 2050, para el año 2035 en las regiones aquí estudiadas, las ERNC pueden llegar a constituir un 40% de la generación del país, y si consideramos el conjunto de las energías renovables, esa participación podría situarse en torno al 60%.

Para llevar a cabo una proyección tomaremos los datos correspondientes al informe “Propuesta de expansión de transmisión 2018¹⁰” realizado por el Coordinador Eléctrico Nacional¹¹ en el cual encontramos una proyección para el período 2017 – 2037. De acuerdo con dicho informe la generación de cada una de las tres regiones debería ser la siguientes: de 24.756 GW en el caso de Antofagasta, de 34.463 GW en el caso de la Región Metropolitana y 8.649 GW en el caso de las Región del Biobío.

Asimismo para efectuar las proyecciones asumiremos dos supuestos básicos: no tendremos en cuenta, por imponderable, los cambios tecnológicos que pueden alterar el rendimiento de las diversas fuentes de energía; por otra parte, asumimos que los incrementos de superficie necesario para el suministro de cada región deben tener lugar dentro de su propio territorio, de acuerdo como la premisa de la transición energética, la cual precisa acercar los centro de producción de la electricidad a los de su consumo final.

CUADRO 3. GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA AÑO 2035 EN GW.

REGIÓN	GENERACIÓN ANUAL	40% ERNC	60% ENERGÍA RENOVABLE
ANTOFAGASTA	24.756	9.902	14.853
METROPOLITANA	34.463	13.785	20.678
BIOBÍO	8.649	3.460	5.189

¹⁰ Los datos de la proyección de demanda de energía eléctrica también pueden se encuentran disponible en la página <https://www.coordinador.cl/sistema-informacion-publica/portal-de-desarrollo/planificacion-de-la-transmision/demanda-proyectada/>

¹¹ El Coordinador Eléctrico Nacional es un organismo técnico e independiente, encargado de la coordinación de la operación del conjunto de instalaciones del Sistema Eléctrico Nacional.

CUADRO 4. GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA AÑO 2017 EN GW.

REGIÓN	GENERACIÓN ANUAL	ERNC	ENERGÍA RENOVABLE
ANTOFAGASTA	18.593	2.132	2132
METROPOLITANA	4310	844	2.299
BIOBÍO	15.581	1568	9.826

De acuerdo con estos supuestos, la Región de Antofagasta debería contar con 9.902 GW provenientes de ERNC y 14.874 GW provenientes de energías renovables. Si descontamos los GW ya producidos por ERNC el 2017 (2.131 GW), en 2035 se debiesen contar con 7.700 GW adicionales de ERNC en el escenario del 40%, y como la región no posee grandes recursos hídricos, en el escenario del 60% se deberían contar de hecho, con 12.721 GW provenientes de ERNC. Si conservamos los porcentajes de participación del año 2017 de la energía solar (75%) y eólica (25%) y los multiplicamos por sus respectivas huellas espaciales, para el escenario del 40% de ERNC se deberían contar con: 7.680 hectáreas adicionales para energía solar y 2.238 hectáreas de energía eólica, es decir un total de 9.918 hectáreas (99,18 km²). En el escenario del 60% se deberían contar con: 14.836 hectáreas para energía solar y 4.324 hectáreas para energía eólica, un total de 19.160 hectáreas (191,6 km²).

