



**Universidad del Desarrollo**

Facultad de Derecho

**ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES: MECANISMOS DE  
INCENTIVO PARA SU INSERCIÓN EN EL MERCADO ELÉCTRICO**

POR: JAVIERA SOLEDAD TURRA CID

Tesina presentada a la Facultad de Derecho de la Universidad del Desarrollo para  
optar al grado académico de Magíster en Derecho Ambiental

PROFESOR GUÍA:

Sr. DANIEL GUTIERREZ

Octubre 2019

SANTIAGO

© Se autoriza la reproducción de fragmentos de esta obra para fines académicos o de investigación, siempre que se incluya la referencia bibliográfica.

## RESUMEN

La presente tesina tiene como objetivo revisar los mecanismos existentes en la actualidad para la inserción de las Energías Renovables No Convencionales (ERNC) en el mercado eléctrico.

En una primera parte, se describieron las Energías Renovables No Convencionales (ERNC), la capacidad instalada, de cada una, en la matriz eléctrica y la participación con respecto a las energías provenientes de fuentes convencionales. Se mencionó cómo su tecnología ha disminuido sus costos de inversión y el potencial de Chile, debido a sus condiciones de vientos y radiación solar, para su instalación.

Se señalaron los mecanismos de incentivo de ERNC existentes y se mencionaron ejemplos de países donde, al ser aplicados, se tuvo éxito o fracaso. Luego, se revisó la normativa existente en Chile que contempla a las ERNC, en particular el mecanismo de Sistema de Cuotas y su cumplimiento desde la promulgación de la ley.

En una segunda parte, se describieron Sistemas de Almacenamiento de energía, los cuales ayudan a mantener la estabilidad del Sistema Eléctrico, en particular las baterías de Ion-Litio y el almacenamiento de hidrógeno verde y celdas de combustible. Se señalaron sus principales ventajas y desventajas, costos, aplicaciones, importancia para Chile, entre otros.

Finalmente, se revisó la normativa existente y futura que contempla a los Sistemas de Almacenamientos y cómo la impulsión de esta normativa aporta al incentivo de las ERNC.

## ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVECIONALES (ERN) Y LA MATRIZ ELÉCTRICA EN CHILE.....	4
III.	MECANISMOS DE INCENTIVO.....	3
IV.	INCENTIVOS LEGALES PARA LAS ERNC.....	9
V.	NECESIDAD DE FLEXIBILIDAD DEL SISTEMA ELÉCTRICO .....	20
VI.	CONCLUSIONES .....	33
VII.	BIBLIOGRAFÍA.....	36

## ÍNDICE DE ABREVIACIONES

ERNC	Energías Renovables No Convencionales
SEN	Sistema Eléctrico Nacional
SEA	Sistema Eléctrico Aysen
SEM	Sistema Eléctrico Magallanes
FIT	Feed-In Tariff
RPS	Renewable Portafolio System
SQ	Sistema de Cuotas
CER	Certificados de Energía Renovable
NM	Net Metering
SSCC	Servicios Complementarios
CNE	Comisión Nacional de Energía
SING	Sistema Interconectado del Norte Grande
SIC	Sistema Interconectado Central
PEM	Membrana Electrolítica de Polímero
FCEV	Fuel Cell Electric Vehicle
CORFO	Corporación de Fomento de la Producción

## I. INTRODUCCIÓN

Los cambios que ha experimentado el sector energético en los últimos años han sido significativos, el crecimiento en la participación de energías renovables no convencionales (ERNC) a nivel mundial ha sido más rápido de lo esperado lo que ha contribuido a transformar matrices energéticas en numerosos países.

Qué son las Energías Renovables No Convencionales (ERNC). Se entenderá por Energías Renovables No Convencionales a todas aquellas fuentes de generación energética en las cuales no se incurre en el consumo, gasto o agotamiento de su fuente generadora. Entre estas fuentes de energías podemos mencionar a la energía eólica, la cual se consigue a partir de la fuerza del viento, mediante aerogeneradores que aprovechan las corrientes de aire, la energía solar, capturada del sol mediante la radiación solar, la mini hidráulica, la cual permite transformar la energía potencial del agua en energía eléctrica, utilizando turbinas acopladas a alternadores, la a energía a partir de biomasa y la energía geotérmica, la cual produce energía a partir del calor de las profundidades de la tierra.

A lo largo de la última década, el mercado de generación de energía en Chile ha experimentado cambios importantes. Las ERNC, han disminuido sus costos de inversión en tecnologías de energías solares y eólicas y actualmente representan alrededor del 20 % de la capacidad instalada del país. Lo anterior, impulsado por incentivos de carácter normativo, que responden a mecanismos utilizados a nivel mundial, como lo es el Sistema de Cuotas.

Sin embargo, uno de los principales inconvenientes de las ERNC actualmente radica en que su obtención es irregular ya que, al depender de elementos naturales, cuando no se dan las condiciones óptimas, se deja de obtener energía, es por esto que Chile necesita invertir en la flexibilidad del sistema, para que el Sistema Eléctrico pueda responder rápidamente a los cambios de oferta y demanda en el plazo de algunos minutos o hasta algunas horas. Esta flexibilidad, se logra a través de los Sistemas de Almacenamiento. Éstos, tienen la capacidad de aumentar el rendimiento total de la red (cargándola) y disminuir el rendimiento total de la red (descargándola).

Los sistemas de almacenamiento a partir de Baterías Ion Litio son un buen candidato para afrontar el problema de las fluctuaciones de la radiación solar y el viento, uno de los principales retos de estos tipos de energía y así propiciar la flexibilidad y rapidez de respuesta en el sistema eléctrico.

Otra de las opciones de Sistemas de Almacenamiento corresponde a almacenamiento de hidrógeno verde (generado a partir de energías renovables), el cual incluye celdas de combustibles y almacenamiento de energía de largo plazo.

Las celdas de combustible son dispositivos que combinan hidrógeno y oxígeno produciendo electricidad, agua y calor y a diferencia de una batería Ion Litio, las celdas pueden operar continuamente.

Debido a la versatilidad de los sistemas de almacenamiento de Hidrógeno, es posible instalar grandes baterías de Hidrógeno con celdas combustibles capaces de generar y almacenar a diferentes horarios.

Las tecnologías de Sistemas de Almacenamiento de Energía se relacionan directamente con la provisión de Servicios Complementarios, los cuales buscan

mantener la seguridad en el Sistema Eléctrico, ya que son reconocidas como tecnologías que puede proporcionar mayor flexibilidad y ayudar a mantener la seguridad de la red, es decir, apuntan en la línea de lo que se busca a partir de los éstos.

## II. ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVECCIONALES (ERNC) Y LA MATRIZ ELÉCTRICA EN CHILE

Se entenderá por Energías Renovables No Convencionales (ERNC), a todas aquellas fuentes de generación energéticas en las cuales no se incurre en el consumo gasto o agotamiento de su fuente generadora.

Son respetuosas con el medio ambiente, y aunque puedan ocasionar efectos negativos sobre el entorno, estos, son mucho menores que los impactos ambientales de las energías convencionales como combustibles fósiles.

Entre las ERNC podemos mencionar:

### 1. Energía eólica

El sol provoca en la Tierra las diferencias de presión que dan origen a los vientos.

La energía del viento se deriva del calentamiento diferencial de la atmósfera por el Sol, y las irregularidades de la superficie terrestre. En ella, se utiliza la fuerza del viento para generar electricidad.

El dispositivo capaz de realizar la conversión de la fuerza del viento en electricidad es el aerogenerador o generador eólico, que consiste en un sistema mecánico de rotación provisto de aspas y de un generador eléctrico con el eje solidario al sistema motriz, de forma que el viento hace girar las aspas y el generador eléctrico. La energía del viento puede obtenerse instalando los aerogeneradores tanto en suelo firme como en el suelo marino.

El potencial eólico se calcula en función de la distribución de la velocidad del viento.

Entre las principales ventajas de este tipo de energía se destaca la evitación de importación de carbón y petróleo, no genera grandes impactos ambientales, es barata y no produce residuos, la tecnología para instalarla es sencilla y permite realizar otro tipo de actividad, como la actividad agrícola, en los espacios ocupados. La principal desventaja, es que este tipo de energía es variable.

La capacidad instalada en Chile (incluyendo SEN, SEM y SEA) de la energía eólica corresponde a 1623 MW, correspondiente a 6,7% del total de la capacidad instalada del país.

El principal requerimiento de esta tecnología tiene que ver con la disponibilidad de área con suficiente recurso eólico y con una extensión suficiente para permitir la instalación y operación de una central.

## 2. Energía geotérmica

La energía geotérmica, tal como lo dice su nombre, se encuentra en el interior de la Tierra en forma de calor, como resultado de la desintegración de elementos radioactivos y el calor permanente que se originó en los primeros momentos de la formación del planeta.

A partir de una profundidad aproximada de dos metros, la temperatura de la Tierra no sufre cambios bruscos de temperatura. Este efecto es aprovechado para fines térmicos en sistemas basados en bomba de calor, captando la energía mediante una red de tubos enterrados en el plano horizontal, o bien mediante una captación en vertical a profundidades mayores.

