



Pronósticos de la generación renovable eólica y solar fotovoltaica

Una comparación internacional



Edición:

Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Friedrich-Ebert-Allee 40
53113 Bonn • Alemania

Dag-Hammarskjöld-Weg 1-5
65760 Eschborn • Alemania

Nombre del proyecto:

Fomento de la Energía Solar en Chile
(Enfoque en Tecnologías de Concentración Solar)

Marchant Pereira 150
7500654 Providencia
Santiago • Chile
T +56 22 30 68 600
I www.giz.de

Responsable:

Rainer Schröder / Felipe Salinas

En coordinación:

Ministerio de Energía de Chile
Alameda 1449, Pisos 13 y 14, Edificio Santiago Downtown II
Santiago de Chile
T +56 22 367 3000
I www.minenergia.cl

Título:

Pronósticos de la generación renovable eólica y solar fotovoltaica

Autor:

Felipe Salinas
GIZ Chile

Aclaración:

Esta publicación ha sido preparada por encargo del proyecto "Fomento de la Energía Solar" implementado por el Ministerio de Energía y Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH en el marco de la cooperación intergubernamental entre Chile y Alemania. El proyecto se financia a través de la Iniciativa Alemana de Tecnología para la mejora del Clima (DKTI) del Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza, Obras Públicas y Seguridad Nuclear (BMUB). Sin perjuicio de ello, las conclusiones y opiniones de los autores no necesariamente reflejan la posición del Gobierno de Chile o de GIZ. Además, cualquier referencia a una empresa, producto, marca, fabricante u otro similar en ningún caso constituye una recomendación por parte del Gobierno de Chile o de GIZ.

Santiago de Chile, 09 de Febrero 2016

Contenido del informe

LISTADO DE ABREVIATURAS UTILIZADAS EN ESTE INFORME.....	4
1. INTRODUCCIÓN	5
1.1. SISTEMA CENTRALIZADO	5
1.2. SISTEMA DESCENTRALIZADO	5
1. CONCLUSIONES	6
2. COMPARACIÓN INTERNACIONAL	10
3.1. CALIFORNIA INDEPENDENT SYSTEM OPERATOR (CAISO).....	10
3.2. NEW YORK INDEPENDENT SYSTEM OPERATOR (NYISO).....	11
3.3. MIDWEST INDEPENDENT SYSTEM OPERATOR (MISO).....	12
3.4. ELECTRIC RELIABILITY COUNCIL OF TEXAS (ERCOT).....	13
3.5. PENNSYLVANIA NEW JERSEY MARYLAND INTERCONNECTION (PJM)	14
3.6. RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA (REE).....	15
3.7. 50 HZ.....	16
3.8. HYDRO-QUÉBEC	17
3.9. ADMINISTRACIÓN NACIONAL DE USINAS Y TRANSMISIONES ELÉCTRICAS (UTE)	18
3.10. ELECTRICITY SUPPLY COMMISSION (ESKOM)	19
3.11. ENERGINET.DK.....	20
3.12. NATIONAL GRID.....	21
3.13. RÉSEAU DE TRANSPORT D'ÉLECTRICITÉ (RTE).....	22
3.14. POWER SYSTEM OPERATION CORPORATION (POSOCO).....	23
3.15. STATE GRID CORPORATION OF CHINA (SGCC).....	24
BIBLIOGRAFÍA.....	25

Listado de abreviaturas utilizadas en este informe

ACESOL	Asociación Chilena de Energía Solar
BNE	Balance Energético Nacional
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CFC	Clorofluorocarbono
CIFES	Centro Nacional para la Innovación y Fomento de las Energías Sustentables
COCHILCO	Comisión Chilena del Cobre
CORFO	Corporación de Fomento a la Producción
DIRECON	Dirección General de Relaciones Económicas Internacionales del Gobierno de Chile
EDR	Estrategias de Desarrollo Regional
EE	Eficiencia Energética
ERNC	Energías Renovables no Convencionales
ESCO	Energy Services Company, contratos de desempeño energético
FOB	Cláusula de comercio internacional, que indica que el vendedor entrega la mercancía a bordo del buque
FOGAEE	Fondo de Garantía de Eficiencia Energética
FV	Fotovoltaico
GEI	Gases Efecto Invernadero
GLP	Gas Licuado del Petróleo
GN	Gas Natural
HCFC	Hidroclorofluorocarbono
IEA	Agencia Internacional de Energía
INDAP	Instituto de Desarrollo Agropecuario
ISO	Organización Internacional de Normalización
PAS	Norma para la medición de huella de carbono
PMM	Precio Medio de Mercado
PRIEN	Programa de Estudios e Investigaciones en Energía
SACH	Sistema Armonizado Chileno, Códigos Arancelarios
SIC	Sistema Interconectado Central
SII	Servicio de Impuestos Internos
SING	Sistema Interconectado del Norte Grande
SMRS	Sistema de Reporte y Medición Sustentable
SOFOFA	Sociedad de Fomento Fabril
SST	Sistemas Solares Térmicos
TIR	Tasa Interna de Retorno
TSC	Consortio de sustentabilidad
VAN	Valor Actual Neto
WBCSD	Consejo Empresarial Mundial de Desarrollo Sostenible
WRI	Instituto de Recursos Mundiales

1. Introducción

Para aportar a la discusión sobre qué tipo de sistema de predicción de generación renovable se podría adoptar en Chile en el presente documento se describen características de los sistemas que utilizan 15 operadores de redes de distintos países. Actualmente la discusión se centra en dos posibles esquemas (NREL, 2010):

1.1. Sistema Centralizado

El operador de red contrata directamente los servicios de creación y envío de pronósticos a terceros en base a características definidas, tales como: horas de actualización, horizonte de predicción, resolución espacial, temporal, entre otros. En algunos casos, el mismo operador de red puede generar los datos de pronósticos mediante modelos propios. Las empresas propietarias de parques eólicos o fotovoltaicos deben poner a disposición del operador toda la información necesaria para la confección del pronóstico.

1.2. Sistema Descentralizado

Las empresas operadoras de parques eólicos y fotovoltaicos entregan su pronóstico de generación al operador de red. Usualmente, las empresas contratan el servicio a un tercero, no obstante, el mismo parque podría generar sus datos de predicción mediante un modelo propio. En este caso, el pronóstico de generación es por cada parque y los requerimientos de horas de actualización, horizonte de predicción y resolución temporal son definidos por el operador del sistema. Éste corresponde al caso actual en Chile.

1. Conclusiones

En base a la revisión bibliográfica de 15 operadores de red se concluye que:

1. Casi todos los operadores disponen de un pronóstico centralizado de generación eólica (13/15 ver Tabla 1), independiente del tipo de mercado en el que operan. La mayoría ha optado por contratar servicios de proveedores especializados (10/15), en algunos casos más de uno, casi la mitad ha desarrollado modelos propios de pronóstico (6/15¹) y en algunos casos se utiliza una combinación de ambos (3/15).
2. Debido al reciente desarrollo de la generación fotovoltaica respecto a la eólica, sólo aquellos operadores con una penetración solar significativa (6/15 ver Tabla 1) – en su mayoría a nivel de distribución – tienen un pronóstico centralizado de generación fotovoltaica. No obstante, otros operadores (3/15 ver Tabla 1) se encuentran en proceso de diseñar e implementar un pronóstico centralizado debido a que se espera una rápida incorporación de estas fuentes de generación en sus redes durante los próximos años, en su mayoría a nivel distribuido.
3. En algunos casos los operadores que manejan mercados de oferta (4/9 ver Tabla 1) permiten que las compañías operadoras de parques eólicos envíen sus propios pronósticos de generación. No obstante, la justificación de este esquema difiere caso a caso y ésta vinculado principalmente a la operación del mercado más que a la operación eléctrica de la red.
4. Pocos operadores mantienen un sistema descentralizado de pronósticos (2/15 ver Tabla 1). Cabe destacar que en ambos casos se observan discusiones orientadas a generar un pronóstico centralizado.
5. La resolución espacial y temporal de los pronósticos, así como la frecuencia de actualización de los mismos difieren caso a caso, asociados a los requerimientos del operador de red para la operación en tiempo real y la programación de la operación (ver Tabla 2).
6. Para la mitad de los operadores estudiados (7/15, ver Tabla 3) la responsabilidad o perjuicios económicos de las desviaciones de los pronósticos recae a través de diversos mecanismos sobre los operadores de parques eólicos y fotovoltaicos.

¹ REE, UTE, Energinet, National Grid, RTE, SGCC

Tabla 1:

En la Tabla 1 se definen características de los sistemas de pronósticos analizados, enfocados en generación eólica (W) y fotovoltaica (PV).

