

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



Gestión activa de la demanda **de energía eléctrica**

Ingeniería Industrial

AUTOR: Miguel Ángel Cerezo Moreno

TUTOR: Fernando Soto Martos

Leganés, 02 de marzo del 2010



Contenido

| | |
|---|----|
| 1. Objetivo..... | 7 |
| 2. Introducción..... | 7 |
| 3. Modelos de Gestión Activa de la Demanda..... | 10 |
| 3.1 Estudios previos..... | 10 |
| 3.2 Casos analizados..... | 14 |
| 3.2.1 Pricing initiatives..... | 14 |
| Programa piloto Mi Energía..... | 15 |
| Amerenue. Missouri..... | 17 |
| Edificio Navigant consulting..... | 19 |
| Tarifa eléctrica Tempo - Francia..... | 22 |
| Fijación de precios en California para pequeños consumidores..... | 25 |
| Flexibilidad en los usuarios finales por el eficiente uso de la información y comunicación - Noruega..... | 28 |
| 3.2.2 Control directo de cargas..... | 30 |
| Implementación de la gestión de la demanda en Oslo..... | 30 |
| Respuesta de la demanda en viviendas con calentadores eléctricos - Dinamarca..... | 32 |
| Respuesta automática de la demanda en California..... | 34 |
| Proyecto de la península olímpica..... | 37 |
| LipaEdge, control directo de cargas..... | 44 |
| Sacramento, Estados Unidos..... | 46 |
| PEF, control directo de cargas..... | 48 |
| Control directo de aires acondicionados. Australia..... | 51 |
| 3.3 Conclusiones extraídas..... | 53 |
| 4. Implantación en España..... | 57 |
| 4.1 Estudio de la situación actual del sistema eléctrico español..... | 57 |
| 4.1.1 Generadores..... | 57 |
| 4.1.2 Red de Transporte..... | 60 |
| 4.1.3 Red de distribución..... | 61 |
| 4.1.4 Consumidores..... | 63 |
| 4.2 Curva de demanda en España..... | 64 |
| 4.3 Gestión activa de la demanda en el sector residencial..... | 71 |
| 5. Implantación en España..... | 86 |
| 5.1 Consumos en los hogares..... | 86 |
| 5.2 Situación de los contadores..... | 93 |
| 5.3 Tarifas..... | 93 |
| 5.3.1 Tarifa actual..... | 93 |
| 5.3.2 Tarifa propuesta para la gestión de demanda..... | 95 |



| | | |
|-----|--|-----|
| 5.4 | Sistemas de gestión de la demanda en hogares | 97 |
| 5.5 | Comunicaciones | 98 |
| 6 | Conclusiones | 101 |
| 7 | Bibliografía | 102 |



Tabla de ilustraciones

| | |
|--|----|
| <i>Ilustración 1: Curva de demanda para el día 17/12/2008.</i> | 8 |
| <i>Ilustración 2: Curva de demanda para el día 08/07/2009</i> | 8 |
| <i>Ilustración 3: Gráfica consumo día 21/07/2005 para el grupo solo CPP</i> | 18 |
| <i>Ilustración 4: Gráfico consumo 21/07/2005 grupo CPP con termostato</i> | 18 |
| <i>Ilustración 5: Distribución consumo energía antes y después del cambio de contadores. Usuarios sin calentador de agua</i> | 21 |
| <i>Ilustración 6: Distribución consumo energía antes y después del cambio de contadores. Usuarios con calentador de agua</i> | 21 |
| <i>Ilustración 7: Precio de la energía pagada según período y color del día</i> | 23 |
| <i>Ilustración 8: Reducción en el consumo para el grupo de trabajo CPP-F (precios de pico críticos fijos)</i> | 26 |
| <i>Ilustración 9: Representación del comportamiento del grupo con control directo de cargas (azul) y si no existiese el control de cargas (naranja)</i> | 33 |
| <i>Ilustración 10: Comparación entre la curva de demanda del grupo de control y el grupo piloto para 2004 y 2005. Día con evento CPP</i> | 35 |
| <i>Ilustración 11: Comparación de la reducción entre los grupos ADRS pertenecientes a las distintas compañías para días CPP y días normales</i> | 35 |
| <i>Ilustración 12: Reducción del grupo de control que poseía tarifas similares al grupo piloto con control directo de cargas pero sin gestión de cargas.</i> | 36 |
| <i>Ilustración 13: Distribución de los participantes residenciales</i> | 37 |
| <i>Ilustración 14: Distribución del consumo medio mensual para los distintos grupos</i> | 39 |
| <i>Ilustración 15: Distribución del consumo en un día laboral de otoño para los distintos grupos</i> | 40 |
| <i>Ilustración 16: Distribución del consumo en un día de fin de semana de otoño para los distintos grupos</i> | 41 |
| <i>Ilustración 17: Distribución del consumo en un día laborable de invierno para los distintos grupos</i> | 42 |
| <i>Ilustración 18: Distribución del consumo en un día de fin de semana de invierno para los distintos grupos</i> | 43 |
| <i>Ilustración 19: Representación de la variación de la demanda (rojo) con respecto al comportamiento habitual</i> | 52 |
| <i>Ilustración 20: Energía adquirida a los distintos productores</i> | 59 |
| <i>Ilustración 21: Potencia instalada en porcentaje respecto a la total</i> | 60 |
| <i>Ilustración 22: Mapa de la red de transporte en la península ibérica</i> | 61 |
| <i>Ilustración 23: Consumidores domésticos por compañía distribuidora</i> | 63 |
| <i>Ilustración 24: Curva de demanda del día 14/01/2009 (día laborable de invierno)</i> | 64 |
| <i>Ilustración 25: Curva de demanda 15/04/2009 (laborable primavera)</i> | 65 |
| <i>Ilustración 26: Curva de demanda 05/08/2009 (laborable verano)</i> | 65 |
| <i>Ilustración 27: Curva demanda 29/10/2009 (día laborable otoño)</i> | 66 |
| <i>Ilustración 28: Comparación por estaciones desde 21/09/2008 hasta 20/09/2009. Datos extraídos del Sios.Bi. REE</i> | 66 |
| <i>Ilustración 29: Distribución de la demanda por sectores año 2008 (documento Demanda Side Management Challenges)</i> | 67 |
| <i>Ilustración 30: Demanda por sectores año 2008</i> | 68 |
| <i>Ilustración 31: Curva de demanda sector comercial año 2008</i> | 69 |
| <i>Ilustración 32: Curva de demanda sector residencial año 2008</i> | 70 |
| <i>Ilustración 33: Curva de carga del hogar medio en un día laborable de invierno crudo. Año 2008. Proyecto INDEL</i> | 71 |
| <i>Ilustración 34: consumo de energía cada media hora de los electrodomésticos</i> | 76 |



| | |
|--|-----------|
| <i>Ilustración 35: Interfaz para calcular el consumo y el precio a pagar</i> | <i>77</i> |
| <i>Ilustración 36: Consumo de un hogar realizado en horas más tardías del día.....</i> | <i>78</i> |
| <i>Ilustración 37: Consumo de un hogar más distribuido. Con una persona o más de forma constante en el hogar.....</i> | <i>79</i> |
| <i>Ilustración 38: consumo de un hogar con programación de carga en lavavajillas, lavadora y secadora. Familia con gestión de demanda.....</i> | <i>80</i> |
| <i>Ilustración 39: Participación de la población para la alternativa 1</i> | <i>81</i> |
| <i>Ilustración 40: Participación de la población para la alternativa 2</i> | <i>81</i> |
| <i>Ilustración 41: Participación de la población para la alternativa 3</i> | <i>81</i> |
| <i>Ilustración 42: Consumo zona 1.....</i> | <i>82</i> |
| <i>Ilustración 43: Consumo zona 2.....</i> | <i>83</i> |
| <i>Ilustración 44: Consumo para zona 3</i> | <i>83</i> |
| <i>Ilustración 45: Consumo zona 4.....</i> | <i>84</i> |
| <i>Ilustración 46: Consumo total.....</i> | <i>84</i> |
| <i>Ilustración 47: Interfaz para la visualización de la demanda en el sector residencial .</i> | <i>86</i> |
| <i>Ilustración 48: Gráfico de la demanda tras aplicar las condiciones de la tabla 29.....</i> | <i>88</i> |
| <i>Ilustración 49: Gráfico de la demanda residencial optimizado.....</i> | <i>89</i> |
| <i>Ilustración 50: Gráfico optimizado para la tabla 32</i> | <i>90</i> |
| <i>Ilustración 51: Gráfico de la demanda para la tabla 32</i> | <i>91</i> |
| <i>Ilustración 52: Gráfico de la demanda para la tabla 35</i> | <i>92</i> |
| <i>Ilustración 53: Gráfico de la demanda para la tabla 35</i> | <i>92</i> |



Tablas

| | |
|--|----|
| <i>Tabla 1: Participantes My Power</i> | 15 |
| <i>Tabla 2: Precios My Power</i> | 16 |
| <i>Tabla 3: Precios TOU</i> | 17 |
| <i>Tabla 4: Precios TOU con CPP</i> | 17 |
| <i>Tabla 5: Características participantes</i> | 19 |
| <i>Tabla 6: Horas de cada período</i> | 19 |
| <i>Tabla 7: Precio energía en cada período</i> | 20 |
| <i>Tabla 8: Reducción en cada edificio</i> | 20 |
| <i>Tabla 9: Precio de período</i> | 23 |
| <i>Tabla 10: Resultados energéticos</i> | 24 |
| <i>Tabla 11: Precios de la energía para los distintos grupos</i> | 26 |
| <i>Tabla 12: Resultados energéticos</i> | 29 |
| <i>Tabla 13: Resultados energéticos</i> | 31 |
| <i>Tabla 14: Precios y períodos</i> | 38 |
| <i>Tabla 15: Participantes</i> | 44 |
| <i>Tabla 16: Resultados energéticos</i> | 45 |
| <i>Tabla 17: Modificaciones de las órdenes</i> | 45 |
| <i>Tabla 18: Resultados energéticos</i> | 47 |
| <i>Tabla 19: Participantes</i> | 49 |
| <i>Tabla 20: Balance de potencia instalada en régimen ordinario en el año 2008</i> | 58 |
| <i>Tabla 21: Balance de energía eléctrica nacional en régimen ordinario en el año 2008</i> | 58 |
| <i>Tabla 22: Energía adquirida al régimen especial por tecnología en GWh, año 2008</i> | 59 |
| <i>Tabla 23: Potencia instalada por tecnología en MW</i> | 60 |
| <i>Tabla 24: Número de consumidores por compañía eléctrica. Datos CNE 2008</i> | 62 |
| <i>Tabla 25: Datos para el consumo representado en la ilustración 36</i> | 78 |
| <i>Tabla 26: Datos para la ilustración 37</i> | 79 |
| <i>Tabla 27: Datos para la ilustración 38</i> | 80 |
| <i>Tabla 28: Porcentajes calentadores de agua con acumulación de calor</i> | 87 |
| <i>Tabla 29: Porcentajes aplicados para el primer caso</i> | 88 |
| <i>Tabla 30: Resultados ilustración 48</i> | 88 |
| <i>Tabla 31: Resultados ilustración 49</i> | 89 |
| <i>Tabla 32: Porcentajes para caso 2</i> | 89 |
| <i>Tabla 33: Resultados ilustración 50</i> | 90 |
| <i>Tabla 34: Resultados ilustración 51</i> | 91 |
| <i>Tabla 35: Porcentajes para el caso 3</i> | 91 |
| <i>Tabla 36: Resultados de la ilustración 52</i> | 92 |
| <i>Tabla 37: Resultados de la ilustración 53</i> | 93 |
| <i>Tabla 38: Precios para la tarifa de último recurso</i> | 94 |
| <i>Tabla 39: Número de horas por período</i> | 94 |
| <i>Tabla 40: Horario de punta y valle para el invierno y el verano</i> | 94 |
| <i>Tabla 41: Tarifa de bono social</i> | 95 |
| <i>Tabla 42: Tarifa de último recurso</i> | 95 |
| <i>Tabla 43: Propuesta de tarifa para la gestión de demanda</i> | 96 |
| <i>Tabla 44: Remuneración económica por potencia disponible para</i> | 97 |



1. Objetivo

El objetivo del presente proyecto fin de carrera es el análisis de proyectos internacionales en los que se realice una gestión de la demanda en el sector residencial y en pequeños comercios e industrias para estudiar cómo se implantaron y las repercusiones o impactos que tuvieron en la curva de la demanda de la electricidad de sus sistemas, y mediante estos estudios poder predecir el comportamiento y las pautas en una posible instalación en el sistema eléctrico español de este tipo de Gestión Activa de la demanda.

2. Introducción

En la actualidad, se están realizando multitud de proyectos con el fin de poder limitar las emisiones contaminantes a la atmósfera y realizar un uso responsable de la energía que ayude a que estas emisiones sean reducidas.

Como es conocido, en España se está apostando por la implantación de las energías renovables que irán desplazando poco a poco a las energías no renovables y permitan que su uso sea el menor posible. Por tanto, debido a la impredecibilidad de las energías renovables (y en especial la energía eólica) parece necesario realizar un uso de la energía eléctrica acorde a estas nuevas tendencias.

La gestión activa de la demanda se engloba dentro de un proyecto en el que se apuesta por la disminución del pico de demanda y la homogeneización de la curva de demanda del sistema eléctrico español. Por ello, este proyecto engloba un estudio del comportamiento de los usuarios, del sistema eléctrico peninsular, de las comunicaciones existentes entre cliente y los distintos sujetos tales como el operador del sistema y el operador de distribución y la implementación de electrodomésticos inteligentes que sean controlados remotamente por los sujetos anteriores.

Por tanto, el proyecto tiene por objetivo la modificación de la demanda de energía eléctrica, para que esta tenga un uso más responsable y eficiente. Para ello, se están desarrollando multitud de proyectos en otros países que les permita reducir la demanda y aplanar la curva de demanda. A parte, se busca que la integración de las energías renovables sea lo más alta posible y permita que el precio de la energía sea menor y al no requerir energías fósiles del extranjero, que España se convierta en un país energéticamente menos dependiente.

La curva de la demanda, que representa la cantidad de energía que requieren los usuarios a lo largo del día, tiene una forma característica en cada país, y depende de entre otras variables de la economía del país, de la estación del año, la meteorología, la cultura y la situación del país. En España, se aprecian dos modelos diferenciados en la curva de la demanda, uno para invierno y otro para verano, las diferencias entre estos, es la hora en la que se obtiene la punta de demanda y el número de picos que posee esta curva. Mientras que en invierno la curva de demanda tiene dos picos diferenciados, uno en torno a las 11 de la mañana y otro a las 8 de la tarde tal como se puede ver en la ilustración 1, en verano la curva tiene un pico bien diferenciado a las 13 horas, tal como se puede ver en la ilustración 2. La representación de estas curvas es la siguiente:

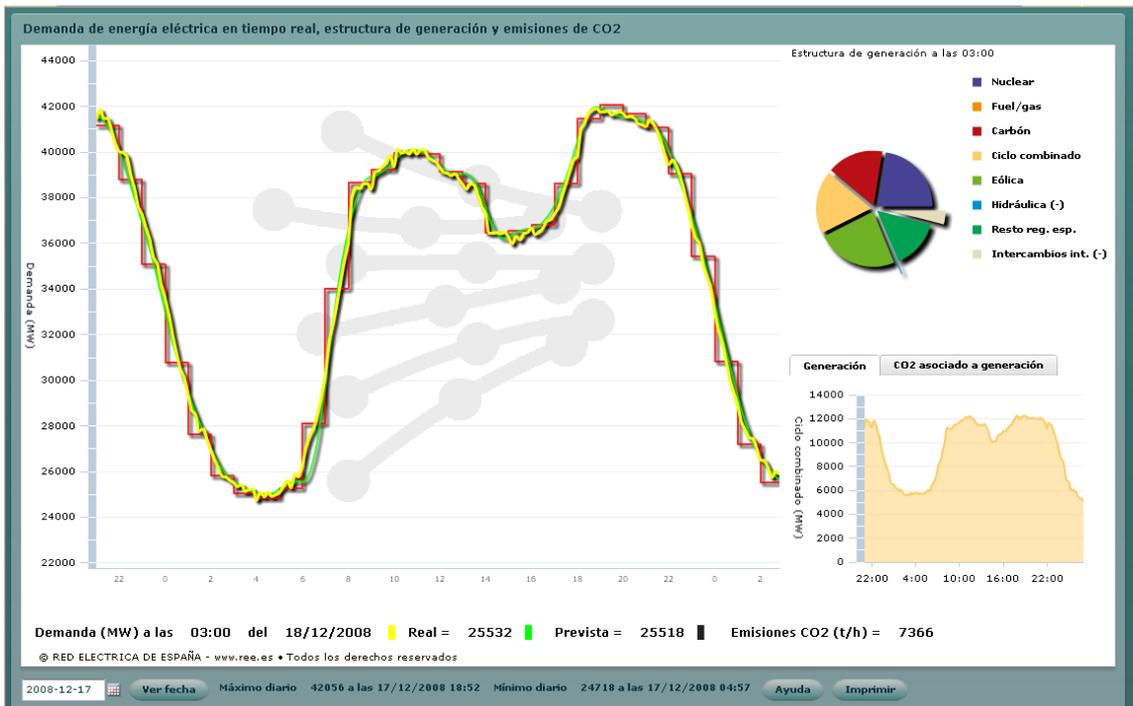


Ilustración 1: Curva de demanda para el día 17/12/2008¹.

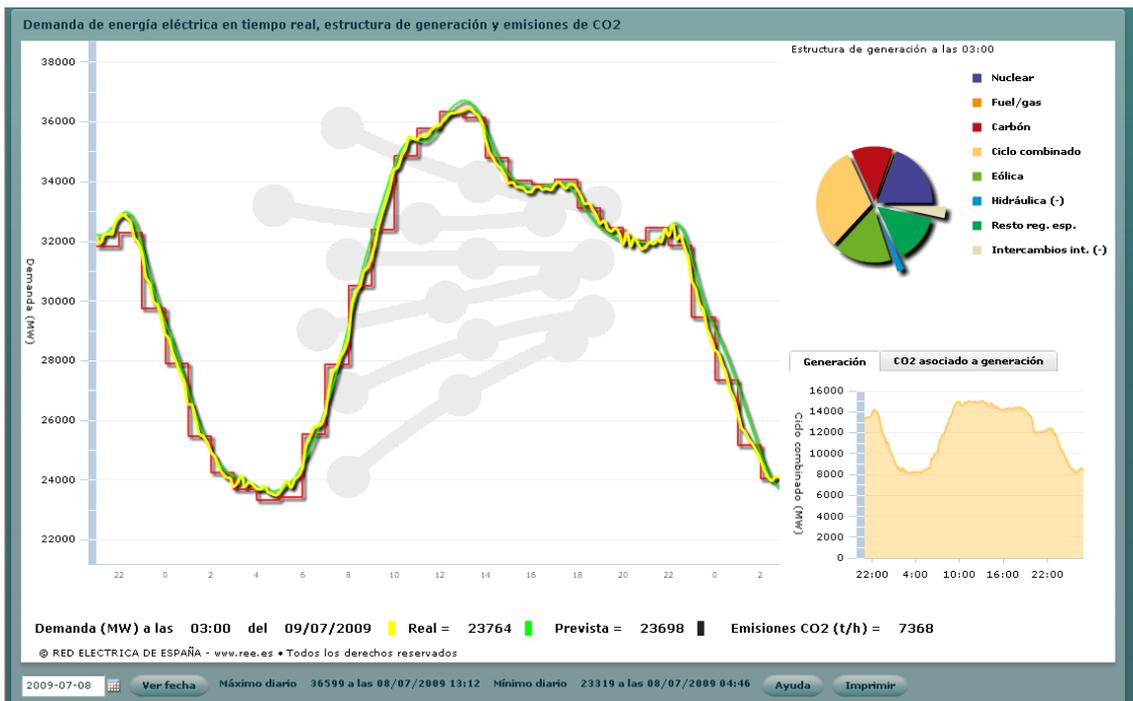


Ilustración 2: Curva de demanda para el día 08/07/2009

La ilustración 1 y la ilustración 2 han sido extraídas ya que representan el comportamiento típico de la demanda en los meses de invierno y verano. Estas curvas características pueden ser más o menos pronunciadas dependiendo de la temperatura media de España, a temperaturas medias más extremas en un día mayor será el consumo, y por tanto, mayor será la diferencia entre la demanda máxima y la demanda

¹ Gráfica obtenida de la web: demanda.ree.es/demanda.html



mínima, aumentando así la eficiencia de las instalaciones existentes (generación y redes)

El objetivo del proyecto de gestión de la demanda es reducir esta diferencia mediante propuestas que induzcan el traslado de la demanda a las horas en las que existe menor consumo con el fin de reducir el pico de demanda y aumentar la demanda en horas valle.

En este proyecto fin de carrera se analizará como se han realizado proyectos de gestión de la demanda en países del mundo, sus resultados y medios, y cómo se puede realizar en España, analizando normativa vigente y consumos en los hogares que se representan en el caso español.



3. Modelos de Gestión Activa de la Demanda

3.1 Estudios previos

A pesar de que la gestión de la demanda abarca multitud de vías para su ejecución, este proyecto se ha centrado en dos modelos de actuación, que son iniciativas de precios (*Pricing initiatives*) y control de cargas directo (*Direct load control*); dejándose para futuros análisis las repercusiones que producirían la generación distribuida y el aumento de la eficiencia en los nuevos electrodomésticos e iluminación, ya que sobre todo esta última se está llevando a cabo en la actualidad.

Las definiciones de los dos modelos de gestión activa de la demanda que se van a analizar son los siguientes:

- Iniciativas de precios “Pricing initiatives”: Se basa en el incentivo a gestionar la demanda, basándose en remuneraciones económicas, y en el envío de señales de precios. La gestión de la demanda, atendiendo a estas señales, se puede realizar de diversas formas, partiendo desde una forma manual (por ejemplo evitar poner el lavavajillas a una hora determinada), hasta una forma más compleja (mediante enchufes inteligentes programables o dispositivos de control que permitan la desconexión de elementos o reducir su consumo durante un período determinado de tiempo). Existen tres modelos en este tipo de gestión:
 - Tiempo de uso “Time of Use (ToU)”: se basa en dividir un día en varios períodos, en los cuales el precio de la electricidad varía. Como mínimo esta división debe de ser de dos períodos, y su número máximo no debe ser demasiado elevado para evitar que se provoque una confusión entre los usuarios. Este modelo, se basa en que según cuando consuman la electricidad los usuarios, estos pagarán más o menos por kWh en función del período de consumo. Así por ejemplo en un período punta, el precio de la electricidad puede ser del orden de 10 veces mayor que en un período valle, para incentivar que se produzca el consumo en el período valle.
 - Tiempo de uso con precio crítico de precio “ToU con CPP (Critical Peak Pricing)”: Este modelo está basado en el anterior, pero la gran diferencia se encuentra en la adicción de eventos CPP. Un evento CPP es la predicción de una gran demanda durante un período de tiempo determinado, que puede provocar que el precio de la energía sea muy elevado o que se pueda poner en peligro el suministro eléctrico para los usuarios. Por tanto, durante un evento CPP el precio de la electricidad puede ser del orden de 2 ó 3 veces el precio de la electricidad en horas punta. Estos eventos se deben avisar con suficiente antelación (mínimo con un día de antelación) para que los usuarios puedan tomar las medidas oportunas para reducir su consumo durante este período.
 - Precio en tiempo real “Real Time Pricing”: Este modelo se basa en la variación del precio de la electricidad según las contingencias de la red y según el precio de casación que se realice en el mercado. Es más difícil predecir el comportamiento del precio de la energía, ya que no solo influye la casación del mercado, sino también las contingencias que puedan aparecer. Así mismo, si el sistema eléctrico posee una generación



en régimen especial² con gran fluctuación, como puede ser la energía eólica, el precio se puede hacer aún más impredecible.

- Control directo de cargas “Direct load control (DLC)”: Se basa en que los usuarios disponen de un equipamiento suficientemente inteligente como para ser controlado de forma remota por parte del distribuidor o del operador de la red en la que se encuentre. La desconexión se realiza de forma directa por parte del operador, y se garantiza el confort de los usuarios. El grado de inversión para esta gestión de la demanda es mayor que para la anterior, pero también se produce por norma general un ahorro energético mayor. Estas desconexiones conllevan remuneraciones económicas, que pueden ser calculadas de distintas maneras.

Respecto a las remuneraciones económicas de las iniciativas de gestión de la demanda existen también varias formas de ser calculadas. Cada una tiene sus pros y sus contras, que serán analizadas a continuación:

- Remuneración basada en el consumo: Esta remuneración se calcula igual que se realiza en la actualidad en el sistema español. Se realizan medidas cada intervalo de tiempo establecido por el comercializador/distribuidor y se multiplica por el precio de la energía en ese período de tiempo. El precio total de la energía para un día es la suma de todas estas medidas.

$$\text{Coste}(\text{€}) = \text{precio energía horario} \left(\frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right) \cdot \text{energía medida (kWh)} \quad (1)$$

El problema que puede presentar este modelo es el cambio que se puede producir de pasar de una tarifa en la que el precio de la energía era constante a una con varios períodos, ya que se debe intentar que la factura del usuario refleje que realizando un uso adecuado de la energía su factura disminuye sustancialmente.

- Remuneración basada en línea base “baseline”: Esta forma de remuneración se basa en que mediante el histórico del consumo de un hogar se realiza una línea base para establecer un modelo de demanda para ese hogar. Esta curva es la que va a servir como referencia para establecer cuánto se debe descontar al usuario por su consumo de energía, en base a la diferencia entre la curva real y la curva base. Si su consumo de energía es mayor que el que marca la línea base de referencia, este usuario no tendrá ningún tipo de descuento en su factura. Si su curva de consumo es igual que la línea base, este usuario tampoco tendrá un descuento en su factura, pero sin embargo, este usuario consume menos que lo que consumía en su línea base, el usuario recibirá una cuantía económica igual a la cantidad de energía que haya rebajado por el precio que haya pactado con la compañía eléctrica. El principal problema que puede presentar este modelo es la forma de calcular la línea base. Si para calcular el modelo se basa en una regresión de pocos días, el problema puede ser que el usuario pueden adecuar la curva de demanda para consumir más de lo que realmente necesitan durante la

² Entendiéndose por régimen especial la generación que engloba energía eólica, solar,



ejecución de los modelos de regresión de la línea base para que cuando se necesite esta curva para establecer los pagos debidos a cada usuario, este reciba dinero simplemente por no ahorrar energía. Esta forma de calcular la energía es la que se suele emplear en modelos de pricing initiatives. Se basa en que según un histórico de demanda que se tuviera, todo aquel consumo que se realice y sea menor a la demanda que se tiene como modelo se le paga a un precio establecido. Por tanto, los usuarios se pueden ver motivados a manipular su curva de demanda para que esta sea mayor de lo normal así al realizar un consumo normal en un evento CPP, que se les remunere económicamente por no hacer una gestión de la demanda. La forma de realizar este tipo de cálculo es la siguiente:

$$\text{Coste}(\text{€}) = PE \left(\frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right) \cdot EC (\text{kWh}) - PEB \left(\frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right) \cdot ER(\text{kWh}) \quad (2)$$

Donde:

- PE es el precio de la energía consumida (€/kWh).
- EC es la energía consumida en un período de tiempo (kWh).
- PEB es el precio de la energía a bajar (€/kWh).
- ER es la energía reducida respecto al modelo base (kWh). La forma de calcular esta energía es la siguiente:

$$ER = EB - EC \quad (3)$$

Donde:

- ER es la energía reducida (kWh).
 - EB es la energía del modelo base (kWh).
 - EC es la energía consumida (kWh).
- Remuneración por tener un control de carga: Esta forma de pago, se basa en que la compañía eléctrica paga una cuota fija por poder gestionar de forma directa algunas cargas del hogar y además paga por el uso de esta energía, es decir, la energía que reduzca te la pagará al precio pactado en un contrato previo.

La forma de pago de los diversos proyectos analizados suele realizarse de forma separada, es decir, se suele pagar la electricidad consumida en forma de factura normal, y el dinero ahorrado se ingresa a parte, en otra factura; no se hace una rebaja en la factura a pagar, ya que así se hace hincapié en el ahorro de energía realizado. Esta forma de pago, es la más utilizada en modelos de “baseline” y en modelos de control de cargas.

A continuación se van a exponer los casos que se han analizado. Tras el análisis de estos casos, se exponen las ideas más importantes desde el punto de vista del proyecto de gestión activa de la demanda. En algunos casos, la información que se presentaba en los documentos localizados era muy resumida, debido a que los datos tratados son confidenciales.



Proyecto fin de carrera: Gestión activa de la demanda de energía eléctrica

En general, la mayor parte de los casos se han realizado en Estados Unidos, aunque también se han encontrado proyectos orientados a la gestión de la demanda en Europa, Canadá y Oceanía.



3.2 Casos analizados

Los casos que a continuación se van a analizar se han dividido en dos grandes grupos. Estos grupos son los que se han explicado en el apartado anterior.

Primeramente se empezará con las iniciativas de precios “*pricing initiatives*” entre los que se encontrarán casos de tiempo de uso “Time of Use” y tiempo de uso con eventos críticos de precios “*ToU with CPP*”. Una característica importante que se podrá observar es que en algunos proyectos las reducciones de la demanda se deben hacer de forma manual, y en otros, existen elementos que facilitan esta tarea, como por ejemplo, termostatos programables.

Seguidamente se analizarán los proyectos que se basan en el control remoto de cargas. Estos proyectos son los que producen mayor ahorro energético, pero también tienen un coste de ejecución mayor. Su complejidad es mayor, ya que se deben establecer comunicaciones de forma bidireccional entre la vivienda y el centro de operación.

3.2.1 Pricing initiatives

Los proyectos que se van a analizar en este proyecto son:

- Programa piloto Mi Energía
- Amerenue. Missouri
- Edificio Navigant consulting
- Tarifa eléctrica Tempo - Francia
- Fijación de precios en California para pequeños consumidores
- Flexibilidad en los usuarios finales por el eficiente uso de la información y comunicación - Noruega



Programa piloto Mi Energía

Ficha del proyecto

Localización: No se indica la localización exacta del proyecto, sin embargo, al ser la compañía eléctrica PSE&G la promotora del proyecto, se realizó en la costa pacífica de EEUU.

Fecha de ejecución: Verano del 2006.

Medidas tomadas: El proyecto se basaba en dos subproyectos paralelos para estudiar el comportamiento de cada uno, estos proyectos son:

- “MyPower Sense”: diseñado para saber cómo de bien los clientes respondían al precio de la energía, y cómo reducían la demanda durante CPP, cuando eran avisados o con información. Los participantes debían tomar las medidas de forma manual. A estos participantes la empresa les daba unos cursos de información y toma de medidas para disminuir el consumo.
- “MyPower Connection”: Las bases eran similares a las del proyecto anterior, la diferencia era que a los participantes se les daba un termostato programable para que pudieran reducir el consumo de sus aires acondicionados mediante la programación del termostato.

Motivación de los participantes: A los participantes se les pagó un incentivo por participar al principio y al final del proyecto, así como una tarificación en función de la hora de uso de electricidad. El programa pertenece al grupo de TOU con CPP.

Resultados

- **Participantes:** El total de participantes se muestra en la tabla 1:

| | |
|-----------------------------|--------------------|
| MyPower Sense TOU/ CPP | 459 consumidores |
| MyPower Connection TOU/ CPP | 377 consumidores |
| Grupo de control | 450 consumidores |
| Total | 1.286 consumidores |

Tabla 1: Participantes *My Power*

- **Período de reducción:** El fin del proyecto es fomentar el consumo de energía eléctrica en horas no punta, mediante la aplicación de una reducción del coste de energía en horas valle, cuando la demanda de energía eléctrica es más baja.
- **Equipamiento utilizado:** A pesar de que había dos proyectos, solo había un tipo de aparato que facilitaba la empresa, y era para el caso de MyPower Connection, que era un termostato programable que recibía los precios directamente de la compañía y podía programarse para ajustar el aire acondicionado en función del precio.
- **Comunicación:** La comunicación era vía email o vía telefónica en el caso de MyPower Sense y de forma automática a los termostatos en el caso de MyPower Connection.



- Grado de satisfacción de los usuarios: MyPower Sense obtuvo una nota de 7,4 por los usuarios, el 74% de los usuarios estaban satisfechos con el programa.

MyPower Connection tuvo una nota de 7,5 y el 82% de los participantes acabaron satisfechos.

Entre los motivos de insatisfacción estaban una mala instalación (MyPower Connection), mayor gasto en facturas, y complejidad del programa.

Durante un período CPP, más de la mitad de los participantes decían haberse encontrado de forma confortable en sus hogares.

- Inversión inicial: La compañía PSE&G fue la encargada de facilitar los termostatos programables al grupo de MyPower Connection así como las campañas de información a los usuarios.
- Remuneración económica: El precio de la energía a pagar se obtenía de la siguiente fórmula:

$$C = (\text{precio base} + \text{precio período horario}) \cdot \text{Energía consumida} \quad (4)$$

Donde los precios tanto base como del período horario son los que se muestran en la tabla 2:

| Período | Precio | Utilización |
|--------------------------|---------------|---|
| Precio base | 9,20 cent/kWh | Todas las horas |
| Descuento nocturno | -5 cents/kWh | De 10 de la noche a 9 de la mañana |
| Suplemento punta | 8 cents/kWh | De 1 de la tarde a 6 de la tarde en diario |
| Suplemento punta extremo | 69 cents/kWh | Aviso previo: 1 de la tarde a 6 de la tarde en diario |

Tabla 2: Precios My Power

A parte de estos incentivos económicos se les pagó 25\$ al inicio y 75 \$ al final del proyecto a MyPower Sense y el termostato gratuito y 75\$ al final del proyecto a los participantes de MyPower Connection.

