

Smart-metering como facilitador del desarrollo de las infraestructuras eléctricas de baja tensión. Enfoque alineado con la legislación aplicable en Europa y España

Manuel Suárez-Cebador, Juan Carlos Rubio-Romero y José Ramón De Andrés-Díaz

Universidad de Málaga. ETSII. C/ Dr Ortiz Ramos, s/n -29010 Málaga

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/7066>

1. INTRODUCCIÓN

En el pasado reciente, el interés por desarrollar los sistemas eléctricos se manifestaba en un análisis de prioridades en la utilización de energía eléctrica [1]. Este análisis revelaba que en 1971 estas prioridades se clasificaban en seis categorías: medio ambiente, transporte, agricultura, sector manufacturero, uso eficiente de la energía y comunicaciones. Este mismo estudio determinaba que posteriormente en 1998, la evolución tecnológica cambió el enfoque de estos objetivos hacia el crecimiento económico, la calidad de vida y la seguridad nacional.

Si consideramos la evolución de los sistemas eléctricos, vemos que han tenido un crecimiento moderado aplicando nuevas tecnologías en comparación con otras actividades de interés nacional en países desarrollados, como la industria del automóvil o el sistema financiero. Esta “tímida” evolución se ha manifestado fundamentalmente en subsistemas eléctricos de generación, transporte y distribución en alta tensión, no siendo tan evidente su desarrollo en infraestructuras eléctricas de baja tensión donde sólo a partir de la última década se están tomando medidas necesarias para reinventarse.

Tal y como vemos en la Figura 1, en la actualidad encontramos distintas líneas de estudio relacionadas con el desarrollo de las infraestructuras eléc-

tricas planteándose múltiples retos: absorber el crecimiento del consumo eléctrico, integrar en el sistema el incremento exponencial del uso de fuentes renovables, dar valor a la extensión de procesos de liberalización del mercado, incrementar la fiabilidad y seguridad en el suministro, soportar nuevas tecnologías que permitan mejorar la eficiencia energética y la gestión de la demanda, permitir la participación de los clientes en los mercados de la energía, etc.

Para conseguir estos retos, tal y como se reconoce en distintas Directivas Europeas (Directive 2006/32/EC; Directive 2005/89/EC; Directive 2004/22/EC), una buena parte del éxito dependerá de la reconfiguración de las redes eléctricas en “redes inteligentes” y una de las claves para esta transformación es el despliegue de tecnologías inteligentes de medición. Esta situación exige actualizar los sistemas de medida eléctrica y la herramienta para conseguirlo se conoce como “Smart-Metering”.

Las importantes inversiones requeridas para implantar este tipo de sistemas exigen considerar su viabilidad económica, ya que ésta se reconoce como la principal preocupación de las entidades responsables de su implantación. En la actualidad, se aplican técnicas de análisis coste-beneficio de manera individualizada desde cada país o institución involucrada, presentando distintas consideraciones y perspectivas que dependen de factores como objetivos, metodologías o estructuras de mercados. En estos análisis, los costes de este tipo de proyectos se reconocen como fácilmente cuantificables, sin embargo, los beneficios potenciales dependen de multitud de variables y esto se traduce en que son difíciles de cuantificar [2].

Los beneficios potenciales de los smart Metering considerados clave se describen en el estudio “*Smart Metering with a Focus on Electricity Regulation*” [3] realizado por el *European Regulators’ Group for Electricity and Gas* (en adelante ERGEG). En este mismo estudio, ERGEG subraya la heterogeneidad de los beneficios que proporcionan los sistemas smart metering y la dificultad de identificar cursos de acción homogéneos. A su vez, ERGEG emplaza a los reguladores para que primero señalen sus objetivos particulares de acuerdo a explotar estos beneficios clave y después identifiquen beneficios potenciales en otras áreas.

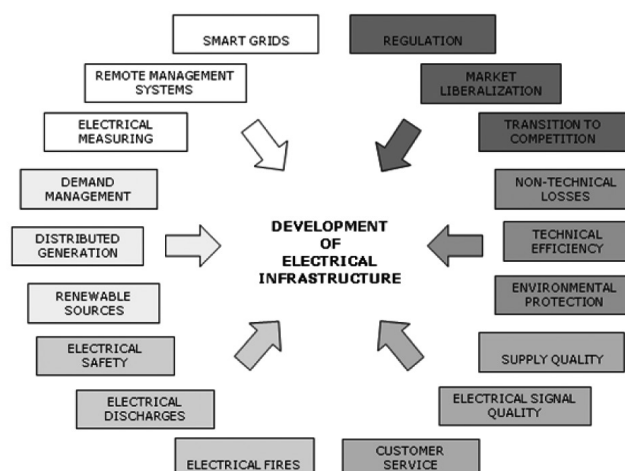


Fig. 1: Relación no exhaustiva de líneas de estudio en el desarrollo de infraestructuras eléctricas

En relación a lo expuesto, el objetivo de esta investigación ha sido doble. Por un lado, identificar los objetivos del legislador en cuanto al desarrollo de las infraestructuras eléctricas. Por otro lado, clasificar los beneficios potenciales de los smart metering conforme a los objetivos del legislador en el desarrollo de dichas infraestructuras. La consecución por esta investigación del primer objetivo nos permitiría tener una visión actualizada y objetiva de las principales líneas estratégicas del legislador al respecto, y además, hacerlo de una forma holística, sin atender a los objetivos parciales de cada una de las normas legales.