	Operador de red	País	Sistema de Pronóstico	Tipo de mercado en que opera	Objetivo Renovables	Capacidad Instalada W / PV (GW)	Penetración Energía W / PV (%)	Proveedor de Pronóstico W / PV
1	CAISO	EEUU	Centralizado	Oferta	50% / 2030	6,0 / 8,7	9,5 / 4,9	1 / 1
2	NYISO	EEUU	Centralizado	Oferta	30% / 2015	1,9 / 0,5	3,3 ²	1 / En desarrollo
3	MISO	EEUU	Mixto	Oferta	0-30% / 2030	13,7 / 0,6	8 / -	1 / En plan
4	ERCOT	EEUU	Mixto	Oferta	10 GW / 2025	14,7 / 0,4	10 / -	1 / -
5	PJM	EEUU	Centralizado	Oferta	0-25% / 2025	6,6 / 2,3	1,9 / -	1 / En plan
6	REE	España	Mixto	Oferta	20% / 2020	23,0 / 4,4	18,4 / 3,2	4 / 1
7	50 Hz	Alemania	Centralizado	Oferta	80% / 2050	14,6 / 8,2	14,6 / 2	7 / 5
8	Hidro-Québec	Canadá	Centralizado	Integrado verticalmente	-	2,9 / -	2 / -	1 / -
9	UTE	Uruguay	Centralizado	Integrado verticalmente	90% / 2015	0,9 / 0,06	6 / -	3 / -
10	ESKOM	Sudáfrica	Descentralizado	Integrado verticalmente	17,8 GW / 2030	0,6 / 1,0	4 ²	-
11	Energinet	Dinamarca	Centralizado	Oferta	100% / 2050	4,9 / 0,6	39 / 2	2 / 1
12	National Grid	Inglaterra	Centralizado	Oferta	30% / 2020	35,0 / 4,6	15 / 6	1 / 1
13	RTE	Francia	Mixto	Oferta	40% / 2030	9,7 / 5,7	3,5 / 1	1 / 1
14	POSOCO	India	Descentralizado	Mixto	175 GW / 2022	22 / 4	7 ²	-
15	SGCC	China	Centralizado	Integrado verticalmente	20% / 2030	120 / 30	2,7 / -	1 / -

² Generación renovable

Tabla 2:

	Operador de red	Resolución Espacial	Day Ahead			Intraday		
			Resolución Temporal	Horizonte (hrs)	Actualizaciones diarias	Resolución Temporal	Horizonte (hrs)	Actualizaciones diarias
1	CAISO	Parque Área Región	Hora	216	1	Hora	7	24
2	NYISO	-	-	48	2	15 min.	8	4x24
3	MISO	Parque Nodo	-	168	24	5 min.	6	12x24
4	ERCOT	Parque Sistema	-	48	24	-	-	-
5	PJM	-	-	48	-	5 min.	6	6x24
6	REE	Parque	-	-	-	Hora	48	3x24
7	50 Hz	Área	15 min.	192	4	15 min.	8	4x24
8	Hidro-Québec	-	-	-	-	-	-	-
9	UTE	Parque	-	-	-	-	-	-
10	ESKOM	Parque > 1 MW	-	-	-	-	-	-
11	Energinet	-	-	-	-	-	-	-
12	National Grid	Parque > 2 MW	-	-	-	-	-	-
13	RTE	Parque Nodo Región País	-	72	4	-	-	24
14	POSO	Parque > 10 MW	-	-	-	-	-	4x24
15	SGCC	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 3:

	Operador de red	Responsabilidad o perjuicios económicos
1	CAISO	Penalizaciones sobre la diferencia mensual entre pronóstico y generación real.
2	NYISO	Penalizaciones si se entregan datos deficientes para la elaboración del pronóstico. La potencia máxima del parque eólico en cada intervalo de 15 minutos corresponde al último pronóstico disponible. Se penaliza el incumplimiento de este "techo".
3	MISO	-
4	ERCOT	La potencia máxima del parque eólico en cada intervalo de 5 minutos corresponde al último pronóstico disponible. Se penaliza el incumplimiento de este "techo" por sobre un 10% del valor de referencia.
5	PJM	-
6	REE	Penalizaciones en el mercado de balance intradiario dependientes de los recursos que son utilizados para balancear la red.
7	50 Hz	Pagos al TSO por potencia de balance utilizada por cada grupo de balance. El TSO paga incentivos a proveedores de pronóstico por mejorar la calidad.
8	Hidro-Québec	-
9	UTE	-
10	ESKOM	-
11	Energinet	Pagos al TSO por potencia de balance utilizada por cada grupo de balance.
12	National Grid	-
13	RTE	-
14	POSO	Pendiente implementación de penalización por desviaciones mayores al 30%,
15	SGCC	-

2. Comparación internacional

3.1. California Independent System Operator (CAISO)



CAISO es el operador independiente del estado de California (CAISO). El estado tiene como meta obtener un 33% de su energía al 2020 a partir de fuentes renovables, y recientemente se ha elevado esta cifra a un 50% para el año 2030 (California Energy Commission, 2015). El año 2015 California registró 6 GW eólicos y 8,7 GW fotovoltaicos instalados, y se estima que para el año 2014 la energía suministrada a partir de fuentes eólicas fue de un 9,5% y un 4,9% de fuentes fotovoltaicas.

CAISO opera dos mercados de oferta (*Day-Ahead* y *Hour Ahead*) y el año 2004 creó el Programa de Participación de Recursos Intermitentes (PIRP, siglas en inglés) para permitir a fuentes de generación intermitentes participar del mercado (CAISO). A los generadores del PIRP se les hacen cargos por desviaciones medidas mensualmente entre la generación programada y real, mientras que en el mercado convencional las desviaciones se miden cada 10 minutos. Para participar del PIRP cada parque eólico debe entregar datos suficientes para que el CAISO pueda generar su pronóstico de generación y debe ofertar consistentemente³ con el mismo (NREL, 2010). Para el año 2008 existía la intención de incorporar fuentes fotovoltaicas y de concentración térmica al PIRP (CAISO, 2007).

CAISO implementó un sistema centralizado de pronóstico eólico junto con la creación del PIRP (CAISO). Posteriormente desarrolló una licitación para la provisión del servicio, en la cual compitieron 3 empresas durante un año. La licitación se adjudicó a la empresa AWS Truewind. Por el servicio de pronóstico CAISO cobra a cada parque 0,10 \$/MWh (NREL, 2010). Para la creación del pronóstico los parques eólicos deben instalar una torre de medición y enviar: dirección y velocidad del viento a la altura de la turbina, temperatura ambiente, presión además de la generación agregada del parque cada 10 minutos. El proveedor de pronóstico entrega a CAISO para cada parque eólico un pronóstico de *Day Ahead* a las 5:30 a.m. del día anterior con resolución horaria y que cubre 9 días en adelante, además de actualizaciones horarias con horizonte de 7 horas (NREL, 2010) y resolución horaria (CAISO, 2007). CAISO recibe pronósticos con distinta resolución espacial (planta, área o región) (NREL, 2014) y el despacho se realiza cada 5 minutos (CAISO).

Respecto a pronósticos de generación fotovoltaica, CAISO ha desarrollado iniciativas en conjunto con AWS Truepower, Clean Power Research y la Universidad de San Diego (CAISO, 2011). Para generación distribuida existe un proyecto piloto dirigido por Clean Power Research que utiliza una base de datos detallada de los generadores distribuidos tales como: número de módulos fotovoltaicos, inversores, orientación, espaciamiento entre filas, entre otros (Clean Power Research, 2015). El operador recibe cada 30 minutos un pronóstico de generación que incluye más de 195.000 instalaciones "invisibles" para la red (Clean Power Research).

³ En caso de que existan desviaciones de la oferta respecto al pronóstico de CAISO mayores a 1 MW para cualquier hora, el parque eólico queda fuera de la participación del PIRP para esa hora.

3.2. New York Independent System Operator (NYISO)



NYISO es el operador independiente del estado de Nueva York (NYISO). El estado tiene como meta obtener un 30% de su energía al 2015 a partir de fuentes renovables (New York State) y recientemente se ha lanzado un programa para aumentar la generación distribuida en el estado que pretende conseguir 3 GW de capacidad instalada fotovoltaica al año 2023 (New York State). El año 2015 Nueva York registró 1,9 GW eólicos (New York State) y 0,5 GW fotovoltaicos (Solar Energy Industries Association) instalados, y se estima que para el año 2015 la energía suministrada a partir de fuentes renovables fue en torno a un 3,3% (U.S. Energy Information Administration).

NYISO opera dos mercados de oferta (*Day Ahead* y *Real Time*) existiendo la posibilidad de realizar contratos bilaterales físicos (NYISO, 2012). Los parques eólicos ofertan en el mercado de tiempo real, incluyendo su disposición a realizar vertimiento dependiendo del precio despejado (NYISO, 2009). Por otro lado, el mercado se establece cada 5 minutos, lo que incentiva a la generación convencional a proveer servicios de rampa para compensar la intermitencia (NYISO, 2012).

