

OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN CLIMATIZACIÓN MEDIANTE INTERFACES EN TIEMPO REAL

PEÑA SUÁREZ, José Miguel ⁽¹⁾; GONZÁLEZ MURIANO, María del Carmen ⁽²⁾; RODRÍGUEZ REINA, Alfonso ⁽³⁾

jmpena@altracorporacion.es

⁽¹⁾Empresa CORPORACIÓN EMPRESARIAL ALTRA S.L, departamento de I+D

⁽²⁾Empresa CORPORACIÓN EMPRESARIAL ALTRA S.L, departamento de PROYECTOS

⁽³⁾Empresa CORPORACIÓN EMPRESARIAL ALTRA S.L, departamento de MARKETING

RESUMEN

España presenta el escenario propicio para considerar la gestión activa de la demanda a nivel residencial. Por un lado, el consumo eléctrico doméstico contribuye significativamente a la punta de demanda del sistema. Por otro lado, la legislación española vigente establece un plan de sustitución de los contadores actuales de baja tensión por contadores inteligentes (smart meters) y una reforma en paralelo del sistema tarifario eléctrico.

La climatización es el primer servicio en cuanto a consumo global de energía en un edificio. Por ello, cualquier actuación encaminada a la mejora de la eficiencia en climatización implica un gran ahorro energético y una disminución en la emisión de contaminantes a la atmósfera.

La adopción de hábitos de consumo más responsables y racionales se fortalece a medida que el usuario es consciente de su propio consumo y del precio de la energía eléctrica. En esta línea, la computación en la nube (cloud computing en inglés) juega un papel primordial, permitiendo el acceso a la información desde cualquier localización y la interacción a distancia entre los sistemas de climatización, las suministradoras eléctricas y el usuario final propietario del sistema de climatización.

El objetivo de esta ponencia es manifestar la ineficacia de las actuales facturas periódicas en la toma de decisiones para el control del consumo energético. La alternativa a esta forma de difusión de la información es la monitorización en tiempo real. La evolución tecnológica de las interfaces de optimización del consumo energético en climatización facilita el almacenamiento y la monitorización de la información (consumo del equipo de climatización, coste de la energía, condiciones climáticas exteriores, preferencias del usuario, etc), a través de dispositivos sencillos, manejables e intuitivos. Con un coste de inversión mínimo, estas interfaces se convierten en una herramienta, que empleada de forma correcta, permiten alcanzar ahorros energéticos importantes que oscilan entre el 3% y el 10%.

Palabras clave: climatización, monitorización, tiempo-real.

1. Introducción

La climatización es el primer servicio en cuanto a consumo global de energía en un edificio [1-2], como se aprecia en la Figura 1. Por ello, la optimización de los procesos de climatización en edificios, es una tarea actualmente muy presente dado que supone un importante ahorro energético, con la consiguiente disminución también en la emisión de contaminantes a la atmósfera.

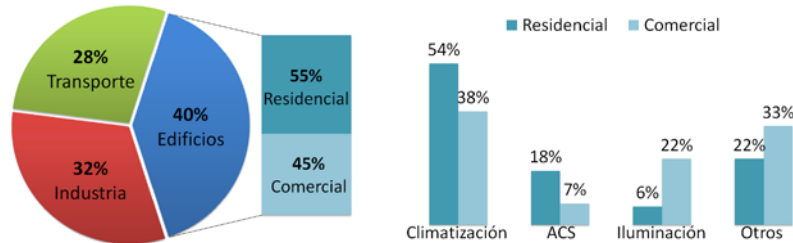


Figura 1. Desglose en porcentaje del consumo energético por sectores.

La distribución por sectores del consumo energético de la Figura 1 se explica porque actualmente, en los países industrializados, el 90% del tiempo discurre en espacios cerrados [3]. Esta tendencia en los hábitos de vida implica cambios significativos tanto en el consumo que se produce en los edificios, como en las exigencias de confort y calidad del aire requeridos en los mismos.