- Resultados energéticos: Los datos estadísticos, muestran que el ahorro con el proyecto MyPower Connection fue mucho mayor que el ahorro con MyPower Sense. Para el primero el ahorro por consumidor en período CPP fue de 2,12kW y para el segundo 1,11kW, por lo que parece que en el proyecto analizado, con MyPower Connection la disminución de demanda pico es del doble que con MyPower Sense.



Amerenue. Missouri

Ficha del proyecto

Localización: Amerenue, Missouri, Estados Unidos.

Fecha de ejecución: Primavera del año 2005

Medidas tomadas: Reducir el consumo de la demanda en horas punta mediante una tarificación que se basa en 3 ó 4 precios.

Motivación de los participantes: Remuneración económica por una participación activa en el programa.

Resultados

- Participantes: Sin datos.
- Período de reducción: Reducción en horas de demanda punta. (CPP).
- Equipamiento utilizado: Hay dos tipos de usuarios, los que disponían de termostatos, y los que no disponían.
- Comunicación: Sin datos.
- Grado de satisfacción de los usuarios: Sin datos.
- Inversión inicial: Sin datos.
- Remuneración económica: Los precios que se pagan son los siguientes:

- o Para 3 TOU (Time-of-use):

| | | |
|-------|--|-------------------|
| Valle | Laborables 10 noche – 10 mañana, fines de semana, festivos | 4,8cents \$/kWh |
| Llano | Laborables 10 mañana – 3 tarde y 7 tarde – 10 noche | 7,5cents \$/kWh |
| Punta | Laborables 3 tarde - 7 tarde | 18,31cents \$/kWh |

Tabla 3: Precios TOU

- o Para 3 TOU con CPP:

| | | |
|-------|---|--------------------|
| Valle | Laborables 22 - 10, fines de semana, festivos | 4,8cents \$/kWh |
| Llano | Laborables 10 - 15 y 19 - 22 | 7,5cents \$/kWh |
| Punta | Laborables 15 - 19 | 16,75 cents \$/kWh |
| CPP | Laborables 15 - 19 (10 veces al verano) | 30cents \$/kWh |

Tabla 4: Precios TOU con CPP

- Resultados energéticos: Los consumidores que tuvieron CPP únicamente (sin termostato) ahorraron una media de 0,63kW. Los que tenían la misma



tarificación, pero con termostato, tuvieron un ahorro energético medio de 1.36kW. En la siguiente ilustración se puede ver cómo varía el consumo de energía eléctrica para ambos casos en un día en concreto:

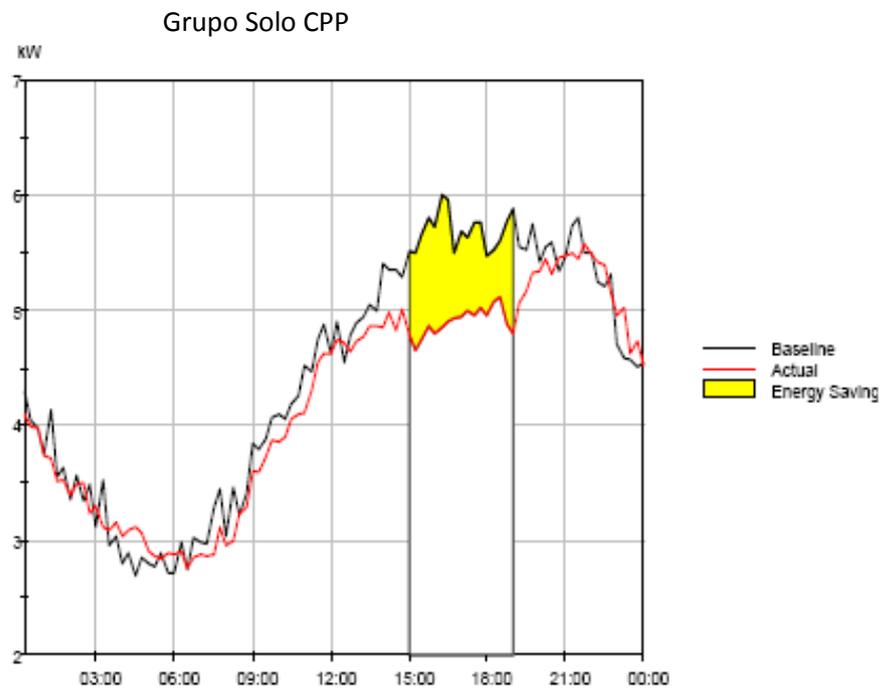


Ilustración 3: Gráfica consumo día 21/07/2005 para el grupo solo CPP

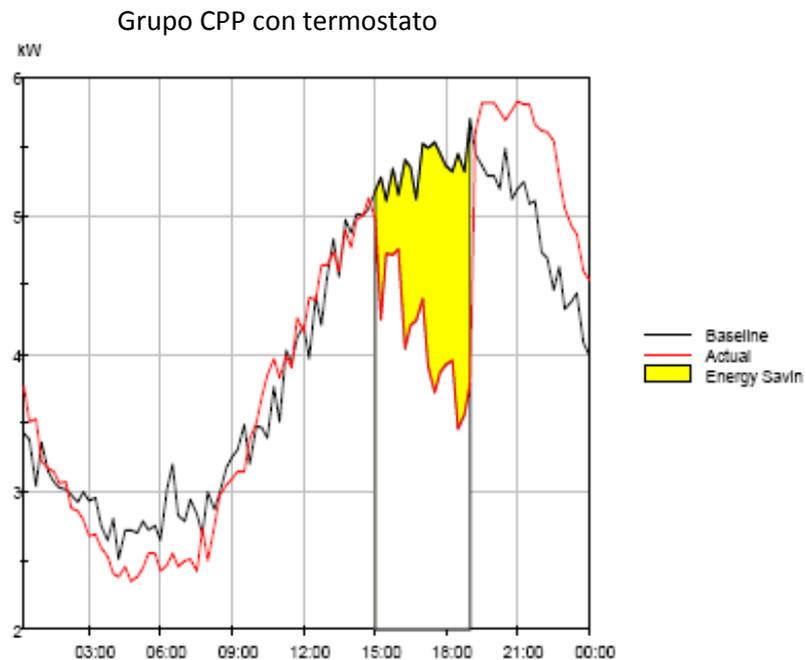


Ilustración 4: Gráfico consumo 21/07/2005 grupo CPP con termostato



Edificio Navigant consulting

Ficha del proyecto

Localización: Oakville, Ontario, Canadá.

Fecha de ejecución: Desde enero del 2006 hasta octubre del 2007.

Medidas tomadas: Estudiar las repercusiones que tenía que la electricidad se midiera en contadores individuales, y el cambio en el consumo que tendría pasar de un RPP (plan de precios regulado) a un ToU. Así mismo, se les dio a algunos participantes un control sobre los calentadores de agua.

Motivación de los participantes: Poder ser conscientes del consumo que iban a tener debido al cambio de contadores eléctricos para todo el edificio a contadores individuales con discriminación horaria, que permitiera una nueva tarificación basada en un modelo tiempo de uso.

Resultados

- Participantes:

| | Edificio 1 | Edificio 2 | Edificio 3 |
|------------------------------------|---|-------------------------|--|
| Número de consumidores | 74 | 83 | 70 |
| Características demográficas | Solteros y casados. | | Jubilados |
| Forma de comunicar las actividades | Reunión general con todos los del edificio | Sin reunión informativa | Visitas individuales a los participantes |
| Calefacción primaria del edificio | Gas natural central | | Calefacción eléctrica |
| Calefacción secundaria | Bombas de calor individuales y calentadores de placa base | | Calentadores de placa base |
| Sistema de aire acondicionado | Bombas de calor individuales | | N/A |
| Agua caliente | Tanque con agua calentada con Gas natural | | Calentadores individuales eléctricos |

Tabla 5: Características participantes

- Período de reducción:

| | Verano (1 Mayo – 31 Octubre) | Invierno (1 Noviembre – 30 Abril) |
|-------|---|--|
| Valle | Laborables: 10 noche– 7 mañana Fin de semana y vacaciones: 24h | Laborables: 10 noche – 7 mañana Fin de semana y vacaciones: 24h |
| Llano | Laborables: 7 mañana – 11 mañana y 5 tarde - 10 noche | Laborables: 11 mañana – 5 tarde y 8 tarde – 10 noche |
| Punta | Laborables: 11 mañana – 5 tarde | Laborables: 7 mañana – 11 mañana y 5 tarde – 8 tarde |

Tabla 6: Horas de cada período

- Equipamiento utilizado: Contadores individuales y control de cargas para algunos calentadores (solo en algunas viviendas seleccionadas).



- **Comunicación:** El proyecto no necesita ningún tipo de comunicación adicional a la normal, ya que se trata de un modelo de tiempo de uso, lo único que se debe tener en cuenta es el período en el que se está, para saber cuándo es punta, llano o valle.
- **Grado de satisfacción de los usuarios:** No hay comentarios al respecto.
- **Inversión inicial:** La única inversión inicial que se realizó fue el cambio de contadores de edificios por contadores individuales a cargo de la compañía eléctrica.
- **Remuneración económica:** Para el ToU, los precios fueron los siguientes:

| | Mayo 2006 / Octubre 2006 | Noviembre 2006 / Abril 2007 | Mayo 2007 / Octubre 2007 |
|-------|-----------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Valle | 3.5 Can\$/kWh | 3.4 Can\$/kWh | 3.2 Can\$/kWh |
| Llano | 7.5 Can\$/kWh | 7.1 Can\$/kWh | 7.2 Can\$/kWh |
| Punta | 10.5 Can\$/kWh | 9.7 Can\$/kWh | 9.2 Can\$/kWh |

Tabla 7: Precio energía en cada período

Se pagaba por el uso de energía. Los precios eran revisados cada 6 meses.

- **Resultados energéticos:** Se observan variaciones en el consumo de energía eléctrica. El comportamiento en los distintos edificios es diferente:

| Grupo | Punta | Llano | Valle | | | Total |
|------------|--------|--------|--------|---------------|-----------|--------|
| | | | Diario | Fin de semana | Combinado | |
| Edificio 1 | -10.4% | -20.1% | -15.0% | -10.4% | -12.1% | -14.1% |
| Edificio 2 | -6.4% | -13.0% | -12.6% | -8.7% | -10.1% | -10.2% |
| Edificio 3 | -2.8% | -1.9% | 9.9% | 4.5% | 6.5% | 2.2% |

Tabla 8: Reducción en cada edificio

Estos porcentajes han sido calculados como la media de:

$$\% = \frac{\text{Consumo ToU (kWh)} - \text{Consumo preToU(kWh)}}{\text{Consumo preToU(kWh)}} \cdot 100 \quad (5)$$

Gráficamente, se puede observar en la siguiente gráfica desglosada por períodos:

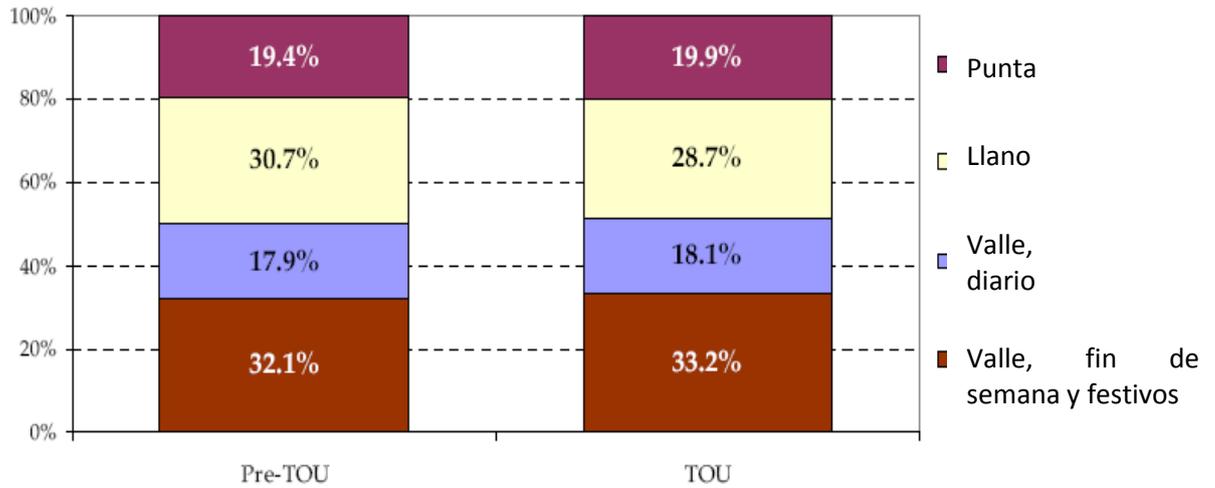


Ilustración 5: Distribución consumo energía antes y después del cambio de contadores. Usuarios sin calentador de agua

Respecto a los consumidores que disponían de control de carga en el calentador de agua, se tiene el siguiente gráfico de consumo:

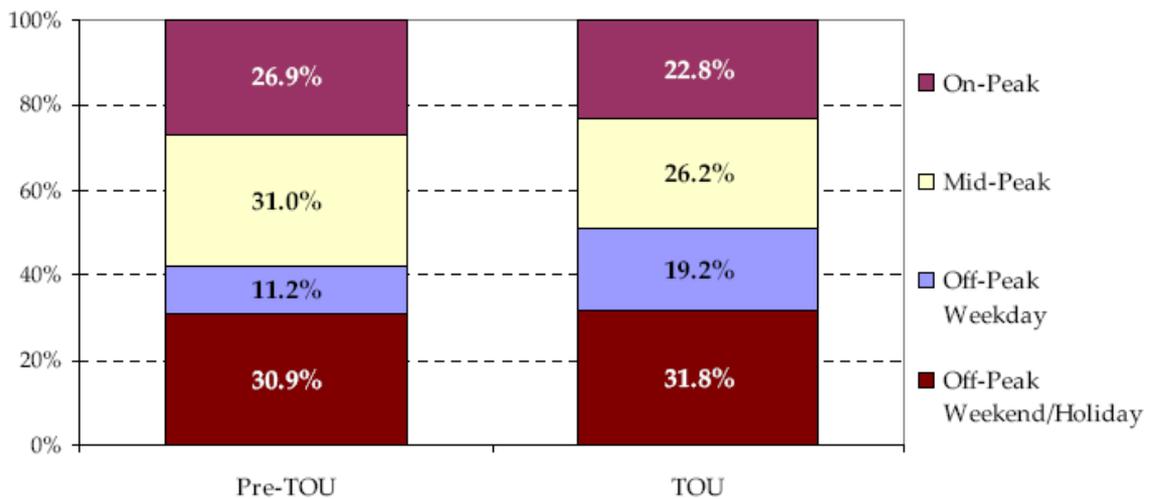


Ilustración 6: Distribución consumo energía antes y después del cambio de contadores. Usuarios con calentador de agua



Tarifa eléctrica Tempo - Francia

Ficha del proyecto

Localización: Francia.

Fecha de ejecución: Desde 1995 está disponible y activo este proyecto.

Medidas tomadas: Existen 3 tipos de tarificación distintos, de los cuales, se debe elegir uno en función del uso de energía que se realice. Estas tarifas pueden ser elegidas con total libertad por los consumidores, en función de aquella que crean que va a producirles un mayor ahorro en la factura eléctrica.

Esta opción es válida para un sistema monopolístico, no para un sistema con mercado en competencia perfecta.

Motivación de los participantes: Los participantes se ven envueltos en el proyecto ya que es una tarifa eléctrica vigente, y en la cual deberán hacer una buena elección y participación si no quieren tener una factura eléctrica demasiado elevada.

Resultados

- Participantes: El número total de participantes es de 450.000, 350.000 pertenecen al sector residencial, y 100.000 pertenecen a pequeños comercios.
- Período de reducción: La tarificación va orientada a reducir la demanda en horas punta, y en los días de mayor demanda. Las horas en las que se busca la mayor reducción de consumo es de 6 de la mañana a 10 de la noche.
- Equipamiento utilizado: Todos disponían de contadores con discriminación horaria, algunos aparte de esto, tenían, dependiendo de la tarifa: Un calentador que podía ser encendido mediante una fuente de energía u otra, un termostato tempo, el cual permitía al cliente tener un control de los calentadores de acuerdo con el precio de la energía, o un sistema confort que consistía en que cada cliente tenía un sistema más sofisticado de la energía.
- Comunicación: La comunicación se hacía vía Internet o para aquellos que no disponían de Internet vía telefónica. Para aquellos que dispusiesen de la tarifa Tempo, a las 20 horas se enviaba una señal a través de las líneas eléctricas, usando control remoto. La mayoría de los usuarios tenían un display que mostraba el color del día con luces. Algunos de estos displays disponían de una alarma Sonora que sonaba si el día siguiente iba a ser de color rojo.
- Grado de satisfacción de los usuarios: El 90% de los usuarios encuestados se mostraban satisfechos con los resultados y no notaron ninguna variación del confort debido a la disminución de consumo derivada de la tarifa eléctrica.
- Inversión inicial: No hay información facilitada.
- Remuneración económica: Existen 3 tipos de contratos eléctricos:
 - o Opción base: Es la más simple, es la mejor para bajos consumos, en pequeñas casas y en casas de vacaciones para un uso ocasional.
 - o Opción HC: Es una tarifa con dos franjas horarias, con horas normales y horas valle. Las horas valle son desde las 10 de la noche hasta las 6 de la mañana y en algunas regiones también a medio día. Esta opción es usada en hogares con calentadores de agua con acumulador de calor, que son operados por control remoto (ripple



control), de tal forma que los elementos que calientan solo se encienden en horas valle.

- Opción Tempo: Seis ratios de precio de electricidad basado en el tiempo que haga ese día y en la hora de uso. Con la opción Tempo, cada día tiene un código de color, hay 3 colores (azul, blanco y rojo) que corresponden con los precios de energía bajos, medios y altos.

El color del día es determinado por la compañía eléctrica (en este caso EDF) en base a la cantidad de energía que se va a demandar. Cada día, por la noche, se informa a los usuarios del color del día siguiente. Para realizar este cálculo se basaban en la experiencia de días similares, la previsión del tiempo y la información del operador del sistema respecto a congestiones de líneas.

Cada día además tiene dos períodos normal y valle. Las reglas de Tempo son las siguientes:

- El año Tempo empieza el 1 de septiembre.
- El día Tempo empieza a las 6 am.
- El número de días por año para cada color es fijo y es el siguiente: 300 azules, 43 blancos y 22 rojos.
- Los domingos son siempre azules.
- Los días rojos no pueden ser festivos, fin de semana o más de 5 días laborables seguidos.

Los precios para la opción tempo fueron los siguientes (en 2005):

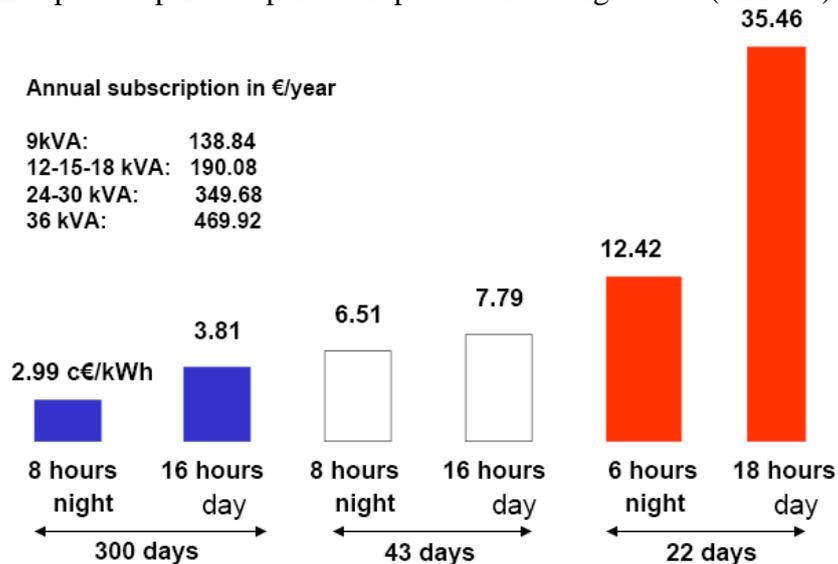


Ilustración 7: Precio de la energía pagada según período y color del día

| Día | Azul | Blanco | Rojo |
|-------|-------------|-------------|--------------|
| Valle | 2.99 c€/kWh | 6.51 c€/kWh | 12.42 c€/kWh |
| Punta | 3.81 c€/kWh | 7.79 c€/kWh | 35.46 c€/kWh |

Tabla 9: Precio de período

- Resultados energéticos: Los ahorros energéticos obtenidos son los siguientes:

| Clientes residenciales | Comercios y pequeñas industrias |
|------------------------|---------------------------------|
| 350.000 | 100.000 |



| | |
|--|-------------------------------|
| | Reducción de punta de demanda |
| | 450 MW |

Tabla 10: Resultados energéticos

Comparado con los días azules, se tuvo una reducción del consumo de electricidad de un 15% en los días blancos y de un 45% en los días rojos, con una media de reducción de 1kW por consumidor.



Fijación de precios en California para pequeños consumidores

Ficha del proyecto

Localización: California, Estados Unidos.

Fecha de ejecución: Desde el año 2003 hasta el año 2005.

Medidas tomadas: Se realizaron 3 distintos tipos de tarificación, además de facilitar aparatos de forma gratuita, para la gestión de la demanda a aquellos usuarios que lo solicitasen.

Motivación de los participantes: Los participantes recibían una prima por participar así como los posibles ahorros en la factura que pudieran tener asociado los clientes.

Resultados

- Participantes: Los participantes fueron 1861 clientes residenciales y 630 clientes pertenecientes a pequeños comercios o industrias pequeñas, estos dos últimos con demanda inferior a 200kW. Fueron reclutados de forma aleatoria, aunque debían confirmar su participación.
- Período de reducción: Para clientes residenciales de 2 p.m. a 6 p.m. y para clientes comerciales o industriales desde el mediodía hasta las 6 p.m.
- Equipamiento utilizado: Se realizaron dos grupos, uno en el que las viviendas ya estaban equipadas con termostatos programables, y otro en el que los usuarios podían instalar de forma gratuita calentadores y termostatos, siempre que ellos quisiesen. Los usuarios eran preguntados para poder instalar de forma totalmente gratuita aparatos para el control de la demanda, tales como termostatos o controladores de carga, así mismo, un grupo de trabajo tenía ya instalados termostatos programables.
- Comunicación: La comunicación se realizaba vía email o por teléfono para avisar de un evento de demanda crítica.
- Grado de satisfacción de los usuarios: El grado de satisfacción de los usuarios fue en general elevado. Una media del 40% de los participantes evaluaron al proyecto con una nota comprendida entre 9 y 10. Y una media de 86.75% de los usuarios aprobaron el funcionamiento del proyecto.
- Inversión inicial: La inversión inicial en este proyecto parece bastante baja, ya que aparentemente, no demasiados clientes solicitaron la instalación de aparatos para el control de la demanda, además no se comenta que necesitara de un tipo especial de comunicación.
- Remuneración económica: Los clientes por participar percibían una remuneración económica de 175\$ si eran clientes residenciales y de 500\$ si eran clientes comerciales o industrias y además su demanda era mayor de 20kW.

Además se establecieron unas remuneraciones económicas mediante ToU y mediante CPP. Los costes del kWh fueron los siguientes:



| Grupo | Tipo de día | Media de precio (c\$/kWh) |
|--------------|----------------|---------------------------|
| CPP- Fijo | Día crítico | Punta=59 Valle=9 |
| | Día normal | Punta=22 Valle=9 |
| CPP-Variable | Día crítico | Punta=65 Valle=10 |
| | Día normal | Punta=24 Valle=10 |
| TOU | Todos los días | Punta=59 Valle=9 |

Tabla 11: Precios de la energía para los distintos grupos

Para los comercios e industrias, se dividió en dos grupos:

- LT20, los que tenían una demanda inferior a 20kW. La media de los precios fue de 0.17\$/kWh para el período estándar y de 1\$/kWh para el período crítico.
- GT20, los que tenían una demanda superior a 20kW. La media de los precios fue de 0.16\$/kWh para el período estándar y de 0.6\$/kWh para el período crítico.

- Resultados energéticos: Los ahorros energéticos que se observaron son los siguientes:

- Para los clientes residenciales:

- Impacto de CPP-F: El siguiente gráfico representa el comportamiento de los consumidores:

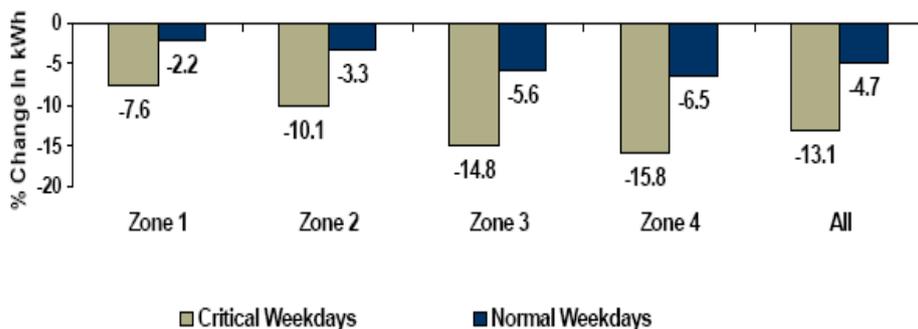


Ilustración 8: Reducción en el consumo para el grupo de trabajo CPP-F (precios de pico críticos fijos)

Se observa que en las zonas 3 y 4 la reducción tanto en días CPP como en días normales fue mayor que en las zonas 1 y 2. En los días normales, el ahorro energético den las zonas 3 y 4 doblan aproximadamente al ahorro en las zonas 1 y 2.

- Impactos de ToU: La reducción media fue de 5.9%. Más complicado fue el análisis sobre la variación de los precios diarios de ToU a lo largo del tiempo, ya que este proyecto



fue muy pequeño, y esto produjo que fuese difícil obtener de forma precisa la responsabilidad de los precios.

- Impactos de CPP-V: La reducción en el uso de energía del grupo “Track A” fue de al menos el 16%, que es un 25% superior a la realizada por CPP-F. La reducción del consumo de energía para “Track C” fue de alrededor del 27%. Se puede sacar la conclusión de que con la tecnología adecuada (“Track C”) se consigue un mayor ahorro energético.
- Impacto en el grupo de solo información: No hay relevancia en que este grupo redujera su consumo, por lo que parece que el incentivo económico es bastante necesario.
- Para los clientes comerciales e industrias: La reducción del pico de demanda para el grupo LT20 fue del 6.59% y para el grupo GT20 fue de 5.47%.



Flexibilidad en los usuarios finales por el eficiente uso de la información y comunicación - Noruega

Ficha del proyecto

Localización: Noruega.

Fecha de ejecución: Año 2001 – 2002.

Medidas tomadas: Equipamiento a los participantes para que pudieran participar de forma activa mediante una desconexión manual, o de forma pasiva, mediante un control remoto de cargas por parte de la compañía.

Motivación de los participantes: Los participantes reciben un incentivo de ahorro monetario en las facturas siempre que su consumo sea mayor en horas valle que en punta, aunque dependiendo del tipo de tarifa que tengan, este ahorro puede ser mayor o menor.

Resultados

- Participantes: Según los grupos de tarifas, los participantes fueron los siguientes:
 - o TOU tarifas de la red y precio de tarifa de energía in situ y control de carga con 1230 participantes.
 - o TOU tarifas de la red y estándar tarifa de energía oferta sin control de carga con 39 participantes.
 - o Estándar de tarifas de la red de oferta y precio de tarifa de energía in situ, sin control de carga, con 17 participantes.
 - o TOU tarifas de la red y precio de tarifa de energía in situ, sin control de carga, con 6 participantes.
- Período de reducción: Entre las 7 y las 11 de la mañana y entre las 4 y las 8 de la tarde en días laborables de noviembre a abril.
- Equipamiento utilizado: Un sistema de tomas de medidas horario. Un canal separado para el control directo de los calentadores de agua.
- Comunicación: bidireccional utilizando radio, PLC, GSM, GPRS y PSTN.
- Inversión inicial: Los costes estimados por participante fueron de 450 NOK en costes de equipamiento más instalación, y en 230 NOK en costes operacionales.
- Remuneración económica: En horas punta, el precio era de 0.88 NOK. En horas valle, el precio era de 0.02 NOK, también para los días laborables, los fines de semana y las vacaciones. Existen 5 tipos de tarifas:
 - o Tarifas de la red horaria y el nivel de aranceles de la energía oferta.
 - o Tarifas de la red y el precio de tarifa horaria el terreno de la energía.
 - o Tarifa horaria de la red, precio de tarifa de energía in situ y control de la carga directa de los calentadores de agua.
 - o Estándar de tarifas de la red de oferta y precio de tarifa de energía in situ.
 - o Estándar de tarifas de la red de oferta, precio de tarifa de energía in situ y control de la carga directa de los calentadores de agua.
- Resultados energéticos: La tabla 12 muestra los resultados energéticos:



| Clientes residenciales | Pico de demanda reducido |
|------------------------|--------------------------|
| 10.894 | 3.2MW |

Tabla 12: Resultados energéticos

Las reducciones de consumo debidos a las distintas opciones son las siguientes:

Para el grupo de control de Buskerud Kraftnett AS

Tarifas de la red por tiempo de uso – aproximadamente 0.18 kWh/h

Precio horario del mercado de la energía - aproximadamente 0.6 kWh/h

Control directo de cargas de calentadores de agua - aproximadamente 0.5 kWh/h

Tarifas de red por tiempo de uso más precio horario del mercado de la energía - aproximadamente 1 kWh/h

Para el grupo de Skagerak Energy Nett AS

Tarifas de la red por tiempo de uso - aproximadamente 0.18 kWh/h

Precio horario del mercado de la energía - aproximadamente 0.4 kWh/h

Control directo de cargas de calentadores de agua - aproximadamente 0.57 kWh/h

Tarifas de red por tiempo de uso más precio horario del mercado de la energía - aproximadamente 0.3 kWh/h

El grupo de tarifa horaria de la red, precio de tarifa de energía in situ y control de la carga directa de los calentadores de agua, comparado con el grupo de referencia, la reducción fue del 12% por la mañana y del 14% por la tarde.

Tarifas de la red horaria y el nivel de aranceles de la energía oferta, la reducción fue del 10% por la mañana y el 7% por la tarde. Para el grupo estándar de tarifas de la red de oferta y precio de tarifa de energía in situ, se redujeron los consumos en los dos períodos, esta reducción fue del 15% por la mañana y del 22% por la tarde.

Para el grupo de tarifas de la red y el precio de tarifa horaria el terreno de la energía, la reducción fue del 35% por la mañana y del 31% por la tarde.



3.2.2 Control directo de cargas

Los casos que se van a analizar son los siguientes:

- Implementación de la gestión de la demanda en Oslo.
- Respuesta de la demanda en viviendas con calentadores eléctricos – Dinamarca.
- Respuesta automática de la demanda en California.
- Proyecto de la península Olímpica.
- LipaEdge, control directo de cargas.
- Sacramento, Estados Unidos.
- PEF, control directo de cargas.
- Control directo de aires acondicionados. Australia

Implementación de la gestión de la demanda en Oslo.

Ficha del proyecto

Localización: Oslo, Noruega.

Fecha de ejecución: Sin datos.

Medidas tomadas: Mejora de eficiencia de aparatos eléctricos y automatización de cargas (entre estas medida se incluye la automatización de calentadores de agua con acumulación y sistemas de calefacción, siempre y cuando estos sean eléctricos).

Motivación de los participantes: El estudio extrajo la conclusión de que los usuarios deben estar fuertemente motivados para tener una actuación activa independientemente de que exista una reducción de la factura eléctrica.

Resultados respecto a los proyectos:

- Proyecto 1:
 - Participantes: 156 viviendas de distintas características, tanto en los tipos de viviendas que habitaban, como en el medio de comunicación que iban a tener.
 - Período de interrupción: Hora punta (no se especifica la hora concreta).
 - Equipamiento utilizado: Consistía en un controlador de carga, transmisor y relés/interruptores en la caja de los automáticos de cada apartamento. La toma de medidas se realizaba con contadores con discriminación horaria.
 - Comunicación: Para la captación de los clientes, se realizó mediante charlas directas con estos clientes. Para la desconexión de cargas, esto se realizaba mediante el envío de señales digitales a través de la red eléctrica.
 - Inversión inicial: Sin datos.