NYISO adopta un sistema de pronóstico centralizado de generación eólica el año 2008 (NREL, 2010) (Lawrence E. Jones, 2012). Se evaluaron distintas alternativas comerciales y fue seleccionado un proveedor, actualmente AWS Truewind (NREL, 2010) (NYISO, 2012). Por el servicio NYISO cobra un monto fijo de \$500 y un cargo variable de 7,5 \$/MW instalado. Por cada parque eólico se solicita: coordenadas de cada turbina, curva de potencia, disponibilidad, así como datos meteorológicos medidos preferentemente en torres meteorológicas independientes, los cuales deben ser transmitidos cada 30 segundos. Existen penalizaciones entre 500 o 20 \$/MW instalado en caso de que el parque eólico entregue sostenidamente datos deficientes. Cabe destacar que NYISO es el encargado de enviar la potencia eléctrica al proveedor del pronóstico cada 30 segundos. A partir de éstos datos, el proveedor del servicio entrega al operador de red pronósticos de *Day Ahead* con 2 actualizaciones diarias (4 a.m. y 4 p.m.) que cubren 2 días de operación, y actualizaciones intradiarias cada 15 minutos que cubren 8 horas en adelante. Cabe destacar que NYISO, utilizando su pronóstico centralizado y las ofertas de los parques determina qué parques deben ser limitados en caso de restricciones de red (NYISO, 2009). A modo de ejemplo, para cada intervalo de 15 minutos la potencia máxima despachable del parque eólico es enviada a través de un *set-point* automático, que corresponde al pronóstico previo. En caso de que el parque eólico incumpla con este techo máximo de generación, se aplican penalizaciones.

Respecto a generación distribuida, NYISO se encuentra trabajando en la integración de un pronóstico de generación solar fotovoltaica (NYISO, 2015).

3.3. Midwest Independent System Operator (MISO)



MISO es el operador independiente de 15 estados del centro de Estados Unidos y de la provincia canadiense de Manitoba (MISO). Los estados miembros que tienen objetivos de generación renovable son: Illinois (25% al 2025), Iowa (25% al 2025, 30% al 2030), Michigan (10% al 2015), Minnesota (25% al 2025), Missouri (15% al 2021), Montana (15% al 2015), North Dakota (10% al 2015), Ohio (25% al 2025), Pennsylvania (10% al 2020), South Dakota (10% al 2015) y Wisconsin (10% al 2015) (MISO). El año 2015 MISO registró 13,7 GW eólicos (Agus) y 0,6 GW fotovoltaicos (Solar Energy Industries Association) instalados y se estima que durante el mismo año un 8% de la generación provino de fuentes eólicas (MISO).

MISO opera dos mercados de oferta (*Day Ahead* y *Real Time*) (MISO). A partir del año 2010 se diseñó un mercado de despacho de fuentes intermitentes (DIR sigla en inglés) donde la generación eólica pudiera participar de forma eficiente. En el mercado *Day Ahead* no existen diferencias entre generadores eólicos y convencionales. Para el mercado de tiempo real los parques eólicos pueden ofertar 30 minutos antes de cada intervalo de mercado, y deben entregar también un pronóstico actualizable cada 5 minutos para la hora siguiente para que sea utilizado en el despacho, el cual se actualiza cada 5 minutos (MISO, 2011). Los generadores pueden escoger entre utilizar el pronóstico nodal producido por MISO o enviar su propio pronóstico (MISO, 2011) (EPRI Journal, 2015).

MISO adopta un sistema de pronóstico centralizado de generación eólica el año 2008, siendo Energy & Meteo Systems el proveedor del servicio y el operador quien paga por el producto (NREL, 2010). El pronóstico tiene una resolución de 5 minutos, se actualiza cada 5 minutos para las 6 horas siguientes y tiene una resolución nodal (MISO, 2011). Este pronóstico corresponde a un respaldo⁴ para los participantes del DIR y se ha calculado que un 32% de los parques eólicos entregan pronósticos propios (MISO, 2015). Para realizar el despacho se utiliza un pronóstico para los 7 días siguientes actualizado cada hora.

Respecto a generación distribuida, MISO se está preparando para enfrentar la necesidad de un pronóstico de generación fotovoltaica distribuida para el año 2017 (MISO, 2015).

⁴ Si el pronóstico del parque eólico no se recibe a tiempo, se usa el pronóstico centralizado en su reemplazo.

3.4. Electric Reliability Council of Texas (ERCOT)



ERCOT es el operador independiente del estado de Texas y suministra un 85% de su demanda (ERCOT, 2014). El estado tiene como meta instalar 10 GW de generación renovable para el año 2025, la cual ya ha sido alcanzada (NC Clean Energy Technology Center). El año 2015 Texas registró 14,7 GW eólicos (NERC, 2015) y 0,4 GW fotovoltaicos instalados (Solar Energy Industries Association), y se estima que para el año 2014 la energía suministrada a partir de fuentes eólicas fue en torno a un 10% (U.S. Energy Information Administration, 2015). Cabe destacar que ERCOT se encuentra conectado asincrónicamente con el resto de EEUU (Lawrence E. Jones, 2012).

ERCOT opera dos mercados de oferta (*Day Ahead* y *Real Time*) además de un mercado de servicios complementarios (FERC, 2015). Los parques eólicos participan del mercado de *Day Ahead* como un generador convencional y ERCOT requiere que utilicen su pronóstico centralizado para la programación de la operación, pudiendo ser ofertado un valor menor si no está disponible la capacidad total de la planta (NREL, 2010). El mercado de tiempo real re despacha generación cada 5 minutos basado en la generación actual de parques eólicos y se realiza vertimiento automático en caso de congestiones (ERCOT, 2014). Se cobra una multa a los parques eólicos que generen más del 10% del valor de referencia enviado por el despacho en situaciones de vertimiento.

ERCOT adoptó un sistema de pronóstico centralizado de generación eólica el año 2008, siendo AWS Truewind el proveedor del servicio y el operador quien paga por el producto (NREL, 2010) (Lawrence E. Jones, 2012). Los pronósticos se entregan cada hora para las próximas 48 horas, a nivel sistémico e individual por planta (ERCOT, 2014). Durante la operación del día, las entidades coordinadoras de parques eólicos pueden utilizar pronósticos propios en la medida que superen el desempeño del pronóstico de ERCOT (NREL, 2010). Para la creación del pronóstico centralizado se utiliza la generación observada, la capacidad y modelo de cada turbina, número total, altura promedio de rotor y localización geográfica. Adicionalmente, ERCOT requiere datos meteorológicos tales como velocidad y dirección de viento, temperatura y presión.

Respecto a generación solar fotovoltaica, ERCOT se encuentra actualmente estudiando alternativas (ERCOT, 2015).

3.5. Pennsylvania New Jersey Maryland Interconnection (PJM)



PJM es el operador independiente de 13 estados del este de Estados Unidos. Los estados miembros que tienen objetivos de generación renovable son: New Jersey (24% al 2027), Maryland (20% al 2022), Washington (20% al 2020), Pennsylvania (18% al 2020), Delaware (25% al 2025), Illinois (25% al 2025), Ohio (25% al 2025), North Carolina (12% 2021), Michigan (10% al 2015) y Virginia (15% al 2025) (MISO) (PJM). El año 2015 PJM registró 6,6 GW eólicos (PJM, 2015) y 2,3 GW fotovoltaicos, y se estima que el año 2014 un 1,9% de la generación provino de fuentes eólicas (PJM, 2015).

PJM opera dos mercados de oferta (*Day Ahead* y *Real Time*), existiendo la posibilidad de realizar contratos bilaterales, además de un mercado de potencia y de un gran número de servicios complementarios (PJM). El mercado en tiempo real opera en una base de 5 min. Los parques eólicos deben ofertar en el mercado (PJM).

PJM adoptó un sistema de pronóstico centralizado de generación eólica el año 2009, siendo Energy & Meteo Systems el proveedor del servicio y el operador quien paga por el producto (NREL, 2010). Se utilizan 4 tipos de pronósticos: largo plazo de un horizonte de 48 a 168 horas – principalmente para realizar el programa en días feriados y fines de semana -, pronósticos de *Day Ahead* de 6 a 48 horas en adelante, y actualizaciones intradiarias cada 10 minutos, con resolución de 5 minutos para las siguientes 6 horas, y por último un pronóstico de rampa (PJM). Para la creación del pronóstico centralizado se requiere la instalación de al menos una torre meteorológica en sitio para el envío de velocidad y dirección de viento (NREL, 2010) (PJM), además del envío de datos de cada turbina como clase y capacidad, velocidad mínima y máxima de viento, curva de potencia, localización geográfica y altura de rotor, además de la capacidad de transmisión ante baja temperatura del parque (denominados *cold weather package*) (PJM). Además, cada unidad eólica debe enviar su potencia activa, dirección y velocidad de viento al SCADA (PJM). Las unidades también deben reportar desconexiones⁵ para el ajuste del pronóstico centralizado (PJM).

