

El sector eléctrico español del futuro

Retos y Políticas

Instituto de Investigación Tecnológica - IIT

Mayo 2019

El Sector Eléctrico Español del Futuro: Retos y Políticas

Resumen Ejecutivo

Profesores: Pedro Linares, Pablo Rodilla, Tomás Gómez, Michel Rivier, Pablo Frías, José Pablo Chaves, Álvaro Sánchez, Timo Gerres, Rafael Cossent, Luis Olmos, Andrés Ramos, Luis Rouco, Francisco Martín

Diciembre 2018

Versión Final

Santa Cruz de Marcenado, 26. 28015 Madrid. Tel. +34 91 542 28 00. Fax +34 91 542 31 76
www.iit.comillas.edu

El Sector Eléctrico Español del Futuro: Retos y Políticas

Versión Final

AUTORES: Pedro Linares, Pablo Rodilla, Tomás Gómez, Michel Rivier, Pablo Frías, José Pablo Chaves, Álvaro Sánchez, Timo Gerres, Rafael Cossent, Luis Olmos, Andrés Ramos, Luis Rouco, Francisco Martín

Diciembre de 2018

Instituto de Investigación Tecnológica,
Universidad Pontificia Comillas,
Calle Santa Cruz de Marcenado 26, 28015 Madrid, España
+34 91 542 2800

https://www.iit.comillas.edu/docs/IIT-18-153I_abstract.pdf

<https://www.iit.comillas.edu/docs/IIT-18-153I.pdf>

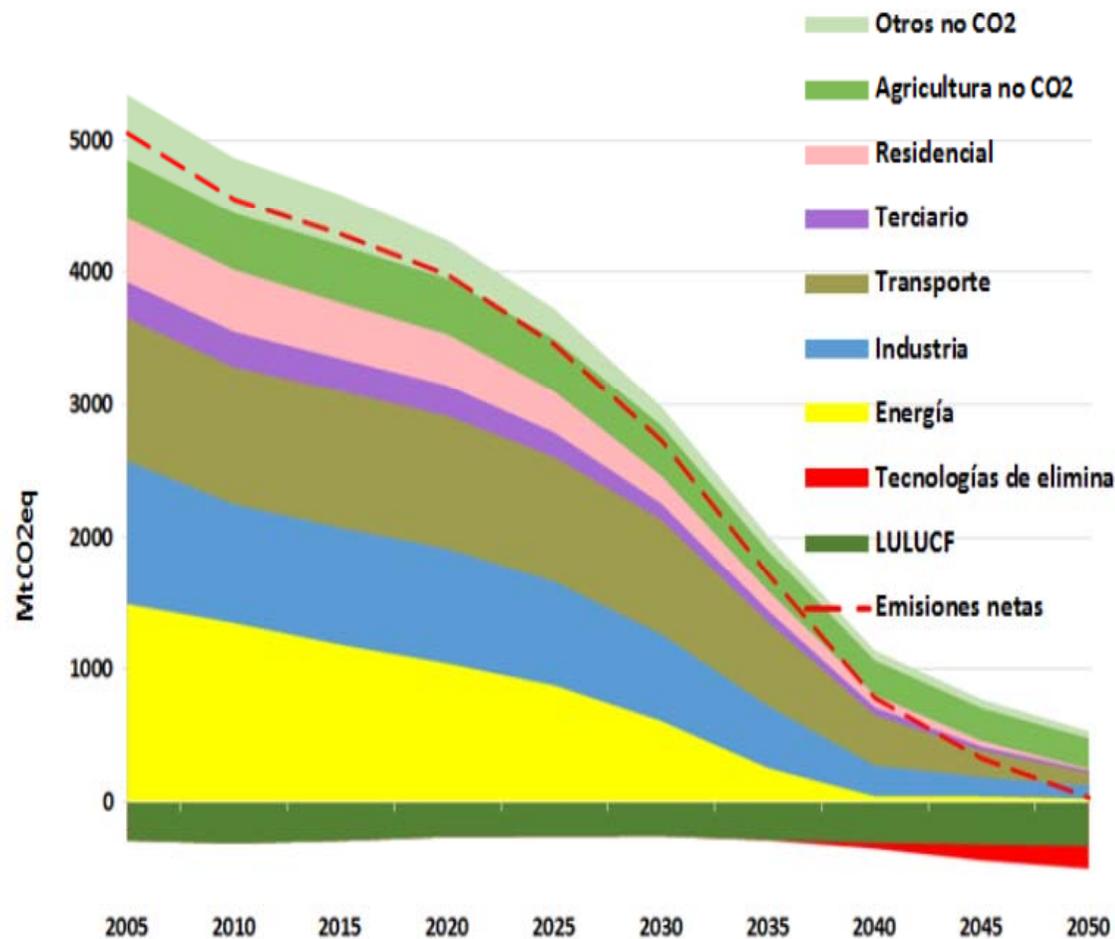
1. Contexto y Escenarios Futuros

Futuro del sector eléctrico

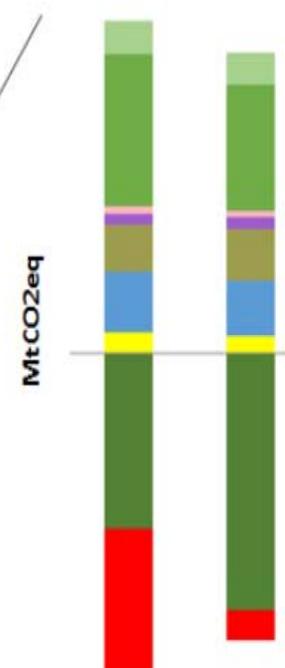
Instituto de Investigación Tecnológica - IIT

Mayo 2019

La senda de descarbonización en Europa

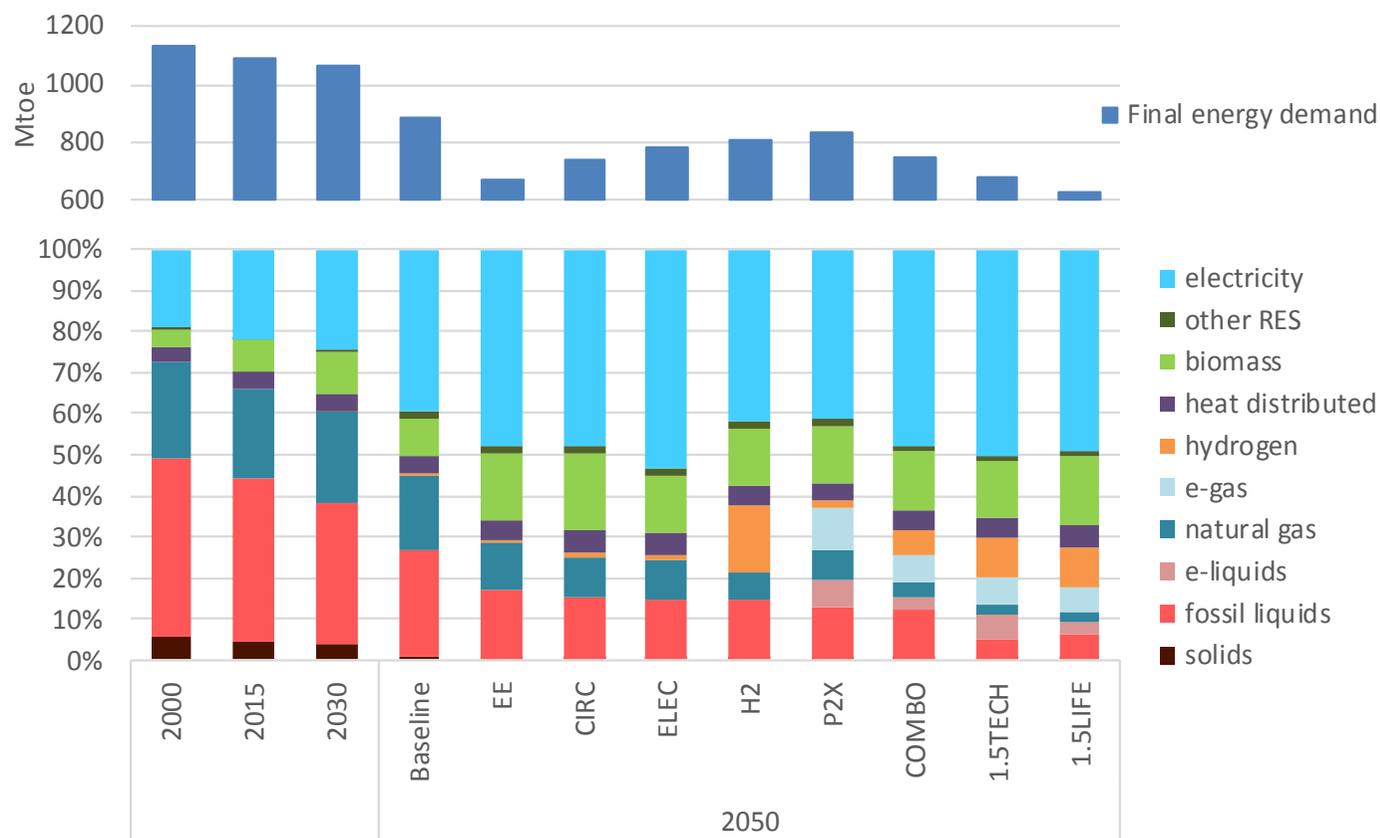


Diferentes vías de cero GEI conducen a diferentes niveles de emisiones restantes y de absorción de emisiones de GEI



