

# EL USO RACIONAL DE LA ENERGÍA DESDE LA PERCEPCIÓN DE LOS MERCADOS LIBERALIZADOS DE ELECTRICIDAD: RESPUESTA DE LA DEMANDA

CARLOS RAMÍREZ-ESCOBAR\*

## Resumen:

*Se presenta una interpretación de la racionalidad aplicada al uso final de la energía eléctrica desde la lógica de los mercados liberalizados de electricidad, la cual, es complementaria a la comprensión de la racionalidad expuesta por la planeación centralizada de la eficiencia energética. En la mayoría de los mercados existentes de energía eléctrica, la racionalidad guiada por los precios del uso final de la energía eléctrica es contra evidente; pues, por lo general, estos mercados adolecen de la participación activa de la demanda. Se exponen las posibilidades de la Respuesta de la Demanda hacia el objetivo de la autoorganización de los mercados y las tecnologías que apalancan los recursos de demanda necesarios para dicha respuesta que a la postre contribuyen en el mejoramiento de la eficiencia energética, económica y ambiental.*

*Palabras clave: Respuesta de la demanda, mercados eléctricos, Uso Racional de la Energía, mercados minoristas.*

## INTRODUCCIÓN

El Uso Racional y Eficiente de la Energía (URE), “es el aprovechamiento óptimo de la energía en todas y cada una de las cadenas energéticas, desde la selección de la fuente energética, su producción, transformación, transporte, distribución y consumo incluyendo su reutilización cuando sea posible, buscando, en todas y cada una de las actividades de la cadena, el desarrollo sostenible.” [1]. Desde esta definición normativa examinaremos el concepto del URE desde la óptica de los mercados eléctricos, centrándonos en el uso final de la energía eléctrica.

Por lo general el concepto de URE se relaciona con la existencia de la posibilidad prevista y planeada racionalmente de antemano de mejorar la eficiencia energética de un determinado uso energético, para lo cual se parte de la capacidad racional humana de prefigurar el futuro y modificar la acción del presente, en pos de la consecución del objetivo deseable de la elevación de la eficiencia energética y el desarrollo sostenible. Surge, entonces la quimera del futuro controlable y edificable hacia nuestros deseos de orden racional<sup>1</sup>. El acercamiento a la racionalidad ha deparado a la humanidad la poderosa herramienta del pensamiento lógico y argumentativo al servicio de la transformación de su entorno; que sin duda ha sido la partera de las modernas revoluciones tecnológicas e industriales de la humanidad.

Los estudios de racionalidad económica y tecnológica han concluido, que en los mercados eléctricos liberalizados se

requiere la participación activa de la demanda con el fin de lograr su estabilidad y buen funcionamiento. Esta participación toma forma de conducta evidente a través de la Respuesta de la Demanda al precio de mercado. Sin embargo, ella depende

\*Ingeniero Mecánico y MSc en Turbinas de la Universidad La Amistad, Moscú, Rusia, 1984; MSc en Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Los Andes, 1996; especialista universitario en Calidad y Eficiencia en la Distribución y Uso Final de la Energía Eléctrica y en Análisis y Gestión de los Sistemas Eléctricos de Potencia de la Universidad Politécnica de Valencia, España, 2002; Diploma de Estudios Avanzados en el Doctorado en Gestión Eficiente de la Energía Eléctrica de la Universidad Politécnica de Valencia, España, 2003; PhD© en Ingeniería Industrial de la Universidad Politécnica de Valencia, España, 2005.

<sup>1</sup> El concepto de orden racional se deriva del actual Modelo Racional de la Ciencia que viene desde el siglo XVII. El cuál, en sus formas y potencialidad modernas, proviene de Descartes, quien creyó y argumentó que todas las instituciones sociales meritorias deben ser creadas por procesos deductivos conscientes de la razón humana. La verdad es derivada y derivable de premisas que son obvias, atemporales e inatacables. Así, dentro de la economía positiva se ha argüido influentemente, que se juzgue la validez de un modelo por sus predicciones, no por sus asunciones. En la economía y en la Ingeniería el pensamiento Cartesiano conduce a los modelos de predicción racionales de decisión y diseño que han motivado las hipótesis de investigación que los experimentalistas económicos e ingenieriles han estado probando en los laboratorios; además, corroborando y corrigiendo en la práctica cotidiana.

de la valoración social e individual que se realice de los recursos de la demanda a disposición de los usuarios finales de la energía eléctrica. Esta valoración y conducta social e individual merecen el estudio, no únicamente con los métodos tradicionales de la racionalidad, sino con concepciones metodológicas ampliadas, de mayor complementariedad, que contemplen la herencia cultural y biológica, y a la vez acusen la presencia de la práctica y experiencia personal propia de economistas e ingenieros durante la implementación de sus diseños, en una concepción ecológica-evolutiva. Es decir, el concepto del Uso Racional de la Energía debe incluir tanto a la racionalidad como a la razonabilidad, para lograr los efectos esperados de mejoramiento de eficiencia energética.

Este artículo está orientado a describir la potencialidad de la Respuesta de la Demanda como una actividad del uso final eficiente de la energía eléctrica en el marco de los actuales mercados liberalizados, reseñando bibliográficamente las argumentaciones racionales y de razonabilidad (experimentales), que se orientan a justificar la participación activa de la demanda y el uso final de la electricidad. El documento está organizado de la siguiente manera: subsiguiente a esta sección se exponen los argumentos y modelos de racionalidad que subyacen a los esquemas de gestión del sector eléctrico y al carácter ecléctico en que se desenvuelve su práctica real. Posteriormente se presenta en la tercera sección las características de la toma de decisiones que ocurre en la cadena electroenergética en los diferentes esquemas de gestión del sector eléctrico, finalizando en las características transicionales y complejas de los actuales mercados eléctricos liberalizados. En la cuarta sección se critica la falta de participación activa que poseen los clientes de uso final en los actuales mercados eléctricos liberalizados, que origina alejamiento del equilibrio competitivo e ineficiencia económica y energética. La quinta sección se refiere a la potencialidad de respuesta de la demanda una vez reconocido el valor de los recursos de la demanda, compuestos de los programas y tecnologías. En la sexta sección se expone brevemente la relación de la Respuesta de la Demanda con la eficiencia energética. Así, en la séptima y última sección se relacionan las conclusiones de este artículo.

