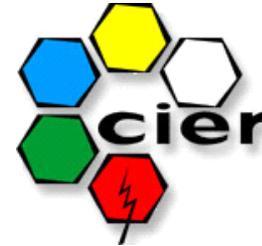


4^{to} CONGRESO INTERNACIONAL

Supervisión del Servicio Eléctrico



Tema: Integración de recursos renovables y requerimientos de conexión en el sistema eléctrico español

Autor: Emilio Gómez Lázaro

Cargo: Director, Instituto de Investigación de Energías Renovables

Empresa u Organismo: Universidad de Castilla-La Mancha, España



Índice

1 Introducción

- Generación de origen renovable variable y no controlable en España
- El sistema eléctrico español

2 Integración de la generación renovable en España

- Rampas en generación eólica
- Huecos de tensión
- Tormentas
- Recortes de generación eólica

3 Conclusiones



Potencia instalada

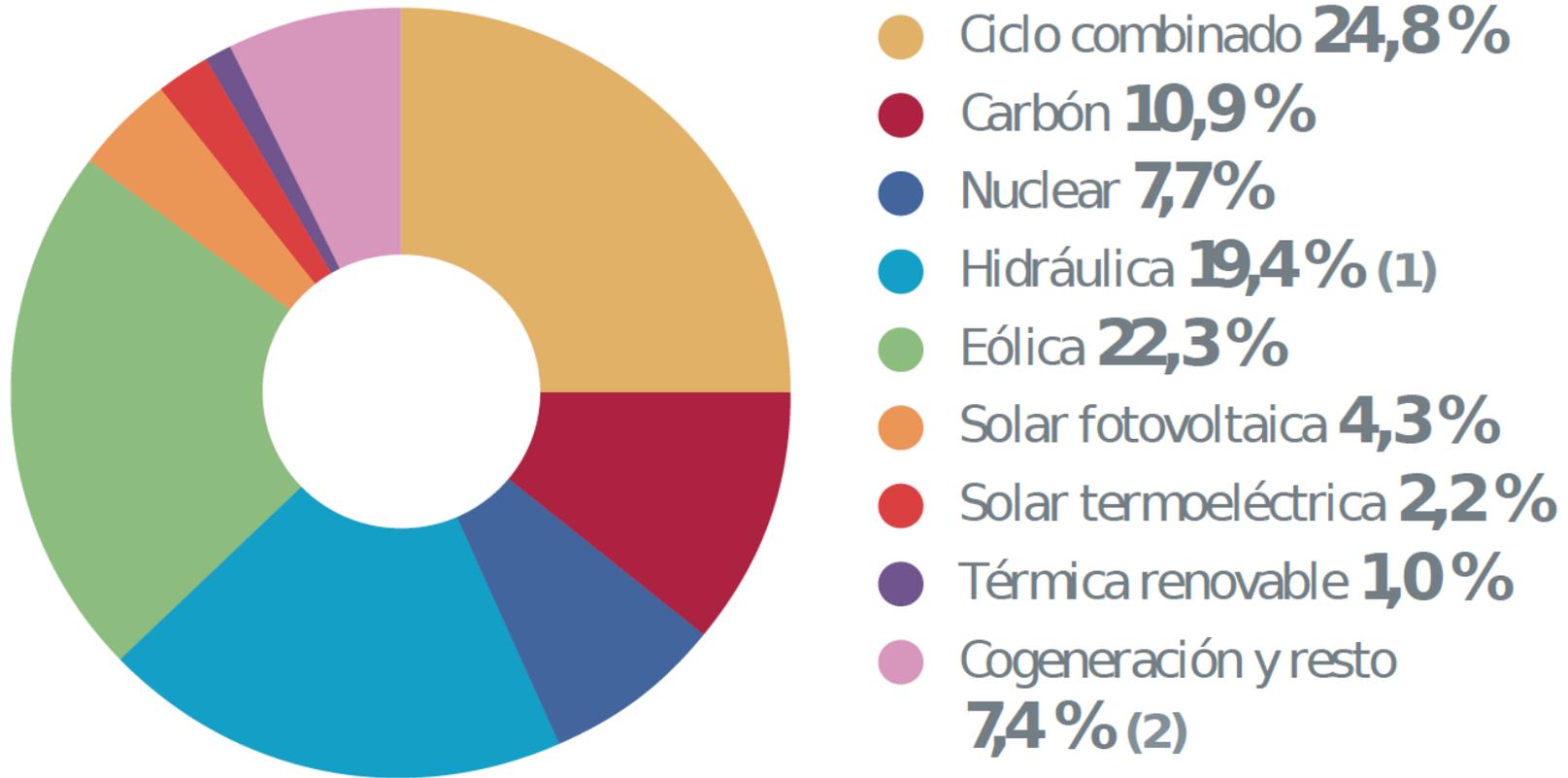


Figura: Fuente: El sistema eléctrico español. REE, [3]



Cobertura de la demanda

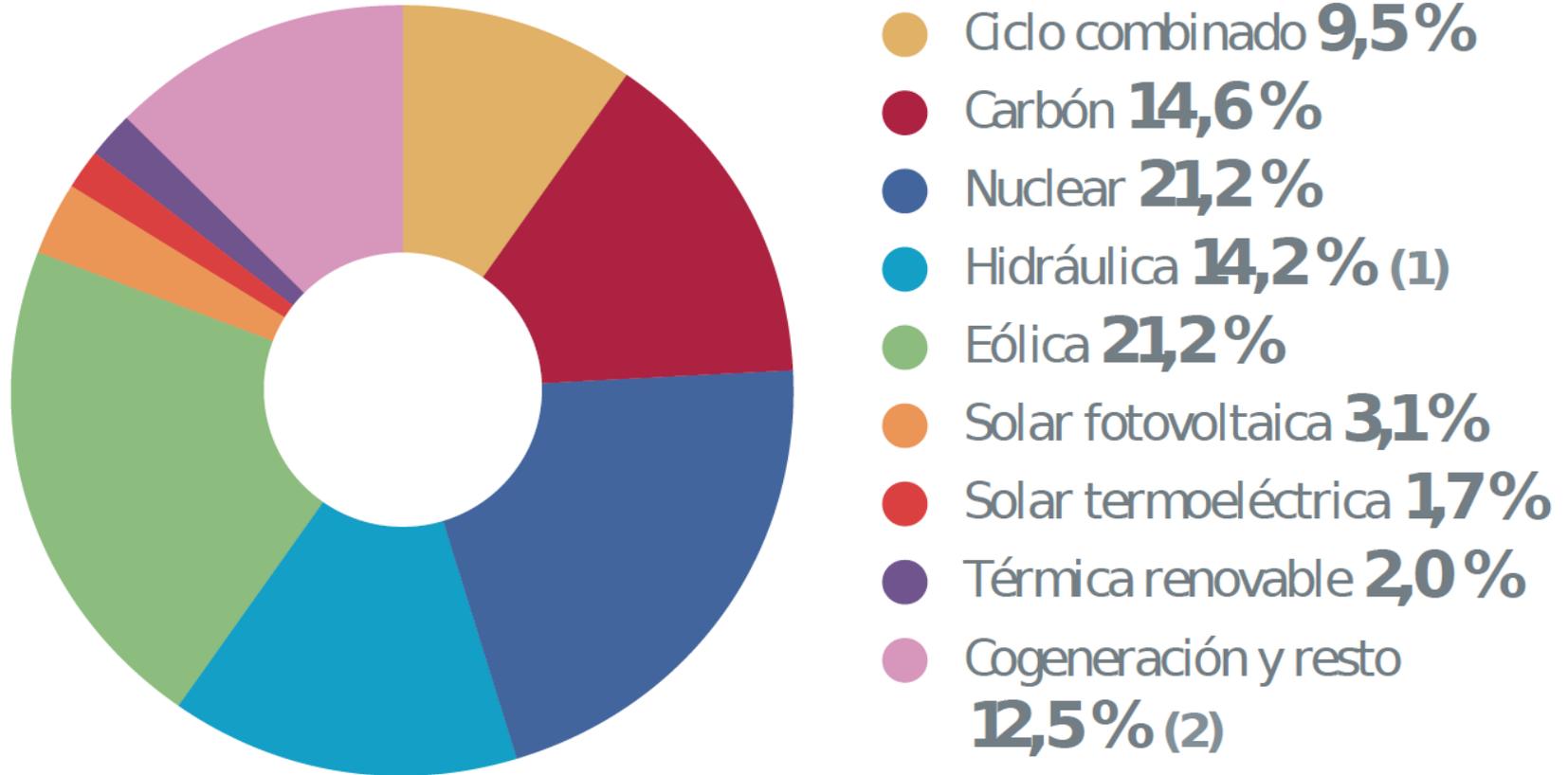


Figura: Fuente: El sistema eléctrico español. REE, [3]



Evolución de la generación eléctrica basada en renovables I

- La creciente integración de las fuentes renovables en la sector eléctrico se justificado por:
 - La desregulación del mercado eléctrico
 - Objetivos medioambientales
 - Incentivos económicos
 - Madurez técnica
- La participación de generación eléctrica renovable se considera actualmente como un objetivo relevante a corto y mediano plazo en muchos países
- Entre los recursos renovables, las energías eólica y solar son las dos soluciones más importantes actualmente, siendo la energía eólica la más visible