Actualmente PJM no realiza un pronóstico solar fotovoltaico para instalaciones *behind the meter* u otro tipo de generación distribuida, pero se encuentra dentro de sus planes incluirlos en el pronóstico de demanda mediante un modelo propio (PJM, 2015).

⁵ Las desconexiones por baja velocidad de viento no deben ser notificadas ya que esto se encuentra incluido en el pronóstico centralizado.

3.6. Red Eléctrica de España (REE)



REE es el operador de transmisión (TSO siglas en inglés) de España peninsular e insular (REE). El país tiene como objetivo obtener el 20% de su energía eléctrica a partir de fuentes renovables al 2020 (Deloitte). Al año 2015 España registró 23 GW eólicos, 4,4 GW fotovoltaicos y 2,3 GW solar térmicos instalados, y se estima que el año 2015 en el sistema peninsular un 18,4% de la energía provino de fuentes eólicas y un 3,2% a partir de fuentes fotovoltaicas (REE, 2015).

REE opera en el contexto de dos mercados de ofertas (*Day Ahead* e Intradía) administrado por el Operador del Mercado Ibérico de Energía (OMIE) que agrupa también al mercado de Portugal (OMIE) (CEPRI, 2012). Se permite la existencia de contratos bilaterales, mercados a plazo y mercado de servicios de ajuste. La generación renovable variable puede escoger realizar ofertas en el mercado *Day Ahead* para lo cual debe enviar un pronóstico de generación al operador del sistema (Kraad, Schroedter-Homscheidt, & Madlener, 2013). En caso de existir desviaciones significativas entre la generación programada y real, pagan multas en el mercado intradía, dependiendo de los recursos que sean utilizados para balancear la red.

REE implementó un pronóstico centralizado de energía eólica, que comienza hace más de una década a partir de un modelo propio llamado SIPREOLICO (Lawrence E. Jones, 2012) (REE, 2006) (CEPRI, 2012). El pronóstico centralizado crea un pronóstico de generación para todos los parques eólicos del sistema y se entregan pronósticos horarios con un horizonte de 48 horas (por región o por nodo), actualizado cada 20 minutos (Lawrence E. Jones, 2012). Para la confección del pronóstico se utilizan 4 proveedores diferentes (SIPREOLICO, AEOLIS, IIC y Meteorológica) y se combinan dando distintos pesos a los mismos. Cabe destacar que dentro de los desafíos que conlleva el pronóstico y control de generación eólica es que un 40% de la energía conectada se encuentra a nivel de distribución

Para el pronóstico de generación fotovoltaica REE utiliza un pronóstico centralizado provisto por la empresa SteadySun, los cuales están basados en imágenes satelitales y datos meteorológicos (SteadySun, 2015).



3.7. 50 Hz

50 Hz es uno de los 4 operadores de transmisión (TSO) de Alemania y el responsable del noreste del país (GIZ, 2015). El país tiene como objetivo obtener un 80% de su energía a través de generación renovable al 2050 (Clean Energy Wire, 2015). Al año 2014, se registraron 14,6 GW eólicos y 8,2 GW fotovoltaicos instalados y se estima que el año 2014 un 14,6 % provino de fuentes eólicas (50 hz, 2014) y un 2% a partir de fuentes fotovoltaicas en su área de control (PV Magazine, 2015) (Fraunhofer).

En Alemania existen dos mercados de oferta (*Day Ahead* e *Intraday*), además de un mercado de futuros y de potencia de balance (GIZ, 2015). En el mercado de *Day Ahead* se realizan subastas de energía horaria, y es posible realizar intercambios intradiarios en base horaria o en 15 minutos. Los generadores se coordinan en grupos de balance, los cuales deben compensarse en cada intervalo de mercado. En el caso de la generación renovable, ésta accede a *Feed in Tariffs* y para emitir transacciones necesitan de un pronóstico preciso de *Day Ahead* y de corto plazo, lo que les permite reducir los pagos por la potencia de balance utilizada por el TSO para su grupo. Los resultados del pronóstico centralizado del operador pueden ser utilizados por los agentes del mercado para tomar decisiones en sus ofertas.

50 Hz adopta un sistema de pronóstico de generación eólica centralizado con múltiples proveedores, entre los cuales se encuentran Energy & Meteo Systems, EuroWind, Fraunhofer IWES, MeteoGroup, WEPROG, Meteologica y Weatherhouse siendo el operador quien paga por el servicio (Lawrence E. Jones, 2012) (50 Hz, 2015). En el caso fotovoltaico se utilizan 5 proveedores: Meteocontrol, Energy & Meteo Systems, Enercast, EnergyWeather y Meteologica (50 Hz, 2015). Los TSO pagan incentivos a estas empresas por pronósticos precisos. El pronóstico a nivel del TSO se utiliza también para información de la red y análisis de seguridad. Cabe destacar que dentro de los desafíos que conlleva el pronóstico y control es que el 90% de la generación eólica está conectada a nivel de distribución (Lawrence E. Jones, 2012), así como virtualmente la totalidad de la generación fotovoltaica. Los TSO en Alemania tienen limitado acceso a medidas de generación renovable variable, siendo los distribuidores quienes tienen visibilidad de plantas mayores a 100 kW (GIZ, 2015). Por esta razón, se utilizan puntos representativos de la red para la creación del pronóstico. En el caso fotovoltaico, el método de pronóstico considera 383⁶ sistemas representativos para pronosticar más de 200.000 instalaciones, que toma en cuenta la distribución geográfica, la orientación de los sistemas y los tipos de módulos (IESO, 2010). 50 Hz utiliza para la operación en tiempo real y programación pronósticos de corto plazo de 15 minutos de resolución, horizonte de 8 horas y actualizados cada 15 minutos, y pronósticos de *Day Ahead* de 15 minutos de resolución, 8 días de horizonte y actualizados hasta 4 veces al día (EGI, 2016).

⁶ En el área de 50 Hz y Transpower

3.8. Hydro-Québec



Hydro-Québec corresponde a una empresa integrada verticalmente de la cual es dueña el estado de Québec, encargada de la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica en el estado (Hydro-Québec). Dado que la empresa genera el 99% de su energía a partir de fuentes renovables⁷ no existen objetivos específicos de generación renovable de otras fuentes, no obstante se están realizando esfuerzos para el desarrollo de energía eólica, en base a la compra a productores independientes (Hydro-Québec, 2015). Al año 2015 Québec registra 2,9 GW instalados de generación eólica (CANWEA, 2015) mientras que recientemente se ha comenzado la instalación de generación fotovoltaica distribuida, y se estima que un 2% de su generación el año 2014 provino de fuentes eólicas (Hydro-Québec, 2015).

La filial de distribución de Hydro-Québec dispone de 165 TWh por año provistos de la filial de generación y para contratar más energía debe realizar licitaciones abiertas, en las cuales la filial de generación debe ser tratada en mismas condiciones respecto a productores independientes (Hydro-Quebec).

Hydro-Québec adopta un sistema de pronóstico centralizado de generación eólica en el 2006 (NREL, 2010), siendo Environment Canada el proveedor del servicio e Hydro-Québec quien paga por el producto. El foco del sistema de predicción se concentra más en el largo plazo que en el corto plazo, debido al gran porcentaje de hidroelectricidad y embalses del sistema. Las compañías operadoras de parques eólicos deben entregar a Hydro-Québec datos para cada turbina incluyendo disponibilidad, curva de potencia, información del sistema de control e información sobre *cold weather packages*, que puede mejorar la capacidad de transmisión en periodos de frío, a la vez que se piden datos en línea (incluyendo promedio, máximo, mínimo y desviación estándar) de potencia activa, dirección de nacelle respecto al norte, posición de las aspas en grados, temperatura a la altura de la cabeza velocidad y dirección de vientos medidos a la altura del rotor.

⁷ Incluyendo hidroeléctricas de gran tamaño

3.9. Administración Nacional de Usinas y Transmisiones Eléctricas (UTE)



UTE es una empresa integrada verticalmente encargada de la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica en Uruguay (UTE). No obstante, la actividad de generación eléctrica es libre y el sistema de transmisión tiene acceso libre (Programa de Energía Eólica). El objetivo del país es generar un 90% de su energía eléctrica a partir de fuentes renovables⁸ al año 2015, basado principalmente en el desarrollo eólico. Al año 2015 Uruguay registró 0,9 GW eólicos (Programa de Energía Eólica, 2015) y 0,06 GW fotovoltaicos (PV Magazine, 2015), y se estima que un 6% del suministro eléctrico provino de energía eólica (Presidencia Uruguay, 2015).