La incipiente necesidad de reducir el consumo energético en los edificios conlleva un aumento en la presión política y medioambiental, que se ve reflejada en distintas iniciativas estatales e internacionales, entre las que cabe destacar:

- Norma UNE-EN 15232:2014, relativa al impacto de la automatización, el control y la gestión de los edificios en la eficiencia energética de los mismos.
- Real Decreto 216/2014, que establece la metodología de cálculo de los precios voluntarios para el pequeño consumidor de energía eléctrica.
- Real Decreto-ley 8/2014, que exige la instalación de contadores de consumo individuales en toda instalación térmica (calefacción, refrigeración y agua caliente) centralizada.
- Protocolo de Kyoto (modificado en la 19ª Conferencia de Cambio Climático de Naciones Unidas, Varsovia 2013), que regula las emisiones de efecto invernadero.
- Orden FOM/1635/2013, que actualiza el Documento Básico DB-HE referente al ahorro de energía del Código Técnico de la Edificación.
- Real Decreto 235/2013, que aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios.
- Directiva europea 2012/27/UE, relativa a la contabilización de consumos energéticos.

Ante este marco normativo, multitud de empresas y centros de investigación trabajan en mejorar los sistemas de climatización en edificios, sin que ello motive una disminución del grado de confort térmico.

La reciente irrupción a gran escala de las TIC (Tecnologías de la Información y la Comunicación) en los edificios públicos y residenciales contribuye a la consecución de este objetivo, mejorando la gestión y la eficiencia energética en el sector a través de herramientas como la monitorización del consumo energético.

La monitorización energética de la climatización permite alcanzar ahorros energéticos importantes. Sin embargo, el enorme potencial que presenta se sustenta en el desarrollo en paralelo de tres factores esenciales:

- Disponibilidad con antelación de la variación horaria del precio de la energía eléctrica. De este modo, el usuario podrá planificar su consumo y globalmente se conseguirá potenciar la gestión activa de la demanda. La predisposición del usuario a mantener estos cambios en el

tiempo aumentará a medida que perciba el ahorro económico alcanzado. Para ello, la facturación debe realizarse considerando los valores horarios de consumo.

- Conocimiento del consumo energético en tiempo real. Así el usuario es capaz de percibir el impacto de las estrategias eficientes puestas en práctica y concienciarse del uso responsable de la energía.
- Accesibilidad a la información en tiempo real del sistema de climatización. El usuario debe contar con una interfaz que le facilite el acceso y la gestión a esta información, sin que le suponga un esfuerzo controlar su sistema de climatización.

2. Gestión activa de la demanda

El sistema eléctrico español soporta puntas de demanda que suponen un incremento en los costes de generación. El término “gestión activa de la demanda”, hace referencia al conjunto de acciones orientadas a conseguir que los consumidores desplacen y reduzcan su consumo de tal modo que disminuya el ratio punta/valle de la curva de demanda eléctrica.

En España se presenta el escenario propicio para considerar la gestión activa de la demanda a nivel residencial. Por un lado, el consumo eléctrico doméstico contribuye significativamente a la punta de demanda del sistema, como se muestra en la Figura 2.

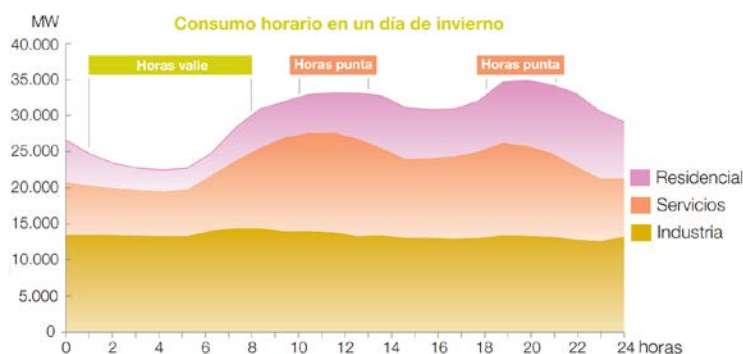


Figura 2. Demanda eléctrica. Fuente: Guía de Consumo Inteligente (Red Eléctrica de España).

Por otro lado, la legislación española vigente establece un plan de sustitución de los contadores actuales de medida de los consumidores de baja tensión (<15kW de potencia contratada), por contadores inteligentes que permitan la discriminación horaria y la telegestión. El número de equipos que deberán ser sustituidos por cada una de las compañías distribuidoras se establece como un porcentaje del total del parque de contadores de medida de cada una de dichas empresas y deberá ajustarse a los valores que se señalan en la Figura 3 para cada intervalo temporal.



