



CLUB ESPAÑOL DE LA ENERGÍA  
INSTITUTO ESPAÑOL DE LA ENERGÍA

accenture

# **CURSO DE GESTIÓN DE REDES ELÉCTRICAS INTELIGENTES**

## **1 – EVOLUCIÓN HACIA LAS REDES INTELIGENTES**

### **1.2 – Aspectos económicos y regulatorios de las redes eléctricas inteligentes**

Pablo Frías Marín  
Junio 2014

# Organización

- **Punto de partida**
- Aspectos económicos
  - Implicaciones económicas
  - Estudios teóricos de CBA
  - Aplicación práctica de CBA
- Aspectos regulatorios
  - Contexto
  - Regulación de la actividad de la distribución eléctrica
  - Conexión y acceso de la generación distribuida
  - Conexión y gestión de vehículos eléctricos
  - Implantación de Smart-meters
  - Implantación de respuesta de la demanda
  - Integración de la generación renovable en la operación del sistema
  - Estándares y normativa para los sistemas de comunicaciones
- Conclusiones
- Referencias

# Punto de partida

- **Numerosos estudios** para **cuantificar** los costes-beneficios de las redes inteligentes
  - Gran incertidumbre de los costes: tecnologías a nivel experimental, precios de mercado, precios de integración masiva, ...
  - Beneficios...
    - En el medio y largo plazo
    - Difíciles de cuantificar: impacto ambiental, seguridad de suministro, competitividad, ...
- La **regulación** como **herramienta** para encontrar el equilibrio
  - Favorecer modelos de negocio
  - Definir nuevas reglas del juego
  - Definir incentivos y obligaciones

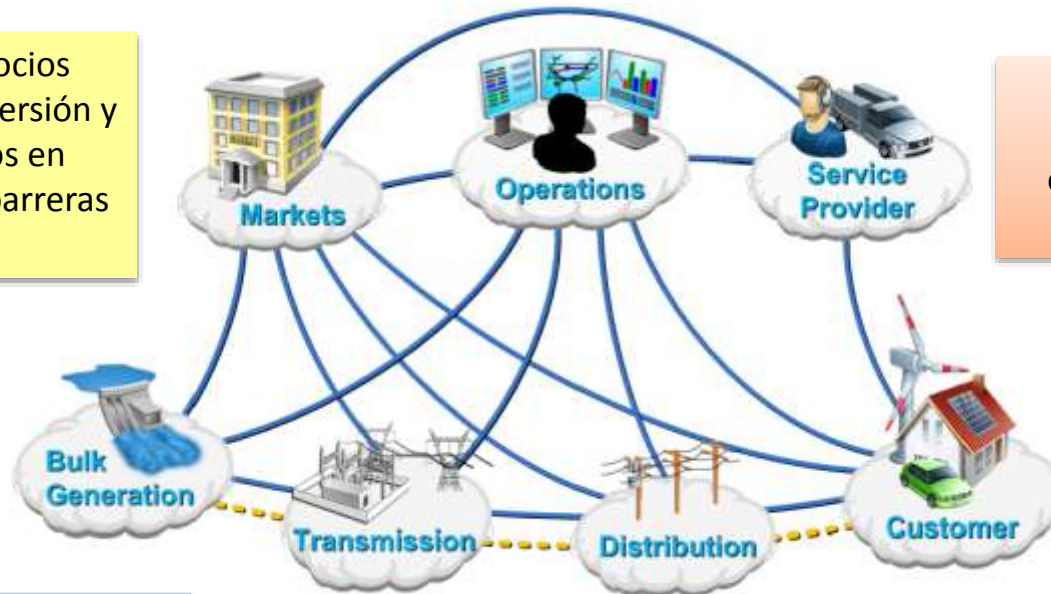
# Organización

- Punto de partida
- Aspectos económicos
  - Implicaciones económicas
  - Estudios teóricos de CBA
  - Aplicación práctica de CBA
- Aspectos regulatorios
  - Contexto
  - Regulación de la actividad de la distribución eléctrica
  - Conexión y acceso de la generación distribuida
  - Conexión y gestión de vehículos eléctricos
  - Implantación de Smart-meters
  - Implantación de respuesta de la demanda
  - Integración de la generación renovable en la operación del sistema
  - Estándares y normativa para los sistemas de comunicaciones
- Conclusiones
- Referencias

# Implicaciones económicas de las redes inteligentes

- Agentes involucrados e impacto: quiénes invierten, quiénes se benefician

Reguladores: en negocios **regulados** incentivar inversión y eficiente, en negocios en **competencia** eliminar barreras de entrada



Nuevos productos: gestión de energía, eficiencia, precios a medida

Mejores precios  
Mejor calidad de suministro

Productores RES&CHP:  
Integración eficiente y segura  
Nuevos servicios

Inversión en nuevas tecnologías

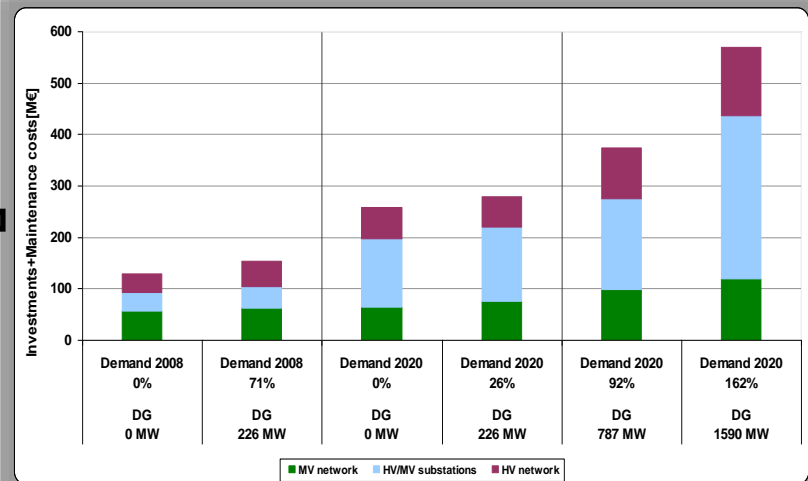
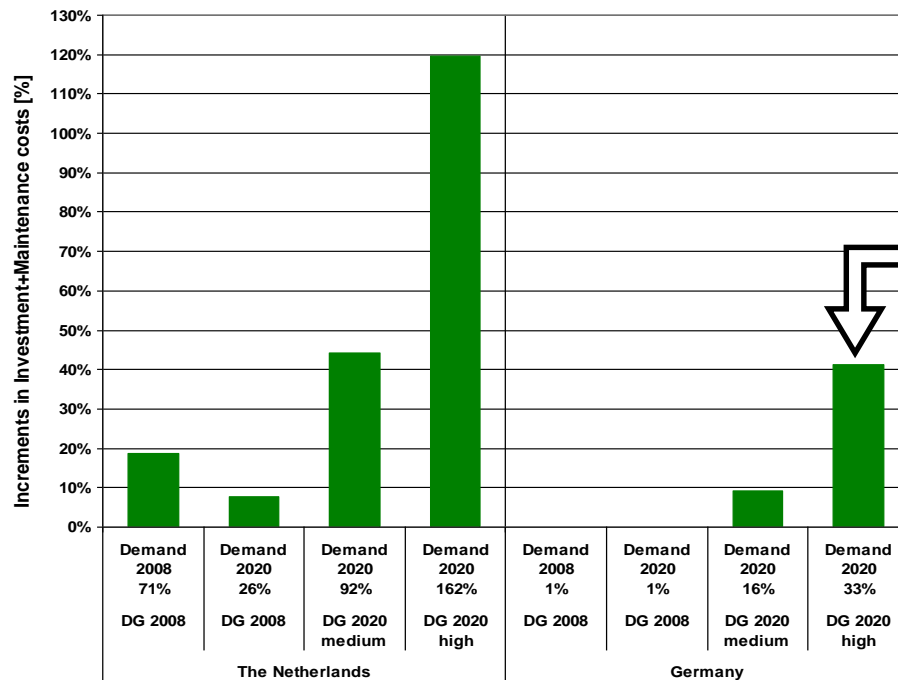
Fabricantes de equipos:  
Oportunidades de negocio

# Estudios de costes y beneficios

- **Recursos distribuidor (DER) concretos:**
  - Impacto de la Generación Distribuida: IMPROGRES
  - Impacto de la gestión de la demanda: GAD & ADDRESS
  - Impacto del vehículo eléctrico: MERGE
  - Contadores inteligentes: PWC Austria
  - Automatización de la red de distribución
- **Visión agregada:**
  - Estados Unidos: EPRI
  - España: FUTURED

# Estudios de costes y beneficios

- IMPROGRES: impacto de la integración de generación distribuida en la red de distribución pasiva

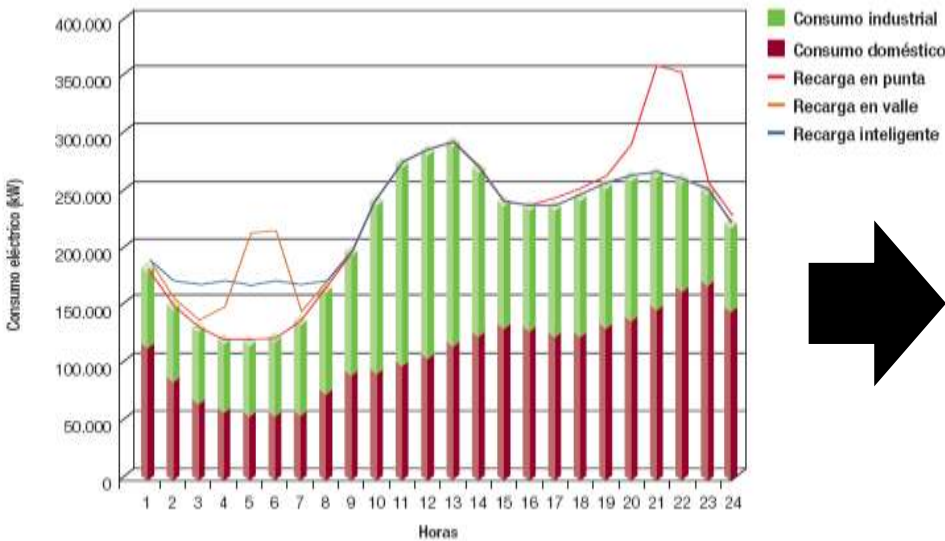


Integrar nueva generación en la red de distribución de forma **pasiva** incrementa los coste de la red eléctrica.