Para realizar el despacho UTE dispone de sus propias fuentes de generación, además de la posibilidad de comprar energía a productores independientes, a la central binacional compartida con Argentina Salto Grande u a través de las interconexiones con Brasil (DC) y Argentina (AC) (GIZ, 2015). Dada la alta componente hidráulica de Uruguay, el despacho es realizado a través de modelos hidrotérmicos que dan cuenta del valor del agua, utilizando costos variables de generación térmica, costos de importación y costos de falla (UTE). Respecto a la integración de energía eólica al despacho, se considera que estas tienen un costo variable nulo y serán despachadas siempre que estén disponibles y no exista una restricción operativa establecida por el despacho (IMPO). En este contexto, el despacho de las fuentes de generación es similar a la operación en los sistemas eléctricos chilenos.

El año 2011 UTE firmó un acuerdo con la Universidad de la república para desarrollar un modelo de predicción eólica centralizada (GIZ, 2015) (Universidad de la república - facultad de ingeniería). Adicionalmente se han contratado otros dos proveedores del servicio que realizan el pronóstico a todos los parques eólicos del sistema (UTE, 2014).

⁸ Incluyendo la hidroelectricidad



3.10. Electricity Supply Commission (ESKOM)

ESKOM es una empresa integrada verticalmente que genera, transmite y distribuye cerca del 95% de la energía de Sudáfrica (ESKOM). El país tiene como objetivo la instalación de 17,8 GW al año 2030, de los cuales 8,4 GW son eólicos, 8,4 GW fotovoltaicos y 1 GW de concentración solar térmica (GIZ, 2015). Al año 2014 el país registró 0,6 GW eólicos (Global Wind Energy Council, 2014), 1 GW fotovoltaicos (IHS, 2015) y 0,1 GW de concentración solar térmica instalados (Erwind, 2015), y se estima que al año 2013 un 4% provino de generación renovable (Wall Street Journal, 2013).

ESKOM es el único comprador y el generador mayoritario de energía del país (GIZ, 2015) (Click and Compare, 2015). Se permite la participación de productores independientes hasta un 30% del total de energía, los cuales deben negociar bilateralmente el precio de venta con ESKOM (Click and Compare, 2015). Para fijar el precio de venta de la energía, ESKOM propone la metodologías de cálculo y los precios deben ser aprobados por el ente regulador de Sudáfrica (NERSA) (ESKOM, 2015). El despacho es realizado mediante principios económicos, sin indicadores de mercado (GIZ, 2015).

A la fecha, ESKOM se encuentra en proceso de implementar un sistema centralizado de predicción a nivel agregado (GIZ, 2015) (GIZ). Previo a esto, para realizar el despacho ESKOM solicitaba a todas las plantas mayores a 1 MW el envío de un pronóstico de generación, no obstante, no existían incentivos para la provisión de un pronóstico adecuado debido a que no existía ningún tipo de penalización por las desviaciones entre generación programada y real.



3.11. Energinet.dk

Energinet es una entidad pública dependiente del ministerio danés de clima y energía, es dueña y opera los principales sistemas de transmisión de electricidad y gas (Energinet.dk). El país tiene como objetivo obtener un 100% de su energía eléctrica a partir de fuentes renovables para el año 2050 (CLEANTECH, 2014). Al año 2014 Dinamarca registró 4,9 GW eólicos y 0,6 GW fotovoltaicos, y se estima que un 39% de la energía consumida fue eólica y un 2% fotovoltaica (Energinet). Por razones históricas, el sistema eléctrico está dividido en dos áreas⁹ que no están sincronizadas entre sí, ambas a 50 Hz (CEPRI, 2012).

Energinet está inserto en el mercado del *Nord Pool*¹⁰, el cual coordina mercados de ofertas de *Day Ahead* e *Intraday* (Nord Pool Spot), además de un mercado de balance en tiempo real. En Dinamarca los generadores eólicos participan de ambos mercados, comúnmente bajo la figura de cooperativas (Wind Energy The Facts). En el mercado de *Day Ahead* se transa la mayoría de la energía, cierra a las 12:00 del día anterior y los resultados se publican a las 12:45 (Nord Pool Spot). El mercado *Intraday* es un mercado continuo que cierra 1 hora antes de la hora de entrega de la energía, para cada hora del día. Para resolver las desviaciones en tiempo real, todos los productores y consumidores de electricidad se agrupan en grupos responsables de balance (BRP siglas en inglés), que participan del mercado de balance – pre y post operativo – que involucra ofertas de los participantes para proveer reservas positivas o negativas en el cual el único comprador es el operador del sistema (Energinet, 2011) (Energinet, 2008). Luego de cada periodo, el operador del sistema aplica penalizaciones a aquellos BRP que se desvían de su programa contratado (Pinson, 2013). Los parques eólicos pueden participar del mercado de balance, siendo la mínima oferta de 10 MW, para lo cual se pueden agrupar parques (GIZ, 2015).

Energinet utiliza un pronóstico centralizado eólico que considera dos herramientas de predicción, una externa y otra interna (Lawrence E. Jones, 2012) (CEPRI, 2012). La motivación de un pronóstico preciso aparece por la incorporación en el mercado de la generación eólica, en particular en el mercado de balance en el cual el comprador es el operador (GIZ, 2015). La gran mayoría de las turbinas se conectan a nivel de distribución, por lo cual el operador no tiene visibilidad completa de las plantas que controla (Lawrence E. Jones, 2012).

Respecto a generación distribuida, Energinet a partir del 2012 ha incorporado un pronóstico centralizado de generación fotovoltaica, en base a 100 áreas representativas. En el futuro se espera que este modelo utilice medidas de más de 1000 instalaciones fotovoltaicas (Energinet).

⁹ Una conectada sincronamente con el *Nord Pool* y otra con Europa continental

¹⁰ Países miembros: Noruega, Suecia, Finlandia, Estonia, Lituania, Dinamarca, Latvia, Alemania e Inglaterra

3.12. National Grid

National Grid opera y es dueño del sistema de transmisión eléctrico (TSO) y de gas del Reino Unido (National Grid). El país tiene como objetivo obtener el 30% de su energía eléctrica a partir de fuentes renovables al año 2020 (Full Fact). Al año 2015 el Reino Unido registró 35 GW eólicos (Renewable UK) y 4,6 GW fotovoltaicos instalados (ENTSO-E, 2015), y se estima que un 15% de la energía generada el 2014 provino de fuentes eólicas (Business Grenn, 2015) y un 6,1 % de fotovoltaicas (Solar Power Portal, 2015).

National Grid opera en el contexto de un mercado de ofertas (*Day Ahead* y *Half Hour Day Ahead*) el cual es manejado por APX, el operador independiente de mercado, existiendo la posibilidad de establecer contratos independientes también (APX group) (Energy UK, 2014). El mercado de *Day Ahead* cierra a las 11:00 y se publican los resultados a las 11:42 del día anterior y es horario (APX group), mientras que el *Half Hour Day Ahead* cierra a las 15:30 y se publican resultados a las 15:45 para las 48 medias horas siguientes. El mercado de balance – entre otros servicios complementarios – es operado por National Grid (National Grid).

National Grid realiza su propio pronóstico de generación eólica para las plantas visibles¹¹ en su red, con la intención de modelar todas las plantas mayores a 2 MW a la vez que realiza un pronóstico de generación solar fotovoltaica distribuida (BM reports) (National Grid, 2014). Para éste último, se realizan análisis sobre los cambios en la demanda al variar la radiación solar, la cual se mide en distintos puntos de la red a través de 40 estaciones meteorológicas (National Grid, 2014). Nuevos ajustes al sistema incluirían un sistema de resolución horaria con 4 actualizaciones diarias.

¹¹ Aquellas que entregan señales al operador



3.13. Réseau de Transport d'Électricité (RTE)

RTE es el operador y dueño del sistema de transmisión eléctrico (TSO) de Francia (RTE). El país tiene como objetivo obtener un 40 % de su generación eléctrica a partir de fuentes renovables para el año 2030 (Energy Transition, 2015). Al año 2015 RTE registra 9,7 GW eólicos y 5,7 GW fotovoltaicos (RTE, 2015) instalados, y se estima que el año 2014 un 3,5 % de la energía eléctrica provino de fuentes eólicas y un 1,1 % de fuentes fotovoltaicas (RTE, 2014).

La operación de RTE está inserta en un mercado de ofertas de *Day Ahead* e *Intraday*, manejado por EPEX SPOT¹² (EPEX), además de la posibilidad de realizar contratos bilaterales y la existencia de mercados de balance, pre y post operativos (EWEA, 2010). La generación eólica participa del mercado como cualquier otra fuente de energía.