Evolución de la generación eléctrica basada en renovables II

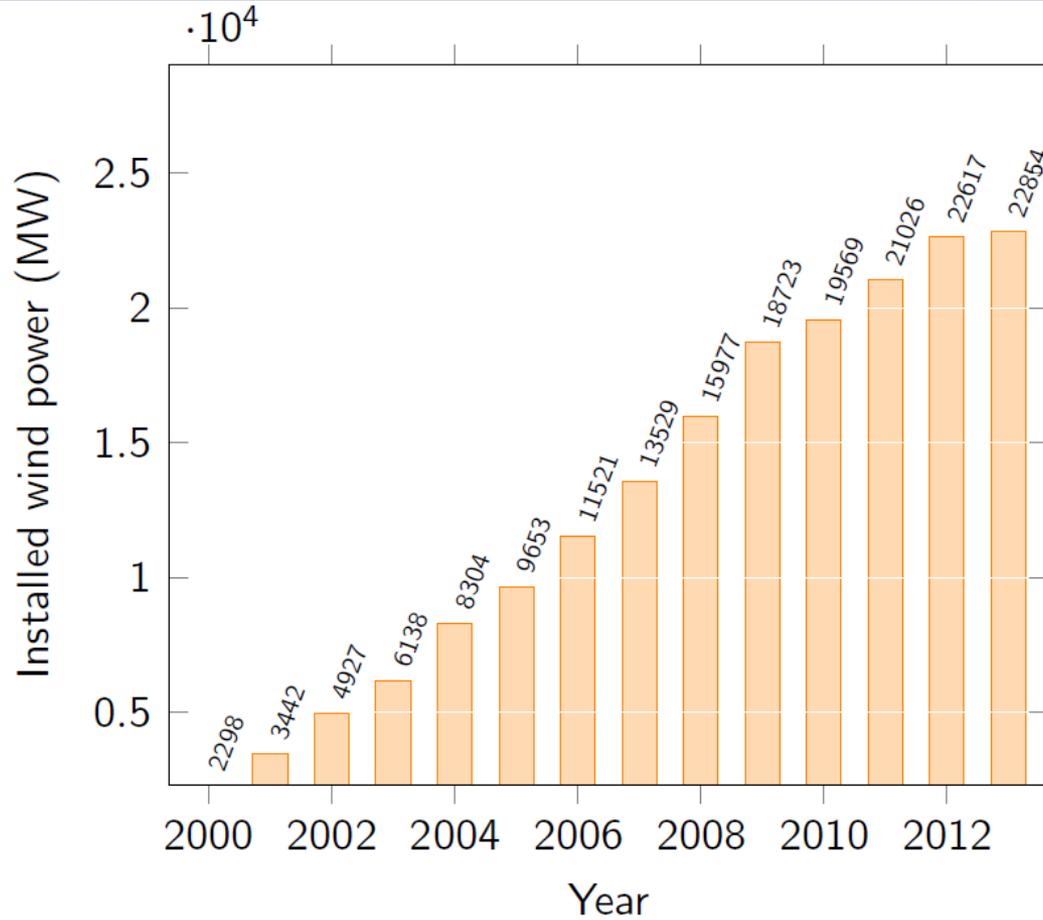


Figura: Potencia eólica instalada en España. Fuente: REE, [3]



Evolución de la generación eléctrica basada en renovables III

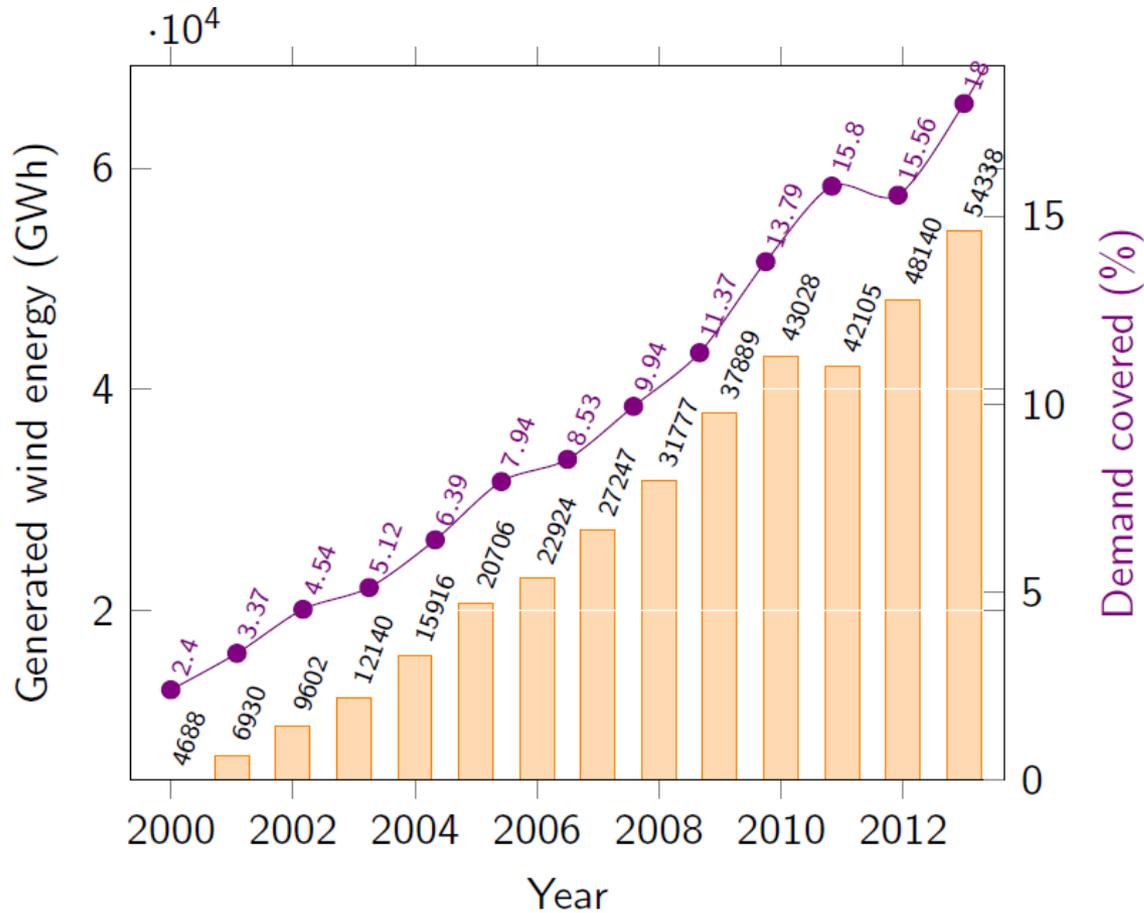


Figura: Energía generada en parques eólicos. Fuente: REE, [3]



Evolución de la generación eléctrica basada en renovables IV

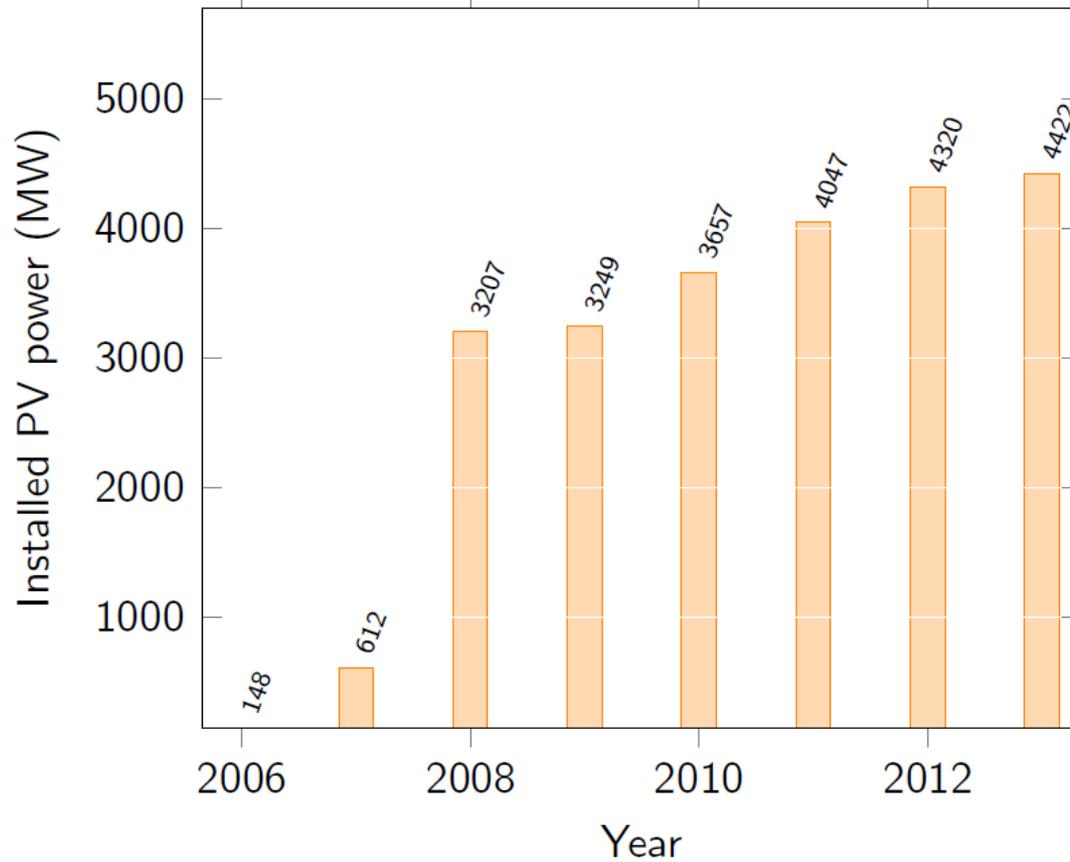


Figura: Potencia solar FV instalada en España. Fuente: REE, [3]