La conversión de la energía geotérmica en electricidad consiste en la utilización de vapor, que pasa a través de una turbina que está conectada a un generador que produce la electricidad.

Las plantas geotérmicas requieren altas temperaturas (150°C a 370°C) proveniente de recursos hidrotérmicos (vapor y agua). Al no ser afectadas por variaciones climáticas, producen energía constante con un factor de capacidad entre el 60% y 90%.

El potencial de energía geotérmica es muy grande, pero sólo una fracción puede ser utilizada dependiendo de las condiciones geológicas. Chile al formar parte del cinturón de Fuego del Pacífico contiene un gran potencial geotérmico estimado en 2.000 MW en el norte grande y 1.350 MW en la zona central.

Entre sus principales ventajas se encuentran que no existen variaciones de temperatura importantes en el foco de captación de energía y que los residuos que produce son mínimos y de poco impacto ambiental.

La capacidad instalada en Chile (incluyendo SEN, SEM y SEA) de la energía geotérmica corresponde a 39,7 MW, correspondiente a 0,2% del total de la capacidad instalada del país.

### 3. Energía solar

La energía solar es una energía renovable que utiliza la radiación electromagnética proveniente del sol. La cantidad de energía solar que incide por unidad de área y tiempo (kWh / m<sup>2</sup> al día) corresponde al principal criterio para seleccionar el lugar

de ubicación de una planta solar. La zona norte de Chile posee la mayor incidencia solar del mundo, principalmente en el desierto de Atacama y zonas próximas.

Existen dos sistemas para producir energía a partir del sol:

- a. Sistemas fotovoltaicos: a través de paneles fotovoltaicos que captan la energía luminosa del sol para transformarla en energía eléctrica. Para conseguir la transformación se emplean células fotovoltaicas fabricadas con materiales semiconductores.
- b. Sistemas térmicos: el calor de la radiación solar se utiliza para producir electricidad. Los colectores térmicos utilizan fluidos, tal como agua, aceite, sales, aires y dióxido de carbono, para producir la energía a través de un ciclo termodinámico convencional. Los colectores concentradores utilizan espejos para enfocar la energía del sol en un tubo que contiene líquido.

Entre sus principales ventajas se encuentra su escaso impacto ambiental, no produce residuos perjudiciales para el medio ambiente, no tiene más costos, más allá de su mantenimiento, una vez instalada.

La principal desventaja, es que este tipo de energía es discontinua.

La capacidad instalada en Chile (incluyendo SEN, SEM y SEA) de la energía geotérmica corresponde a 2.586 MW, correspondiente a 10,7% del total de la capacidad instalada del país.

#### 4. Energía Hidráulica

Se obtiene a partir de la energía potencial asociada los saltos de agua debido a la diferencia de altura entre dos puntos, los cuales pueden pertenecer a un río o canal.

Las mini centrales hidráulicas de pasada transforman en energía eléctrica el movimiento de las turbinas que se genera al precipitar una masa de agua entre dos puntos a diferente altura. Las minihidráulicas o minicentrales no requieren grandes embalses reguladores y por tanto su impacto ambiental es muy bajo.

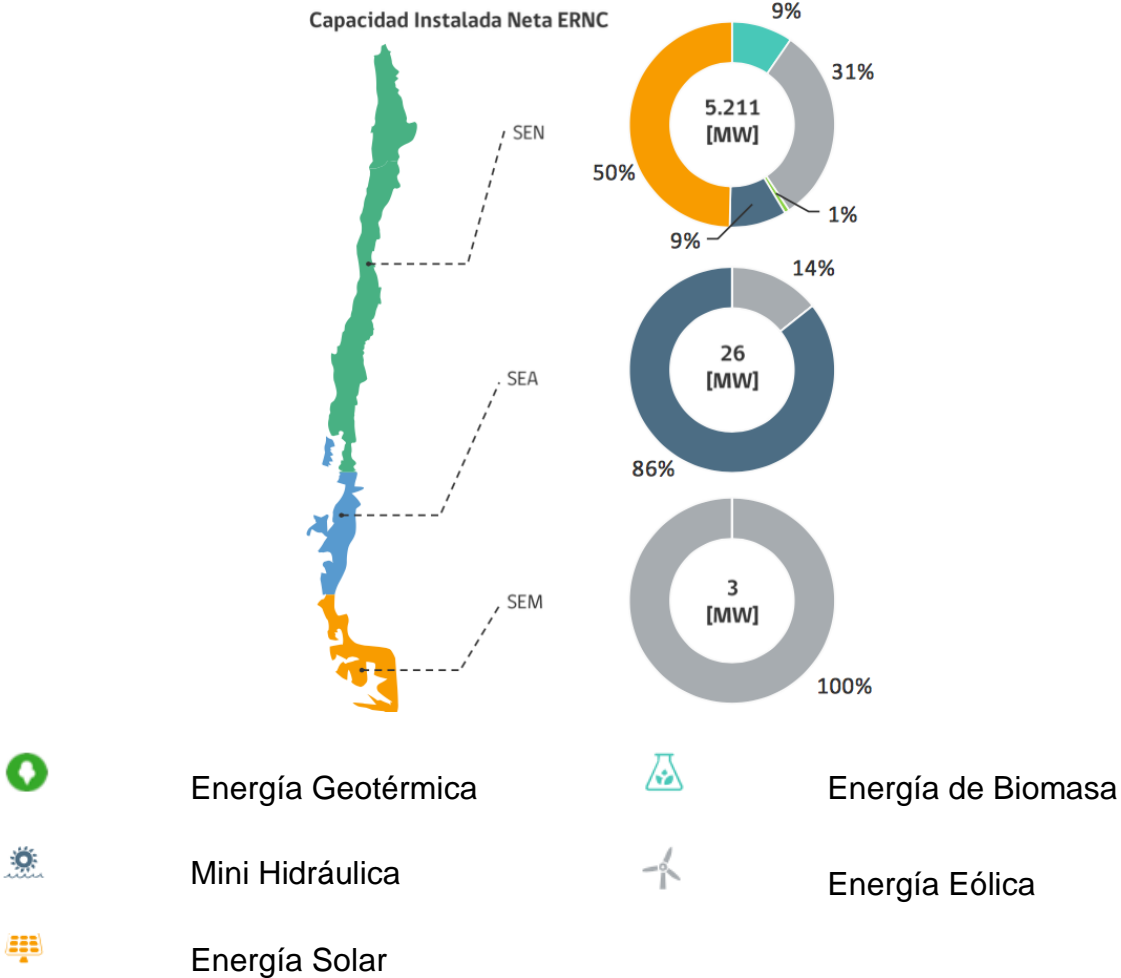
Este tipo de centrales proporcionan un suministro continuo de electricidad para demanda de energía base y no pueden almacenar reservas para ajustar generación a la demanda. El agua captada en la bocatoma es conducida a la casa de máquinas a través de una tubería forzada o de un conjunto canal – tubería forzada, donde se genera la energía eléctrica. Posteriormente el agua es devuelta al río, quedando disponible para todo tipo de usos, ya que no se realizan modificaciones químicas ni físicas.

La capacidad instalada neta en Chile (incluyendo SEN, SEM y SEA) de la energía geotérmica corresponde a 490 MW, correspondiente a 2,03% del total de la capacidad instalada del país.

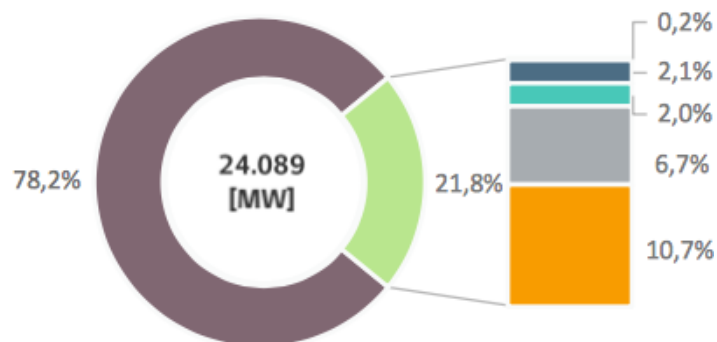
## 5. Energía de Biomasa

Corresponde a la producción de electricidad a partir de la energía almacenada en la materia orgánica. La materia prima de la bioenergía puede provenir de residuos forestales y desechos de madera, residuos agrícolas y de actividades de ganado. La producción de la bioenergía se realiza a través de un proceso termoquímico que consiste en la combustión, gasificación o digestión anaeróbica de la materia prima. La capacidad instalada en Chile (incluyendo SEN, SEM y SEA) de la energía de biomasa corresponde a 500,68 MW, correspondiente a 2,07% del total de la capacidad instalada del país.