Figura 3. Calendario de sustitución de contadores eléctricos según la Orden IET/290/2012.

La CNMC (Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia) estima que la sustitución contribuirá a modificar los hábitos de los consumidores y permitirá corregir a medio plazo las puntas de demanda de carácter estacional, facilitando un consumo más sostenible para todo el sistema eléctrico español.

Además, la implantación masiva de equipos de medida inteligentes se desarrolla en paralelo a una reforma del sistema tarifario eléctrico. El 1 de abril de 2014 entró en vigor la normativa que regula el nuevo sistema para determinar el coste de energía de la factura de electricidad, el Precio Voluntario para el Pequeño Consumidor (PVPC).

El anterior sistema de subastas eléctricas que establecía un precio fijo trimestralmente ha sido sustituido por un sistema que toma como referencia el precio de la electricidad del mercado mayorista, que cotiza y cambia en función de la oferta y la demanda cada hora.

En este sentido, aproximadamente a las 20:00 horas, se publica el término de facturación de energía activa del PVPC para cada hora del día siguiente en la web del Operador del Sistema, eSios. Este servicio, permite a los consumidores con una potencia contratada no superior a 10 kW y acogidos al PVPC, conocer los precios a los que se les facturará la energía consumida en cada hora del día siguiente según el peaje de acceso contratado: tarifa general, tarifa nocturna o tarifa vehículo eléctrico. La Figura 4 muestra por ejemplo el término de facturación de energía activa del PVPC de la tarifa general para un día concreto.



Figura 4. FEU para la tarifa general (lunes 05/05/2014).

En la Figura 4 se puede observar la variación del precio de la energía eléctrica a lo largo de un día. Un interfaz en tiempo-real permite al usuario consultar esta curva con antelación a su consumo y le posibilita una planificación que evite los periodos de mayor coste. Tomando como ejemplo la curva de la Figura 4, si al usuario se le notifica con antelación que entre las 9:00 y las 10:00 y entre las 21:00 y las 22:00 se produce un incremento sustancial del coste de la energía, este procurará anticipar o retrasar el consumo eléctrico, para evitar estas horas y aprovechar los periodos más baratos del kWh.

A pesar de estar definido el método de cálculo para aquellos suministros que ya cuenten con contadores inteligentes, éste aún no se aplica. El motivo es que las cinco grandes eléctricas integradas en la Asociación Española de la Industria Eléctrica (Unesa) han solicitado que la nueva facturación de electricidad hora a hora se retrase al menos hasta abril de 2015.

Por tanto, actualmente independientemente de si el usuario dispone o no de un con contador inteligente, los precios horarios se le aplican de forma general mediante un perfil de consumo estimado por Red Eléctrica, según los patrones de comportamiento de los consumidores.

3. Cloud computing y monitorización en tiempo real aplicado a la climatización

Los servicios basados en la nube, son una de las principales infraestructuras para la aplicación de las TIC. El extraordinario desarrollo de los dispositivos móviles y la expansión del acceso a Internet, unidos a las necesidades de telegestión de los usuarios, han hecho del cloud computing un elemento fundamental para el control optimizado de los sistemas de climatización, aportando indudables ventajas:

- Telegestión de la instalación de climatización.
- Acceso a bases de datos digitales de predicción meteorológica.
- Acceso al precio del coste de la energía.
- Almacenamiento de grandes volúmenes de información.
- Monitorización en tiempo real.

Para diseñar y desarrollar un interfaz de gestión energética de la climatización, resulta imprescindible contar con un registro de datos tanto eléctricos como térmicos, así como relativos a las preferencias del propio usuario, tal y como se muestra en el diagrama de la Figura 5.