Evolución de la generación eléctrica basada en renovables V

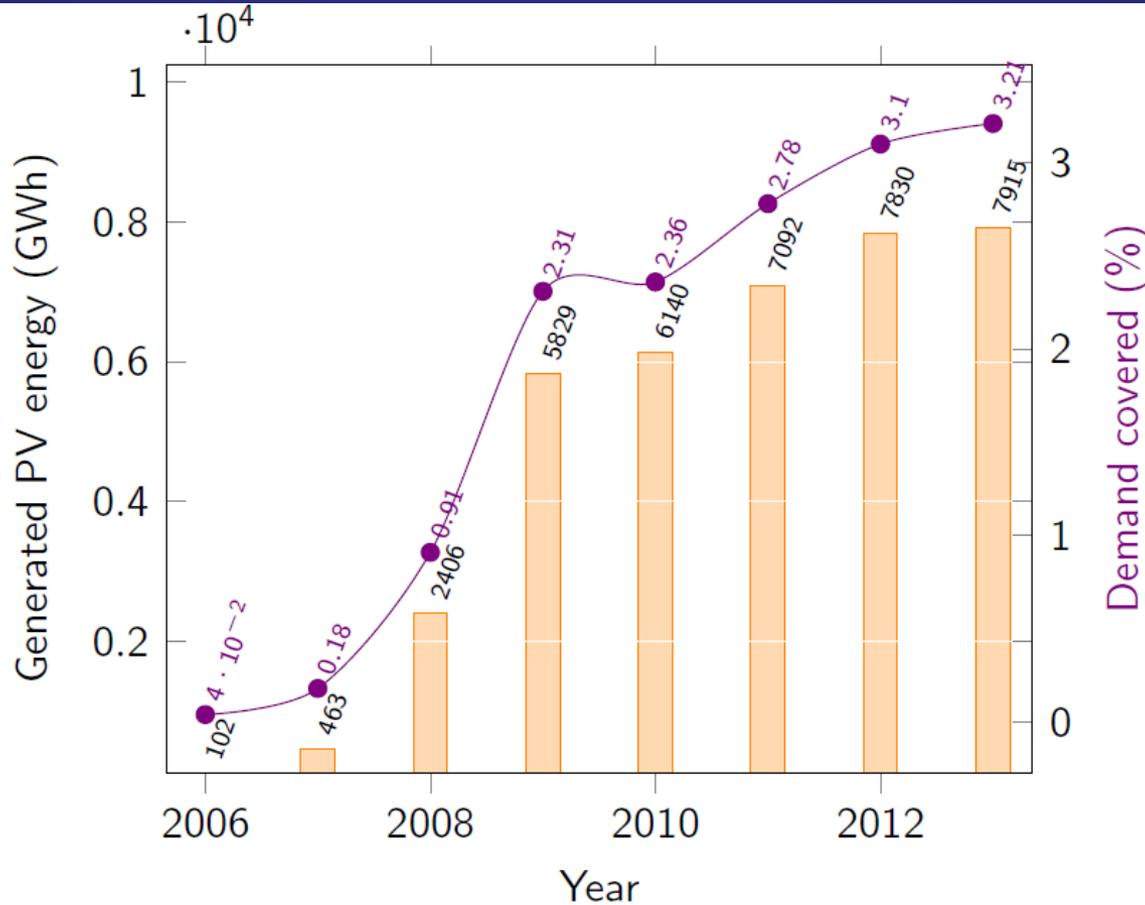


Figura: Energía generada en huertos solares FV. Fuente: REE, [3]



Evolución de la generación eléctrica basada en renovables VI

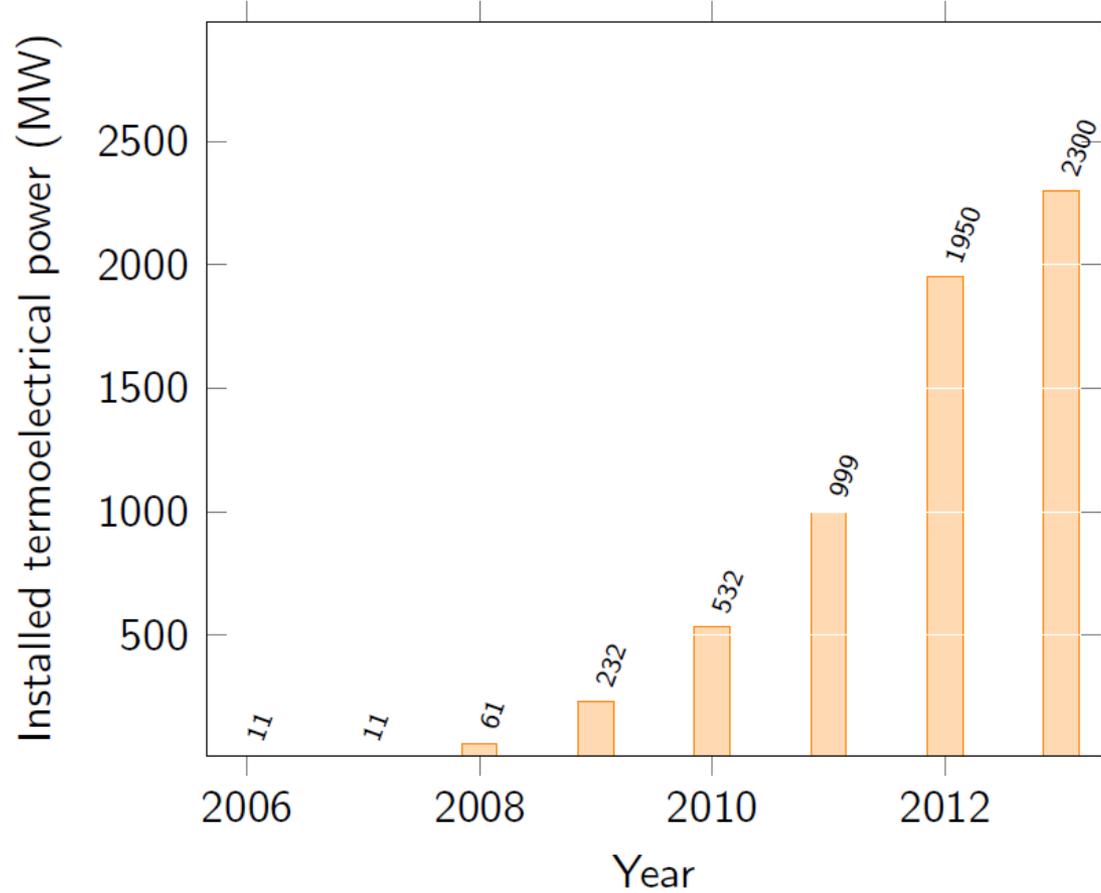


Figura: Potencia solar termoeléctrica instalada. Fuente: REE, [3]



Evolución de la generación eléctrica basada en renovables VII

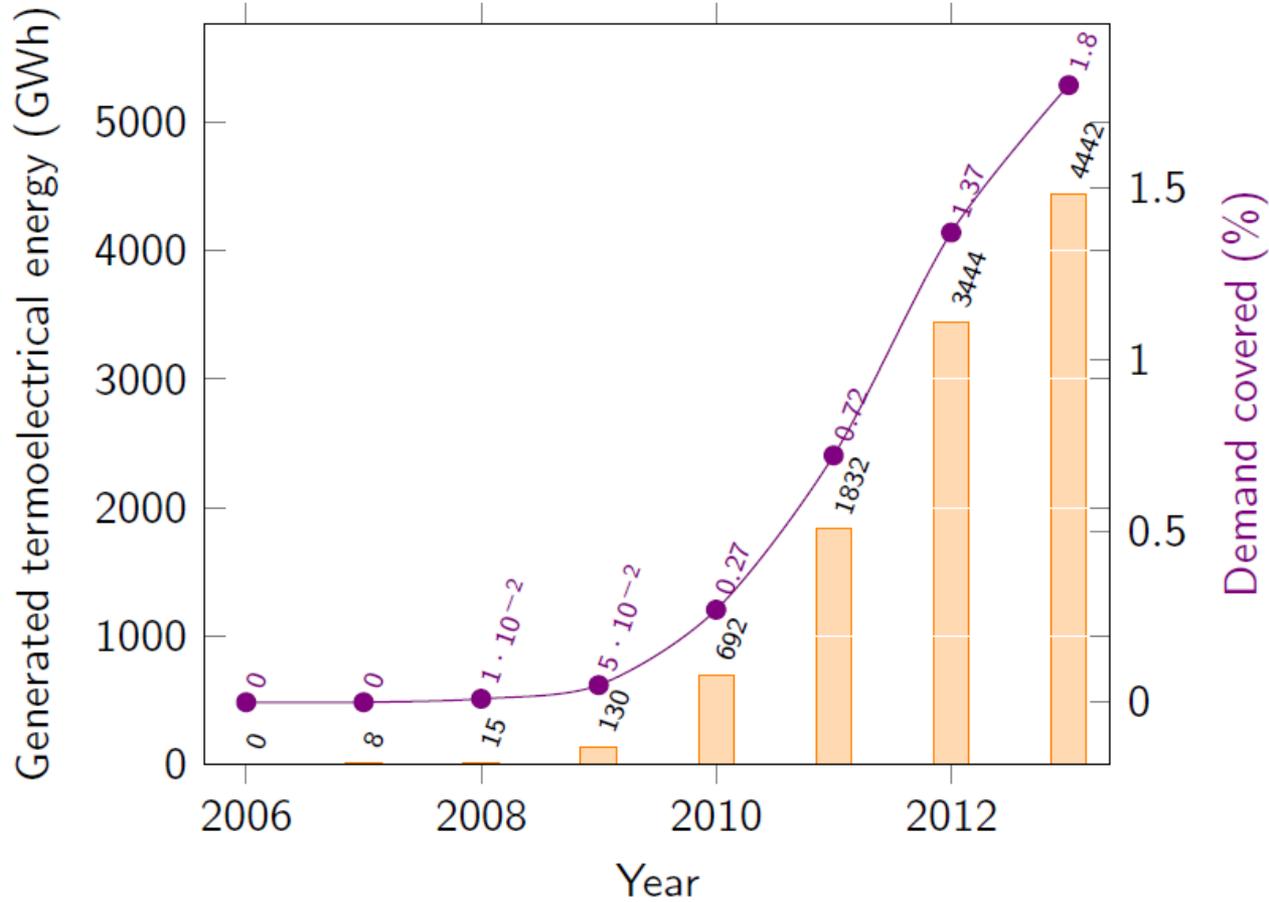


Figura: Energía generada en centrales termoeléctricas. Fuente: REE, [3]