La consecución del segundo objetivo facilitaría a las diferentes partes interesadas la definición de acciones de gestión homogéneas, basadas en los sistemas smart metering y alineadas con los objetivos del legislador. De esta forma, gobierno y gestores pueden optimizar las capacidades de los sistemas smart metering dirigiendo sus esfuerzos a favorecer su gestión mediante una adecuada planificación, operación, control y evolución de las infraestructuras eléctricas y del servicio de suministro de electricidad.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. IDENTIFICACIÓN DE LOS OBJETIVOS DE MEJORA DE LA LEGISLACIÓN PARA LAS INFRAESTRUCTURAS ELÉCTRICAS

Para identificar los principales objetivos de mejora que influyen en el desarrollo de infraestructuras eléctricas, analizamos el objeto y la exposición de motivos de la legislación aplicable en España a este tipo de infraestructuras. A partir de la tabulación de esta legislación en base a su rango legal, año y fecha de promulgación, con objeto de dirigir nuestro análisis hacia la normativa de mayor peso legal, seleccionamos finalmente para nuestra investigación las Directivas Europeas y las normas legales con rango equivalente a Real Decreto o Superior.

Posteriormente, para responder a la pregunta ¿qué acciones se pretenden desarrollar por el legislador en las infraestructuras eléctricas?, realizamos un análisis sintáctico y crítico de la

exposición de motivos y del objeto de cada una de las normas legales seleccionadas. Para ello, primero identificamos en el texto el término “desarrollar” y sus sinónimos (s) y antónimos (a) que según el diccionario de la Real Academia Española son: (s) acrecentar, adecuar, ajustar, amplificar, aumentar, avanzar, crecer, evolucionar, favorecer, fomentar, incrementar, mejorar, optimizar, perfeccionar, progresar, prosperar; (a) atrasar, disminuir, empeorar, reducir, retroceder, etc.

Una vez localizada en el texto la raíz de alguno de estos términos, la identificación de su complemento directo nos daba la respuesta a nuestra pregunta; a fin de limitar el número de acciones,

asignamos a cada acción identificada en el texto un peso, en función del número de veces que aparecían en los mismos, y seleccionamos finalmente sólo aquellas acciones u objetivos que presentaban un peso igual o superior al peso medio de todos los objetivos.

Los objetivos seleccionados fueron sometidos a un proceso de validación por expertos basado en el método de agregados individuales publicado en España por el *Ministerio de Trabajo* [4].

Para ello, se seleccionaron diez expertos atendiendo a criterios de posesión de una cualificación técnica equivalente a ingeniero con una experiencia laboral mínima de cinco años en el sector eléctrico de entre distintas áreas de

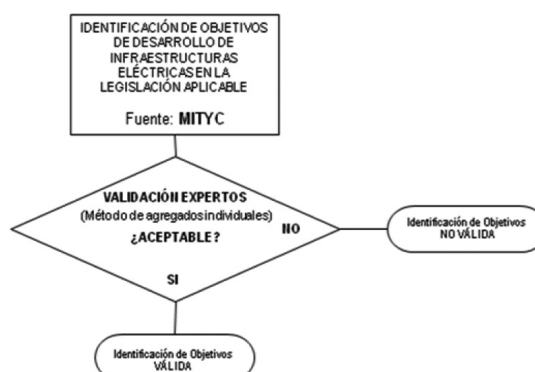


Fig. 2: Diagrama de flujo. Identificación de objetivos de desarrollo en legislación aplicable

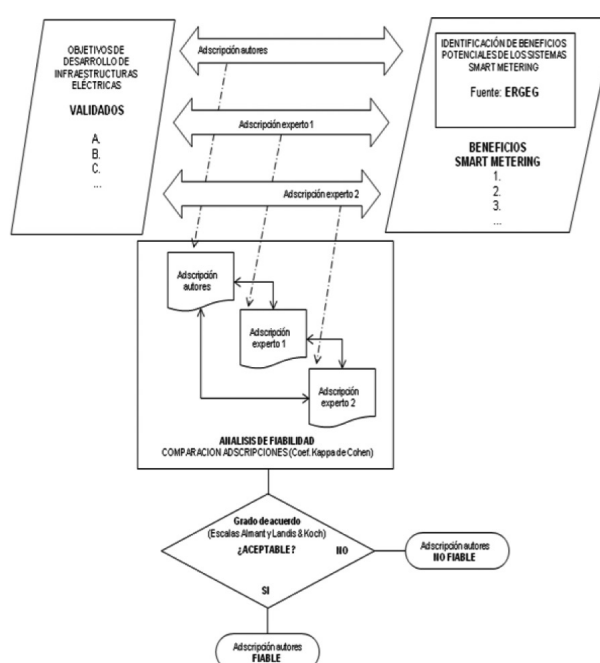


Fig. 3: Diagrama de flujo. Clasificación de los beneficios potenciales del smart metering conforme a los objetivos de la legislación para la mejora de las infraestructuras eléctricas