(Fuente: IMPROGRES EU Project)

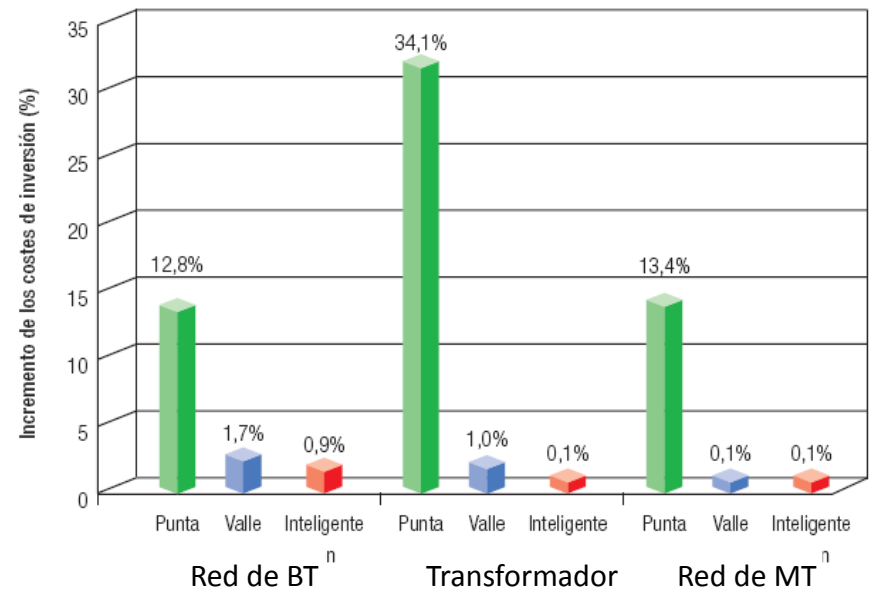
# Estudios de costes y beneficios

- MERGE: impacto de la integración de vehículos eléctricos en una red de distribución real



## Simulación:

Área con 170.000  
consumidores 31.200 VEs



## Resultados:

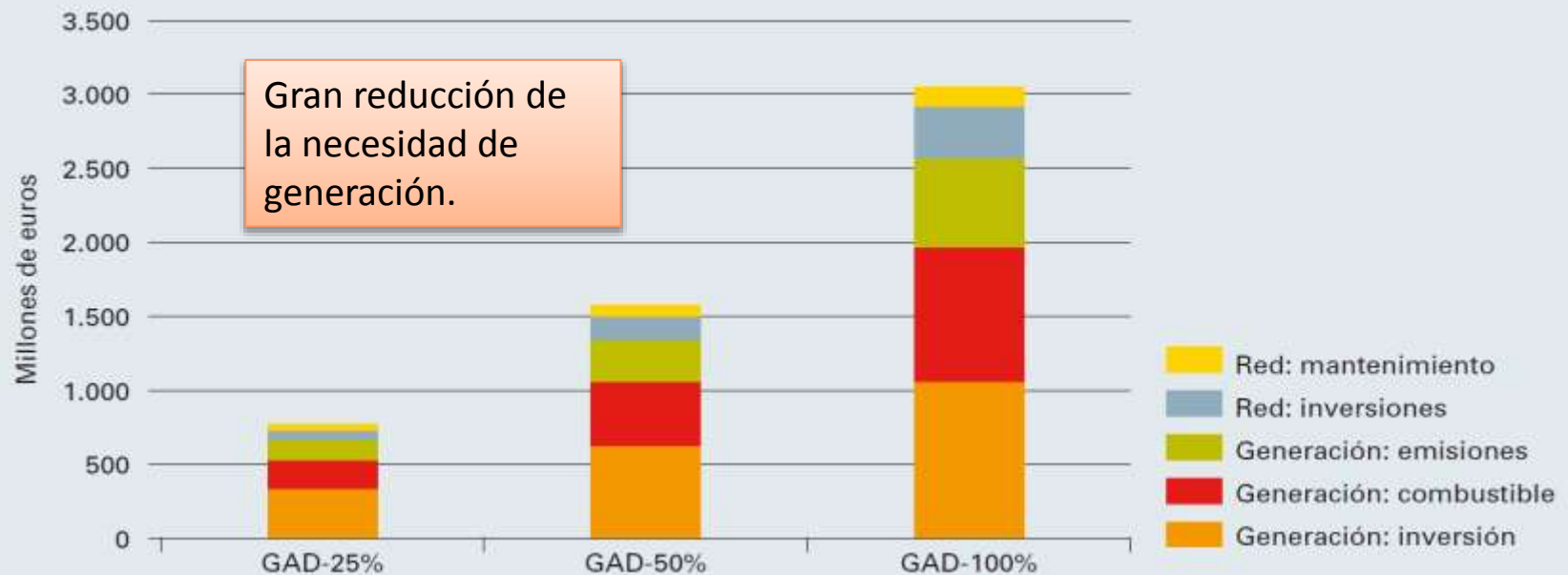
Estrategias de carga inteligentes reducen las inversiones de red



# Estudios de costes y beneficios

- CENIT-GAD: Beneficios agregados de gestión activa de la demanda
  - Gestión de entre 25-100% de la demanda.
  - Reducción de la punta entre 1,4 y 6,4%

Reducción a 10 años en España



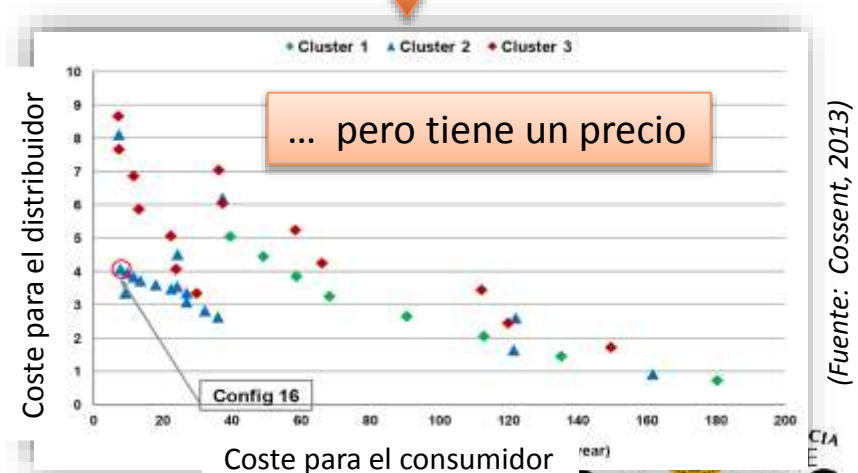
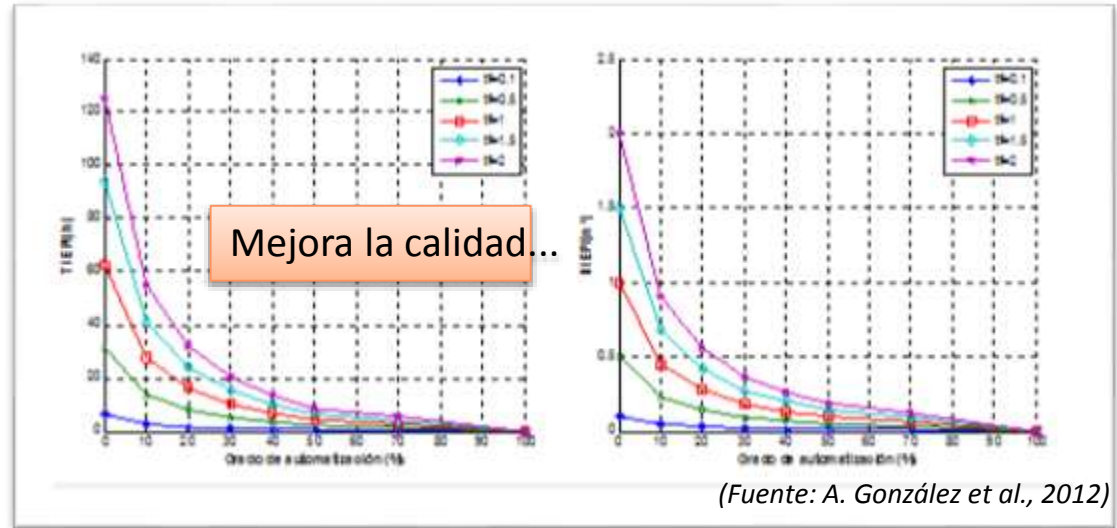
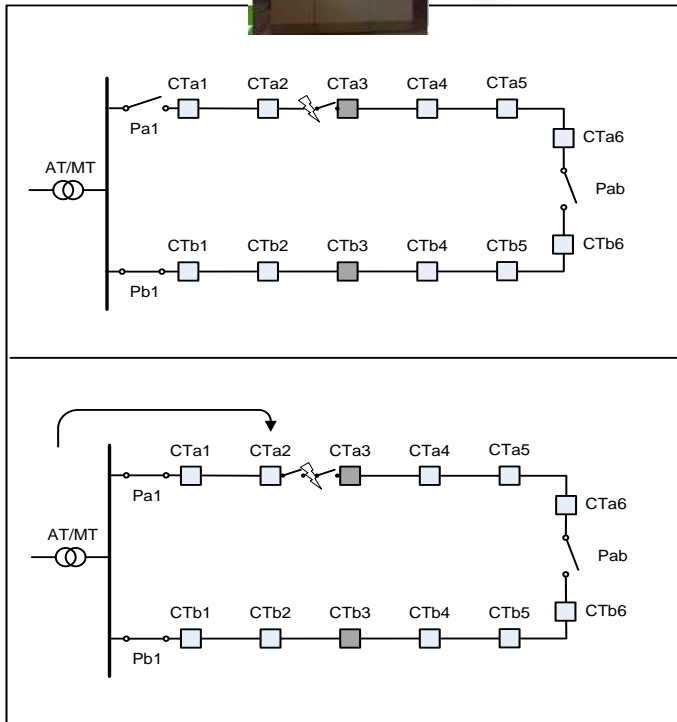
# Estudios de costes y beneficios