Evolución de la generación eléctrica basada en renovables VIII

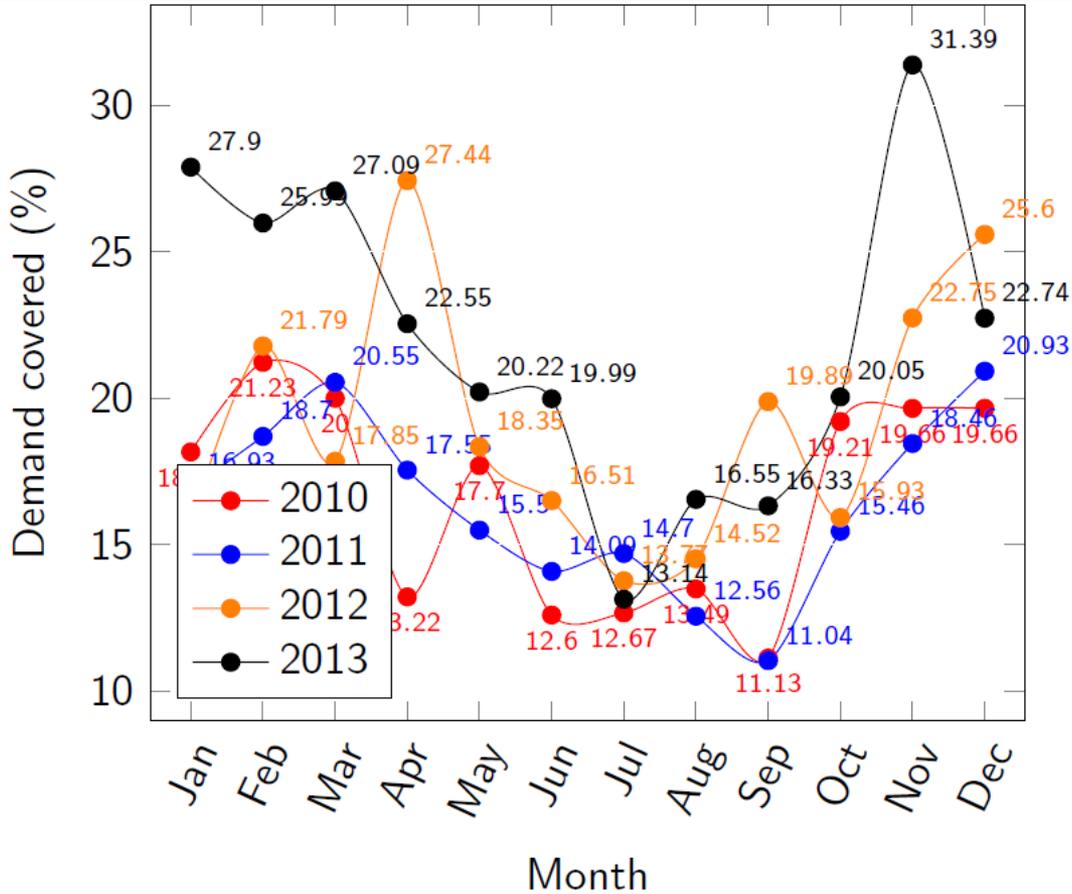


Figura: Variabilidad, energía eólica. Fuente: REE



Evolución de la generación eléctrica basada en renovables IX

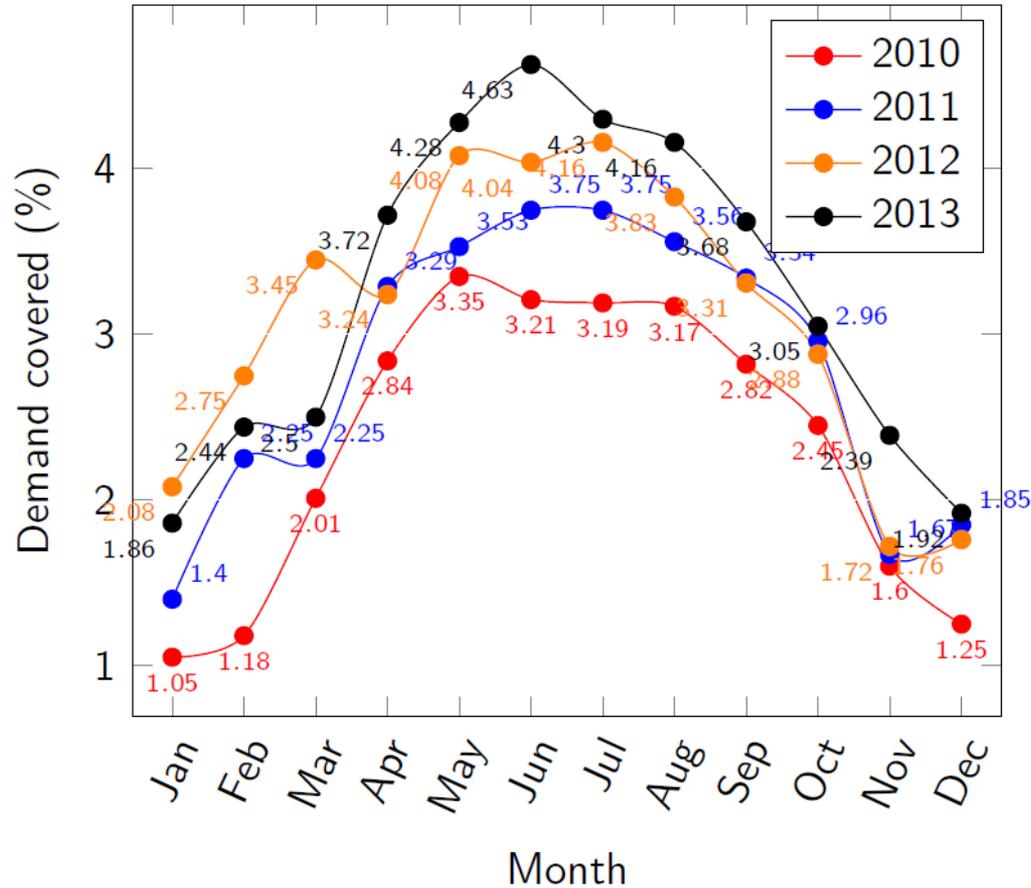


Figura: Variabilidad, energía solar fotovoltaica. Fuente: REE



Evolución de la generación eléctrica basada en renovables X

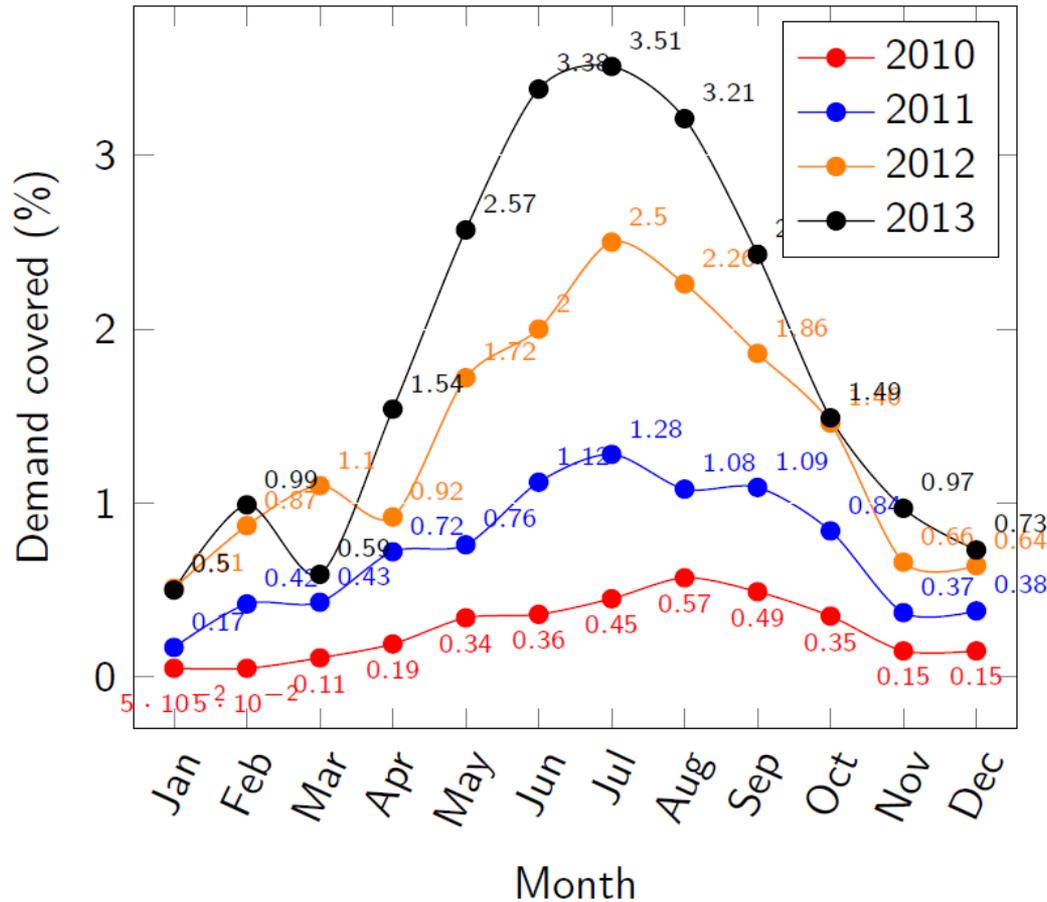


Figura: Variabilidad, energía solar termoeléctrica. Fuente: REE



Índice

1 Introducción

- Generación de origen renovable variable y no controlable en España
- El sistema eléctrico español

2 Integración de la generación renovable en España

- Rampas en generación eólica
- Huecos de tensión
- Tormentas
- Recortes de generación eólica