- Grado de satisfacción de los usuarios: El 83% contestó positivamente a la pregunta si estaban satisfechos con la gestión que había realizado la compañía con el control de los calentadores de agua, y que no había influenciado en su confort. 6 de los participantes habían experimentado algunos problemas con el acceso al agua caliente.
- Remuneración económica: los aparatos utilizados para el control de la demanda, pasaban a ser propiedad de los usuarios tras el proyecto.
- Resultados energéticos: Son los que se muestran a continuación, en la tabla de valores:

| Bloque | Número de usuarios finales | Reducción de pico de carga medido | | | | Estimación preliminar de reducción de pico de demanda potencial | |
|-------------------------|----------------------------|-----------------------------------|--------|-------|-------|---|------|
| | | Min kW | Max kW | Min % | Max % | kW | % |
| A | 20 | 5.6 | 6.8 | 10.7 | 13.1 | 8.7 | 11.3 |
| B | 29 | 8.1 | 9.9 | 9.2 | 11.2 | 10.7 | 9.6 |
| C | 24 | 6.7 | 8.2 | 8.0 | 9.7 | 11.3 | 7.6 |
| D | 24 | 6.7 | 8.2 | 8.4 | 10.2 | 11.3 | 9.1 |
| E | 12 | 3.4 | 4.1 | 7.0 | 8.5 | 5.2 | 6.8 |
| F | 12 | 3.4 | 4.1 | 9.3 | 11.3 | 6.1 | 11.6 |
| G (ref) | 17 | | | | | | |
| F (ref) | 18 | | | | | | |
| Suma/media | 156 | 5.7 | 6.9 | 8.8 | 10.7 | 8.9 | 9.3 |
| Reducción media medida: | | | | | | 6.3kW | |

Tabla 13: Resultados energéticos

La reducción media de la demanda es de 6,3kW para las viviendas estudiadas. La reducción del pico de demanda se elevaba hasta el 15% del máximo histórico. Los resultados que se obtuvieron por año mostraron que las variaciones en el consumo de energía se encontraban entre 9% de aumento y 18% de disminución.



Respuesta de la demanda en viviendas con calentadores eléctricos - Dinamarca

Ficha del proyecto

Localización: Dinamarca.

Fecha de ejecución: Desde al año 2003 hasta el año 2005.

Medidas tomadas: Instalación de un controlador de calentadores eléctricos para poder gestionar de forma remota el tiempo en el que funcionarán estos calentadores.

Motivación de los participantes: Se les remuneraba económicamente en función de la carga interrumpida. Los precios variaban en función del tiempo de interrupción y del período en el que se interrumpieran.

Resultados

- Participantes: 450 viviendas con calentadores eléctricos que tenían un consumo de entre 10000kWh y 16000kWh anuales. El proyecto piloto se realizó a 25 viviendas, en las que se instaló el sistema de control del tiempo de funcionamiento de los calentadores de agua.
- Período de reducción: Las demanda en hora punta se producen en días laborables en las horas comprendidas entre las 6 y las 11 a.m. y entre las 4 y las 7 p.m.
- Equipamiento utilizado: El aparato utilizado permitía controlar los calentadores eléctricos y tomar la medida del consumo de forma remota.
- Comunicación: Vía internet para controlar la conexión y desconexión del calentador, y las medidas se enviaban vía GPRS. La página web incluía los siguientes servicios:
 - Acceso para controlar el límite de la interrupción máxima, para diferentes períodos del día.
 - Acceso para modificar la interrupción que se había ejecutado de forma remota en alguna o todas las zonas de control.
 - Un resumen de la energía ahorrada, de forma diaria, semanal y mensual.
- Grado de satisfacción de los usuarios: Los usuarios acabaron altamente satisfechos con el proyecto. La mayoría dijo que podía vivir con interrupciones de electricidad en los calentadores eléctricos de hasta 3 horas. Algunos usuarios sugirieron que se pudiera realizar un control de otro tipo de aparatos eléctricos y electrodomésticos.
- Inversión inicial: El coste de instalar todo lo necesario para el correcto funcionamiento del proyecto es de 800€ por casa para un total de 1000 casas.
- Remuneración económica: El objetivo del proyecto fue ejecutar varios escenarios, y para ello, se produjeron variaciones en los precios de las interrupciones. Los valores que tomaron estos precios fueron de 0.13 €/kWh, 0.27€/kWh y 0.4 €/kWh. La remuneración económica era retribuida

de forma separada a la factura para que los usuarios pudieran ver la cantidad de energía y de dinero ahorrada.

- Resultados energéticos: El ahorro de energía era función directa de la temperatura exterior que hubiese. Unos valores representativos son: a una temperatura de -8°C se ahorró una potencia de 5.3kW/casa y a 11°C una potencia de 2.5kW/casa . La ilustración 11 muestra el comportamiento de los participantes en el proyecto.

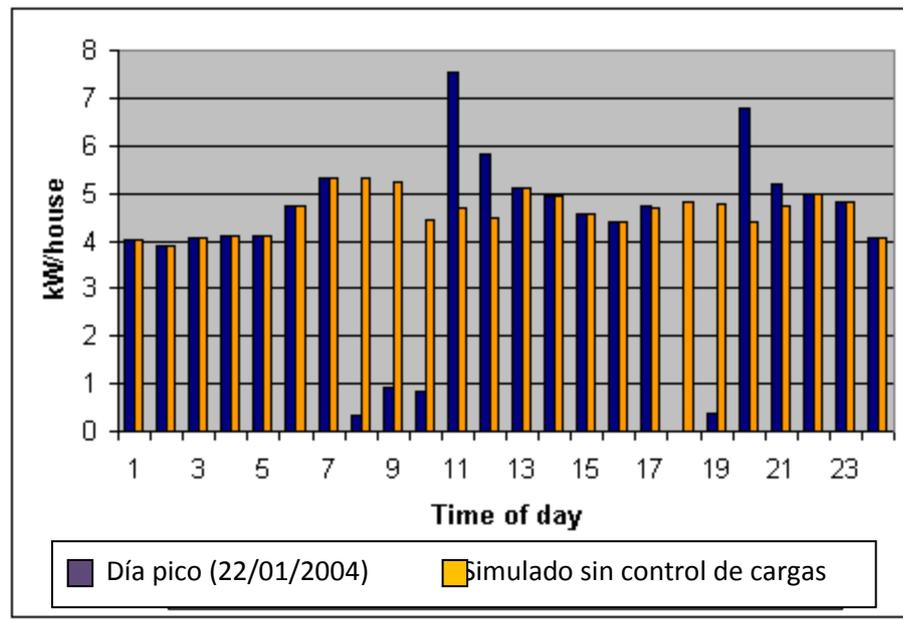


Ilustración 9: Representación del comportamiento del grupo con control directo de cargas (azul) y si no existiese el control de cargas (naranja)

Como se puede observa en la ilustración 11, en la que se representa la demanda horaria en kW/hogar a lo largo del día, en las horas en las que se produce una interrupción, se ve que la cantidad de potencia disminuida fue de entre 3 y 4 kW, por lo que efectivamente se reduce la potencia. Sin embargo, se produce un aumento de la potencia tras la interrupción, este aumento fue de más de 2kW, lo que puede provocar que se produzca un traslado de la punta de consumo, a la hora inmediatamente posterior a la interrupción de la carga.



Respuesta automática de la demanda en California.

Ficha del proyecto

Localización: California, Estados Unidos.

Fecha de ejecución: Julio de 2004 hasta Diciembre de 2005.

Medidas tomadas: Se facilitó a los participantes los aparatos necesarios para que pudiera realizar un control de la demanda mediante la reducción de cargas. Estas cargas podían ser controladas de forma remota.

Motivación de los participantes: Los participantes se veían motivados a participar por la remuneración económica que percibían independientemente de su consumo, aparte del ahorro energético que realizaran.

Resultados

- Participantes: 175 clientes residenciales, seleccionados de forma aleatoria sin mirar su consumo histórico, aunque debían tener aire acondicionado central sin códigos prescritos.
- Período de reducción: entre las 2 las 7 de la tarde.
- Equipamiento utilizado: Un termostato programable para poder controla el aire acondicionado. Control de cargas y monitorización para controlar otras cargas. Un interfaz que permitiera conectarse al servidor web y un software que permita la gestión de los datos.
- Comunicación: Comunicación Wireless RF conectado a todos los componentes del hogar. Comunicación de doble sentido capaz de medir el consumo cada 15 minutos, aparte de conexión a Internet Wireless.
- Grado de satisfacción de los usuarios: Sin comentarios en el documento.
- Inversión inicial: Sin comentarios económicos sobre inversiones en el proyecto.
- Remuneración económica: Los participantes recibían 100\$ en el 2004 y 125\$ en el año 2005, simplemente por participar, además, tenían una política de precios que eran USD0.09/kWh en horas valle, USD0.23/kWh en hora punta cuando no había CPP y USD0.73/kWh cuando había un evento CPP.
- Resultados energéticos: Durante el período de Julio a Septiembre del 2004, los clientes residenciales que tenían un consumo mayor (más de 24kWh al día) redujeron sus demandas entre 1.84kWh y 9.21kWh de media durante un día CPP. Esto quiere decir, un 51% de reducción. Desde Julio hasta septiembre del año 2005, los consumidores que tenían un alto consumo, redujeron de forma constante entre 1.4 y 7.1 kW de media en los días CPP. Esto quiere decir un 43% de reducción de su demanda. Las reducciones de consumo para consumidores con una demanda superior a 24kWh al día se muestran en las ilustraciones 12, 13 y 14.

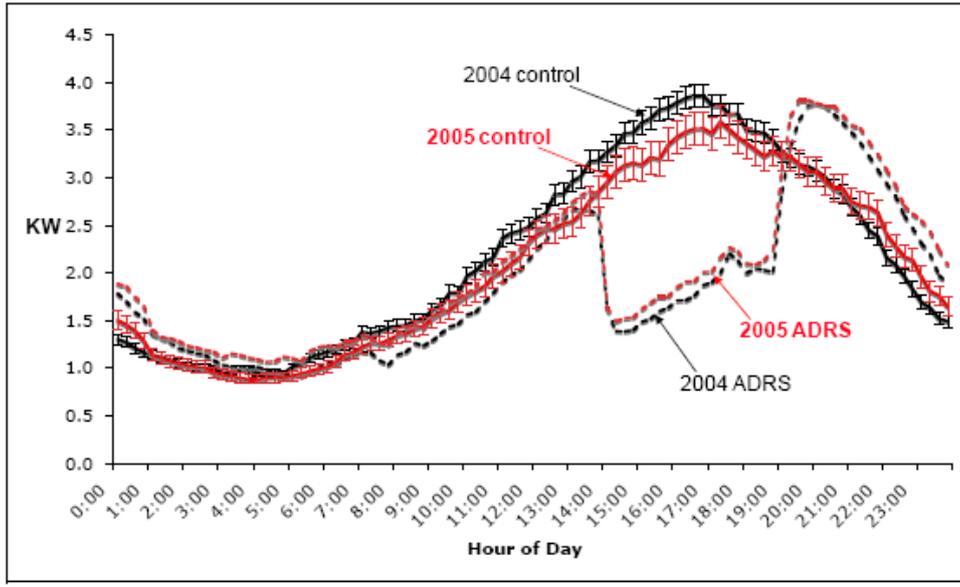


Ilustración 10: Comparación entre la curva de demanda del grupo de control y el grupo piloto para 2004 y 2005. Día con evento CPP

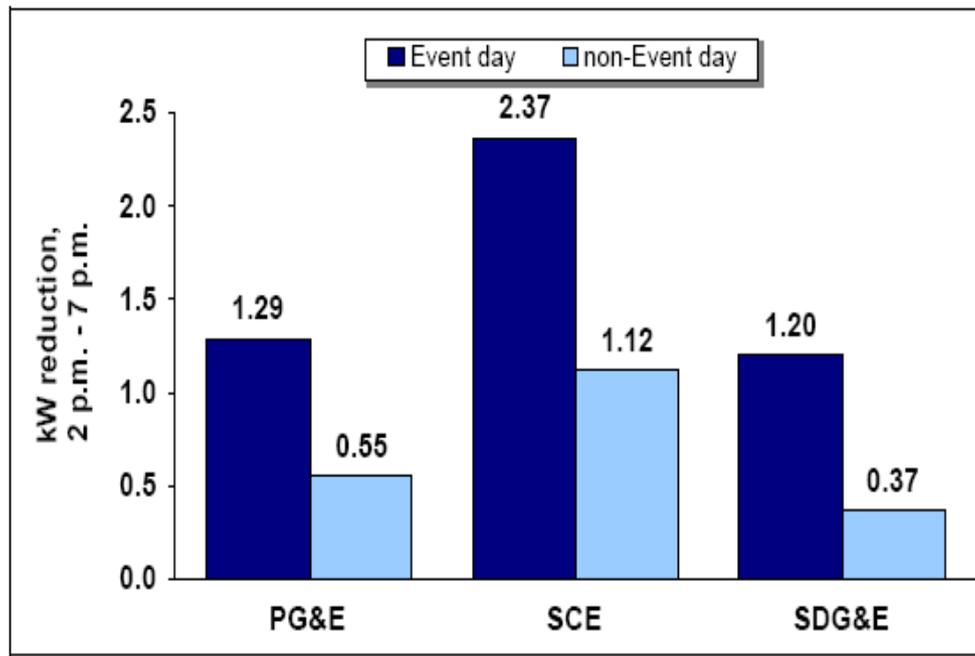


Ilustración 11: Comparación de la reducción entre los grupos ADRS pertenecientes a las distintas compañías para días CPP y días normales

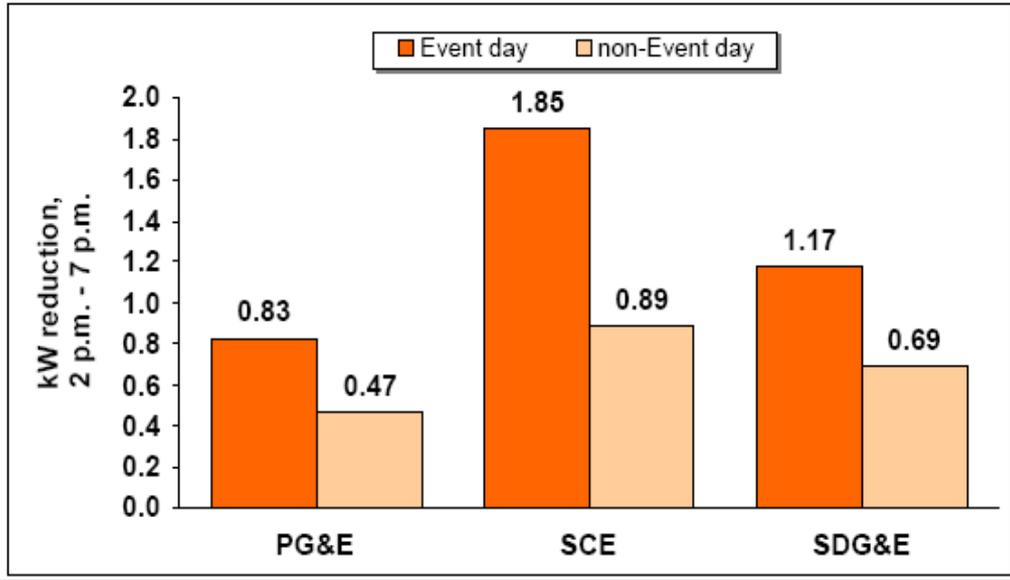


Ilustración 12: Reducción del grupo de control que poseía tarifas similares al grupo piloto con control directo de cargas pero sin gestión de cargas.



Proyecto de la península olímpica
Ficha del proyecto (Residential load control)

Localización: Sequim y de Port Angeles, Washington, Estados Unidos.

Fecha de ejecución: Año 2004.

Medidas tomadas: Se centró en dos tipos de control, en clientes residenciales y en clientes comerciales.

Motivación de los participantes: A los participantes se les instalaba aparatos para el control de la demanda además de una remuneración económica, basada en el programa que se le asignase.

Resultados

- Participantes: Hubo un total de 112 participantes residenciales, aunque se intentó reclutar 200 participantes. La distribución en porcentaje de los participantes es la siguiente:

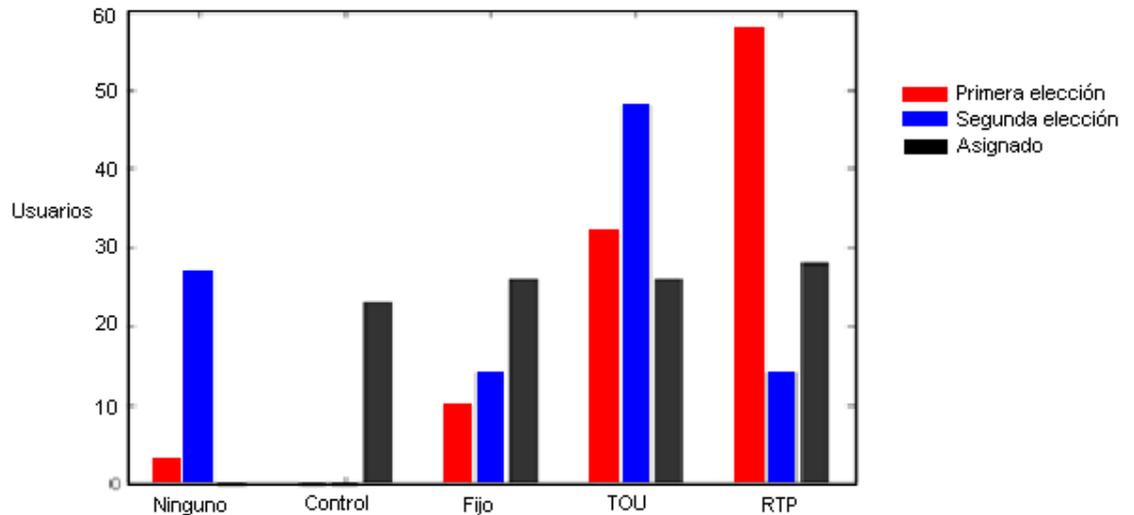


Ilustración 13: Distribución de los participantes residenciales

En la ilustración 15, se muestra en rojo la primera elección de los participantes, en azul la segunda elección, y en color negro la asignación final que realizó la compañía intentando que los consumidores estuvieran en el grupo que eligieron.

- Período de reducción: En horas punta y en períodos CPP.
- Equipamiento utilizado: un calentador de agua con módulo de control que permitía la comunicación inalámbrica, para recibir, almacenar y responder a comandos, un termostato inalámbrico y un contador avanzado.
- Comunicación: Acceso a internet desde su casa, una VPN (red privada vía internet) para los que dispusieran de DSL (conexión de banda ancha). A parte de comunicación Wireless con los dispositivos.
- Grado de satisfacción de los usuarios: sin información.
- Inversión inicial: sin información.



- **Remuneración económica:** A parte de los 150\$, se pagaba en función de la tarifa a la que hubieras sido asignado, las tarifas eran las siguientes:
 - **Grupo de control:** no disponía de tarifa especial, simplemente recibían el incentivo anterior.
 - **Tarifa fija:** El precio de la energía estaba fijado y era de 8,1cents\$/kWh para los clientes residenciales. Se buscaba incentivar la eficiencia energética.
 - **TOU con CPP:** 3 tipos de precios:
 - **Valle:** a medio día, por la noche y en los fines de semana. El precio de este período era inferior al precio que pagaban si su tarifa fuera la del grupo de control
 - **Punta:** Días laborables a primera hora de la mañana y a primera hora de las tardes, cuando la demanda era típicamente mayor. El precio de la electricidad era mayor que el precio que se pagaba en la tarifa del grupo de control.
 - **CPP:** Era aplicado durante faltas y emergencias, el precio era mucho mayor que en horas punta, había un máximo número de eventos al año, y no más largos de 4 horas, y se notificaba al menos un día antes de que fuera a ocurrir el evento.

Las remuneraciones económicas eran las siguientes:

| Estación | Período | Tiempo | Precio(c\$/kWh) |
|-----------------------------------|---------|-------------------------------|-----------------|
| Primavera (1abr-24 Julio) | Valle | 9:00 - 17:59; 21:00 – 5:59 | 4.119 |
| | Punta | 6:00 – 8:59; 18:00 – 20:59 | 12.150 |
| | Crítico | (no hubo aviso) | 35.000 |
| Verano (25 jul-30 sep) | Valle | 21:00 – 14:59 | 5.000 |
| | Punta | 15: 00 – 20:59 | 13.500 |
| | Crítico | Aviso(1nov 2:00 - 6:00) | 35.000 |
| Otoño/invierno (1 oct- 31 mar) | Valle | 9:00 – 17:59; 21:00 – 5:59 | 4.119 |
| | Punta | 6:00 – 8:59; 18:00 – 20:59 | 12.150 |
| | Crítico | (no hubo aviso) | 35.000 |

Tabla 14: Precios y períodos

- **RTP (precio en tiempo real “real time pricing”):** requería la mayor participación por parte de los consumidores. Recibían el mayor descuento con este tipo de programa. El precio de la electricidad variaba cada 5 minutos, y era impredecible durante cualquier día del año. Los participantes podían ajustar la respuesta automática al precio de la señal mediante internet, eligiendo entre máximo confort, máximo ahorro o algo intermedio entre los dos.



- Resultados energéticos: La comparativa de consumo entre los distintos grupos durante un año se puede observar en el siguiente gráfico:

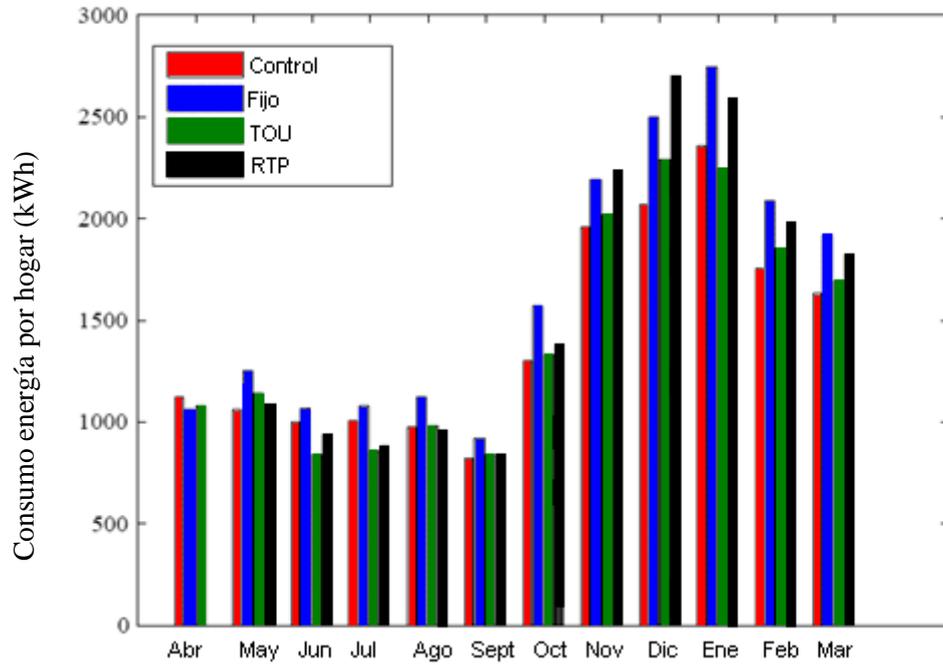


Ilustración 14: Distribución del consumo medio mensual para los distintos grupos

Las ilustraciones 17, 18, 19, 20 representan el comportamiento de los distintos grupos:

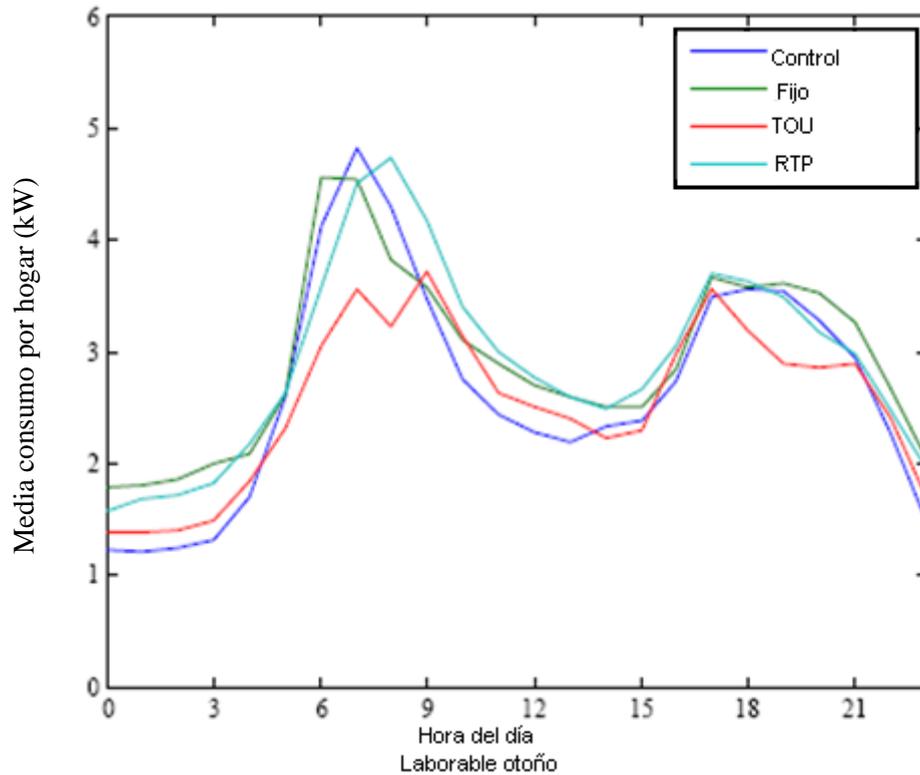


Ilustración 15: Distribución del consumo en un día laboral de otoño para los distintos grupos

Como se puede observar en la ilustración 17, el consumo en Time-of-Use es mucho menor que para el resto de los grupos. Lo que se espera es que el consumo de las personas que pertenecen a ToU y Real Time (RTP) sea menos o al menos no se produzca en las horas punta. El primer grupo lo cumple, pero para RTP se observa que el consumo no es menor, únicamente se ha desplazado la punta de demanda unas horas con respecto a la punta de demanda del grupo de control y del grupo fijo.

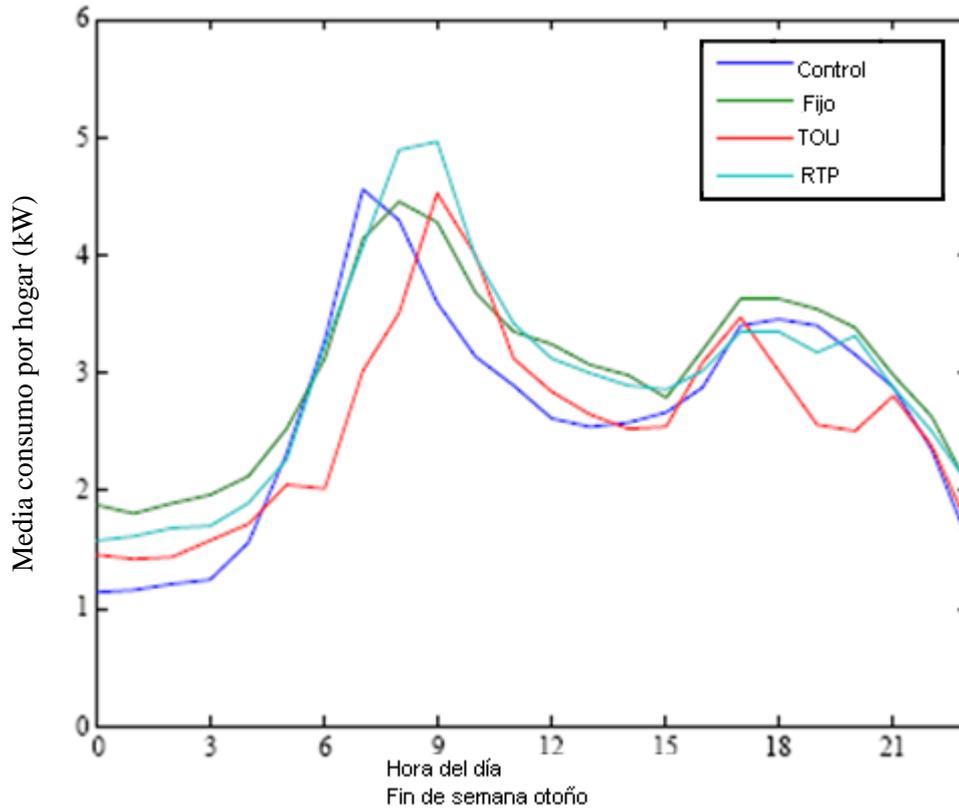


Ilustración 16: Distribución del consumo en un día de fin de semana de otoño para los distintos grupos

En la ilustración 18 se observa que la curva de demanda en los fines de semana es bastante similar a la de los días laborables. La mayor diferencia se puede encontrar en que la curva de RTP se desplaza más hacia la derecha (sufre un retraso en la ejecución de la demanda punta, y este retraso conlleva una elevada demanda (se observa que la cantidad de energía aumentada está en torno a los 0.4kW). El grupo de ToU también tiene un desplazamiento de la punta de demanda y además este desplazamiento es incluso más acentuado que el de RTP. La ventaja de este grupo es que no produce un aumento de la demanda como producía RTP.

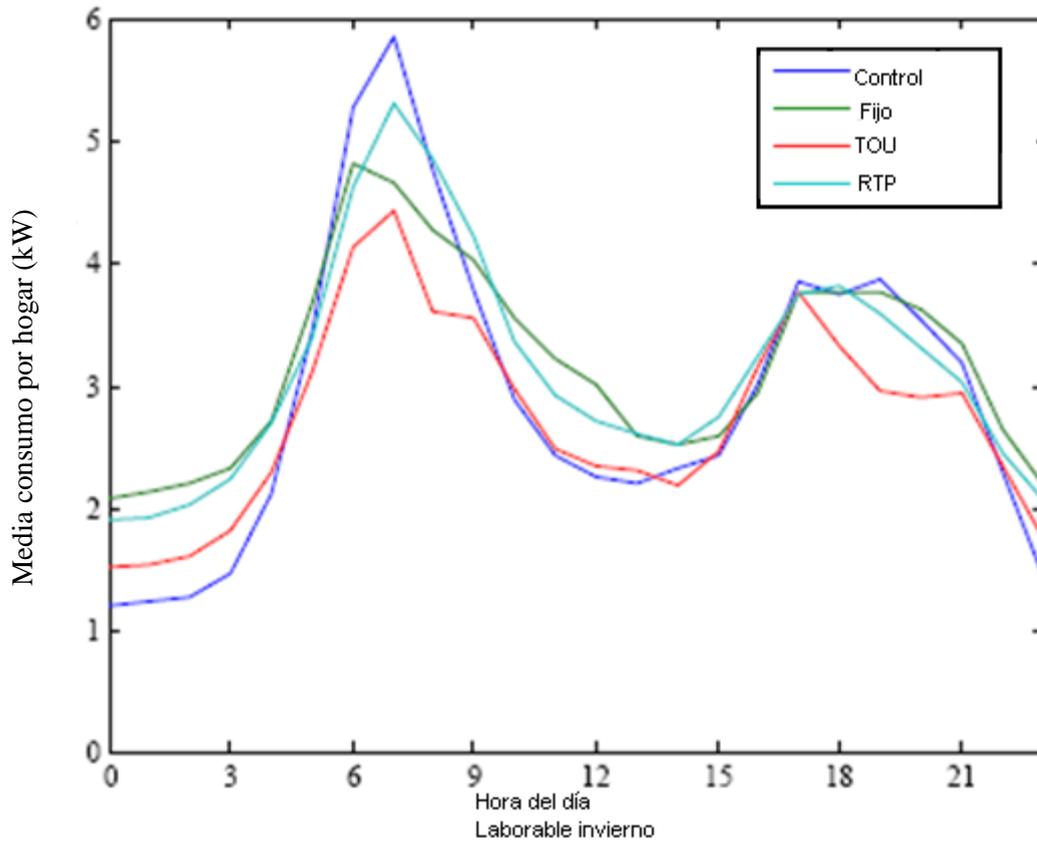


Ilustración 17: Distribución del consumo en un día laborable de invierno para los distintos grupos

En la ilustración 19 se observa que la curva de demanda se ve efectivamente modificada dependiendo del grupo al que se pertenezca. En la hora punta extrema, se observa que en general todos los grupos reducen su consumo, y las reducciones más pronunciadas se producen para el grupo ToU y para el grupo de tarificación fija. RTP también tiene un descenso de demanda en hora punta, pero sin embargo, esta reducción es menor que para los otros dos grupos.