En el caso de la región Metropolitana, si consideramos que la generación de electricidad el 2017 estuvo muy por debajo del consumo, cubrir los escenarios antes expuestos requeriría una superficie aún mayor. En el escenario de 40% de ERNC se necesitaría cubrir la generación de 12.941 GW. En esta región actualmente se desarrollan dos tipos de ERNC, la solar y la biomasa, la energía eólica en tanto no presenta potencialidades en la región para ser desarrollada de acuerdo a la información expuesta en el IDE Energía (Infraestructura de datos espaciales del Ministerio de Energía). El caso de la biomasa, debido a que esta se desarrolla por medio de desechos, comporta la inviabilidad de implementar proyectos a gran escala. Por tanto, sólo considerando la energía solar fotovoltaica, cubrir esta generación implicará un aumento de 17.224 hectáreas (172,4 km²). En el escenario del 60%, en tanto, se deberían cubrirse 18.379 GW, si bien, en este caso se pueden incluir proyectos hidroeléctricos, lo cierto es que estos han tenido una fuerte oposición de la ciudadanía debido a que el Río Maipo, una de las principales fuentes hídricas de la región, ya posee una gran cantidad de estos proyectos. Ahora bien, si este crecimiento se realizara con plantas solares implicaría una superficie de suelo de 24.444 hectáreas.

Por último, en el caso de la Región del Biobío, la generación al 2035 debería alcanzar los 8.646 GW. Sin embargo, si revisamos los datos de generación del 2017, podemos observar que la producción de electricidad actualmente es mayor a lo que se proyecta al 2035. No obstante, si consideramos, el escenario del 40% de ERNC al 2035 se necesitan 1.892 GW adicionales provenientes de ERNC, que en el caso de completarse con

parques eólicos deberían sumar 2.200 nuevas hectáreas. En el caso del escenario del 60% correspondiente a Energías Renovables, las cuales consideran las hidroeléctricas de embalse, la cuota ya se encontraría cubierta teniendo en cuenta que bajo el escenario se necesitarían 5.189 GW, y en el 2017 de produjeron 9.286 GW con esas energías.

CUADRO 5. HECTÁREAS NECESARIAS PARA EL AUMENTO DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD AL 2035 DE ACUERDO CON EL TIPO DE ENERGÍA, EN EL ESCENARIO DE UN 40% DE ERNC Y 60% DE ENERGÍAS RENOVABLES.

REGIÓN	ESCENARIO 40%			ESCENARIO 60%		
	SOLAR	EÓLICA	TOTAL	SOLAR	EÓLICA	TOTAL
ANTOFAGASTA	7.680	2.238	9.918	14.836	4.324	19.160
METROPOLITANA	17.224	0	17.224	24.444	0	24.444
BIOBÍO	0	2.200	2.200	0	0	0
TOTAL			29.342			43.604

Como puede verse, los requerimientos totales de suelo que la transición energética requerirá son de una extraordinaria magnitud, que oscila entre los casi 99 km² en el supuesto mínimo para la región de Antofagasta y los más de 400 km² en el supuesto máximo de todas las regiones, es decir, unas superficies equivalentes entre 1 y 4 veces las ciudades de París o Barcelona. En todo caso los incrementos de superficie previstas comportarían la necesidad de doblar como mínimo la afectación actual de suelo para la generación de electricidad.

5. CONCLUSIONES

A lo largo de este estudio hemos intentado visibilizar las superficies de suelo que han sido utilizadas para la generación de energía eléctrica, en tres regiones de Chile: Antofagasta, Metropolitana y del Biobío, así como las superficies de suelo que conllevará a futuro una mayor expansión de las ERNC.

Como hemos podido apreciar, las superficies utilizadas para la generación de energía eléctrica por las tres regiones corresponden a superficies en ningún caso despreciable. En el año 2007 las superficies utilizadas correspondían apoco más de 136 km², en tanto, el aumento en la generación de electricidad experimentada en el período 2007-2017, expandió las superficies de suelo para la generación de energía eléctrica en un 20% alcanzando poco más de los 167 km² al final de este período. Estas superficies, como ya lo hemos mencionado, comportan un tamaño mayor que las superficies de los términos administrativos de ciudades como París (105,4 Km²) y Barcelona (101,9 km²).

