



RESPUESTA DE LA DEMANDA: UNA NUEVA HERRAMIENTA AL SERVICIO DEL SISTEMA ELÉCTRICO

**DEMAND RESPONSE:
A NEW TOOL FOR A POWER SYSTEM SERVICE**

Raúl Rodríguez Sánchez
Ingeniero Industrial
Unidad de Energía,
Labein-Tecnalia

Íñigo Cobelo Echevarría
Dr. Ingeniero Industrial
Unidad de Energía,
Labein-Tecnalia

Recibido: 12/11/07

Aceptado: 19/11/07

RESUMEN

La gestión de la demanda intenta influir en la manera de consumir electricidad, es decir, en cuánto y cuándo se consume. Este artículo describe la utilidad de la gestión de la demanda para la operación del sistema eléctrico y cuáles son los tipos innovadores de estrategia que pueden conseguir optimizar las curvas de demanda eléctrica. Además, se muestran los antecedentes de la gestión de la demanda a nivel estatal, así como las necesidades actuales del sistema eléctrico español. Por último, se hace referencia a proyectos nacionales y europeos de I+D que presentan los últimos avances en este campo y se repasa, con más detalle, un proyecto sobre respuesta de demanda automatizada, que está llevando a cabo el **Lawrence Berkeley National Laboratory** en California.

Palabras clave: Gestión de demanda, Respuesta de demanda, operación del sistema eléctrico, curva de demanda, punta de demanda, eficiencia energética.

ABSTRACT

*Demand side management aims to modify the normal electricity consumption patterns of end users. This article describes the ways in which demand side management can help the operation of the power system, and lists the most innovative types of demand side management strategies. Past and present efforts in this field in the Spanish power system are also reviewed, together with some of the latest international research and development efforts. Special emphasis is laid on an automatic demand response initiative that is being carried out by **LBNL** in California.*

Key words: Demand side management, demand response, power system operation, load curve, peak demand, energy efficiency.

1.- ¿QUÉ SON LA GESTIÓN Y LA RESPUESTA DE LA DEMANDA ELÉCTRICA?

La gestión de la demanda eléctrica se puede definir como el conjunto de acciones que tratan de influir en el consumidor para que éste modifique su patrón de consumo eléctrico, es decir, cuánto y cuándo consume. El objetivo final de este tipo de estrategias es ayudar a la operación del sistema eléctrico y aprovechar de manera más eficiente sus recursos, todo ello, por medio de la reducción de la demanda y de una gestión eficiente de la misma.

Existen varios términos anglosajones que hacen referencia a la Gestión de la demanda. En este artículo se van a emplear los siguientes conceptos:

• **Gestión de la demanda:** Engloba las acciones encaminadas a reducir la demanda a través de la mejora de la eficiencia de equipos eléctricos (ahorro energético). Normalmente, el término anglosajón utilizado para este tipo de estrategias es el de *Demand Side Management (DSM)*.

consumo a lo largo del día 23 de octubre de 2007.

Como se puede ver, hay momentos del día en los que el consumo es mucho mayor que en otros, situándose el máximo, en este caso, sobre las 8 de la tarde. De la misma forma que existe una demanda diaria máxima, también

- Las pérdidas de energía en los conductores eléctricos aumentan con el cuadrado de la intensidad, por lo que, cuanto mayor sea la demanda, más pérdidas se producirán en el sistema.

Todos estos aspectos dan como resultado que la eliminación de puntas de consumo reporte beneficios al sistema eléctrico.

3.- ESTRATEGIAS DE GESTIÓN Y RESPUESTA DE LA DEMANDA

Existen varios tipos de estrategias para la gestión de la demanda y todas buscan apoyar la gestión del sistema eléctrico de diferente manera. Según su objetivo principal, las hemos agrupado en tres categorías:

• **Estrategias para la disminución del consumo eléctrico:** Buscan fomentar el ahorro energético a través de campañas de información, incentivos para sustitución de equipos, realización de auditorías energéticas... Persiguen un objetivo a largo plazo.

• **Estrategias para aplanar la curva de demanda:** Son iniciativas encaminadas a reducir las puntas de consumo, desplazando la demanda de las horas de mayor consumo hacia las de menor. Para conseguir esto, existen tarifas de discriminación horaria que ofrecen precios diferentes de la electricidad en función de los periodos del día, como la tarifa nocturna o las tarifas de precio real (basadas en los precios horarios del mercado) y mercados en los que el consumidor puede ofertar una reducción de carga para aportar capacidad de reserva al sistema. Objetivos a corto-medio plazo.