- PWC Smart meters: beneficio derivado de la implantación de contadores inteligentes en Austria
  - Los consumidores son los grandes beneficiados
  - Los costes los asumen los distribuidores

	Escenario 1 95% 2017		Escenario 2 95% 2015		Escenario 3 95% 2017		Escenario 4 80% 2020	
en miles de €	Costes	Beneficios	Costes	Beneficios	Costes	Beneficios	Costes	Beneficios
Consumidores	0	2,595,826	0	2,778,792	0	2,595,826	0	2,014,092
Operadores de red	2,299,090	354,337	2,425,854	381,739	2,299,090	354,337	1,843,098	272,489
Comercializadores	718,766	352,988	769,271	378,544	718,766	352,988	557,908	272,996
Costes de generación	0	11,447	0	12,350	0	11,447	0	8,789
Total electricidad	3,017,856	3,314,598	3,195,125	3,551,425	3,017,856	3,314,598	2,401,006	2,568,366

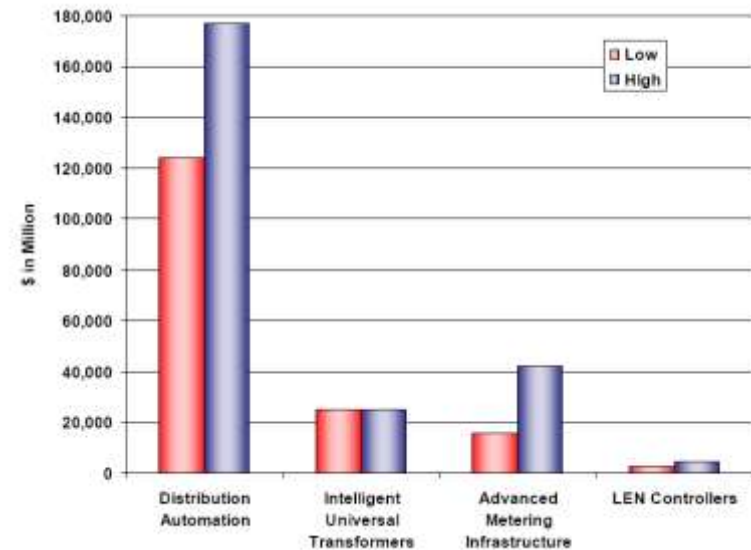
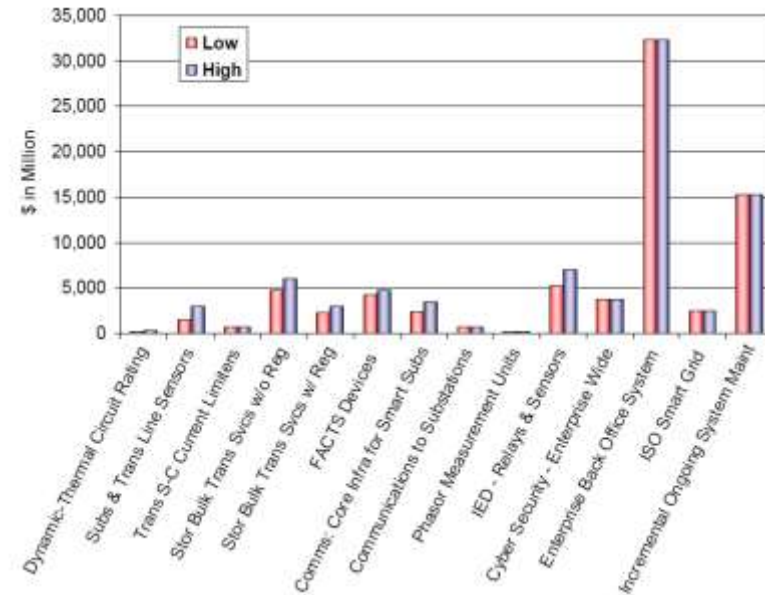
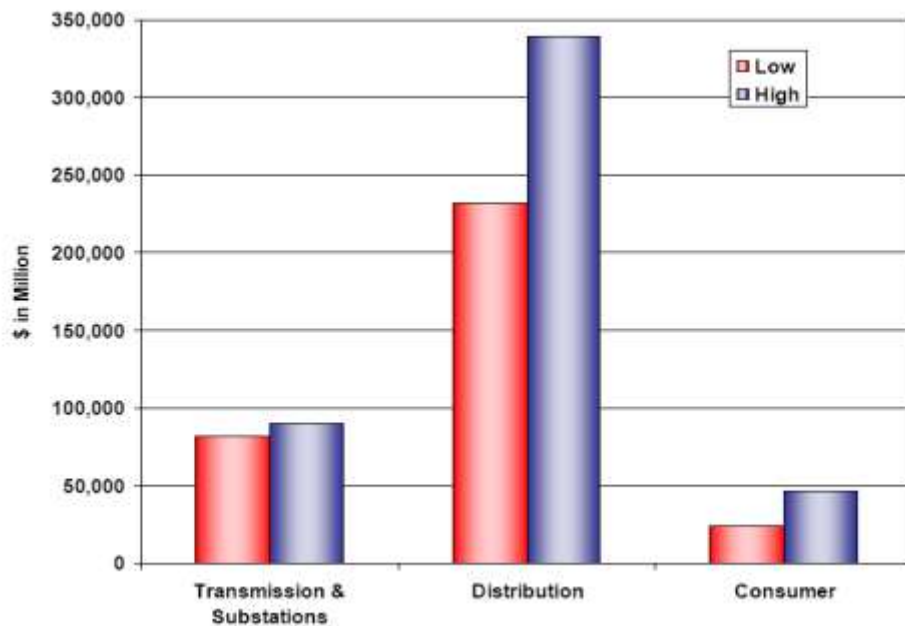
# Estudios de costes y beneficios

- Automatización de la red



# Estudios de costes y beneficios

- EPRI: Estudio agregado US



# Estudios de costes y beneficios



## El desarrollo de las Smart Grids mejorará la competitividad del país generando beneficios para el sector tecnológico e industrial

### Aportación al crecimiento sostenible de la economía

Aumento de la productividad y crecimiento del PIB



↑ 0,2%-0,35% PIB  
(2.300-3.800 M€/año)

- Por la mejora de la calidad de suministro y mejora de la eficiencia del sistema eléctrico

Creación de empleo



↑ 40.000-50.000 empleos

- En el proceso productivo de los elementos requeridos y el despliegue

x2 – x3,5  
Beneficio / inversión



- El beneficio generado serán de entre 2 y 3,5 veces la inversión requerida, debido al incremento de fiabilidad, eficiencia y rendimiento energético del sistema y a la capacidad de gestión del consumo en tiempo real
- Se estima necesaria una inversión de ~10.200 M€, en elementos de red y equipos de cliente en los próximos 10 años



Adicionalmente, las Smart Grids son condición necesaria para generar un valor de 3.100 M€/año y más de 200.000 empleos, al facilitar el cumplimiento de los objetivos 2020 de energías renovables, eficiencia energética y la integración del vehículo eléctrico

### Liderazgo del sector tecnológico e industrial español

Desarrollo del sector español tecnológico e industrial con liderazgo en Smart Grids



1.200-2.000 M€/año en ventas Smart

- Exportaciones de bienes y servicios "Smart" a mercados atractivos

Fortalecimiento de las capacidades de las empresas eléctricas españolas



Poner en valor la eficiencia en la gestión de redes

- Papel activo de las empresas españolas en la reconfiguración del sector energético a nivel global

### Nuevas aplicaciones y eficiencia del sistema eléctrico

Desarrollo e integración de nuevas aplicaciones y mejora de la eficiencia del sistema eléctrico



1.100-1.800 M€/año de beneficio

- Beneficios para el sistema eléctrico derivados de las nuevas aplicaciones de las Smart Grids
  - Automatización de la Red
  - Integración de recursos energéticos distribuidos
  - Aumento de la participación del cliente en el sistema

**Las Smart Grids generarán un valor de entre 19.000 y 36.000 M€**

THE BOSTON CONSULTING GROUP

2

Copyright © 2012 by The Boston Consulting Group, Inc. All rights reserved.