RTE maneja un pronóstico centralizado de energía eólica y fotovoltaica, denominados PREOLE (Lawrence E. Jones, 2012) (RTE, 2015) y PHOSPHOR respectivamente, a partir de los datos entregados por el servicio meteorológico de Francia, Météo France (Henry, Panciatici, & Parisot), actualizado 4 veces al día y con un horizonte de 72 horas. Tanto para la energía eólica como solar fotovoltaica, se utiliza un pronóstico de *Day Ahead* y actualización intradiarias horarias, en diferentes niveles de agregación (País, Regiones, Subestaciones y parques eólicos) (RTE) (RTE, 2011). Más del 95 % de las inyecciones de energía eólica son a nivel de distribución, así como virtualmente toda la generación fotovoltaica (RTE, 2011). Por lo mismo, RTE creó un proyecto de telemetrización que le permitiera aumentar su observabilidad sobre la capacidad instalada eólica, consiguiendo incluir a un 74 % de la capacidad instalada a este sistema. El modelo PREOLE es estadístico y entrenado en datos históricos de producción medidos para cada parque. En parques conectados a nivel de distribución, estos datos son recolectados por el distribuidor y enviados a RTE cada mes. Los operadores de parques eólicos pueden escoger otra forma de elaborar sus pronósticos.

¹² Participan de este mercado además Alemania, Austria y Suiza, dueño de APX que administra el mercado del Reino Unido, Holanda y Bélgica.



3.14. Power System Operation Corporation (POSOCO)

POSOCO es el operador de red del sistema eléctrico de la India (POSOCO). El país tiene como objetivo instalar 175 GW de energías renovables, de los cuales 60 GW son eólicos y 100 GW solares para el año 2022 (Climate Policy Initiative, 2015) (SeeNews renewables, 2015). Al año 2015 India registra 22 GW eólicos y 4 GW fotovoltaicos (PV Magazine, 2015) instalados, y se estima que al 2015 un 7% de la energía del país provino de fuentes renovables (MNRE, 2015). Debido a la extensión del territorio del país, el sistema se compone de un operador de red nacional, 5 operadores regionales y operadores estatales (Pandey, 2007). Cabe destacar que la transformación de un sistema verticalmente integrado a la de un operador de red ha sido relativamente reciente en India, a partir del 2003.

En India la mayoría de la energía se transa a través de *Power Purchase Agreements* y existe un mercado spot (IEX), que maneja un mercado *Day Ahead* y e *Intraday* (GIZ, 2015), dónde se transa en torno a un 6% de la energía producida (IEX, 2014). Los actores del mercado también pueden crear contratos bilaterales de corto y largo plazo y estos son incorporados en los programas de generación (Pandey, 2007). Las plantas de generación renovables son tratadas como *must run units* (IEX, 2014).

Para aumentar la calidad de los pronósticos de generación, el regulador impuso en el 2013 a plantas de generación eólica mayores a 10 MW que deben enviar pronósticos de generación con resolución de 15 minutos (GIZ, 2015). Si los pronósticos se desvían más de un 30%, se aplican penalizaciones. Los parques fotovoltaicos deben enviar un pronóstico también pero no son multados. Debido a una serie de discusiones con la industria eólica, el mecanismo está bajo revisión, siendo pospuestas la introducción de penalizaciones. Recientemente, se ha propuesto que el pronóstico de generación renovable sea realizado a nivel de operadores estatales, regionales y nacional (GIZ, 2015).

3.15. State Grid Corporation of China (SGCC)



La SGCC es una empresa propiedad del estado de China, la cual construye y opera redes eléctricas en este país y provee de energía en torno a un 88% del país (SGCC) (Zpryme Smart Grid Insights, 2012). El país tiene como objetivo obtener un 20% de su generación eléctrica a partir de fuentes renovables al año 2030 (The Climate Group, 2015). Al año 2014 china registra 120 GW de energía eólica (Zhang P.) y 30 GW fotovoltaicos instalados (PV Magazine, 2015), y se estima que un 2,7 % de la energía eléctrica del país provino de fuentes eólicas (IEA).

El mercado eléctrico en China se compone en más de un 90% de generadores pertenecientes al estado (Zhang Q.). En el sector de generación las empresas pueden competir, existiendo un único comprador, el cual corresponde a una de las dos compañías de red (SGCC o China Southern Grid Company). Actualmente no se utiliza un despacho económico, a pesar de que han existido varios intentos para generar una transición fuera de un modelo de planificación central (NREL, 2015). Las unidades no son despachadas por orden de mérito, si no en base a horas de operación dependientes del tipo de generación. Respecto a generación renovable, el 2007 se promulgaron medidas que requieren que las compañías de red compren toda la generación renovable disponible, sujeta a restricciones de seguridad.

SGCC ha desarrollado un modelo de pronóstico eólico centralizado a partir de un desarrollo de su subsidiaria de investigación (CEPRI) y el *National Center for Atmospheric Research* (NCAR) (NCAR). CEPRI también condujo una investigación para determinar cuál debería ser el sistema de pronóstico a implementar en China a partir de una revisión internacional (CEPRI, 2012). A la fecha de dicho estudio, en China eran utilizados pronósticos centralizados en los centros de despachos, y las compañías operadoras de parques eólicos no jugaban un rol en éste. Dentro de las propuestas del CEPRI se encuentra que cada parque eólico tenga su propio pronóstico y una torre de medición meteorológica, mientras se propone que la función del operador sea de recibir los resultados de pronósticos y desde los parques eólicos. Finalmente, se propone que los parques sean evaluados y despachados según su mérito de pronóstico.

Bibliografía

- [1] NREL, «Status of Centralized Wind Power Forecasting in North America,» 2010.
- [2] CAISO, «Understanding the ISO,» [En línea]. Available: <http://www.caiso.com/about/Pages/OurBusiness/Default.aspx>. [Último acceso: 6 1 2016].
- [3] California Energy Commission, «Renewable Energy Overview,» 2015.
- [4] CAISO, «Incorporation of Wind Power Resources Into the California Energy Market».
- [5] CAISO, «Integration of Renewable Resources,» 2007.
- [6] NREL, «A Review of Variable Generation Forecasting in the West,» 2014.
- [7] CAISO, «CAISO Wind & Solar Forecasting R & D Activities,» 2011.
- [8] Clean Power Research, «Integration of Behind the Meter PV Fleet Forecasts into Utility Grid System Operations,» 2015.
- [9] Clean Power Research, «Distributed solar production forecast for the California ISO,» [En línea]. [Último acceso: 22 12 2015].
- [10] NYISO, «About us,» [En línea]. Available: <https://home.nyiso.com/who-we-are/>. [Último acceso: 6 1 2016].
- [11] New York State, «History of the NYS Renewable Portfolio Standard,» [En línea]. Available: <http://www.nyserda.ny.gov/All-Programs/Programs/Main-Tier/History>. [Último acceso: 6 1 2016].
- [12] New York State, «Governor Cuomo Launches Program to Transform New Yorks Solar Market Into Self-Sustaining Industry,» [En línea]. Available: <https://www.governor.ny.gov/news/governor-cuomo-launches-program-transform-new-yorks-solar-market-self-sustaining-industry>. [Último acceso: 6 1 2016].
- [13] Solar Energy Industries Association, «State Solar Policy,» [En línea]. Available: <http://www.seia.org/state-solar-policy/new-york>. [Último acceso: 6 1 2016].
- [14] U.S. Energy Information Administration, «New York State Profile and Energy Estimates,» [En línea]. Available: <http://www.eia.gov/state/?sid=NY#tabs-4>. [Último acceso: 6 1 2016].
- [15] NYISO, «Integration of Wind Resources in the New York Electricity Markets,» 2012.
- [16] NYISO, «Wind Forecasting and Curtailment Experience at NYISO,» 2009.
- [17] Lawrence E. Jones, «Strategies and Decision Support Systems for Integrating Variable Energy Resources in Control Centers for Reliable Grid Operations,» 2012.
- [18] NYISO, «NYISO Launches New Solar Study,» 2015.
- [19] MISO, «About Us,» [En línea]. Available: <https://www.misoenergy.org/AboutUs/Pages/AboutUs.aspx>. [Último acceso: 6 1 2016].
- [20] MISO, «All MISO State Survey Response,» [En línea]. Available: <http://www.misostates.org/files/CARP/AllMISOStateSurveyResponse.pdf>. [Último acceso: 6 1