• **Para situaciones de emergencia:** El operador del sistema puede conseguir que el consumo en una zona disminuya en un breve espacio de tiempo, principalmente, a través de dos tipos de estrategia: los contratos de *interrumpibilidad*, en los que es el consumidor quien interrumpe la carga ante una petición del operador (el corte debe ser efectivo entre dos minutos y 24 horas después del aviso, dependiendo del Contrato); y el control directo de cargas, en el que el operador del sistema disminuye la carga del consumidor remotamente, sin previo aviso y en el momento que



Fuente: REE

• **Respuesta de la demanda:** Hace referencia a las estrategias que buscan la respuesta activa de los consumidores ante señales externas, que pueden venir del operador del sistema eléctrico o del mercado, en el caso más general. Se utilizan los términos de *Demand Response (DR)* o *Demand Side Response (DSR)* para aludir a este concepto.

2.- PUNTAS DE DEMANDA

Los hábitos de vida hacen que la demanda energética varíe en función de los ritmos diarios, semanales y anuales. Las horas de dormir y de comer, los fines de semana, las vacaciones, el patrón de consumo industrial, los horarios de oficinas y comercios... todos ellos configuran un perfil de demanda eléctrico diferente para cada tipo de día. En la figura adjunta se muestra una curva diaria de demanda, que representa el

existe una demanda anual máxima, que en España ronda los 43 MW.

Por otra parte, el hecho de que la electricidad no se pueda almacenar, al menos en grandes cantidades, hace que se deba generar en cada instante el total de la electricidad que se demanda. Como consecuencia, el sistema eléctrico debe estar dimensionado para proporcionar toda la electricidad requerida en los momentos de máximo consumo, por lo que en el resto del tiempo, parte de la infraestructura eléctrica se desaprovecha.

Existen otros dos aspectos relacionados con las puntas de consumo y la eficacia de los sistemas eléctricos:

- Cuanto mayor es la energía demandada, más centrales eléctricas hacen falta para cubrirla y, normalmente, las últimas centrales que entran en la planificación diaria de generación son las menos eficientes.

lo necesita. Otro tipo de estrategia es la de "precio crítico" o "super precio", que el operador del sistema pone en marcha ante la previsión de un día de muy alta demanda. En este caso, se informa a los clientes que el día siguiente el precio de la electricidad será mucho mayor que el normal. También existen mercados en los que la reducción de consumo puede competir con la generación en el mercado eléctrico diario. Para objetivos a muy corto plazo.

Se debe apuntar que, en muchas ocasiones, las estrategias de gestión de la demanda tienen más sentido a nivel local que a nivel general. Si el aumento de la punta de demanda en el conjunto del sistema español, por ejemplo, resulta significativo, el incremento en zonas concretas como Sevilla o la Comunidad Valenciana ha roto todas las previsiones. En consecuencia, si bien puede ser cierto que, a nivel general, el sistema eléctrico de muchos países goce de buena salud, ciertas zonas de la red de distribución están cercanas a la saturación.

4.- LA GESTIÓN Y RESPUESTA DE LA DEMANDA A NIVEL ESTATAL

Hasta la actualidad, las estrategias de Gestión de la demanda utilizadas en el Estado han sido escasas. Entre ellas, se pueden destacar cuatro tipos de tarifas¹:

- Complemento por discriminación horaria: Distingue entre horas punta, llano y valle y en el que se incluye la tarifa nocturna para los suministros en baja tensión de menos de 15 kW
- Complemento por estacionalidad: Divide el año en temporada alta, media y baja.
- Complemento por *interrumpibilidad*: Para clientes con tarifa en alta tensión (existen cuatro tipos de interrupciones)
- Tarifa horaria de potencia: Basada en siete periodos tarifarios en que se dividen las 8.700 horas anuales.

A finales de 2006, se definió la nueva tarifa eléctrica que entró en vigor a partir del 1 de enero de 2007². En ella se definieron los servicios de gestión de demanda en el mercado (servicios de *interrumpibilidad* y gestión de energía reactiva), en previsión de la desaparición de las tarifas integrales de alta tensión en julio de 2008. Además, se realizaron otras modificaciones que afectan a las tarifas mencionadas más arriba, sin embargo, la nueva legislación no cambia en gran medida la filosofía respecto a la gestión de la demanda.