# Aplicación práctica del análisis económico

Distintas soluciones tecnológicas

automation  
V2G  
peak shaving  
DER management  
demand response  
monitoring  
micro-grid  
storage

Impacto y potencial del desarrollo a gran escala



## Inversiones en proyectos pilotos

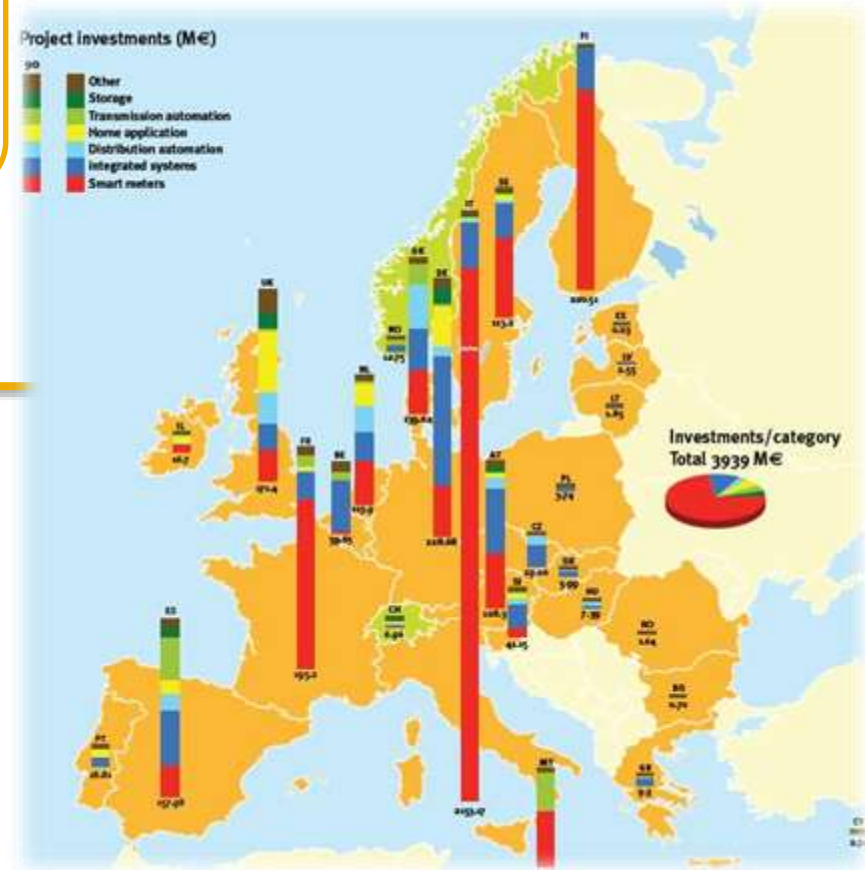
EU

- FP7, Horizon2020
- 280 proyectos
- €1.8 billion



USA

- ARRA
- 141 proyectos
- \$8.6 billion



# Aplicación práctica del análisis económico

## Smart-grid potential

Scalability: ability to **increase in size/scope/range**

Replicability: ability to be duplicated in **another location or time**

### Cost and benefit analysis

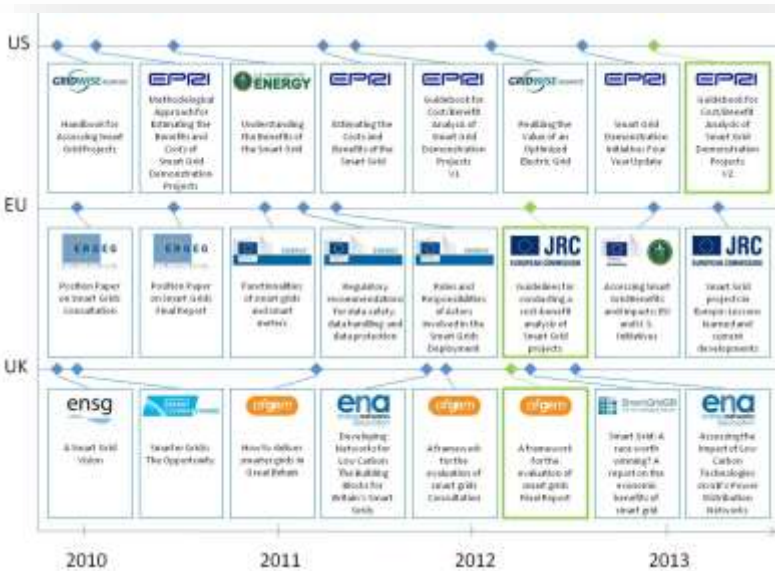
### Scalability & replicability analysis

#### Technology

- Modularity
- Standardization
- Appropriate design
- Equipment availability

#### Application

- Technical impact
- Regulation
- Economic implications
- Stakeholders perspectives



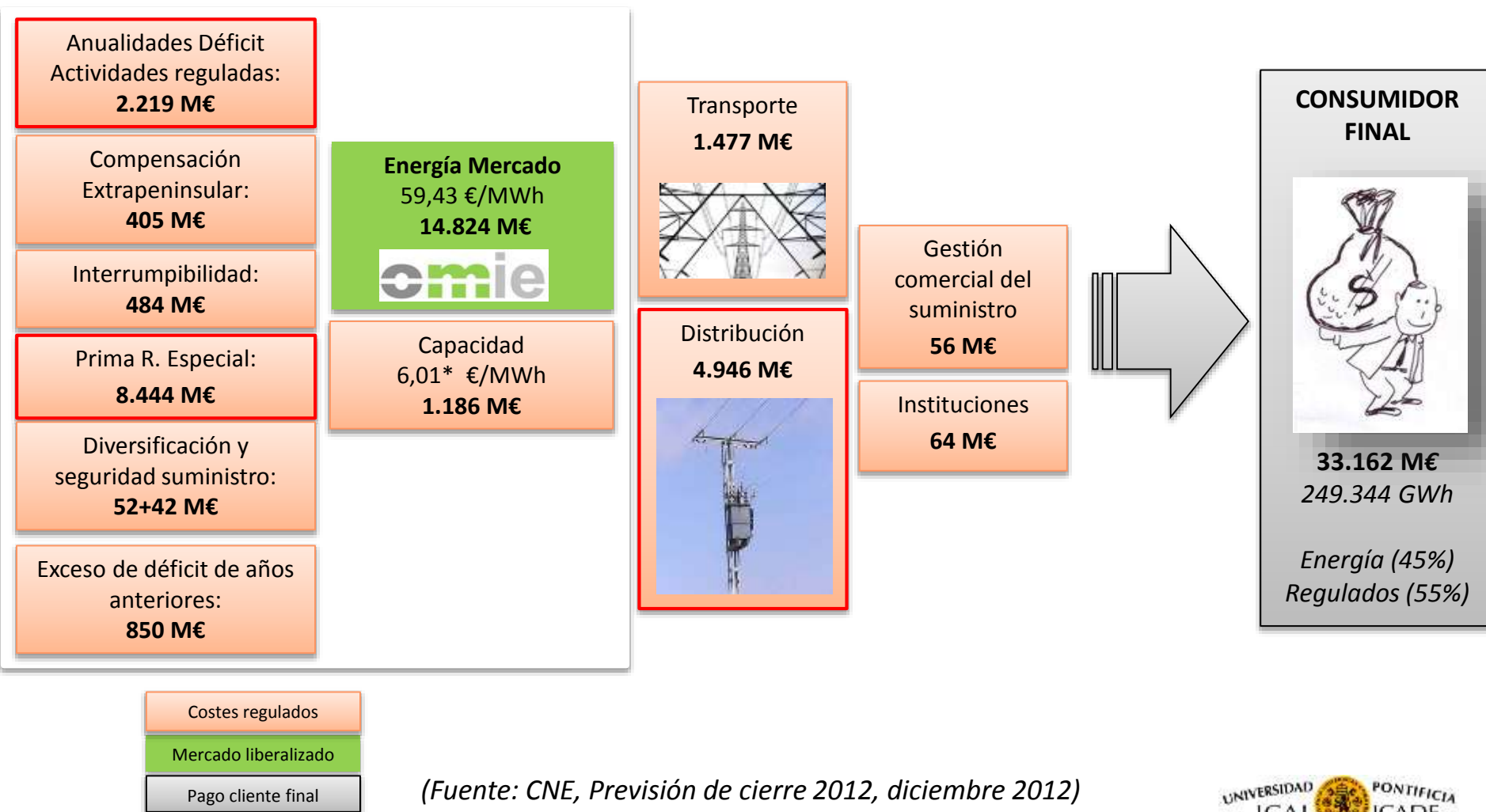
# Organización

- Punto de partida
- Aspectos económicos
  - Implicaciones económicas
  - Estudios teóricos de CBA
  - Aplicación práctica de CBA
- Aspectos regulatorios
  - Contexto
  - Regulación de la actividad de la distribución eléctrica
  - Conexión y acceso de la generación distribuida
  - Conexión y gestión de vehículos eléctricos
  - Implantación de Smart-meters
  - Implantación de respuesta de la demanda
  - Integración de la generación renovable en la operación del sistema
  - Estándares y normativa para los sistemas de comunicaciones
- Conclusiones
- Referencias