Esta superficie, no se distribuye de forma uniforme entre las tres regiones, sino que existen diferencias considerables. En este sentido hemos podido apreciar que la región que destina una mayor superficie de suelo para la generación de energía corresponde a la región del Biobío, la cual acumulaba el 99,35% de la superficie total calculada para las tres regiones el año 2007, y el 80,79% de la superficie de suelo del 2017. La disminución del porcentaje experimentado en el período 2007-2017 se debe principalmente a que las regiones de Antofagasta y Metropolitana experimentaron en ese mismo periodo un incremento en la superficie de suelo correspondiente a un 3.628%, y un 5.216% respectivamente. Si bien este incremento es significativo para cada una de las regiones ya que más que duplicaron la superficie de suelo utilizadas, estas continúan siendo bajas respecto al total.

En términos de eficiencia, los distintos tipos de energía también presentan diferencias significativas, por lo que al volumen de electricidad generado y la superficie de suelo utilizado respecta. La relación entre estas dos variables es la que nos permite estimar la huella espacial, es decir las superficies de suelo que serían necesarias por cada uno de los distintos tipos de energía para la generación de una misma unidad de electricidad. En este sentido las hidroeléctricas de embalse son las fuentes de energía que requieren de mayores superficies de suelo para la generación de una unidad de energía eléctrica (28.900 m²/GWh), por ello no es casual que la región del Biobío, la cual posee abundantes recursos hídricos y los cuales han sido fundamentales para el desarrollo de la matriz eléctrica del país, deba destinar las mayores superficies de suelo para la generación de energía eléctrica.

Situación diametralmente distinta es la de la región de Antofagasta. Esta posee la mayor producción de energía eléctrica a nivel nacional, seguida por la región del Biobío, sin embargo, en materia de superficie de suelo, las hectáreas destinadas a la generación de energía eléctrica son considerablemente menores. Esto se debe a que esta región, al contar con escasos recursos hídricos, ha desarrollado principalmente las energías en base a combustibles fósiles, las cuales implican bajos requerimientos de suelo, con una alta eficiencia territorial en la producción de electricidad (115 m² /GWh). Cabe señalar que este estudio no contabilizó los

requerimientos de tierra correspondientes al ciclo de vida completo de este tipo de energías, así como a sus impactos indirectos, escenario que incrementaría de forma considerable las superficies de suelo utilizadas disminuyendo de tal forma su eficiencia.

Ahora bien, la transición energética hacia un modelo más sostenible, que ha comenzado a experimentarse en el país de la mano de las ERNC como son la biomasa, la solar fotovoltaica y la eólica, puede alterar de forma sustantiva este cuadro. Si bien la Biomasa ha experimentado un aumento de la generación y superficies en el período 2007 - 2017, su desarrollo ha sido a menor escala debido a desarrollarse en base a residuos y desechos, por lo que aún mantiene un bajo porcentaje de participación en la matriz eléctrica. En tanto, la energía solar fotovoltaica y la energía eólica son las que han liderado el proceso de transición. Con requerimientos de suelo muy por debajo de las hidroeléctricas de embalse, pero no por ello menos relevantes, la energía solar fotovoltaica y eólica precisan de considerables superficies de suelo en relación con su producción de energía eléctrica: 13.304 m²/GWh y 11.603m²/GWh respectivamente. Su implementación en los últimos años las hace responsables en buena medida de los significativos aumentos de superficies experimentado en la región de Antofagasta y Metropolitana. En el caso de la región del Biobío, si bien en términos de porcentaje la implementación de la energía eólica es de sólo un 3,04% en el período 2007-2017, en términos absolutos las más de 400 hectáreas que se han incrementado son una extensión mayor que la superficie que destina la región Metropolitana para la generación de electricidad el año 2017.