La capacidad instalada neta con base a tecnologías de ERNC, a agosto de 2019 asciende a un total de 5.240 MW. De dicho valor, 5.211 MW se ubican en el SEN. El restante 0,5% (26 MW) se encuentra en el Sistema Eléctrico de Aysén (SEA) y el 0,0% (3MW) se encuentra en el Sistema Eléctrico de Magallanes (SEM), tal como se muestra en la siguiente imagen:



La capacidad de ERNC instalada corresponde a un 21,8% de la capacidad eléctrica total en los sistemas eléctricos nacionales. El 78% restante proviene de energías convencionales (y el más del 50% corresponde a combustibles fósiles), tal como se muestra a continuación:



Sin embargo, este porcentaje podría ir, aún más, en aumento debido a las condiciones favorables que presenta Chile. De acuerdo a estudios realizados, el potencial disponible de Energías renovables sin superposición entre fuentes de energía para energía fotovoltaica entre las regiones de Arica y Parinacota, hasta la región de Coquimbo es de alrededor de 1.200.000 MW y el potencial eólico en las regiones del Biobío hasta la Isla Grande de Chiloé más Taltal, en la región de Antofagasta, es de 34.000 MW.

Además, se ha producido rápida disminución del costo de inversión de la tecnología de algunas ERNC, por ejemplo, el año 2015 la energía fotovoltaica tenía un costo unitario de inversión de 1.900 a 2.100 US\$/kW y actualmente el costo se encuentra bajo los 1.000 US\$/kW. Estos precios, se encuentra incluso por debajo de Energías convencionales (por ejemplo, hidráulica de embalse: 2.180 US\$/kW), por lo que se convierten en energías mucho más competitivas.

Lo anterior, sumado a las condiciones favorables que tiene Chile para el uso de tecnología solar en el norte y tecnología eólica en el sur ha propiciado que al 2018 el 50% de los proyectos de generación eléctrica declarados en construcción provengan de fuentes de ERNC.

### III. MECANISMOS DE INCENTIVO

Dentro de los tipos de mecanismos de incentivo se distinguen dos tipos: directos, los cuales afectan a la capacidad renovable e indirectos, los cuales se asocian a costos ambientales que encarecen tecnologías tradicionales respecto a los renovables. Los mecanismos usados se muestran a continuación:

#### 1. Feed-In Tariff

El Feed-In Tariff (FIT) es un instrumento normativo que impulsa el desarrollo de las ERNC mediante el establecimiento de una tarifa especial, premio o sobre precio, por unidad de energía eléctrica inyectada a la red por unidad de generación ERNC. Los elementos esenciales para entender la existencia del FIT son tres:

- a. La autoridad establece una tarifa mínima, sobre precio o premio para la electricidad inyectada proveniente de ERNC, tarifa que se tiende a diferenciar según el tipo de energía, tamaño y ubicación de la central ERNC.
- b. Se establece una obligación de acceso a las redes eléctricas a las centrales ERNC, para asegurar, de esta forma, que los generadores estarán en condiciones de entregar su producto.
- c. Debe existir una obligación de compra de toda la electricidad inyectada al sistema.

#### El caso alemán

El caso alemán de Feed-in-Tariff ha servido como ejemplo para más de 80 países de todo el mundo. La ley de Fuentes de Energías Renovables (EKG, por su nombre en alemán) ha sido modificada reiteradas veces con el fin de adaptarlo al desarrollo del país. Entre sus principales características se encuentra:

- Acceso prioritario a la red eléctrica para energía renovable.
- Un precio fijo para los productores de energía por cada kWh producido a partir de energía renovable por un período fijo (generalmente 20 años)
- Se consideran todos los tipos de energía renovable y las tarifas se diferencian por fuente y tamaño de la planta y el año en que se puso en funcionamiento la instalación
- El costo adicional es compartido entre todos los usuarios de energía por el recargo EEG
- La tarifa fija es disminuida por el gobierno sobre la base de la evolución del mercado

Un aspecto clave del modelo alemán de Feed-in Tariff es que tiene un enfoque descentralizado y comunitario, permitiendo así una transición hacia una energía más limpia de la mano con una sociedad más justa y democrática.

El ejemplo de Alemania, es un ejemplo exitoso de la aplicación del Sistema ya que se experimentó un aumento de un 6,2% a un 31% en menos de 15 años, llegando a incluso reducir la tasa de desempleo.

## 2. Sistema de cuotas

Conocido también como Renewable Portfolio System (RPS) o Sistema de cuotas (SQ). se caracteriza por la fijación de un objetivo/obligación por la autoridad, ya sea en un porcentaje del total de la energía eléctrica inyectada a la red o una cantidad

determinada, que debe ser suministrada por medios de generación ERNC. Los actores del mercado tienen la libertad para determinar con qué tipo de ERNC y/o tecnologías se generará la electricidad, al igual que las tarifas en que venderán dicho producto. Esta obligación puede recaer sobre los oferentes (generadores) o los demandantes (distribuidores) de energía eléctrica, siendo preferida a nivel mundial la segunda opción. En caso de que los obligados no cumplan la cuota exigida, se ven expuestos a una multa.

El SQ se fundamenta en dos elementos:

- a. Cuota (obligación): Esta debe ser ambiciosa, pero realizable.
- b. Certificado de energía renovable (CER): medio por el cual se acredita el cumplimiento de la obligación. Representa una unidad de energía eléctrica inyectada a las redes eléctricas proveniente de medios de generación ERNC.

Para el éxito de este sistema, es necesario que el valor de la multa aplicada en caso de incumplimiento sea de un monto suficientemente alto para incentivar el cumplimiento, es decir que sea mejor negocio cumplir.

Con el sistema de cuotas se genera un mercado secundario de los certificados, entre los obligados excedentarios y los deficitarios, entregando una opción para los generadores ERNC para que aumenten sus ingresos, creando un incentivo a invertir en estas tecnologías. Esto se traduce que la cuota debe ir aumentando consecuentemente para poder responder a dicho interés, tratando de que la obligación vaya en línea con los CER que puedan ser emitidos.

#### Sistema de Cuotas en Reino Unido

Reino Unido comenzó a utilizar el Sistema de Cuotas con certificados verdes en el

año 2000, buscando lograr cumplir un cierto nivel de participación en el mercado eléctrico de ERNC. Se comenzaría con un 3% en el año 2003 e iría aumentando paulatinamente con los años llegando al 2006 con alrededor de un 15%.

El Sistema de Cuotas, no logró generar suficientes incentivos para fomentar de forma significativa los recursos de ERNC y alcanzar los objetivos que se proponía, una de las razones de esto fue que los precios de los Certificados se encontraban por sobre los precios de las multas.

### 3. Net Metering (NM)

En este sistema se busca que los consumidores generen por su propia cuenta energía eléctrica con medios ERNC (normalmente con tecnologías eólicas y solares).

La idea es que los consumidores tengan la oportunidad de convertirse en un generador de energía eléctrica, con medios domiciliarios de ERNC. Para esto, a los clientes que cuentan con unidades de generación se les hace un balance al final de cada mes, entre la energía eléctrica que ha inyectado y retirado de las redes. Lo anterior, se logra mediante la instalación de medidores eléctricos bidireccionales, lo que debe ser considerado como parte de los costos necesarios para implementar el NM. Por ende, con este incentivo al cliente solo se le factura el consumo neto de electricidad mensual.

### 4. Licitaciones o Subastas Competitivas

Existen dos tipos de Subastas competitivas, ya sea centrado en la inversión o en la generación.

En ambos casos, se define un mercado reservado para una cantidad dada de electricidad proveniente de medios ERNC y organiza un concurso entre productores de energías renovables para asignar esta cantidad. La competencia está centrada en el precio de la energía y los distribuidores están obligados a comprar la electricidad a los ganadores.

#### Ejemplo de Irlanda

En el año 1996 se introdujo en Irlanda un Sistema de Subastas, sin embargo, fue fallido debido a que la mayoría de las empresas ganadoras, fallaron en alcanzar los objetivos establecidos. Las empresas debían construir, operar y suministrar electricidad de fuentes de Energías Renovables.

#### 5. Subsidios directos e incentivos tributarios

Es un sistema de apoyo complementario a los descritos anteriormente. Consiste en la rebaja o exención de algún impuesto, condiciones especiales de depreciación y subsidios directos por el desarrollo de este tipo de proyectos.

#### Ejemplo de Japón

El gobierno de Japón invirtió en paneles fotovoltaicos para los techos de las casas en un programa llamado “Luz de Sol de Japón”. A medida que los precios de ésta tecnología disminuyeron, también lo hicieron paulatinamente los subsidios. Se logró

con el programa más de 220 MW de capacidad.

#### IV. INCENTIVOS LEGALES PARA LAS ERNC

A partir del año 2004 se comenzó a impulsar el desarrollo de las ERNC al crearse la ley 19.940, conocida como Ley Corta I, que mediante reformas en el cobro de peaje de transmisión eléctrica les dio competitividad en el mercado eléctrico chileno, incorporando los primeros incentivos. Posteriormente una serie de leyes fortalecieron la presencia de las ERNC hasta alcanzar su actual nivel de desarrollo.

##### 1. Ley 19.940<sup>1</sup>

Conocida como Ley Corta I, esta ley modifica la Ley General de Servicios Eléctricos. Promulgada en marzo de 2004, tuvo por objetivo regular el mercado de la transmisión definiéndole un carácter de servicio público y asegurar el suministro eléctrico y mejorar la interconexión entre el SING y el SIC.