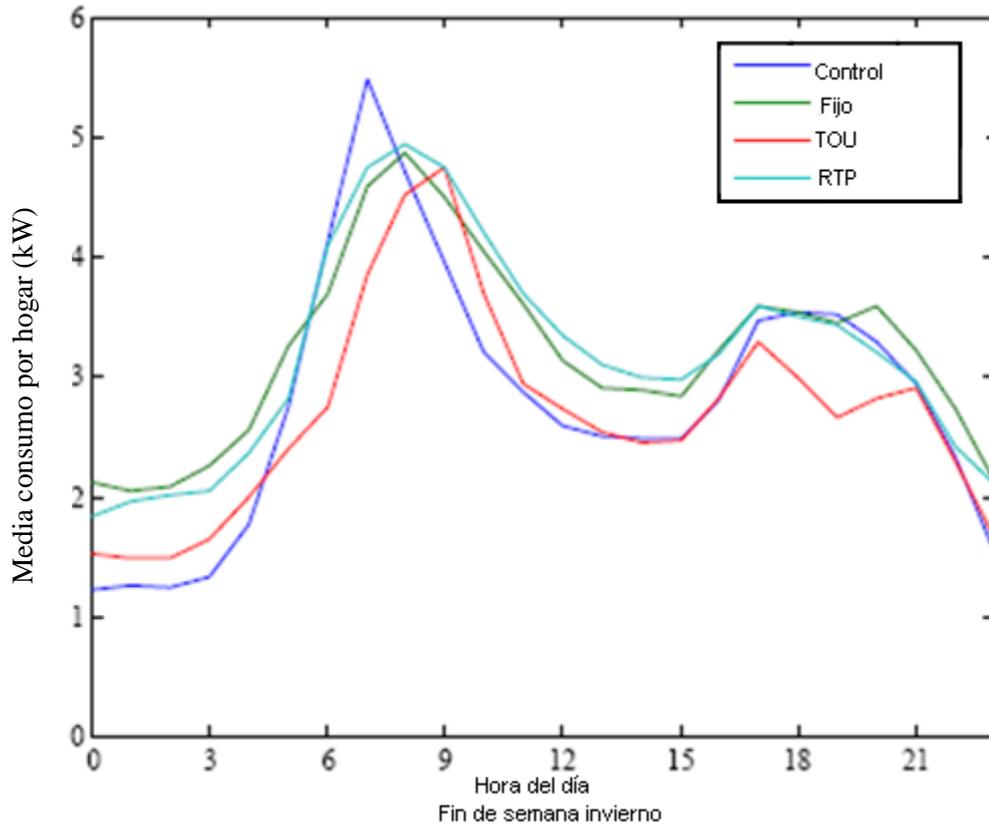


Ilustración 18: Distribución del consumo en un día de fin de semana de invierno para los distintos grupos

En la ilustración 20 se observa que en este caso se produce más un desplazamiento que una reducción en el consumo de energía eléctrica. Todas las tarifas orientas al modelo, esto es la tarifa fija, la tarifa ToU y la tarifa RTP tienen un desplazamiento hacia horas más tardías. La razón de que se produzca este hecho es que los fines de semana, las personas están la mayor parte del tiempo en sus hogares y por ello, es difícil obtener una reducción considerable del consumo, sin embargo, sí que se puede producir un retardo en la punta de demanda.



LipaEdge, control directo de cargas

Ficha del proyecto

Localización: Long Island, New York, USA.

Fecha de ejecución: Desde comienzos del año 2001 hasta 2005, aunque en ese año se seguía desarrollando el proyecto.

Medidas tomadas: Reducir la demanda en horas tipo punta, mediante el uso de termostatos programables.

Motivación de los participantes: Incentivación económica para que participaran en el programa.

Resultados

- Participantes:

| Participantes residenciales | Participantes comerciales / pequeñas industrias |
|-----------------------------|---|
| 20.400 | 3.000 |

Tabla 15: Participantes

- Período de reducción: De 2 a 6 de la tarde (horas punta).
- Equipamiento utilizado: termostato programable ConfortChoice (diseñado por Carrier corporation)
- Comunicación: Sistema de comunicación basado en internet que permita controlar la demanda de los termostatos. Se generan varias señales y son transmitidas a SkyTel. Estas señales son enviadas vía satélite y a las torres de comunicación y desde las torres a los termostatos.
- Grado de satisfacción de los usuarios: Sin datos.
- Inversión inicial: Sin datos.
- Remuneración económica: Por participar en el proyecto, se recibe de forma gratuita el termostato y la instalación, además se recibe un bonus de 25\$ si se pertenece al programa residencial o de 50\$ si se pertenece al programa de comercios. A parte de este beneficio económico, si se adhiere a alguien a participar en el proyecto se abonaba 20\$ más.
- Resultados energéticos: El total de cargas individuales controladas (tanto residenciales como comerciales) era de 23400 unidades y tenían una capacidad en hora punta de 97.4MW, si todos los sujetos estuvieran al 100% de carga.

Las reducciones de potencia medias que se realizaban eran de 1,06kW (1,03kW para aires acondicionados residenciales y 1,35kW para aires acondicionados comerciales).

LIPA esperaba reducir la demanda en 24,9MW con todos los aires condicionados controlados.

El porcentaje de reducción es: $25/75=33,3\%$



| | 3 Julio | 30 Julio | 14 Agosto |
|---|----------------|-----------------|------------------|
| Participantes | 15.943 | 17.051 | 17.474 |
| Reducción a 5pm (kW) | 15.852 | 16.076 | 16.273 |
| Energía total ahorrada durante evento (kWh) | 65.883 | 66.493 | 67.463 |

Tabla 16: Resultados energéticos

| Hora | Unidades sobrescritas | kW ajustados / unidad | Reducción total kW |
|-------------|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| 3 pm | 5,7% | 1,05 | 16.119 |
| 4 pm | 11,5% | 0,98 | 14.942 |
| 5pm | 17,2% | 0,92 | 14.060 |
| 6pm | 20,8% | 0,78 | 11.883 |

Tabla 17: Modificaciones de las órdenes



Sacramento, Estados Unidos

Ficha del proyecto

Localización: Sacramento, California, EEUU.

Fecha de ejecución: Inicio en 1979, pero se sigue desarrollando en la actualidad.

Medidas tomadas: Los objetivos del proyecto son aumentar la reserva de operación (referido al aumento de control del sistema, ya que al disponer de control directo de cargas, el tiempo de respuesta de un generador está en tiempos de varios minutos, mientras que el de una desconexión de carga está estimado en segundos), la reducción de la demanda punta y la reducción general de la demanda. No es un sistema basado en el mercado de la electricidad, va centrado a las emergencias que puedan surgir, debido a que el tiempo de respuesta que se tiene con la desconexión de una carga es mucho menor que con el aumento de la energía entregada por un generador. Aunque de todas formas sí que se puede aplicar un sistema de reducción de la demanda.

Motivación de los participantes: Remuneración económica por participar según se comenta en el apartado remuneración económica.

Resultados

- Participantes: 100000 participantes residenciales.
- Período de reducción: La interrupción se producirá cuando se produzca una contingencia que provoque que exista mayor demanda que generación.
- Equipamiento utilizado: Interruptores que se conectan en los aires acondicionados y bombas de calor.
- Comunicación: Mediante el envío de una señal de radio por parte de la compañía eléctrica. (en este caso al ser contingencias del operador del sistema).
- Grado de satisfacción de los usuarios: Sin datos.
- Inversión inicial: Sin datos.
- Remuneración económica: Según la opción que se escoja respecto a la interrumpibilidad que pueda ejercer la compañía eléctrica sobre su carga, puedes tener las siguientes opciones:
 - Opción 1:
 - Ahorrarse 2.5\$ al mes, por participar en el proyecto.
 - 1\$ adicional por cada día que se corte el suministro de electricidad.
 - El tiempo de interrupción estará comprendido entre 0 y 27 minutos por hora.
 - Opción 2:
 - Ahorrarse 3.75\$ al mes, por participar en el proyecto.
 - 2\$ adicional por cada día que se corte el suministro de electricidad.
 - El tiempo de interrupción estará comprendido entre 0 y 39 minutos por hora.
 - Opción 3:
 - Ahorrarse 5\$ al mes, por participar en el proyecto.
 - 3\$ adicional por cada día que se corte el suministro de electricidad.



- El tiempo de interrupción estará comprendido entre 0 y 60 minutos por hora.

Resultados energéticos: Los resultados a los que se han podido acceder y que están disponibles son los que se representan a continuación y que pertenecen a un día en concreto, en el que la temperatura que se alcanzó fue de 44°C.

| Demanda punta | Reducción de la punta de demanda | Duración de la reducción de punta de demanda |
|---------------|----------------------------------|--|
| 2.800 MW | 200 MW | Lo necesario |

Tabla 18: Resultados energéticos



PEF, control directo de cargas

Ficha del proyecto

Localización: Florida, EEUU.

Fecha de ejecución: Empezó en el año 1981, y sigue desarrollándose en la actualidad.

Medidas tomadas: Reducción de todo el consumo de energía eléctrica, y en concreto la demanda en hora punta con punta de demanda (de 6 a 10 de la mañana y 6 a 10 de la noche). El proyecto se divide en varios frentes:

- **Sector residencial:** Es una adhesión voluntaria al programa, para que se produzca un control directo de las cargas. El pico de demanda se reduce mediante el envío de ondas de radio por parte de PEF para que se apague el equipo seleccionado.

Los participantes en el programa “de solo invierno” deben cumplir las siguientes especificaciones:

Utilizar calentador de agua y calefacción central, y tener un consumo mínimo mensual de 600kWh en los meses de noviembre a marzo.

Si por el contrario participas en el programa de todo el año, puedes elegir que incluir, a parte de la calefacción y el calentador de agua, como por ejemplo el aire acondicionado.

Durante los períodos se pueden producir las siguientes interrupciones:

Calentadores de agua: su interrupción puede ser de forma continua hasta 5 horas.

Sistemas de calefacción: como máximo 16,5 minutos por cada media hora

Los participantes no tienen la posibilidad de cambiar las órdenes que lleguen por parte del operador.

- **Programa de gestión de la energía en comercios e industrias:** Los participantes se comprometen a apagar el sistema de refrigeración y de ventilación durante un período de tiempo.

Programa de servicio de interrumpibilidad: Va dirigido a cualquier sector no residencial que esté dispuesto a que se le interrumpa el servicio de electricidad. Deben tener una demanda mínima de 500kW.

- **Servicio de acortamiento de la demanda:** Va dirigido a clientes no residenciales que estén dispuestos a reducir su demanda un 25% cuando se lo requiera la compañía. La compañía tiene control remoto de los interruptores del consumidor.

Para participar debes tener una demanda superior a 500kW.

- **Programa de autogeneración:** La compañía eléctrica no tiene un control directo sobre las cargas, aquí lo que se realiza es una comunicación directa con la empresa para que cuando la compañía diga se ponga a producir energía con sus generadores para su abastecimiento. Los generadores que participan en este programa son motores térmicos, con una potencia mínima de 50kW.

Motivación de los participantes: Remuneración económica por la reducción de su consumo eléctrico.



Resultados

- **Participantes:** Los participantes en el proyecto son clientes residenciales, pequeñas industrias y comercios y grandes industrias. El número de participantes de cada tipo se representa en la siguiente tabla:

| Viviendas | Comercios / pequeñas industrias | Grandes industrias |
|-----------|---------------------------------|--------------------|
| 400.000 | 460 | 170 |

Tabla 19: Participantes

- **Período de reducción:** hora punta con punta de demanda (de 6 a 10 de la mañana y de 6 a 10 de la noche)
- **Equipamiento utilizado:** Interruptores colocados sobre las cargas que se apagan directamente al recibir una señal directa por parte del operador. Generadores pertenecientes a los distintos comercios que cumplan las especificaciones suficientes como para participar en el proyecto piloto.
- **Comunicación:** El sistema de comunicación es unidireccional y se realiza mediante radio para todos los sectores. Se utiliza SCADA para grandes industrias que tienen tarifas de interrumpibilidad.
- **Grado de satisfacción de los usuarios:** sin información
- **Inversión inicial:** Costes anuales:
 - o Comercios e industria: 21 millones de \$ incluyendo incentivos.
 - o Viviendas: 22 millones de \$ incluyendo incentivos.
 - o En 2003 el coste de compra e instalación de cada controlador fue de 182 \$.
- **Remuneración económica:** Tras la ejecución del proyecto, se observó que los ahorros energéticos producidos permitían que una instalación tuviera mayor tiempo de vida y no tuviera que ser ampliada.
 - o **Sector residencial:** Los participantes reciben reducciones en su factura de la luz de hasta 11,5\$ por mes en invierno. Las reducciones son prorrateadas de acuerdo con el uso de los 600kWh que se realice. Cuando el consumo es menor de 600kWh no se realiza ninguna reducción en la factura.
 - o **Programa de gestión de la energía en comercios e industrias:** Los participantes se comprometen a apagar el sistema de refrigeración y de ventilación durante un período de tiempo. La remuneración económica es similar a las zonas residenciales.
 - o **Programa de servicio de interrumpibilidad:** La remuneración económica es de 3,08\$ por kW frente a los 4,70\$/kW que debería costar la energía. Aquellos que elijan no reducir su demanda pagarán el coste de la energía a precio de mercado.
 - o **Servicio de acortamiento de la demanda:** Los que participan en la reducción de energía obtienen una reducción del coste de energía de 2,31\$/kW frente a los 5,56\$/kW. Aquellos que no reduzcan su demanda durante el período, la compañía le cobrará el precio casado en el mercado de la electricidad.
 - o **Programa de autogeneración:** La reducción que tienen de su factura es acorde a lo que demuestren que han reducido su consumo de energía de la red, para ello, se deben instalar contadores que muestren la generación realizada por los motores disponibles para la autogeneración y contadores para mostrar el consumo eléctrico.



- Resultados energéticos: La demanda punta fue de 10.500MW y la reducción en punta fue de 1.000MW.



Control directo de aires acondicionados. Australia

Ficha del proyecto

Localización: Adelaide, Australia.

Fecha de ejecución: Desde el año 2005 hasta el año 2007. Pero el caso se centrará únicamente en el verano del año 2006/2007 ya que es el que presenta datos.

Medidas tomadas: Reducción del pico de demanda, mediante el control de cargas que se colocaban en aires acondicionados.

Motivación de los participantes: Se incentivó la participación de la gente mediante una remuneración económica de 100AUD=61,24€

Resultados

- Participantes: 750 viviendas con aires acondicionados.
- Período de reducción: En horas punta, desconexión de forma aleatoria, realizada por el operador de la red.
- Equipamiento utilizado: Se instalaron controladores directos sobre los aires acondicionados de forma que no tuvo que realizarse ningún tipo de instalación adicional dentro de las casas.
- Comunicación: Los controladores eran activados de forma aleatoria cuando, las señales enviadas vía internet a una estación pública de radio, transmitía las señales a los aparatos.
- Grado de satisfacción de los usuarios: Se realizaron varias pruebas de interrupción de distinta duración para comprobar el grado de satisfacción de los participantes, y la conclusión a la que se llegó fue que interrupciones de 15 minutos cada 30 minutos no suponían una disminución en el grado de confort de los participantes.
- Inversión inicial: Sin datos.
- Remuneración económica: Sin datos.

Resultados energéticos: Los resultados energéticos se representan en la ilustración 21.

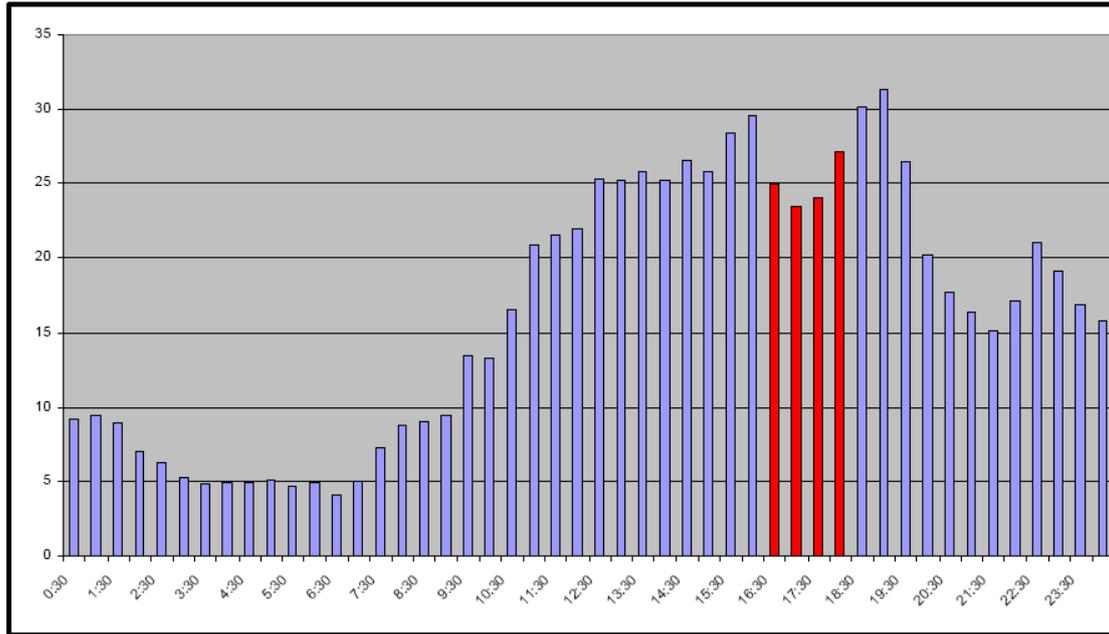


Ilustración 19: Representación de la variación de la demanda (rojo) con respecto al comportamiento habitual

En la Ilustración 21, se observa que se produjo la reducción de 5kW sobre la demanda de 30kW, esto es una reducción de la demanda de un 16,6%, este valor es un valor orientativo, ya que puede que la demanda fuera incluso mayor. Es importante apuntar que al contrario que en otros proyectos no se produce un repunte en el consumo en los hogares a otras horas.



3.3 Conclusiones extraídas

Tras el análisis de todos estos casos, a continuación se va a realizar una fase de resumen y extracción de conclusiones, que permitan saber qué es importante en la gestión de la demanda y qué puede ayudar a tener un éxito en el desarrollo de esta actividad.

Se observa que la mayoría de los proyectos han sido ejecutados en las zonas que están fuertemente desarrolladas, y que empiezan a ser consecuentes con la concienciación ecológica y con la reducción de las emisiones de CO₂. Por tanto, parece importante que para que exista una gestión activa de la demanda, el estado debe ser cooperante en el proyecto, para que ayude a la implementación de la gestión activa de la demanda y sirva de respaldo a las compañías participantes que serán las que tengan que realizar la mayor parte de la inversión.

Las compañías que realizan las grandes inversiones son las distribuidoras / comercializadoras, que deben invertir en todas las infraestructuras necesarias para que se pueda cuantificar y realizar la gestión de demanda. Se pueden dividir en tres partes las inversiones que se deben realizar:

- Parte del operador del sistema: en el caso de que exista operador del sistema en la zona, este puede o no participar en el proyecto, aunque en todo momento, debe saber las órdenes que se realizan para ser capaz de controlar el balance entre generación y demanda. La forma de participar que puede tener puede ser pasiva o activa. Si la forma de participar es pasiva, el trabajo que va a realizar es prácticamente nulo en la gestión de la demanda, y solo tendrá en cuenta las subidas o bajadas de demanda que produzca el operador de distribución. En el caso que tenga un papel más activo, podrá enviar órdenes de reducción de demanda para las zonas en las que se pueda poner en peligro el suministro eléctrico por saturación en las instalaciones pertenecientes al operador del sistema.
- Parte del operador de distribución: El operador de distribución será el que tenga que realizar la mayor inversión de todos los participantes, ya que debe invertir en unas infraestructuras que le permitan controlar la demanda de los usuarios. Claro está que el modelo de negocio que se quiera utilizar será clave en la inversión, es decir, la inversión que se debe realizar para un modelo de gestión de la demanda basado en TOU, es mucho menor que en un modelo de negocio Direct Load Control.

Para un modelo de negocio TOU, el operador de distribución debe realizar la siguiente inversión:

- Una base de datos en la que se recojan las medidas de todos los consumidores. Estas medidas deben ser tomadas con intervalos de tiempo no superiores a 1 hora, ya que cuantas más medidas realices mayor será la variación de energía que se podrá visualizar.
- Sustitución de los contadores: En el caso de que sea necesario, el operador de distribución será el que tenga que correr con los gastos que lleva cambiar contadores tradicionales por contadores que tengan discriminación horaria y que permitan conectarse con el centro de operación para su captura de datos.
- Sistema de comunicaciones:
 - Entre contador y centro de operación (base de datos): Esta es la inversión mayor que debe realizar el operador de



distribución. Este tipo de comunicación se puede realizar de varias maneras, tal y como se ha visto en los casos, como por ejemplo, por señales de radio, por conexión WAN (Wide Area Network), o por envío de señales a través de los cables eléctricos. A este sistema de comunicación se le conoce con las siglas PLC.

- Entre usuario y centro de operación: para este modelo, esta inversión no es muy elevada, ya que las únicas comunicaciones que a priori se deben realizar son de períodos horarios con precios en cada período. Esto en principio, se realizará una vez (cuando el usuario entra a formar parte de la gestión de demanda) y solo se pondrá en contacto con él de nuevo para modificaciones en las tarifas que se estipularon. Para la forma de pago, esto se puede hacer igual que se realizaba con anterioridad. Si es un modelo TOU-CPP la forma de enviar un evento CPP, se puede realizar mediante llamada telefónica o mediante email. El coste de comunicación para el envío de estas señales es mínimos.
- Personal: aquí se incluye el personal que deberá ser contratado para el mantenimiento de las nuevas infraestructuras, en el caso de que sea necesario, ya que por ejemplo, al variar la forma de tomar medidas y dejar de ser necesario que un operario se desplace a los edificios para hacer esta tarea, este operario puede ser destinado a un nuevo puesto en el que realice el mantenimiento de las infraestructuras, siempre que se le haya formado adecuadamente.

Para un modelo de negocio DLC (control directo de cargas), el operador de distribución debe realizar la siguiente inversión:

- Una base de datos en la que se recojan las medidas de todos los consumidores. Estas medidas deben ser tomadas con intervalos de tiempo no superiores a 1 hora, ya que cuantas más medidas realices mayor será la variación de energía que se podrá visualizar.
- Sustitución de los contadores: En el caso de que sea necesario, el operador de distribución será el que tenga que correr con los gastos que lleva cambiar contadores normales por contadores que tengan discriminación horaria y que permitan conectarse con el centro de operación para su captura de datos.
- Aparatos que permitan el control directo de cargas: No hay que confundir estos aparatos con electrodomésticos inteligentes o cargas inteligentes, ya que esta inversión no tiene por qué tomarla el operador de distribución, y puede que sea necesario que sea el usuario quien tome esta medida. Entre los aparatos que permiten el control directo de cargas, se encuentran los dispositivos de líneas, que permiten que se abra una línea de las que llegan a la vivienda del usuario final.
- Sistema de comunicaciones:
 - Entre contador y centro de operación (base de datos): Esta es la inversión mayor que debe realizar el operador de distribución. Este tipo de comunicación se puede realizar de



- varias maneras, tal y como se ha visto en los casos, como por ejemplo, por señales de radio, por conexión WAN, o por PLC.
- Entre cargas y centro de operación: Esta infraestructura es la más cara que va a tener el operador de distribución. Para realizar la conexión entre la el centro de operación y las cargas, se puede realizar por ondas de radio, por conexión WAN o por comunicación a través del envío de señales digitales por los cables eléctricos. Cada conexión tiene sus costes, y se deberá analizar adecuadamente cuál es la óptima para cada lugar. En los casos analizados, para la desconexión de cargas, el método más utilizado es el envío de señales de radio, por lo que el coste incluiría la instalación de una antena por cada x habitantes, donde se pudiera dar cobertura a los clientes necesarios.
 - Personal: aquí se incluye el personal que deberá ser contratado para el mantenimiento de las nuevas infraestructuras, en el caso de que sea necesario, ya que por ejemplo, al variar la forma de tomar medidas y dejar de ser necesario que un operario se desplace a los edificios para hacer esta tarea, este operario puede ser destinado a un nuevo puesto en el que realice el mantenimiento de las infraestructuras, siempre que se le haya formado adecuadamente.
 - Usuarios: Los usuarios pueden tener desde un coste cero hasta un coste que se puede considerar elevado. Si el usuario opta por no comprar cargas inteligentes, ni contadores de consumo que ayuden a visualizar la demanda en tiempo real, el usuario tendrá un coste cero en su equipamiento. Pero sin embargo, si el usuario opta por realizar una participación más activa y realiza compras de electrodomésticos que ayuden a la gestión de la demanda, como por ejemplo, lavadoras, lavavajillas y aires acondicionados el coste que debe asumir el cliente es mayor. Se debe plantear realizar esta inversión de forma paulatina, y escalonada, no se puede pretender que todos los usuarios compren a la vez todos los electrodomésticos inteligentes, y tiren los que poseen si todavía funcionan correctamente.

Los ahorros energéticos que se aprecian en los diferentes proyectos varían. Se deben tener en cuenta tanto los valores porcentuales como los valores numéricos, ya que un cliente que tenga una demanda normal de 5kW una bajada de 0,5kW tiene una bajada porcentual de 10% y un cliente que tiene una demanda habitual de 3kW y reduce 0,5kW, tiene una bajada porcentual de 16,7%.

Por lo general, la concienciación de los usuarios ayuda a que el porcentaje de demanda ahorrada aumente, pero estos porcentajes varían mucho si la gestión de demanda utilizada es un TOU (con o sin CPP) o es un Direct Load Control. Con el primero se ahorra menos energía que con el segundo, la razón de esto, es que cuanto más ayuda de tipo tecnológico, tenga el usuario para que no tenga que estar pendiente de la gestión de la demanda, mayor será la energía ahorrada, y menor será la participación humana. Hay que recordar que el objetivo no es solo disminuir la demanda de energía, sino que también lo que se busca es que la curva de demanda de un país sea lo más homogénea posible y no haya fluctuaciones tan bruscas entre las horas punta y las horas valle, como en el caso de España.



Los usuarios que disponen de electrodomésticos inteligentes y que tienen un sistema de cargas directamente controlado por el operador de distribución, tienen mayor reducción de la energía consumida en punta de demanda que los que no poseen estas facilidades. La razón de esto es que no tienen que preocuparse de realizar las operaciones pertinentes en el momento justo, ya que esta tarea ya la realiza el operador de distribución por ellos, evitando que un olvido, provoque que no se baje la demanda de energía eléctrica. Esto se puede ver en los casos de California y Missouri en los que se realizan 3 grupos de trabajo y se comparan los resultados obtenidos sin aparatos para la gestión de la demanda y con aparatos para la gestión de la demanda.

Es de vital importancia, que los usuarios no vean disminuir su nivel de confort cuando se ejecutan acciones de gestión de demanda y cuando no se realizaban, para ello, se debe intentar que las desconexiones no pongan en peligro el grado de confort de los usuarios respecto a temperaturas de la calefacción y del agua caliente, y que se puedan sobrescribir (modificar las señales enviadas por el distribuidor si el usuario por la razón que sea no le parece oportuno una desconexión) las instrucciones enviadas por el operador de distribución si la razón de hacerlo es importante.

Respecto a las tarifas que se han utilizado y que han sido analizadas con anterioridad, es muy importante saber cómo calcularlas, ya que el usuario debe ser consciente de que su factura se reducirá si el realiza una participación activa y acorde a las necesidades del sistema.

El modelo utilizado para la retribución de los costes varía dependiendo del modelo utilizado, para los modelos de desconexión de cargas, el modelo más utilizado es el modelo baseline, en el que se retribuye en función de la demanda histórica que tuviese el usuario. La retribución de lo que se había ahorrado se suele realizar de forma separada a la factura, es decir, se le hacía pagar la energía que consumía, y de forma separada se le ingresaba la cantidad de dinero que hubiera ahorrado de energía. Esta forma de abonar el dinero ayuda a que el usuario sea consciente de la cantidad de energía ahorrada y de la cantidad de dinero que puede ahorrar. A pesar de que el modelo baseline tiene los inconvenientes de una posible manipulación previa de la curva de demanda con el objetivo de obtener una mayor retribución.

Para los modelos TOU, se utiliza una retribución total, es decir, no se hace distinción entre lo que pagaba antes y lo que paga ahora, y esto puede ayudar a que el consumidor no sea consciente de lo que está ahorrando y pierda motivación a seguir participando de forma activa. Hay que destacar que en muchos casos, cuando se les preguntaba sobre la opinión y el porqué participaban en los proyectos, las personas participantes, respondía que lo que les movía a participar era la posibilidad de poder ahorrar dinero en sus facturas, no el hecho de que se evitaran emisiones de CO₂ al medio ambiente, aunque entre los motivos que respondían a la participación sí que se encontraba.



4. Implantación en España

Una vez llegado este punto, a continuación se va a estudiar una posible implantación masiva de gestión de demanda en España. Se analizarán todos los pasos que se deberían seguir para una correcta implantación y se desarrollarán todos los casos basándonos en la normativa vigente en España y en el uso de electricidad que se hace en los hogares españoles. Así como las repercusiones que podría tener en la curva de demanda de España esta gestión. Se ha de recordar que este proyecto va orientado únicamente a clientes residenciales, y no a comercios u otro tipo de clientes.

4.1 Estudio de la situación actual del sistema eléctrico español

El estudio del sistema eléctrico español, se va a realizar mediante la segmentación en 4 grupos. Estos grupos son:

- Generadores
- Transportista
- Distribuidores
- Consumidores

4.1.1 Generadores

La generación en España se divide en dos grandes grupos, generación en régimen ordinario y generación en régimen especial. Las compañías que participan en este grupo son múltiples, y actualmente el mercado se encuentra liberalizado, pudiéndose establecer cualquier central en cualquier lugar siempre que cumpla con la normativa relativa al establecimiento de nuevas centrales.

Se debe distinguir entre potencia instalada y energía producida, ya que se va a hablar de los dos términos en este análisis.

Cuando se habla de potencia instalada, se refiere a la cantidad de energía que podrían producir si estuvieran funcionando todas las instalaciones a pleno rendimiento. Mientras que se habla de energía producida a la cantidad real de energía que han producido las centrales.

Los generadores en general establecen unos costes por MW producido, y con estos costes, acuden a los distintos mercados que se realizan para casar la energía que producen. Esta energía es casada mediante oferta y demanda, y esta casación la realiza la OMEL (Operador del mercado eléctrico).

Generación en régimen ordinario

En régimen ordinario se incluyen las centrales de tipo hidráulica, nuclear, carbón, fuel/gas y ciclo combinado. Su producción de energía es mayor que el de régimen especial, y su contaminación también es mayor, exceptuando a la hidráulica, que no produce emisiones de CO₂. La siguiente tabla muestra las potencias instaladas y las energías producidas.



| | <u>Sistema peninsular</u> | |
|--------------------------------|---------------------------|---------------|
| | <u>MW</u> | <u>%08/07</u> |
| Hidráulica | 16.658 | 0,0 |
| Nuclear | 7.716 | 0,0 |
| Carbón | 11.869 | 0,0 |
| Fuel/gas | 7.170 | -5,8 |
| Ciclo combinado | 23.066 | 4,3 |
| Total régimen ordinario | 66.479 | 0,8 |

Tabla 20: Balance de potencia instalada en régimen ordinario en el año 2008

| | <u>Sistema peninsular</u> | |
|--------------------------------|---------------------------|---------------|
| | <u>GWh</u> | <u>%08/07</u> |
| Hidráulica | 21.428 | -18,7 |
| Nuclear | 58.973 | 7,0 |
| Carbón | 49.647 | -33,8 |
| Fuel/gas | 10.691 | -1,0 |
| Ciclo combinado | 95.529 | 32,1 |
| Total régimen ordinario | 236.268 | -1,4 |

Tabla 21: Balance de energía eléctrica nacional en régimen ordinario en el año 2008

Como se puede observar la mayor cantidad de potencia instalada pertenece al ciclo combinado, con una potencia total de 23.066 MW instalados. Esta potencia ha producido 95.529 GWh de energía eléctrica en 2008. Le sigue en potencia instalada la hidráulica con 16.658 MW instalados, aunque su producción es de 21.428 GWh. Como se puede observar en el gráfico, la energía anual producida no está directamente relacionada con la potencia instalada. Se puede ver, por ejemplo, que las centrales nucleares no tienen una potencia instalada muy elevada, y sin embargo, son unas de las mayores productoras de energía eléctrica.

Las centrales de fuel gas y de carbón están siendo desplazadas por las centrales de ciclo combinado que tienen un mayor rendimiento y por tanto, una menor cantidad de emisiones de CO₂ por MWh de energía eléctrica producido.

Generación en régimen especial

La generación en régimen especial está compuesta no solo por energías renovables, sino también por energías no renovables. La razón de que estas últimas no se incluyan en el régimen ordinario es que su combustión se realizaría por razones de higiene o por deshacerse de residuos, y mediante la utilización de generadores que aprovechen el calor que producen estas combustiones, se está utilizando una energía que anteriormente se desperdiciaba. En la siguientes tablas se puede analizar todos los tipos de régimen especial que existen, las potencias instaladas, la cantidad de energía adquirida a este tipo de generación y la evolución temporal tanto de producción como de potencia instalada.

| | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | %08/07 |
|----------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------|
| Renovables | 23.386 | 28.143 | 30.782 | 35.798 | 42.991 | 20,1 |
| Hidráulica | 4.596 | 3.652 | 4.001 | 3.980 | 4.416 | 10,9 |
| Eólica | 15.753 | 20.520 | 22.736 | 27.221 | 31.393 | 15,3 |
| Otras renovables | 3.038 | 3.640 | 4.045 | 4.597 | 7.183 | 56,2 |
| Biomasa | 1.639 | 2.120 | 2.194 | 2.272 | 2.437 | 7,2 |
| R.S. Industriales | 725 | 783 | 786 | 854 | 771 | -9,7 |
| R.S. Urbanos | 657 | 1.028 | 966 | 997 | 1.163 | 16,6 |
| Solar | 17 | 39 | 99 | 473 | 2.812 | 494,1 |
| No renovables | 22.482 | 21.824 | 17.236 | 20.767 | 23.308 | 12,2 |
| Calor residual | 201 | 293 | 262 | 254 | 233 | -8,4 |
| Carbón | 716 | 693 | 748 | 735 | 651 | -11,4 |
| Fuel-gasoil | 3.280 | 2.481 | 1.808 | 2.626 | 2.856 | 8,8 |
| Gas de refinería | 592 | 310 | 294 | 299 | 308 | 3,0 |
| Gas natural | 17.692 | 18.047 | 16.124 | 16.853 | 19.260 | 14,3 |
| Total | 45.868 | 49.967 | 50.017 | 56.565 | 66.298 | 17,2 |

Tabla 22: Energía adquirida al régimen especial por tecnología en GWh, año 2008.