## La racionalidad en el sector eléctrico

La racionalidad ha permeado tanto a los partidarios del desarrollo de los sistemas eléctricos planificados centralmente como a los seguidores neoclásicos de los mercados liberalizados. Así, los partidarios de la planificación centralizada han encontrado argumentos racionales consignados en modelos lógico-matemáticos de optimización de una función objetivo o varias funciones resueltas de manera secuencial, que poseen la capacidad de predecir el futuro deseable de la eficiencia energética, mediante la modificación de los usos energéticos. La metodología establecida sobre la base de estos argumentos se le conoce como Planeación Integrada de Recursos (IRP-Integrated Resources Planning), la cual está basada en el concepto, de mayor universalidad, del mínimo costo de planeación (LCP- Low Cost Planning).

Esta concepción que concibe a la cadena energética del sector eléctrico como una máquina controlable centralizadamente, primó hegemonícamente desde el advenimiento de las redes de transporte de corriente alterna y la conformación de los Sistemas de potencia. Este pensamiento, que además es reforzado por las restricciones de almacenamiento de la energía eléctrica, contribuyó a la especificación y configuración de los Sistemas de potencia como máquinas poco acoplables a la interacción humana y por ende altamente automatizadas.

Mientras tanto, los seguidores de las corrientes neoclásicas de la economía aducen la racionalidad económica de los agentes del mercado para argumentar la posibilidad de predicción del comportamiento de los agentes y su posible interacción en la formación del precio del mercado. En consecuencia, si el mercado eléctrico es competitivo, el precio es reivindicado como la señal que obliga a modificar el uso energético en pos de la eficiencia energética, la cual podría asimilarse a la eficiencia económica. Los modelos lógico-matemáticos que apalancan esta concepción, se derivan de la teoría de juegos económica y de los algoritmos de optimización multiobjetivo, centrado en los agentes<sup>2</sup>. En la práctica actual de los mercados eléctricos, la cual data de inicios de la década del 90, los precios son el producto de la interacción de agentes humanos<sup>3</sup> que representan a la oferta y a la demanda. Estos agentes realizan sus transacciones, de forma anticipada, en un mercado electrónico; el cual concilia pujas y ofertas en diferentes resoluciones de tiempo, (por lo general en el corto plazo: minutos, horas, día), según los productos y necesidades del sistema de potencia. La interacción es posibilitada por los adelantos de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación, que han permitido el acoplamiento de la red eléctrica a otra red de comunicación, información y negociación. Por el momento esta red compleja, solo ha probado su capacidad en los mercados mayoristas de electricidad.

Sin embargo, en la práctica real, a la que se enfrentan economistas e ingenieros, se encuentran desviaciones que ponen en entredicho los presupuestos y resultados de las teorías racionales más puras. Un ejemplo de esto es observado en el comportamiento no convexo de la curva de costos marginales de las tecnologías de carga base térmicas (nuclear y carbón) e hidráulica fluyente, cuando en los periodos valle de demanda, de relativa abundancia de recurso, a estas tecnologías es preferible ofertarlas a precio 0 (mercado español) ó precio negativo (antiguo mercado de California) ó jerarquizar y restringir al algoritmo de asignación para que sean despachadas centralizadamente independientemente del coste nominal de producción. Esto, es

<sup>2</sup> No existe una única metodología aceptada universalmente para la predicción de los precios de la energía eléctrica, que permita anticipar el uso de la energía al largo plazo.

<sup>3</sup> Existen investigaciones tendientes a reemplazar a los agentes humanos por agentes robotizados dotados de capacidad estratégica producto de inteligencia artificial. [2]

debido a que son muy costosos ó peligrosos los arranques ó las variaciones de potencia para las centrales térmicas e hidráulicas fluyentes de carga base, en consecuencia, se prefiere “regalar” el producto o hasta “pagar” por producir [3].

Es decir, economistas e ingenieros deben “administrar” los errores e incertidumbres que resultan como desviaciones de las predicciones racionales que sustentan sus propios diseños de artefactos o mentefactos con la práctica real. Al pensamiento y modelos racionales, es necesario adicionarles el conocimiento intuitivo ó cierta forma de pensamiento ecológico-evolutivo o ambiental en que se desarrollan los sistemas a diseñar ó explotar. Este pensamiento en últimas escruta la posibilidad práctica de implementación. Estos conocimientos adicionales provienen de la experiencia y la practica personal sobre las costumbres, creencias y vivencias particulares de los sistemas sociales objetivo. A este tipo de pensamiento complementario al racional Steve Toulmin le llama la razonabilidad<sup>4</sup> [5].

### **La toma de decisiones en la cadena electroenergética**

Una de las grandes diferencias entre los sistemas centralizado y de mercado del sector eléctrico, consiste en la determinación de los agentes que toman las decisiones del uso de la energía y su ubicación en la cadena energética del sector.

En el sistema centralizado las decisiones del uso de la energía son tomadas, preponderantemente, por un solo agente, ó un grupo de ellos quienes por lo general, concentran la función de planificación y operación del sistema de potencia. Para desarrollar esta función el, ó, los agente que concentran la toma de las decisiones, poseen especificaciones robustas de conocimiento y de canales de comunicación que les permita absorber la variedad del sistema a controlar y así, poder con ello, asegurar, la consecución del efecto deseado de eficiencia energética del uso de la energía, en un grado de confiable certidumbre. Por lo general, este sistema de conocimientos e información se adecua de mejor manera para procesar los comportamientos medios del sistema eléctrico; es decir, aquellos de resolución temporal de mediano plazo (semanas meses) y largo plazo (semestres años), para planear el mejoramiento de la eficiencia energética, a través de la producción de señales de precio o tarifa, que incentive determinado uso de la energía. Este sistema funciona de mejor forma si los derechos de propiedad y participación en la cadena energética están concentrados en un agente monopolista, por lo general este agente es el estado. En Colombia se reporta al Plan de Masificación del Gas Natural como el proyecto URE de mayor envergadura llevado a cabo hasta el momento [6], este programa amplió la oferta interna de energéticos y permitió la instalación de centrales a gas en diferentes ubicaciones del Sistema Interconectado Nacional posibilitando el aumento del componente térmico del parque de generación eléctrica. El desarrollo de este proyecto fue

planificado centralmente, y las tarifas residenciales de suministro de gas fueron establecidas regulatoriamente, para que pudiesen ser sustitutos de los usos eléctricos de cocción de alimentos y calentamiento de agua en las grandes ciudades colombianas; de esta manera, disminuir los grandes picos de consumo eléctrico residencial y comercial, que era uno de los componentes de gran incidencia de elevados picos de demanda que tensionaban al sistema eléctrico.