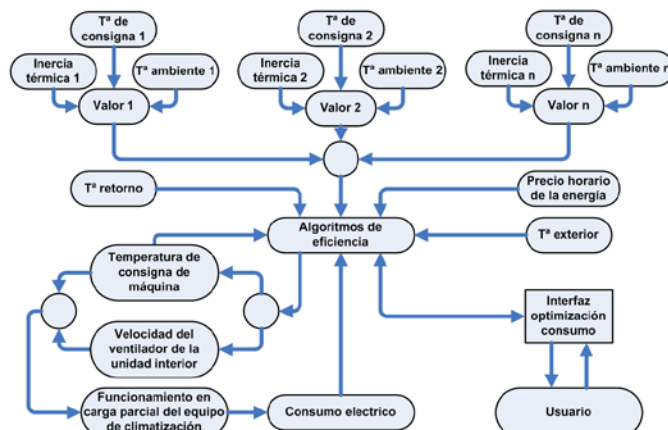


Figura 5. Funcionamiento de un sistema zonificado integrado con equipos de climatización.

La difusión de los consumos y costes reales vuelven más conscientes a los usuarios sobre su gasto energético y es una motivación para no derrochar energía. Por tanto, la interfaz de optimización de consumo debe registrar el consumo instantáneo del equipo de climatización.

Las dos formas básicas de comunicación de información son la directa (en tiempo real) y la indirecta (basada en datos procesados). Existen diversos estudios en los que se analiza el efecto que produce cada una de estas técnicas de difusión [4-9] y la reacción de los usuarios ante los dispositivos de monitorización [10-12].

En estos estudios se evidencia como las actuales facturas periódicas son claramente ineficientes para la toma de decisiones en el control del consumo energético. Mientras que la presentación de información en tiempo real a través de una interfaz intuitiva involucra al usuario en el control e influye en su comportamiento instantáneo logrando ahorros que oscilan entre el 5 y 15%.

Para el usuario con un contrato PVPC es interesante recibir información de su consumo instantáneo y del precio al que se le factura dicho consumo, así como las horas del día a las que se factura el kWh con el máximo y el mínimo precio. La Figura 6 muestra un ejemplo de notificación para el usuario.



Figura 6. Ejemplo notificación para usuario con tarifa PVPC.

4. Climatización monitorizada: impacto en el ahorro energético

La monitorización energética en tiempo real está cada vez más extendida en el control de las instalaciones de climatización y permite:

- Detectar posibles ineficiencias en la instalación de climatización.
- Obtener patrones de consumo y optimizar horarios de funcionamiento.
- Proponer estrategias eficientes de funcionamiento, considerando en tiempo real las condiciones ambientales exteriores, el precio de la energía y las preferencias del usuario, mediante el reconocimiento de patrones en la información monitorizada.

Para contrastar estos hechos, se ha monitorizado la climatización de tres viviendas. En estas viviendas el sistema de climatización está compuesto por una bomba de calor inverter integrada con un sistema de regulación multizona zonificado Airzone. El control que aporta Airzone en la instalación, gracias a la pasarela de comunicación, desde el punto de vista energético se basa en la optimización del funcionamiento del sistema de climatización a carga parcial, ya que se combate únicamente la carga térmica de las zonas en las que existe simultáneamente demanda y ocupación. Por otro lado, además aporta un alto grado de confort, regulando el caudal de fluido caloporador que se suministra a cada zona acondicionada. De esta forma se consiguen satisfacer las exigencias térmicas concretas de cada una de las zonas con el mínimo consumo posible.

Todos los ensayos se dividen en dos fases. Durante la primera fase de monitorización, los usuarios no disponen del display de monitorización, de esta forma se obtienen los hábitos de consumo de estos usuarios. En la segunda fase de monitorización, los usuarios cuentan con el display de monitorización y reciben notificaciones para poner en práctica estrategias de funcionamiento más eficientes. En los ensayos se han monitorizado las siguientes variables en tiempo real:

- Temperatura ambiente y de consigna de cada zona (°C).
- Temperatura de consigna de máquina y de retorno (°C).
- Temperatura exterior (°C).
- ON/OFF de las zonas.
- Consumo instantáneo del equipo de climatización (kW).
- Precio del término de energía activa (€/kWh).

La Tabla 1 recoge algunas de las características de las instalaciones monitorizadas.

Tabla 5: Viviendas monitorizadas durante los ensayos.