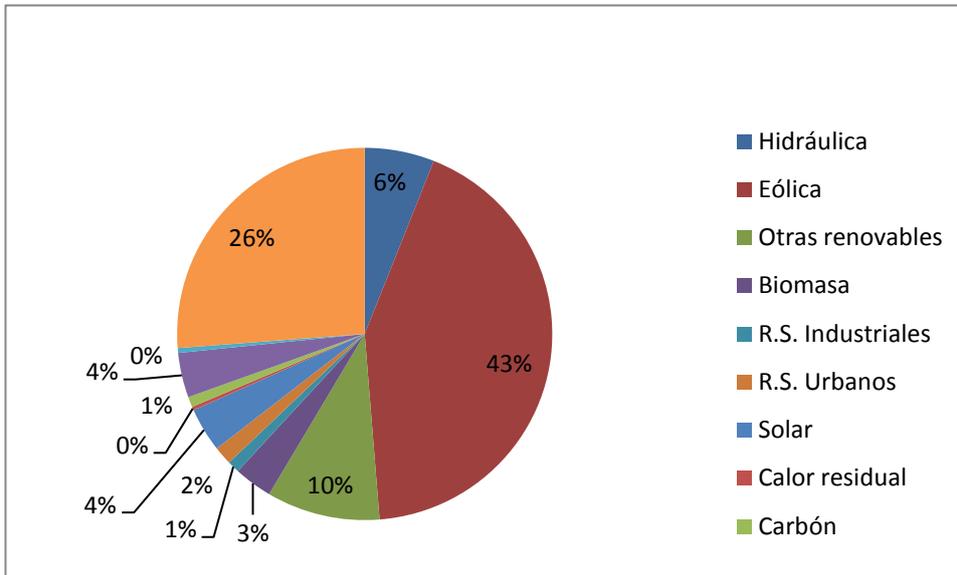


Ilustración 20: Energía adquirida a los distintos productores

| | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | %08/07 |
|----------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------|
| Renovables | 11.004 | 12.780 | 14.454 | 17.636 | 21.921 | 24,3 |
| Hidráulica | 1.638 | 1.767 | 1.869 | 1.924 | 1.979 | 2,9 |
| Eólica | 8.479 | 10.055 | 11.542 | 14.107 | 15.874 | 12,5 |
| Otras renovables | 888 | 958 | 1.133 | 1.605 | 4.069 | 153,6 |
| Biomasa | 484 | 527 | 572 | 601 | 639 | 6,3 |
| R.S. Industriales | 170 | 170 | 188 | 188 | 188 | 0,1 |
| R.S. Urbanos | 213 | 224 | 258 | 258 | 258 | 0,0 |
| Solar | 20 | 36 | 116 | 558 | 2.984 | 435,0 |
| No renovables | 6.502 | 6.665 | 6.824 | 6.899 | 7.132 | 3,4 |
| Calor residual | 89 | 89 | 89 | 89 | 89 | 0,0 |
| Carbón | 69 | 69 | 69 | 69 | 69 | 0,0 |
| Fuel-gasoil | 1.340 | 1.340 | 1.340 | 1.341 | 1.341 | 0,0 |
| Gas de refinería | 210 | 210 | 210 | 210 | 210 | 0,0 |
| Gas natural | 4.795 | 4.958 | 5.117 | 5.191 | 5.424 | 4,5 |
| Total | 17.506 | 19.444 | 21.369 | 24.534 | 29.053 | 18,4 |

Tabla 23: Potencia instalada por tecnología en MW

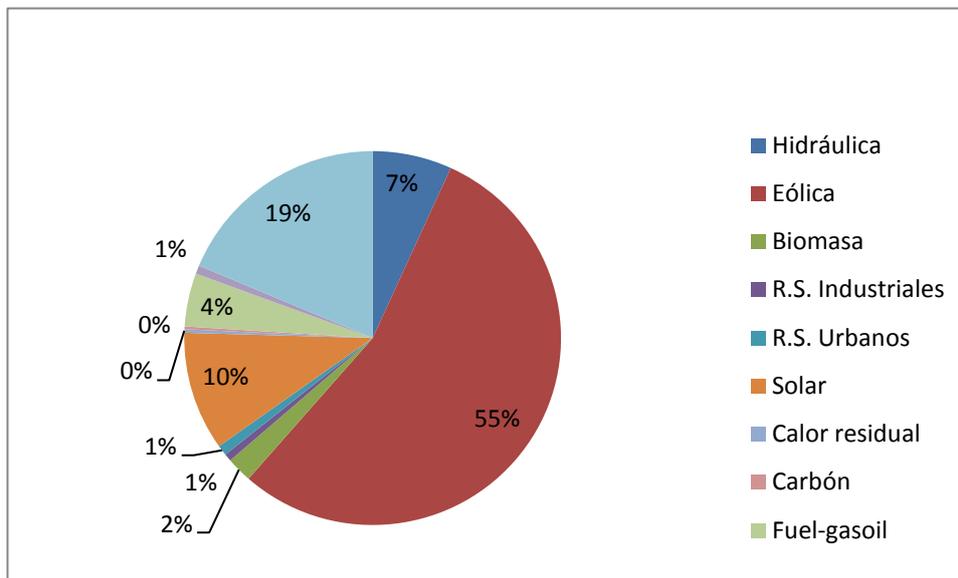


Ilustración 21: Potencia instalada en porcentaje respecto a la total

4.1.2 Red de Transporte

El transporte de la energía eléctrica desde la generación hasta la distribución lo realizan la compañía transportista. En España, por motivos de seguridad de suministro, y calidad del servicio, en el transporte de electricidad, se ha establecido un monopolio, en la que REE es la compañía que posee la mayoría de las instalaciones de la red de transporte.

El transporte de energía eléctrica en la península se realiza a dos tensiones a 400kV y a 220kV.



| Distribuidora | | Mercado regulado | | | | Mercado liberalizado | | | | Total | |
|--------------------------|----------------|------------------|--------|---------|--------|----------------------|-------|--------|-------|------------|---------|
| | | Nº cons. | % | GWh | % | Nº cons. | % | GWh | % | Nº cons. | GWh |
| Iberdrola | Domésticos | 9.765.859 | 95,95 | 31.234 | 95,28 | 411.860 | 4,05 | 1.546 | 4,72 | 10.177.719 | 32.780 |
| | Pymes baja | 226.855 | 79,49 | 9.908 | 72,04 | 58.523 | 20,51 | 3.846 | 27,96 | 285.378 | 13.754 |
| | Med ten <36kV | 34.071 | 62,98 | 10.459 | 30,84 | 20.024 | 37,02 | 23.451 | 69,16 | 54.095 | 33.910 |
| | Alta ten >36kV | 583 | 50,74 | 7.427 | 43,72 | 566 | 49,26 | 9.560 | 58,28 | 1.149 | 16.987 |
| Total Iberdrola | | 10.027.368 | 95,33 | 59.028 | 60,58 | 490.973 | 4,67 | 38.403 | 39,42 | 10.518.341 | 97.431 |
| Endesa | Domésticos | 8.769.691 | 89,61 | 29.104 | 88,30 | 1.017.142 | 10,39 | 3.858 | 11,70 | 9.786.833 | 32.962 |
| | Pymes baja | 215.064 | 78,29 | 10.343 | 66,34 | 59.639 | 21,71 | 5.249 | 33,66 | 274.703 | 15.592 |
| | Med ten <36kV | 12.515 | 49,97 | 6.465 | 21,91 | 12.528 | 50,03 | 23.046 | 78,09 | 25.043 | 29.508 |
| | Alta ten >36kV | 1.114 | 85,89 | 7.500 | 47,01 | 183 | 14,11 | 8.454 | 52,99 | 1.297 | 15.954 |
| Total Endesa | | 8.998.384 | 89,20 | 53.412 | 56,81 | 1.089.492 | 10,80 | 46.604 | 46,19 | 10.087.876 | 94.016 |
| Unión Fenosa | Domésticos | 3.507.113 | 96,32 | 11.519 | 95,74 | 134.122 | 3,68 | 513 | 4,26 | 3.641.235 | 12.032 |
| | Pymes baja | 70.974 | 79,60 | 2.949 | 65,58 | 18.187 | 20,40 | 1.548 | 34,42 | 89.161 | 4.497 |
| | Med ten <36kV | 7.687 | 53,95 | 2.373 | 25,48 | 6.561 | 46,05 | 6.941 | 74,52 | 14.248 | 9.314 |
| | Alta ten >36kV | 831 | 85,06 | 6.937 | 66,29 | 146 | 14,94 | 3.528 | 33,71 | 977 | 10.465 |
| Total Unión Fenosa | | 3.586.605 | 95,75 | 23.778 | 65,49 | 159.016 | 4,25 | 12.530 | 14,51 | 3.745.621 | 36.308 |
| H Cantábrico | Domésticos | 558.364 | 90,59 | 1.656 | 90,84 | 58.023 | 9,41 | 167 | 9,16 | 616.287 | 1.823 |
| | Pymes baja | 9.106 | 59,23 | 395 | 49,25 | 6.268 | 40,77 | 407 | 50,75 | 15.374 | 802 |
| | Med ten <36kV | 218 | 23,02 | 146 | 11,42 | 729 | 76,98 | 1.133 | 88,58 | 947 | 1.279 |
| | Alta ten >36kV | 66 | 82,50 | 4.943 | 88,09 | 14 | 17,50 | 668 | 11,91 | 80 | 5.611 |
| Total H. Cantábrico | | 567.654 | 89,72 | 7.140 | 75,04 | 65.034 | 10,28 | 2.375 | 24,96 | 632.688 | 9.515 |
| E. ON | Domésticos | 559.712 | 98,56 | 1.415 | 98,13 | 8.179 | 1,44 | 27 | 1,87 | 567.891 | 1.442 |
| | Pymes baja | 12.892 | 73,53 | 443 | 64,02 | 4.642 | 26,47 | 249 | 35,98 | 17.534 | 692 |
| | Med ten <36kV | 366 | 40,09 | 277 | 22,56 | 547 | 59,91 | 951 | 77,44 | 913 | 1.228 |
| | Alta ten >36kV | 49 | 63,64 | 1.103 | 54,04 | 28 | 36,36 | 938 | 45,96 | 77 | 2.041 |
| Total E.ON | | 573.019 | 97,72 | 3.238 | 59,93 | 13.396 | 2,28 | 2.165 | 40,07 | 586.415 | 5.403 |
| FEVASA | Domésticos | 4.544 | 99,58 | 8 | 100,00 | 19 | 0,42 | 0 | 0,00 | 4.563 | 8 |
| | Pymes baja | 80 | 100,00 | 2 | 100,00 | | | | 0,00 | 80 | 2 |
| | Med ten <36kV | 2 | 50,00 | 1 | 25,00 | 2 | 50,00 | 3 | 75,00 | 4 | 4 |
| | Alta ten >36kV | | | | | | | | | | |
| Total FEVASA | | 4.626 | 99,55 | 11,00 | 78,57 | 21 | 0,45 | 3 | 21,43 | 4.647 | 14 |
| SOLANAR | Domésticos | 1.587 | 98,88 | 3 | 100,00 | 18 | | 0 | 0,00 | 1.605 | 3,00 |
| | Pymes baja | 106 | 99,07 | 3 | 100,00 | 1 | | 0 | | 107 | 3,00 |
| | Med ten <36kV | 1 | 50,00 | 1 | 33,33 | 1 | | 2 | | 2 | 3,00 |
| | Alta ten >36kV | | | | | | | | | | |
| Total SOLANAR | | 1.694 | 98,83 | 7,00 | 77,78 | 20 | 1,17 | 2 | 22,22 | 1.714 | 9 |
| ISABENA | Domésticos | 317 | 100,00 | 1 | 100,00 | | | | | 317 | 1,00 |
| | Pymes baja | 16 | 100,00 | 1 | 100,00 | | | | | 16 | 1,00 |
| | Med ten <36kV | 2 | 100,00 | 0 | 100,00 | | | | | 2 | 0,00 |
| | Alta ten >36kV | | | | | | | | | | |
| Total ISABENA | | 335 | 100,00 | 2 | 100,00 | | | | | | |
| Todas las distribuidoras | Domésticos | 23.167.087 | 93,43 | 74.941 | 92,46 | 1.629.364 | 6,57 | 6.111 | 7,54 | 24.796.451 | 81.052 |
| | Pymes baja | 535.093 | 78,42 | 24.044 | 68,03 | 147.260 | 21,58 | 11.299 | 31,97 | 682.353 | 35.343 |
| | Med ten <36kV | 54.862 | 58 | 19.722 | 26,21 | 40.392 | 42,40 | 55.524 | 73,79 | 95.254 | 75.246 |
| | Alta ten >36kV | 2.643 | 73,83 | 27.910 | 54,66 | 937 | 26,17 | 23.148 | 45,34 | 3.580 | 51.058 |
| TOTAL DISTRIBUCIÓN | | 23.759.685 | 92,89 | 146.617 | 60,41 | 1.817.953 | 7,11 | 96.082 | 39,59 | 25.577.638 | 242.699 |

Tabla 24: Número de consumidores por compañía eléctrica. Datos CNE 2008

La tabla 24 presenta a los distribuidores presentes en el sistema eléctrico español y la cantidad de consumidores, y energía distribuida. Los datos se encuentran agregados por clientes domésticos, pymes de baja tensión, consumidores de media tensión (inferior a 36kV) y alta tensión (mayores de 36kV). La distribuidora que mayor número de consumidores posee es Iberdrola, seguida por Endesa y Unión Fenosa. En cuanto a energía distribuida, la compañía que mayor energía distribuye es Iberdrola, seguida por Endesa y Unión Fenosa.

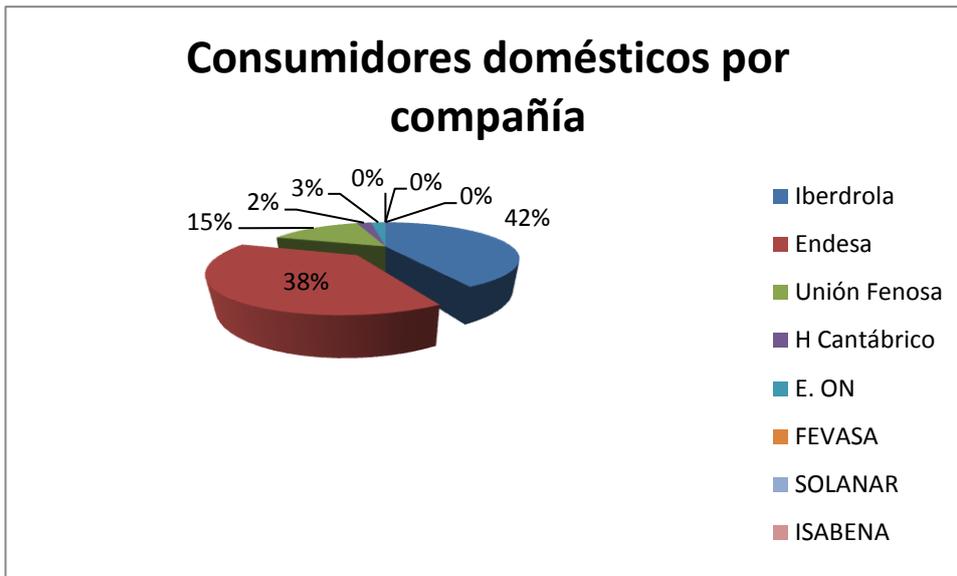


Ilustración 23: Consumidores domésticos por compañía distribuidora

4.1.4 Consumidores

Los consumidores o clientes son los usuarios últimos de la electricidad. Son los que demandan la energía y se pueden clasificar en 3 grandes grupos, que son servicios, industria y residencial. Cada uno de estos clientes tiene una curva de demanda característica, y son los clientes industriales los que mayor consumo realizan, pero debido a las características que presentan los 3 grupos, el que parece tener mayor potencial para modificar su curva de demanda, es el sector residencial.

4.2 Curva de demanda en España

La curva de demanda es la cantidad de potencia demandada por los clientes en la península ibérica por unidad de tiempo. Esta curva tiene distintas formas dependiendo de la estacionalidad, la temperatura y la situación económica. Sin embargo, la variable más determinante en la forma de la curva de la demanda es la temperatura. Por tanto, se van a analizar las curvas de demanda tipo de las cuatro estaciones, para ver las diferencias que existen entre ellas y poder distinguir cada uno de los modelos. Ver ilustraciones de la 16 a la 30.

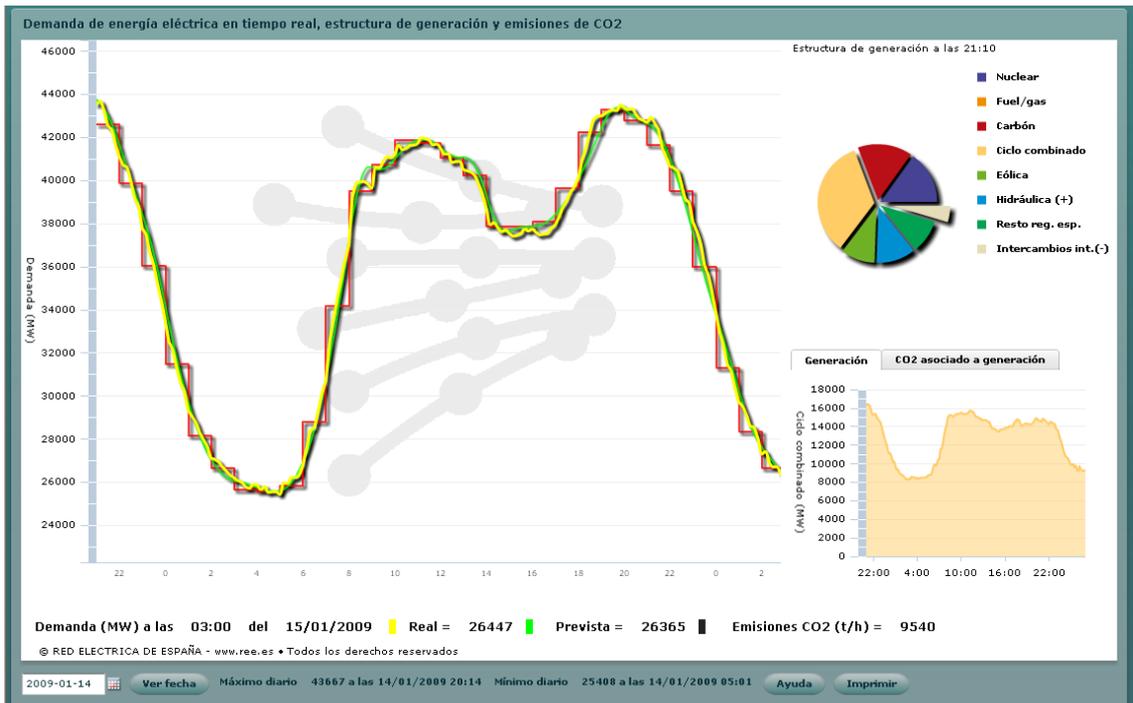


Ilustración 24: Curva de demanda del día 14/01/2009 (día laborable de invierno)

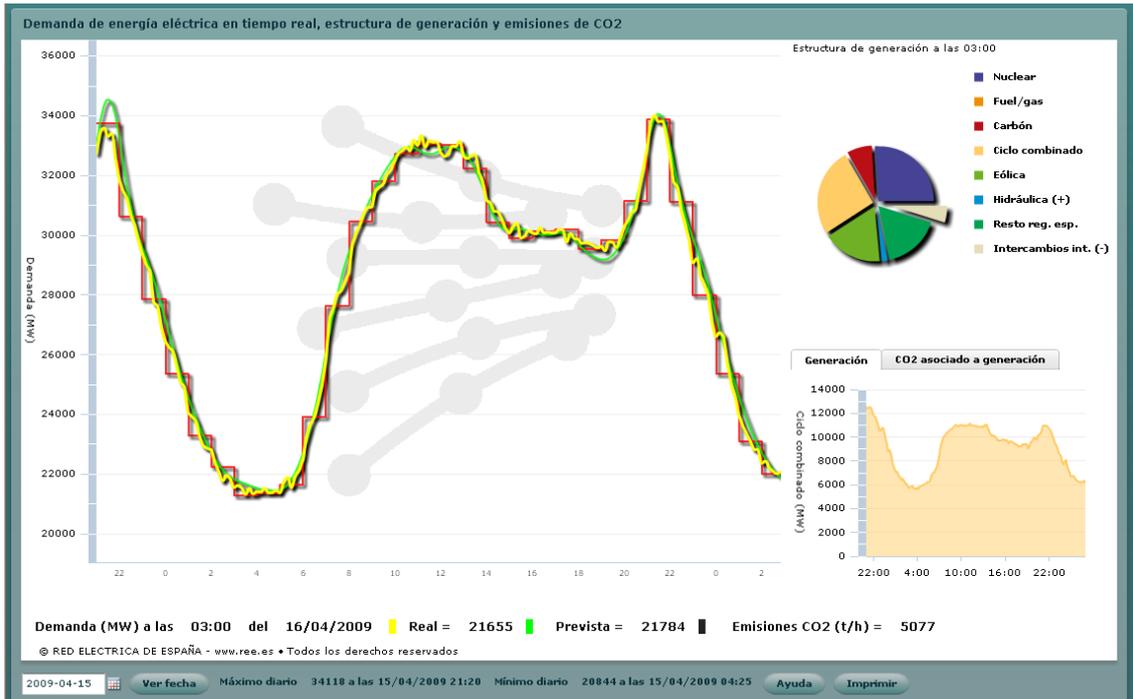


Ilustración 25: Curva de demanda 15/04/2009 (laborable primavera)

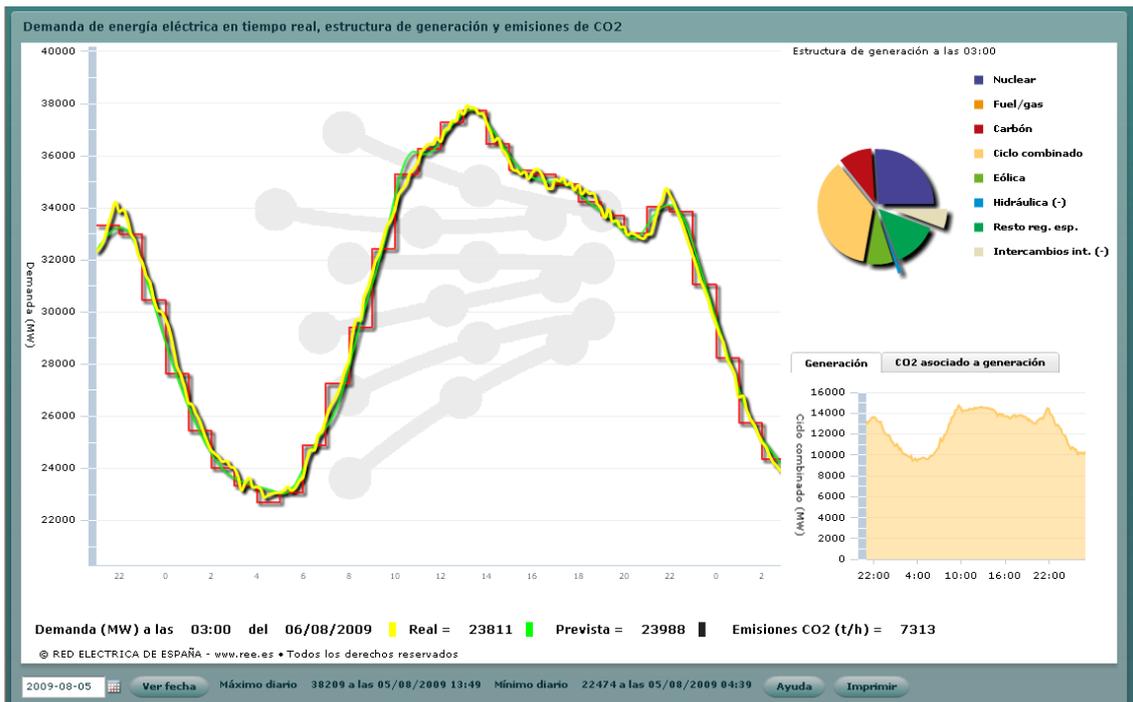


Ilustración 26: Curva de demanda 05/08/2009 (laborable verano)

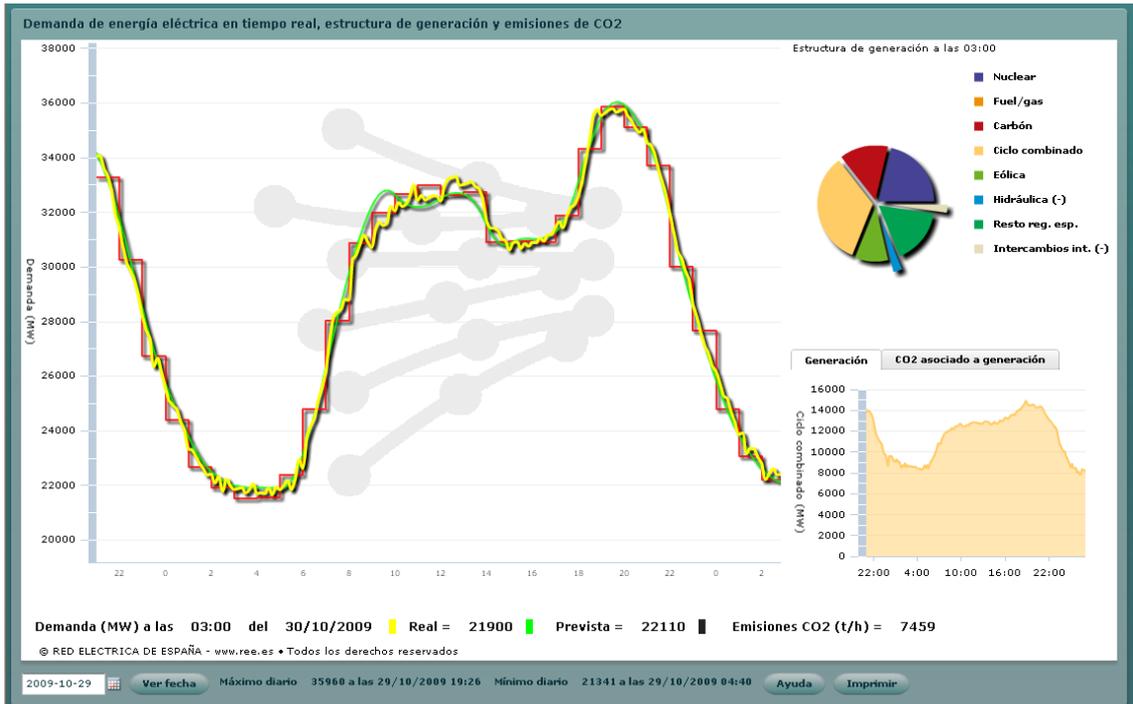


Ilustración 27: Curva demanda 29/10/2009 (día laborable otoño)

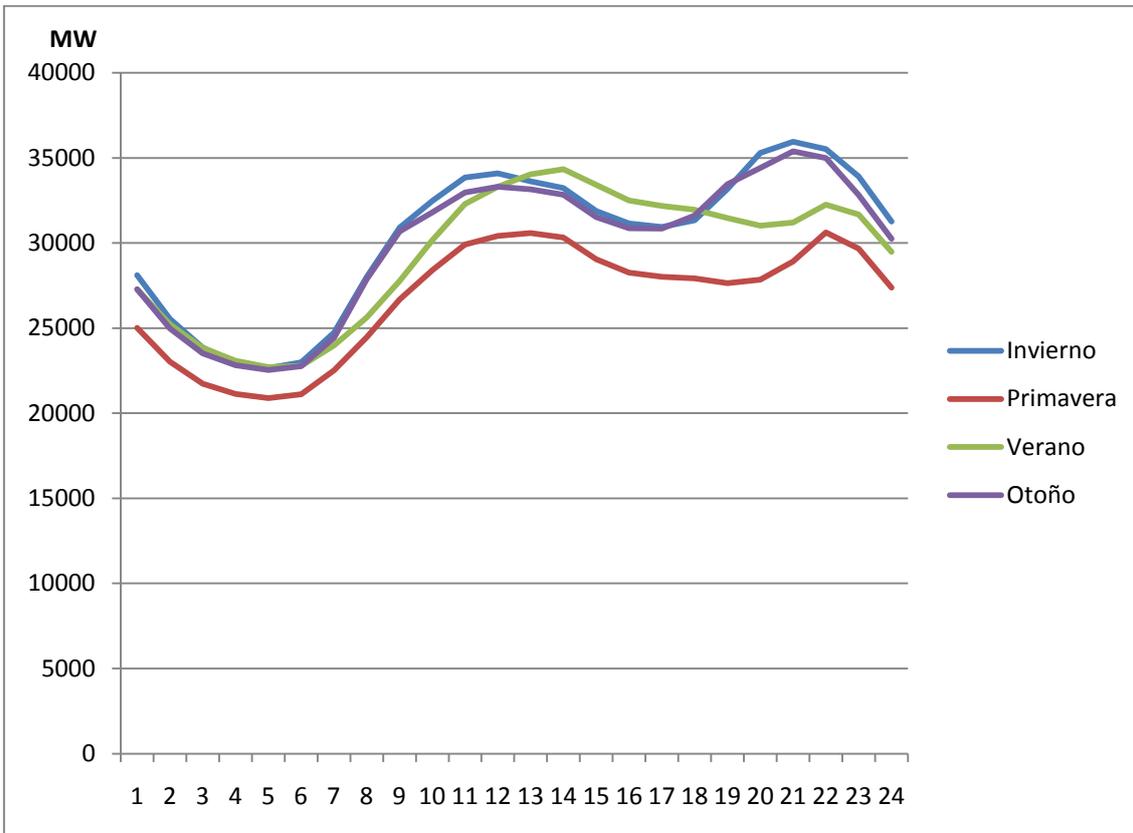


Ilustración 28: Comparación por estaciones desde 21/09/2008 hasta 20/09/2009. Datos extraídos del Sios.Bi. REE



Como se puede observar en las curvas de demanda anteriores, la situación con mayor demanda se presenta en invierno, cuando la demanda comprendida entre las 19 y las 23 horas alcanza el máximo. Por tanto, el sistema tiene mayor demanda en este intervalo de tiempo, y es aquí donde se deberá intentar aplicar la gestión activa de la demanda para reducir este máximo y distribuirlo a lo largo de todo el día. También se tendrá que tener en cuenta que el primer pico de demanda comprendido entre las 9 horas y las 13 horas es elevado, y el traslado de la punta de demanda se deberá intentar que no aumente el consumo en este intervalo de tiempo.

Para entender mejor, cómo se forma esta curva, se va a clasificar la demanda en los 3 grupos de consumo. Estos grupos son:

- Sector industrial.
- Sector servicios.
- Sector residencial.