En el esquema de mercado competitivo del sector eléctrico, las decisiones del uso de la energía son tomadas por agentes dispersos en la cadena energética, quienes deciden los usos de la energía en virtud a la maximización de sus ganancias, a sus condiciones y características particulares, y atendiendo a la señal de la interacción de ellos en el mercado, la cual es el precio de mercado. En consecuencia, estas decisiones están mayormente relacionadas con el tiempo real de realización del mercado, ó cercanos al tiempo real, como los mercados del día anticipado. Aunque, en la actualidad se desarrollan mercados de futuros y de contratos a, relativamente, largo plazo (un año o más), los riesgos de largo plazo de inversiones son asumidos por los propios inversionistas ó por los consumidores vía regulatoria, a través de mercados de capacidad o cargos adicionales para la inversión en seguridad de suministro, como lo es en Colombia el cargo por capacidad. Este esquema de gestión del sistema electroenergético, posee especificaciones de información y conocimiento distribuido; donde, de la interacción de los agentes surge una especie de mente que auto-organiza al sistema en función del equilibrio y la eficiencia económica y energética. El esquema de mercado competitivo presupone que los derechos de propiedad y participación estén difundidos en la cadena energética y exista desintegración vertical y horizontal del mercado, para que ello no propicie el poder de mercado<sup>5</sup>. Estos derechos de propiedad pueden estar dispersos en varias empresas estatales mayoritarias y privadas minoritarias (caso Nordpool, mercado conjunto de Suecia, Noruega, Finlandia y Dinamarca), ó, dispersos en varias compañías privadas mayoritarias (caso España), ó, dispersos en diferentes empresas estatales, privadas y mixtas (caso Colombia).

De lo expuesto anteriormente, es de esperar que la modelación de la cadena energética para cada uno de estos dos esquemas de gestión sea cualitativamente diferente. Estas diferencias son expuestas por G. Sheble en [8]; quien llega a la conclusión

<sup>4</sup> Vernon Smith considera como otro orden racional, al sistema ecológico no diseñado que emerge de los procesos evolutivos culturales y biológicos: principios formados en el hogar de la acción, normas, tradiciones, y moralidad. Según este concepto de racionalidad, la verdad es descubierta en la forma de inteligencia incorporada a las reglas y a las tradiciones que han formado, inescrutablemente, las interacciones sociales humanas desde la antigüedad. [4].

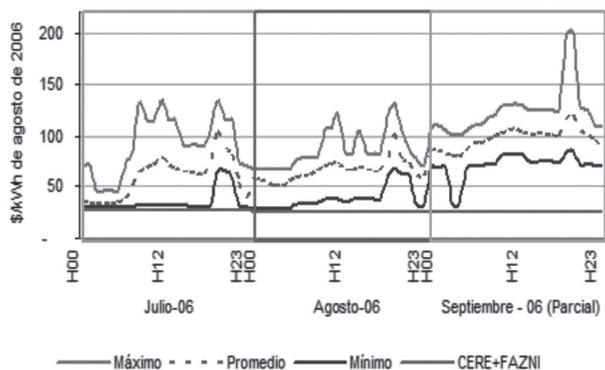
<sup>5</sup> El poder de mercado se define como el que se origina cuando una o más empresas pueden desviarse lucrativamente y unilateralmente del resultado competitivo [7].

de que la modelación de la cadena de suministro-uso de la energía eléctrica, para estos esquemas de gestión, puede basarse en el modelo de entrada/salida de Leontieff. Sin embargo, la modelación de cada cadena tiene especificidades particulares de hondo calado para la representación lógica y racional del modelo de la cadena de suministro-uso. Así, Sheble plantea que mientras la planificación centralizada, está basada en el modelo estático de Leontieff, de mayor simplicidad; el esquema de mercado requiere un modelo dinámico de mucho mayor detalle, complementado con el modelo de las cinco fuerzas de Porter: las barreras de entrada, la rivalidad entre competidores existentes; los productos sustitutos, el poder de mercado de compradores y el poder de mercado de vendedores.

Una vez más, es menester apelar a la práctica real de los mercados eléctricos, pues en la actualidad no existen mercados competitivos; es decir, aquellos que cumplen las especificaciones y el comportamiento de los mercados de libre competencia. Se entiende por Mercados Liberalizados a aquellos que transitan por una fase de cambio de Mercados Intervenidos (regulados) hacia Mercados de Libre Competencia, estos mercados también son conocidos como des-regulados o re-regulados. La liberalización es gradual e implica modificaciones al diseño y regulación de su funcionamiento. Sin embargo, no debe confundirse la libre competencia con la ausencia de regulación o intervención centralizada. El fomento de la competitividad entre empresas requiere frecuentemente una normativa reguladora muy minuciosa, e históricamente adaptable. El desarrollo de tal normativa, a veces, puede llegar a requerir de las especificaciones robustas de la planeación centralizada.

Ya que los agentes tomadores de decisión en los mercados eléctricos son humanos y están dispersos en la cadena electroenergética, es necesario complementar los acercamientos racionales con estudios conductuales en la formación de los precios de los mercados eléctricos. Estos acercamientos son propuestos en los métodos de la economía experimental [9].