Asimismo, si tenemos en cuenta las proyecciones al 2035, de acuerdo con los escenarios del 40% de ERNC y 60% de energías renovables las superficies de suelo necesarias para la generación de electricidad continuarán expandiéndose, alcanzando magnitudes de aproximadamente 191 km² en la región de Antofagasta o de 244 km² en la región Metropolitana. Las enormes superficies que comporta por tanto la transición supondrán sin lugar a duda, un gran desafío en materia de gestión y planificación del suelo. Más aún si tenemos en cuenta, que el cambio del modelo energético no sólo debe suponer el reemplazo de las fuentes primarias de energía, sino un cambio completo del modelo, diversificando la matriz, incorporando a su vez otras ERNC, aprovechando al máximo las condiciones geográficas y recursos que el país posee para la generación de energía eléctrica. En este sentido, si bien, en Chile ya se ha comenzado a desarrollar la energía geotérmica, se precisan de mayores esfuerzos que permitan desarrollar nuevas tecnologías, así como mejorar las existentes, con el fin de obtener mejores rendimientos de la energía solar y eólica, así como poder implementar la energía mareomotriz.

Ahora bien, para lograr esta diversidad, será también necesario descentralizar los proyectos, y pensar en iniciativas más pequeñas que permitan acercar la generación de electricidad a los centros de consumo, disminuyendo de esta forma los costos de transporte de la energía y sus pérdidas. Esto conferirá mayor seguridad al sistema (al no depender de grandes proyectos) así como distribuir de forma más equitativa las plantas de generación sobre el territorio y con ello sus impactos.

Repensar el modelo para utilizar de forma eficiente el suelo podría permitir no sólo atenuar los impactos, sino que en el caso de la energía solar fotovoltaica y eólica, estos proyectos podrían funcionar de forma compatible con otros usos. Asimismo, podrían ubicarse en terrenos que posean restricciones ambientales, disminuyendo de tal forma la presión sobre el suelo. Cabe señalar también que una vez terminada la vida útil de estos proyectos (25 años), los suelos utilizados pueden ser fácilmente reutilizados para el mismo u otros usos.

Finalmente cabe señalar que el desarrollo de un modelo eléctrico realmente sustentable precisa de distribuir de forma eficiente los proyectos y sus impactos sobre el territorio, para lo cual resulta imprescindible contar con un marco legislativo en materia de planificación energética y territorial de conjunto que permita dar respuestas a nivel nacional como regional, e incluso local. Para llevar a cabo este desafío se precisa continuar profundizando el rol articulador que debe tener el Estado en la planificación del sistema eléctrico, el cual ya ha comenzado a forjarse a partir de la Política Nacional de Energía 2050. A su vez también se precisa involucrar a la ciudadanía en los procesos de planificación a fin de que los proyectos cuenten con validación social, mitigando y gestionando de tal forma los conflictos con las comunidades.