dicho sector: empresas de instalaciones eléctricas, empresas distribuidora de energía eléctrica, fabricantes y distribuidores de material eléctrico, organismos de control autorizados por la administración competente y organismos oficiales de la propia administración relacionados con la gestión de infraestructuras eléctricas. A continuación, a partir de un cuestionario *ad hoc* donde se describían las fuentes identificadas en la fase anterior, formas de selección y definición de los principales objetivos de mejora para fomentar el desarrollo de las infraestructuras eléctricas, se solicitaba a cada uno de los expertos individualmente lo siguiente:

- Validación de cada objetivo mediante una valoración de 0 si no lo consideraban como tal, a 5 si lo consideraban un objetivo de máxima prioridad.
- Identificación y valoración en su caso, de otros objetivos distintos a los seleccionados que considerasen importantes.

Realizado el tratamiento estadístico descriptivo de los datos recogidos, consideramos como válidos aquellos objetivos que presentaban una puntuación media equivalente a 3 o superior.

2.2. CLASIFICACIÓN DE LOS BENEFICIOS POTENCIALES DEL SMART METERING CONFORME A LOS OBJETIVOS DE LA LEGISLACIÓN PARA LA MEJORA DE LAS INFRAESTRUCTURAS ELÉCTRICAS

Para clasificar los beneficios potenciales de los sistemas *smart metering* conforme a los objetivos de mejora de la legislación, partimos de los beneficios identificados en el estudio de ERGEG [3]. Esta clasificación realizada mediante una tabla de doble entrada (beneficios y objetivos de mejora) fue realizada inicialmente por los autores.

Posteriormente, con objeto de comprobar la fiabilidad de la asignación realizada por los autores, se realizó un análisis de confiabilidad donde dos ingenieros con más de 10 años de experiencia contrastada en actividades relacionadas con el sector eléctrico hicieron su propia clasificación de forma independiente. La contrastación de los datos obtenidos procedentes de cada una de las partes, mediante la aplicación de la metodología propuesta por Cohen

Directiva EU / Rango Legal	Nº DE DISPOSICIONES LEGALES
Directiva Europea	10
Ley	10
Real Decreto-Ley	10
Real Decreto	73
Nº TOTAL DE DISPOSICIONES LEGALES	103

Tabla 1: Identificación de las disposiciones legales con rango Real Decreto o superior aplicables a las infraestructuras eléctricas en España

OBJETIVOS DE MEJORA DE LA LEGISLACION	
Descripción	Nº de veces identificado
Competencia	42
Calidad	41
Eficiencia	33
Demanda	27
Seguridad	26
Operatividad	25
Retribución	24
Renovables	21
Medio Ambiente	20
Armonización	10
Competitividad	7
Valor medio	25

Tabla 2: Objetivos de mejora identificados en las principales normas legislativas aplicables en España a las infraestructuras eléctricas

[5] facilita los resultados para valorar el grado de acuerdo y concordancia a partir de las escalas de interpretación del valor de kappa según Almant [6] y Landis y Koch [7].

3. RESULTADOS

3.1. OBJETIVOS DE DESARROLLO DE LAS INFRAESTRUCTURAS ELÉCTRICAS

Como primer paso para la identificación de los principales objetivos de mejora que influyen en el desarrollo de las infraestructuras eléctricas, identificamos las principales fuentes legislativas que le son de aplicación en España (ver Tabla 1).

Conforme a la metodología descrita, fueron identificados los objetivos de mejora incluidos en la Tabla 2, así como el número de veces en que aparecía.

Para simplificar nuestra investigación, nos centramos en aquellos objetivos que habían sido identificados en las normas legales estudiadas, al menos un número de veces igual o superior al valor medio de aparición de los diferen-

tes objetivos, es decir 25 veces. La selección final de los objetivos fue: competencia, calidad, eficiencia, demanda, seguridad y operatividad.

Esta selección fue sometida a un proceso de validación por expertos, obteniendo los resultados mostrados en la Tabla 3. Se observó que existía un alto grado de consenso, con valores de la media, mediana y desviación que validaban nuestra selección de los principales objetivos.

3.2. CLASIFICACIÓN DE LOS BENEFICIOS DE LOS SISTEMAS SMART METERING CONFORME A LOS OBJETIVOS DE LA LEGISLACIÓN PARA EL DESARROLLO DE INFRAESTRUCTURAS ELÉCTRICAS

El estudio titulado “*Smart Metering with a Focus on Electricity Regulation*” [3] identifica distintos beneficios potenciales de los sistemas *smart metering* que se muestran a modo de resumen en la Tabla 4.

A continuación estos beneficios fueron asignados por los autores a los objetivos de mejora identificados, seleccionados y validados anteriormente.