El peso de la electricidad aumenta

Figure 20: Share of energy carriers in final energy consumption

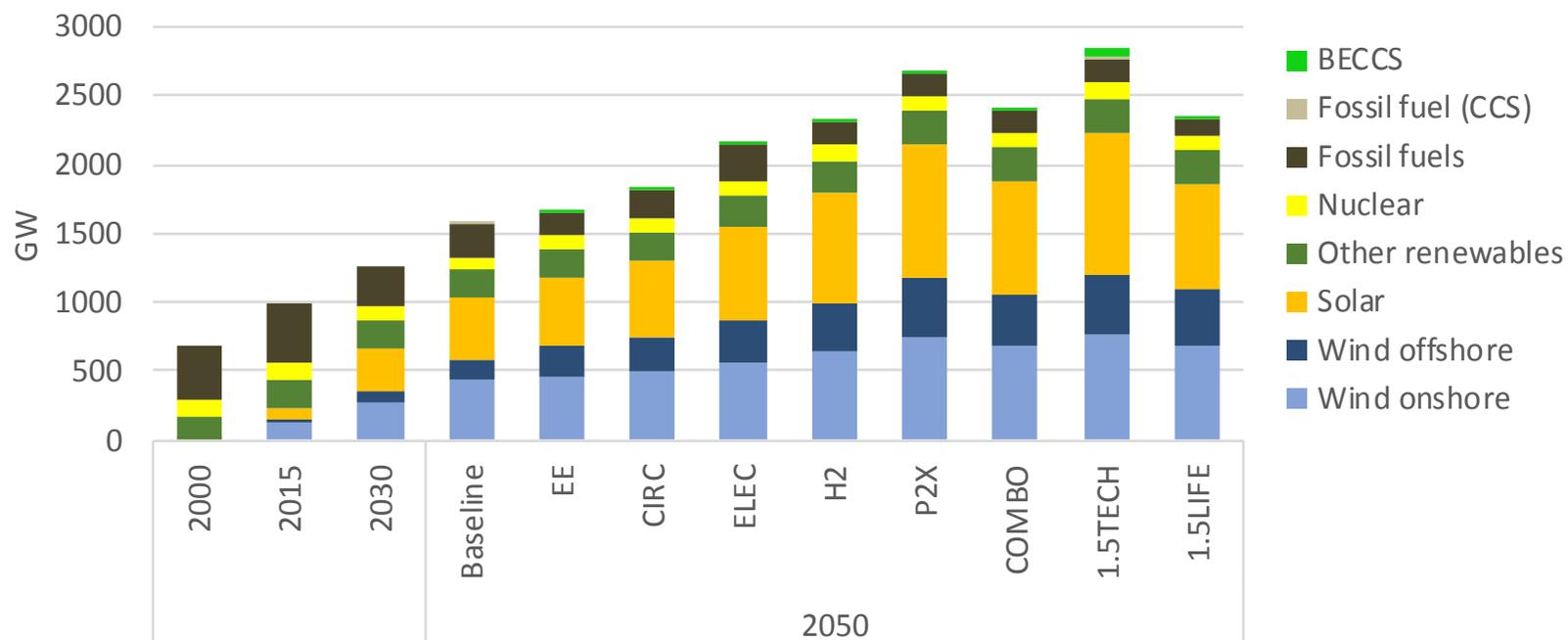


Source: Eurostat (2000, 2015), PRIMES



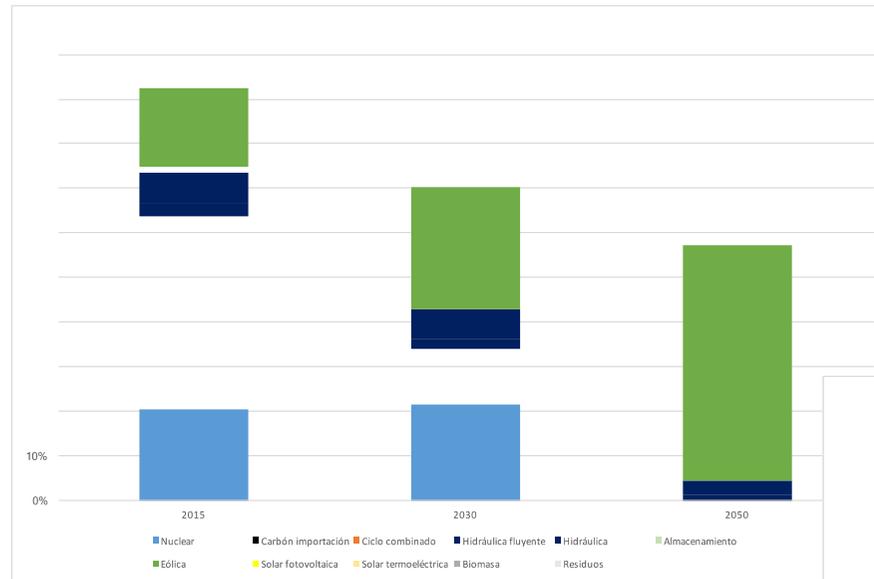
Y el sector eléctrico se descarboniza

Figure 24: Power generation capacity



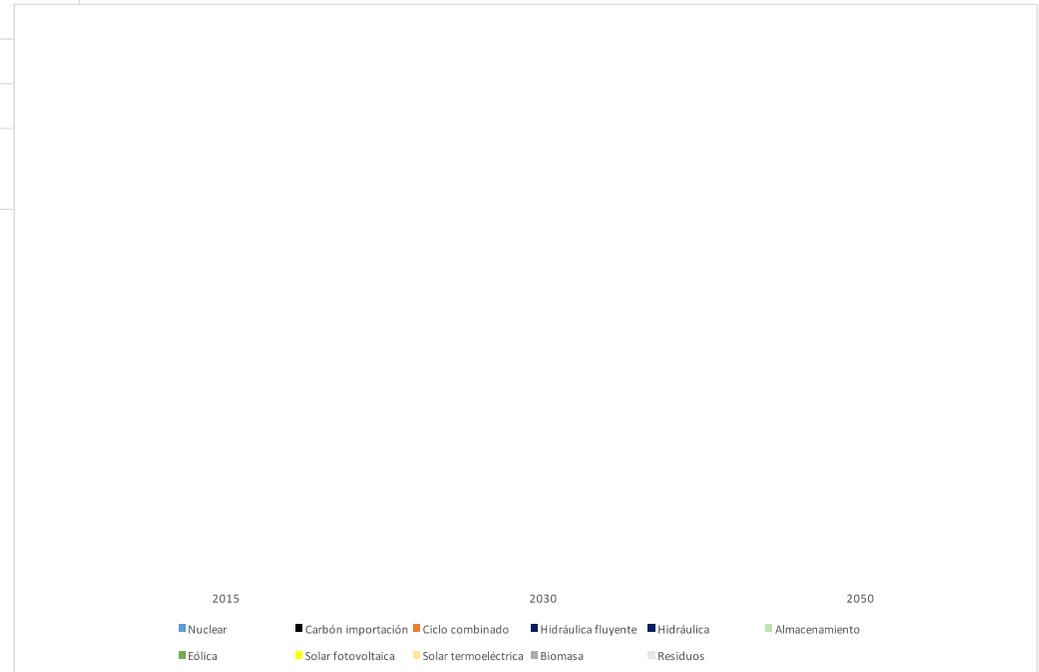
Source: Eurostat (2000, 2015), PRIMES.

El futuro del sector eléctrico en España



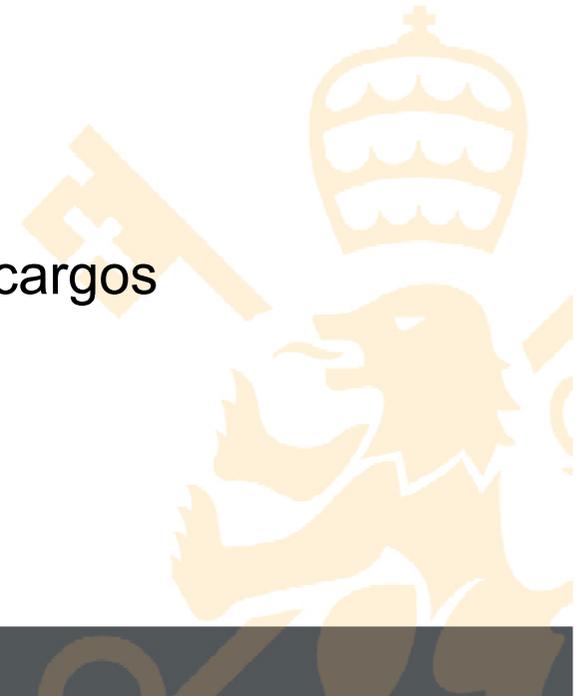
Mantenimiento de políticas actuales

Descarbonización



Los retos del sector eléctrico

- Tecnologías de generación y almacenamiento
- La demanda eléctrica
 - El transporte
 - Edificios
 - Industria
- Las redes eléctricas: Distribución y Transporte
- Operación del sistema eléctrico
- Diseño de mercado
- Costes del sistema y su asignación a precios y cargos
- Roadmap para la transición



2. Seguridad a muy corto plazo

Futuro del sector eléctrico

Instituto de Investigación Tecnológica - IIT

Mayo 2019

Introducción

- ¿Qué es la **seguridad a muy corto plazo** (estabilidad)?
 - La seguridad a muy corto plazo de un sistema eléctrico se define como la **capacidad del mismo para soportar las perturbaciones** que pueden ocurrir manteniendo dentro de márgenes aceptables la tensión y la frecuencia.
 - ¿Qué **perturbaciones** pueden ocurrir?
 - Caída de un rayo
 - Cortocircuito
 - Desconexión de un generador



comillas.edu



Introducción

- ¿Cómo se mantiene hoy la seguridad a muy corto plazo?
 - Los **generadores convencionales** mantienen la seguridad a muy corto plazo.
 - Los **sistemas de regulación de los generadores** convencionales detectan las variaciones de tensión y frecuencia y modifican su producción de energía (activa y reactiva) para reducir o eliminar las citadas variaciones.
 - Además, los **rotores de los generadores** convencionales almacenan grandes cantidades de energía cinética (inercia) que permiten absorber los efectos de las perturbaciones.

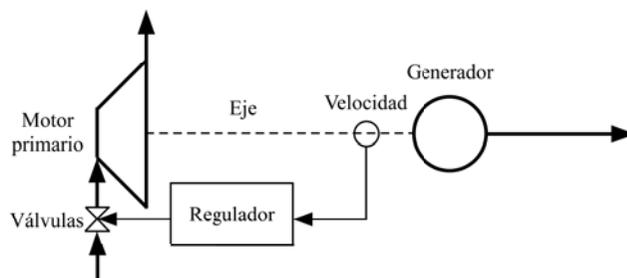
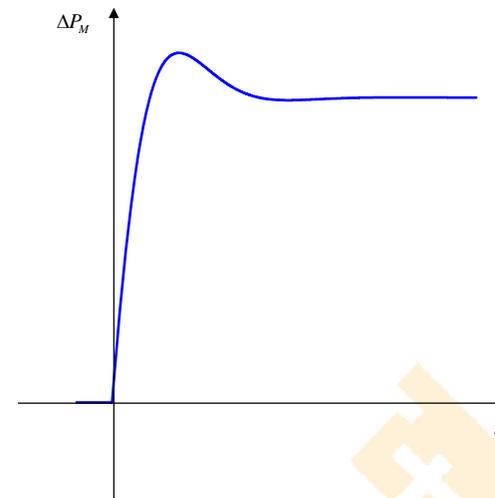
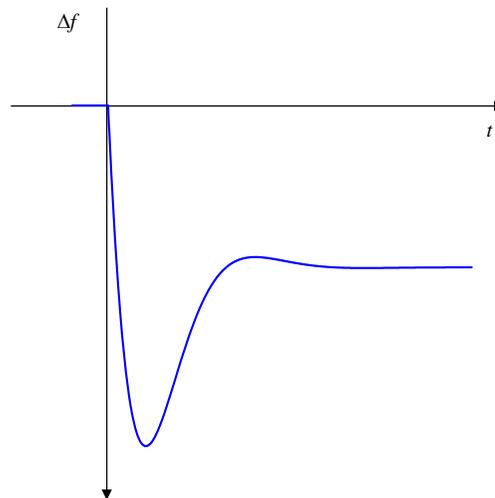


Retos

- La **carencia de inercia** y su **impacto en la regulación de frecuencia** del sistema
 - La generación eólica y fotovoltaica está conectada a la red eléctrica a través de **convertidores electrónicos de potencia**.
- Su **carácter distribuido** y su **impacto en la regulación de tensión** de la red de transporte a 400 kV
 - La generación eólica está conectada en **niveles de tensión inferiores** (sobretudo en 220 y 132 kV).
 - Un parque eólico o una falta fotovoltaica está formada por **decenas/centenares de elementos** cuyo suministro de potencia reactiva es preciso coordinar.