### El uso final y los mercados eléctricos liberalizados



Fuente: [http://www.xm.com.co/pragma/documenta/XM/secciones/OAM/HE/HT/HBT/seccion\\_NEWSLETTER.html](http://www.xm.com.co/pragma/documenta/XM/secciones/OAM/HE/HT/HBT/seccion_NEWSLETTER.html)

Fig. 1. Precios de Bolsa Horarios del mercado Mayorista Colombiano.

Los mercados eléctricos liberalizados han transitado, por lo general, por un ascendente, gradualizado y regulado derecho de libertad de elección por parte de la demanda de uso final, ó clientes finales; sin embargo, fuertes barreras de diseño, de acción y de tradición se han interpuesto en la mayoría de los mercados eléctricos. E. Hirst ha mostrado como en el diseño de los mercados mayoristas solo se reconocen las restricciones tecnológicas de la generación para aceptar sus ofertas, mas no sucede lo mismo con las restricciones tecnológicas de la demanda [10]. Además, de esto existen mercados, donde los usuarios finales tienen restringida la participación, ó no pueden participar directamente en el mercado mayorista<sup>6</sup>, y por otra parte, no existen mercados minoristas suficientemente desarrollados que puedan sostener una amplia participación de los clientes de uso final [11;12].

**TABLA I**  
**LOS TIPOS DE ELASTICIDAD**

Tipo de elasticidad	Definición
<b>Elasticidad del ingreso</b>	El cambio en la demanda de electricidad por % de cambio en el ingreso.
<b>Elasticidad del propia del precio</b>	El cambio porcentual en la demanda para un cambio porcentual dado del precio de la electricidad.
<b>Elasticidad de sustitución</b>	El cambio del porcentaje en el consumo relativo de dos bienes como consecuencia de un cambio en los precios relativos de los bienes.
<b>Elasticidad cruzada al precio</b>	El cambio porcentual en la demanda para el bien i como resultado de un cambio porcentual en el precio de bien j.

Todo esto, a veces se justifica con el prejuicio tradicional de que los usuarios finales poco o nada reaccionan a los precios de la electricidad; es decir, son indiferentes a los tipos de elasticidad mostrados en la Tabla I [13]. Los estudios de elasticidades propias del precio en los mercados de electricidad típicamente arrojan coeficientes en el rango de 0.1 a 0.2 en el corto plazo, y 0.3 a 0.7 en el largo plazo. Esto significa que para un 10% de cambio en el precio de la electricidad, habrá un 1%-2% de cambio en la demanda en el corto plazo y habrá un 3%-7% de cambio en el largo plazo. Estos estudios indican, por consiguiente, que la demanda de electricidad es tradicionalmente inelástica al precio, o no sensible, particularmente en el corto plazo. Sin embargo en estos estudios el corto plazo se refiere típicamente a periodos de dos o tres años, mientras el largo plazo puede referirse a periodos de 10 a 20 años. Esto quiere decir, que estos estudios han sido realizados para la realidad de los mercados centralmente regulados, guiados por la racionalidad de la planificación centralizada; la cual ha tenido la posibilidad de acción histórica, que permita el acopio de datos que facilite el desarrollo de tales estudios.

<sup>6</sup> En algunos mercados eléctricos los usuarios finales pueden participar directamente; es decir, sin la mediación del comercializador en dependencia de su mérito económico manifiesto en la magnitud de sus recursos de demanda. “La Bolsa” del mercado mayorista Colombiano, por ley, está restringida a los usuarios finales, quienes solo pueden ser representados por los comercializadores, independiente de la magnitud de sus recursos de demanda.

Las estimaciones históricas de elasticidad del precio de la electricidad se derivan de mercados regulados o tiempo-invariantes, y por consiguiente se examina sólo el efecto de cambios en el promedio de los precios. Los precios son supuestos como invariantes en el corto plazo (es decir, en una hora, diariamente o incluso con base estacional). En consecuencia, los coeficientes de elasticidad de “corto plazo” (donde, como se ha anotado, “corto plazo” significa dos años) enmascaran el potencial de las elasticidades mucho más altas que pueden caracterizar a periodos de tiempo mucho más cortos como las horas del día; pues los precios horarios máximos pueden variar significativamente, (usualmente entre 8 y 10 veces), entre valles y picos como se aprecia en la Fig. 1. De esta variación puede derivarse la presencia de un interés económico de mayor importancia para los consumidores, para el minorista y para el operador del mercado, que el precio medio pagado por la electricidad y que a la postre tal variación de precio puede producir elasticidades de “muy corto plazo” más elevadas que las habituales.

Así, la participación activa de la demanda en los mercados eléctricos liberalizados, ha demostrado ser el garante teórico [14] y experimental [15] apropiado para posibilitar la autoorganización del mercado; es decir, sin ella los mercados están propensos al abuso de situación dominante de parte de la oferta a través de la imposición de precios supra o infra-competitivos, de acuerdo a la conveniencia estratégica de los agentes. Esto conlleva a que el resultado del mercado se distancie del equilibrio competitivo y devenga en un mercado ineficiente, que conlleve a la ineficiencia energética, en razón a que el mercado no emitirá las señales correctas de precios, que incentiven la utilización óptima de los recursos para el suministro y uso de la energía eléctrica.

## La Respuesta de la Demanda

La participación activa de la demanda en los mercados liberalizados se materializa en la Respuesta de la Demanda (DR- Demand

Response); la cual, se refiere a tal conducta de los clientes del uso final de la energía eléctrica, que se manifiesta en un conjunto de estrategias que son usadas en los mercados de electricidad liberalizados, para el control de los precios de aclaración del mercado. Cuando los clientes son expuestos, de alguna manera, a los precios en tiempo real, pueden responder así, a) cambiando el momento del día en el que ellos demandan energía hacia un periodo valle, y/o b) reduciendo su demanda total en el pico mediante medidas de eficiencia energética o con auto-generación. Alternativamente ellos pueden elegir no responder en absoluto y a cambio pagar el precio del mercado electricidad. En la medida en que los clientes respondan a los precios, el perfil de la demanda en el mercado se aplanará, lo que, a su vez, incidirá en los precios, reduciendo significativamente los picos y, en un menor grado, bajará el precio medio. El efecto neto de la Respuesta de la Demanda es el de aliviar las restricciones del sistema y generar seguridad y beneficios económicos para el mercado en su conjunto.