Parámetros de mejora	Experto/Tipo de Empresa*										Media	Mediana	Desviación
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
	ED	ED	EP	EP	ED	OO	FA	FA	OCA	DI			
COMPETENCIA (mercado)	3	2	3	3	5	5	5	5	4	4	3.90	4	1.04
CALIDAD (onda y servicio)	2	5	5	5	5	4	4	5	5	4	4.40	5	0.92
EFICIENCIA (sistema)	4	4	5	5	5	4	5	5	4	5	4.60	5	0.49
DEMANDA (energía)	4	3	4	5	5	3	4	3	4	3	3.80	4	0.75
SEGURIDAD (prevención accidentes)	4	5	5	5	5	4	4	2	5	4	4.30	5	0.90
OPERATIVIDAD (trabajo de campo, administración, ...)	3	5	5	4	3	3	4	3	5	5	4.00	4	0.89
* DI: Distribuidor de material eléctrico. ED: Empresa distribuidora de energía eléctrica. EP: Empresa privada de instalaciones eléctricas. FA: Fabricante de aparellaje eléctrico. OCA: Organismo de Control Autorizado por la administración competente para inspección y control de infraestructuras eléctricas. OO: Organismo oficial de la administración competente en materia de infraestructuras eléctricas.													

Table 3: Valoración de objetivos de mejora en validación por expertos

BENEFITS	COD.	BENEFITS	COD.
Mejora de Eficiencia	1	Mayor precisión en control de pérdidas técnicas y energía reactiva	13
Seguridad del sistema	2	Mayor precisión en control continuidad de suministro y calidad de onda	14
Mejora del mercado	3	Ahorros en costes de lectura	15
Equidad social	4	Mayor información valiosa para los distintos grupos de interés	16
Protección medio ambiente	5	Reducción costes de gestión de consultas	17
Ahorros en factura eléctrica	6	Reducción de llamadas a CAT	18
Mayor competencia entre retailers	7	Reducción de pérdidas no técnicas	19
Exactitud de facturas	8	Reducción de costes en deudas pendientes de cobro	20
Aplicaciones domóticas	9	Reducción de costes de parametrización	21
Opciones de prepago	10	Reducción de costes de transacción	22
Conexión-Desconexión remota	11	Mayor equilibrio (energía declarada-consumida)	23
Rapidez en localización y reparación de interrupciones	12	Accesibilidad de datos a terceros autorizados	24

Tabla 4: Resumen de los beneficios potenciales del smart metering [3]

COMPARACION		Asignación experto 1					
ASIGNACIONES		Competencia	Calidad	Eficiencia	Demanda	Seguridad	Operatividad
Nuestra asignación	Competencia	4,7,16			6		7
	Calidad		2,8,12,13,14,16,18				8,18
	Eficiencia			1,9,13,16,19,24			
	Demanda				3,5,6,9,16,24		
	Seguridad					2,9,11,15,16,21	
	Operatividad						10,11,15,16,17,20,21,22,23

Tabla 5: Asignación de los beneficios de los sistemas smart metering sobre los objetivos de mejora que influyen en el desarrollo de infraestructuras eléctricas. Comparación entre la asignación de los autores y la asignación del experto 1

Para verificar la fiabilidad de esta asignación, dos expertos realizaron de forma independiente sus propias asignaciones, aplicándose posteriormente un análisis de confiabilidad. Del análisis de estas comparaciones (ver Tablas 5 a 7), obtenemos los resultados representados en la Tabla 8 que apoyan la fiabilidad de la asignación realizada por los autores.

Esto nos lleva a obtener finalmente la Tabla 9 donde se asocia cada impacto de los sistemas smart metering definidos como un beneficio por ERGEG, con los principales objetivos establecidos por el legislador para desarrollar las infraestructuras eléctricas y que hemos identificado en este trabajo.

4. DISCUSIÓN

Los objetivos de desarrollo de infraestructuras eléctricas obtenidos por los autores en la legislación aplicable, pueden identificarse con la mejora de resultados medidos por seis variables de gestión: Competencia, Calidad, Eficiencia, Demanda, Seguridad y Operatividad. Estas variables son similares a las planteadas por otras investigaciones en diferentes contextos, como la realizada por el grupo de trabajo del Energy Modelling Forum de la Universidad de Stanford [8]. Esta coincidencia se encuentra en un factor común basado en conseguir, en cada contexto, una gestión o administración eficaz capaz de garantizar y satisfacer necesidades al menor coste posible, interviniendo en los extremos la dirección del estado y la participación ciudadana.

Realizando una discusión individualizada de los objetivos obtenidos, podemos ver que en relación a la Competencia, esta investigación incluye tres beneficios potenciales del smart metering identificados por ERGEG. Estos beneficios podrán por tanto ser analizados por cada grupo de interés con el fin de asegurar la alineación de la decisión a tomar con los objetivos del legislador. Por ejemplo, los comercializadores de energía o “retailers”, como parte interesada en diseñar acciones para incrementar la competencia, disponen de las tres descripciones indicadas conforme a los tres beneficios clasificados, que se resumen en la posibilidad de encarar un marketing relacional o CRM, ajustando su oferta a los horarios y preferencias de los clientes. Todo ello gracias a la información proporcionada por los sistemas smart metering.