- 2016].
- [21] Agus, «Midwest Grid Sets Wind Record in January,» [En línea]. Available: <https://www.argusmedia.com/News/Article?id=980230>. [Último acceso: 6 1 2016].
 - [22] MISO, «Generation Statistics,» [En línea]. Available: <http://www.misomtep.org/generation-statistics-mtep15/>. [Último acceso: 6 1 2016].
 - [23] MISO, «What we do,» [En línea]. Available: <https://www.misoenergy.org/WhatWeDo/Pages/WhatWeDo.aspx>. [Último acceso: 6 1 2016].
 - [24] MISO, «DIR Workshop,» 2011.
 - [25] EPRI Journal, «Grid Operator: Riding Midwest Winds,» 2015. [En línea]. Available: <http://eprijournal.com/riding-midwest-winds-a-grid-operators-perspective/>. [Último acceso: 23 12 2015].
 - [26] MISO, «Wind Forecasting Review,» 2015.
 - [27] ERCOT, «Optimizing Wind Generation in ERCOT Nodal Market,» 2014.
 - [28] NC Clean Energy Technology Center, «Renewable Generation Requirement,» [En línea]. Available: <http://programs.dsireusa.org/system/program/detail/182>. [Último acceso: 7 1 2016].
 - [29] NERC, «Reliability Assesments,» 2015. [En línea]. Available: http://www.nerc.com/pa/RAPA/ra/Reliability%20Assessments%20DL/2015_Summer_Reliability_Assessment.pdf. [Último acceso: 6 1 2016].
 - [30] U.S. Energy Information Administration, «Today in Energy,» 2015. [En línea]. Available: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=20051>. [Último acceso: 7 1 2016].
 - [31] FERC, «Electric Power Markets: Texas (ERCOT),» 2015. [En línea]. Available: <http://www.ferc.gov/market-oversight/mkt-electric/texas.asp>. [Último acceso: 7 1 2016].
 - [32] ERCOT, «Load and Renewable Forecast in Grid Operations and Planning,» 2014.
 - [33] ERCOT, «Solar Forecasting for ERCOT,» 2015. [En línea]. Available: http://www.ercot.com/content/wcm/key_documents_lists/51129/6._Solar_Gen_Forecasting_for_ERCOT__Frontier_.pptx. [Último acceso: 7 1 2016].
 - [34] PJM, «Comparison of Renewable Portfolio Standards Programs in PJM».
 - [35] PJM, «Wind Power Forecasting Evaluation,» 2015.
 - [36] PJM, «Generation Attribute Tracking System,» 2015.
 - [37] PJM, «PJM Learning Center,» [En línea]. Available: <http://learn.pjm.com/electricity-basics/market-for-electricity.aspx>. [Último acceso: 4 1 2016].
 - [38] PJM, «Wind Generator Operational Requirements,» [En línea]. Available: https://pjm.adobeconnect.com/_a16103949/p2iskq6cp6y/. [Último acceso: 4 1 2016].
 - [39] PJM, «Wind Generation Coordination,» [En línea]. Available: https://pjm.adobeconnect.com/_a16103949/p4orzbx5xqk/. [Último acceso: 5 1 2016].

- [40] PJM, «Wind checklist,» [En línea]. Available: https://pjm.adobeconnect.com/_a16103949/p8upuui3tr4/. [Último acceso: 4 1 2016].
- [41] PJM, «Distributed Solar Generation in the Long-Term Load Forecast,» 2015.
- [42] REE, «Actividades de Negocio,» [En línea]. Available: <http://www.ree.es/es/conocenos/actividades-de-negocio>. [Último acceso: 7 1 2016].
- [43] Deloitte, «European Energy Market Reform Country Profile Spain,» [En línea]. Available: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/Energy-and-Resources/gx-er-market-reform-spain.pdf>. [Último acceso: 7 1 2016].
- [44] REE, «El Sistema Eléctrico Español,» 2015. [En línea]. Available: http://www.ree.es/sites/default/files/downloadable/avance_informe_sistema_electrico_2015_v2.pdf. [Último acceso: 7 1 2016].
- [45] OMIE, «Normativa de Mercado,» [En línea]. Available: <http://www.omie.es/inicio/normativa-de-mercado/reglas-omie>. [Último acceso: 4 1 2016].
- [46] CEPRI, «Setting up of Chinese Wind Power Prediction System,» 2012.
- [47] B. Kraad, M. Schroedter-Homscheidt y R. Madlener, «Economic merits of a state-of-the-art concentrating solar,» 2013.
- [48] REE, «SIPREOLICO,» 2006.
- [49] SteadySun, «REE Chose SteadySun For The 4.6 GWp Installed Park Solar Forecasts,» 2015. [En línea]. Available: <http://steady-sun.com/ree-chose-steadysun-for-their-4-6-gwp-installed-park-solar-forecasts/>. [Último acceso: 8 1 2016].
- [50] GIZ, «Variable Renewable Energy Forecasting – Integration into Electricity Grids and Markets – A Best Practice Guide,» 2015.
- [51] Clean Energy Wire, «Germany's Greenhouse Gas Emissions and Climate Target,» 2015. [En línea]. Available: <https://www.cleanenergywire.org/factsheets/germanys-greenhouse-gas-emissions-and-climate-targets>. [Último acceso: 8 1 2016].
- [52] 50 hz, «Facts and Figures,» 2014.
- [53] PV Magazine, «Germany added 1.89 GW of PV in 2014, stats show,» 2 2015. [En línea]. Available: http://www.pv-magazine.com/news/details/beitrag/germany-added-189-gw-of-pv-in-2014--stats-show_100018033/#axzz3z0ywZw6f. [Último acceso: 3 2 2016].
- [54] Fraunhofer, «Annual electricity generation in Germany in 2014,» [En línea]. Available: <https://www.energy-charts.de/energy.htm>.
- [55] 50 Hz, «Present and Future Challenges of RES Integration,» 2015.
- [56] IESO, «Solar and PV forecasting in Canada,» 2010.
- [57] EGI, «Support for the short term improvement of the current renewable energy forecasting in Chile,» 2016.
- [58] Hydro-Québec, «About Hydro-Québec,» [En línea]. Available: <http://www.hydroquebec.com/about-hydro-quebec/>. [Último acceso: 8 1 2016].

- [59] Hydro-Québec, «Power Generation, Purchases and Exports,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.hydroquebec.com/sustainable-development/energy-environment/power-generation-purchases-exports.html>. [Último acceso: 8 1 2016].
- [60] CANWEA, «Installed Capacity,» 2015. [En línea]. Available: <http://canwea.ca/wind-energy/installed-capacity/>. [Último acceso: 8 1 2016].
- [61] Hydro-Quebec, «Electric Power Purchases,» [En línea]. Available: <http://www.hydroquebec.com/distribution/en/marchequbécois/#>. [Último acceso: 4 1 2016].
- [62] UTE, «Institucional,» [En línea]. Available: <http://portal.ute.com.uy/institucional-nuestro-patrimonio/sistema-el%C3%A9ctrico>. [Último acceso: 8 1 2016].
- [63] Programa de Energía Eólica, «Normativa y autorizaciones,» [En línea]. Available: <http://www.energiaeolica.gub.uy/index.php?page=normativa>. [Último acceso: 8 1 2016].
- [64] Programa de Energía Eólica, «Parques en Uruguay,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.energiaeolica.gub.uy/index.php?page=parques-en-uruguay#expand1>. [Último acceso: 8 1 2016].
- [65] PV Magazine, «Uruguay incorporó 58 MW fotovoltaicos en 2015,» 2015. [En línea]. Available: http://www.pv-magazine-latam.com/noticias/detalles/articulo/uruguay-incorpor-58-mw-fotovoltaicos-en-2015_100021585/. [Último acceso: 8 1 2016].
- [66] Presidencia Uruguay, «En 2014 la generación de energía por biomasa fue del 13% y de 6% en energía eólica,» 2015. [En línea]. Available: <https://www.presidencia.gub.uy/comunicacion/comunicacionnoticias/energia-eolica-matriz-energetica-renovable-cosse-ministerio-consejo>. [Último acceso: 8 1 2016].
- [67] UTE, «Modelo Utilizados Para el Despacho Energético Óptimo».
- [68] IMPO, «Normativa y Avisos Legales del Uruguay,» [En línea]. Available: <http://www.impo.com.uy/bases/decretos/567-2009>. [Último acceso: 8 1 2016].
- [69] Universidad de la república - facultad de ingeniería, «Pronósticos numéricos operativos,» [En línea]. Available: https://www.fing.edu.uy/cluster/eolica/planilla_parques.html. [Último acceso: 8 1 2016].
- [70] UTE, «Gestionando 1200 MW eólicos en la red,» 2014.
- [71] ESKOM, «Company information,» [En línea]. Available: http://www.eskom.co.za/OurCompany/CompanyInformation/Pages/Company_Information.aspx. [Último acceso: 8 1 2016].
- [72] Global Wind Energy Council , «Global Wind Report Anual Market,» 2014.
- [73] IHS, «Top Solar Power Industry Trends for 2015,» 2015.
- [74] Erwind, «Concentrated Solar Power (CSP) in 2014 grew 27% to 4.4 GW,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.evwind.es/2015/06/23/concentrated-solar-power-csp-in-2014-grew-27-to-4-4-gw/52899>. [Último acceso: 8 1 2016].
- [75] Wall Street Journal, «South Africa Pushes to Expand Renewable Energy,» 2013. [En línea]. Available: <http://www.wsj.com/articles/south-africa-pushes-to-expand-renewable-energy-1442197718>. [Último acceso: 8 1 2016].