Las estrategias para aumentar la participación de lado de la demanda tienen como finalidad el reconocimiento de valor de los recursos de la demanda. Los recursos del lado de la demanda son las cargas variables creadas como resultado de que los clientes ajustan su demanda en Respuesta a las señales de precios. Estas estrategias se materializan en Programas de Respuesta de la Demanda combinadas con las tecnologías que posibilitan la participación de la demanda. En la Fig. 2 se ha elaborado un mapa conceptual de la Respuesta de la demanda como expresión conductual de la participación activa de la demanda en los mercados liberalizados.

Se distinguen dos tipos de Programas de Respuesta de la Demanda (DRP): Los Programas Guiados por el sistema y los programas guiados por el mercado; los cuales, operan de la siguiente manera:

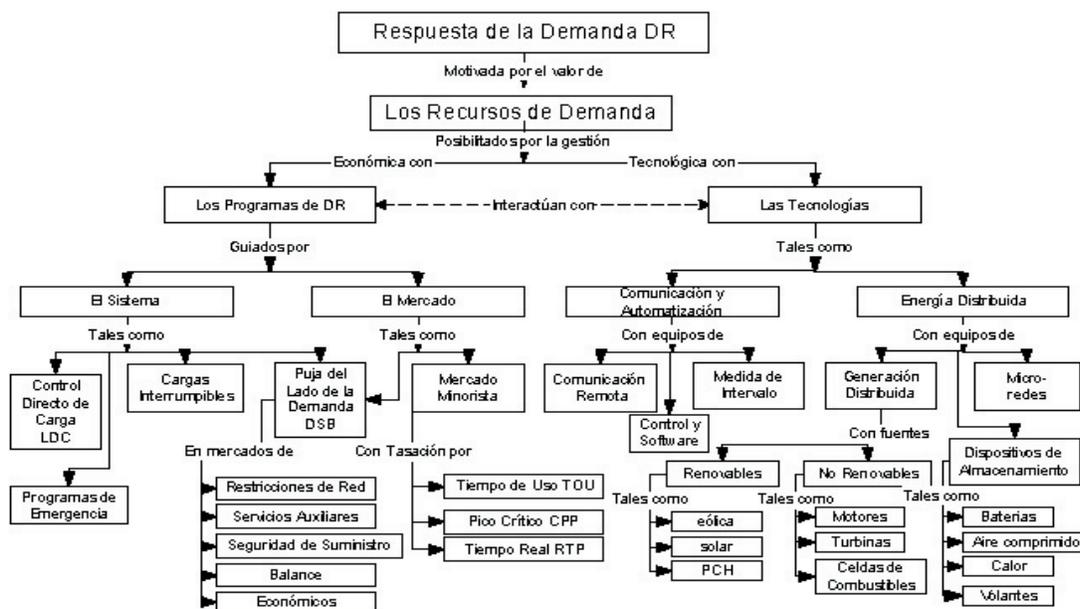


Figura 2. Mapa conceptual de la Respuesta de la Demanda en los mercados liberalizados de energía eléctrica.



**Guiados por el Sistema.** El operador del sistema, o un agregador de servicio o agente, señala a los clientes del lado de la demanda que existe un requerimiento de reducción o desplazamiento de carga. Éstos son a menudo programas basados en la fiabilidad donde los precios son fijados por el mercado ó el operador del sistema (mercados mayoristas).

**Guiados por el Mercado.** El cliente responde directamente a la señal de precio del mercado, causando el cambio del consumo conductual o sistemático. Los precios son determinados por mecanismos de mercado (interacción entre mercados mayorista y minorista).

Los programas guiados por el sistema son:

1) *Programa de Control directo de Carga* (LDC- Load Direct Control), son implementados por los operadores del sistema y se activan en Respuesta a volatilidad de la tasación mayorista, o a las restricciones del sistema y de la red. El control directo difiere en el tiempo el desplazamiento de la carga; donde, el tiempo de las reducciones es gobernado por el operador del sistema, con poca o ninguna obligación de solicitar la complacencia, en tiempo real, del consumidor. El programa es diseñado para el sector residencial y se enfoca a reducir la carga a través del comportamiento cíclico de los equipos. Los sistemas de calefacción y refrigeración se conmutan y se operan los ciclos a un ritmo preacordado de antemano.

2) *Cargas Interrumpibles* Aunque no se diferencian funcionalmente de los programas de Control Directo, este término se usa para referirse a grandes usuarios industriales que pueden verter porciones más grandes de carga. Los llamados contratos interrumpibles tienen lugar con compañías que operan procesos industriales flexibles, en término de los tiempos de funcionamiento. Los ejemplos típicos incluyen a programas de irrigación de empresas de agua, plantas de producción química y grandes hornos o procesos de calderas.

3) *Los Programas de Emergencia de Respuesta de la Demanda* (EDRPs Emergency Demand Response Programs) se han desarrollado, como un portafolio de medidas diseñadas para tratar con emergencias declaradas; durante las cuales, la operación controlada y continuada de la red está en riesgo y son probables un apagón parcial y/o un apagón completo. El detonante para un “evento” de emergencia es definido por las normas de fiabilidad y de seguridad de la red, publicadas de antemano por el operador del sistema. Los participantes son típicamente notificados con 24 horas de anticipación de cualquier evento de emergencia esperado, además, se proporciona una notificación de confirmación cercana al tiempo real por teléfono, fax o e-mail.