La importancia de esta ley para las ERNC es que introduce por primera vez el concepto de generación no convencional, siendo definida como aquella que utiliza fuentes ya sean geotérmicas, eólicas, biomasa, solar, mareomotriz, pequeñas centrales hidroeléctricas, cogeneración y otras similares determinadas por la Comisión Nacional de Energía (CNE).

La ley establece en su artículo 71<sup>o</sup>-7 que *“Los propietarios de los medios de generación conectados al sistema eléctrico respectivo cuya fuente sea no convencional, tales como geotérmica, eólica, solar, biomasa, mareomotriz, pequeñas centrales hidroeléctricas, cogeneración y otras similares determinadas*

<sup>1</sup> Vid. Ley 19.940, de 2004. Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción. Regula Sistemas de Transporte de Energía Eléctrica, establece un nuevo régimen de tarifas para Sistemas Eléctricos medianos e introduce las adecuaciones que indica a la Ley General de Servicios Eléctricos.

*fundadamente por la Comisión, cuyos excedentes de potencia suministrada al sistema sea inferior a 20.000 kilowatts, estarán exceptuados del pago total o de una porción de los peajes por el uso que las inyecciones de esos medios de generación hacen de los sistemas de transmisión troncal, conforme a los criterios establecidos en los incisos siguientes”.*

*“Si la capacidad conjunta exceptuada de peajes excede el 5% de la capacidad instalada total del sistema eléctrico, los propietarios de los medios de generación señalados en el inciso primero de este artículo deberán pagar además un peaje equivalente a los montos de los peajes exceptuados en virtud de la aplicación del inciso segundo de este artículo, multiplicados por un factor proporcional único igual al cociente entre el señalado excedente por sobre el 5% de la capacidad instalada total del sistema eléctrico y la capacidad conjunta exceptuada de peajes”.*

Es decir, si la cantidad de generadores exceptuados de peaje excede el 5 por ciento de la capacidad instalada del sistema, éstos deberán incurrir en un pago proporcional que excede el 5 por ciento.

Como se mencionó anteriormente uno de los principales puntos de apoyo de las ERNC en esta ley es la liberación del pago parcial o total de peaje, como medio de fomento a la inversión. De esta forma se disminuyen los costos de operación de las generadoras y se minimiza el riesgo de los inversionistas, logrando el primer incentivo a centrales con ERNC:

## 2. Ley 20.018<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Vid. Ley 20.018, de 2006. Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción. Modifica el Marco normativo del Sector Eléctrico.

Conocida como Ley Corta II y promulgada en mayo de 2005, esta ley tiene como objetivo incentivar la inversión en generación, definiendo un sistema de licitaciones competitivas que aseguren un precio por un tiempo determinado.

Los contratos de suministro deben ser licitados públicamente en un proceso supervisado por la CNE. Las bases de la licitación son elaboradas por las concesionarias y aprobadas por la CNE, y deben incluir los puntos de suministro, cantidad y periodo a licitar, excluyendo clientes libres.

En las licitaciones se dispone que los propietarios de medios de generación de ERNC tienen derecho a suministrar a los concesionarios de distribución el precio promedio de la compra de la respectiva empresa distribuidora, hasta el 5 por ciento del total de la demanda destinada a clientes regulados, como se señala en el artículo 96º ter *“los propietarios de medios de generación a que se refiere el artículo 71º-7 tendrán derecho a suministrar a los concesionarios de distribución, al precio promedio señalado en el inciso primero de este artículo, hasta el 5% del total de demanda destinada a clientes regulados. Los procedimientos para dar cumplimiento a lo establecido en este artículo se contendrán en el reglamento”*.

La ley Corta II obliga a las empresas de distribución a comprar bloques de potencia, de esta forma, se disminuye en gran parte el riesgo al invertir en generación. Además, considerando los beneficios para las ERNC estipulados en la Ley Corta I, la generación no convencional se convierte en una opción atractiva. Por otra parte, se aplican restricciones a las generadoras a gas, las cuales correspondían a una de las principales fuentes energéticas del país en los años que se promulgó la ley, abriendo las puertas para que nuevos medios de generación entren al mercado.

### 3. Ley 20.257<sup>3</sup>

Conocida como la Ley ERNC, esta ley modifica la Ley General de Servicios Eléctricos, para establecer la obligación de abastecer un porcentaje de la demanda mediante inyecciones provenientes de medios de generación de energías renovables no convencionales (ERNC).

De acuerdo a las modificaciones en los artículos 79º y 225º de la Ley General de Servicios Eléctricos, se define la Energía Renovable No Convencional como aquella *“cuya fuente sea no convencional, tales como geotérmica, eólica, solar, biomasa, mareomotriz, pequeñas centrales hidroeléctricas, cogeneración y otras similares determinadas fundadamente por la Comisión”*.

Además, esta ley establece que cada empresa que efectúe retiros de energía desde sistemas con capacidad superior a 200 MW tienen la obligación de acreditar que un 10% provenga de ERNC. En caso de que una empresa exceda su obligación de inyecciones ERNC, por medios propios o contratados, puede convenir traspasar sus excedentes a otra empresa eléctrica, incluso en otros sistemas eléctricos.

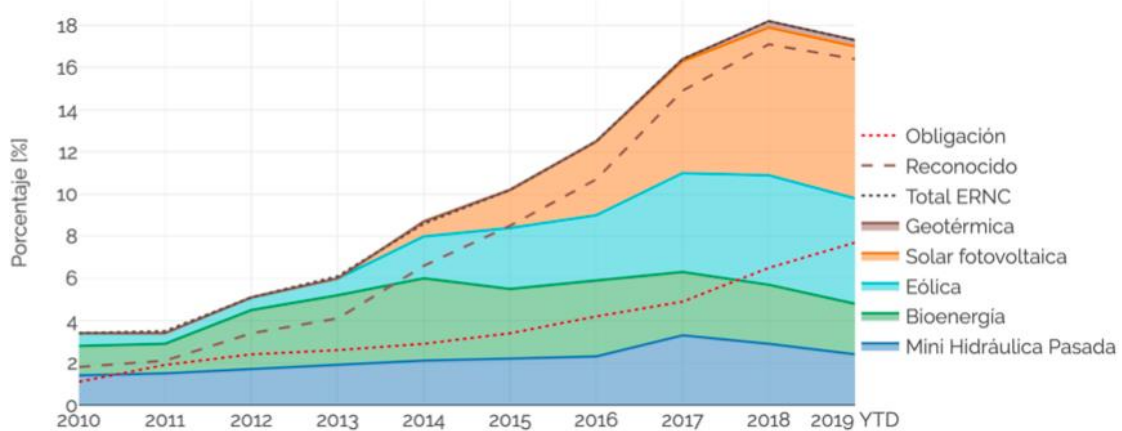
Esto se señala en el artículo 150º bis como se muestra a continuación *“Cada empresa eléctrica que efectúe retiros de energía desde los sistemas eléctricos con capacidad instalada superior a 200 megawatts para comercializarla con distribuidoras o con clientes finales, estén o no sujetos a regulación de precios,*

<sup>3</sup> Vid. Ley 20.257, de 2013. Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción. Introduce modificaciones a la Ley General de Servicios Eléctricos respecto de la generación de Energía Eléctrica con fuentes de Energías Renovables No Convencionales.

*deberá acreditar ante la Dirección de Peajes del CDEC respectivo, que una cantidad de energía equivalente al 10% de sus retiros en cada año calendario haya sido inyectada a cualquiera de dichos sistemas, por medios de generación renovables no convencionales, propios o contratados”.*

Lo anterior corresponde a un instrumento de incentivo directo de Sistema de Cuotas, como lo descrito en el capítulo anterior. La cuota exige que una cantidad sea prevista con energía renovable.

En la siguiente imagen se muestra el porcentaje de participación de los diferentes tipos de ERNC y su progresión a través de los años. La línea puntuada representa la obligación impuesta por esta ley. Se puede apreciar que, a la fecha, la participación de ERNC se encuentra muy por sobre la obligación legal.



#### 4. Ley 20.698 (20/25)<sup>4</sup>

La ley 20/25 modifica el artículo 150<sup>o</sup> bis introducido en el DFL 4 por la ley ERNC, así como el artículo transitorio 1 de esta ley, a fines de cambiar el objetivo de la

<sup>4</sup> Vid. Ley 20.698, de 2013. Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción. Propicia la ampliación de la Matriz Energética, mediante fuentes Renovables No Convencionales.

obligación en términos de proveer generación eléctrica de fuentes ERNC para llegar a un 20% al año 2025.

La obligación para los retiros vinculados con contratos adoptados después del segundo semestre de 2007, será:

- De un 5% para el año 2013,
- incrementándose en un 1% anual a partir del año 2014 hasta alcanzar un 12% en el año 2020,
- aumentándose en un 1,5% anual a partir del año 2021 hasta alcanzar un 18% en el año 2024,
- e incrementándose en un 2% el año 2025 hasta llegar al 20%.