5.- NECESIDADES DE GESTIÓN DE DEMANDA EN EL SISTEMA PENINSULAR

Algunos de los mayores retos y preocupaciones respecto al sistema eléctrico peninsular, en la actualidad, se pueden resumir en los siguientes puntos:

- La construcción de nueva infraestructura de Transporte y Distribución provoca un creciente rechazo social. Esto conlleva que los plazos de construcción se alarguen durante años y que los costes se disparen, principalmente, si las líneas deben ser soterradas.
- El crecimiento de las puntas de demanda de invierno y verano. Especialmente, esta última está aumentando significativamente debido al uso del aire acondicionado.
- El crecimiento de la demanda eléctrica en zonas concretas.
- La operación de la red con una alta penetración eólica (10 GW actualmente y se esperan 20 GW para 2010).
- La necesidad de reducción de las emisiones de gases invernadero.

En este contexto, la gestión de la demanda se muestra como una herramienta más, en manos tanto de los operadores del sistema como del público en general, que puede ayudar a afrontar los retos de los sistemas eléctricos del futuro.

6.- INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

El de la Gestión y Respuesta de la demanda es un tema incipiente en casi todos los Estados europeos, que cada vez está despertando mayor interés y prueba de ello es la actividad que se lleva a cabo en el campo de la investigación.

Labein-Tecnalia participa con diferentes actores nacionales e internacionales en varios proyectos de investigación entre los que se pueden citar los siguientes:

- Proyecto *GAD* (Gestión Activa de la Demanda) dentro del *Programa CENIT*, junto a un Consorcio de 15 empresas y 14 Centros de investigación, cuyo líder es **Iberdrola** y que busca crear el conocimiento necesario para optimizar el consumo de los pequeños consumidores.
- Proyecto *Optiges* con **Endesa**, que explora las posibilidades de control sobre consumidores comerciales.
- Proyecto de observación y caracterización de la demanda residencial con **Red Eléctrica de España**.
- Proyecto europeo *FENIX* con socios de diferentes países, que estudia las posibilidades de que la generación distribuida y la respuesta de demanda proporcionen servicios complementarios al sistema eléctrico.
- Proyecto europeo *Microgrids*, en el que se trabaja en el desarrollo y simulación de algoritmos de control directo dirigidos a consumidores domésticos.

• Proyecto *SOLID-DER*, en el que se realiza un estudio del estado del arte y un análisis de potencial de gestión de la demanda a los países europeos recién incorporados a la UE-27.

Otra iniciativa, que influirá en el desarrollo de las estrategias de gestión de la demanda en el Estado, es el plan del **Ministerio de Industria** de cambiar los contadores de electricidad actuales (electromecánicos) por contadores electrónicos digitales, lo que permitirá que todos los consumidores se acojan a tarifas de discriminación horaria.

¹ Orden 12 de enero de 1995

² Real Decreto 1634/2006

7.- SITUACIÓN EN EU-25 (PROYECTO SOLID-DER)

El proyecto europeo *SOLID-DER* (www.solid-der.org) es una acción de coordinación que busca consolidar las actividades de investigación para posibilitar la penetración a gran escala de los recursos distribuidos en el mercado eléctrico europeo. Los recursos distribuidos (*Distributed Energy Resources*) hacen referencia tanto a la Generación distribuida como al almacenamiento y la Gestión de la demanda.

La parte del proyecto relacionada con la Gestión de la demanda ha realizado un estudio del estado del arte, en el que se ha constatado que los EE.UU. son el país donde las estrategias de este tipo se utilizan más profusamente, principalmente debido a que su sistema está más congestionado, especialmente en ciertas zonas. Lo mismo sucede con Australia, país bastante activo en este campo. Europa está a la zaga, pero países como el Reino Unido, Noruega, Finlandia y Dinamarca han realizado ya varias experiencias interesantes [7,8].

Respecto a los países del este de Europa, se puede decir que, en la actualidad, su potencial para la aplicación de medidas de Gestión de la demanda no es grande. En la mayoría de estos países, la potencia eléctrica instalada es alta comparada con la punta de demanda, por lo que los márgenes de operación son seguros, sin embargo, muchos de ellos deberán sufrir una importante modernización de sus centrales eléctricas en los próximos años. Desde este punto de vista, éste podría ser un buen momento para comenzar a pensar en las estrategias de Gestión de la demanda.

8.- UNA HISTORIA DE INNOVACIÓN Y ÉXITO - PG & E Y LBNL

En la actualidad, en el norte de California existen diversos programas de respuesta de la demanda dirigidos a consumidores comerciales y operados por la empresa eléctrica de la zona PG & E (*Pacific Gas & Electric Company*). Los programas gratifican a los consumidores del sector comer-

cial que son capaces de reducir su consumo durante cortos periodos de tiempo.