Retos

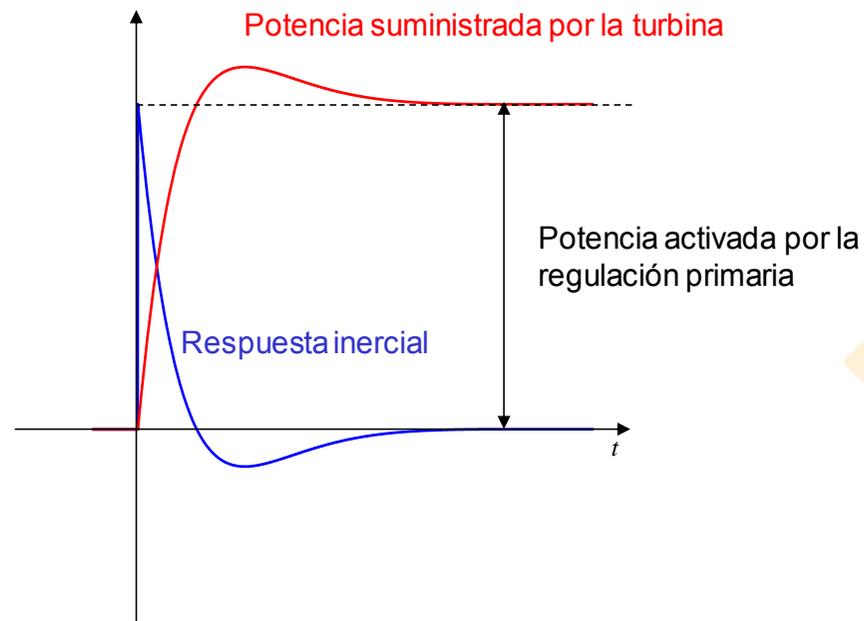
- La **carencia de inercia y regulación de frecuencia**
 - ¿Qué pasa con la **frecuencia** cuando se produce la **desconexión de un generador**?



- La frecuencia cae
- Los generadores aumentan su generación
- La frecuencia se estabiliza

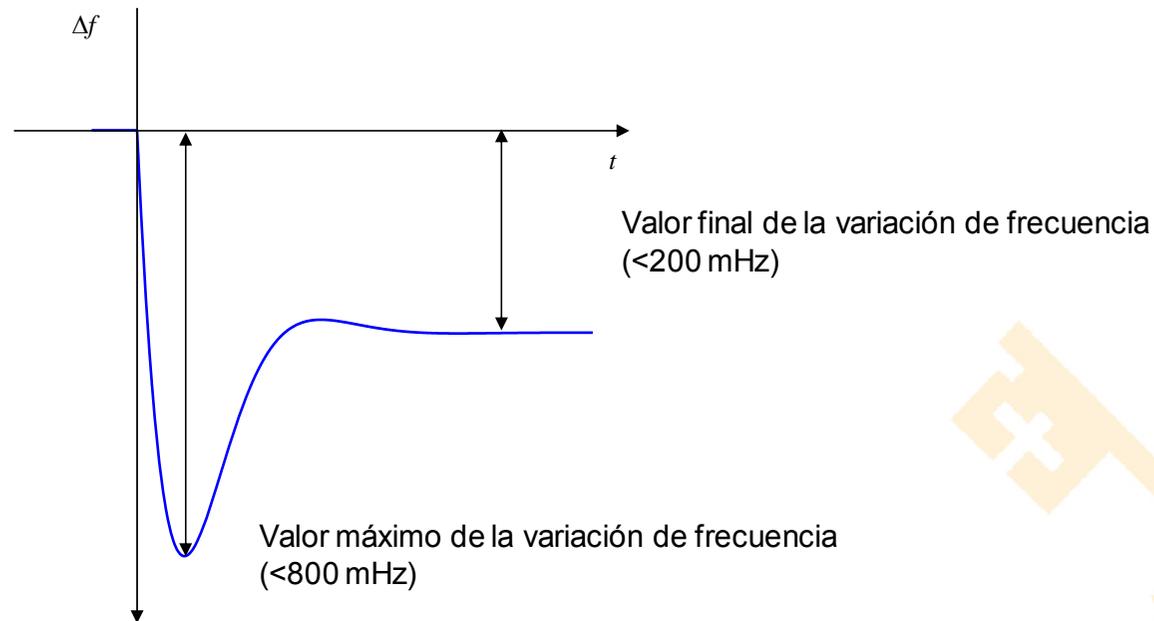
Retos

- La **carencia de inercia y regulación de frecuencia**
 - ¿Qué son la **respuesta inercial** y la **respuesta de la regulación primaria**?



Retos

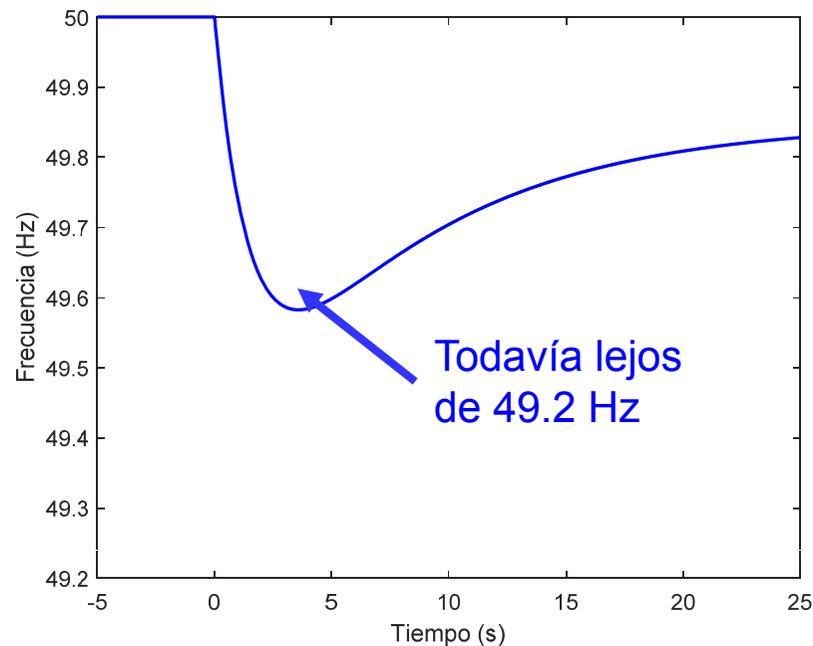
- La **carencia de inercia y regulación de frecuencia**
 - ¿Cómo afecta la inercia a la frecuencia?



La inercia afecta al valor máximo de la variación de frecuencia:
Menor inercia significa mayor valor máximo de la variación de frecuencia

Retos

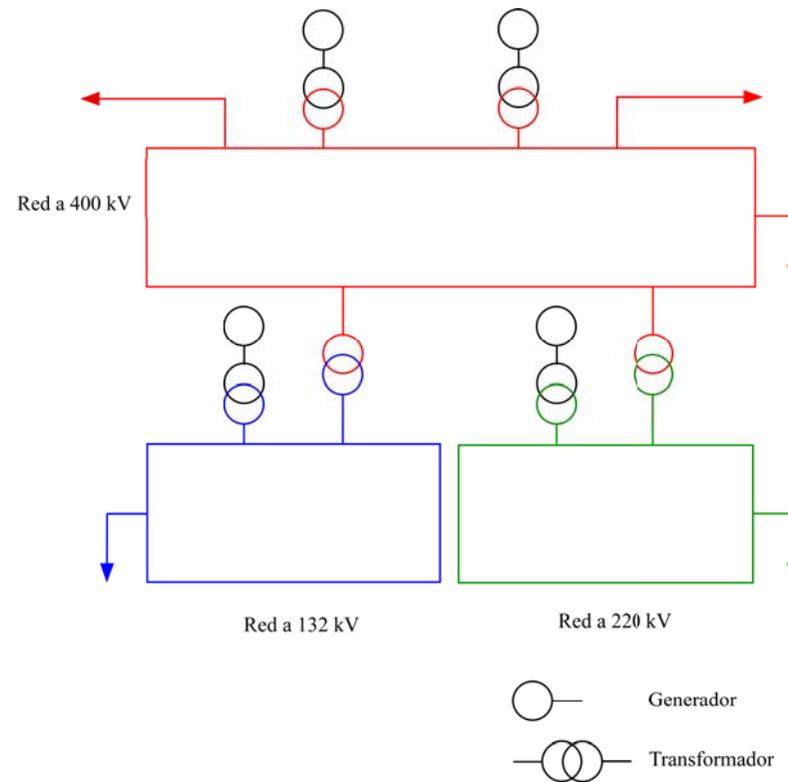
- La **carencia de inercia y regulación de frecuencia**
 - ¿Cómo **ayuda** a la frecuencia la **interconexión al sistema continental europeo**?
 - ¿**Cuánto caería la frecuencia** en caso de la pérdida de 3,000 MW de generación en un escenario de valle con 200,000 MW de demanda con 80% de generación no síncrona?



Siempre y cuando el comportamiento de la regulación primaria sea adecuado

Retos

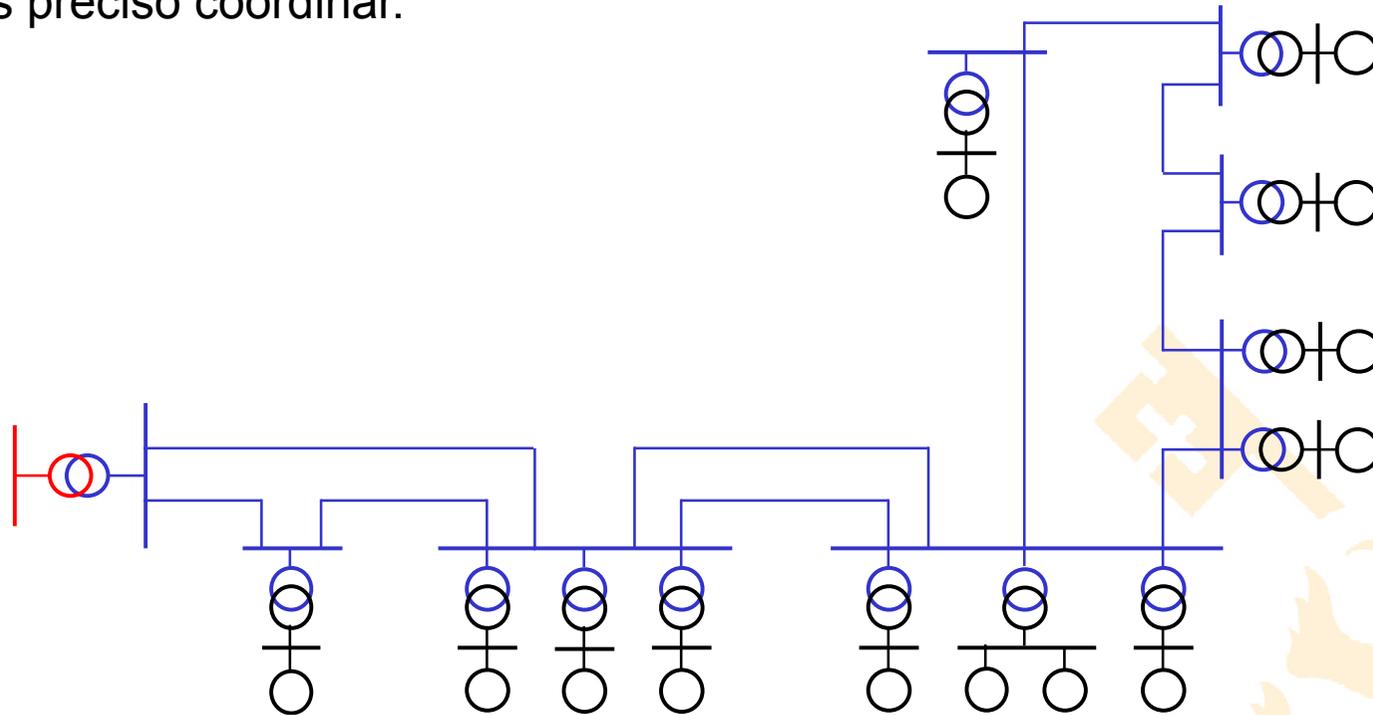
- Su **carácter distribuido** y su **impacto en la regulación de tensión de la red de transporte a 400 kV**
 - La generación eólica está conectada en **niveles de tensión inferiores** (sobre todo 220 y 132 kV).