BIBLIOGRAFÍA

- . ANDREWS, C. DEWEY-MATTIA, L. SCHECHTMAN, J & MAYRAL, M (2011). *Alternative Energy Sources and Land Use*. En *Climate Change and Land Policies*. Cambridge, Massachusetts: Lincoln Institute of Land Policy.
- . BERNERS-LEE, M & CLARK, D (2013). *The Burning Question*. London: Profile books.
- . BIBLIOTECA NACIONAL DE CHILE (2018). *La energía hidráulica en Chile. Memoria Chilena*. Disponible en: <http://www.memoriachilena.cl/602/w3-article-611.html> . Accedido en 6/6/2018.
- . CANALS, L. M.; BAUER, C.; DEPESTELE, J.; DUBREUIL, A.; FREIERMUTH KNUCHEL, R.; GAILLARD, G.; MICHELSEN, O.; MÜLLER-WENK, R.; RYDGREN, B. (2007). *Key elements in a framework for land use impact assessment in LCA*. The International Journal of Life Cycle Assessment 12 (1) 5–15.
- . COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA (2018). *Anuario Estadístico de Energía 2017*. Disponible en: <http://energiaabierta.cl/reportes/>
- . COMISIÓN NACIONAL DEL REPRESAS (2000). *Represas y Desarrollo. Un nuevo marco para la toma de decisiones*. Disponible en: https://chiltepin.files.wordpress.com/2012/09/represas_y_desarrollo_sc3adntesis-wcd.pdf
- . CONSEJO NACIONAL PARA LA INNOVACIÓN Y EL DESARROLLO CNID (2017). *Evaluación de los Conflictos Socio-Ambientales de Proyectos de gran tamaño con foco en agua y energía para el período 1998 al 2015*. Disponible en: <http://www.cnid.cl/portfolio-items/informe-evaluacion-de-los-conflictos-socio-ambientales-de-proyectos-de-gran-tamano-con-foco-en-agua-y-energia-para-el-periodo-1998-al-2015/>
- . CHENG, V.& G. P. HAMMOND (2014). *Energy density and spatial footprints of various electrical power systems*. Journal Energy Procedia (61) 578 – 581.
- . CHENG, V.& G. P. HAMMOND (2016). *Life-cycle energy densities and land-take requirements of varios power generators: A UK perspective*. Journal of the Energy Institute, XXX (2016) 1-13.
- . CHILESUSTENTABLE (2014). *Situación de la Energía en Chile. Desafíos para su sustentabilidad*. Santiago: LOM Ediciones
- . DENHOLM, P. & AL. (2009). *Land-Use Requirements of Modern Wind Power Plants in the United States*. Disponible en: <https://www.nrel.gov/docs/fy09osti/45834.pdf>
- . EL MOSTRADOR MERCADOS (17 de agosto de 2016). *Irrupción de renovables en licitación eléctrica logra que precios se desplomen a mínimos históricos y Pacheco celebra*. Recuperado de <http://www.elmostrador.cl/mercados/2016/08/17/irrupcion-de-renovables-en-licitacion-electrica-logra-que-precios-se-desplomen-a-minimos-historicos/>
- . ELECTRICIDAD, LA REVISTA ENERGÉTICA DE CHILE (17 de noviembre de 2017) “*Directorio de HidroAysén pone fin al proyecto y acuerda devolver derechos de agua*”. Recuperado de <http://www.revistaei.cl/2017/11/17/directorio-hidroaysen-pone-fin-al-proyecto-acuerda-devolver-derechos-agua/>