Estos programas se llevan a cabo por dos razones fundamentales: Por un lado, están los programas enfocados a garantizar una adecuada fiabilidad del suministro y, por otro lado, están los programas que permiten a PG & E como empresa comercializadora, reducir sus costes de compra de energía. La situación del sistema eléctrico en el Estado de California, implica que los precios de la energía eléctrica se disparen cuando las previsiones de consumo superan ciertos umbrales. Los altos precios de adquisición de energía en los momentos de punta, hacen que el mínimo incentivo económico que se le ofrece al consumidor sea de \$ 0,5 / kWh reducido.

La variedad de programas es grande, siendo las características diferenciadoras las siguientes:

- Tiempo de preaviso (desde 24 horas hasta 30 minutos)
- Duración de la interrupción (desde una hasta ocho horas)
- Número de eventos anuales (desde 12 eventos anuales hasta ilimitado)
- Obligatoriedad de participación en los eventos y penalizaciones.
- Duración del compromiso de permanencia.
- Incentivo económico: pago por capacidad + pago por interrupción.
- Mínima reducción exigida para participar (desde 50 hasta 200 kW)

Cuando PG & E identifica una situación de red crítica o prevé un fuerte repunte de los precios, notifica a los consumidores participantes la existencia de un evento de control de manera automática. En todos los casos, la notificación del evento es recibida por la persona responsable dentro de la instalación del consumidor y las acciones de control son ejecutadas de manera manual. Una de las mayores dificultades a la que se está enfrentando PG & E es la escasa respuesta a los eventos, por parte de los consumidores participantes en los programas de respuesta voluntaria.

Para tratar de paliar este problema, PG & E junto con LBNL (*Lawren-*

ce Berkeley National Laboratory) están llevando a cabo una serie de pruebas piloto que permiten evaluar la posibilidad de automatizar la respuesta ante los eventos de tal manera que no sea necesaria la intervención humana. Durante el pasado verano, personal de *Labein-Tecnalia* visitó LBNL y pudo participar en este proyecto.

En las pruebas piloto del último año, participaron un total de 24 instalaciones comerciales siendo la mayoría de ellas edificios de oficinas y grandes superficies comerciales.

La arquitectura del sistema bautizado como *Auto-DR (Automatic Demand Response)* consta de un servidor al que están conectados, por una parte, los consumidores participantes y, por otra, PG & E. Cuando ésta desea notificar un evento, publica la información en el servidor. La información es transmitida por medio de agentes *software* alojados en las instalaciones de los consumidores, que realizan consultas periódicas al servidor. La comunicación se realiza mediante Internet.

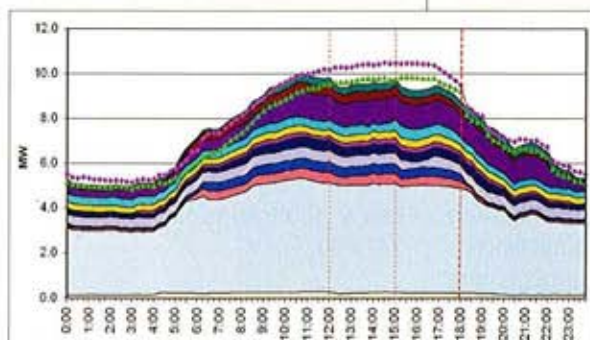
Para que el sistema tenga sentido económico, los consumidores participantes deben tener pre-instalados sistemas centralizados para el control de las instalaciones de climatización e iluminación, conocidos como EMCS (*Energy Management Control Systems*). Dependiendo del tipo de EMCS y configuraciones de seguridad, existen diversas alternativas para la integración entre el EMCS y el agente *software*. Desde LBNL se está haciendo un esfuerzo para estandarizar las comunicaciones e intercambios de información entre los distintos sistemas, de manera que la arquitectura sea válida para automatizar la mayor variedad posible de programas de respuesta de la demanda.

Los sistemas EMCS deben programarse para que la recepción de la notificación de evento desencadene una serie de acciones de control, que permitan reducir el consumo eléctrico. Las acciones de control a emplear son particulares en cada instalación comercial, pero las más sencillas y eficaces consisten en cambios de temperatura de consigna zonales en los sistemas de climatización así co-

mo en reducir la iluminación en zonas poco críticas.

La figura adjunta muestra la curva de carga agregada de 12 de las instalaciones participantes en la prueba piloto, durante la ejecución de un evento de control.

El evento de control de la figura está dividido en dos fases. La primera va de 12:00 h a 15:00 h, y la segunda de 15:00 h a 18:00 h. En la segunda fase, el incentivo económico resultaba mayor que en la primera, por lo que se programaron dos niveles de respuesta en los EMCS de las instalaciones participantes, siendo las acciones de control resultantes más severas durante la segunda fase.