Característica	Vivienda 1	Vivienda 2	Vivienda 3
S _{climatizada} (m ²)	35	130	60
Capacidad equipo (kW)	3,4	12	5,5
Nº ocupantes	3	4	2
Edad ocupantes (años)	37 – 35 – 6	48 – 48 – 26 – 22	74 – 71
Periodo monitorización Fase 1	Inicio: 01/04/14 Fin: 01/05/14	Inicio: 02/06/14 Fin: 17/07/14	Inicio: 02/06/14 Fin: 02/07/14
Periodo monitorización Fase 2	Inicio: 02/05/14 Fin: 02/06/14	Inicio: 18/07/14 Fin: 31/08/14	Inicio: 03/07/14 Fin: 04/08/14

En los 153 días que se han monitorizado las viviendas, el periodo comprendido entre las 21:00 y las 22:00 ha sido en el que más veces se ha registrado el mayor coste diario de la energía eléctrica (véase la Figura 7).

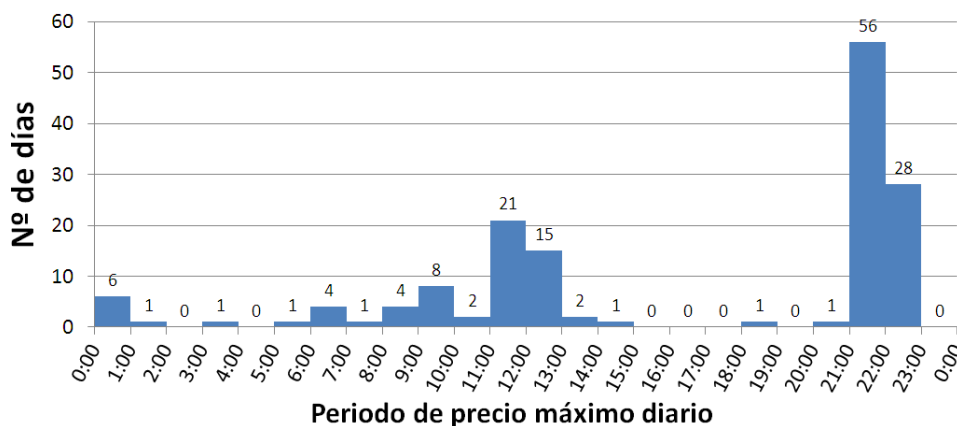


Figura 7. Número de días que se registra el precio máximo diario del kWh en una hora concreta.

Analizando los datos relativos al uso del sistema de climatización, se ha contrastado como los usuarios, al recibir durante la Fase 2 notificaciones del periodo horario en el que se registra el mayor coste del kWh, actúan sobre el sistema de climatización para reducir el consumo en dicho periodo. La Tabla 2 recoge el porcentaje de días en los que estando el sistema de climatización encendido durante un periodo horario de precio máximo del kWh, los usuarios han modificado la temperatura de consigna (funcionando el equipo en modo refrigeración han subido la temperatura de consigna en las zonas ocupadas).

Tabla 6: Porcentaje de días en los que se ha modificado la temperatura de consigna durante un periodo de máximo precio diario del kWh.

Vivienda 1	Vivienda 2	Vivienda 3
83 %	91 %	64 %

El ahorro energético que puede alcanzarse debido a la monitorización depende en gran medida de la predisposición de cada usuario a considerar las notificaciones que recibe a través del interfaz, además de la edad de los usuarios, así como del consumo inicial de los mismos (registrado en la Fase 1). La Figura 8 recoge los consumos debidos a la climatización durante los ensayos en cada una de las viviendas.

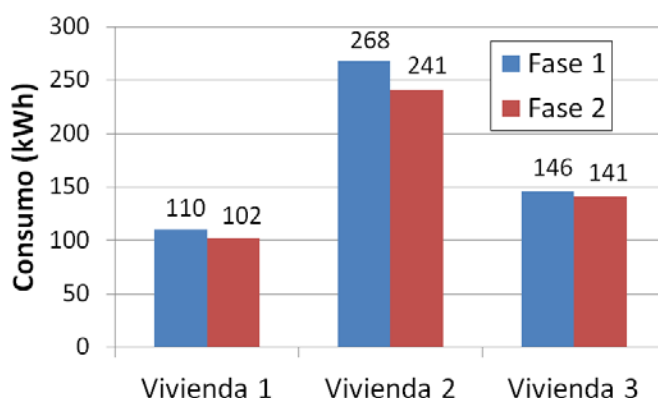


Figura 8. Consumo eléctrico de climatización en las viviendas.