- . ENDESA (1995). *ENDESA: 50 años*. Disponible en Memoria Chilena, Biblioteca Nacional de Chile. <http://www.memoriachilena.cl/602/w3-article-9825.html> . Accedido en 7/6/2018.
- . FATHENAKIS, V.& H. CHUL, K. (2009). *Land use and electricity generation: A life-cycle analysis*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (13) 1465-1474.
- . FERNÁNDEZ DURÁN, R. & L. GONZÁLEZ REYES (2014). *En la espiral de la energía*. Madrid: Libros en acción.
- . GOBIERNO DE CHILE (2015). *Contribución Tentativa de Chile (INDC) para el acuerdo climático París 2015*. Disponible en:
<http://www4.unfccc.int/Submissions/INDC/Published%20Documents/Chile/1/Chile%20INDC%20FINAL.pdf>
- . IRENA (2017). *Energy and Land Use*. Disponible en:
https://static1.squarespace.com/static/5694c48bd82d5e9597570999/t/593a4294b8a79b4be75f6078/1496990366441/Energy+and+Land+Use_U+Fritsche.pdf
- . KOELLNER, T. DE BAAN, L. BECK, T. BRANDÃO, M. CIVIT, B. MARGNI, M. MILÀ I CANALS, LL. SAAD, R. DE SOUZA, D. & MÜLLER-WENK, R. (2013). *NEP-SETAC guideline on global land use impact assessment on biodiversity and ecosystem services in LCA*. *Int J Life Cycle Assess* (18) 1188–1202
- . LÓPEZ, J. (2017). *¿Sostenibilidad a cambio de suelo? La huella territorial de la generación de electricidad*. *Ciudad y Territorio Estudios Territoriales*, (194) 629-644.
- . MCGLADE, CH. & EKINS, P. (2015). *The geographical distribution of fossil fuels unused when limiting global warming to 2 °C*. *Nature* (517) 187–190.
- . MINISTERIO DE ENERGÍA (2014). *Agenda de Energía: Un desafío país, progreso para todos*. Disponible en: http://www.minenergia.cl/archivos_bajar/Documentos/AgendaEnergia.pdf
- . MINISTERIO DE ENERGÍA (2015). *Energía 2050. Política Energética de Chile. Segunda Edición*. Disponible en: <http://www.energia2050.cl/wp-content/uploads/2017/12/Politica-Energetica-Nacional.pdf>
- . PASTENE, C. (2012). *Chile, energía y desarrollo*. *Obras y Proyectos* (11) 28-39
- . POMYKACZ, M. & OLMSTED, C. (2014). *The Appraisal of Power Plants*. *The Appraisal Journal* (Summer) 214 - 230.
- . ROMÁN, J. (2012) *Energía, territorios y poblaciones indígenas: Análisis retrospectivo del megaproyecto hidroeléctrico Ralco*. *Revista Conservación Ambiental* (1) 37 – 42.
- . SUBDERE. (2011). *Plan Regional de Ordenamiento Territorial: Contenido y Procedimientos*. Disponible en: <http://www.subdere.gov.cl/documentacion/documento-a%C3%B1o-2011-plan-regional-de-ordenamiento-territorial-prot-0>
- . SANZ, R. & E. PULLA, A (2013). *El colapso en evitable. La transición energética del siglo XXI (TE21)*. Barcelona: Ediciones Octaedro.
- . SMITH, L (2011). *New North: The World in 2050*. London: Profile Books.
- . SOHR, R (2012). *Chile a ciegas. La triste realidad de nuestro modelo energético*. Santiago: Ediciones Debate.

- . TORO, N. (2011). *Estrategias de las redes transnacionales de defensa. El caso del pueblo indígena mapuche frente a la construcción de la hidroeléctrica Ralco en Chile (1996-2000)*. Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario. Colombia. (Tesis de Grado).
- . TRAINOR, A. MCDONALD, R. FARGIONE, J. (2016). *Energy Sprawl Is the Largest Driver of Land Use Change in United State*. PLoS ONE 11(9). Recuperado en:
<http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0162269>
- . UNIVERSITY OF CAMBRIDGE & WORL ENERGY COUNCIL (2014). *Cambio Climático: Implicaciones para el Sector Energético*. Disponible en: <https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2014/06/Publicacion-Cambio-Climatico-implicaciones-para-el-sector-energetico-IPCCC-AR5.pdf>
- . WITTELSBÜRGER, H (2007). *La política energética de Chile: de la dependencia al desarrollo sostenible - el futuro es de las energías renovables*. Diálogo Político (4).

FUENTES

- . SEA (2010). *Servicio de evaluación ambiental - Búsqueda de proyectos*. Disponible en:
<http://seia.sea.gob.cl/busqueda/buscarProyecto.php>.
- . MINISTERIO DE BIENES NACIONALES. *Infraestructura de Datos Geoespaciales (IDE Chile)*. Disponible en:
<http://www.ide.cl/noticias-2/item/centro-de-descarga-de-capas-informacion-geografica.html>
- . MINISTERIO DE ENERGÍA. *Infraestructura de Datos Espaciales Ministerio de Energía (IDE Energía)*. Disponible en: <http://sig.minenergia.cl/sig-minen/moduloCartografico/composer/>
- . COORDINADOR ELECTRICO NACIONAL. Disponible en: <https://www.coordinador.cl/>
- . ENERGÍA ABIERTA. Disponible en: <http://energiaabierta.cl/>

ANEXOS

CENTRALES GENERADORAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y SUPERFICIE OCUPADA ENTRE LOS AÑOS 2007 - 2017. REGIÓN DE ANTOFAGASTA