3 Conclusiones



Evolución de la generación distribuida

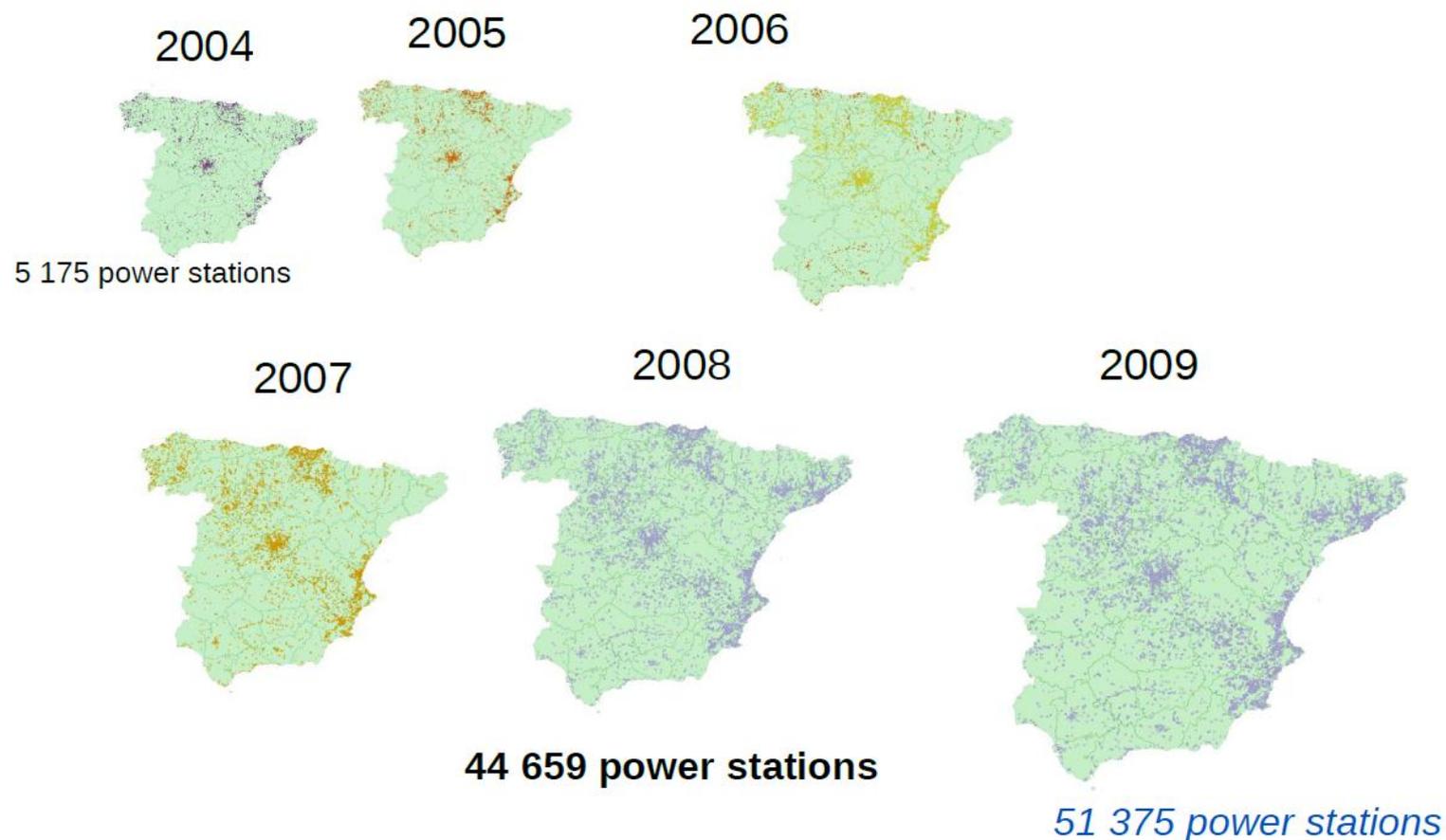


Figura: Fuente: Comisión Nacional de la Energía, [2]



Objetivos de generación renovable

$$\text{In 2020: } \frac{E_{\text{Renewable}}}{E_{\text{Final}}} = 0.2 \approx \left(\frac{E_{\text{Renewable}}}{E_{\text{Total}}} \right)_{\text{Electrical system}} = 0.4$$

- **Energía Eólica**

- 2010 (RD661/2007): 20 150 MW
- Diciembre 2011: 20 612 MW
- PER, Noviembre 2011: 35 750 MW (CE, 2010: 38 000 MW)

- **Solar FV**

- 2010 (RD661/2007): 370 MW
- Diciembre 2011: \approx 4 000 MW
- PER, Noviembre 2011: 7 250 MW (CE, 2010: 8 367 MW)

- **Solar termoeléctrica**

- 2010 (RD661/2007): 500 MW
- Diciembre 2011: 975 MW
- PER, Noviembre 2011: 4 800 MW (CE, 2010: 5 079 MW)



Cambios en los flujos de potencia debidos a la generación eólica

High wind generation in the NorthWest
2011/11/03



High wind generation in the East
2011/11/06



Low wind generation
2011/11/07





Sistema eléctrico Ibérico

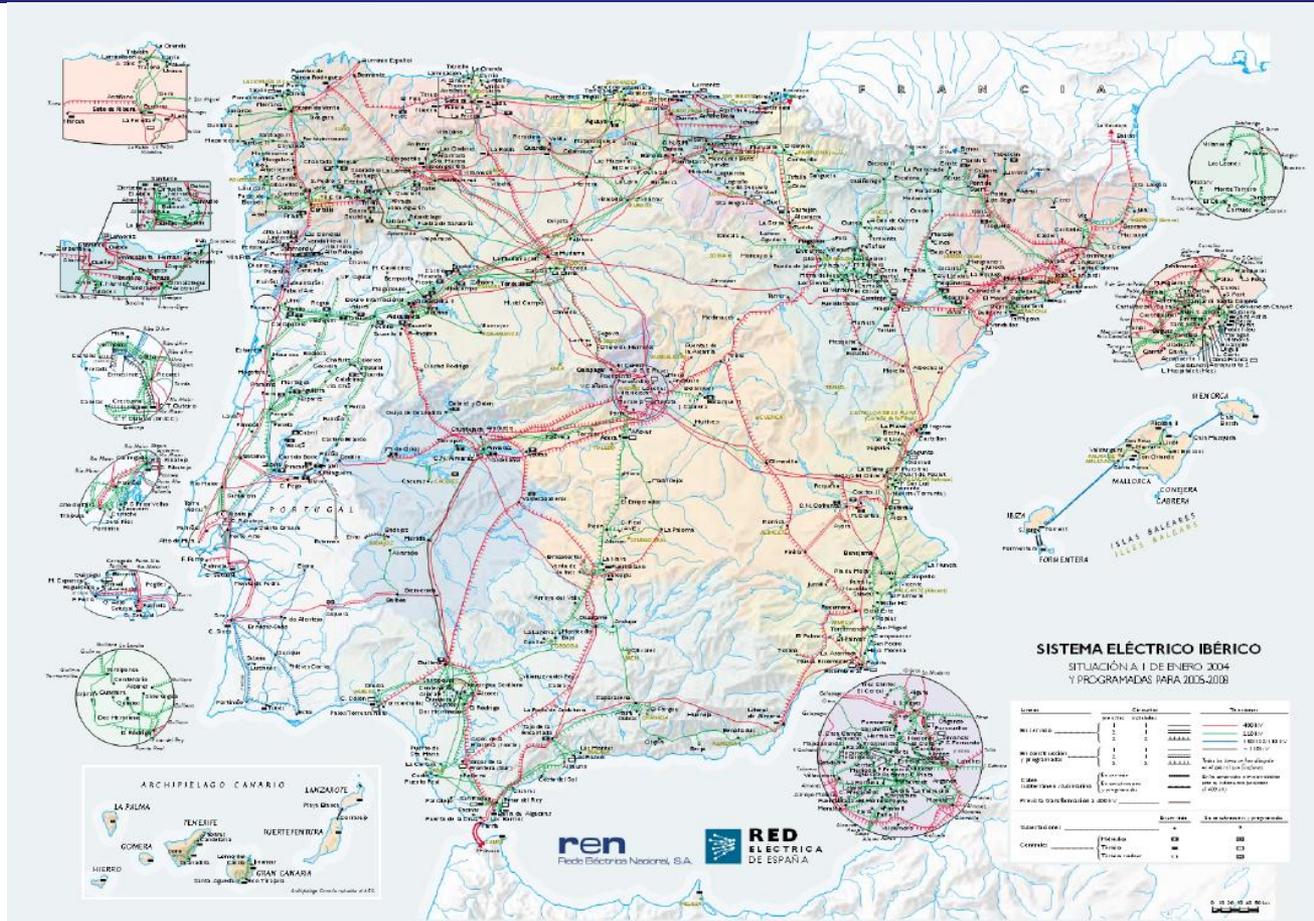


Figura: Fuente: REE y REN, [3]



Interconexiones internacionales

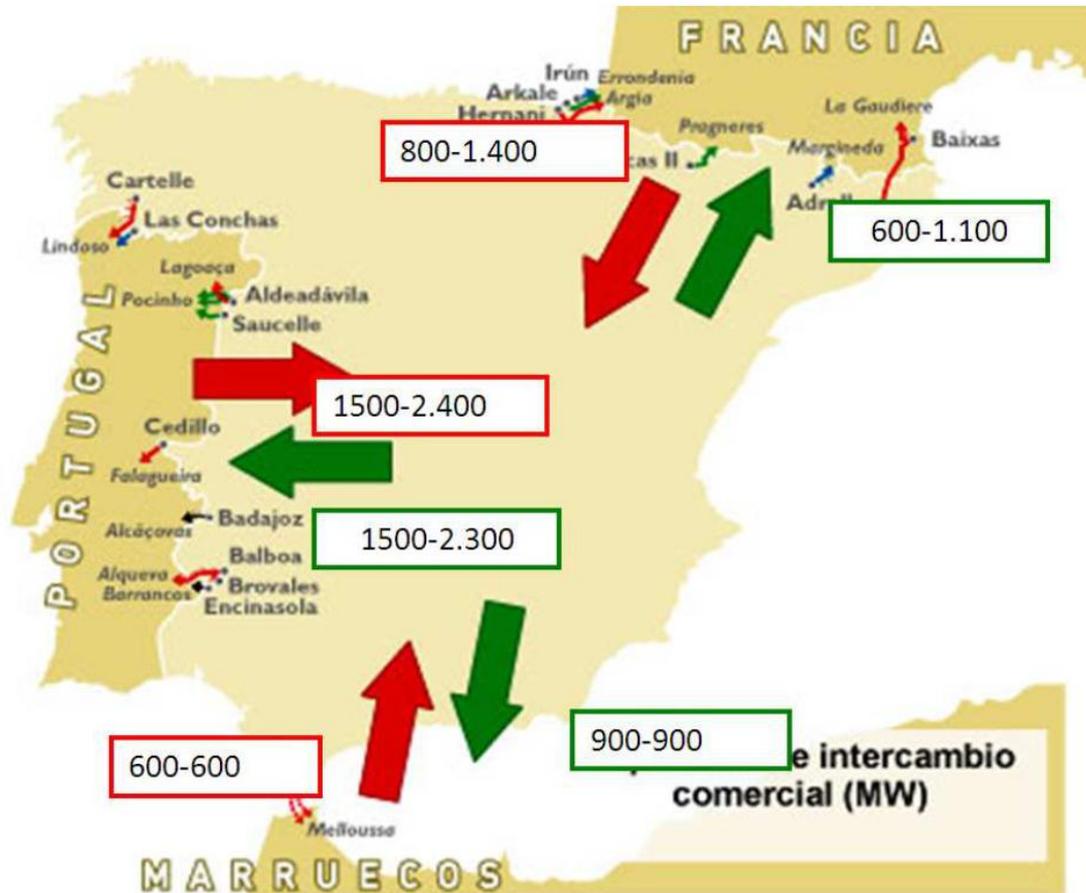


Figura: Fuente: REE, [3]