Para la media de consumo en el mes de invierno, tal como se muestra en la ilustración 30, se ha separado los consumos tal como se muestran en las dos siguientes gráficas:

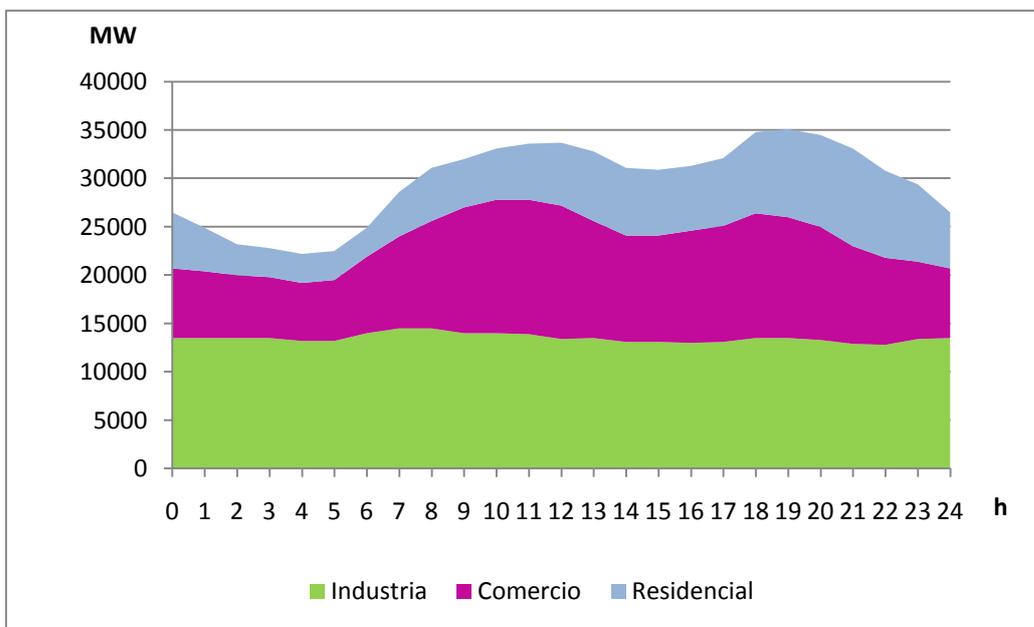


Ilustración 29: Distribución de la demanda por sectores año 2008 (documento Demanda Side Management Challenges)

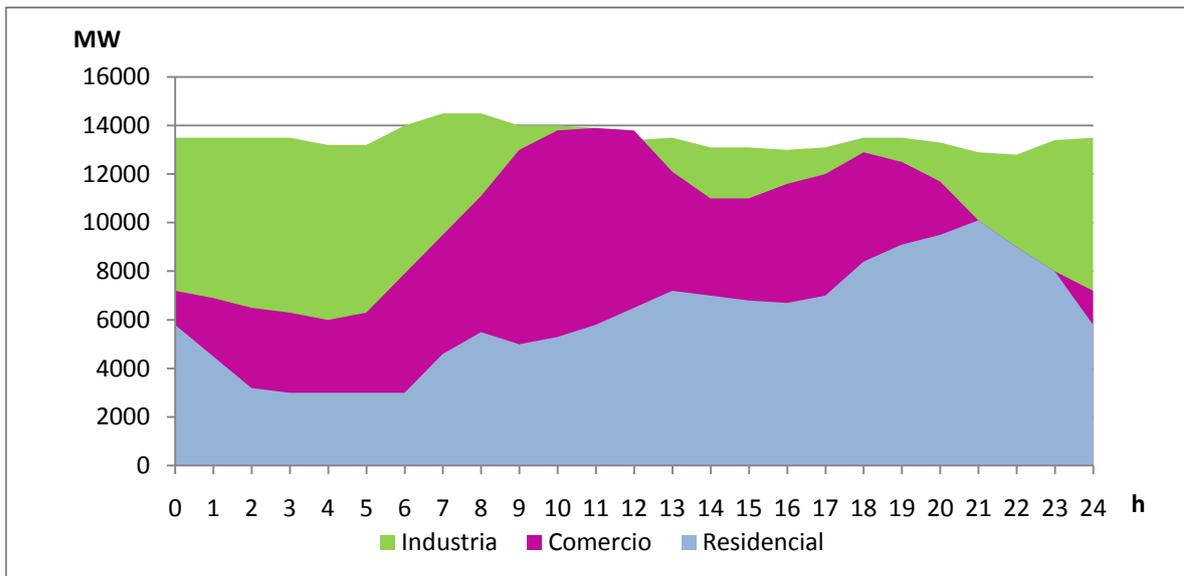


Ilustración 30: Demanda por sectores año 2008

Como se puede observar en las ilustraciones 31 y 32 el comportamiento es diferente para los tres tipos de demanda. En la ilustración 32 se observa que el mayor consumo lo realiza el sector industrial. Su distribución es casi constante a lo largo de todo el día, se observa que durante las horas de la mañana la actividad es mayor y por tanto el consumo aumenta, pero la variación de demanda no supera el 10%. Su gestionabilidad es complicada, ya que las actividades industriales permanecen constantes a lo largo de todo el día, y sería complicado variar el uso de la electricidad para la industria ya que esto implicaría una variación de la jornada de los trabajadores y sería bastante complicado de realizar.

La siguiente curva que tiene mayor consumo es la dedicada al sector servicios. Esta curva, como se puede observar presenta una variación a lo largo del día. Como se puede ver, la curva total de la demanda debe su forma a la suma de esta curva y a la del sector residencial. El primer pico de demanda que se encuentra entre las 9 de la mañana y la 1 de la tarde es debido a este sector. Por tanto, aunque no es motivo de estudio este sector, se va a analizar el comportamiento de su evolución para entenderlo mejor. Los motivos de variación son los siguientes:

- Durante las primeras horas del día 12 de la noche y las 6 de la mañana, la demanda de energía eléctrica es pequeña, ya que la actividad a estas horas es reducida.
- A partir de las 6 de la mañana, se observa un aumento de la demanda que alcanza su máximo en torno a las 12 de la mañana, este incremento en la demanda es debido a que la actividad comercial empieza a funcionar y a las 12 de la mañana es cuando tiene se máxima demanda provocada porque es el período cuando mayor trasiego de personas hay y por tanto mayor actividad comercial existe.
- Posteriormente, la demanda disminuye hasta las 3 de la tarde. Esto es debido a que es la hora en la que bastantes comercios cierran para comer, y la actividad comercial disminuye.



- A partir de las 3 de la tarde y hasta las 6 de la tarde, la actividad vuelve a crecer, no tanto como lo hacía por la mañana, pero aumenta ya que se vuelven a abrir comercios y vuelve a aumentar la actividad.
- A partir de las 6 de la tarde, la demanda disminuye de forma casi lineal hasta alcanzar valores similares a los del período de menor demanda en torno a media noche.

Si se aplicara la gestión activa de la demanda a este sector, los principales objetivos serían disminuir la punta de demanda que tiene en horas de la mañana y de la tarde cuando la demanda es mayor.

Gran parte de la demanda de energía que se produce en el sector residencial es debida a dos consumos, estos son la iluminación y la climatización.

La iluminación es una demanda que es difícil de gestionar, ya que es un consumo instantáneo y que no se puede programar con antelación. Esto quiere decir que la iluminación se necesita en tiempo real. Por tanto, la única forma de reducir este consumo es utilizando bombillas de bajo consumo y tubos fluorescentes, así como una buena distribución de las lámparas que evitasen el uso de más puntos de iluminación de los debidos.

La climatización, al contrario que ocurría con la iluminación sí que es más susceptible de ser gestionada. Una buena manera de gestionarla sería la programación de los sistemas de climatización para que empezaran a actuar una o dos horas antes de lo que suelen hacerlo en la actualidad con el fin de que funcionaran a menor potencia y por tanto se distribuyese la demanda en horas algo más tempranas, en torno a las 5 de la mañana. Este efecto se podría ver en la ilustración siguiente:

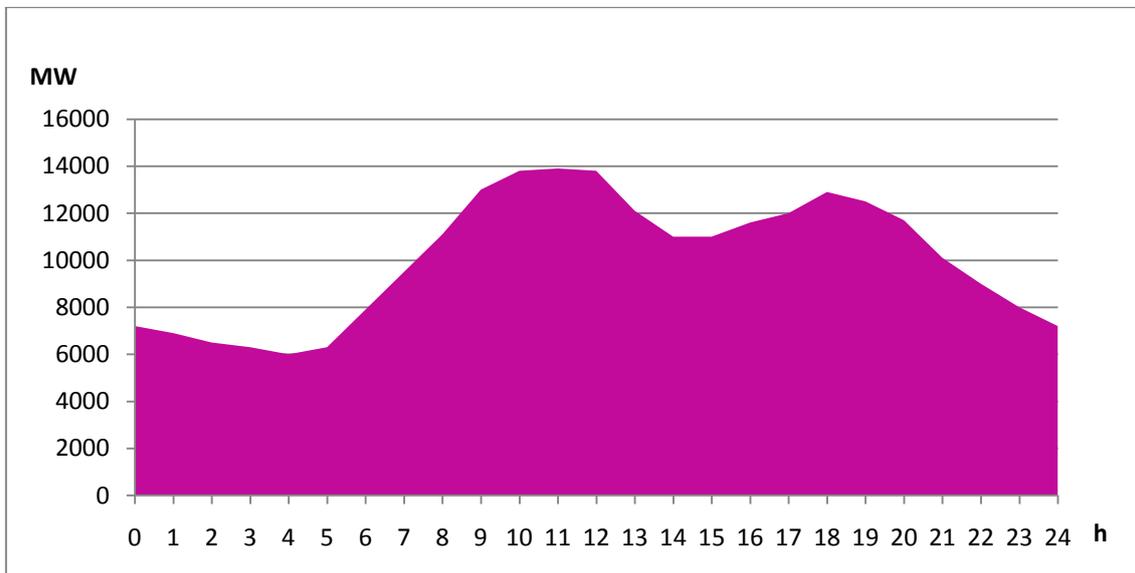


Ilustración 31: Curva de demanda sector comercial año 2008

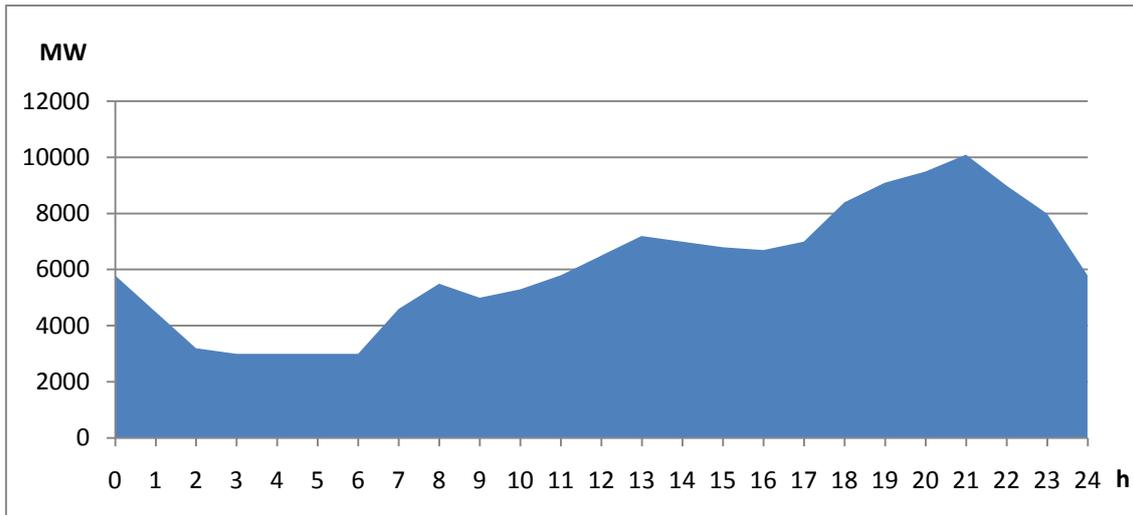


Ilustración 32: Curva de demanda sector residencial año 2008-

Respecto al sector residencial, como se observa en la ilustración 34, tiene un comportamiento prácticamente creciente desde las 6 de la mañana hasta las 9 de la noche y decreciente entre las 9 de la noche y las 2 de la mañana. El intervalo comprendido entre las 2 de la mañana y las 6 de la mañana permanece prácticamente constante.

La forma de la curva de la demanda se ve muy afectada por el comportamiento de la demanda en el sector residencial. La máxima demanda de electricidad que se produce por la tarde noche, entre las 7 de la tarde y las 9 de la tarde es debido a este sector en mayor medida y al sector servicios en menor medida. Por tanto, una gestión activa de la demanda de este sector produciría una variación en la curva de la demanda del sistema, y si la gestión se realiza de forma masiva, se podría producir una disminución considerable del pico de demanda.

Las pautas que provocan el comportamiento explicado anteriormente es el siguiente:

- Entre medianoche y las 2 de la mañana, se observa que la demanda disminuye, esto es debido a que todavía hay gente que está acostándose y por eso se observa que la demanda disminuye en estas horas.
- En el período comprendido entre las 2 de la mañana y las 6 de la mañana, la demanda permanece constante, ya que la mayoría de la gente está durmiendo y la actividad en las viviendas es prácticamente nula.
- A partir de las 6 de la mañana, se observa que la demanda aumenta, esto es debido a que la gente empieza a levantarse para ir a trabajar, este aumento se prolonga hasta las 8 de la mañana, que es cuando hay un máximo, y a partir de este momento decrece un poco debido a que mucha gente ya ha abandonado la vivienda y por tanto la demanda deja de aumentar.
- La reducción de demanda aunque es pequeña, se prolonga una hora, hasta las 9 de la mañana, y a partir de ahí aumenta hasta la 1 de la tarde que es cuando vuelve a alcanzar otro máximo, superior al de las 8 de la mañana. Esto es debido a que en los hogares se realizan tareas de limpieza y de cocina, que tienen un consumo mayor.
- Desde la 1 de la tarde y las 4 de la tarde, la demanda vuelve a bajar, de forma muy suave, y la causa de esto es debido a que la gente suele descansar después de la comida, o se vuelve a ir a trabajar, tras el almuerzo.

- A partir de las 4 de la tarde y hasta las 9 de la noche que es cuando se alcanza el máximo de todo el día, la demanda aumenta, debido a que la gente vuelve a sus viviendas. Esto provoca un aumento del uso de todos los electrodomésticos en general y en particular, debido a que empieza a anochecer, el aumento del consumo orientado a la iluminación. Como se observará más adelante en la ilustración 33 la energía orientada a la iluminación tiene una gran importancia en las horas de la noche. Otra de las causas del aumento de demanda es debido a la climatización del hogar, puede ser tanto para enfriarlo (si es verano) como para calentarlo (si es invierno). Este proyecto se centrará en este último por el motivo de tener mayor demanda, y por tanto, poder ser más gestionable desde el punto de vista de cantidad de energía a trasladar de horas de mayor consumo a horas de menor consumo. Más adelante, en el punto 4.3 se explicará cómo hacer una gestión de la demanda de los hogares y las posibles repercusiones que tendría en la curva de la demanda global del sistema.

4.3 Gestión activa de la demanda en el sector residencial

A continuación se va a centrar el proyecto en la gestión del sector residencial por las razones que se citaron en el punto anterior. Primero se analizará la curva de demanda media de un hogar español en invierno, para posteriormente, tras haber analizado la demanda existen, buscar aquellos consumos que pueden ser susceptibles de ser gestionados de forma remota, manual o programados, con el fin de disminuir la demanda del sistema eléctrico.

La curva de demanda media de un hogar español es la siguiente

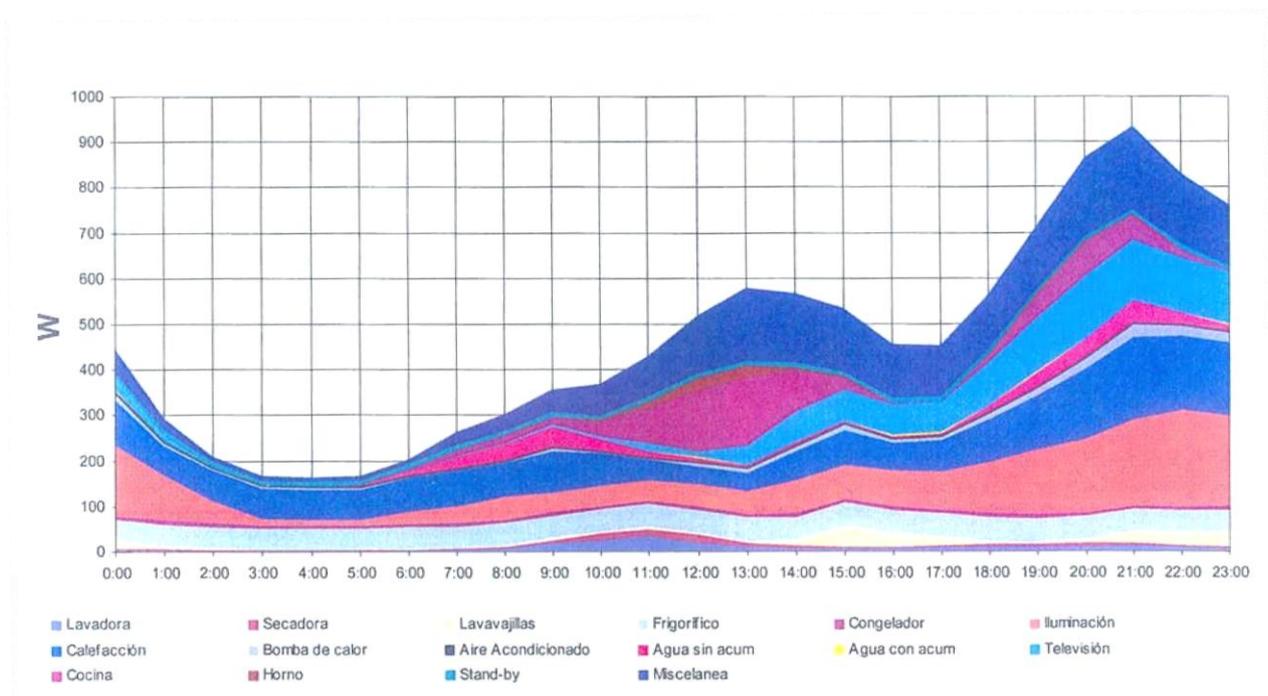


Ilustración 33: Curva de carga del hogar medio en un día laborable de invierno crudo. Año 2008. Proyecto INDEL



En la leyenda se pueden ver los distintos dispositivos, estos son: lavadora, secadora, lavavajillas, frigorífico, congelador, iluminación, calefacción, bomba de calor, aire acondicionado, agua sin acumulación (hace referencia a calentadores de agua eléctricos cuya capacidad de almacenaje de agua es pequeña y por tanto no es susceptible de calentar todo el agua y posteriormente utilizarla sin calentar), agua con acumulación (hace referencia a calentadores de agua que tienen un depósito con gran capacidad y que por tanto, puede ser calentada todo el agua y posteriormente se puede utilizar esta agua ya calentada sin necesidad de volver a gastar energía en aumentar su temperatura), televisión, cocina, horno, stand-by (hace referencia a los aparatos que existen en los hogares que al ser apagados siguen consumiendo una pequeña cantidad de energía debido a que el apagado no es total) y miscelánea (hace referencia a otros pequeños electrodomésticos como por ejemplo batidora, aspiradora, video, ordenadores...)

Como se puede observar los consumos que se han detallado en la ilustración 35 son un valor medio, por lo tanto, al dividir entre el número total del hogares, se tiene la curva de demanda detallada. Las preguntas que pueden surgir viendo el gráfico son cómo la curva de carga media no supera 1kW cuando en el consumo de un hogar se suele tener contratado potencias mayores o iguales a 3.3kW, y la respuesta a esta pregunta, es que se están teniendo en cuenta diferentes curvas de carga, por tanto, la forma de calcular la curva de carga es sumando todas las potencias y dividiéndolas entre el número total de viviendas que tienen potencia.

Lo más importante de esta curva, es extraer hábitos de usos de los distintos dispositivos que se tienen en los hogares, para ver si se podrían gestionar de una manera diferente.

Se empezará a analizar las curvas de carga en el siguiente orden. Primero por filas y luego por columnas. Por tanto, se tiene:

- Lavadora: La curva de demanda de la lavadora, permanece con un valor prácticamente nulo durante todo el día, excepto entre el intervalo de horas comprendido entre las 8 de la mañana y la 1 de la tarde, que es cuando mayor utilización de este electrodoméstico se realiza. También se observa que se utiliza en las horas de la tarde pero en menor medida, entre las 5 de la tarde y las 10 de la noche.
- Secadora: Este electrodoméstico se utiliza en los mismos períodos que la lavadora, pero debido a que su implantación es mucho menor que el anterior electrodoméstico, se observa que su potencia es también menor.
- Lavavajillas: Se puede observar que la utilización de este electrodoméstico se realiza en las horas después de las comidas, es decir, entre las 2 de la tarde y las 5 de la tarde y entre las 8 de la tarde y las 12 de la noche. La potencia que aparece en la curva es mayor que la de la lavadora, lo que indica que su utilización es más homogénea, ya que el porcentaje de lavavajillas por hogar es menor que el de lavadoras.
- Frigorífico: La curva de carga del frigorífico, permanece constante durante todo el día, y esto es debido a que debe estar todo el día conectado y funcionando el compresor para mantener la temperatura adecuada.
- Congelador: Presenta las mismas características que el frigorífico, pero la potencia que consume es menor debido a su menor tamaño, y a que el número de veces que se abre el congelador es mucho menor que el de un frigorífico.
- Iluminación: La iluminación tiene una curva de carga que varía dependiendo de la hora del día en la que se observe el consumo. Como comportamiento general



- se puede decir que crece desde primera hora de la tarde hasta las 9 de la noche que alcanza su máximo, posteriormente disminuye hasta las 3 de la mañana que alcanza el mínimo. Se puede observar que la potencia consumida en iluminación es mucho mayor que la del resto de consumos, y esto es debido, a que en todos los hogares, se produce un comportamiento similar en la iluminación ya que se demanda en horas de la noche y durante el día se consume menos.
- Calefacción: La calefacción tiene un valor más o menos constante durante el día, se debe tener en cuenta que el caso estudiado son días laborables de invierno con temperaturas bajas. Sin embargo, se puede observar que en las horas de la tarde, a partir de las 4 de la tarde y hasta las 9 de la noche, la demanda aumenta debido a que la gente suele llegar a las viviendas tras el trabajo y sube el consumo con el fin de calentar la casa.
 - Bomba de calor: El comportamiento es similar al de la calefacción, sin embargo, debido a que su uso es mucho menor, prácticamente no tiene presencia en la curva de carga.
 - Agua sin acumulación: El agua sin acumulación se consume principalmente por la mañana y por la tarde- noche, esto es entre las 6 de la mañana y las 12 del mediodía y entre las 6 de la tarde y las 10 de la noche.
 - Agua con acumulación: La curva de carga del agua con acumulación prácticamente no se observa en la gráfica debido a que su utilización es menor, y al tener una capacidad de almacenamiento de agua elevada, la cantidad de calor que se suministra es menor una vez que ya se encuentra lleno el depósito y se ha calentado el agua.
 - Televisión: La televisión tiene un consumo similar al de la iluminación, exceptuando que el consumo entre las 12 de la noche y la 1 de la tarde, la demanda es prácticamente nula, sin embargo, a partir de esta última hora, va aumentando de forma progresiva hasta las 9 de la noche donde tiene el máximo.
 - Cocina: El uso de la cocina eléctrica o vitrocerámica se realiza antes de las horas típicas de los almuerzos, esto es entre las 10 de la mañana y las 3 de la tarde, y entre las 6 de la tarde y las 10 de la noche. Al igual que ocurría con aparatos de uso cotidiano, tiene un gran peso en la curva de carga debido a que su utilización lo realizan un gran número de hogares al mismo tiempo.
 - Horno: La utilización del horno se realiza en horas de mañana principalmente, debido a que es cuando mayor número de comidas de este tipo se realiza, su utilización está comprendida entre las 11 de la mañana y las 2 de la tarde.
 - Stand-by: Su consumo es constante durante todo el día, y a pesar de que su consumo no es elevado, se puede observar en la curva de carga debido a que todas las viviendas tienen aparatos en modo stand-by y esto provoca que se vea reflejado en el gráfico.
 - Miscelánea: Aquí se incluye el resto de aparatos que no se han analizado anteriormente. Como se puede observar el consumo de miscelánea está altamente relacionado con la presencia de personas en la vivienda, ya que es más elevado en horas comprendidas entre la 1 de la tarde y las 3 de la tarde y entre las 7 de la tarde y las 11 de la noche.

A continuación se va a proceder a analizar aquellos electrodomésticos y aparatos que pueden ser utilizados para la gestión de la demanda.

Primeramente, se va a comentar las características que deben cumplir los electrodomésticos para que se pueda realizar una gestión activa de la demanda. Esta característica no es que su potencia sea elevada, ya que esta condición es apropiada que



se cumpla, pero no obligatoria, sin embargo, la característica principal que deben cumplir los aparatos gestionados es que no pongan en compromiso el confort de los habitantes en la vivienda.

Por tanto, no se pueden gestionar aparatos destinados al consumo instantáneo y que no pueden ser utilizados en otro momento, o su utilización en otro instante provocaría un descontento por parte del usuario. Un ejemplo de este hecho es la televisión. Este dispositivo, se utiliza cuando se quiere ver la televisión. No puedes interrumpir esta acción ya que el usuario podría renegar de la gestión de la demanda si se le interrumpen cargas de las que está disfrutando en ese momento. Un caso similar sería la iluminación, ya que si de repente te quedas a oscuras, es como si tuvieras un apagón y por tanto no se puede interrumpir esta acción, lo único que se puede hacer es una campaña de concienciación para que los usuarios realicen un uso más ecológico, evitando que se queden habitaciones iluminadas cuando no están siendo utilizadas.

Teniendo en cuenta estas aclaraciones, se van a exponer los electrodomésticos y aparatos que pueden ser tenidos en cuenta a la hora de gestionar la demanda.

- Lavadora.
- Lavavajillas.
- Calefacción.
- Termos para el calentamiento de agua.
- Secadora.

La lavadora, la secadora y el lavavajillas tendrían la posibilidad de ser interrumpidos o programados para que su funcionamiento ocurriera a una hora con demanda de energía menor. Esto se podría hacer con electrodomésticos inteligentes, con control de cargas directo o de forma manual. Se debe resaltar que la interrupción de estos electrodomésticos no debería producir que el electrodoméstico volviera a empezar con el ciclo completo de lavado, ya que se estaría realizando un mayor consumo que el que se produciría si el lavavajillas o la lavadora acabaran su ciclo. Es decir, se consumiría más demanda de energía pero en una hora menos crítica, y esto no es la finalidad de la gestión activa de la demanda, la finalidad de la gestión activa de la demanda es desplazar el consumo de energía a horas no punta, pero sin producir un aumento de la electricidad consumida. Los problemas derivados del traslado del consumo de estos electrodomésticos a otras horas es que su funcionamiento provoca grandes ruidos, sobre todo la lavadora cuando está en la fase de centrifugado, por tanto, se debería intentar que estos electrodomésticos estuviesen en terrazas, y en zonas que su ruido no afectara a otras personas ni a los propios propietarios del electrodoméstico.

Respecto a los calentadores con acumulación de calor, la idea sería que se produjese un calentamiento durante horas valle (típicamente en la madrugada) y después los sistemas de acumulación de calor (por ejemplo sistemas cerámicos que absorban calor durante las horas de madrugada y durante horas de demanda liberaran este calor) desprendieran calor para mantener la vivienda a una temperatura adecuada. Siempre se debe tener en cuenta que un buen aislante térmico en los hogares produce un gran ahorro de energía.

En cuanto a los termos para el calentamiento de agua, se podría hacer un calentamiento a horas de demanda menor y posteriormente un gasto energético basado en el mantenimiento de esta temperatura, es decir, que la mayor parte de la energía que se necesita para calentar el agua se demandara en horas valle, y el mantenimiento se produjese el resto del día. Este caso se puede utilizar únicamente en hogares con



calentadores grandes de agua cuya que permitan disponer de suficiente agua para que los usuarios hiciesen un uso adecuado del agua sin impedir que puedan ducharse o asearse por ejemplo, para una única persona, un calentador de agua adecuado de este tipo sería de unos 20-30 l, si es para una familia de 3-4 personas, con uno de 100 l tendría suficiente capacidad.

Por otra parte, existen otros aparatos que sus características permiten que su funcionamiento no sea a pleno rendimiento, y por tanto su consumo no sea el de potencia máxima. Estos aparatos son los que se van a citar a continuación:

- Frigoríficos.
- Congeladores.
- Aires acondicionados
- Hornos.
- Vitrocerámicas.

El funcionamiento de estos últimos consistiría en que cuando es necesario realizar una gestión de la demanda, el usuario o de forma remota se pueda elevar la temperatura de funcionamiento permitiendo que su consumo sea menor durante un determinado período de tiempo. Este caso está altamente implantado en sistemas con gestión de la demanda en zonas calurosas. El método consiste en que si por ejemplo la temperatura que tienes seleccionada en el hogar para la refrigeración del aire mediante la utilización de un aire acondicionado es de 22 °C esta temperatura se eleve a 25°C permitiéndose que la temperatura siga siendo confortable y sin embargo, el consumo disminuya de forma considerable.

Respecto a los frigoríficos y congeladores, se podría realizar un control de la temperatura, aumentando en no más de un grado la temperatura interior del electrodoméstico, ya que si se aumentase de forma considerable, se podrían producir desperfectos en los alimentos, y por tanto una disminución del grado de confort del usuario.

En cuanto a los hornos y vitrocerámicas, se produciría una situación especial, ya que la gestión de la demanda consistiría principalmente en disminuir la potencia instantánea del electrodoméstico, con el fin de que se produjese una punta de demanda menor. La repercusión de este efecto es que el tiempo de cocinado sería mayor, y a veces, podría llegar a ser inviable para el usuario final.

En los hornos, ocurriría algo similar al comportamiento de las vitrocerámicas, ya que se disminuiría la potencia del horno con el fin de consumir menos, pero tardaría más tiempo en alcanzar la temperatura deseada. Otra opción es que los nuevos hornos que incluyen limpieza pirolítica tengan un control de esta función, y por tanto se pudiera desplazar esta limpieza a otra hora del día para evitar la demanda en hora punta.

A continuación se van a exponer las curvas de demanda de cada electrodoméstico calculada cada media hora. No de forma instantánea ya que estos datos no son motivo de estudio, sin embargo, el consumo medio cada media hora servirá para visualizar el efecto de cada electrodoméstico en el hogar.

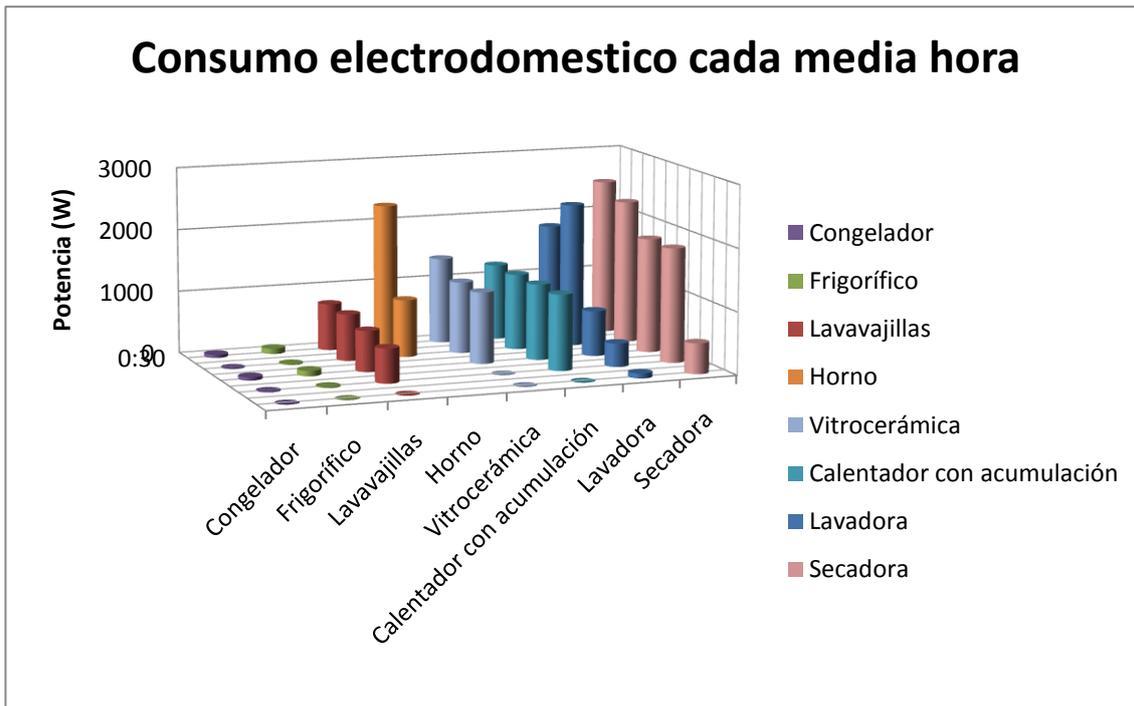


Ilustración 34: consumo de energía cada media hora de los electrodomésticos

Como se puede observar los electrodomésticos que mayor consumo instantáneo tienen (desde el punto de vista de energía consumida cada media hora) son la secadora, la lavadora, el horno, la vitrocerámica y el calentador.

La gestión de estos distintos electrodomésticos fue expuesta con anterioridad, y por tanto, lo que se va a implementar a continuación es una curva de demanda que pudiera ser para un único hogar en el caso de mayor demanda, esto es, en el caso de que hiciera uso de todos los electrodomésticos de los que posee.

Para estudiar el comportamiento de estas curvas, se ha realizado una macro en Excel que a partir de los consumos que se exponen en los gráficos, y colocándolos en las franjas horarias en las que se vayan a consumir, se obtiene una curva de demanda.

Adicionalmente, se pueden establecer los precios de las tarifas y los períodos en los que empiezan y acaban cada período y se podría ver la cantidad de dinero que se paga al día.

Por tanto, la siguiente curva tiene como fin, poner el caso más crítico para poder ver con mayor facilidad las repercusiones que tendría en ese mismo hogar la gestión activa de la demanda.