La ley 20/25 también crea en el DFL n°4 el artículo 150 ter, que impone que el Ministerio de Energía realice licitaciones públicas a fin de cumplir con la obligación de inyección de ERNC introducida por la ley ERNC. Esta medida no pretende reemplazar el sistema de certificados emitidos por las empresas obligadas, sino complementarlo. Estas licitaciones públicas estarán destinadas a proveer bloques anuales para la parte de los retiros que no cumplen con la obligación exigible el tercer año después del año de inicio de la licitación. El artículo establece las bases de los procesos de establecimiento y de adjudicación de estas licitaciones, e indica las condiciones con las cuales deben cumplir los proponentes. En particular, se nota que las licitaciones se pueden realizar juntando o separando los distintos sistemas eléctricos. Por último, la ley indica que se deben adjudicar las ofertas con menores precios.

De acuerdo al artículo 150º ter: *“Para dar cumplimiento a parte de la obligación establecida en el inciso primero del artículo anterior, el Ministerio de Energía deberá efectuar licitaciones públicas anuales, para la provisión de bloques anuales de energía provenientes de medios de generación de energía renovable no convencional. Para estos efectos, el Ministerio de Energía efectuará hasta dos licitaciones por año en caso que el bloque licitado no sea cubierto en su totalidad”*.

#### 5. Ley 20.936<sup>5</sup>

El año 2016 se publicó la Ley 20.936, la que establece un Nuevo Sistema de Transmisión Eléctrica y crea un Organismo Coordinador Independiente del Sistema Eléctrico Nacional”, la cual incorpora, entre otras, modificaciones a la remuneración y esquema de expansión de la transmisión eléctrica.

La ley reclasifica los sistemas de transmisión:

- a) Sistema de Transmisión Nacional (anteriormente denominado Sistema Troncal.
- b) Sistema de transmisión Zonal (anteriormente denominado Sistema de Subtransmisión)
- c) Sistema de Transmisión Dedicado (anteriormente denominado Sistema Adicional).

<sup>5</sup> Vid. Ley 20.936, de 2016. Ministerio de Energía. Establece un nuevo Sistema de Transmisión Eléctrica y crea un organismo Coordinador Independiente del Sistema Eléctrico Nacional.

Además, esta ley crea el concepto de Sistemas de Transmisión para Polos de Desarrollo de Generación, los que estarán destinados a evaluar la producción de la generación de dichas zonas con potencial de generación de ERNC. El Ministerio de Energía debe determinar la existencia de zonas con potencial relevante de generación de ERNC, cuyo aprovechamiento resulte de interés público, tal como se señala en el artículo 85º: *“Se entenderá por polos de desarrollo a aquellas zonas territorialmente identificables en el país, ubicadas en las regiones en las que se emplaza el Sistema Eléctrico Nacional, donde existen recursos para la producción de energía eléctrica proveniente de energías renovables, cuyo aprovechamiento, utilizando un único sistema de transmisión, resulta de interés público por ser eficiente económicamente para el suministro eléctrico, debiendo cumplir con la legislación ambiental y de ordenamiento territorial. La identificación de las referidas zonas tendrá en consideración el cumplimiento de la obligación establecida en el artículo 150º bis, esto es, que una cantidad de energía equivalente al 20% de los retiros totales afectos en cada año calendario, haya sido inyectada al sistema eléctrico por medios de generación renovables no convencionales”*.

En el caso de existir problemas para materializar la construcción de las instalaciones de transmisión por parte de los propietarios de proyectos de generación, la CNE podrá incorporar líneas y subestaciones dedicadas, nuevas o existentes, como Sistema de Transmisión para Polos de Desarrollo de Generación, dentro de la planificación de largo plazo. En el caso de existir períodos con capacidad de transmisión no utilizada en los Polos de Desarrollo, la remuneración de dicha capacidad de transmisión corresponderá a la demanda, de acuerdo a lo señalado

en el artículo 88<sup>o</sup> en su inciso segundo como se muestra a continuación: *“Asimismo, la Comisión podrá incorporar en dicho plan, como sistemas de transmisión para polos de desarrollo, líneas y subestaciones dedicadas, nuevas o existentes, con el objeto de permitir su uso por nuevos proyectos de generación, pudiendo modificar sus características técnicas, como trazado, nivel de tensión o capacidad de transporte en magnitudes mayores a las previstas originalmente. Para estos efectos, el Coordinador deberá informar a la Comisión, con la periodicidad que determine el reglamento, los proyectos de transmisión informados a dicho organismo. El reglamento deberá establecer la antelación con la que los desarrolladores y promotores de proyectos deberán informar éstos al Coordinador”*.

Esta sería una medida tendiente a viabilizar la interconexión de pequeñas centrales ERNC, que no serían viables en el caso de tener que solventar el costo de líneas de transmisión extensas y con capacidad no utilizada.

#### 6. Reforma tributaria (Impuesto al carbono)<sup>6</sup>

El impuesto a las emisiones de carbono (C) y otros componentes (MP, NOx, SO2) se incorporó en Chile en la Reforma Tributaria, aprobada en septiembre del año 2014, y que corresponde a la Ley 20.780. La Reforma Tributaria fue concebida con el objeto de garantizar la disponibilidad de recursos permanentes para la implementación de reformas políticas en el país.

<sup>6</sup> Vid. Ley 20.780, de 2014. Ministerio de Hacienda. Reforma Tributaria que modifica el Sistema de Tributación de la renta e introduce diversos ajustes en el Sistema Tributario.

El impuesto al carbono establecido en la ley corresponde a un valor de 5 USD/ton de aplicado sobre aquellos establecimientos cuyas unidades emisoras (calderas, hornos, turbinas, motores u otras fuentes), en un mismo establecimiento, tengan una potencia térmica igual o mayor a 50 MWt.

El artículo 8 establece lo anteriormente señalado *“Establécese un impuesto anual a beneficio fiscal que gravará las emisiones al aire de material particulado (MP), óxidos de nitrógeno (NOx), dióxido de azufre (SO2) y dióxido de carbono (CO2), producidas por establecimientos cuyas fuentes fijas, conformadas por calderas o turbinas, individualmente o en su conjunto sumen, una potencia térmica mayor o igual a 50 MWt (megavatios térmicos), considerando el límite superior del valor energético del combustible”*.

Dentro de los establecimientos que cumplen con estas características en nuestro país se encuentran algunas unidades generadoras de electricidad.

El Impuesto al carbono corresponde a un instrumento de incentivo indirecto que resulta en un subsidio a las tecnologías de ERNC. Las tecnologías que generan emisiones pagan un impuesto resultando en un subsidio para la capacidad renovable.

## 7. Plan de Descarbonización 2040

El año 2019, el Presidente de la República, Sebastián Piñera, anuncia la intención de Chile de lograr la descarbonización de la matriz eléctrica para el año 2040 (10 años antes de lo que se tenía previsto). Este proceso se llevará a cabo en 2 fases:

- a) La primera fase de descarbonización anunciada por el gobierno contempla el cierre de las ocho centrales más antiguas entre 2019 y 2024, cuya potencia

total instalada es de 1.047 MW. De ellas, 1 central esta localizada en la comuna de Iquique, 4 en la comuna de Tocopilla, 2 en Puchuncaví y 1 en la comuna de Coronel, representando en conjunto un 19% del total de la capacidad instalada de centrales a carbón, pero poco relevantes en cuanto a generación pues la mayoría no inyecta energía significativa al sistema eléctrico.

- b) La segunda fase de descarbonización considera el retiro y desconexión del resto de las termoeléctricas a carbón que operan en el Sistema Eléctrico Nacional. Estas corresponden a las empresas AES-Gener con 13 unidades, Engie con 5 unidades, Enel y Colbun con 1 unidad cada compañía. El Acuerdo firmado por cda empresa con el Ministerio de Energía, establece el compromiso de participar en mesas de trabajo cada 5 años , en el marco de las cuales las empresas propondrán el cierre de algunas de sus unidades.

A pesar de que este incentivo no es directo al uso de las ERNC, la energía producida por las fuentes de centrales termoeléctricas debe ser reemplazada por fuentes limpias.

## V. NECESIDAD DE FLEXIBILIDAD DEL SISTEMA ELÉCTRICO

Una de las principales metas de Chile es potenciar el uso de ERNC lo que supone un nuevo desafío, que corresponde a reducir la variabilidad de las fuentes de ERNC, debido a la intermitencia propia de su naturaleza. Una de las principales medidas que contribuirá a responder al desafío anteriormente mencionado corresponde a los Sistemas de Almacenamiento de Energía.

Los Sistemas de Almacenamiento de Energía Eléctrica están emergiendo como una gran tecnología predominante, alcanzando un crecimiento cada vez mayor y empezando a tomar un rol predominante en la cadena de valor de los Sistemas Eléctricos, ya que permiten adaptar las curvas de producción de energía eléctrica a las curvas de demanda.

Lo anterior se logra al absorber la energía eléctrica, almacenarla por un periodo de tiempo y posteriormente ser capaz de liberarla para suministrar esa energía. De esta forma, la participación de tecnologías de almacenamiento en el Mercado Eléctrico permitirá cubrir la demanda de energía en horarios punta con el beneficio de reducir el costo de la energía en dichos horarios, además de mejorar la confiabilidad de los sistemas eléctricos y la capacidad operativa de la red eléctrica.