La regulación de tensión en la red a 400 kV se hace muy difícil si sólo hay generación en las redes a 220 y 132 kV

Retos

- Su **carácter distribuido** y su **impacto en la regulación de tensión de la red de transporte a 400 kV**
 - Un parque eólico o una planta fotovoltaica están formados por **decenas/centenares de elementos** cuya suministro de potencia reactiva es preciso coordinar.



comillas.edu Parques eólicos vertiendo su producción a una subestación a 400 kV

Soluciones

- La **regulación de tensión de la red de transporte** con presencia masiva de fuentes renovales
 - Puede realizarse **instalando en la red de transporte**
 - **compensadores estáticos** de potencia reactiva o
 - **compensadores síncronos**



Soluciones

- **La carencia de inercia y regulación de frecuencia**
 - ¿Qué **necesita un sistema eléctrico** con **altísima penetración de generación no-síncrona**?
 - Emulación de inercia o inercia sintética
 - Regulación primaria
 - ¿**Cómo se puede proveer la inercia sintética**?
 - Adaptando los sistemas de control
 - ¿**Cómo se puede prestar la regulación primaria**?
 - Con fuentes renovables con reservas
 - Con sistemas de almacenamiento de energía

Conclusiones

- En el sistema eléctrico español con alta penetración de fuentes renovables, la frecuencia podría seguir manteniéndose si el sistema europeo mantuviera generación convencional en proporción suficiente.
- Si esto no fuera suficiente, sería imprescindible contar con recursos propios capaces de proporcionar la reserva primaria necesaria.

Conclusiones

- Existen hoy soluciones tecnológicas para dar respuesta a los problemas de seguridad de muy corto plazo.
- Su implantación progresiva en el sistema **no supondrá un impacto económico relevante** en el mismo.
- Por supuesto, **hay que seguir aprendiendo lecciones** de las experiencias prácticas.
 - En España, los **sistemas insulares** son excelentes laboratorios de escala real donde poder aprender.

3. Seguridad de largo plazo

Futuro del sector eléctrico

Instituto de Investigación Tecnológica - IIT

Mayo 2019

Las renovables y la seguridad del sistema de largo plazo (SsLp)

Impacto renovables en asegurar la disponibilidad del suministro

- Despacho
- Precios
- Generación de respaldo

Constatación

¿Hay un problema?

- ¿Fallos del mercado?
- Papel del riesgo

Análisis

¿Posibles soluciones?

- Mecanismos de seguridad a largo plazo del sistema

Propuestas

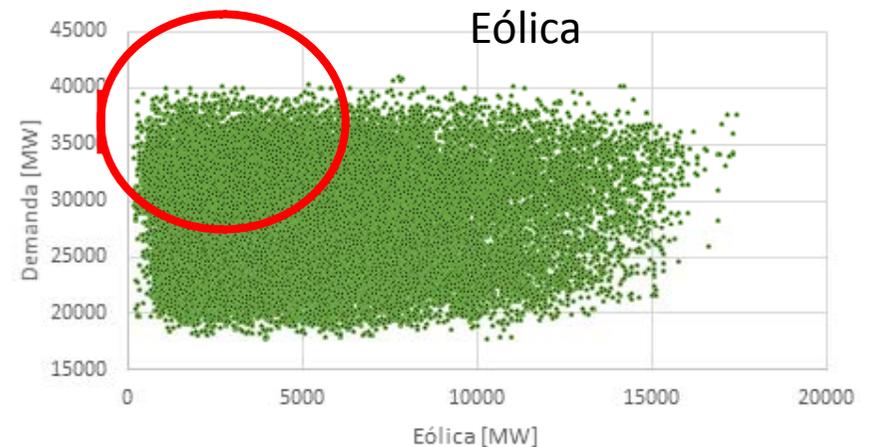
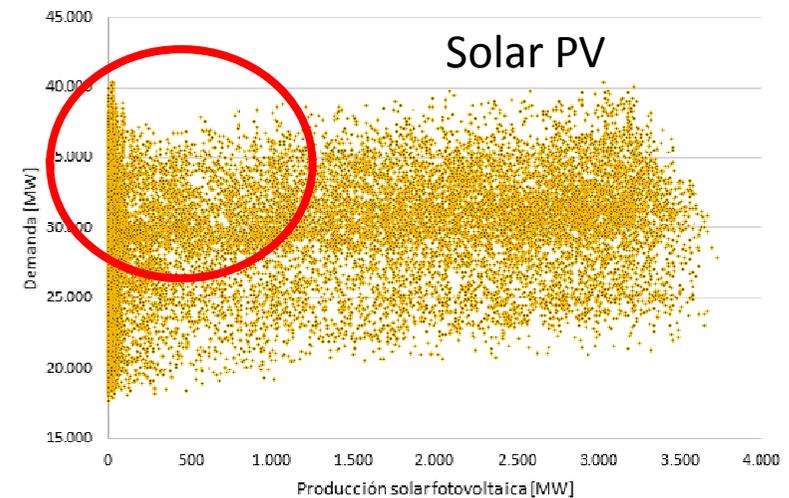
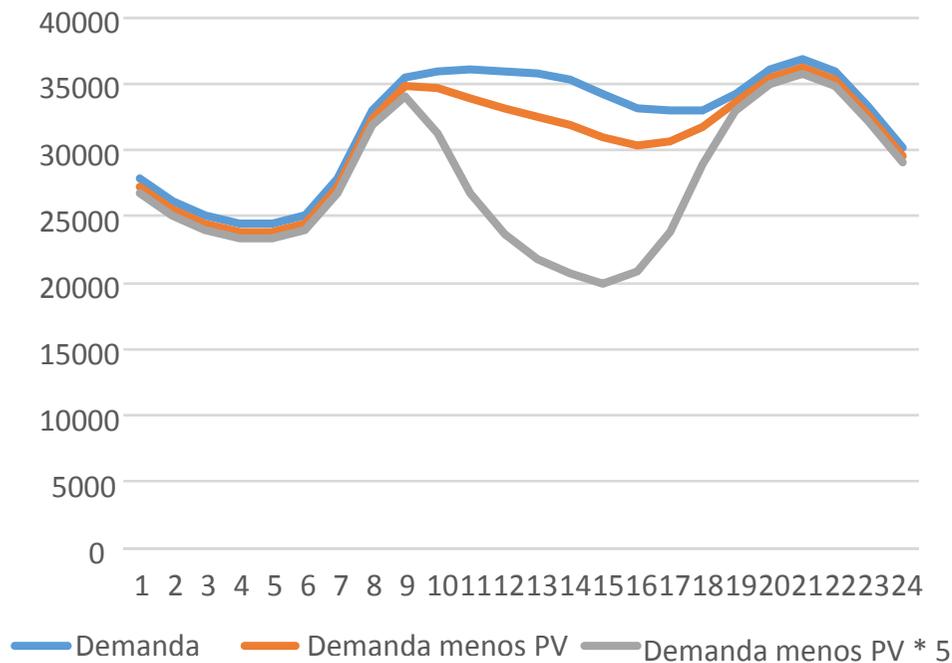
Mecanismos de desarrollo de renovables

Impacto de la renovable en SsLp

Necesidad de respaldo

NO GESTIONABILIDAD (recurso primario)
Escasa contribución de la solar PV a la punta de invierno

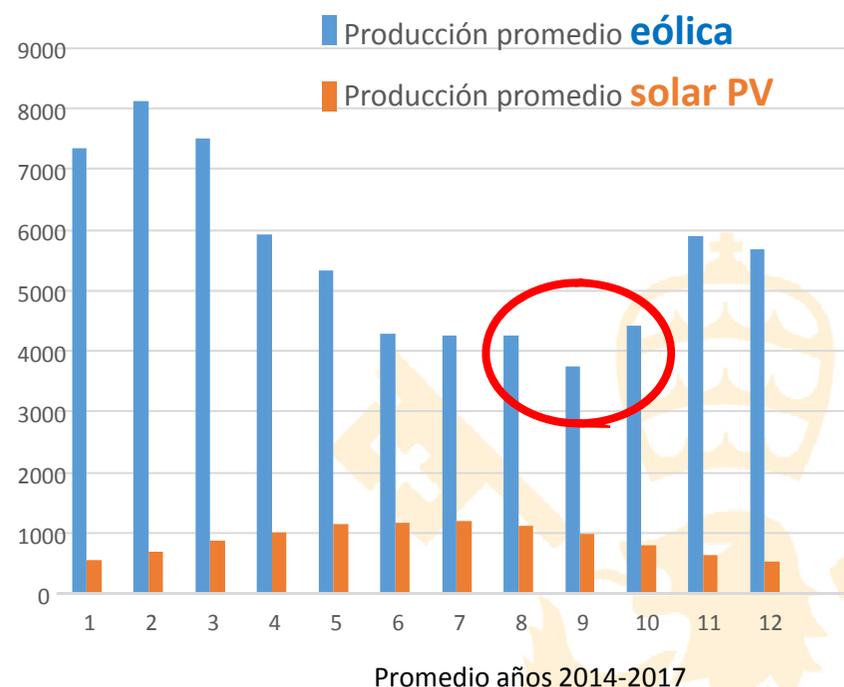
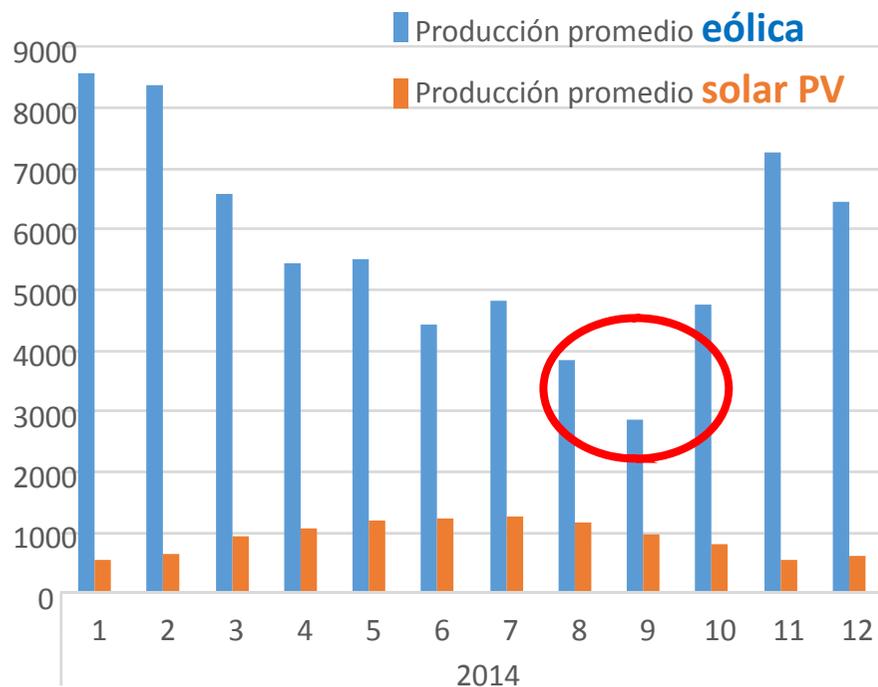
Demanda y producción solar PV (23-1-2018)