4) *La Puja del lado de la Demanda* (DSB Demand Side Bidding) es un término que se refiere a la oportunidad ofrecida por algunos los mercados de negociación de electricidad para la

elección por parte de los consumidores de uso final de cuando y cómo participar en los mercados del día anticipado y en tiempo real. El proceso permite pagar al consumidor, a precio de mercado, por retirar su carga, cuando es requerido por el operador del mercado, de una manera similar a la que se paga a los generadores para proporcionarla. Los consumidores pujan para una reducción especificada, en duración y disponibilidad, después de lo cual las pujas son ordenadas y se escogen según el requerimiento del mercado. Todos los postores típicamente son pagados por la puja aceptada más alta o, en el caso de ciertos mercados de DSB en vías de desarrollo, a la tasa techo mínima. Se han introducido mercados de DSB para apoyar muchos aspectos del mantenimiento de la eficiencia y fiabilidad de los mercados de electricidad, entre los que se cuentan los siguientes mercados:

- **Servicios de restricción de red.** El alivio de la congestión del mercado donde los precios del mercado se segmentan para reflejar el valor de localización del requerimiento de la puja.
- **Seguridad de suministro / servicios auxiliares.** Estos mercados pueden ofrecer requerimientos de reserva de corto o largo plazo.
- **Mercados de Balance (equilibrio).** Estos mercados pueden proporcionar margen de capacidad de reserva en el corto plazo y/o un alivio de la red, donde el término balanceo se usa para implicar un papel cercano al tiempo real, el balanceo de mercados típicamente opera en mercados de día-anticipado.
- **Mercados Económicos<sup>7</sup> (tomador de precio).** Los mercados económicos son aquéllos que permiten a los consumidores expresar su valoración del precio de la energía basados en mercado real de aclaración de precios. Esta transferencia puede ocurrir en momentos cuando el mercado es irrestricto, pero donde la valoración de los consumidores simplemente está por debajo de la prevaleciente aclaración del precio.

La Respuesta de la demanda guiada por el mercado generalmente es un acuerdo bilateral entre el cliente y un minorista, emprendido para beneficio financiero mutuo. En el curso normal de eventos, los minoristas contratan con los clientes la provisión de energía a un cierto precio minorista, y entonces acuerdan comprar energía y servicios auxiliares en el mercado mayorista para cumplir esos contratos. Los Minoristas enfrentan un tema dominante decidiendo cómo tasar sus productos a varios tipos de clientes – cómo manejar el riesgo financiero asociado con la incertidumbre sobre las cargas futuras de los clientes y los precios mayoristas de energía. Es decir, mirando un periodo de tiempo futuro, los minoristas no conocen

<sup>7</sup> En la medida que los mercados económicos de DSB son optativos al enfrentamiento por parte de los consumidores a los precios del mercado, puede considerarse que estos productos son respuestas de la Demanda Guiadas por el Mercado. La práctica de DSB es acostumbrada por los operadores del sistema para procurar recursos controlables del sistema utilizando al proceso de puja como un mecanismo de mercado abierto y transparente.

exactamente cuánta electricidad consumirá cada uno de sus clientes, ni a lo que estarán los precios mayoristas para esa energía en el momento que ellos tengan que proporcionarla. Por tal razón, los programas de Respuesta de la Demanda se diferencian fundamentalmente por la estructura de tasación de la energía eléctrica acordada entre el minorista y el cliente de uso final.

Entre los programas guiados por el mercado tenemos:

1) Tasación por Tiempo-de-Uso (TOU). Los programas tradicionales de tiempo-de-uso varían el precio según la hora, día o estación de consumo, han sido usados mucho tiempo por las empresas de servicio como una herramienta para balancear la demanda. La evidencia empírica ha demostrado que ellos pueden proporcionar una significativa eficiencia económica, ganancias para el consumidor y para el proveedor. La tasación por Tiempo-de-uso requiere que ambos, el proveedor, o minorista, y el consumidor, determinen un “valor” de antemano, para la electricidad proporcionada durante una hora específica del día, día de la semana o estación. Este proceso da lugar a modelos de tasación que incorporan las llamadas ratas de precio pico, o ratas de precio valle, junto con cualquier número de precios intermedios. Los productos de la tasación por Tiempo-de-uso proporcionan a los minoristas una manera eficaz de usar al precio para controlar la demanda, y por consiguiente manejar el riesgo. Aquí, también existen beneficios adicionales al ser aumentada la amenidad del cliente. Un estudio de 1992 dirigido por la Asociación Eléctrica en el Reino Unido, mostró que la mayoría de los clientes escogieron la tarifa con ratas por tiempo-de-uso y además, ajustaron su uso de la electricidad. Como se esperaba, el uso se reasignó a los periodos valle menos caro, mientras que el consumo mensual global permanecía relativamente constante.

2) La Tasación en tiempo Real (RTP Real-time Pricing), es la forma más avanzada de tasación, diseñada para incrementar la transparencia entre los mercados mayorista y minorista. El principio básico es que el precio del usuario final se relacione, directa o indirectamente (con cubrimiento), al precio de aclaración del mercado mayorista. También es conocida como tasación dinámica; la cual, desarrolla productos que se refieren a cualquier tarifa de electricidad donde la duración y los precios no son conocidos o definidos de antemano. Los productos de la tasación en tiempo real ofrecen un rango de opciones al rebalance del riesgo, y dan premios repartidos entre el proveedor y el consumidor, por medio de una combinación de precios fijos, de precios de mercado y de contratos de opciones de futuros. El análisis económico de este tipo de producto, indica que la tasación dinámica en tiempo real proporciona, muchos mayores beneficios económicos que la tradicional tasación por tiempo-de-uso [16;11;17].

3) La tasación por Pico Crítico (CPP Critical-Peak-Pricing) es un híbrido de las tasaciones en tiempo real y por tiempo-de-uso;

un diseño típico ofrecerá una rata tradicional por tiempo-de-uso que tendrá efecto todo el año, salvo para un número contratado de días pico, cuya duración es desconocida, donde un precio mucho más alto tendrá efecto. El número de estos días de pico críticos es de antemano conocido, pero el precio y la duración del precio de ellos no lo es. Se señalan días de precio críticos a los consumidores con algún adelanto notificado, típicamente se notifica el día antes del evento, usando comunicaciones automatizadas. En Francia, Electricité de Francia (EDF) tiene lo que es, actualmente en funcionamiento, el programa de tasación por pico crítico más grande del mundo (10 millones de clientes). Bajo el nombre de programa Tempo; simples e intuitivas “señales” (días rojos, blancos y azules) son usadas para comunicar los días de tasación por pico crítico. La experiencia de estos programas indica que doblando el precio en-pico conduce a reducciones en la carga pico de hasta un 20%. La elasticidad del precio generalmente ha sido medida en un 30% (un 15% de aumento del precio rinde un 5% de reducción en el consumo).