Los Sistemas de Almacenamiento de Energía conectadas a fuentes de ERNC presentan algunas ventajas que se describen a continuación:

Disminución de pérdidas de ERNC

Las restricciones en la transmisión impiden que las centrales de ERNC puedan inyectar toda su producción, lo que se produce en importantes pérdidas de energía. Estas pérdidas pueden ser evitadas mediante el uso de almacenamiento de energía, inyectando a la red eléctrica la energía almacenada cuando se levante la restricción de transmisión.

### Control de rampa

Un caso ampliamente estudiado en California, EEUU a partir de la “curva de pato”, gráfico que muestra la producción de energía en el transcurso del día en el que se ve reflejado el desequilibrio de tiempo entre la demanda máxima de energía eléctrica y la producción de energía a partir de fuentes de ERNC.

Con el fin de poder entregar estabilidad al sistema eléctrico, los Sistemas de Almacenamiento de Energía realizan una carga de energía de manera de manejar las variaciones de la generación y la demanda y realizar la inyección cuando el sistema lo necesite.

### Sistemas de almacenamiento de energía

Los sistemas de energía se clasifican de acuerdo a su forma de almacenar energía. En particular, la presente tesina se referirá a dos: almacenamiento de baterías Ion-litio (almacenamiento electroquímico) y almacenamiento a partir de Hidrógeno verde (almacenamiento químico).

#### 1. Baterías Ion Litio

Los sistemas de almacenamiento de litio son un buen candidato para afrontar el problema de las fluctuaciones de la radiación solar y el viento, uno de los principales

retos de estos tipos de energía y así propiciar la flexibilidad y rapidez de respuesta en el sistema eléctrico.

Las aplicaciones en el sector eléctrico han posicionado al litio como un recurso energético de primera línea en el mercado mundial, especialmente en el segmento de baterías: la cadena de producción de este mineral parte con su extracción en los salares del norte grande del país, donde existe una costra superficial desde donde se extrae la salmuera, la cual se pone en diferentes piscinas, cuya agua se va evaporando por la acción del sol en el desierto, decantando en distintos compuestos. De cada una de las piscinas se extraen diversos minerales, entre los que se encuentra el carbonato de litio grado batería, que es el que se utiliza en el sector energético.

Los sistemas de almacenamiento a través de baterías de Ion-litio son la tecnología de mayor crecimiento en aplicaciones a gran escala y de electro movilidad. Actualmente existen alrededor de 460 proyectos a nivel global, alcanzado una capacidad instalada de 1.3 GW en sistemas de almacenamiento de este tipo operando a lo largo del mundo.

El principio de funcionamiento de estos sistemas se basa en la transformación de energía electroquímica en energía eléctrica mediante el proceso químico reversible de “Reducción- oxidación”. Las baterías de Ion-litio están compuestas por una o más celdas electroquímicas de litio.

En Chile, existen tres sistemas de este tipo operando: BESS Angamos, correspondiente a una batería de Ion-Litio de 20 MW capaz de aportar 5 MWh de

reserva en giro; BESS Cochrane de 20 MW capaz de aportar 5 MWh de reserva en giro y BESS Los Andes de 12 MW capaz de aportar 3 MWh de reserva en giro.

Entre las principales ventajas de las baterías de Ion-litio se encuentra que tienen una vida útil de hasta 10.000 ciclos de carga y descarga (7 a 15 años de operación), son las más eficientes del mercado (entre un 90% a 98%), presentan un menor tamaño en comparación a otros sistemas de almacenamiento debido a que posee una alta densidad energética, bajo nivel de autodescarga (0,2%) y bajos tiempos de respuesta.

Sin embargo, una de las principales desventajas e inconvenientes que presentan las baterías ion litio corresponde a su disposición final, ya que a pesar de que son reciclables aún se está desarrollando un tratamiento eficiente de todos los residuos que se generan.

Con respecto a los costos de capital, este se encuentra actualmente alrededor de los 500 US\$/kWh y se espera que esta cifra disminuya en un 28% en los próximos 5 años.

Un ejemplo de la aplicabilidad de este sistema de baterías es el de Hornsdale Power Reserve en Australia. Este ejemplo corresponde al sistema de baterías de Ión Litio en operación más grande del mundo y tiene una capacidad de almacenamiento de 129 MWh. El sistema se encuentra instalado al lado del parque eólico Hornsdale de 315 MW y conectado a éste. El objetivo es proporcionar mayor estabilidad y confiabilidad al sistema eléctrico.

## 2. Hidrógeno Verde

El hidrógeno puede ser producido usando combustibles fósiles a través de reformación de gas natural o mediante electrólisis. El principio de funcionamiento de este último consiste en utilizar un dispositivo llamado electrolizador, que emplea electricidad, agua y una membrana de intercambio de protones para producir este elemento. La producción de hidrógeno a partir de electricidad proveniente de ERNC se llama Hidrógeno verde, el que junto a sus aplicaciones puede evitar emisiones de gases de efecto invernadero, fortalecer la independencia energética y mitigar los desafíos de la variabilidad de los sistemas renovables.

Los sistemas de almacenamiento de energía mediante hidrógeno constan de tres etapas: la producción de hidrógeno, el almacenamiento a compresión del H<sub>2</sub> producido y su reconversión en electricidad o utilización como vector energético. A nivel mundial existen 8 proyectos en operación, alcanzando una capacidad instalada de 14 MW de sistemas de almacenamiento mediante hidrógeno ubicados principalmente en Alemania.

El hidrógeno puro generado se puede almacenar bajo presión en estanques de gas especiales durante largos periodos de tiempo para posteriormente obtener energía a partir de él de principalmente dos formas: Oxidación a través de pilas o celdas de combustible, dispositivos que combinan hidrógeno y oxígeno para producir electricidad, agua y calor de forma inversa a un electrolizador; y a través de la combustión o quema directa del hidrógeno como combustible para ser utilizado en motores, turbinas y calderas.

Las celdas o pilas de combustible son dispositivos que combinan hidrógeno y oxígeno produciendo electricidad, agua y calor, de forma inversa a un electrolizador. A diferencia de una batería, las celdas pueden operar continuamente mientras sean provistas de un “combustible”.

Gran cantidad de celdas de combustible funcionan, además de hidrógeno, con otros combustibles tradicionales que tienen un alto contenido de hidrógeno, como el gas natural, alcoholes o gasolina.

Las celdas de combustible pueden ser categorizadas como: alcalinas, membrana electrolítica de polímero (PEM), ácido fosfórico, de óxido sólido y de Carbonato fundido.

Debido a la versatilidad de los sistemas de almacenamiento de Hidrógeno, es posible instalar grandes baterías de Hidrógeno con celdas combustibles capaces de generar y almacenar a diferentes horarios. Esta capacidad de producción de energía eléctrica bidireccional, posee grandes ventajas técnicas y económicas que son muy ventajosas si se las compara con otros sistemas de generación de corto, mediano y largo plazo.

Entre las principales ventajas de los sistemas de almacenamiento de hidrógeno se encuentra que tienen una vida útil de hasta 30 años, permiten almacenamiento de energía a largo plazo (semanas e incluso meses de duración) y el hidrógeno posee una altísima densidad energética (600 Wh/L).

Sin embargo, una de las principales desventajas e inconvenientes que presentan los sistemas de almacenamiento de hidrógeno es que poseen una baja eficiencia

(alrededor del 40%) y costo de inversión de su tecnología es muy alto (0,8 MMUS\$/MWh para la solución completa de hidrólisis PEM).

### Hidrógeno verde, electromovilidad y la importancia para Chile

Uno de los pilares fundamentales y desafíos en la transición energética para poder lograr la descarbonización de la matriz y lograr una reducción de gases de efecto invernadero, corresponde a la electrificación de aplicaciones finales a partir de la penetración de ERNC en la matriz eléctrica. En esto, el hidrógeno juega un papel fundamental gracias a su aplicación en la electromovilidad.

Especialmente, el hidrógeno verde se utiliza en vehículos eléctricos a celdas de combustible (FCEV por sus siglas en inglés Fuel Cell Electric Vehicle) y en aquellas aplicaciones que demanden, entre otras características, bajos tiempos de recarga de combustible y altos rangos de autonomía.

El hidrógeno tiene, en términos de masa, 124 veces más energía que una batería eléctrica y 3 veces más que un auto a combustible, esta propiedad lo convierte un personaje idóneo en aplicaciones para camiones de alto tonelaje y altos rangos de autonomía, donde las baterías se vuelven inviables debido a los sus pesos asociados. Es aquí, donde las aplicaciones de hidrógeno se vuelven de gran interés para el sector minero.

En particular, durante el año 2016, la minería chilena utilizó más de 19 TWh de diésel, siendo los camiones en las minas de rajo abierto los que consumieron cerca

del 95% del combustible, por lo incorporar en los camiones un sistema dual Hidrógeno + Diesel se convierte en una gran oportunidad.