COMPARACION ASIGNACIONES		Asignación experto 2					
		Competencia	Calidad	Eficiencia	Demanda	Seguridad	Operatividad
Nuestra asignación	Competencia	4,7,16					7
	Calidad		2,8,12,14,16,18	13			
	Eficiencia			1,9,13,16,19,24			
	Demanda	3			3,5,6,9,16,24		
	Seguridad					2,9,11,15,16,21	
	Operatividad						10,11,15,16,17,20,21,22,23

Tabla 6: Asignación de los beneficios de los sistemas smart metering sobre los objetivos de mejora que influyen en el desarrollo de infraestructuras eléctricas. Comparación entre la asignación de los autores y la asignación del experto 2

COMPARACION ASIGNACIONES		Asignación experto 2					
		Competencia	Calidad	Eficiencia	Demanda	Seguridad	Operatividad
Asignación experto 1	Competencia	4,7,16					
	Calidad		2,8,12,14,16,18	13			
	Eficiencia			1,9,13,16,19,24			
	Demanda	3			3,5,6,9,16,24		
	Seguridad					2,9,11,15,16,21	
	Operatividad		8,18				7,10,11,15,16,17,20,21,22,23

Tabla 7: Asignación de los beneficios de los sistemas smart metering sobre los objetivos de mejora que influyen en el desarrollo de infraestructuras eléctricas. Comparación entre la asignación del experto 1 y la asignación del experto 2

RELACIÓN	% Acuerdo observado	% Acuerdo esperado	Indice kappa de Cohen	Fuerza de concordancia (Almant [7])	Grado de acuerdo (Landis y Koch [8])
Nuestra asignación /Experto 1	90.24%	17.85%	0.88	VERY GOOD	ALMOST PERFECT
Nuestra asignación /Experto 2	92.31%	17.62%	0.91	VERY GOOD	ALMOST PERFECT
Experto 1/Experto 2	90.24%	18.32%	0.88	VERY GOOD	ALMOST PERFECT

Tabla 8: Resultados de análisis de confiabilidad Results of the reliability analysis

Esta perspectiva resulta clave ya que a pesar de que en teoría el mercado es libre y la competencia abierta, la realidad no se muestra así porque los retailers no disponen de la información necesaria para ofertar precios personalizados [9].

Con respecto a la Calidad, las partes interesadas disponen de seis potenciales beneficios en nuestra clasificación que facilitarán su análisis concreto, ante el reto de la definición de una política al respecto. Así, por ejemplo, la parte interesada “compañía distribuidora”, podrá analizar los anteriores beneficios en relación a la calidad, mediante la posibilidad de reducir las interrupciones del servicio y su duración, incrementar la precisión en la facturación, reducir la

necesidad de la atención al consumidor gracias a la mayor precisión en la información enviada a éste, etc. Un ejemplo representativo del alcance de los costes económicos por fallos de calidad en el suministro eléctrico se evidencia en el caso de Estados Unidos, donde se estima que estos fallos tienen un coste para su sociedad de hasta 100.000 millones de dólares al año [10].

En nuestra clasificación, la Eficiencia muestra seis beneficios potenciales sobre los que las partes interesadas podrían enfocar sus esfuerzos. Las compañías distribuidoras se pueden apoyar en los sistemas smart metering para reducir las pérdidas de energía en las redes eléctricas. Como ejemplo del potencial

de mejora, en el año 2009 se estimaban como media en la EU-27 unas pérdidas en las redes de distribución de energía eléctrica en torno al 5,9% [11]. En el caso de España, estas pérdidas alcanzaban casi un 10% donde el 8% correspondían a pérdidas técnicas y el 2% a pérdidas no técnicas [12]. En suministros en baja tensión, este 10% se traducían para ese año en un potencial de ahorro energético próximo a 15,3 Twh que hubiera supuesto unos 1.375 millones de euros en facturación. A su vez, empresas especializadas en gestión energética, valiéndose de la información y capacidad de los sistemas smart metering, podrían mejorar el asesoramiento a los usuarios domésticos dirigiéndoles a un uso eficiente de la energía eléctrica. Un claro ejemplo de este potencial de mejora se pone de manifiesto en el estudio realizado en España en el año 2008, donde Unión Fenosa determinaba un potencial de ahorro en el consumo eléctrico doméstico equivalente al 8,75%.

La optimización de la gestión de la Demanda se considera una variable clave para garantizar el éxito técnico y económico de los sistemas smart metering, estimándose sólo para Europa, un potencial de ahorro de hasta 67.000 millones de euros [13]. Para conseguirlo, la clasificación propuesta en esta investigación muestra seis beneficios potenciales asociados al smart metering. A partir de estos beneficios, tanto empresas comercializadoras de energía como terceras partes autorizadas podrían fomentar y facilitar la participación de los consumidores ya que se configura como un factor esencial en la gestión de la demanda. De nuevo, el acceso a la información y el establecimiento de tarifas adaptadas a distintos perfiles de los consumidores será una herramienta fundamental.