# Aspectos regulatorios: contexto

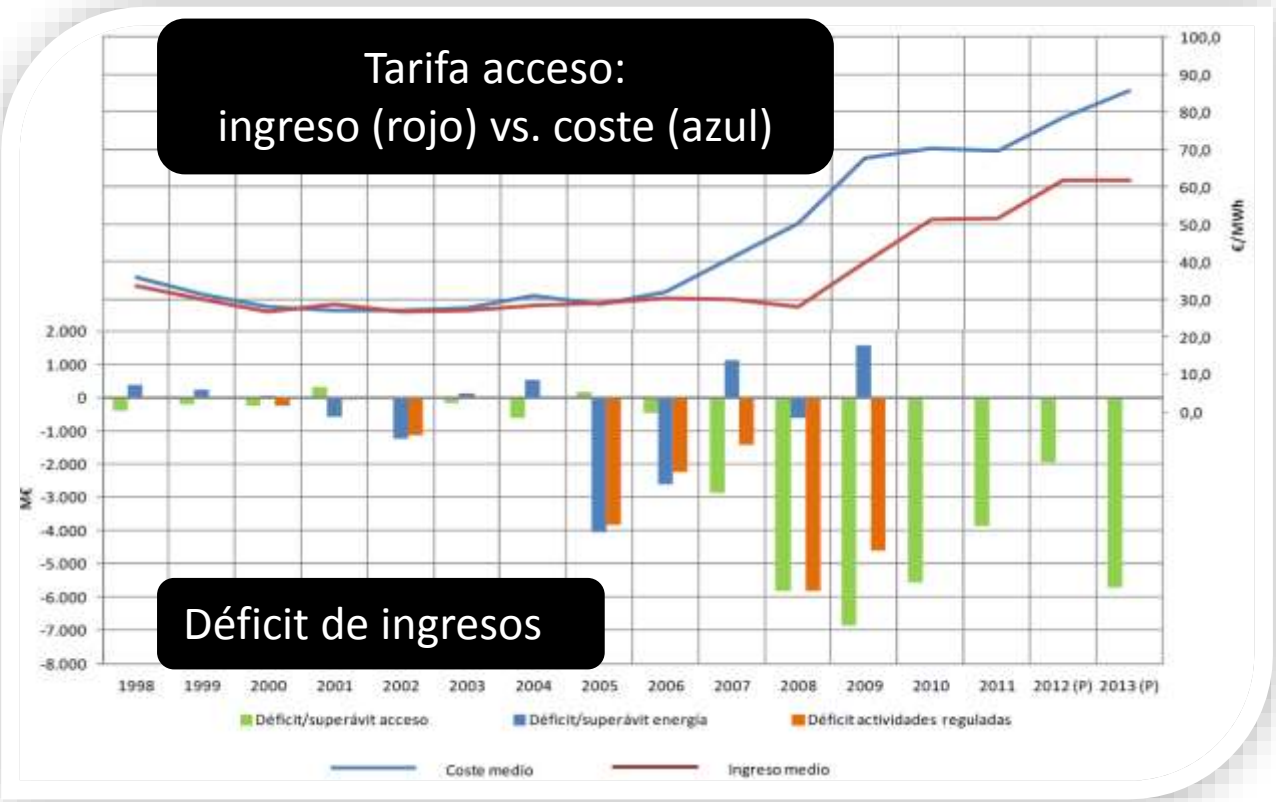
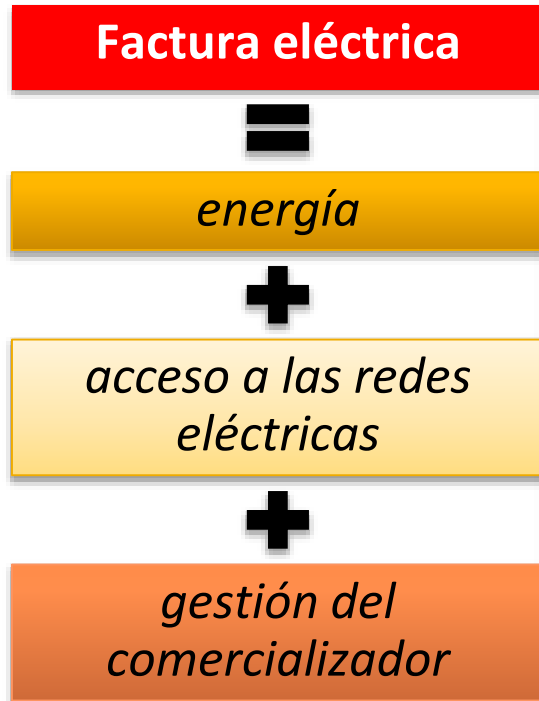
- Estimación de los costes del sistema eléctrico 2012



(Fuente: CNE, Previsión de cierre 2012, diciembre 2012)

# Aspectos regulatorios: contexto

- Barreras...



(Fuente: CNE, Informe 35/2012, 20/12/2012)

# Aspectos regulatorios: contexto

- Más barreras ...

El gasto promedio en electricidad de un hogar español es similar al precio de un café



Factura real promedio de baja tensión<sup>1</sup>  
en España 2008

**1,39 €/día**

Datos de la CNE en el informe "Consumo eléctrico en el mercado peninsular 2008" para los clientes de baja tensión con tarifa integral

1 • Energía consumida: 98.991 GWh

2 • Precio medio: 12,22 c€/KWh

3 = 1 x 2 • Factura total de la electricidad: 12.096 Millones €

4 • Número de clientes<sup>1</sup>: 23,7 Millones

5 = 3 / 4 • Factura promedio por cliente: 510 €/cliente

6 = 5 / 365 • Importe por cliente día: 1,39 €/día

Estimación de la factura promedio  
residencial en España 2009

**1,13 €/día**



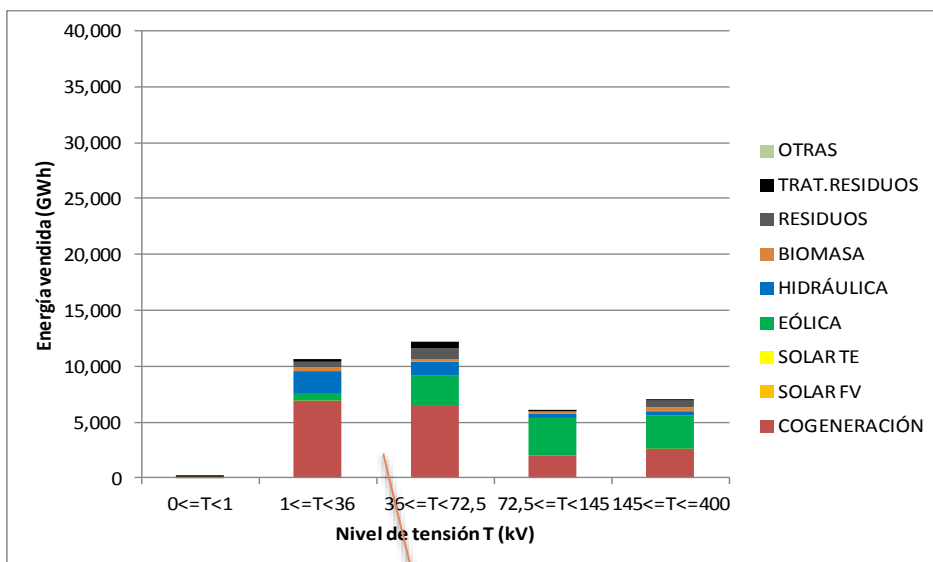
1,13 €/día es el coste medio estimado de la tarifa desde junio de 2009 para 12,6 millones de hogares con tarifa 2.0.2 (CNE).



# Aspectos regulatorios: contexto

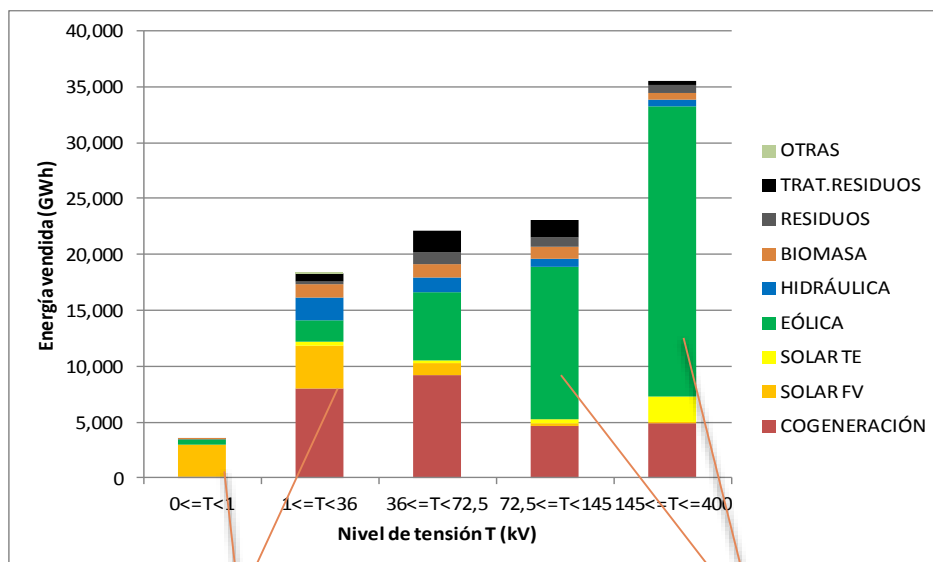
- Retos...