- [76] Click and Compare, «Should Eskom Still Hold Monopoly Over South Africa's Electricity Supply?,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.clickncompare.co.za/latest-news-269/should-eskom-still-hold-monopoly-over-south-africa%E2%80%99s-electricity-supply?>. [Último acceso: 8 1 2016].
- [77] ESKOM, «Tariffs and charges,» 2015. [En línea]. Available: http://www.eskom.co.za/CustomerCare/TariffsAndCharges/Pages/Tariffs_And_Charges.aspx. [Último acceso: 8 1 2016].
- [78] GIZ, «Energypedia,» [En línea].
- [79] Energinet.dk, «Electricity,» [En línea]. Available: <http://www.energinet.dk/EN/EI/Sider/default.aspx>. [Último acceso: 11 1 2016].
- [80] CLEANTECH, «Denmark Sets 100% Renewable Energy Goal for 2050,» 2014. [En línea]. Available: http://www.sustainablebrands.com/news_and_views/cleantech/mike_hower/denmark_sets_100_percent_renewable_energy_goal_2050. [Último acceso: 11 1 2015].
- [81] Energinet, «Climate and Enviroment,» [En línea]. Available: <http://www.energinet.dk/EN/KLIMA-OG-MILJOE/Miljoerapportering/VE-produktion/Sider/Vind.aspx>. [Último acceso: 11 1 2015].
- [82] Nord Pool Spot, «The Power Market,» [En línea]. Available: <http://www.nordpoolspot.com/How-does-it-work/>. [Último acceso: 11 1 2016].
- [83] Wind Energy The Facts, «Power Markets,» [En línea]. Available: <http://www.wind-energy-the-facts.org/power-markets.html>. [Último acceso: 12 1 2016].
- [84] Energinet, «Regulation C1 – Terms of balance responsibility,» 2011. [En línea]. Available: <http://www.energinet.dk/SiteCollectionDocuments/Engelske%20dokumenter/EI/Regulation%20C1%20-%20Terms%20of%20balance%20responsibility.pdf>. [Último acceso: 12 1 2016].
- [85] Energinet, «The balancing market and balance settlement,» 2008. [En línea]. Available: <http://www.energinet.dk/SiteCollectionDocuments/Engelske%20dokumenter/EI/Regulation%20C2%20The%20balancing%20market%20and%20balance%20settlement.pdf>. [Último acceso: 12 1 2016].
- [86] P. Pinson, «Wind Energy: Forecasting Challenges for Its Operational Management,» *Statistical Science*, vol. 28, nº 4, pp. 564-585, 2013.
- [87] National Grid, «What We Do,» [En línea]. Available: <http://www2.nationalgrid.com/about-us/what-we-do/>. [Último acceso: 12 1 2016].
- [88] Full Fact, «The UK's renewable energy target,» [En línea]. Available: https://fullfact.org/factcheck/economy/uk_renewable_energy_target-49344. [Último acceso: 12 1 2016].
- [89] Renewable UK, «UK Wind Energy Database,» [En línea]. Available: <http://www.renewableuk.com/en/renewable-energy/wind-energy/uk-wind-energy-database/>. [Último acceso: 12 1 2016].
- [90] ENTSO-E, «The Successful Stress Test of Europe's Power Grid,» 2015.
- [91] Business Green, «UK wind power smashes annual output record,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.businessgreen.com/bg/news/2388553/uk-wind-power-smashes-annual-output-record>. [Último acceso: 12 1 2016].

- [92] Solar Power Portal, «UK solar PV generation almost doubled in 2014 - DECC,» 3 2015. [En línea]. Available: http://www.solarpowerportal.co.uk/news/uk_solar_pv_generation_almost_doubled_in_2014_7362. [Último acceso: 12 1 2016].
- [93] APX group, «APX Power UK,» [En línea]. Available: <https://www.apxgroup.com/trading-clearing/apx-power-uk/>. [Último acceso: 12 1 2016].
- [94] Energy UK, «Wholesale Electricity Market Report,» 2014. [En línea]. Available: <https://www.energy-uk.org.uk/publication.html?task=file.download&id=4921>. [Último acceso: 12 1 2016].
- [95] National Grid, «Balancing Services,» [En línea]. Available: <http://www2.nationalgrid.com/uk/services/balancing-services/>. [Último acceso: 30 12 2015].
- [96] BM reports, «Wind Forecast Outturn,» [En línea]. Available: http://www.bmreports.com/bsp/bsp_home.htm. [Último acceso: 30 12 2015].
- [97] National Grid, «Improved PV & Embedded Forecasting,» 2014.
- [98] RTE, «About Us,» [En línea]. Available: <http://www.rte-france.com/en/article/infrastructure-system-operation-and-market-tool-design-heading-smart-power>. [Último acceso: 14 1 2016].
- [99] Energy Transition, «Suppressed French report says 100% renewables is possible,» 2015. [En línea]. Available: <http://energytransition.de/2015/04/suppressed-french-report-says-100-renewables-is-possible/>. [Último acceso: 14 1 2016].
- [100] RTE, «Wind Power and Management of the Electric System,» 2015.
- [101] RTE, «France Electricity Report for 2014,» 2014.
- [102] EPEX, «Products DAy Ahead Auction,» [En línea]. Available: <https://www.epexspot.com/en/product-info/auction>. [Último acceso: 5 1 2016].
- [103] EWEA, «Wind Energy and Electricity Prices,» 2010.
- [104] S. Henry, P. Panciatici y A. Parisot, «Going Green Transmission Grids as Enablers of the Transition to a Low-Carbon European Economy».
- [105] RTE, «Generation in France,» [En línea]. Available: https://clients.rte-france.com/lang/an/visiteurs/vie/prod/parc_reference.jsp. [Último acceso: 5 1 2016].
- [106] RTE, «RTE: the integration of wind energy in the power system,» *International Conference on Renewable Energy and Eco-Design in Electrical Engineering*, 2011.
- [107] POSOCO, «About Us,» [En línea]. Available: <http://posoco.in/about-us/fonldc>. [Último acceso: 2016 2 2].
- [108] Climate Policy Initiative, «Reaching India's Renewable Energy Targets Cost-Effectively,» 2015. [En línea]. Available: <http://climatepolicyinitiative.org/publication/reaching-indias-renewable-energy-targets-cost-effectively/>. [Último acceso: 2016 2 2].
- [109] SeeNews renewables, «India's installed solar capacity tops 3.38 GW,» 3 2015. [En línea]. Available: <http://renewables.seenews.com/news/india-s-installed-solar-capacity-tops-3-38-gw-469588>. [Último acceso: 2 2 2016].

- [110] PV Magazine, «India surpasses 4 GW of installed solar PV,» 9 2015. [En línea]. Available: http://www.pv-magazine.com/news/details/beitrag/india-surpasses-4-gw-of-installed-solar-pv_100020939/#axzz3z0ywZw6f. [Último acceso: 2 2 2016].
- [111] MNRE, «Renewable Energy in India: Growth and Targets,» 2015.
- [112] V. Pandey, «Electricity Grid Management in India- An Overview,» 2007.
- [113] IEX, «Indian Power Market,» 2014.
- [114] GIZ, «Green Energy Corridors Large Scale Integration of Renewable Energy into the Indian Grid,» 2015.
- [115] SGCC, «Brief Introduction,» [En línea]. Available: <http://www.sgcc.com.cn/ywlm/gsgk-e/gsgk-e/gsgk-e1.shtml>. [Último acceso: 5 1 2016].
- [116] Zpryme Smart Grid Insights, «CHINA: State Grid Corporation of China Profile,» 2012.
- [117] The Climate Group, «China Analysis 2015,» 2015.
- [118] P. Zhang, «Big Data Analysis in Wind Power Forecasting».
- [119] PV Magazine, «China: PV installed capacity grows to almost 30 GW in 2014,» 2015. [En línea]. Available: http://www.pv-magazine.com/news/details/beitrag/china--pv-installed-capacity-grows-to-almost-30-gw-in-2014_100018231/#axzz3z0ywZw6f. [Último acceso: 2 2 2016].
- [120] IEA, «Welcome to IEA Wind Member Country Activities for Chinese Wind Energy Association (CWEA),» [En línea]. Available: <https://www.ieawind.org/countries/chinese.html>. [Último acceso: 2 2 2016].
- [121] Q. Zhang, «Regulatory Framework for the Electricity Industry in China».
- [122] NREL, «Methods for Analyzing the Economic Value of Concentrating Solar Power with Thermal Energy Storage,» 2015.
- [123] NCAR, «Ensemble Wind Forecasting for China,» [En línea]. Available: <https://www.ral.ucar.edu/projects/ensemble-wind-forecasting-for-china>. [Último acceso: 5 1 2016].