En relación al objetivo de Seguridad, la clasificación propuesta ofrece seis beneficios potenciales que ayudarían a reducir los accidentes eléctricos, tanto a usuarios, como a empresas relacionadas con la explotación y mantenimiento de las infraestructuras eléctricas. Por un lado, mediante la participación de terceras partes autorizadas, el potencial de estos sistemas podría ampliarse hacia el control de los incendios y accidentes eléctricos por el uso doméstico de esta energía. El alcance de esta mejora se pone de manifiesto en

TARGETS	BENEFITS	COD.	DESCRIPTION
COMPETENCIA	Equidad social	4	Cuanto mayor es la proporción de los ingresos de un cliente gasta en electricidad mayor será su reacción al precio diario, ya que esto conduce a una reducción en su factura anual de electricidad.
	Mayor competencia entre retailers	7	Los comercializadores de energía pueden competir para ofrecer a los clientes diferentes precios de la electricidad según la hora del día. Además será más fácil para los consumidores cambiar de comercializador.
	Mayor información valiosa para los distintos grupos de interés	16	Marketing, perfiles de carga, gestión de la energía (comercializadores), modelado de sistemas y el mantenimiento preventivo (operadores de red).
CALIDAD	Seguridad del sistema	2	La adaptación del consumo de los usuarios a distintas tarifas basadas en la demanda horaria facilita la seguridad del sistema.
	Exactitud de facturas	8	Los clientes quieren estar seguros de que están pagando el precio correcto de la energía que consumen.
	Rapidez en localización y reparación de interrupciones	12	La red puede operar de manera más eficiente dirigiendo esfuerzos en las áreas problemáticas identificadas reduciéndose el número y la duración de las interrupciones. En general, esto ayuda a mejorar la calidad de suministro.
	Mayor precisión en control continuidad de suministro y calidad de onda	14	Los sistemas smart metering permiten transferir automáticamente al operador de red una gran cantidad de datos. Esto aumentará el número de medidas disponibles relacionadas con la calidad de energía.
	Mayor información valiosa para los distintos grupos de interés	16	Marketing, perfiles de carga, gestión de la energía (comercializadores), modelado de sistemas y el mantenimiento preventivo (operadores de red).
	Reducción de llamadas a CAT	18	En relación a consultas sobre el medidas en el contador y facturación.
EFICIENCIA	Mejora de Eficiencia	1	Las tarifas horarias son más eficientes, ya que los consumidores se enfrentan a precios que reflejen con mayor exactitud el costo de producción de la electricidad. A largo plazo, los consumidores que responden a estos precios pueden reducir la necesidad de nuevas centrales eléctricas y las inversiones en la red.
	Aplicaciones domóticas	9	Ajuste de la demanda de los clientes, optimización de la calefacción y la iluminación, seguridad y alarma, etc.
	Mayor precisión en control de pérdidas técnicas y energía reactiva	13	Las pérdidas técnicas se reducen porque los smart meters pueden proporcionar información precisa sobre dónde se produce la pérdida. Además, pueden utilizarse para registrar los factores de potencia y la potencia reactiva (kVAR)
	Mayor información valiosa para los distintos grupos de interés	16	Marketing, perfiles de carga, gestión de la energía (comercializadores), modelado de sistemas y el mantenimiento preventivo (operadores de red).
	Reducción de pérdidas no técnicas	19	Permite la detección de manipulaciones sobre el contador o sobre el consumo.
	Accesibilidad de datos a terceros autorizados	24	Las entidades o empresas autorizadas pueden utilizar los datos para favorecer la eficiencia energética y la gestión de la demanda (por ejemplo: domótica y automatización de edificios)
DEMANDA	Mejora del mercado	3	Los consumidores que cambian las horas a las que utilizan electricidad puede llevar a un nivel más plano la demanda en el mercado. Esto a su vez puede reducir el coste de mercado de la electricidad en las horas punta, lo que supone un beneficio para todos los consumidores.
	Protección medio ambiente	5	Si las acciones de los clientes llevan a una reducción significativa en la cantidad total de electricidad utilizada o del nivel de la demanda pico, las centrales eléctricas funcionarán con menor frecuencia, lo que provoca una reducción de emisiones. Además se reducirían otras materias primas (carbón, ...) utilizadas para producir electricidad.
	Ahorros en factura eléctrica	6	Las tarifas horarias permitirían modular la demanda estableciendo precios a los que los consumidores responderían para ahorrar en sus facturas de electricidad.
	Aplicaciones domóticas	9	Ajuste de la demanda de los clientes, optimización de la calefacción y la iluminación, seguridad y alarma, etc.
	Mayor información valiosa para los distintos grupos de interés	16	Marketing, perfiles de carga, gestión de la energía (comercializadores), modelado de sistemas y el mantenimiento preventivo (operadores de red).
	Accesibilidad de datos a terceros autorizados	24	Las entidades o empresas autorizadas pueden utilizar los datos para favorecer la eficiencia energética y la gestión de la demanda (por ejemplo: domótica y automatización de edificios)
SEGURIDAD	Seguridad del sistema	2	La adaptación del consumo de los usuarios a distintas tarifas basadas en la demanda horaria facilita la seguridad del sistema.
	Aplicaciones domóticas	9	Ajuste de la demanda de los clientes, optimización de la calefacción y la iluminación, seguridad y alarma, etc.
	Conexión-Desconexión remota	11	Los sistemas smart metering permiten operaciones de forma remota mediante el envío de señales al contador, reduciendo así los costes asociados con operaciones de campo. En lugar de desconectar completamente la electricidad, también es posible limitar el consumo.
	Ahorros en costes de lectura	15	Evita operaciones de lectura cíclicas y finales.
	Mayor información valiosa para los distintos grupos de interés	16	Marketing, perfiles de carga, gestión de la energía (comercializadores), modelado de sistemas y el mantenimiento preventivo (operadores de red).
	Reducción de costes de parametrización	21	Parametrización remota de contadores
OPERATIVIDAD	Opciones de prepago	10	Los contadores inteligentes a los consumidores poder pagar por la electricidad antes de su consumo.
	Conexión-Desconexión remota	11	Los sistemas smart metering permiten operaciones de forma remota mediante el envío de señales al contador, reduciendo así los costes asociados con operaciones de campo. En lugar de desconectar completamente la electricidad, también es posible limitar el consumo.
	Ahorros en costes de lectura	15	Evita operaciones de lectura cíclicas y finales.
	Mayor información valiosa para los distintos grupos de interés	16	Marketing, perfiles de carga, gestión de la energía (comercializadores), modelado de sistemas y el mantenimiento preventivo (operadores de red).
	Reducción costes de gestión de consultas	17	En relación a facturas estimadas o re facturaciones.
	Reducción costes en deudas pendientes de cobro	20	Permite a los comercializadores limitar deudas incobrables.
	Reducción de costes de parametrización	21	Parametrización remota de contadores
	Reducción de costes de transacción	22	Servicios realizados por el distribuidor en nombre del comercializador.
	Mayor equilibrio (energía declarada-consumida)	23	Diferencias entre consumos declarados y consumidos. Los smart meters permiten a los comercializadores facturar a sus clientes con datos reales en lugar de estimados.