La tecnología desempeña un papel clave en el acceso y realización de los recursos de la demanda. El costo, funcionalidad y grado de automatización del proceso serán los principales determinantes en el crecimiento futuro de la capacidad de respuesta de la demanda en el mercado. Las opciones tecnológicas para la respuesta de la demanda pueden agruparse ampliamente en dos clases de equipamiento:

- **Energía Distribuida:** los equipos electro-energéticos conectados directamente a la red de distribución y/o en el lado “cliente” del medidor [18].
- **Comunicación y Automatización de negociación:** los equipos de medición, de comunicaciones y control automático que posibilitarán la transferencia de información crítica en el caso de los negocios –tal como precios, señales de control de carga, medidas, y datos para ajustes y facturación –entre las partes contratantes.

La Energía Distribuida se compone de la generación distribuida, más las tecnologías de almacenamiento y las micro-redes autónomas de los usuarios finales de la energía eléctrica<sup>8</sup>.

• *La Generación Distribuida* posee una gama de tecnologías que van desde las tradicionales turbinas a gas o vapor simples, pasando por las versiones mejoradas de las micro-turbinas a gas, hasta turbinas a vapor en ciclos combinados y regenerativos de calor o cogeneración alimentadas por biomasa o calor remanente de celdas de combustible. Entre los motores se destacan los motores de combustión interna de carburación o Diesel; aunque, el motor de combustión externa tipo Stirling ha cobrado realce gracias a su mayor eficiencia energética y

<sup>8</sup> Los Recursos Energéticos Distribuidos (DER-Distributed Energy Resources) son definidos en [19] como la energía distribuida más las políticas del lado de la demanda.

posibilidades de recuperación de calor remanente. Entre las tecnologías renovables tenemos las tradicionales Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH) hasta los rejuvenecidos molinos eólicos y celdas fotovoltaicas. La generación distribuida posee una amplia gama de posibilidades de negociación en los mercados de Respuesta de la Demanda.

- *Las tecnologías de Almacenamiento* tales como los volantes, los equipos de almacenamiento o regenerativos de calor, o los almacenamientos de aire comprimido. etc.. pueden utilizarse para el desplazamiento de la carga en horas pico.

- *Las micro-redes (MicroGrid)* son una evolución autónoma de los sistemas locales de potencia que incorporan calor y energía eléctrica combinados (CHP- Combined Heat and Power) en energía distribuida y suministran apoyo crítico de carga para clientes individuales. Las micro-redes de potencia representan una nueva estrategia práctica para asegurar energía continua, proporcionando seguridad y protección a fallas de la empresa de servicio y a otras anomalías de la malla eléctrica. Las micro-redes de potencia pueden tener aplicación en algunos usuarios finales de energía, como complejos industriales y comerciales, campus universitarios y hospitalarios.

Las tecnologías de comunicación y automatización, en la visión de futuro del EPRI, conformarán lo que ellos han llamado “Electrinet” [20]; la cual muy seguramente estará al servicio de la respuesta de la Demanda, en estos campos:

- *Medición.* El medidor sigue siendo uno de los medios primarios de medición de los ingresos para el proveedor de energía. La funcionalidad del medidor variará según la aplicación, la unidad básica de registro será el vatio-hora (típicamente kWh o MWh). La medición moderna puede soportar medidas adicionales de funcionalidad tal como la habilidad para almacenar consumo, de acuerdo a periodos de tiempo-, registro y/o despliegue de la información del uso instantáneo tal como vatios, voltio-amperios, potencia reactiva, amperaje, voltaje y factor de potencia.

- *Equipo de comunicación remoto.* Una necesidad importante es conectar el equipo de medición y de control usados por las empresas de servicios públicos, operadores del mercado, intermediarios y consumidores. La comunicación remota también puede incluir equipo de comunicaciones del consumidor directo, usando rutas de comunicación múltiples amigables para el usuario con el fin de notificar a los clientes de los eventos de acortamiento de carga.

- *Equipo de control y software.* Las nuevas tecnologías están proporcionando grados más altos de automatización del proceso y control a los diseñadores de programas de respuesta de la demanda. Los circuitos de aire acondicionado y control de calefacción, el despacho remoto de carga y los sistemas de control de iluminación avanzados están sirviendo para disminuir

la necesidad de la intervención humana para responder a las señales del precio de respuesta de la demanda.

## Respuesta de la demanda vs Eficiencia Energética

El término “Respuesta de la Demanda” no es intercambiable con el término “Eficiencia Energética”. La introducción de Respuesta de la demanda al precio-variable necesariamente no lleva a una reducción global del consumo de electricidad. Los programas de Respuesta de demanda convencionales son enfocados a desplazar en el tiempo la carga pico al valle, generando beneficios económicos, considerando que los programas de eficiencia energética generalmente buscan reducir las cargas, sin tener en cuenta el tiempo-de-uso. Por esta razón, la Respuesta de la Demanda no ha sido considerada para jugar un papel importante en los programas de eficacia de energía tradicionales.

Sin embargo, este paradigma requiere algún examen adicional. Al crear el conocimiento del precio, el consumidor establece una relación de valor entre el precio pagado y el uso final del producto<sup>10</sup>. El incremento del flujo de información entre un consumidor y el minorista aumenta el conocimiento de los consumidores del momento del uso final de la energía, del valor del trabajo de la electricidad y del valor económico resultante de su negociación. Como también, se incrementa el conocimiento de la capacidad del consumidor para valorar la electricidad y así, los programas de tasación podrán ser redefinidos; de manera que podrán usarse las señales de precio para animar a los consumidores a malgastar menos la electricidad. Las estimaciones actuales sugieren que además del desplazamiento de la carga pico, los beneficios derivados de la introducción de la tasación tiempo variable, en los programas residenciales típicos entregan también aproximadamente el 2% de reducción en energía consumida.