Sistema	Clasificación	Tipo de Energía	Central	Puesta en servicio	Hectáreas 2007	Hectáreas 2017	
SING	Termoeléctrica	Carbón / Fuel Oil / Petróleo Diesel	Aguas Blanca	2013		0,15	
SING			Andina - Hornitos	2011		20,14	
SING			Angamos ANG1 – ANG2	2011		19,56	
SING			Cochrane CCH1 - CCH2	2016		19,63	
SING			Diesel Tamaya*	2009		20,24	
SING			Inacal	2009		0,07	
SING			La Portada	2014		0,60	
SING			Mejillones CTM1- CTM2	1995	21,46	21,46	
SING			Mantos Blancos	1995	1,06	1,06	
SING			Norgener NTO1- NT02	1995 - 2011	1,85	3,16	
SING			Tocopilla	1960	31,55	31,55	
SING			Ciclo Combinado	Atacama CC1 - CC22	1999 - 2002	13,19	13,19
SING				Kelar	2016		11,19
SING				Mejillones CTM3	2000	1,72	1,72
SING				Tocopilla U16	2001	1,99	1,99
SIC				Taltal 1 - 2	2000	5,93	5,93
SING			Cogeneración	Planta Ácido Sulfúrico Mejillones	2012		15,08
SING							
SING	ERNC	Eólica	Valle de los Vientos	2015		310,75	
SIC			Taltal	2014		226,00	

SISTEMA	CLASIFICACIÓN	TIPO DE ENERGÍA	CENTRAL	PUESTA EN SERVICIO	HECTÁREAS 2007	HECTÁREAS 2017		
SING	ERNC	Solar Fotovoltaica	Andes Solar	2016		80,15		
SING			Calama Solar I**	2017		62,36		
SING			Bolero**	2017		435,81		
SING			María Elena FV	2015		179,83		
SING			Parque Solar Finis Terrae	2017		435,81		
SING			Puerto Solar Seco**	2017		53,39		
SING			Solar Jama 1 -2	2016		200,00		
SING			Uribe Solar	2017		217,75		
SIC			Conejo Solar	2016		269,44		
SIC			Lalackama 1 – 2	2015		191,84		
SIC			Pampa Solar Norte	2016		150,00		
							78,75	2.936,23

Fuente: Elaboración propia a partir de fuentes citadas con anterioridad.

* Esta central térmica no registra generación durante el 2017.

** Estos parques solares entraron al sistema durante el año 2017, por lo que no registran una generación durante todos los meses del año.

*** Las plantas termoeléctricas Diesel Enaex Cumming y Deutz, ubicadas dentro de la Planta de productos explosivos y mineros del mismo nombre, no fue posible determinar su ubicación dentro del predio para ser superficializadas. Cabe destacar que estas corresponden a plantas de menos de 2MW de potencia y no respiran generación de electricidad los últimos años.

CENTRALES GENERADORAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y SUPERFICIE OCUPADA ENTRE LOS AÑOS 2007 - 2017. REGIÓN METROPOLITANA DE SANTIAGO.

SISTEMA	CLASIFICACIÓN	TIPO DE ENERGÍA	CENTRAL	PUESTA EN SERVICIO	HECTÁREAS 2007	HECTÁREAS 2017
SIC	Termoeléctrica	Carbón	Renca	1962	4,03	4,03
SIC		Cogeneración	CMPC Cordillera	2016		0,26
SIC			CMPC Tissue	2016		0,14
SIC		Ciclo Combinado	Nueva Renca	1997	2,0	2,0
SIC	ERNC	Biomasa	Los Colorados I - II	2010 - 2011		0,21
SIC			Santa Marta	2014		5,4
SIC			Trebal Mapocho	2012		0,12
SIC	ERNC	Solar	El Pilpen*	2017		8,82
SIC			El Queltehue*	2017		7,50
SIC			El Roble*	2017		26,64
SIC			San Pedro*	2016		5,00
SIC			Quilapilún	2017		255,28
SIC			Tilttil Solar	2016		5,90
			Total	6,03		309,14

Fuente: Elaboración propia a partir de fuentes citadas con anterioridad.