La Corporación de Fomento a la Producción (CORFO) ha impulsado programas de producción de hidrógeno mediante energía solar, con el que se busca desarrollar una solución tecnológica sustentable en los camiones de extracción que operan en el sector minero, viabilizando la transformación de la operación convencional hacia una operación basada en celdas de combustibles de hidrógeno y combustión dual de hidrógeno y diésel.

#### Marco regulatorio de Sistemas de Almacenamiento de Energía

Desde el año 2016 se ha incorporado en la legislación chilena las tecnologías de Sistemas de Almacenamiento de Energía, un tema que aún se encuentra muy incipiente, pero que irá definiendo el camino para una operación del Sistema Eléctrico más flexible. A continuación, se señala la normativa relevante:

1. Ley 20.936<sup>7</sup>

Como ya se mencionó en el capítulo IV, el 27 de julio de 2016 se publicó la Ley 20.936, la que establece un Nuevo Sistema de Transmisión Eléctrica y crea un Organismo Coordinador Independiente del Sistema Eléctrico Nacional”, la cual

<sup>7</sup> Vid. Ley 20.936, de 2016. Ministerio de Energía. Establece un nuevo Sistema de Transmisión Eléctrica y crea un organismo Coordinador Independiente del Sistema Eléctrico Nacional.

incorpora, entre otras, modificaciones a la remuneración y esquema de expansión de la transmisión eléctrica.

Esta ley es importante ya que define por primera vez el Sistema de Almacenamiento de Energía en su artículo 225° literal ad como *“Equipamiento tecnológico capaz de retirar energía desde el sistema eléctrico, transformarla en otro tipo de energía (química, potencial, térmica, entre otras) y almacenarla con el objetivo de, mediante una transformación inversa, inyectarla nuevamente al sistema eléctrico, contribuyendo con la seguridad, suficiencia o eficiencia económica del sistema, según lo determine el reglamento”*.

Además, se señala en su artículo 72°-2 que la coordinación se llevará a cabo mediante el Coordinador de acuerdo a la normativa vigente.

## 2. Reglamento de Coordinación y Operación del Sistema Eléctrico Nacional (en tramitación)

El reglamento de Coordinación y Operación del SEN tiene por objeto establecer las disposiciones aplicables a la coordinación y operación del Sistema Eléctrico Nacional, así como las demás materias necesarias para el adecuado ejercicio de las funciones del Coordinador Independiente del Sistema Eléctrico Nacional, y los derechos y deberes de los entes sujetos a dicha coordinación.

La importancia de este reglamento es que nos entrega una definición de Central Renovable con Capacidad de Almacenamiento, que se señala en su artículo 2° literal b como se señala: *“Central de generación eléctrica de energía renovable*

*compuesta por una componente de generación y una componente de almacenamiento, ambas con el mismo punto de conexión al sistema eléctrico. La componente de generación corresponde al equipamiento tecnológico para transformar energía primaria en energía eléctrica, en tanto la componente de almacenamiento es aquel equipamiento capaz de transformar la energía eléctrica producida por la componente de generación, en otro tipo de energía y almacenarla con el objetivo de, mediante una transformación inversa, inyectarla al sistema eléctrico”.*

Este reglamento, además, entrega definiciones sobre los modos de operación de las Centrales renovables con almacenamiento.

La aprobación de este reglamento permitiría entregar una normativa de manera de aprovechar de la mejor manera las aplicaciones señaladas anteriormente para centrales de ERNC con Sistemas de almacenamiento, disminuyendo las pérdidas de energía y manejando las variaciones de la generación y la demanda y promover el uso de este tipo de tecnologías.

### 3. Modificación DS N°62: Reglamento de Transferencia de Potencia (en tramitación)

Esta modificación es importante ya que se incorporan definiciones como Transferencias de Potencia Inicial para la Central Renovable con almacenamiento y otras definiciones de interés.

### 4. Reglamento de Servicios Complementarios (SS.CC)

La Ley General de Servicios Eléctricos DFL 4/20.008, en su artículo 225º, letra z) nos brinda una definición legal de los Servicios Complementarios, señalando que son *“recursos técnicos presentes en las instalaciones de generación, transmisión, distribución y de clientes no sometidos a regulación de precios con que deberá contar cada sistema eléctrico para la coordinación de la operación del sistema en los términos dispuestos en el artículo 137º. Son servicios complementarios aquellas prestaciones que permiten efectuar, a lo menos, un adecuado control de frecuencia, control de tensión y plan de recuperación de servicio, tanto en condiciones normales de operación como ante contingencias”*.

En otras palabras, los Servicios Complementarios son los requerimientos técnicos que necesita el sistema eléctrico para mantener la seguridad en sus operaciones y que actualmente, de acuerdo a lo señalado anteriormente, se enfocan, en al menos tres áreas: *“control de frecuencia* (responder adecuadamente a las variaciones de demanda y generación), *control de tensión* (responder adecuadamente a las variaciones de tensión que ocurran en los diferentes nodos del sistema) *y plan de recuperación del servicio* (responder adecuadamente a contingencias mayores, como por ejemplo grandes unidades de generación).

Las tecnologías de Sistemas de Almacenamiento de Energía que hemos mencionado se relacionan directamente con la provisión de los SSCC, ya que son reconocidas como tecnologías que puede proporcionar mayor flexibilidad y ayudar a mantener la seguridad de la red, es decir, apuntan en la línea de lo que se busca a partir de los Servicios Complementarios.

A partir del año 2020, el reglamento de Servicios Complementarios entrará en vigencia en el cual los SSCC se prestarán en base a Licitaciones o Subastas, y solo cuando esto no sea posible, se instruirá el servicio, tal como se señalará en el artículo 7º del Reglamento DS 113: *Los Servicios Complementarios requeridos por el Sistema Eléctrico Nacional deberán materializarse a través de procesos de licitaciones o subastas, estas últimas cuando el requerimiento sea de cortísimo plazo. De manera excepcional y sólo cuando las condiciones de mercado no sean competitivas o las licitaciones o subastas sean declaradas desiertas, el Coordinador podrá, a los Coordinados, instruir la prestación y/o instalación en forma directa y obligatoria en los términos que se señalan en el presente reglamento*”.

Cabe destacar el artículo 77º del nuevo reglamento el cual señala: *“En el caso que los Sistemas de Almacenamiento de Energía presten servicios materializados mediante subastas o licitaciones de SSCC, el Coordinador deberá resguardar y establecer la compatibilidad entre la prestación de Servicios Complementarios con servicios de distinta naturaleza, como el arbitraje de precios de energía, que el titular del Sistema de Almacenamiento de Energía esté habilitado para realizar según la normativa vigente. Sin perjuicio de lo anterior, la operación de los Sistemas de Almacenamiento de Energía para la prestación de Servicios Complementarios deberá ser considerada prioritaria respecto de los servicios anteriormente señalados*”.

Es decir, el mayor incentivo con respecto al uso de la tecnología a partir de litio e hidrógeno verde tiene relación con el hecho de que el reglamento señala que los Servicios de Almacenamiento que presenten mediante licitación, operarán con

prioridad en la prestación de los SSCC sobre el despacho económico de energía, favoreciendo el uso de esta tecnología.

## VI. CONCLUSIONES

Las Energías Renovables No Convencionales (ERNC) han alcanzado gran presencia en el mercado eléctrico chileno, en los últimos años, llegando a tener participación en la matriz instalada de alrededor del 20%, cumpliendo la meta que se esperaba para el año 2025. Estos avances, se han logrado gracias a los incentivos normativos que existen actualmente en la legislación, en particular a la ley 20.257, conocida como la Ley de Energías Renovables No Convencionales (ERNC), que corresponde a un instrumento de incentivo directo de Sistema de Cuotas, en la que se exige que una cantidad determinada de energía eléctrica sea prevista con energía renovable. Dicha ley, ha propiciado la inserción de energías de fuentes Renovables No convencionales, sin embargo, se ha podido observar que la participación de Energías Renovables No Convencionales (ERNC), se encuentra muy por sobre la obligación legal. Es por esto que la promoción de la ERNC es también atribuible a las favorables características del territorio chileno (vientos en el sur y radiación solar en el norte) y a la rápida disminución de los costos de inversión de algunas tecnologías (en particular la energía solar), llegando a ser mucho más competitivas con respecto a las energías convencionales.

Considerando lo señalado anteriormente, el desafío actual consiste en reducir la variabilidad fuentes de ERNC, debido a la intermitencia propia de su naturaleza, a partir de Sistemas de Almacenamiento de Energía, los cuales permiten evitar pérdidas de energía provenientes de fuentes No Convencionales y manejar las variaciones de la generación y la demanda y realizar la inyección cuando el sistema lo necesite.

Uno de los Sistemas de Almacenamiento que logran lo anteriormente señalado, corresponde a las Baterías Ion Litio, con 1.3 GW en capacidad instalada en el mundo, alcanzando un rápido crecimiento en aplicaciones a gran escala debido a su alta eficiencia, gran cantidad de ciclos de vida útil y a su práctico diseño modular. Por otro lado, el almacenamiento a partir de hidrógeno verde permite la integración, ya que ofrece una opción limpia, sustentable y flexible para convertir electricidad renovable en un portador de energía química para su uso en movilidad, uso residencial y aplicaciones industriales (no electrificables), por lo tanto, es un componente clave para avanzar a un sistema energético 100% descarbonizado. Además, se convierte en una opción especialmente favorable para Chile, debido a su adecuada tecnología en el uso de camiones mineros de alto tonelaje.