Impacto de la renovable en SsLp

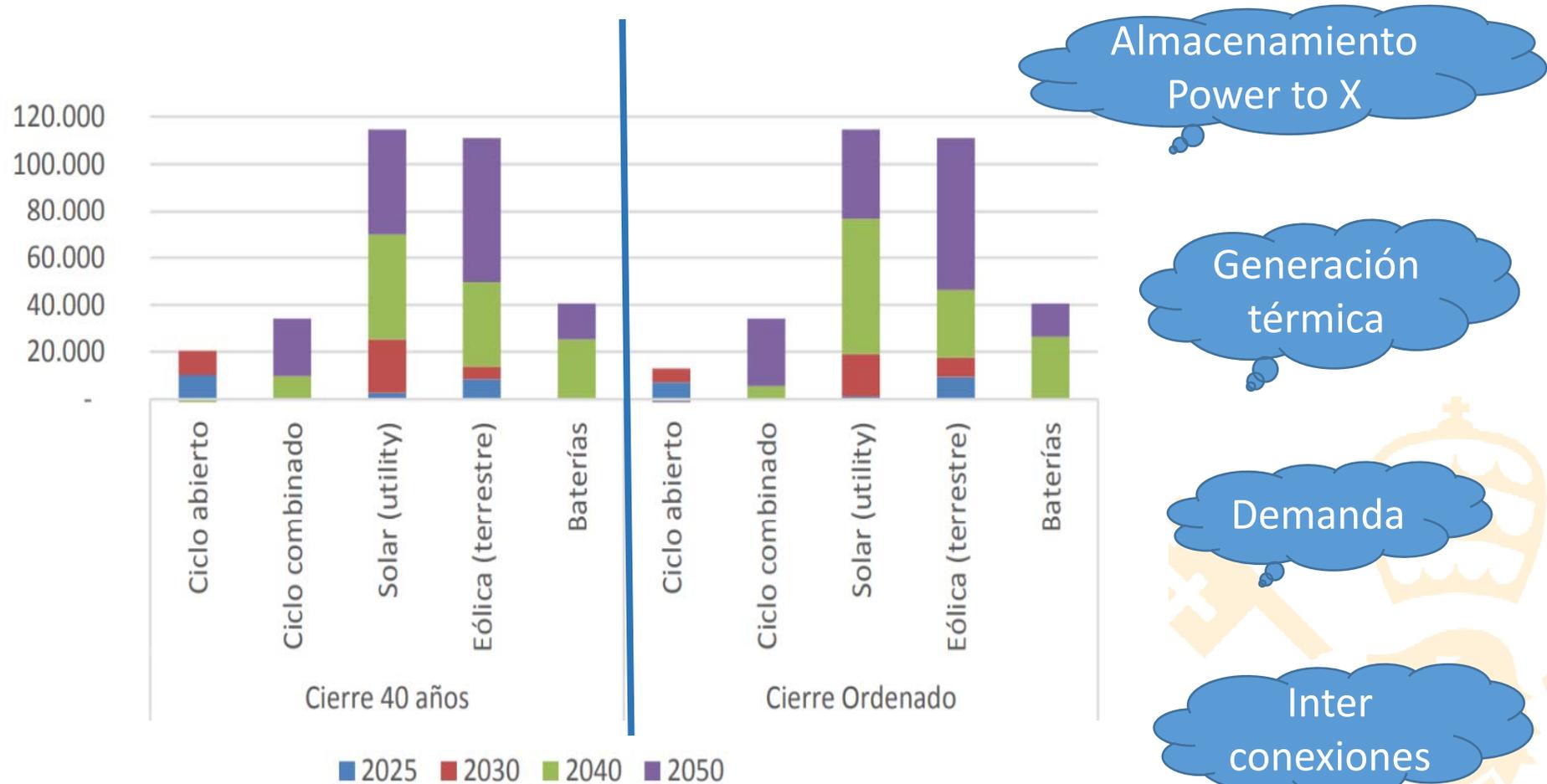
Necesidad de respaldo

NO GESTIONABILIDAD (recurso primario)
Contribución limitada de las renovables durante algunos periodos



Impacto de la renovable en SsLp

Necesidad de respaldo



Impacto de la renovable en SsLp Despacho y precios

Precios del mercado de energía
Presiona a la baja
Volatilidad
Precios de escasez

Presionados a la
baja

Efecto orden de
mérito

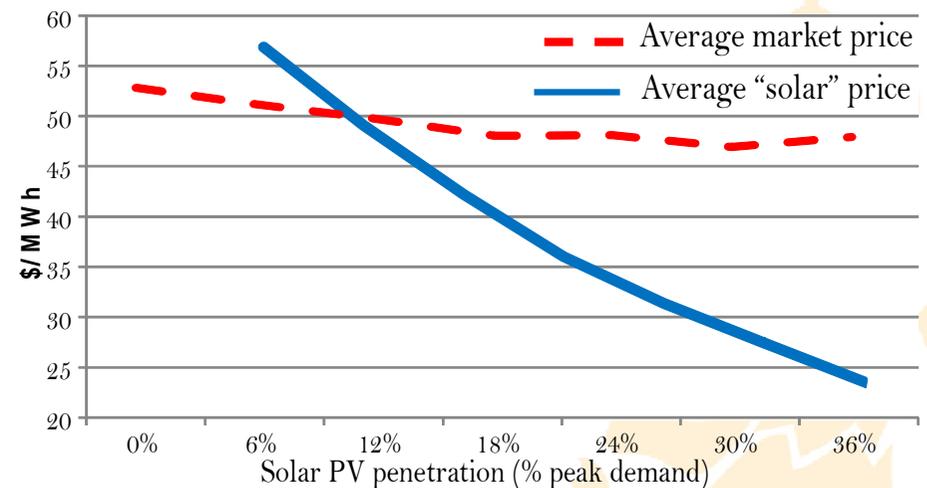
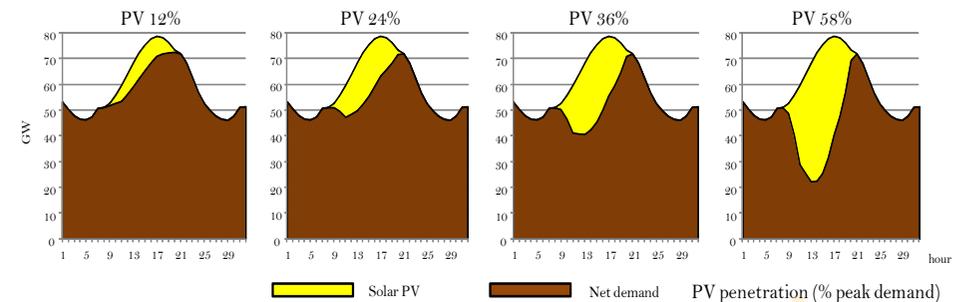
Volatilidad

No gestionabilidad

Picos de precios
- precios de escasez
- mayores costes de
térmica respaldo

No gestionabilidad
Ciclado gen. term.

Canibalización renovables (solar PV)
Mayor riesgo



Fuente: The Future of Solar Energy (MIT, 2015)

Impacto de la renovable en SsLp Despacho y precios

- Presiona a la baja los precios del mercado de energía
- Desplaza e incrementa el ciclado de la gen. Térmica
- Incrementa requerimientos de flexibilidad

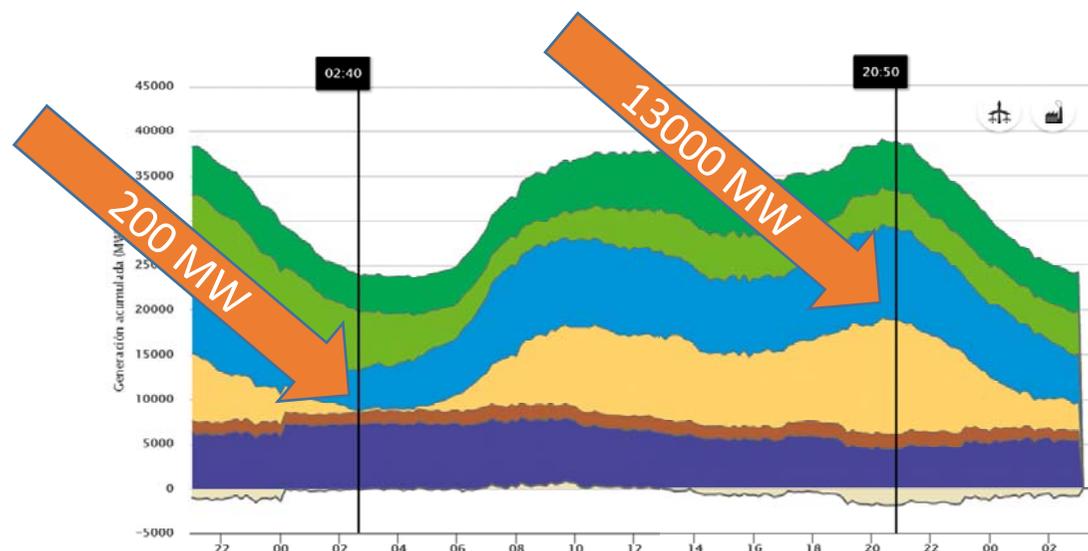
Gen. Térmica
de respaldo

Afecta a la rentabilidad

Condiciona la tecnología



Necesidad de que recoja adecuadamente los precios en momentos de escasez



Estructura de generación (MW) a las 02:40 - 03/03/2010

Resto reg. esp.	4191	17,59(%)
Eólica	6409	26,9(%)
Hidráulica	4651	19,52(%)
Ciclo combinado	195	0,82(%)
Carbón	1187	4,98(%)
Fuel/gas	62	0,26(%)
Nuclear	7280	30,55(%)
Intercambios int	-146	-0,61(%)

Estructura de generación (MW) a las 20:50 - 03/03/2010

Resto reg. esp.	5469	14,09(%)
Eólica	4104	10,58(%)
Hidráulica	10313	26,58(%)
Ciclo combinado	12839	33,09(%)
Carbón	1642	4,23(%)
Fuel/gas	61	0,16(%)
Nuclear	6248	16,1(%)
Intercambios int	-1872	-4,82(%)

Las renovables y la seguridad del sistema de largo plazo (SsLp)

¿Puede el mercado de energía proveer las **INVERSIONES** necesarias para garantizar una seguridad del sistema en el largo plazo?

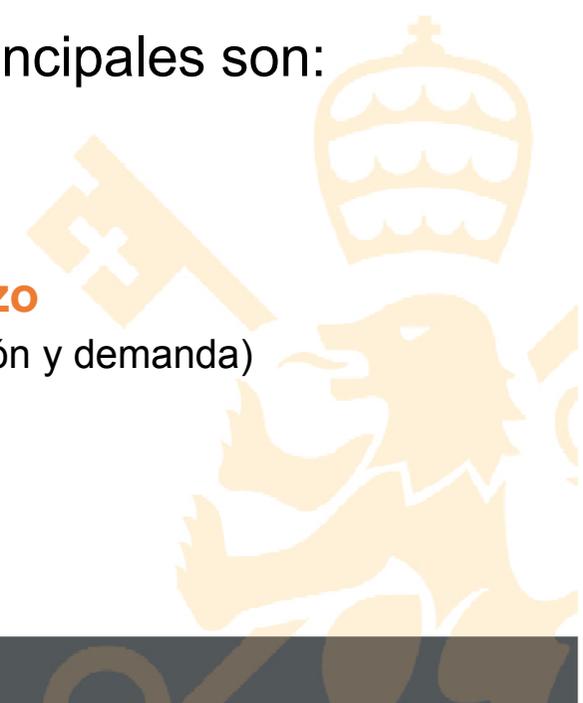
- En un mercado marginalista los generadores eficientes **recuperan los costes de inversión** (mix óptimo) con los precios de la energía...

...bajo ciertas hipótesis, donde las dos principales son:

- Hay un **mercado eficiente de corto plazo**
 - Participación activa de los agentes
 - Regla de precio eficiente y no intervenida
- Hay un **mercado eficiente en el largo plazo**
 - El riesgo se asigna de forma eficiente (generación y demanda)

Entonces

¿Hay un problema?