* Estos parques solares entraron al sistema durante el año 2017, por lo que no registran una generación durante todos los meses del año.

** Los Parques Solares San Pedro, La Mangal, Quinta Solar, Las Turcas, San Francisco Solar y Valle de la Luna II corresponden a parques que se encontraban en el listado de Capacidad Instalada consultado, sin embargo, no se encontraron los Estudios de Impacto Ambiental, ni registros en las bases cartográficas consultadas, por lo que no fueron superficializados.

CENTRALES GENERADORAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y SUPERFICIE OCUPADA ENTRE LOS AÑOS 2007 - 2017. REGIÓN DEL BIOBÍO

SISTEMA	Clasificación	Tipo de Energía	Central	Puesta en servicio	Hectáreas 2007	Hectáreas 2017		
SIC	Termoeléctrica	Carbón / Petcoke / Propano / Petróleo Diesel	Bocamina I – II	1970-2012	7,02	17,96		
SIC			Santa María	2012		10,60		
SIC			Coronel	2005	0,70	0,70		
SIC			Cañete	2007	0,18	0,18		
SIC			Contulmo	2012		0,04		
SIC			HBS GNL	2016		0,50		
SIC			Lebu	2007	0,16	0,16		
SIC			Los Alamos	2013		0,05		
SIC			Los Guindos	2015		1,88		
SIC			Los Pinos	2009		31,23		
SIC			Newen	2009		0,10		
SIC			Santa Lidia	2009		15,55		
SIC			Tirúa	2011		0,07		
SIC			Trongol- Curanilahue	2012		0,18		
SIC			Petropower	1998	3,93	3,93		
SIC				Ciclo Combinado	Yungay U1-U2-U3-U4	2007	8,06	8,06
SIC				Cogeneración	Horcones	2004	0,23	0,23
SIC			Hidroeléctrica	Embalse	El Toro*	1973	9.126,41	9.126,41
SIC					Pangue	1996	404,48	404,48
SIC	Ralco	2004			3.444,09	3.444,09		
SIC	ERNC	Biomasa	Ancalí	2013		0,62		
SIC			Arauco U1 -U2	1996-2012	2,92	5,84		
SIC			CMPC Santa Fé	2012 - 2015		5,60		

SISTEMA	CLASIFICACIÓN	TIPO DE ENERGÍA	CENTRAL	PUESTA EN SERVICIO	HECTÁREAS 2007	HECTÁREAS 2017
	ERNC	Biomasa	Coelemu	2014		1,10
SIC			Escuadrón U1 – U2	2008 - 2009		0,56
SIC			HBS	2011		4,83
SIC			Laja U1 – U2	1995 - 2007	1,00	1,00
SIC			Masisa	2011		0,28
SIC	ERNC	Eólica	Eólica Cuel	2014		162,44
SIC			Eólica Lebu – Lebu III	2009		84,75
SIC			Eólica Los Buenos Aires	2016		84,75
SIC			Eólica Huajache - Raki	2015		42,37
SIC			Parque Eólico Esperanza	2017		35,31
			Total		12.999,17	13.495,86

Fuente: Elaboración propia a partir de fuentes citadas con anterioridad.

* El embalse el Toro corresponde a un lago natural, el Laja, al cual son desvaídos los recursos del río Polcura.

** Las centrales Nueva Aldea (Ex Itata,), Nueva Aldea II y Nueva Aldea III, ubicadas en la Planta de Celulosa Nueva Aldea, así como la planta CMPC Laja ubicada en la planta de Celulosa del mismo nombre y la planta Cholgúan ubicada en la Planta de Paneles Arauco, no fueron contabilizadas, ya que no fue posible determinar el espacio que estas utilizaban dentro de las plantas respectivas.