Tabla 9: Asociación de los impactos o beneficios de los sistemas smart metering con los principales objetivos identificados de desarrollo de las infraestructuras eléctricas

países como España donde se producen anualmente 7.300 incendios eléctricos con un coste aproximado de 40 millones de €/año y 4.850 accidentes por descargas eléctricas que provocan más de 1.500 heridos graves y 150 víctimas mortales [14]. Por otro lado, las empresas relacionadas con la explotación y mantenimiento de las infraestructuras eléctricas podrían basarse en la evaluación de los beneficios propuestos para diseñar planes individuales o conjuntos con el objetivo de reducir la siniestralidad de sus trabajadores. Estos planes se basarían fundamentalmente en una reducción del número de sus operaciones de campo gracias al control remoto y a la información aportada por los sistemas smart metering.

Finalmente, la clasificación propuesta incluye nueve beneficios potenciales asociados al objetivo de Operatividad. Tres de estos beneficios están relacionados con operaciones remotas como lecturas, conexión-desconexión y parametrización de contadores. En diferentes análisis de los sistemas smart metering, estos beneficios son considerados a priori, como los que ofrecen mayores ahorros económicos y como los más fácilmente

cuantificables. De hecho, se considera que la mayor parte de la inversión requerida para la puesta en marcha de un sistema smart metering se compensa con el ahorro sobre estas operaciones de campo, que dentro del caso europeo se cuantifican entre el 50% y el 80% del total de dicha inversión [13]. El resto de beneficios relacionados con la operatividad, se asocian a la información proporcionada por los sistemas smart metering, que en este caso, proporcionarían una notable reducción en costes administrativos. Por otro lado, hemos de considerar que cualquier sistema eléctrico estructurado, desde la generación hasta el consumo, se verá afectado por la operatividad de las entidades que forman parte de la cadena trabajando en la ejecución, explotación o mantenimiento de sus infraestructuras eléctricas. Así pues, los beneficios descritos en esta clasificación afectarán en mayor o menor medida a todas las partes interesadas. Por lo tanto, el conocimiento de estos beneficios facilitaría a todas las partes su comprensión para favorecer la integración y cooperación entre todas ellas.

6. CONCLUSIONES

La utilización de nuevas tecnologías, como los sistemas *smart metering*, van a permitir plantear a los diferentes grupos de interés nuevos retos y objetivos en la gestión y desarrollo de las infraestructuras eléctricas.