Generación Régimen Especial  
2002



Cogeneración

Generación Régimen Especial  
2012



Solar FV

Eólica

(Fuente: CNE, Producción del régimen especial)

# Aspectos regulatorios: contexto

*“The current regulatory framework does not sufficiently encourage investments in distribution grids. Any business-as-usual approach will thus not lead us into the future.”*

Eurelectric (2011) - Regulation for smart grids.

*“Regulating Innovation and Innovating Regulation”*

DG-GRID Project – Deliverable 5

*“Smart regulation for smart grids”*

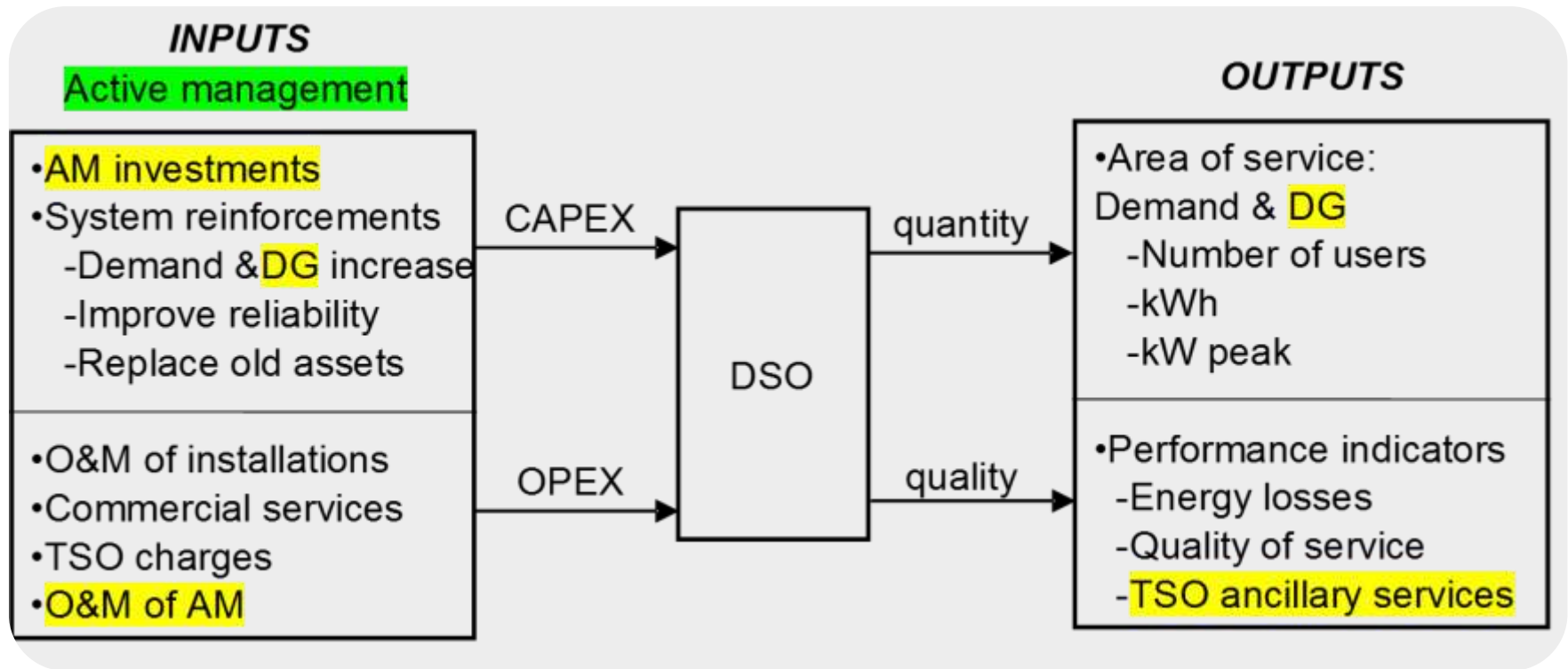
EUI Working Paper RSCAS 2010/45, Florence School of Regulation

# Aspectos regulatorios

- La **regulación es clave** para...
  - promover e incentivar las inversiones en los negocios regulados
  - Establecer reglas del juego en negocios en competencia
- Aspectos **fundamentales**
  - Regulación de la actividad de la distribución eléctrica
  - Conexión y acceso de la generación distribuida
  - Conexión y gestión de vehículos eléctricos
  - Implantación de Smart-meters
  - Implantación de respuesta de la demanda
  - Integración de la generación renovable en la operación del sistema
  - Estándares y normativa para los sistemas de comunicaciones

# Aspectos regulatorios: actividad de distribución

- Actividad regulada:





# Aspectos regulatorios: actividad de distribución

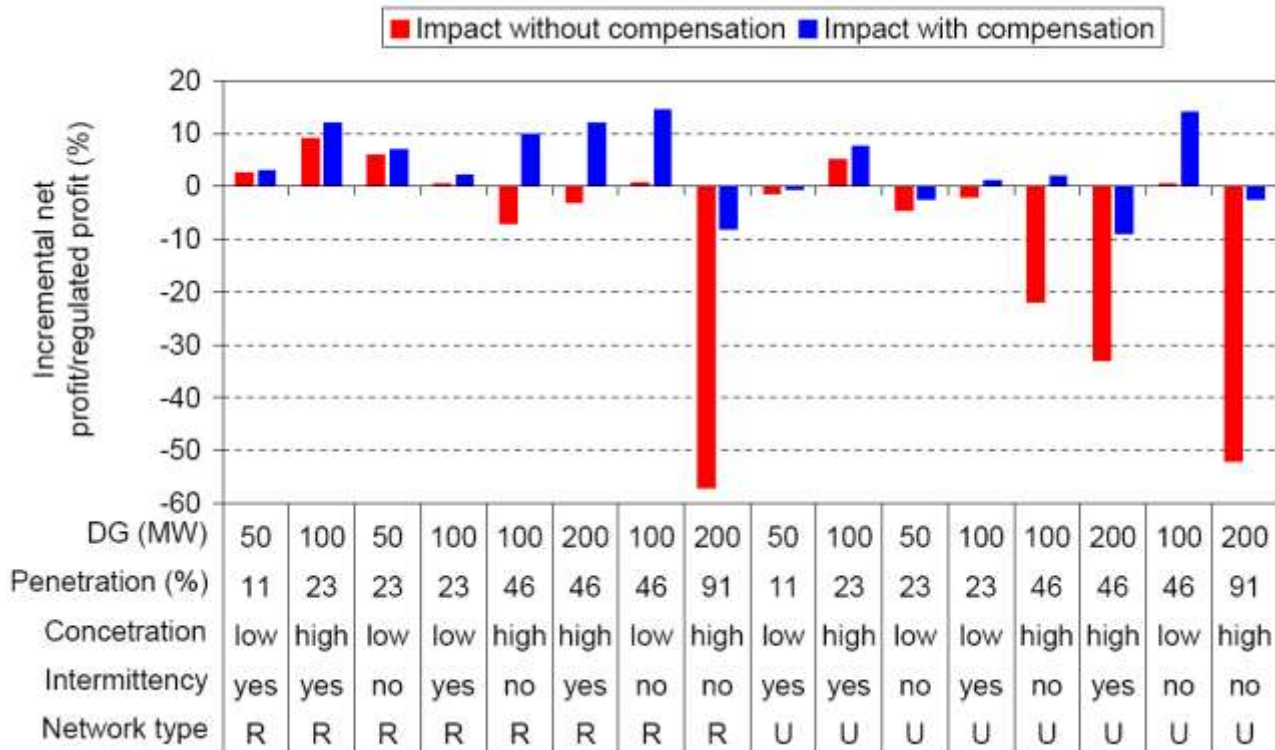
- **Mayor tasa de retorno** para inversiones con riesgo tecnológico (ej. Italia)
  - Adaptar objetivos de PI, asociados a la mejora tecnológica. Ej. Smart-meter, transformadores de menores pérdidas, ...
- **Desacople** de ingresos:
  - Retribución puede depender de la **energía distribuida**: price caps, benchmarking con energía distribuida como variable
  - Efecto negativo de la generación distribuida
- **Compensar** al distribuidor por costes incrementales por la conexión de DER (ver ejemplos...)