<sup>9</sup> La eficiencia energética tiene, así, un sentido más amplio que lo que normalmente se entiende como sólo con una referencia implícita a la eficiencia tecnológica: abarca todos los cambios que se producen al disminuir la cantidad de energía producida para una unidad de actividad económica (Ej. la energía utilizada para una unidad de PIB o valor agregado) o para reunir los requisitos de energía para un nivel dado de confort. Se asocia la eficiencia energética a la eficiencia económica e incluyen los cambios en lo tecnológico, en lo conductual y en lo económico.

<sup>10</sup> El producto de uso final suministrado a un edificio, fábrica o vivienda y convertido en calor, luz o fuerza motriz.

## CONCLUSIONES

El tema de la eficiencia energética debe permear el ideario y la conducta colectiva e individual de los usuarios finales de la energía. Así que, las políticas y programas de URE, no solo deben estar dirigidas a satisfacer los resultados de los modelos desarrollados con la argumentación racional tradicional; sino, que estas argumentaciones deben ser probadas por los métodos más amplios de la razonabilidad centrada en la práctica y experiencia real de individuos y colectivos sociales de los mercados eléctricos, ya sean regulados o liberalizados.

La Respuesta de la Demanda es un objetivo conductual de las políticas y programas del URE en el mercado de los mercados liberalizados. Esta se facilita con el reconocimiento del valor de los recursos de la demanda para la estabilidad y autoorganización de los mercados eléctricos liberalizados.

Teniendo en cuenta que la Gestión de la Demanda (DSM Demand Side Management) se refiere a un amplio conjunto de medidas que apuntan a incrementar el eficiente uso final y/o al desplazamiento de la carga pico, pero normalmente no a través de estrategias de mercado; y, considerando que la Respuesta de la Demanda se refiere al uso de los precios, basado en el mercado, para influir en la temporalidad y el nivel de la demanda; podemos concluir que estos dos acercamientos no están entre sí en conflicto: de hecho, incrementando la Respuesta de la demanda se establecerán incentivos económicos que apoyarán a la implementación de las actividades de la gestión de la demanda, como son: el aislamiento de las viviendas, la iluminación eficiente y los programas de conservación de energía.

---

## REFERENCIAS

- [1] CONGRESO DE COLOMBIA. LEY 697 DE 2001 mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas. LEY 697 DE 2001. 3-10-2001.
- [2] Subrahmanian, E. and Talukdar, S. N., "Engineering of markets and artifacts," *Electronic Commerce Research and Applications*, vol. 3, no. 4, pp. 369-380, 2004.
- [3] Denton, M. J., Rassenti, S. J., and Smith, V. L., "Spot market mechanism design and competitiveness issues in electric power," *Journal of Economic Behavior & Organization*, vol. 44, no. 4, pp. 435-453, 2001.
- [4] Smith, V. L., "Constructivist and ecological rationality in economics," *American Economic Review*, vol. 93, no. 3, pp. 465-508, 2003.
- [5] Toulmin, S., *Regreso a la razón. El debate entre la racionalidad y la experiencia y la práctica personales en el mundo contemporáneo. (Return to Reason. 2001)* Barcelona: Ediciones Península, 2003.
- [6] UPME, "Uso Racional de Energía," PLAN ENERGETICO NACIONAL. Estrategia Energética Integral. Visión 2003-2020. Colombia: Unidad de Planeación Minero Energética, 2003, pp. 184-190.
- [7] Holt, C. A., "The Exercise of Market Power in Laboratory Experiments," *Journal of Law and Economics*, vol. 32 pp. S107-S130, 1989.
- [8] Sheble, G. B., "Valuation of services. Competitive industry modeling," *Power and Energy Magazine, IEEE*, vol. 1, no. 2, pp. 14-19, 2003.
- [9] Rassenti, S. J., Smith, V. L., and Wilson, B. J. Using Experiments to Inform the Privatization/Deregulation Movement in Electricity. *Cato Journal* 21[3], 515-544. 2002.
- [10] Hirst, E. Barriers to Price-Responsive Demand in Wholesale Electricity Markets. Edison Electric Institute. 2002. 28-8-2003.
- [11] Faruqui, A. Creating Value Through Dynamic Pricing in Mass Markets. 8-10-2002. Fall 2002 Conference - Peak Load Management Alliance .
- [12] Faruqui, A. and George, S. S., "The Value of Dynamic Pricing in Mass Markets," *The Electricity Journal*, vol. 15, no. 6, pp. 45-55, July2002.
- [13] Jones, M., *The Power to Choose. Enhancing Demand Response in liberalised electricity Markets*, Room Document No1 ed. 2003, pp. -128 pages.
- [14] Borenstein, S., Jaske, M., and Rosenfeld, A. *Dynamic Pricing, Advanced Metering, and Demand Response in Electricity Markets*. 2002. San Francisco, CA, The Energy Foundation. Hewlett Energy Series Reports.
- [15] Rassenti, S. J., Smith, V. L., and Wilson, B. J., "Controlling market power and price spikes in electricity networks: Demand-side bidding," *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 100, no. 5, pp. 2998-3003, Mar.2003.
- [16] Borenstein, S. *Time-Varying Retail Electricity Prices: Theory and Practice*. 2003. POWER Eighth Annual Research Conference on Electricity Industry Restructuring.
- [17] Adilov, N., Schuler, R., Schulze, W., and Toomey, D. *The Effect of Customer Participation in Electricity Markets: An Experimental Analysis of Alternative Market Structures*. Track 2, 20050b . 5-8-2004. Big Island, Hawaii . *Proceedings of the 37th Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS'04)* - .
- [18] Ackermann, T., Andersson, G., and Soder, L., "Distributed generation: a definition," *Electric Power Systems Research*, vol. 57, no. 3, pp. 195-204, Apr.2001.
- [19] IEA, *Distributed Generation in Liberalised Electricity Markets International Energy Agency Demand-Side Management Programme*, 2002.
- [20] EPRI. *Electricity Sector Framework for the Future*. 6-8-2003. EPRI.