Fuente: LBNL

A la hora de evaluar la reducción de consumo realmente obtenida mediante las acciones de control, es necesario estimar la curva de consumo de cada cliente en el caso de que no se hubiera producido la acción de control. Esta curva se conoce como *baseline* (curva base) y resulta crítica a la hora de la liquidación de las reducciones alcanzadas. Existen diversos métodos para calcular esta curva base, estando la mayoría basados en el consumo registrado en los días previos y utilizando la temperatura como factor corrector. Las dos líneas de puntos verdes y rosas de la figura anterior representan dos curvas base, calculadas utilizando dos métodos diferentes. La diferencia entre ellas demuestra la dificultad de la tarea.

Los resultados de las pruebas piloto han sido considerados muy satisfactorios por lo que PG & E y LBNL están pasando a la fase de industrialización de este sistema de automatización de la respuesta de la demanda. Asimismo,

otras empresas eléctricas del centro y sur de California están planteándose la automatización de sus programas de Respuesta de la demanda.

9.- CONCLUSIONES

En la actualidad, el sistema eléctrico está sumido en una fase de transición hacia la liberalización. En este contexto, los tradicionales sistemas centralizados (basados en grandes centrales de generación) y pasivos (redes con escasa automatización) están dejando paso a sistemas con un mayor número de instalaciones de generación distribuida (de menor tamaño y cerca de los puntos de consumo) y redes cada vez más activas (que utilizan las comunicaciones y las nuevas tecnologías para gestionarse de manera más eficaz).

La irrupción de instalaciones no gestionables directamente por el operador del sistema, así como de plantas de generación basadas en energías renovables no predecibles,

obligan a que la gestión del sistema necesite mayor flexibilidad para hacer frente a posibles contingencias.

Por otro lado, la necesidad de disminuir la contaminación asociada al consumo energético requiere que los sistemas eléctricos del futuro sean cada vez más eficientes, reduciendo las pérdidas al máximo tanto en la Generación y Transporte de energía como en el consumo.

Desde un punto de vista económico, la liberalización ha provocado que las Compañías eléctricas sean más cuidadosas con las inversiones a realizar en el sistema eléctrico. Esto, unido al creciente rechazo social ante la construcción de nuevas instalaciones y líneas eléctricas, hace que la cobertura de la demanda pueda verse amenazada en algunas zonas.

Frente a todos estos nuevos retos, la Gestión de la demanda se presenta como una herramienta más, capaz de aportar recursos para mejorar tanto la eficiencia como la flexibilidad

de las redes eléctricas del futuro. En países como EEUU, donde los condicionantes económicos son favorables, la puesta en marcha de programas e iniciativas innovadoras de Gestión y Respuesta de la demanda es ya una realidad.

10.- BIBLIOGRAFÍA

[1] Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, *Guía Básica de la Gestión de la Demanda Eléctrica*, Madrid 2007.

[2] Varios autores, *Demand Response and Demand Side Management*, Proyecto SOLID - DER [Contrato 019938], Entregable tarea 2.1., www.solid-der.org, Noviembre 2006.

[3] Página web de Red Eléctrica: www.ree.es

[4] Ministerio de Industria y Energía, *Orden 12 de Enero de 1995 por la que se establecen las tarifas eléctricas*, BOE nº 12 de 14 de enero de 1995.

[5] Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, *Real Decreto 1634/2006, de 29 de diciembre, por el que se establece la tarifa eléctrica a partir de 1 de enero de 2007*, BOE nº 312 de 30 de diciembre de 2006.

[6] COBELO, I., *Active control of distribution networks*, PhD Thesis, The University of Manchester, 2005.

[7] Proyecto EFFLOCOM, *Policies and tools for demand response - EFFLOCOM Results and Recommendations*, informe nº8, Agosto 2004.

[8] DTI, *A Scoping Study: Demand Side Measures on the UK Electrical System*, Contrato DG/DTI/00057/00/00, número URN 05/1596, Agosto 2005.

[9] Página web del proyecto Fénix: www.fenix.org

[10] Página web de LBNL: www.lbl.gov

[11] Página web de PG & E: www.pge.com

[12] Página web del proyecto Auto-DR: <http://drcc.lbl.gov/drcc-6.html>

[13] PIETTE, M.A., WATSON, D.S., MOTEGLI, N., KILICOTE, S y XU, P. 2006b. *Automated Critical Peak Pricing Field Tests: Program Description and Results*. LBNL- 59351. Berkeley CA, April 2006. <http://drcc.lbl.gov/drcc-pubs4.html> ■