Interconexiones internacionales

- Portugal-Spain = 1.5%
- France-Spain = 1.5%
- Morocco-Spain = 0.6%
- Power capacity = 97 572MW

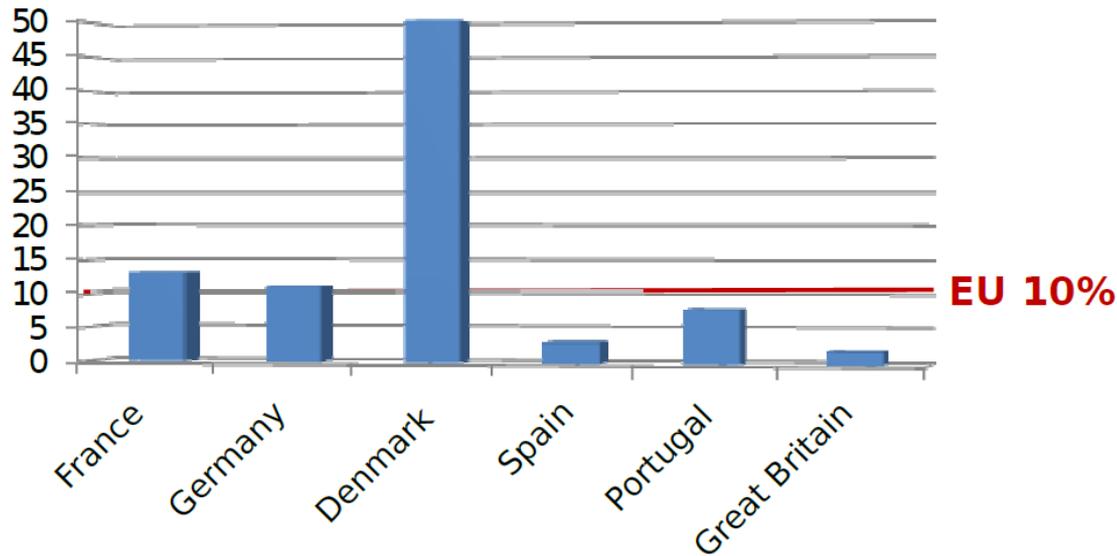


Figura: Fuente: REE, [3]



Índice

- 1 Introducción
 - Generación de origen renovable variable y no controlable en España
 - El sistema eléctrico español

- 2 Integración de la generación renovable en España
 - Rampas en generación eólica
 - Huecos de tensión
 - Tormentas
 - Recortes de generación eólica

- 3 Conclusiones



Aspectos clave

- Dos aspectos clave en el funcionamiento del sistema eléctrico español respecto a la integración a gran escala de generación renovables son los códigos de red –PO– requeridos por REE y un centro de control de energías renovables –CECRE–
- CECRE ha estado en funcionamiento desde 2006, y es considerado como una iniciativa pionera a nivel mundial para supervisar y controlar centrales de generación renovable, y especialmente parques eólicos
- PO están aprobados por el Ministerio con la consulta al organismo regulador de los sistemas de energía, Comisión Nacional de la Energía –CNE–



Procedimientos de operación

Con aplicación a generación renovable

- En parte de las unidades de generación renovable variables:
 - PO 3.2. Gestión de restricciones técnicas
 - PO 8.2. Funcionamiento del sistema de generación y transporte
 - PO 9. Información intercambiada con el operador
- Específicamente a unidades de generación renovable variables:
 - PO 3.7. Programación de la generación renovable no gestionable
 - PO 12.3. Respuesta huecos de tensión
- En proceso de aprobación:
 - PO 12.2 . Requisitos para nuevas plantas de energía
 - PO 7.5. Control de tensión por la generación renovable
 - ENTSO-e. “European network of transmission system operators for electricity”, Requisitos para Generadores



CECRE (I)

- CECRE está integrado en la estructura de control de REE
- CECRE es una unidad integrada del Centro de Control Eléctrico —CECOEL—, conectado al 98.6% de la capacidad eólica instalada, mientras que el resto de generación eólica, el 1.4%, es estimado
- Comunicación con los centros de control para supervisión e instrucciones de control
- CECRE no telecomanda directamente los parques, esta función es realizada por los Centros de Control de generación
- REE requiere comunicación en tiempo real con los parques
- CECRE verifica el escenario eólico en tiempo real CECRE



CECRE (II)

- Aproximadamente 800 parques eólicos están conectados
- Medidas tales como potencia activa y reactiva, tensión, temperatura o velocidad y dirección del viento, se capturan cada 12 segundos y se envían a un Centro de Control de Renovables
- Las plantas de más de 10 MW deben controlarse, y en el caso de la generación eólica, las consignas se envían utilizando – ICCP– “Inter-Control Center Communications Protocol”. La generación debe adaptarse en 15 minutos
- Actualmente se aplica a la generación eólica, aunque el sistema puede ser utilizado por todas centrales de generación basadas en fuentes renovables no gestionables



CECRE (III)



Figura: CECRE. Fuente: REE, [3]



Índice

- 1 Introducción
 - Generación de origen renovable variable y no controlable en España
 - El sistema eléctrico español

- 2 Integración de la generación renovable en España
 - Rampas en generación eólica
 - Huecos de tensión
 - Tormentas
 - Recortes de generación eólica

- 3 Conclusiones



Introducción

- En el sistema eléctrico español se han dado casos de rampas en la generación eólica de ± 1500 MW/h
- La predicción del recurso eólico puede mitigar los efectos de la variabilidad del viento en la operación del sistema, pero los posibles errores deben tenerse en cuenta, diseñando reservas adicionales
- Errores importantes en la predicción implican mayor provisión de reservas, así como un aumento de los costes del sistema



Eventos considerados

- Teniendo en cuenta las características de las rampas, los eventos que originan las fluctuaciones de potencia pueden clasificarse como:
 - Fenómenos meteorológicos
 - Causas técnicas y operativas. Por ejemplo :
 - Recortes en la generación
 - Huecos de tensión. Los huecos de tensión pueden producir una caída repentina de generación de energía eólica
 - Velocidad de corte. Cuando la velocidad del viento alcanza la velocidad de parada del aerogenerador (alrededor de 25 m/s), estos se desconectan. Si este fenómeno afecta a un número importante de parques eólicos de una zona, podría causar una caída importante en la generación de energía eólica



Índice

- 1 Introducción
 - Generación de origen renovable variable y no controlable en España
 - El sistema eléctrico español

- 2 Integración de la generación renovable en España
 - Rampas en generación eólica
 - Huecos de tensión
 - Tormentas
 - Recortes de generación eólica

- 3 Conclusiones



Huecos de tensión I

- Los fabricantes de aerogeneradores pueden estar obligados por los TSOs a cumplir ciertos requisitos de comportamiento ante huecos de tensión, especialmente al aumentar la generación de energías renovables no gestionables (convertidor electrónico de potencia)
- España definió un procedimiento para definir la respuesta de aerogeneradores y parques eólicos sometidos a huecos de tensión
- Un evento extremo se produjo los días 19 y 20 de marzo y de 2007. Cuatro huecos de tensión se produjeron durante un par de horas. Estos huecos de tensión afectaron a zonas con alta penetración de energía eólica y durante los períodos de alta velocidad de viento (553 MW, 454MW, 989MW y 966MW)



Huecos de tensión II

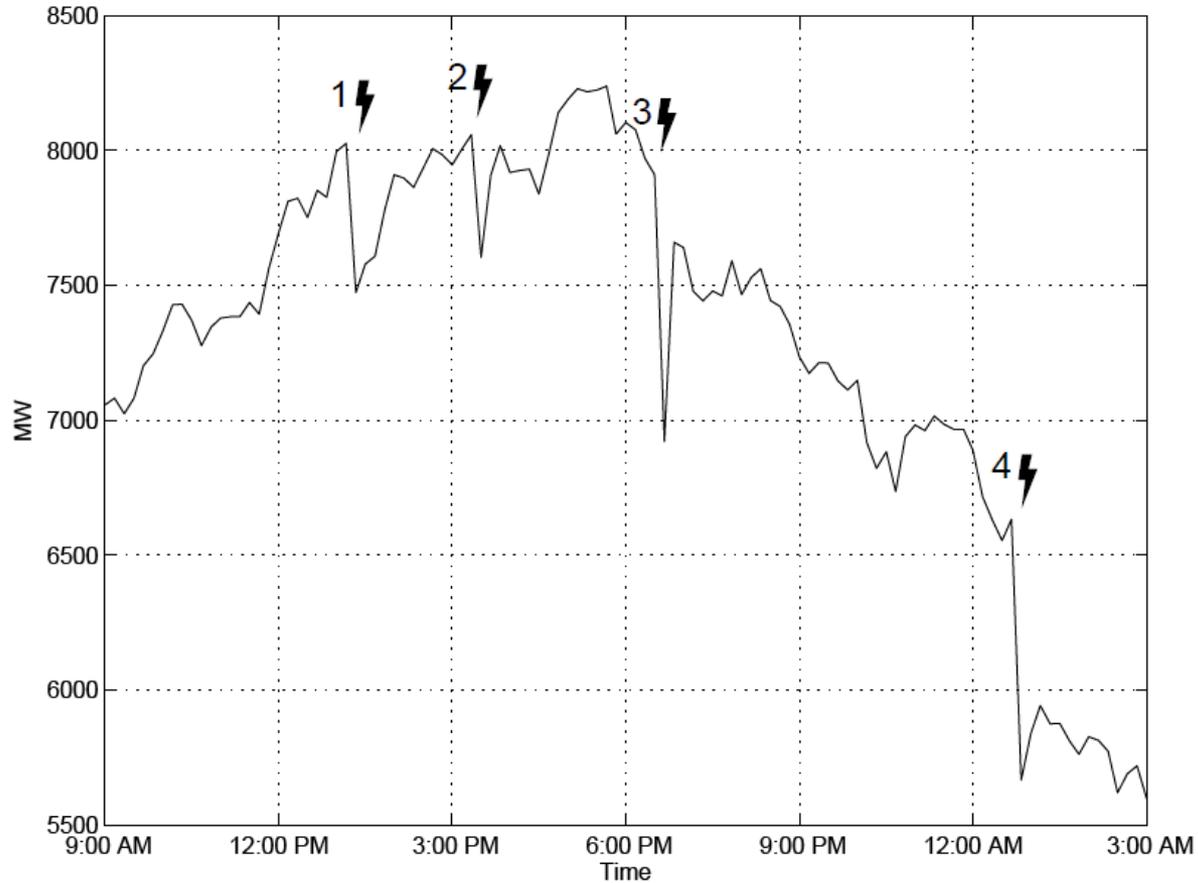


Figura: Generación eólica y huecos de tensión, 19-20 marzo 2007. Fuente: REE, [3]