Segur. del sistema de largo plazo

El fallo de mercado

- Precio máximo muy bajo (180€/MWh)
- Presión implícita sobre el precio

La electricidad alcanzará esta tarde su precio máximo en plena ola de frío

El coste de la luz tocará a las 20.00 horas el coste histórico, en 92 euros por megavatio hora, más del doble que hace tres meses

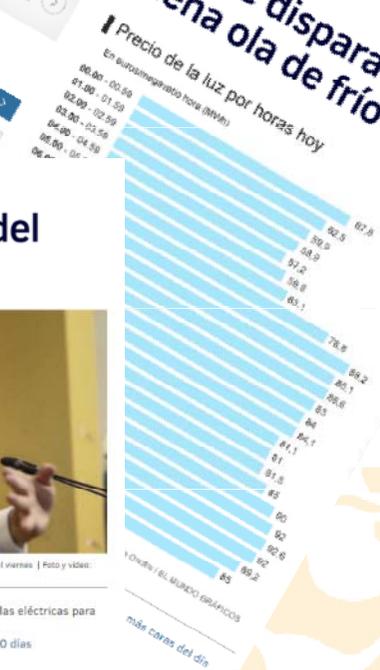
Energía aprueba medidas de urgencia ante el nuevo récord del precio de la luz el viernes



Energía aprueba medidas de urgencia ante el nuevo récord del precio de la luz el viernes | Foto y vídeo: EFE

- Busca dar más transparencia al precio del gas utilizado por las eléctricas para generar luz en sus ciclos combinados
- El precio de la luz seguirá disparado durante los próximos 10 días

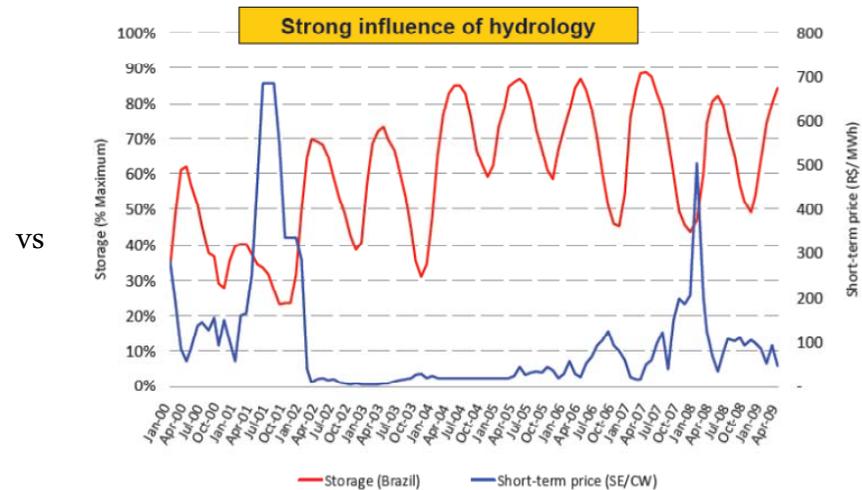
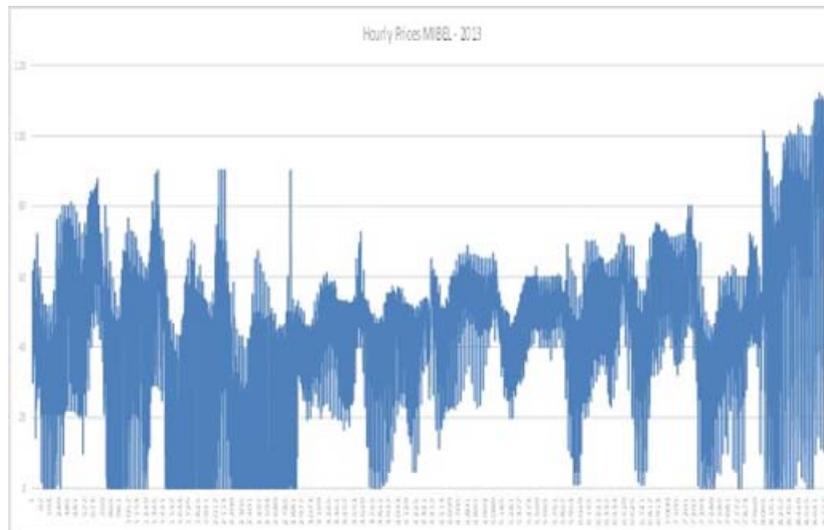
El precio de la luz se dispara este miércoles en plena ola de frío



Segur. del sistema de largo plazo

El papel del riesgo

- Volatilidad de corto plazo versus volatilidad de largo plazo



Source: L.A. Barroso, Power Sector Deregulation In Brazil.
Ensuring Supply Adequacy Through Energy Auctions.

- El verdadero problema es la volatilidad de largo plazo
- Las renovables contribuyen a esta volatilidad de largo plazo
 - Políticas, mecanismo de desarrollo y evolución costes tecnología

Segur. del sistema de largo plazo

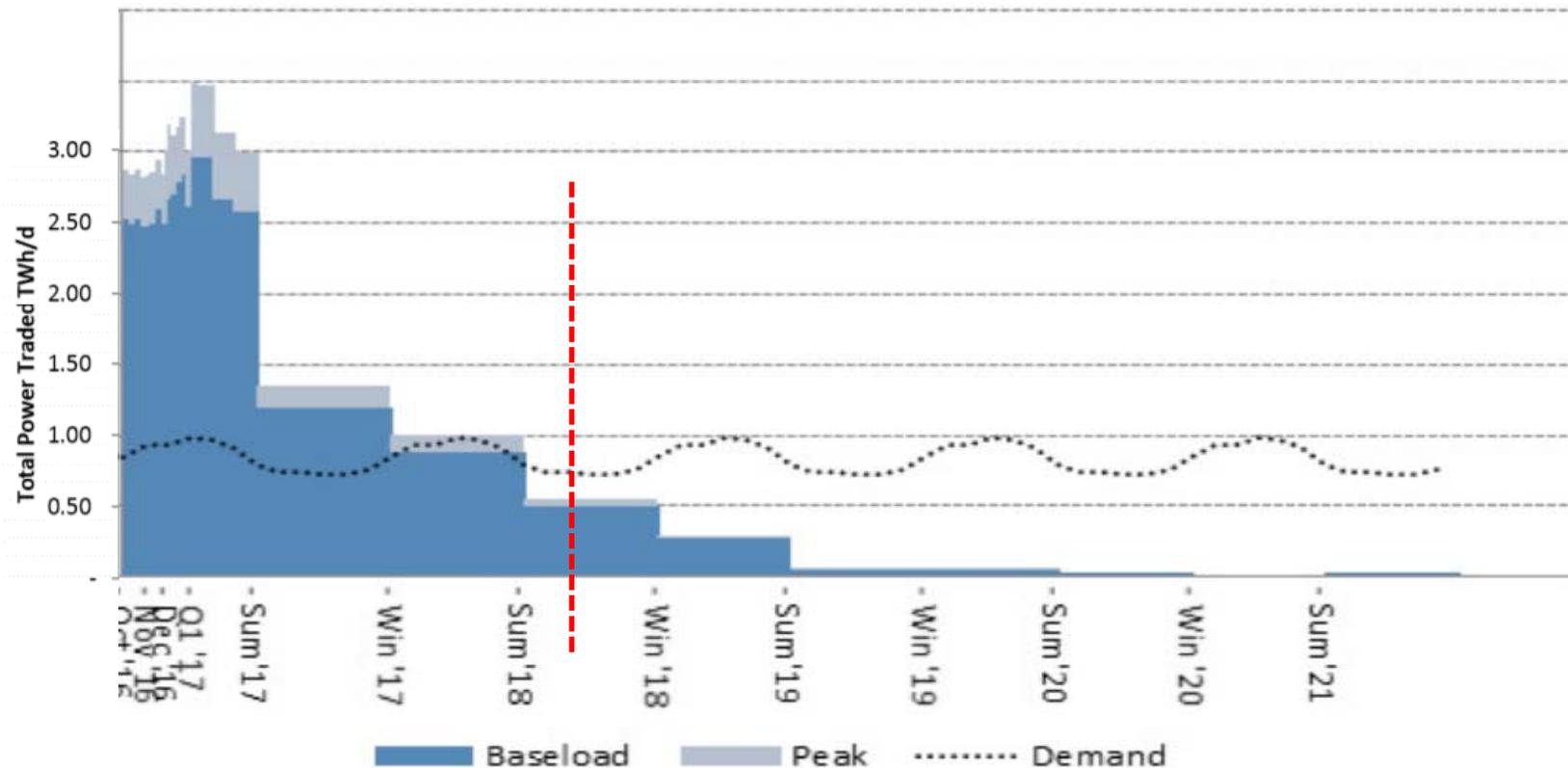
El papel del riesgo



Segur. del sistema de largo plazo

El mercado eficiente de largo plazo

- Liquidez mercados a plazo en UK (2016)



Source: EDF and ICIS Heren

comillas.edu

Segur. del sistema de largo plazo

Los mecanismos de capacidad

¿Cómo puede el sistema superar estos problemas en relación a la seguridad de largo plazo?



Mecanismos
de
capacidad

¿Qué busca el regulador?

- Asegurar el suministro (evitar escasez), eficientemente
- Gestionar el riesgo de precio de la demanda

¿Qué buscan los generadores?

- Gestionar el riesgo (precio)
- Puede ser que además de la simple cobertura, haga falta incrementar el ingreso esperado
 - Price cap, el regulador desea más capacidad que la que se puede justificar desde el punto de vista económico, etc.