Ante estos resultados se observa como el ahorro eléctrico por el hecho de disponer de un dispositivo de monitorización de consumo en tiempo real oscila entre un 3% (Vivienda 3) y un 10% (Vivienda 2).

El punto clave para el éxito en el uso de la interfaz es la adecuación del nivel de detalle en la información ofrecida al usuario. Según las necesidades del usuario se puede visualizar desde un simple código de colores hasta un histórico de consumo actualizado en tiempo real.

5. Conclusiones

Los resultados derivados de un control en tiempo real del consumo y del coste energético son la principal vía para reducir la factura energética hasta un 10% con una inversión mínima. La monitorización se presenta como una potente herramienta para conocer la realidad energética de una instalación de climatización, evaluar las medidas de ahorro, cuantificar las soluciones introducidas y mejorarlas si es preciso.

Este estudio experimental corrobora los beneficios de incluir al usuario final en la toma de decisiones sobre el consumo de energía, cuando es consciente del coste de la misma. La experiencia adquirida durante estos ensayos, señala los siguientes aspectos como fundamentales para la monitorización de la climatización en tiempo real:

- La información debe ser fácilmente accesible y comprensible.
- El uso de códigos de colores para la visualización de la energía consumida y las notificaciones del precio máximo y mínimo del kWh son características valoradas positivamente por los usuarios.

- La comparación del consumo histórico (días, meses, años) facilita que el usuario haga un seguimiento de su progresión y consolide los cambios en sus pautas de consumo.
- Es preciso diferenciar a los clientes en función de su interés por recibir información.

Además el uso continuado de estos interfaces permite:

- Detectar consumos anómalos y latentes.
- Ajustar la potencia contratada.
- Obtener patrones de consumo y aprovechar periodos tarifarios baratos.
- Desarrollar estrategias de ahorro adecuadas para cada usuario.
- Realizar un seguimiento y mejora continua de las estrategias de ahorro implantadas.

6. Referencias

- [9] U.S. Department of Energy Building Energy Data Book. *Energy Efficiency and Renewable Energy* (2011).
- [10] Plan de ahorro y eficiencia energética 2011-2020. *Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía* (2011).
- [11] Adgate, J. L. Eberly, L. E. Stroebel, C. Pellizzari, E. D. and Sexton, K. Personal, Indoor and Outdoor VOC Exposures in a Probability Sample of Children. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*. Vol 14, S4-S13 (2014).
- [12] Houde, S. Todd, A. Sudarshan, A. Flora, J. A. and Armel, K. C. Real-time Feedback and Electricity Consumption: A Field Experiment Assessing the Potential for Savings and Persistence. *The Energy Journal*. Volume 34 (2013).
- [13] Faruqui, A. Sergici, S. and Sharif, A. The impact of informational feedback on energy consumption - A survey of the experimental evidence. *Energy*. Volume 35, Issue 4, Pages 1598–1608, April 2010.
- [14] Allen, D. and Jadna, K. The Effects of Household Characteristics and Energy Use Consciousness on the Effectiveness of Real-Time Energy Use Feedback: A Pilot Study. *ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings* (2006).
- [15] Darby, S. The effectiveness of feedback on energy consumption. *Environmental Change Institute* (2006).
- [16] Fischer, C. Feedback on household electricity consumption: a tool for saving energy? *Energy Efficiency* (2008) 1: 79–104.
- [17] Ueno, T. Sano, F. Saeki, O. and Tsuji, K. Effectiveness of an energy-consumption information system on energy saving in residential houses based on monitored data. *Applied Energy* (2006), 83(2), 166–183.
- [18] Outcault, S. Barriga, C. Heinemeier, K. Markley, J. and Berman, D. Thermostats Can't Fix This: Case Studies on Advanced Thermostat Field Tests. *ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings* (2014).
- [19] Buchanan, K. Russo, R. and Anderson, B. Feeding back about eco-feedback: How do consumers use and respond to energy monitors? *Energy Policy* 73 (2014)138–146.
- [20] Hargraves, T. Nye, M. and Burgess, J. Making energy visible. A qualitative field study of how householders interact with feedback from smart energy monitors. *Energy Policy* 38 (2010) 6111–6119.