Sin embargo, las posibilidades de gestión de estos grupos estarán limitadas por los objetivos decididos por la política de los estados, que son fijados normalmente a través de la legislación. En este trabajo se identifican los objetivos oficiales establecidos en la actualidad en materia de desarrollo de infraestructuras eléctricas en Europa y en particular en España, así como su alineación con los beneficios que facilitan las tecnologías denominadas smart metering. Esta alineación, realizada en esta investigación, facilita a los diferentes grupos de interés, básicamente Administraciones, distribuidores de energía, comercializadores de energía, terceros autorizados y clientes, una sencilla herramienta que les permita discriminar aquellos beneficios que les ayudarán a mejorar la competencia, la calidad, la

eficiencia, la demanda, la seguridad o la operatividad de las infraestructuras eléctricas.

En este sentido, algunos de los beneficios potenciales de los sistemas smart metering se asocian como resultado de esta investigación no solo a un objetivo de desarrollo de las infraestructuras eléctricas, sino a más de uno de ellos. Este es el caso de las aplicaciones domóticas que vinculadas con el smart metering podrían mejorar además de la gestión de la demanda, la eficiencia y la seguridad. Otro resultado a subrayar en relación a lo anterior, es la asociación de los beneficios ligados a la telegestión de operaciones de campo (lecturas, conexiones-desconexiones, parametrización, etc.) por su relación, no sólo con el objetivo de gestión de la operatividad por los ahorros que facilita, sino también por su relación con el objetivo de seguridad, cuestión que no ha sido identificada en otros estudios.

Como se ha visto, el acceso a una mayor y mejor información facilitada por los sistemas smart metering afecta a todos los objetivos de desarrollo del legislador o posibles acciones de gestión identificadas en esta investigación. Por lo tanto, la información aportada por estos sistemas resulta el factor común a todos los objetivos, y por lo tanto se presenta como el factor clave. En relación a esta información, si los reguladores quieren que los diferentes grupos de interés obtengan el máximo rendimiento de estos sistemas y se consiga un mayor desarrollo de estas infraestructuras, deberán facilitar su accesibilidad a todas las partes interesadas, sin vulnerar al mismo tiempo los derechos de cada una de las partes o de los propios consumidores. La manera operativa de realizar esto, supone por tanto un importante reto para los reguladores.

En definitiva, esta investigación proporciona los parámetros esenciales de gestión que pueden facilitar, a cada grupo de interés, diseñar su propia estrategia gerencial aprovechando la tecnología smart metering para influir en el desarrollo de las infraestructuras eléctricas, alineándose al mismo tiempo con los objetivos del legislador. Así mismo, mediante la evaluación del despliegue de los citados parámetros de gestión, se facilita la orientación hacia donde dirigir los esfuerzos para el desarrollo de los sistemas eléctricos.

PARA SABER MÁS

- [1] Gellings C W. "Priorities for Electric Energy Utilisation Research in the USA". *OPEC Review*. Vol.98-22 p.291-300. Doi: <http://dx.doi.org/10.1111/1468-0076.00053>
- [2] Haney A B, Jamasb T, Pollit M. "Smart Metering and Electricity Demand: Technology, Economics and International Experience". University of Cambridge, Cambridge, UK. CWPE 0905 & EPRG 0903. 2009. URL: <http://www.econ.cam.ac.uk/research/repec/cam/pdf/cwpe0905.pdf>
- [3] ERGEG. European Regulators' Group for Electricity and Gas. "Smart Metering with a Focus on Electricity Regulation". Ref: E07-RMF-04-03.31. Brussels, Belgium, October 2007. 16-19p.
- [4] INSHT. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. "Notas Técnicas de Prevención (NTP-401)". 2010. Available from: http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/401a500/ntp_401.pdf
- [5] Cohen J. "A coefficient of agreement for nominal scales". *Educational and Psychological Measurement*. Vol.60-20 p.37-46.
- [6] Altman DG. "Practical statistics for medical research". London: Chapman and Hall, 1990. ISBN: 978-0412276309
- [7] Landis J R, Koch G G. "The measurement of observer agreement for categorical data". *Biometrics*. Vol.77-33 p.159-174.
- [8] Green R. "Electricity transmission pricing: an international comparison". *Utilities Policy*. Vol.97-6(3) p.177-184. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0957-1787\(97\)00022-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0957-1787(97)00022-2)
- [9] Vives X. "El reto de la competencia en el sector eléctrico". IESE, Universidad de Navarra. Occasional Paper 2006. nº06/13.
- [10] Pernick R, Wilder C. "La revolución limpia: Invertir en tecnología y crecer en el futuro inmediato". Barcelona: Gestión 2000, 2008. ISBN: 978-8496612525
- [11] IEA, 2010. Electric power transmission and distribution losses. Available from: <http://www.iea.org/stats/index.asp>
- [12] CNE (Comisión Nacional de Energía) (2007b): "Eficiencia energética en la distribución de la energía eléctrica. Medidas reguladoras para incentivar la eficiencia energética en las redes eléctricas de distribución". CNE. Madrid. Mayo 2007.
- [13] Faruqui A, Harris D, Hledik R. "Unlocking the €53 Billion Savings from Smart Meters in the EU". *Energy Policy*. Vol-10-38 p.6222- 6231. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2010.06.010>
- [14] PRIE. "Plataforma para la Revisión de Instalaciones Eléctricas. Documento Técnico". Madrid: PRIE, 2006. 23-25p.