Segur. del sistema de largo plazo

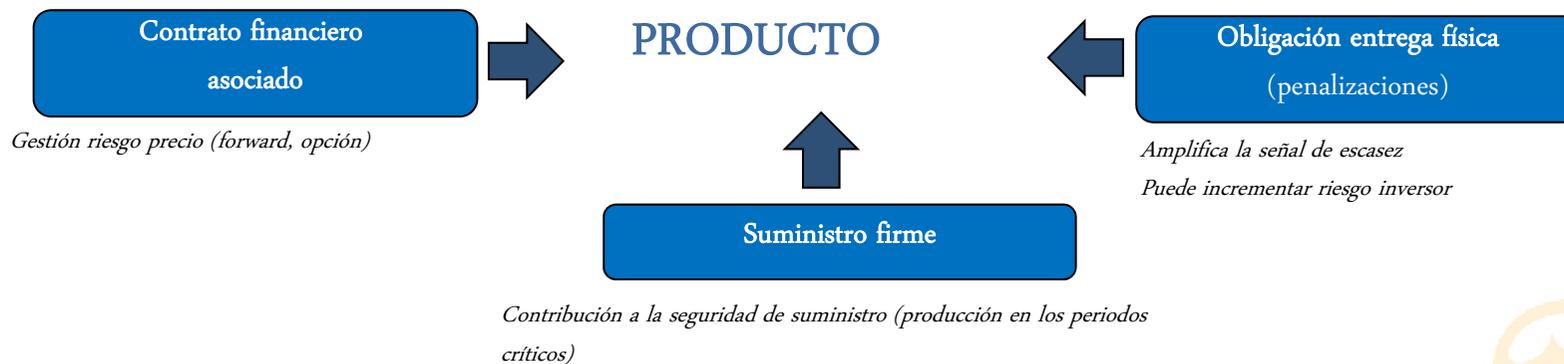
Los mecanismos de capacidad

Elementos de diseño



Elementos de diseño de los CRMs Producto

- Lo definen tres componentes

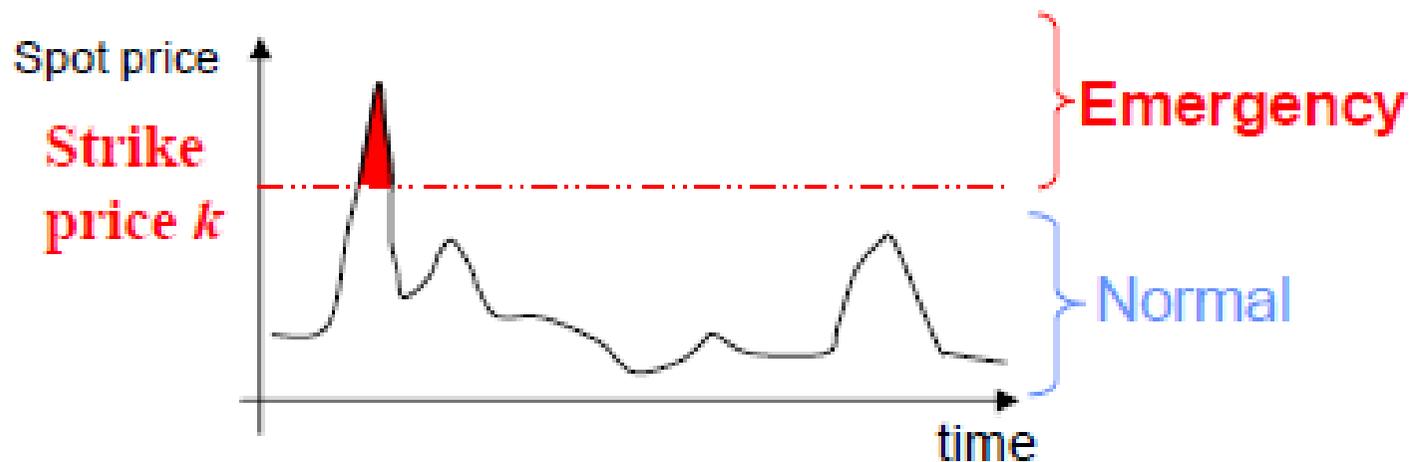


- Tipos de productos:
 - Contratos financieros
 - Suministro firme (España)
 - Financiero + suministro firme (Irlanda, Italia, Colombia)
 - Suministro firme + entrega física (UK, Francia, PJM)
 - Financiero + suministro firme + entrega física (NE)

Un producto con buenas propiedades

La opción de fiabilidad

- Identifica los periodos críticos (de escasez) a través del precio de mercado



- Cubre el riesgo de precio de la demanda
 - Solo en periodos de escasez, donde se garantiza un precio máximo (“call option”)
- El generador sustituye las rentas de escasez por una prima

Mecanismos desarrollo renovable

- La renovable debería poco a poco ir participando en todos los mercados donde pueda aportar valor (incluido capacidad)
- Pueden ser necesario mecanismos adicionales para la renovable
- Alternativas para el formato de la remuneración

	Distorsión de corto plazo	Cobertura frente al riesgo Inversor
Pagar por la energía (€/MWh) Por toda la energía producida		
Pagar por la energía (€/MWh) Perfil de energía definido ex-ante		
Capacidad (€/MW) + mercado energía (o Mercado de energía + Premium)		
Capacidad con compensación ex-post		 

Conclusiones

- **La seguridad** del sistema **de largo plazo** (inversiones) se verá más **comprometida**
- Los **mercados puros de energía** (“only energy markets”) pueden tener **dificultades para garantizar una inversión adecuada**
 - Precios intervenidos
 - Riesgos acrecentados
 - Dificultades para que la demanda contrate en el largo plazo
- Algún **mecanismo de capacidad** (intervención del mercado) parece **necesario**
 - Diseño cuidadoso del producto
 - Opciones de fiabilidad nos parece un compromiso aceptable
- Pueden necesitarse **mecanismos de impulso de las renovables**
 - Para alcanzar cuotas extremas de penetración de renovables
 - Para paliar los riesgos importantes que perciben los inversores

4. Costes, Precios y Cargos

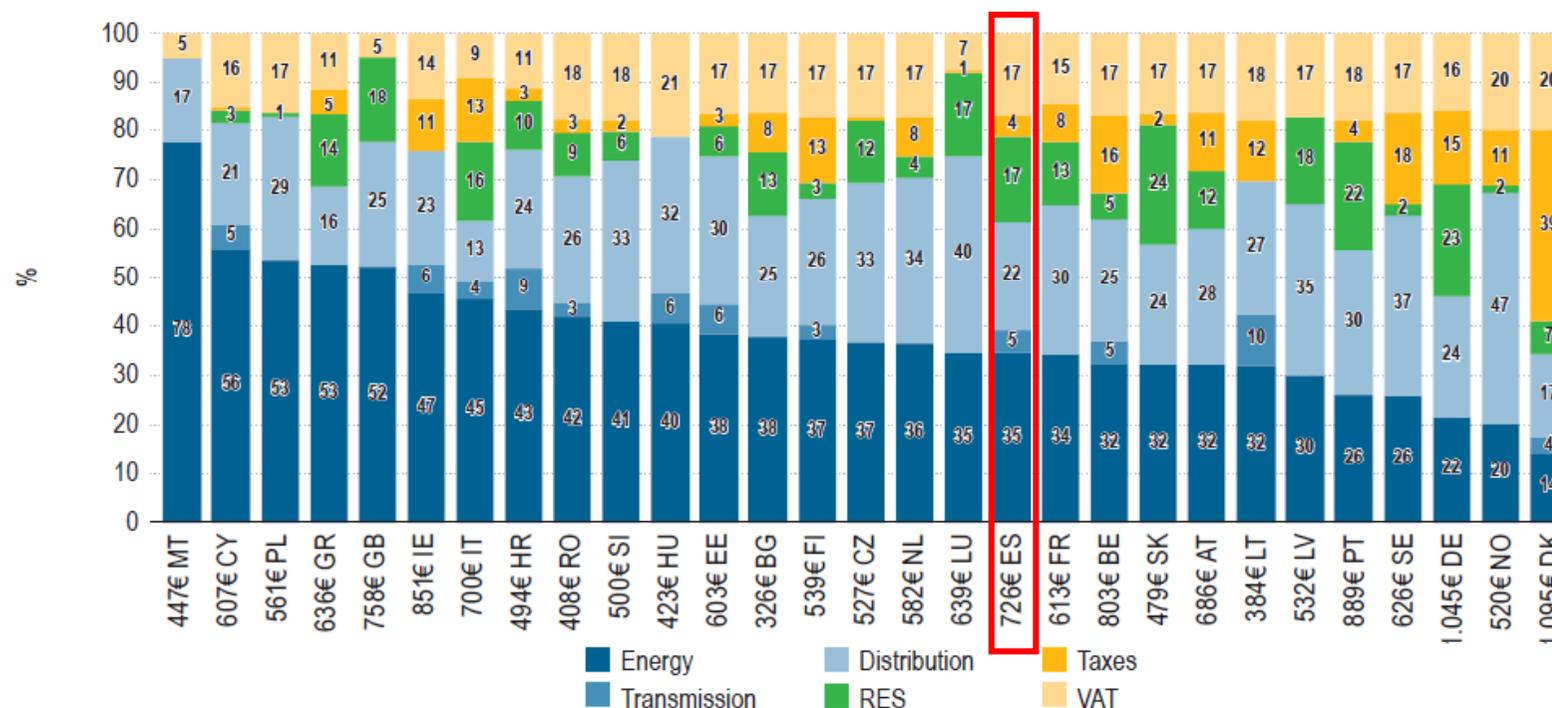
Futuro del sector eléctrico

Instituto de Investigación Tecnológica - IIT

Mayo 2019

Precios finales de electricidad - consumidores residenciales UE

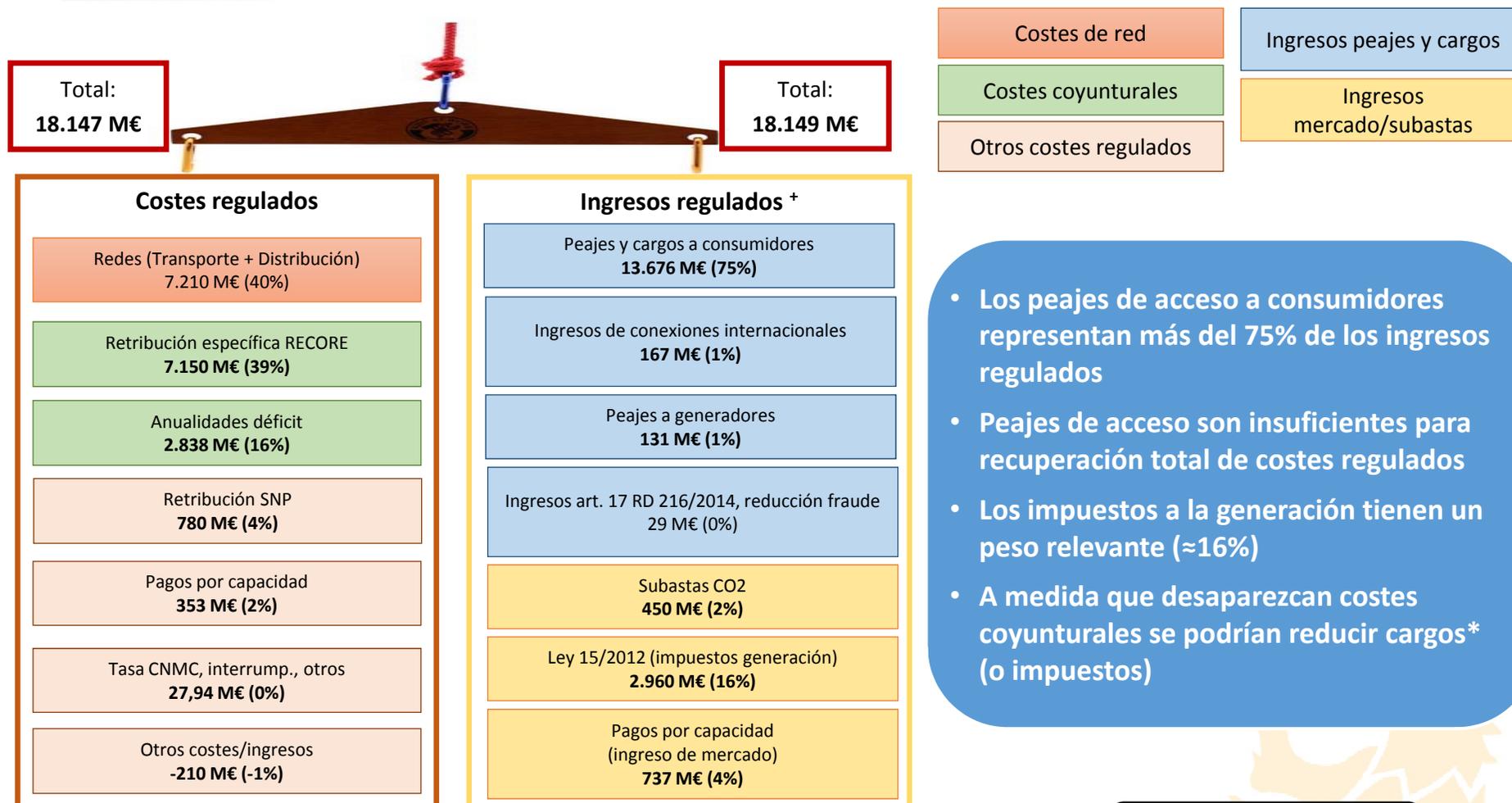
Figure 9: Breakdown of incumbents' standard electricity offers for households in capital cities – November/December 2017 (%)



Source: ACER calculations based on data collected via ACER Retail Database (2018).