# Aspectos regulatorios: actividad de distribución


- **Corto plazo:** compensar por **costes incrementales**
  - Propuesta DG-GRID

$$R_t = R_{t-1} \times (1 - X) + \gamma_1 \cdot kW^{DG} + \gamma_2 \cdot MWh^{DG}$$



# Aspectos regulatorios: actividad de distribución

- **Corto plazo:** compensar por **costes incrementales**
  - Ejemplo OFGEM periodos 2005-2010 y 2010-2015



Framework element	DPCR4	DPCR5
Pass-through	80 per cent (annuitized over 15 years)	80 per cent (annuitized over 15 years)
DG incentive value	£1.50/kW/yr for 15 years (£2.00/kW/yr for SSE Hydro)	£1.00/kW/yr for 15 years
Cap and collar	Cap: two times WACC Collar: assumed cost of debt	Cap: two times WACC Collar: assumed cost of debt
O&M allowance	£1.00/kW/yr	£1.00/kW/yr
'High cost' projects	Direct reinforcement costs in excess of £200/kW	Direct reinforcement costs in excess of £200/kW
Network access	£0.002/kW/hour	£0.002/kW/hour

# Aspectos regulatorios: actividad de distribución

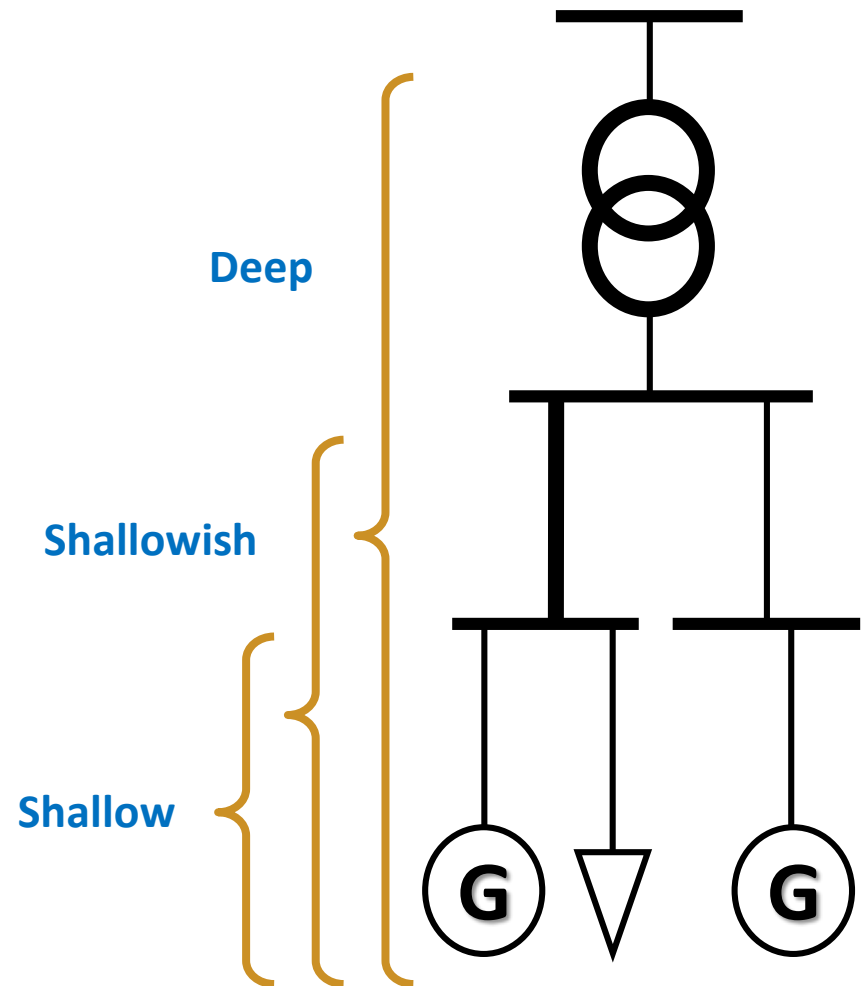
- Largo plazo: **integración eficiente** de la GD
  - Evaluación de costes eficientes incorporando la GD
    - Incluir variables de GD en modelos de frontera (SFA, DEA)
    - Regresiones de segunda etapa
    - Uso de modelos de red de referencia
  - **Esquemas de retribución** innovadores
    - Ejemplo: Menús de contratos

Ratio DSO/Regulator	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140
Allowed revenues	98.75	100	101.25	102.5	103.75	105	106.25	107.5	108.75	110
Sharing factor	63.8%	60.0%	56.3%	52.5%	48.8%	45.0%	41.3%	37.5%	33.8%	30.0%
Additional income	3.7	3.0	2.2	1.3	0.3	-0.8	-1.9	-3.2	-4.5	-6.0
85	12.5	12.0	11.3	10.5	9.5	8.3	6.8	5.3	3.5	1.5
90	9.3	9.0	8.5	7.9	7.0	6.0	4.8	3.4	1.8	0.0
95	6.1	6.0	5.7	5.3	4.6	3.8	2.7	1.5	0.1	-1.5
100	2.9	3.0	2.9	2.6	2.2	1.5	0.7	-0.4	-1.6	-3.0
105	-0.3	0.0	0.1	0.0	-0.3	-0.8	-1.4	-2.3	-3.3	-4.5
110	-3.5	-3.0	-2.7	-2.6	-2.7	-3.0	-3.5	-4.1	-5.0	-6.0
115	-6.7	-6.0	-5.5	-5.3	-5.2	-5.3	-5.5	-6.0	-6.7	-7.5
120	-9.8	-9.0	-8.3	-7.9	-7.6	-7.5	-7.6	-7.9	-8.3	-9.0
125	-13.0	-12.0	-11.2	-10.5	-10.0	-9.8	-9.7	-9.8	-10.0	-10.5
130	-16.2	-15.0	-14.0	-13.1	-12.5	-12.0	-11.7	-11.6	-11.7	-12.0
135	-19.4	-18.0	-16.8	-15.8	-14.9	-14.3	-13.8	-13.5	-13.4	-13.5
140	-22.6	-21.0	-19.6	-18.4	-17.3	-16.5	-15.8	-15.4	-15.1	-15.0

# Aspectos regulatorios: conexión y acceso

- **Cargos por conexión**

- Cargo único
- Dos enfoques principales:
  - A) Cargos “shallow”
  - B) Cargos “deep”
- **Compromiso**: localización eficiente vs. Transparencia/no-discriminación
- Problema de “free-riding”



# Aspectos regulatorios: conexión y acceso

- **Peajes** por **uso** de red para la GD
  - Cargos periódicos
  - Convencionalmente: sólo pagados por **consumidores**
  - Nuevo contexto: pagados por todos los **usuarios de red**
    - Reflectividad de costes vs. simplicidad
  - Señal económica para una operación eficiente
    - **Diseño coherente** con los cargos por conexión

		Generation Connection Charges		
		Shallow	Shallowish	Deep
Generation network tariffs (Use of system charges)	Yes	BE, PT	UK, SE <sup>11</sup>	DK, ES, NO
	No	CH, CZ, DE, IT, NL <sup>12</sup> , PL	FR <sup>13</sup> , GR, LT	EE

Fuente: Eurelectric. 2013

# Aspectos regulatorios: conexión y acceso

- Modelos de acceso a red

Gestión en tiempo real



Limitaciones a la conexión



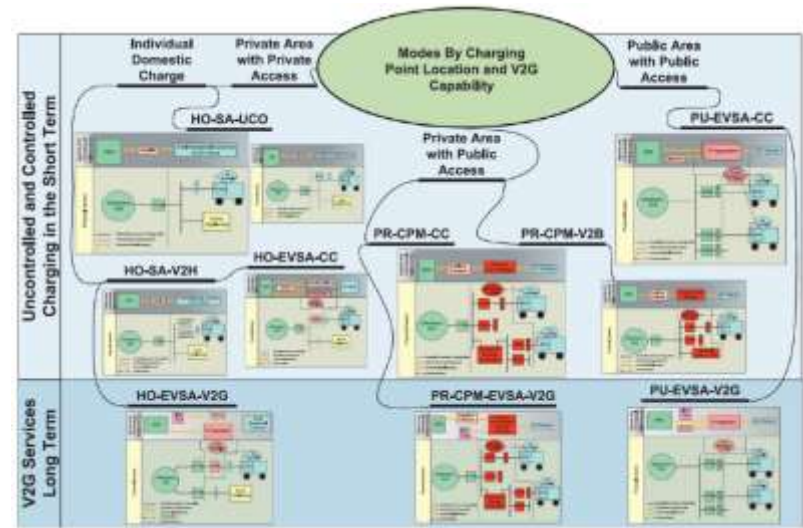
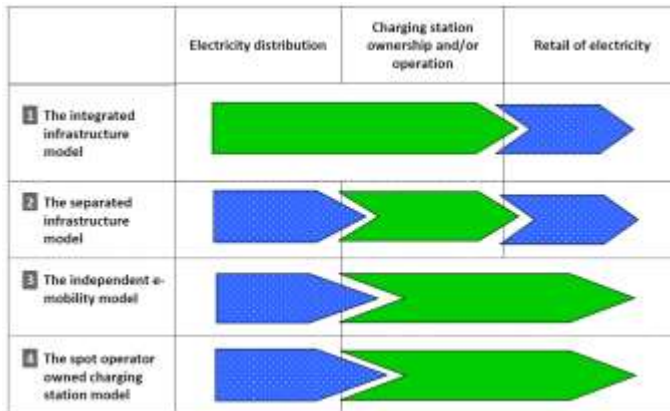
**Ej. Alemania:**

**DSO puede limitar al  
70% de la potencia  
nominal**



# Aspectos regulatorios: vehículos eléctricos

- Tarifas para carga doméstica: discriminación horaria
- Nuevos agentes:
  - Regulación del **gestor de cargas**: agente para la compra/venta de energía para los Ves
  - Participación del futuro **agregador** para proporcionar servicios adicionales
- Redes de suministro: públicas vs. privadas
  - Estandarización de conexiones
  - Uso de equipos de medida