Huecos de tensión III

- La operación de los sistemas de energía bajo los efectos de huecos de tensión en parques eólicos ha llevado a los TSOs a requerir capacidad FRT en parques eólicos
- A finales de 2010, 704 PEs fueron certificados con la capacidad de FRT (19, 2 GW y el 95% de la capacidad instalada)
- Un total de 1 GW en aerogeneradores están excluidos debido a fabricantes desaparecidos, turbinas de pequeño tamaño o ser prototipos
- Debido a esta adaptación técnica, la problemática de la energía eólica y los huecos de tensión ha sido resuelta, y por lo tanto no se han producido desconexiones preventivas, y por tanto recortes de producción, por esta razón desde el año 2008



Huecos de tensión IV

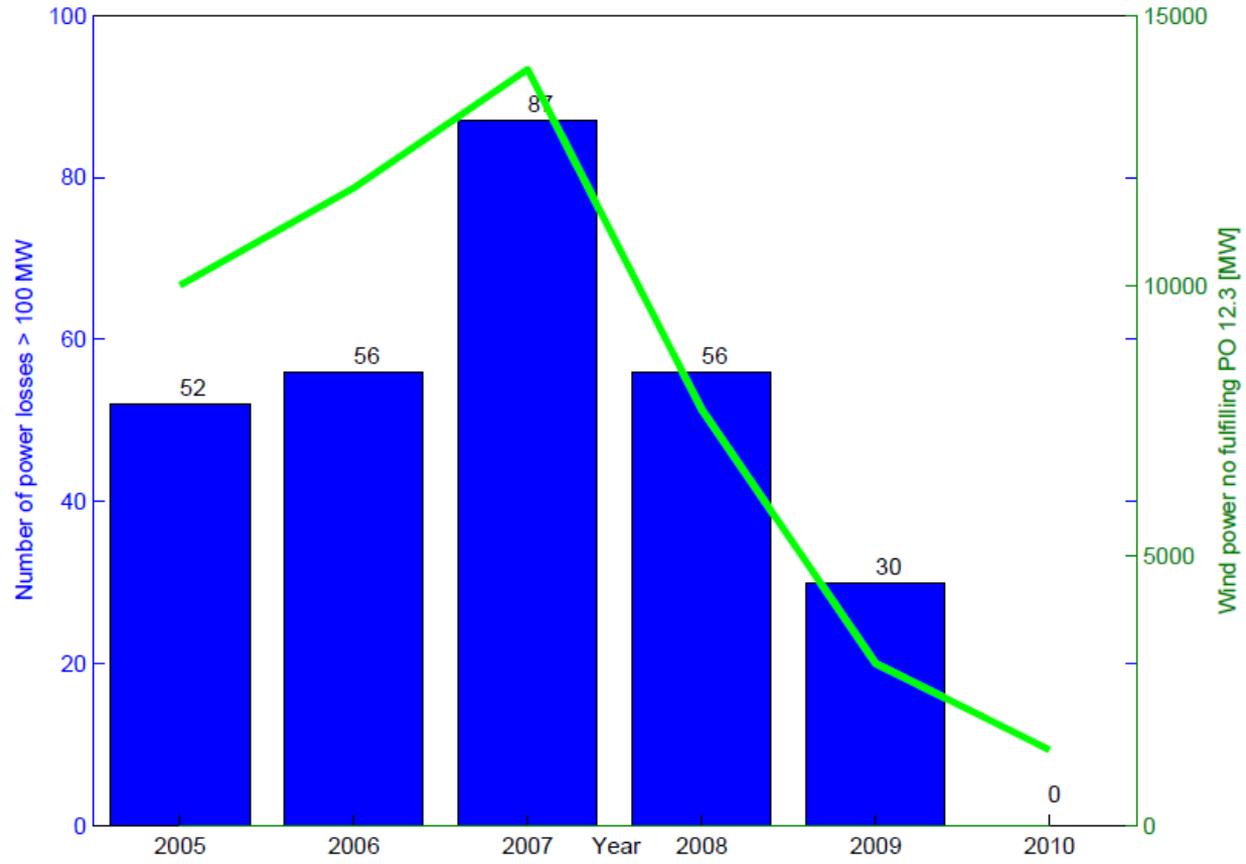


Figura: Evolución de la generación eólica adaptada, FRT. Fuente: REE, [3]



Índice

- 1 Introducción
 - Generación de origen renovable variable y no controlable en España
 - El sistema eléctrico español

- 2 Integración de la generación renovable en España
 - Rampas en generación eólica
 - Huecos de tensión
 - Tormentas
 - Recortes de generación eólica

- 3 Conclusiones



Tormentas

- Los fenómenos meteorológicos, por ejemplo tormentas o ciclones, son capaces de causar grandes variaciones en la generación eólica y velocidades de viento muy elevadas
- Una tormenta dentro de esta categoría puede afectar a un gran número de aerogeneradores, que tienen en torno a la misma velocidad de corte
- Cuando se alcanza la velocidad de corte, la energía generada se modifica desde potencia nominal a cero. Si este fenómeno se propaga a varios parques eólicos en un área en particular, podría causar un problema importante en la estabilidad de la red
- La tormenta Klaus: un ciclón extratropical registrado durante los días 23, 24 y 25 de enero afectó las costas españolas, con velocidades de viento superiores a 150 km/h
- El resultado fue la desconexión de parques eólicos en zonas del norte de España, lo que llevó a una reducción de alrededor de 7 000 MW de energía eólica en unas pocas horas



La tormenta Klaus



Figura: Evolución de tormenta Klaus



La tormenta Klaus

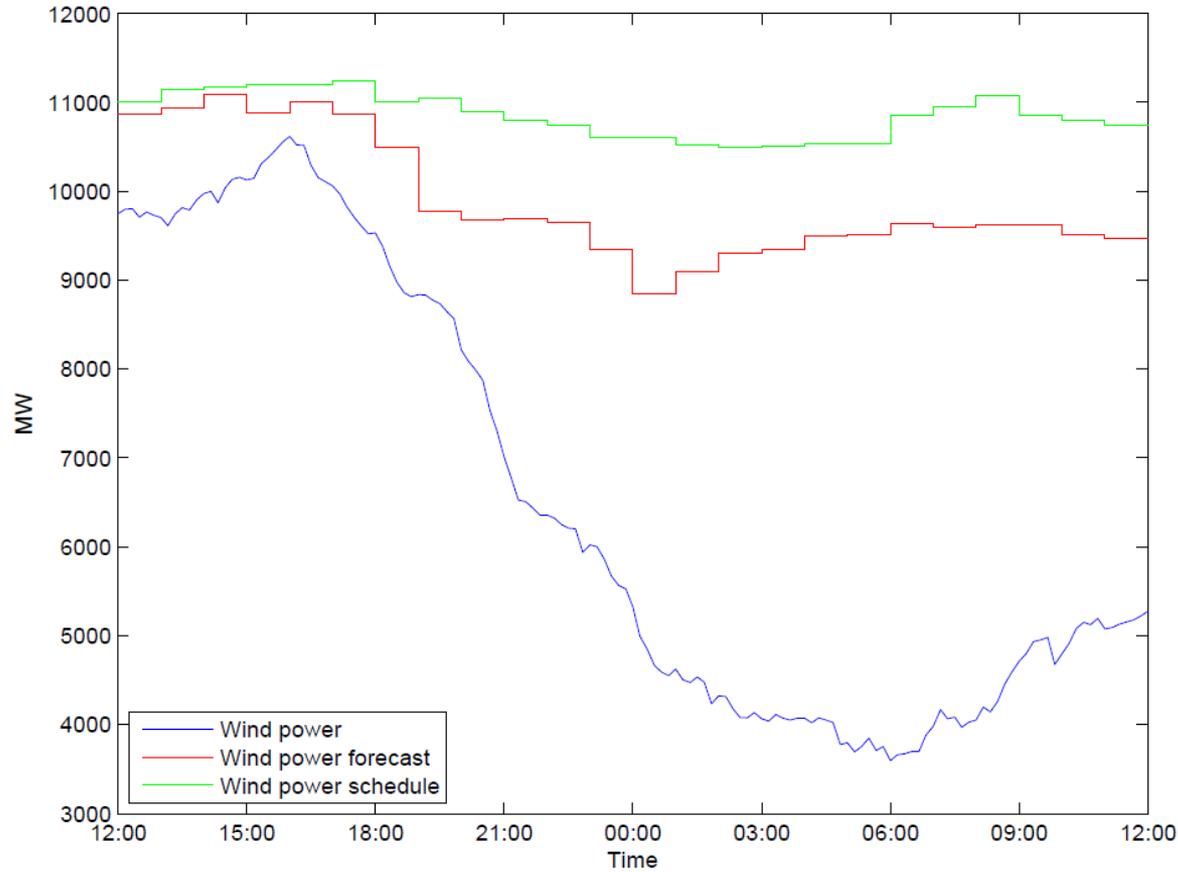


Figura: Generación eólica y predicción durante la tormenta Klaus. Fuente: REE, [3]



La tormenta Klaus

- REE conectó varias centrales térmicas para incrementar el volumen de reservas a subir
- Este ejemplo muestra las dificultades en la predicción de la generación eólica durante este tipo de eventos. Las Diferencias entre la predicción y la generación eólica real alcanzaron casi 6000 MW



Índice

- 1 Introducción
 - Generación de origen renovable variable y no controlable en España
 - El sistema eléctrico español

- 2 Integración de la generación renovable en España
 - Rampas en generación eólica
 - Huecos de tensión
 - Tormentas
 - Recortes de generación eólica