La interfaz del programa que permite calcular el consumo de demanda es la siguiente:

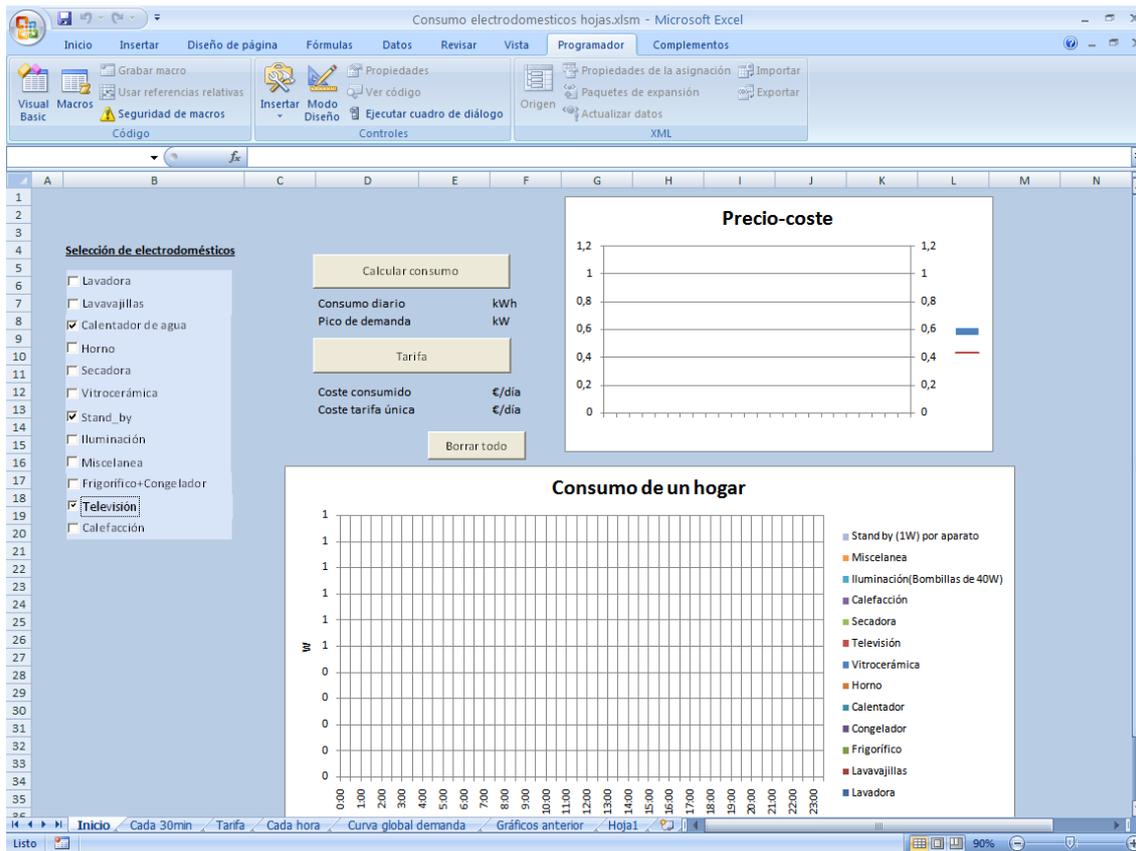


Ilustración 35: Interfaz para calcular el consumo y el precio a pagar

Como se puede observar, se pueden elegir los electrodomésticos que se quiere insertar en el programa para calcular el consumo. Los datos de consumo son los resumidos en la ilustración 34 en la que se muestran los consumos.

Para simular el peor de los casos, se va a seleccionar todos los electrodomésticos, y se va a establecer dos perfiles de utilización. El primero de ellos será para un consumo en horas más tardías, esto es, un hogar típico en el que no se encuentra nadie durante el día debido a que los miembros de la familia se encuentran fuera hasta la tarde que es cuando vuelven.

La curva de demanda sería como sigue:

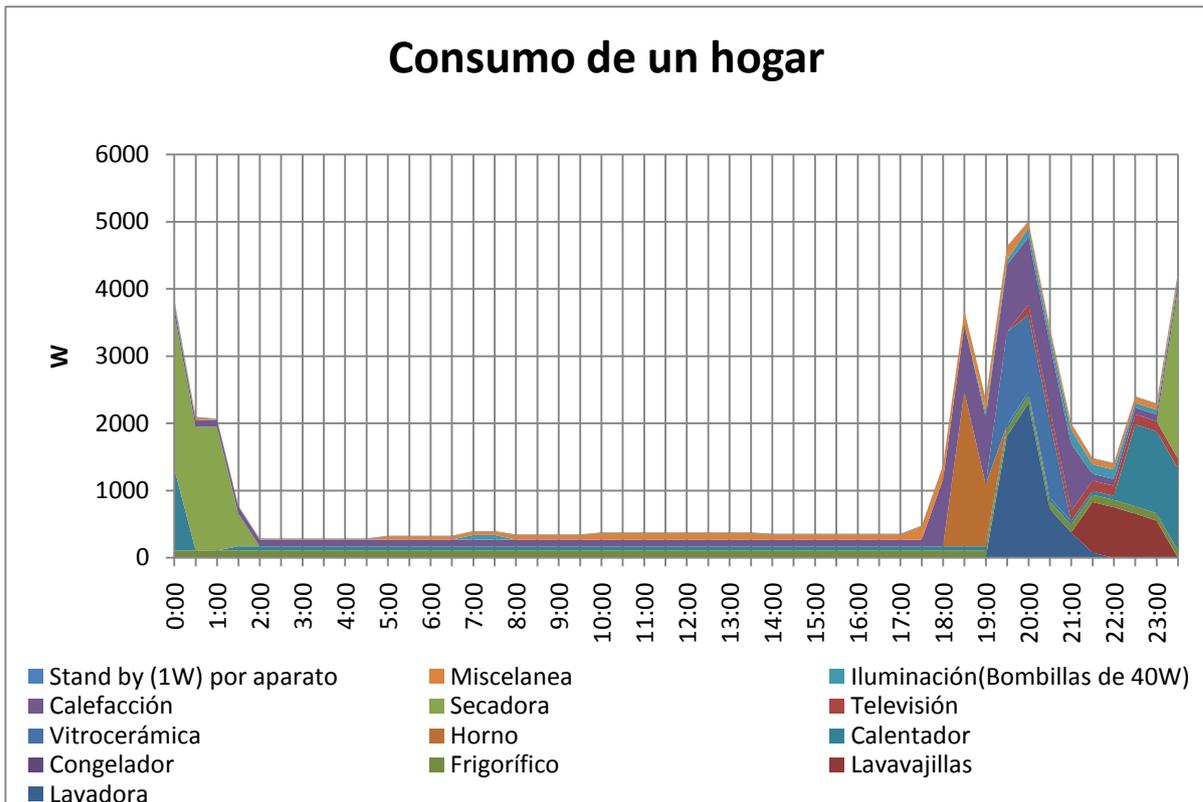


Ilustración 36: Consumo de un hogar realizado en horas más tardías del día

Como se puede observar, la demanda se desarrolla principalmente en las horas de la tarde y de la noche, cuando las personas de la vivienda llegan y utilizan los electrodomésticos. Se representa en la situación más crítica que es en la cual el consumo se concentra en 6 horas. Es el caso de una familia que trabaja durante todo el día por ejemplo.

Los siguientes datos son para este caso:

| | | |
|----------------------------|-------|-------|
| Consumo diario | 27,19 | kWh |
| Pico de demanda | 5,008 | kW |
| Coste tarifa disc. horaria | 2,70 | €/día |
| Coste tarifa única | 3,06 | €/día |

Tabla 25: Datos para el consumo representado en la ilustración 36

En la tabla 25 se observan los costes si se realizara una liquidación con la tarifa con discriminación horaria y con la tarifa única.

Estos costes serían los característicos para esta forma de demanda. El objetivo no va a ser únicamente centrarnos en consumos, también se intentará ver qué consecuencias en las facturas de los usuarios tendría este consumo.

Si a continuación se simula un escenario en el que el consumo se desarrolle de forma más distribuida, se obtiene la siguiente curva de carga:

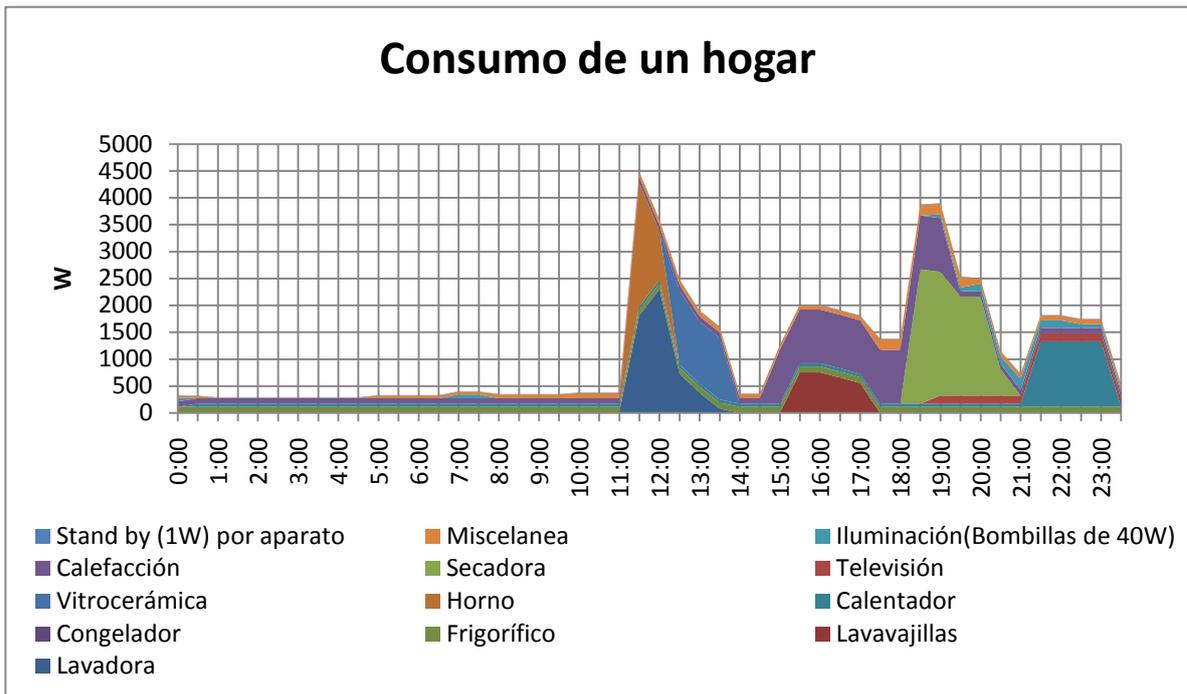


Ilustración 37: Consumo de un hogar más distribuido. Con una persona o más de forma constante en el hogar

Como se puede observar en la ilustración 37, el consumo se realiza de forma más distribuida, no se concentra todo el gasto en las horas más tardías del día. El pico de demanda máxima del día se sitúa a las 11:30 de la mañana.

Los datos relativos a este día son:

| | | |
|--------------------|-------|-------|
| Consumo diario | 28,24 | kWh |
| Pico de demanda | 4,487 | kW |
| Coste consumido | 3,14 | €/día |
| Coste tarifa única | 3,18 | €/día |

Tabla 26: Datos para la ilustración 37

El coste es mayor, no solo porque hay un mayor consumo, sino también porque al estar presente en la vivienda una persona a lo largo de todo el día, se produce un aumento de la energía consumida.

La gráfica que representa el comportamiento del consumo es la siguiente:

Ahora se va a simular un escenario en el que los electrodomésticos se utilizan en horas de la madrugada, para ello, habría que suponer que estos electrodomésticos pueden ser programados o conectados de forma remota. De momento no se contempla la posibilidad de un termostato programable ni un calentador de agua lo suficientemente grande como para poder calentar el agua en horas de madrugada y utilizar toda esa agua caliente a lo largo del día utilizando el mínimo de energía para mantener la temperatura.

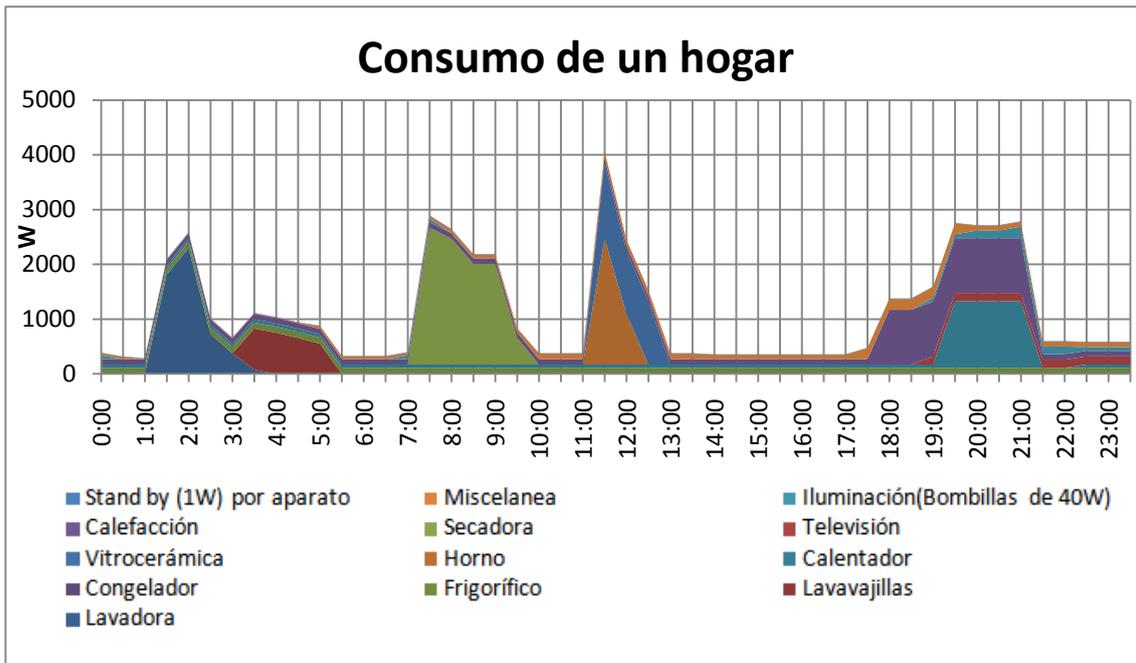


Ilustración 38: consumo de un hogar con programación de carga en lavavajillas, lavadora y secadora. Familia con gestión de demanda

| | | |
|--------------------|-------|-------|
| Consumo diario | 27,34 | kWh |
| Pico de demanda | 4,058 | kW |
| Coste consumido | 2,52 | €/día |
| Coste tarifa única | 3,08 | €/día |

Tabla 27: Datos para la ilustración 38

Tras ver estos análisis, se va a efectuar un estudio de la repercusión en la curva de carga de la gestión activa de la demanda. Para ello, el estudio se va a basar en una encuesta realizada por Red Eléctrica de España en el año 2008 en la cual se analizó la predisposición de los consumidores residenciales a modificar sus hábitos de consumo, así como la capacidad de control de sus equipos.

Para ello, en las encuestas se realizaron preguntando a los participantes por tres alternativas diferentes, estas alternativas fueron:

- Alternativa 1: Suspensión temporal del acceso a la energía eléctrica en determinados aparatos a cambio de una compensación económica.

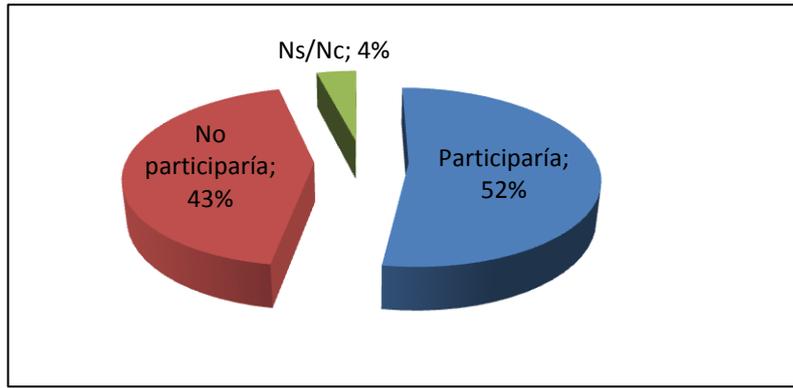


Ilustración 39: Participación de la población para la alternativa 1

- Alternativa 2: Suspensión temporal del acceso a la energía eléctrica de determinados aparatos electrodomésticos, con capacidad de restablecimiento del suministro energético por parte del consumidor. También tendría una compensación económica, pero con una remuneración menor que el anterior.

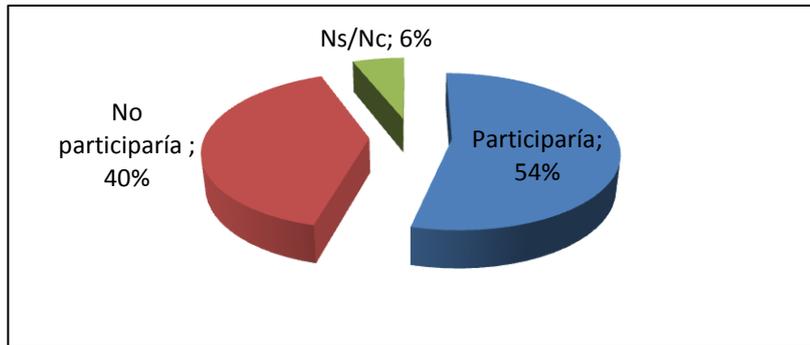


Ilustración 40: Participación de la población para la alternativa 2

- Alternativa 3: Desvío automático de consumos hacia tramos horarios de tarifa más económicos por lo que el hogar se beneficiará de un ahorro en su factura final de suministro eléctrico.

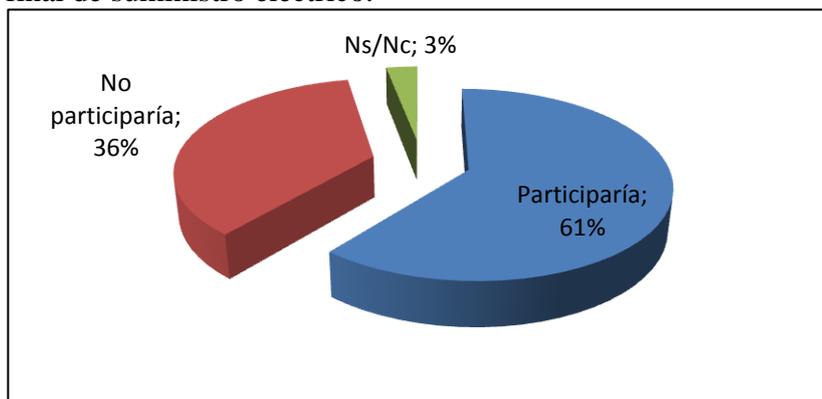


Ilustración 41: Participación de la población para la alternativa 3



En vista a los resultados obtenidos en la encuesta, se va a proceder a estimar las repercusiones que tendría una gestión activa en la curva de demanda residencial.

Para ello, primero se va a realizar un análisis de las curvas de demanda global del sistema. Estas curvas se han determinado por la superposición de datos estimados de 4 zonas geográficas. La división se ha realizado en función del grado de congestión de las líneas. Las zonas están compuestas por las siguientes provincias:

- Zona 1: Prioridad elevada. Las provincias que pertenecen a este grupo son Gerona, Cádiz, Málaga, Almería, Granada y Sevilla. La curva de demanda de esta zona es:

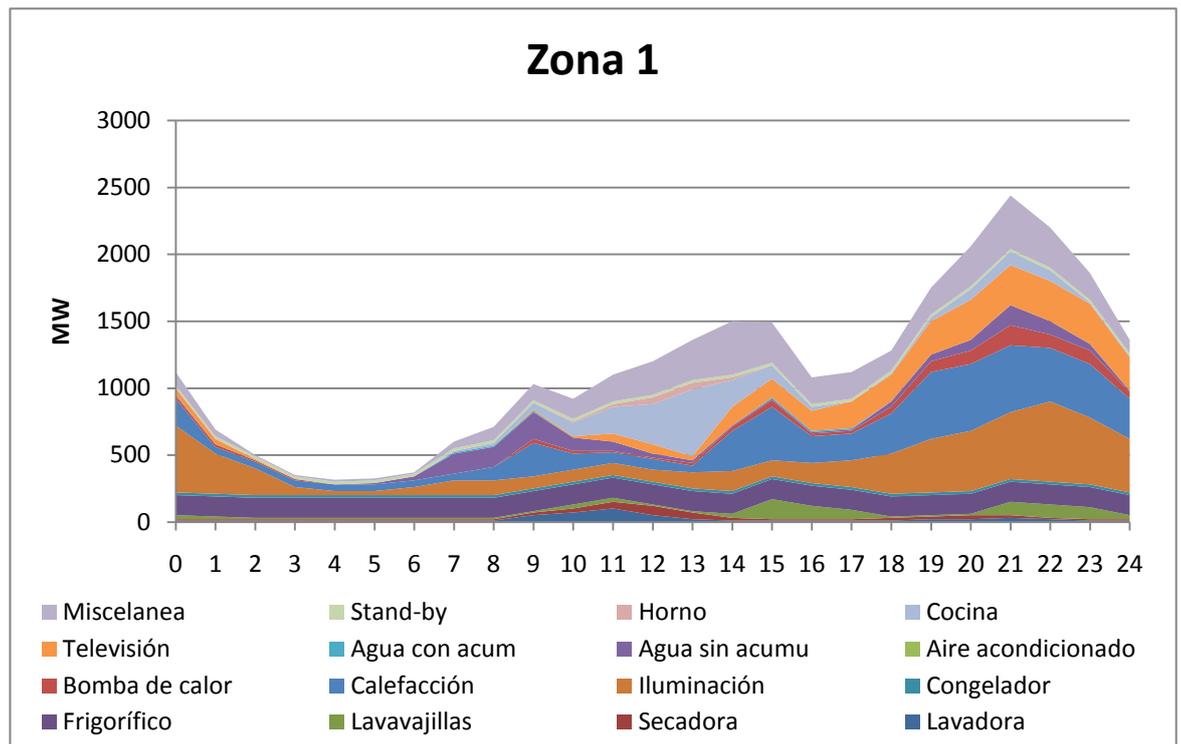


Ilustración 42: Consumo zona 1

- Zona 2: Prioridad alta. Las provincias que pertenecen a este grupo son Murcia, Alicante, Almería, Valencia, Castellón, Tarragona y Barcelona. La curva de demanda de esta zona es:

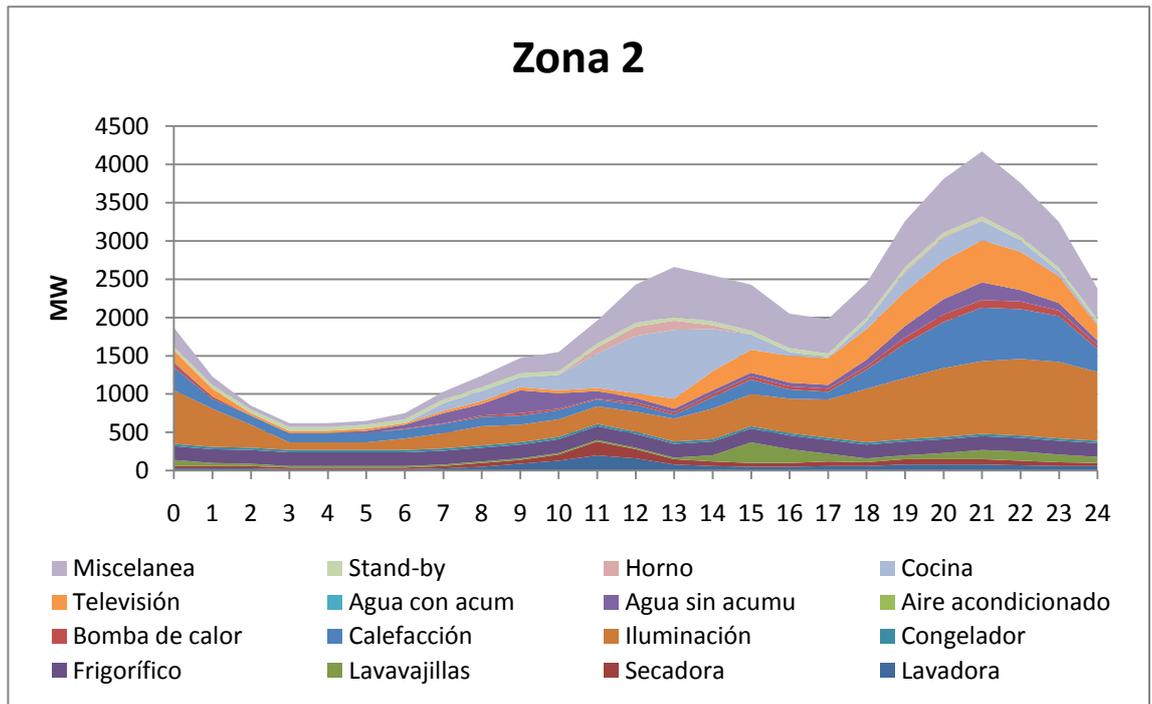


Ilustración 43: Consumo zona 2

- Zona 3: Prioridad media. Las provincias pertenecientes a este grupo son Toledo, Guadalajara y Madrid.

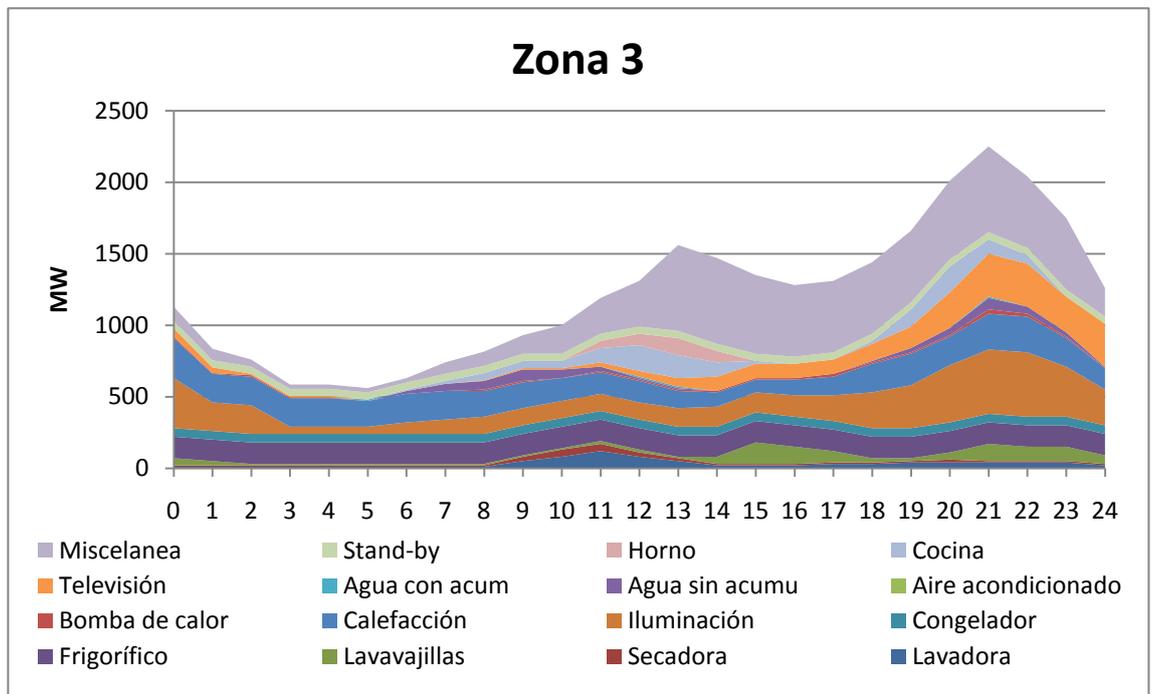


Ilustración 44: Consumo para zona 3



- Zona 4: Prioridad baja. El resto de provincias peninsulares que no se han citado con anterioridad pertenecen a este grupo.

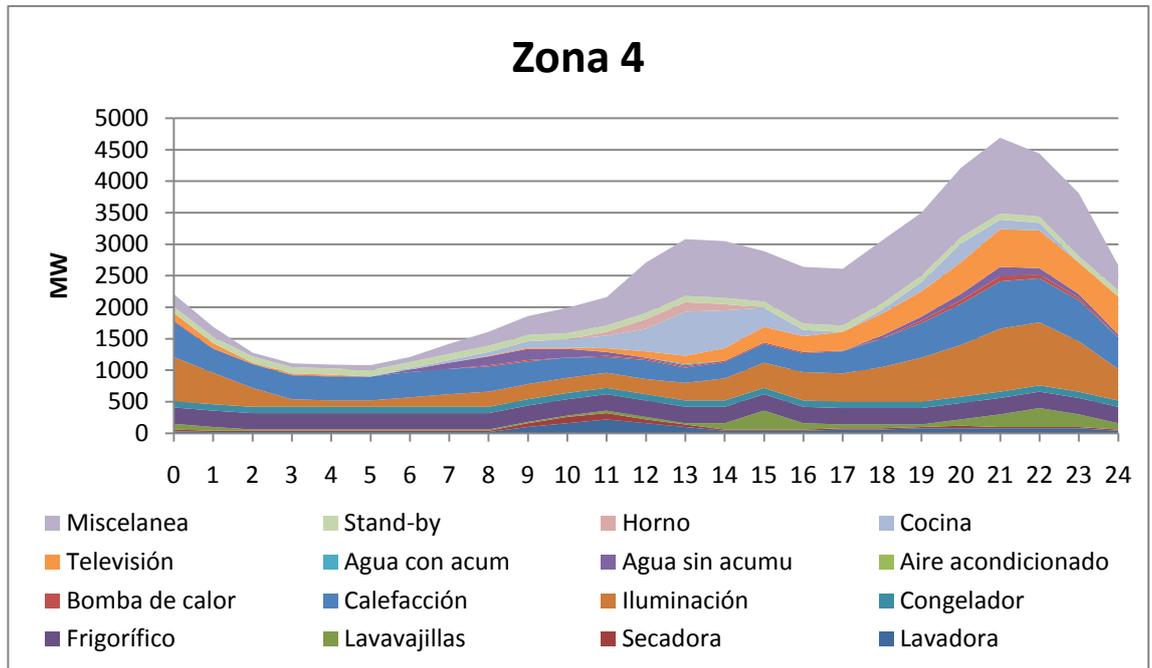


Ilustración 45: Consumo zona 4

Ahora, si se realiza la suma de las curvas de todas las zonas, se tendrá la curva de demanda para un día de invierno crudo. Esta curva es la que muestra la ilustración 46:

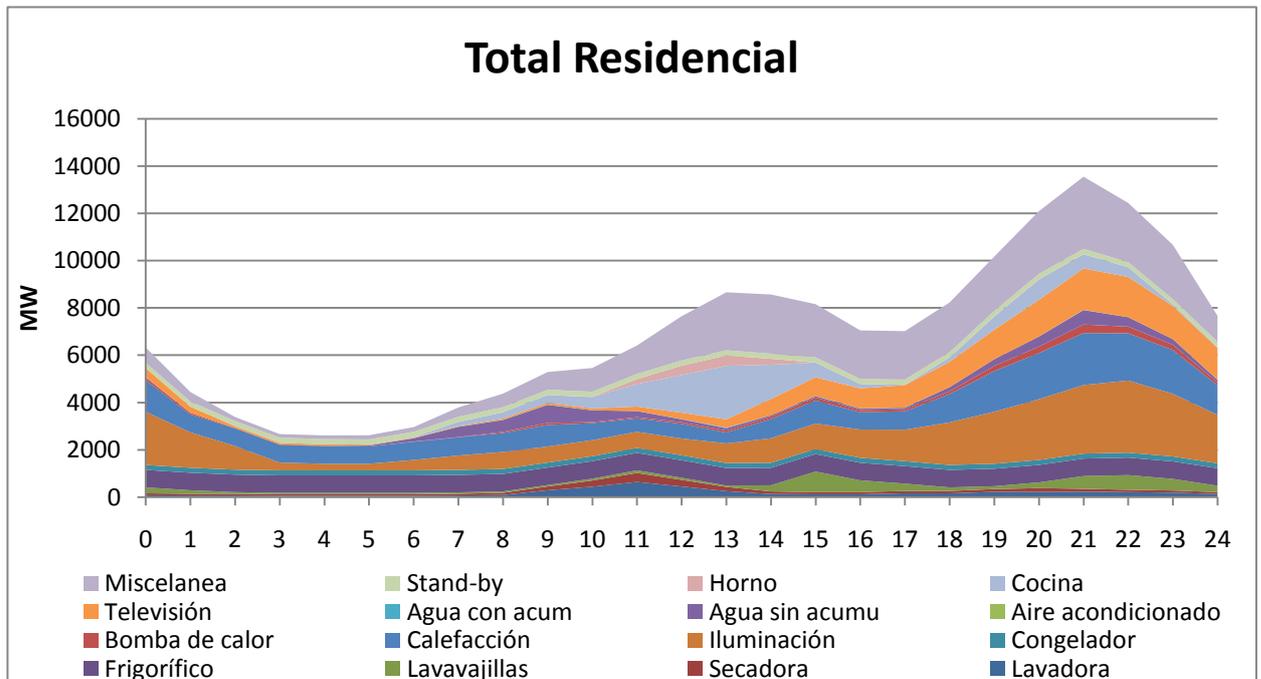


Ilustración 46: Consumo total



Como se puede observar en la ilustración 46, los mayores consumos pertenecen a televisión, iluminación, calefacción y miscelánea. De estas cuatro grandes demandadoras de electricidad, se va a proceder a realizar una gestión de la demanda de la calefacción, ya que las otras están directamente relacionadas con el consumo instantáneo, además se va a realizar la hipótesis de que los electrodomésticos que pueden ser utilizados a otras horas, se va a disponer del equipamiento suficiente como para programarlo a horas de la madrugada cuando claramente el consumo es menor.

5. Implantación en España

5.1 Consumos en los hogares

Llegado a este punto, se va a estudiar las repercusiones que hubiera tenido la gestión activa de la demanda sobre la curva de demanda del año 2008. Para ello, y según lo expuesto en los estudios realizados con anterioridad, se van a simular varias situaciones. Estas situaciones se van a caracterizar por el comportamiento de los usuarios y de las zonas, ya que primero se intentará solucionar los problemas que existen en las zonas 1, 2 y 3. En la zona 4 no se simulará una implantación de gestión de demanda, aunque al final del presente apartado, se simulará la curva de demanda que existiría si se realizase la implantación en toda la península. Por ello, se empezarán viendo las características de las zonas y las medidas que se van a tomar.