Desde un punto de vista más técnico, no existe una única tecnología de almacenamiento, sea baterías de ion-litio o almacenamiento de hidrógeno, superior a todos los demás sistemas de almacenamiento de energía, debido a que cada tecnología aporta una distinta característica y para escenarios diversos.

Para poder seguir avanzando en la promoción de energías de fuentes Renovables No Convencionales, se debe potenciar la entrega de estabilidad, flexibilidad y seguridad al sistema eléctrico, esto se puede lograr a través de los Servicios Complementarios (SSCC).

Los Servicios Complementarios son requerimientos técnicos que necesita el sistema eléctrico para mantener la seguridad en sus operaciones y que se enfocan en tres áreas: control de frecuencia, control de tensión y plan de recuperación del servicio.

En el reglamento de Servicios Complementarios que entrará en vigencia el próximo año se prestarán los SSCC en base a Licitaciones o Subastas. Esto generará un mayor incentivo con respecto al uso de la tecnología a partir de Batería Ion Litio e Hidrógeno verde ya que el reglamento señala que los Servicios de Almacenamiento que presenten mediante licitación, operarán con prioridad en la prestación de los SSCC e incentivando, en consecuencia, el uso de Energías Renovables No Convencionales (ERNC).

## VII. BIBLIOGRAFÍA

CLERC, JACQUES, OLMEDO, JUAN CARLOS, PERALTA, JAIME, SAAVEDRA, MARÍA LUISA, SAUMA, ENZO, URZÚA, IGNACIO, HERNANDO, ANDRÉS (2017): Energías Renovables en Chile, Hacia una inserción eficiente en la matriz eléctrica. (Colecciones de Estudios Públicos)

COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA (2019), Energía abierta (Fecha consulta, Septiembre 2019). Disponible en:  
<http://energiaabierta.cl>

DELOITTE, EQUIPO RESEARCH MPS (2016): “Sector energía III: ERNC, perspectivas y dificultades”. (Fecha de Consulta Septiembre, 2019). Disponible en:  
<https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/cl/Documents/energy-resources/cl-er-estudio-energ%C3%ADa-chile-parte3.pdf>

DELOITTE, EQUIPO RESEARCH MPS (2018): “Supercharged: Challenges and opportunities in global battery storage market”. (Fecha de Consulta Octubre de 2019). Disponible en:  
<https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/energy-resources/us-energy-and-resources-global-energy-storage-renewable.pdf>

(Fecha de Consulta Septiembre, 2019). Disponible en:

DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT (2018): Tecnologías del hidrógeno y perspectivas para Chile

ENGIE ENERGIA CHILE, BANCO DE BATEIAS BESS (2019), “2019: Año crucial para los Servicios Complementarios”. (Fecha de Consulta Octubre, 2019). Disponible en: [http://www.revistaei.cl/reportajes/2019-ano-crucial-los-servicios-complementarios/?utm\\_source=Newsletter+Grupo+Editorial+EDITEC&utm\\_campaign=a0d3a9f4ae-EMAIL\\_CAMPAIGN\\_2019\\_01\\_15\\_11\\_05&utm\\_medium=email&utm\\_term=0\\_24864427d2-a0d3a9f4ae-62130121#](http://www.revistaei.cl/reportajes/2019-ano-crucial-los-servicios-complementarios/?utm_source=Newsletter+Grupo+Editorial+EDITEC&utm_campaign=a0d3a9f4ae-EMAIL_CAMPAIGN_2019_01_15_11_05&utm_medium=email&utm_term=0_24864427d2-a0d3a9f4ae-62130121#)

GENERADORAS DE CHILE (2019), “Boletín del Mercado eléctrico, sector Generación” (Fecha de Consulta Septiembre, 2019). Disponible en:  
<http://generadoras.cl/media/page-files/817/Boletin%20Sector%20Generacion%20Marzo%202019.pdf>

GIZ (2018): Tecnologías del hidrógeno y perspectivas para Chile.

KELTY KURT (2011), “Tesla” (Fecha de Consulta Octubre, 2019). Disponible en: <https://www.tesla.com/blog/teslas-closed-loop-battery-recycling-program>

LAZARD (2018), “Lazard’s levelized cost of storage analysis—version 4.0”, (Fecha de Consulta Septiembre 2019). Disponible en: <https://www.lazard.com/media/450774/lazards-levelized-cost-of-storage-version-40-vfinal.pdf>

MÉNDEZ MUÑIZ, JAVIER Y RAFAEL GARCÍA CUERVO (2008): Energía Solar Fotovoltaica. (FC Editorial).

MENDOZA, MIGUEL Y JACOBS, DAVID (2009): Feed-in Tariffs Go Global: Policy in Practice, Renewable Energy World

MINISTERIO DE ENERGÍA, COMISION NACIONAL DE ENERGÍA (2018), “Anuario Estadístico de Energía” (Fecha de consulta: Septiembre, 2019). Disponible en: <https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2019/04/Anuario-CNE-2018.pdf>

MINISTERIO DE ENERGÍA, COMISION NACIONAL DE ENERGÍA (2019), “Reporte Mensual de ERNC, volumen n°37”. (Fecha de Consulta Octubre, 2019). Disponible en: [https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2019/09/RMensual\\_ERNC\\_v201909.pdf](https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2019/09/RMensual_ERNC_v201909.pdf)

MINISTERIO DE ENERGÍA, COMISION NACIONAL DE ENERGÍA (2017), “Reglamento de Coordinación y Operación; Sistemas de Almacenamiento” <https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2017/08/Mesa-N°-2-Reglamento-Cy-O-Sistemas-de-Almacenamiento-1.pdf>

MINISTERIO DE ENERGÍA, COMISION NACIONAL DE ENERGÍA (2018). “Ruta Energética 2018-2022”. (Fecha de Consulta Octubre, 2019). Disponible en: <https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2018/05/rutaenergetica2018-2022.pdf>

MINISTERIO DE ENERGÍA, GOBIERNO DE CHILE (2019): “Plan de descarbonización y retiro de centrales termoeléctricas a carbón en Chile” (Fecha de consulta; 15 de Octubre, 2019) Disponible en: [http://www.chilesustentable.net/wp-content/uploads/2019/07/Minuta-Anuncios-Descarbonizacion-04062019\\_CHS.pdf](http://www.chilesustentable.net/wp-content/uploads/2019/07/Minuta-Anuncios-Descarbonizacion-04062019_CHS.pdf)

MINISTERIO DE ENERGÍA (2018): “Las energías renovables no convencionales en el mercado eléctrico chileno” (Fecha de consulta: Octubre 2019). Disponible en: [http://www.minenergia.cl/mercadoernc/wp-content/uploads/2019/01/Libro\\_ERNC\\_Chile\\_completo\\_espv1.pdf](http://www.minenergia.cl/mercadoernc/wp-content/uploads/2019/01/Libro_ERNC_Chile_completo_espv1.pdf)

MINISTERIO DE ENERGÍA, Proyecto Estrategia de Expansión de las Energías Renovables en los Sistemas Eléctricos Interconectados (2014). “Energías

Renovables en Chile, El Potencial Eólico, Solar e Hidroeléctrico de Arica a Chiloé". (Fecha de Consulta Septiembre, 2019). Disponible en: [http://www.minenergia.cl/archivos\\_bajar/Estudios/Potencial\\_ER\\_en\\_Chile\\_AC.pdf](http://www.minenergia.cl/archivos_bajar/Estudios/Potencial_ER_en_Chile_AC.pdf)

MOCARQUER, S., Y RUDNICK, H (2005) "Recursos Renovables como Generación Distribuida en los Sistemas Eléctricos" (Fecha de consulta: 15 de Octubre, 2019). Disponible en: <http://www.systep.cl/documents/MocarquerRudnick.pdf>

MORENO, J. MOCARQUER, S. Y RUDNICK, H., (2006) "Generación Eólica en Chile: Análisis del Entorno y Perspectivas de Desarrollo" (Fecha de consulta: 14 de Octubre, 2019). Disponible en: <http://www.systep.cl/documents/Paper%20Generacion%20Eolica.pdf>

SANDIA NATIONAL LABORATORIES, OFFICE OF ELECTRICITY DELIVERY & ENERGY REALIABILITY (2017): "DOE Global Energy Storage Database". (Fecha de Consulta 14 de Octubre, 2019) Disponible en: <http://www.energystorageexchange.org/projects>

SHELL, WUPPERTAL INSTITUTE:Shell Hydrogen Study, Energy of te future? Sustainable mobility through Fuel Cells and H2.

WORLD ENERGY COUNCIL (2016), "World Energy Resources 2016". (Fecha de Consulta Septiembre, 2019). Disponible en: <https://www.worldenergy.org/assets/images/imported/2016/10/World-Energy-Resources-Full-report-2016.10.03.pdf>