Note: The breakdown for Germany refers to the national average, instead of the standard incumbent offer, which is collected by the German NRA. The Greek and Cypriot NRA did not provide the required data for calculating the electricity price breakdown for 2017 and for these two countries the breakdown is based on data for 2016.

Costes regulados: redes + políticas energéticas



+ Números previos a la aprobación del RDL 15/2018

*Art. 19 Ley 24/2013: cargos no podrán revisarse a la baja mientras exista déficit acumulado

Elementos disruptivos de la transición – el consumidor en el centro



- Penetración del **autoconsumo fotovoltaico**: individual y compartido



- Desarrollo de tecnologías de almacenamiento mediante **baterías** (con y sin autoconsumo)



- Electrificación del transporte y despliegue de **puntos de recarga**



- Potenciar la información a los consumidores como medida para fomentar la **respuesta de la demanda** y la satisfacción del usuario final

Principios de diseño de precios y cargos

- Recomendaciones del estudio *Utility of the Future*

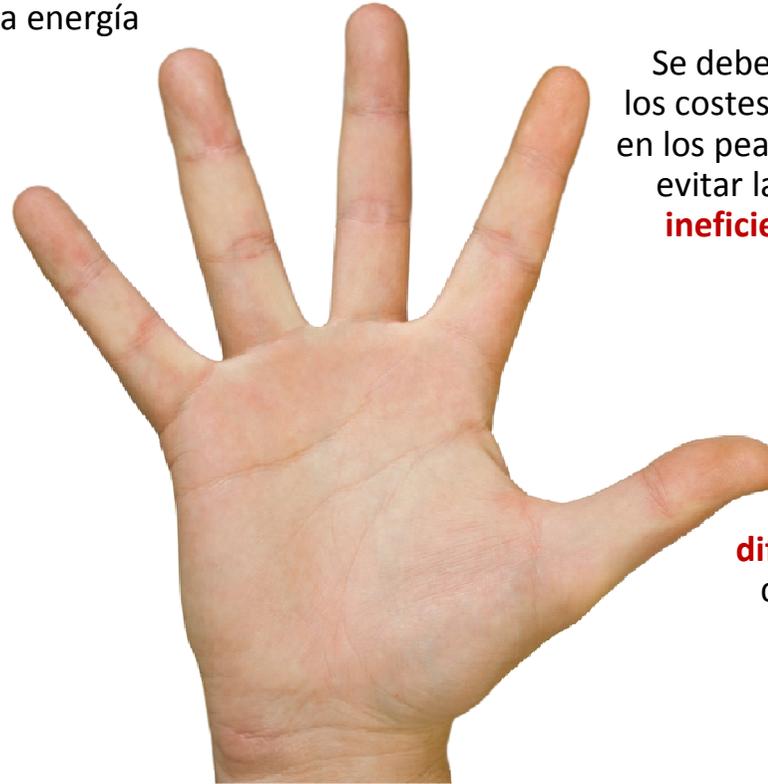
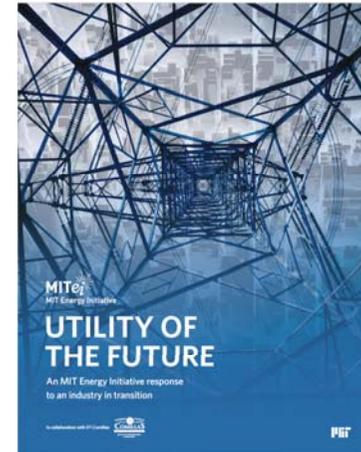
Asegurar una **diferenciación temporal** en los precios de la energía

Aplicar peajes de red basados en la **capacidad coincidente y costes incrementales de largo plazo**

Recolectar **cargos política energética y costes residuales de red** de una manera lo menos distorsionadora posible

Se debe de reconsiderar los costes que se incluyen en los peajes y cargos para evitar la **desconexión ineficiente de la red**

Aumentar la **diferenciación geográfica** de los precios y peajes

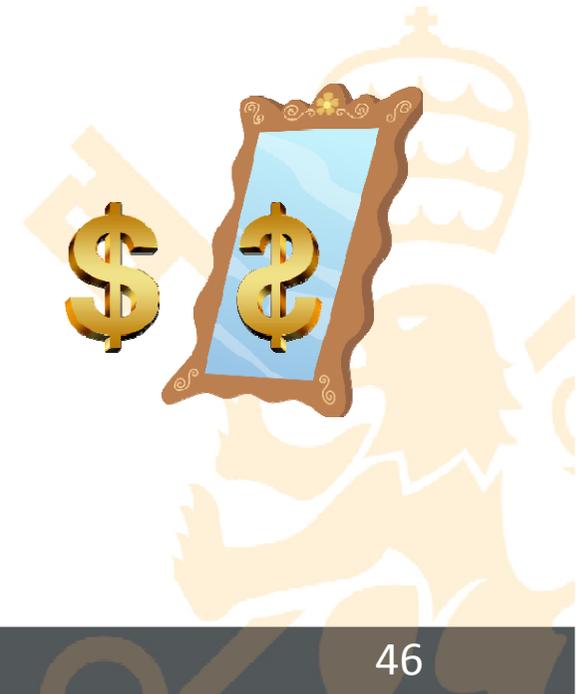


Principios de diseño de tarifas

- **Neutralidad tecnológica:** tarifa miope a los equipos instalados aguas abajo del contador
 - Se **evita controversia** social → “impuesto al sol”
 - Elimina incentivos a no registrar las instalaciones → **riesgos para las personas** que operan la red



- **Reflectividad** de costes:
 - Evita respuestas ineficientes de consumidores, ej. sobredimensionar fotovoltaica, barreras al coche eléctrico
 - Mitiga subsidios cruzados entre usuarios, así como problemas de recuperación de costes fijos
- **Equidad** para diferentes categorías de usuarios:
 - Clave en la recuperación de costes fijos



Metodología de tarifas – Visión general

Peajes de red: transporte y
distribución
≈ 7.200M€/año
(aprox. 40% de los costes
regulados)

- En el corto plazo, adaptar la **metodología existente** (Circular CNMC 3/2014)
- Revisar **períodos tarifarios** e introducir **discriminación temporal en el término de potencia** en las categorías tarifarias de BT (2.X). Eliminaría barreras a la recarga del vehículo eléctrico y fomenta un uso más eficiente de la red
- La **potencia contratada por períodos** sería decidida anualmente por los consumidores (potencia máxima utilizada de la red **independientemente de los equipos** que tengan instalados aguas abajo del contador)

Cargos:
(RECORE, déficit,
extracoste SNP, etc.)
≈ 10.900M€/año
(aprox. 60% de los costes
regulados)

- Destinar los ingresos exógenos al sector eléctrico (impuesto generación, subastas CO₂) para cubrir estos costes
- **Menor distorsión posible** de los patrones de consumo → **cargo independiente del consumo con discriminación por consumidores**, único para todos los períodos, fijado anualmente
- Posible exención del pago de parte de estos cargos a la **gran industria electrointensiva** según normativa europea y a **consumidores vulnerables**

Metodología tarifas – Cargos regulados

- **Idealmente**, los cargos serían **independientes del consumo real** medido (en potencia y, especialmente, energía) para evitar distorsionar las decisiones de los usuarios finales



– ¿Cómo formular un cargo fijo con estas características por consumidor, introduciendo **criterios de equidad**, y asignar dicho cargo según la estructura tarifaria?



Alternativas para asignar cargos



Atributos a considerar	Cargo fijo según nivel de renta (IBI/Valor catastral)	Cargo por máximo de la potencia contratada en punta-llano	Cargo fijo según consumo histórico
No modificable por los consumidores			
Transición sencilla desde estructura actual			
Robusto frente a autoproducción			
Robusto frente al almacenamiento			
Discrimina según tamaño (proxy de renta)			
Robusto frente a agrupaciones puntos suministro			
Adaptable a nuevos puntos de suministro			

5. Retos en los que seguir investigando

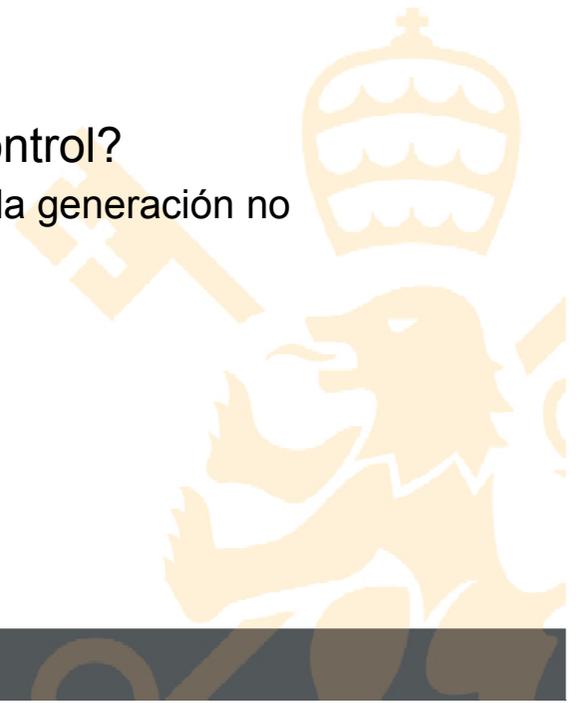
Futuro del sector eléctrico

Instituto de Investigación Tecnológica - IIT

Mayo 2019

Retos en los que seguir investigando (I)

- El funcionamiento de un sistema con 100% de generación no-síncrona
 - ¿Debe dejarse que la frecuencia varíe?
 - ¿Qué esquema de control deben tener las fuentes de energía renovables y los sistemas de almacenamiento de energía?
 - Grid forming
 - Grid supporting
 - Virtual Synchronous Machine
 - ¿Qué prestaciones deben ofrecer los sistemas de control?
 - Teniendo presente que habrá escenarios en que sólo esté la generación no síncrona y en otros conviva con la generación síncrona



Retos en los que seguir investigando (II)

- El papel de la **energía hidráulica regulable**: ¿Es posible utilizar la energía hidráulica de otra forma, para minimizar el respaldo térmico en un sistema altamente renovable? ¿Qué señales económicas serían necesarias? ¿Influye en algo la propiedad o el gestor de estos activos?
- El **papel de las interconexiones**: ¿Cuáles son las consecuencias técnicas y económicas de un mayor grado de interconexión? ¿Quiénes son los ganadores y los perdedores, y por tanto, quién tendría que pagar por las inversiones necesarias, en su caso?
- El **diseño del mercado** con alta penetración renovable
 - Mecanismos de capacidad según Regulación Europea
 - Diseño de subastas para contratación de largo plazo
 - Diseño de mercados organizados para contratación de largo plazo

Retos en los que seguir investigando (III)

DISEÑO DE TARIFAS

- Separación entre **costes incrementales** y **costes residuales** de redes
- Reparto de los cargos **entre categorías tarifarias**
- Diferentes “**proxies**” **para formular cargos fijos** por consumidor dentro de cada categoría tarifaria
- Efectos de diferentes **medidas fiscales** y de **diseños de tarifas** sobre **equidad** en los clientes residenciales, en la **competitividad** de las empresas y en la **competencia entre combustibles** en usos finales de la energía
- Metodología sobre **asignación de otros costes regulados** (pagos por capacidad, servicios de ajuste)

Muchas gracias por su atención

<https://www.iit.comillas.edu/publicacion/>