- 3 Conclusiones



Recortes en la generación eólica I

- Los recortes de generación eólica debido a problemas de integración en el sistema eléctrico han aparecido como consecuencia del mix actual de generación
- La seguridad del sistema eléctrico se comprueba con un escenario de viento en tiempo real
- CECRE analiza en tiempo real la generación eólica máxima soportada por el sistema
- Si se necesitan recortes, se calculan las consignas de generación eólica definiéndose la producción nodal máxima en la generación eólica
- Los parques eólicos afectados deben adaptar su producción a la consignada en 15 minutos



Recortes en la generación eólica II

- Hasta 2009, las principales causas de recortes son debidas a limitaciones en las redes de distribución.
- A partir de finales de 2009 los recortes ha sido aplicados en tiempo real a la energía programada
- Sin embargo, la naturaleza de esta energía renovable, junto con cuestiones económicas y ambientales, han provocado un interés en la introducción de sistemas de almacenamiento de energía, especialmente utilizadas son tecnologías como el almacenamiento de energía hidroeléctrica por bombeo (PHS)
- España dispone de alrededor de 5 000 MW –2,75 GW de bombeo puro, con capacidad de 77 GWh –, tecnología que es por lo general explotada debido a la capacidad de transmisión limitada para exportar a los países vecinos



Evolución de los recortes en la generación eólica I

- Recortes totales de energía eólica en 2010: $\approx 320\,000$ MWh. Alrededor 0,78 % de la generación de energía eólica en 2010
- Recortes totales de la energía eólica en el año 2011: $\approx 73\,300$ MWh. Alrededor 0,2 % de la generación de energía eólica en 2011
- Reducción total de energía eólica en 2020: $\approx 2,3$ TWh. Alrededor de 3,1 % de la generación de energía eólica en 2020 —valor medio teniendo en cuenta los objetivos de 2020 para el sistema eléctrico español—
- Las instalaciones de almacenamiento de energía y CCGT flexibles son las tecnologías clave para la gestión de la variabilidad del viento
- Los recortes de generación eólica pueden evitarse/reducirse con:
 - Nuevas centrales de almacenamiento hidroeléctrica de bombeo (o similares)
 - Control de la demanda, “Smart Grids”: La demanda debe seguir la generación renovable
 - Nuevas interconexiones internacionales



Evolución de los recortes en la generación eólica II

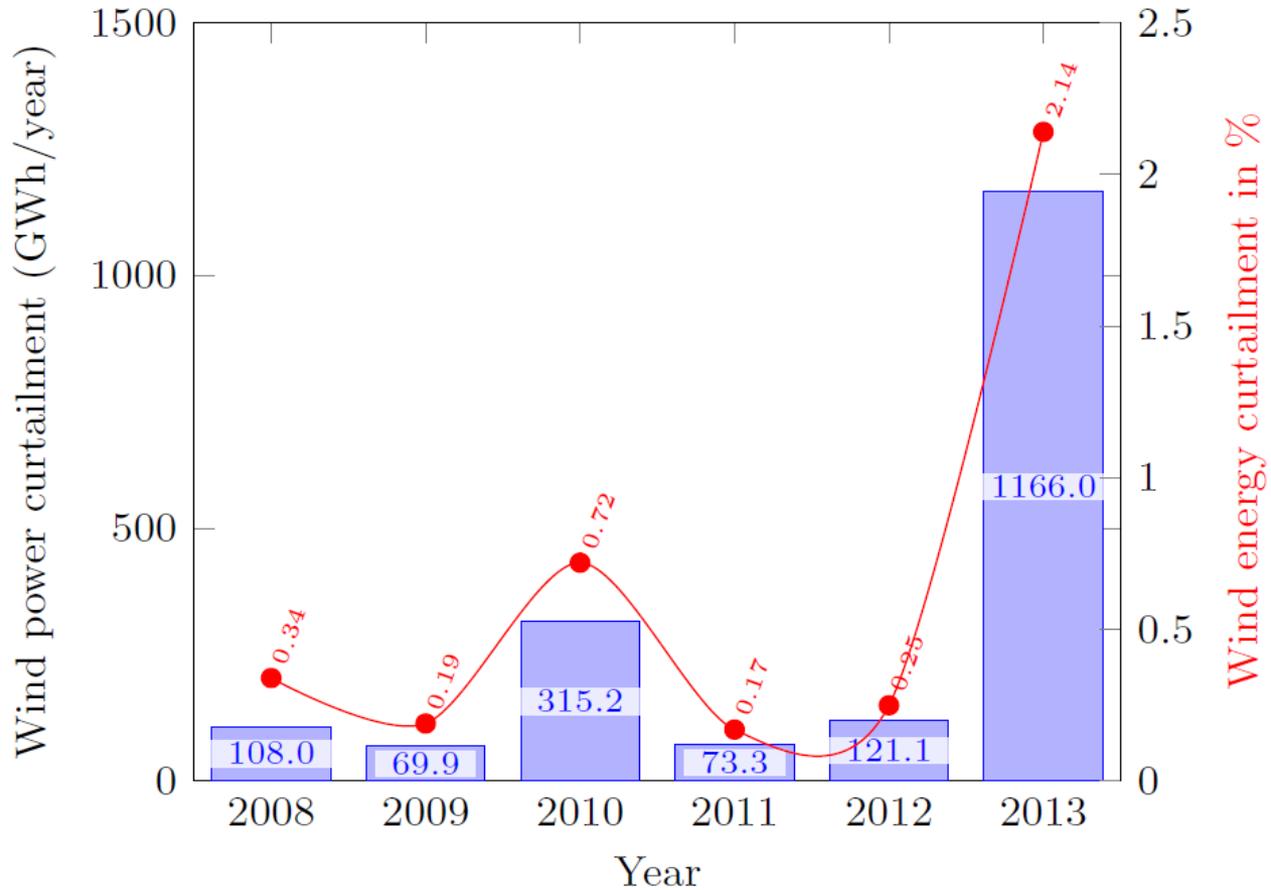


Figura: Fuente: REE, [3], y AEE, [1]



Índice

- 1 Introducción
 - Generación de origen renovable variable y no controlable en España
 - El sistema eléctrico español

- 2 Integración de la generación renovable en España
 - Rampas en generación eólica
 - Huecos de tensión
 - Tormentas
 - Recortes de generación eólica

- 3 Conclusiones



Conclusiones

- El alto nivel de penetración eólica en el sistema eléctrico español ha sido posible debido a los avanzados procedimientos de operación y la existencia de CECRE
- Las interconexiones internacionales y la generación térmica flexible son esenciales para hacer frente a los eventos y mantener el sistema eléctrico en condiciones de seguridad. Para la península Ibérica, es obligatorio aumentar la capacidad de intercambio internacional, una vez que la mayoría de los parques eólicos están certificados ante huecos de tensión
- En un futuro próximo, los PEs participarán activamente en la operación del sistema, proporcionando control de tensión, emulación de inercia, control de frecuencia, o capacidades más estrictas ante huecos de tensión



Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad –ENE2012-34603–, proyecto cofinanciado con fondos FEDER de la Unión Europea



Referencias I

- [1] Asociación Empresarial Eólica (AEE).
<http://www.aeeolica.es>.
- [2] Comisión Nacional de la Energía (CNE).
<http://www.cne.es>.
- [3] Red Eléctrica de España (REE).
<http://www.ree.es>.
- [4] AEE.
Eólica.
Spanish Wind Energy Association (AEE).



Referencias II

- [5] José Ignacio de la Fuente.
Access and connection processes for renewable units:
Experiences from red eléctrica de españa.
In Joint transmission system operator - utility regulator workshop on integration and cross border trade of renewable energy resources in regional transmission networks, Istanbul, Turkey, March 2011. USEA / USAID / NARUC.
- [6] José Ignacio de la Fuente.
Spanish TSO experience on renewable integration.
In Joint transmission system operator - utility regulator workshop on integration and cross border trade of renewable energy resources in regional transmission networks, Istanbul, Turkey, March 2011. USEA / USAID / NARUC.



Referencias III

- [7] José Ignacio de la Fuente.
Spanish TSO operational challenges and solutions.
In Joint transmission system operator - utility regulator workshop on integration and cross border trade of renewable energy resources in regional transmission networks, Istanbul, Turkey, March 2011. USEA / USAID / NARUC.
- [8] H. Holttinen, P. Meibom, A. Orths, B. Lange, M. O'Malley, J. O. Tande, A. Estanqueiro, E. Gómez-Lázaro, L. Söder, G. Strbac, J. C. Smith, and F. V. Hulle.
Impacts of large amounts of wind power on design and operation of power systems, results of IEA collaboration.
Wind Energy, 14(2):179–192, March 2011.



Referencias IV

- [9] Hannele Holttinen, Michael Milligan, Erik Ela, Nickie Menemenlis, Jan Dobschinski, Barry Rawn, Ricardo J. Bessa, Damian Flynn, Emilio Gómez-Lázaro, and Nina Detlefsen. Methodologies to determine operating reserves due to increased wind power. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 3(4):713–723, October 2012.
- [10] S. Martín-Martínez, E. Gómez-Lázaro, A. Vigueras-Rodríguez, A. Molina-García, M. Milligan, and E. Muljadi. Participation of wind power plants in the spanish power system during events. In *IEEE PES General Meeting*, pages 1–8, San Diego, USA, July 2012. IEEE Power & Energy Society.



Referencias V

- [11] S. Martín-Martínez, A. Viguera-Rodríguez, E. Gómez-Lázaro, J. A. Fuentes, and A. Molina-García.
Regulation strategies for wind power fluctuations depending on demand in Spain.
In International Workshop on Large-Scale Integration of Wind Power into Power Systems as well as on Transmission Networks for Offshore Wind Farms, pages 741–746, Quebec, Canada, October 2010. Energynautics GmbH.
- [12] REE.
El sistema eléctrico español.
Red Eléctrica de España.



Referencias VI

[13] REE.

The Spanish electricity system. Summary.
Red Eléctrica de España.

[14] Juan Ma. Rodríguez.

The wind in Spain: past, present and future challengers for a TSO.

In *DS3 Programme Advisory Council Meeting*, Dublin, Ireland, February 2011. Eirgrid.



Referencias VII

- [15] Lennart Soder, Hans Abildgaard, Ana Estanqueiro, Camille Hamon, Hannele Holttinen, Eamonn Lannoye, Emilio Gomez-Lazaro, Mark O'Malley, and Uwe Zimmermann. Experience and challenges with short term balancing in european systems with large share of wind power. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 3(4):853–861, October 2012.