# Aspectos regulatorios: medida inteligente

- Preguntas regulatorias:
  - ¿Cómo se van a remunerar las inversiones (al distribuidor)?
  - ¿Qué beneficios pueden derivarse? (al distribuidor, comercializadores y clientes finales)
- Cambio de contadores “obligatorio” (EU) vs. eficiente (UK)
- Gestión de la información: distribuidor, empresas independientes (UK), empresa regulada, ...
- Definición de funcionalidades y compatibilidad con *energy-box*





# Aspectos regulatorios: respuesta de la demanda

- Necesidad de nuevas tarifas: discriminación horaria, CPP, ToU.
- Fomentar actitudes de “*smart consumers*” (coste de 1 café)
- Eliminar barreras para comercializadores o agregadores para proporcionar estos servicios
- “*Home automation*” y “*Smart communication-information*”



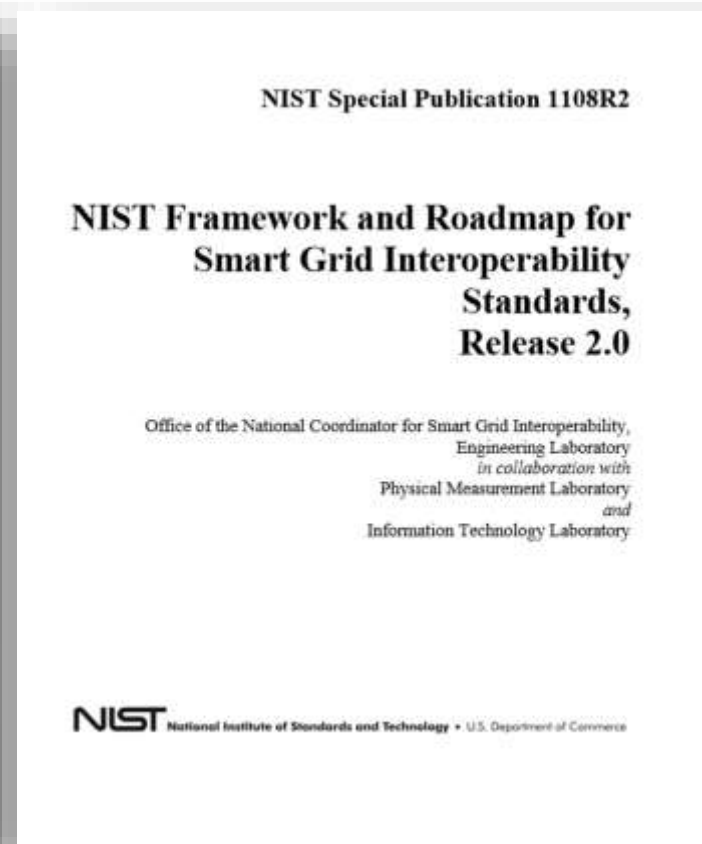
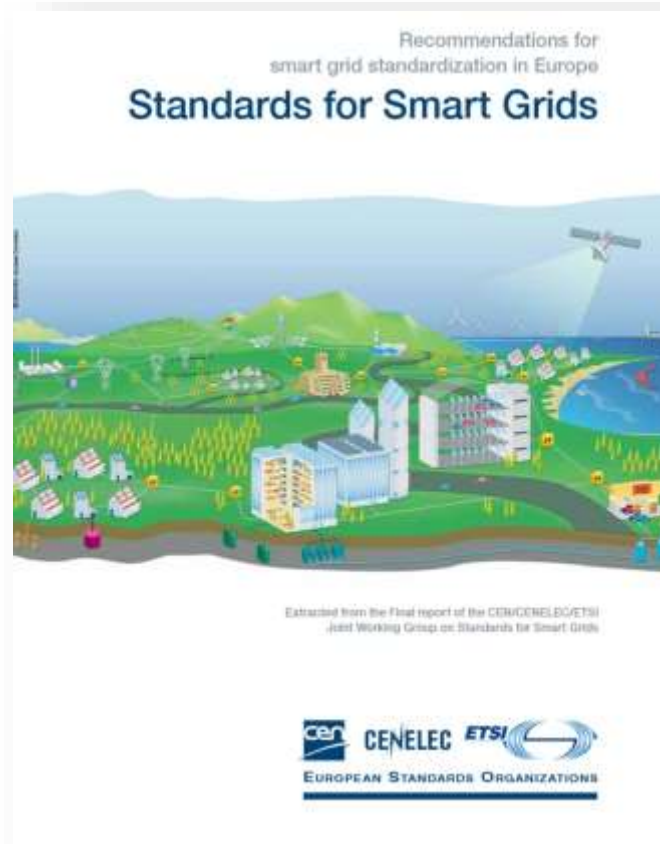
# Aspectos regulatorios: integración de renovables

- Reto: integrar de forma eficiente la generación intermitente, no gestionable, poco predecible.
- Revisar y diseñar reglas y P.Os. para recuperar inversión con la mínima interferencia en el mercado.
- Diseño de nuevos mercados, servicios complementarios.
- Integrar el almacenamiento.
- Retribución a la generación de back-up.
- Retribución de la generación renovable.



# Aspectos regulatorios: normativa

- Necesidad de estándares y normas...
  - Especificaciones funcionales
  - Facilitadores de integración de DER



# Organización

- Punto de partida
- Aspectos económicos
  - Implicaciones económicas
  - Estudios teóricos de CBA
  - Aplicación práctica de CBA
- Aspectos regulatorios
  - Contexto
  - Regulación de la actividad de la distribución eléctrica
  - Conexión y acceso de la generación distribuida
  - Conexión y gestión de vehículos eléctricos
  - Implantación de Smart-meters
  - Implantación de respuesta de la demanda
  - Integración de la generación renovable en la operación del sistema
  - Estándares y normativa para los sistemas de comunicaciones
- Conclusiones
- Referencias

# Conclusiones

*“Es mejor cojear por el camino que avanzar a grandes pasos fuera de él. Pues quien cojea en el camino, aunque avance poco, se acerca a la meta, mientras que quien va fuera de él, cuanto más corre, más se aleja”. (San Agustín)*

# Referencias

- A. Conchado, P. Linares, A. Santamaría, O. Lago. "How much should we pay for a DR program? An estimation of network and generation system benefits". IIT Working paper. August 2011. .
- Capgemini Utility Strategy Lab. "Smart meter business casescenario for Denmark", Developed for The Danish Energy Association, September 2008.
- CEN, CENELEC y ETSI , "JWG report on standards for smart grids", Versión 1, 17 December 2010.
- CNE. "Informe de supervision del mercado minorista de electricidad segundo semestre de 2010". 29 de junio de 2011.
- EPRI, "Estimating the costs and benefits of the Smart Grid. A Preliminary Estimate of the Investment Requirements and the Resultant Benefits of a Fully Functioning Smart Grid", Final Report, March 2011.
- EPRI, "Report to NIST on the Smart Grid Interoperability Standards Roadmap", Contract No. SB1341-09-CN-0031—Deliverable 10. Prepared by the Electric Power Research Institute. 2009.
- ERGEG, "Position Paper on Smart Grids. An ERGEG Conclusions Paper". Ref: E10-EQS-38-05, 10 June 2010.
- EURELECTRIC. 2010. Market Models for the Roll-Out of Electric Vehicle Public Charging Infrastructure. EURELECTRIC Concept Paper.
- EURELECTRIC. 2011. Regulation for Smart Grids. A EURELECTRIC report. Febrero 2011.
- International Energy Agency (IEA). 2009. "Technology Roadmap: electric and plug-in hybrid vehicle vehicles (EV/PHEV)". Available at [www.iea.org](http://www.iea.org)
- P. L. Joskow et al., "Incentive regulation in theory and practice: electricity distribution and transmission networks, MIT Center for Energy and Environmental Policy Research", 2005.
- Price Waterhouse Coopers. "Studie zur Analyse der KostenNutzen einer österreichweiten Einführung von Smart Metering". Juni 2010.
- R. Cossent, L. Olmos, T. Gómez y C. Mateo. "The role of alternative network response options in minimising the costs of DG integration into power networks", IMPROGRES EU Project, WP5, deliverable 6, Marzo 2010.
- R. Cossent, T. Gómez, P. Frías, "Towards a future with large penetration of distributed generation: Is the current regulation of electricity distribution ready? Regulatory recommendations under a European perspective", Energy Policy. vol. 37, no. 3, pp. 1145-1155, Marzo 2009.
- T. Gómez, C. Mateo, A. Sánchez, J. Reneses, M. Rivier, "La Retribución de la Distribución de Electricidad en España y el Modelo de Red de Referencia", Estudios de Economía Aplicada. 2011.



# ¡Gracias por vuestra atención!

Pablo Frías Marín

[Pablo.frias@iit.upcomilla.es](mailto:Pablo.frias@iit.upcomilla.es)

[www.iit.upcomillas.es/personas/pablof](http://www.iit.upcomillas.es/personas/pablof)

**Instituto de Investigación Tecnológica**

Santa Cruz de Marcenado, 26

28015 Madrid

Tel +34 91 542 28 00

Fax + 34 91 542 31 76

info@iit.upcomillas.es

[www.upcomillas.es](http://www.upcomillas.es)