Las medidas que se van a tomar van a dividirse por zonas y por porcentajes dentro de cada zona, con el fin de poder visualizar las repercusiones que tendría la implantación del proyecto de gestión de demanda en España si se realizase en todos los hogares o únicamente en algunos hogares de algunas zonas delimitadas anteriormente en el apartado 4.3.

Para empezar, se va a realizar el ajuste para las zonas que presentan mayor conflicto según lo estudiado en el apartado anterior. Para ello, se van a utilizar una herramienta desarrollada para este fin, que lo que realiza son dos tipos de ajustes, el primero consiste en desplazar la demanda a horas comprendidas entre las 2 y las 8 de la mañana, sin importar la cantidad de energía que se esté consumiendo, y el segundo ajuste, consiste en ir adaptando la demanda gestionada a las horas en las que el consumo sea menor. Como se podrá observar en las gráficas obtenidas, los resultados son muy diferentes.

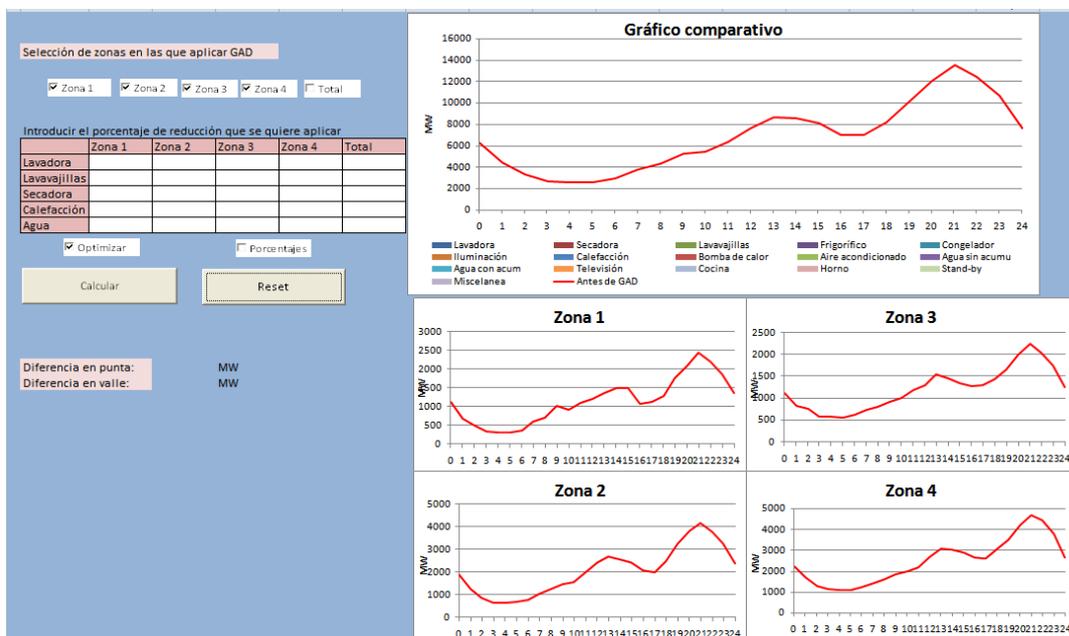


Ilustración 47: Interfaz para la visualización de la demanda en el sector residencial

Como se puede observar en la ilustración 47 en el programa se puede elegir la zona en la que se quiere realizar la gestión de la demanda (zona 1, zona 2, zona 3, zona 4, cualquier combinación de ellas o incluso todas). Así mismo, se pueden introducir los porcentajes de implantación que tendrá la gestión de la demanda en los hogares, es



decir, sobre los hogares que existen en cada zona, se introducirá un porcentaje que simula la implantación que tiene por ejemplo la gestión activa de la demanda en el electrodoméstico deseado, así por ejemplo, si lo que se desea introducir es que en la zona 1 los lavavajillas gestionables, o programables, están implantados en un 40% de los hogares, se introducirá en la casilla zona1,lavavajillas el número 40. Esto se puede realizar con todos los electrodomésticos descritos con anterioridad. Posteriormente, tras realizar el cálculo, se muestra la curva de demanda que hubo en el año 2008, comparándola con la que hubiera existido si en ese año hubiera habido gestión activa de la demanda.

Para empezar, se va a realizar la gestión de la demanda en las zonas 1 y 2. Para ello, teniendo en cuenta los datos del INE sobre porcentajes de calefacción eléctrica por tipo, se van a obtener los siguientes porcentajes absolutos, relativos a clientes con calefacción eléctrica y que dispone de acumuladores de calor siguientes:

| | |
|--------|-----|
| Zona 1 | 25% |
| Zona 2 | 30% |
| Zona 3 | 40% |
| Zona 4 | 45% |

Tabla 28: Porcentajes calentadores de agua con acumulación de calor

Estos porcentajes se han obtenido mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Zona} = \frac{\sum n^{\circ} \text{ viviendas} \cdot \% \text{ viviendas con calefacción con acumulación}}{n^{\circ} \text{ total viviendas}}$$

Siendo viviendas con calefacción con acumulación un valor aproximado que se ha obtenido mediante la suposición de que en cada vivienda habitan 4 personas.

Respecto a los lavavajillas, lavadoras y secadoras, en la actualidad no existe un método de gestión de la demanda que permita la interrupción de los funcionamientos y su traslado a horas valle, por tanto, los valores que se puedan hacer, son hipótesis que pueden ser más o menos acertadas, pero que su finalidad es visualizar el comportamiento final de la demanda, y su forma.

Respecto a la cantidad de calentadores con suficiente capacidad como para tener un sistema de calentamiento de agua en horas nocturnas y no necesite ningún aporte de energía elevado durante el día debido a que tiene suficiente capacidad para la demanda de agua de todo el día no se han encontrado datos, por tanto, también se harán suposiciones respecto a la implantación de estos calentadores.

Por tanto, para comenzar, se va a realizar el ajuste de las zonas que presentan una mayor congestión y que por parte del operador del sistema necesitan una mayor gestión de la demanda. Estas zonas son la 1, 2 y 3. A continuación en la tabla 29, se muestran los valores que se han introducido para la modificación de la curva de demanda. Primeramente, en la ilustración 48 se muestra la curva sin que haya una suavización de la curva, y en la ilustración 49 si se realizara una gestión más correcta y se buscara una curva de demanda más homogénea.



| | Zona 1 | Zona 2 | Zona 3 | Zona 4 | Total |
|--------------|--------|--------|--------|--------|-------|
| Lavadora | 40 % | 40 % | 40 % | | |
| Lavavajillas | 30 % | 30 % | 30 % | | |
| Secadora | 40 % | 40 % | 40 % | | |
| Calefacción | 25 % | 30 % | 40 % | | |
| Agua | 40 % | 40 % | 40 % | | |

Tabla 29: Porcentajes aplicados para el primer caso

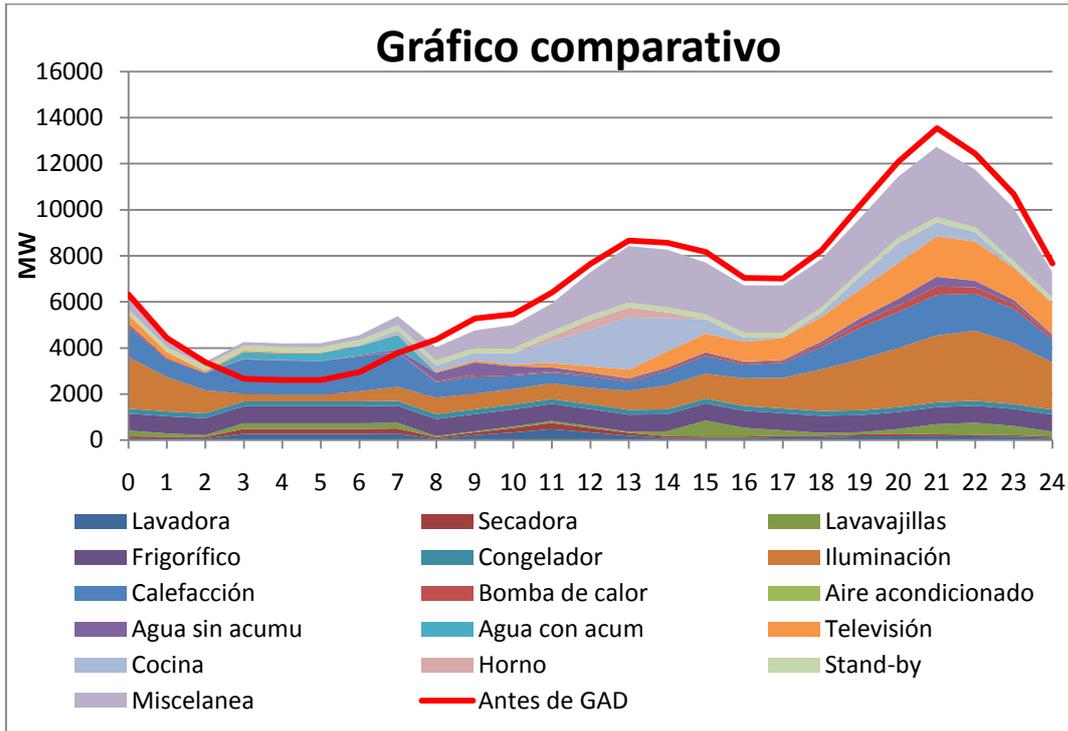


Ilustración 48: Gráfico de la demanda tras aplicar las condiciones de la tabla 29

| | |
|----------------------|----------|
| Diferencia en punta: | -825 MW |
| Diferencia en valle: | 1.587 MW |

Tabla 30: Resultados ilustración 48

Como se puede observar en la ilustración 48 la demanda de energía eléctrica se ha desplazado de las horas que no están comprendidas entre la 1 y las 8 de la mañana a esta franja horaria, por lo que aunque la cantidad de potencia no es elevada, si que se observa que se produce un pequeño repunte en las horas de la madrugada. Sin embargo, si lo que se busca es optimizar la curva, la ilustración 49 representa mejor una distribución más homogénea de la demanda, ya que la energía se ha desplazado a las horas con menor demanda, independientemente de si coinciden con las horas de madrugada o no.

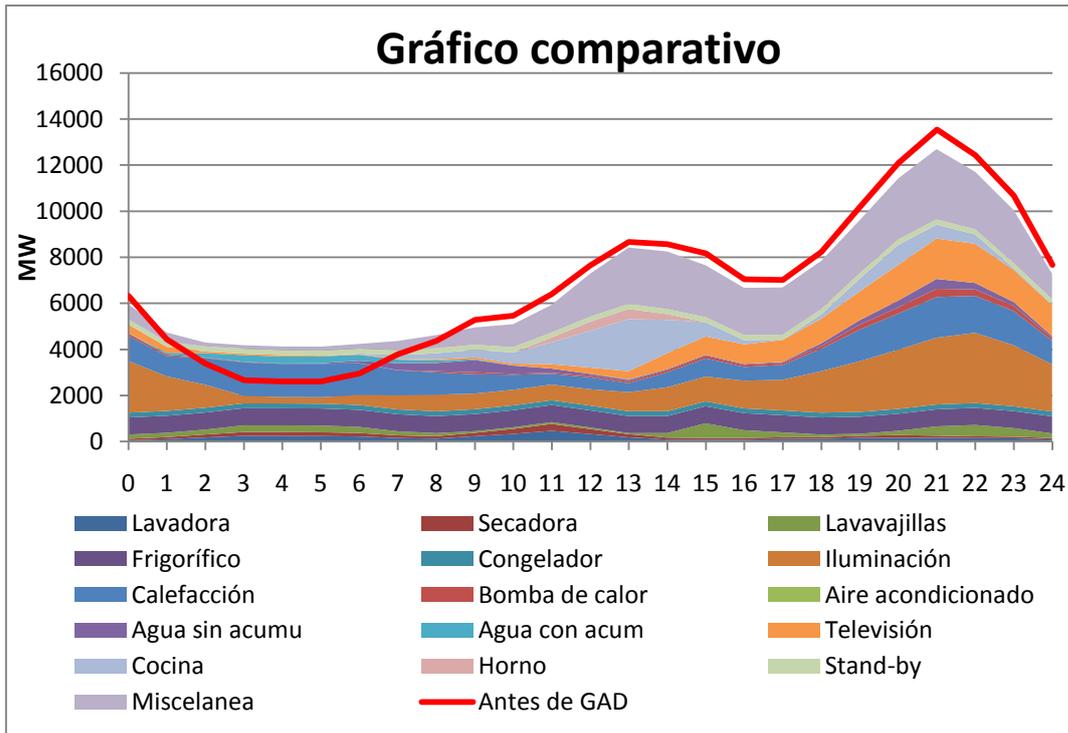


Ilustración 49: Gráfico de la demanda residencial optimizado

| | |
|----------------------|----------|
| Diferencia en punta: | -849 MW |
| Diferencia en valle: | 1.525 MW |

Tabla 31: Resultados ilustración 49

Como se observa en la ilustración 49 el desplazamiento de demanda se ha realizado de forma más suavizada, y no se observa el pico que aparece en la ilustración 48 en torno a las 7 de la mañana.

Por tanto, desde el punto de vista del sistema eléctrico, lo que se busca es que la curva sea lo más homogénea posible, por lo que el procedimiento para la distribución de la demanda se buscaría que fuese de la forma que representa la ilustración 49.

A continuación, se va a analizar la posibilidad de que la implantación en toda la península fuese mayor, por lo que se va a realizar una hipótesis de que toda la península participa en la gestión de demanda. Primeramente, se va a analizar si tuviera un porcentaje de implantación medio, y a continuación, si el porcentaje de implantación fuese elevado, en torno al 80% de la población participando activamente en el proyecto.

Para el primer caso, se van a utilizar los siguientes porcentajes:

| | Total |
|--------------|-------|
| Lavadora | 40 % |
| Lavavajillas | 40 % |
| Secadora | 40 % |
| Calefacción | 40 % |
| Agua | 40 % |

Tabla 32: Porcentajes para caso 2



Si se optimiza la curva de demanda, queda de la siguiente manera:

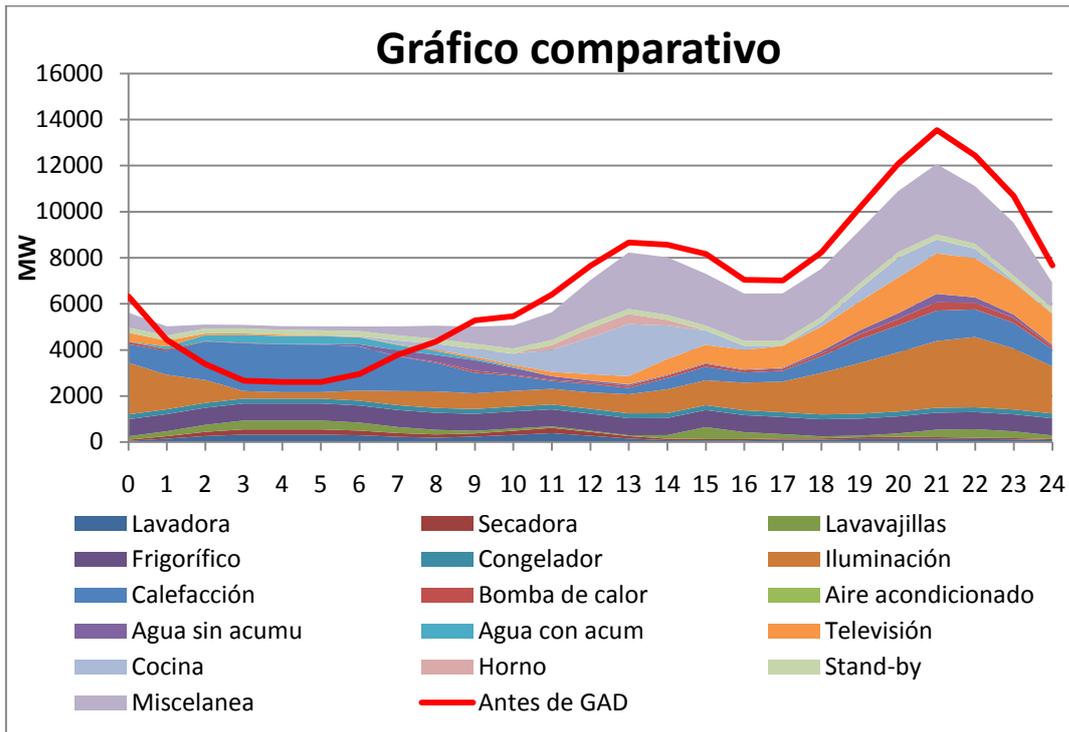


Ilustración 50: Gráfico optimizado para la tabla 32

| | |
|----------------------|-----------|
| Diferencia en punta: | -1.484 MW |
| Diferencia en valle: | 2.420 MW |

Tabla 33: Resultados ilustración 50

Si únicamente se realiza un desplazamiento del consumo a las horas de madrugada se obtiene la siguiente curva:

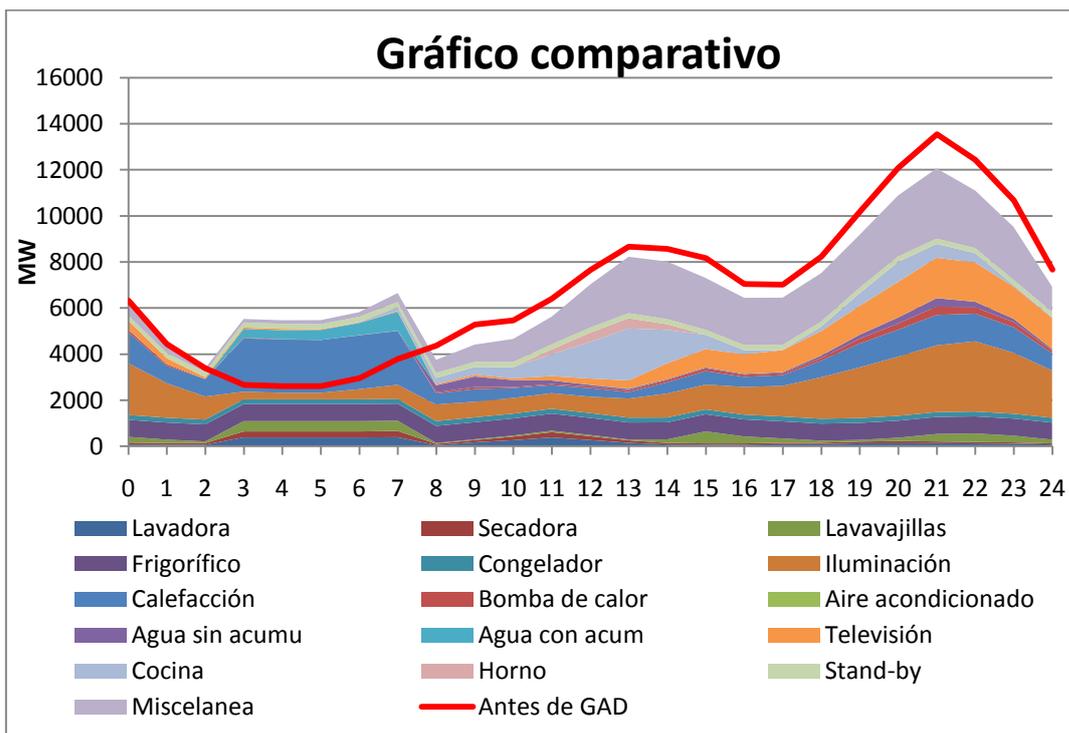




Ilustración 51: Gráfico de la demanda para la tabla32

| | |
|----------------------|-----------|
| Diferencia en punta: | -1.484 MW |
| Diferencia en valle: | 2.863 MW |

Tabla 34: Resultados ilustración 51

En la comparación entre las ilustraciones 50 y 51, se puede observar que la diferencia en valle entre las dos es de 400MW, pero lo que hay que destacar, no es la diferencia entre una y otra, sino la forma de la curva. Mientras que con porcentajes (ilustración 51) la curva que se obtiene tiene el problema de que se forma un nuevo pico de demanda entre las 2 y las 8 de la mañana, en la curva optimización (ilustración 50) no se produce esta punta de demanda, y por tanto, desde el punto de vista de utilización de recursos, se realiza una gestión de la demanda más eficiente, por tanto, lo que se intentará siempre realizar es este tipo de gestión para que la curva sea lo más homogénea posible.

Por último, el escenario a estudiar será una implantación a gran escala con un nivel de participación muy elevada, esta opción se daría en el caso de que la gestión de demanda estuviera ya implantado desde hace varios años y los constructores y fabricantes de electrodomésticos estuvieran altamente involucrados en el proyecto y fabricase electrodomésticos gestionables y casas con facilidades para fomentar el ahorro energético y la gestión de la demanda.

Los datos que se van a utilizar son los siguientes:

| | Total |
|--------------|-------|
| Lavadora | 80 % |
| Lavavajillas | 80 % |
| Secadora | 80 % |
| Calefacción | 80 % |
| Agua | 80 % |

Tabla 35: Porcentajes para el caso 3

Para el caso de porcentajes:

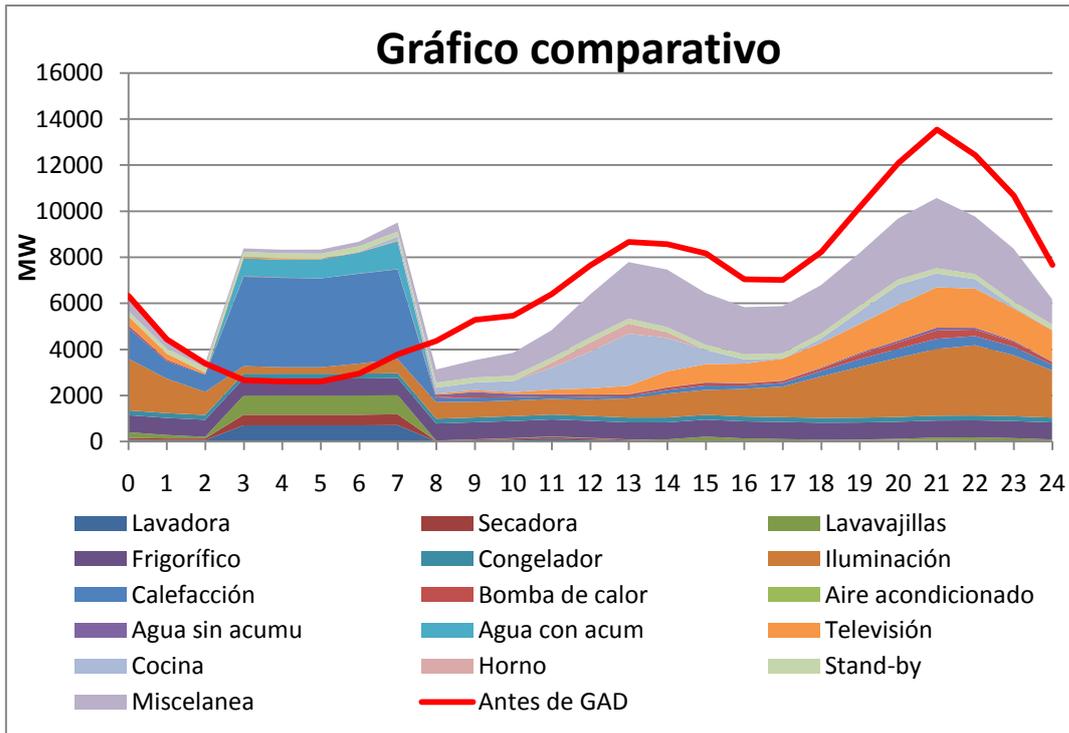


Ilustración 52: Gráfico de la demanda para la tabla 35

| | |
|----------------------|-----------|
| Diferencia en punta: | -2.968 MW |
| Diferencia en valle: | 5.726 MW |

Tabla 36: Resultados de la ilustración 52

Para el caso de optimización

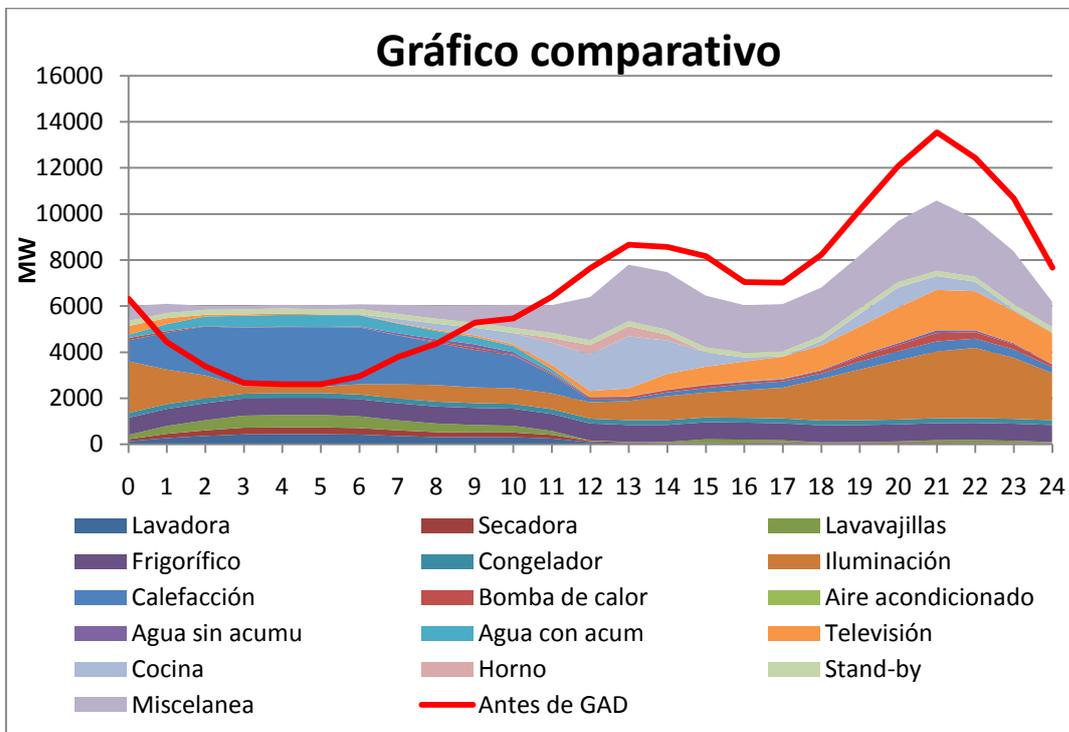


Ilustración 53: Gráfico de la demanda para la tabla 35



| | |
|----------------------|-----------|
| Diferencia en punta: | -2.968 MW |
| Diferencia en valle: | 3.444 MW |

Tabla 37: Resultados de la ilustración 53

En la comparación de estas dos curvas es donde se observa con mayor facilidad que la búsqueda de una distribución más homogénea será la más eficiente ya que no se realizarán inversiones en líneas de transporte/distribución o en centros de transformación para un uso inferior al 10% anual.

La diferencia en valle, en este caso, es de 3444MW para la ilustración 53 con la distribución más homogénea y de 5726 MW para la ilustración 52 en el que la distribución es menos homogénea.

5.2 Situación de los contadores

La mayoría de los contadores actuales no disponen de discriminación horaria, lo que provoca que no se pueda implantar una tarificación con discriminación horaria.

Para cambiar este tipo de contadores, se lanzó el plan contador en el que se ponía de horizonte el año 2018 para que todos los contadores que existiesen tuvieran discriminación horaria. El problema de esta normativa es que los cambios de contadores se realizarían de forma muy lenta, lo que provocaría que la entrada en vigor de tarifas con discriminación horaria tardara varios años en ejecutarse. Por ello, en la actualidad se puede pedir la instalación anticipada de este tipo de contadores. Las compañías distribuidoras se comprometen a instalarlo de forma gratuita en menos de 9 meses.

El motivo por el cual se pretende que entren en funcionamiento estos contadores es que permitirían incentivar el ahorro energético de las viviendas así como derivado de este ahorro energético, una disminución de la factura, que el ministerio de industria cifra en hasta un 10%.

5.3 Tarifas

5.3.1 Tarifa actual

El suministro a tarifa lo regula el Ministerio de industria, comercio y turismo.

La tarifa consta de dos términos:

- Término fijo (o de potencia): Este término hace referencia a la potencia contratada. A mayor potencia, mayor coste del término fijo. La forma de calcularlo es multiplicar el precio de la potencia contratada por el número total de kW contratados.
- Término variable (o de energía): Representa la cantidad de energía que se ha consumido en el período de facturación. Se mide en kWh y la facturación se



realiza mediante la medida del contador. Los distintos tipos de suministros que hay son los siguientes:

- Tarifas de último recurso: Los precios que tienen estas tarifas son los que se presenta a continuación. No tienen cargos adicionales por sobrepasar el consumo de 500kWh mensuales.

| Nivel de consumo de referencia | Término fijo €/kW y año | Término variable €/kWh | |
|--------------------------------------|-------------------------|------------------------|-------|
| P<10kW Sin discriminación horaria | 20,102425 | 0,11473 | |
| P<10kW Con discriminación horaria | 20,102425 | 0,060976 | Valle |
| | | 0,137362 | Punta |

Tabla 38: Precios para la tarifa de último recurso

Orden ITC/1659/2009, de 22 de junio, por la que se establece el mecanismo de traspaso de clientes del mercado a tarifa al suministro de último recurso de energía eléctrica y el procedimiento de cálculo y estructura de las tarifas de último recurso de energía eléctrica. (BOE, N° 151, de 23 de junio de 2009).

Periodos de utilización de la tarifa con discriminación horaria

Los consumidores acogidos a esta tarifa que dispongan del equipo de medida, podrán acogerse a la modalidad con discriminación horaria que diferencie dos periodos tarifarios al día, periodo 1 (período punta) y periodo 2 (período valle). La duración de cada periodo será la que figura el cuadro siguiente:

| Períodos tarifarios | Duración |
|---------------------|----------------|
| Punta | 10 Horas / día |
| Valle | 14 Horas / día |

Tabla 39: Número de horas por período

Las horas para estos períodos son las que se presentan a continuación:

| INVIERNO | | VERANO | |
|----------|------------|--------|------------|
| PUNTA | VALLE | PUNTA | VALLE |
| 12-22 | 0-12;22-24 | 13-23 | 0-13;23-24 |

Tabla 40: Horario de punta y valle para el invierno y el verano

De acuerdo con la Orden ITC/1659/2009, de 22 de junio, por la que se establece el mecanismo de traspaso de clientes del mercado a tarifa al suministro de último recurso de energía eléctrica y el procedimiento de cálculo y estructura de las tarifas de último recurso de energía eléctrica. (BOE, N° 151, de 23 de junio de 2009).

Tarifas de referencia para la aplicación del bono social

Para esta condición, se debe estar acogido al bono social. Los precios son los que se detallan a continuación:



| Nivel de consumo de referencia | Término fijo €/kW y año | Término variable €/kWh | |
|-------------------------------------|-------------------------|------------------------|-------|
| Sin discriminación horaria(1) y (2) | 1,642355 | 0,11248 | |
| Con discriminación horaria(1) y (2) | 1,642355 | 0,059614 | Valle |
| | | 0,135145 | Punta |

Tabla 41: Tarifa de bono social

- (1) La energía correspondiente al consumo de hasta 12,5kWh en un mes o en su caso su promedio diario equivalente quedará exenta de facturar el término básico de energía.
- (2) Cuando la energía consumida por encima del consumo promedio diario sea superior al equivalente a 500kWh en un mes, a la energía consumida por encima de dicha cuantía se le aplicará un recargo de 0,02839 €/kWh en exceso consumido.

Orden ITC/1723/2009, 26 de junio, por la que se revisan los peajes de acceso a partir de 1 de julio de 2009 y las tarifas y primas de determinadas instalaciones de régimen especial. (BOE, N° 156, de 29 de junio de 2009).

Suministro eléctrico de último recurso a consumidores con potencia < 3kW

Para la tarifa de último recurso, se utilizará la siguiente facturación:

| Nivel de consumo de referencia | Termino fijo €/kW y mes | Término variable €/kW |
|--------------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Tarifa social, potencia <3kW | 0,000000 | 0,11248 |
| Potencia<1kW (2) | 0,402318 | 0,089365 |

Tabla 42: Tarifa de último recurso

(2) Cuando la energía consumida por encima del consumo promedio diario sea superior al equivalente a 500kWh en un mes, a la energía consumida por encima de dicha cuantía se le aplicará un recargo de 0,02839€/kWh en exceso consumido.

Orden ITC/1723/2009, 26 de junio, por la que se revisan los peajes de acceso a partir de 1 de julio de 2009 y las tarifas y primas de determinadas instalaciones de régimen especial. (BOE, N° 156, de 29 de junio de 2009).

5.3.2 Tarifa propuesta para la gestión de demanda

Se implementarían dos tipos de tarifa, uno orientado a clientes que participen en el control directo de cargas, y otros en iniciativas de precios.

El modelo basado en iniciativa de precios sería una tarifa con discriminación horaria, tal y como está en la actualidad en España, la diferencia radica en que se tendría que hacer más hincapié para que el usuario participara en la gestión activa de la demanda y por ello, se debería realizar una tarifa en la que se pusieran los electrodomésticos con más



gestionabilidad en las horas de la madrugada. Una tarifa en función de los casos estudiados podría ser la siguiente:

| Período | Precio €/kWh | Hora | Tiempo total |
|---------|--------------|-------------|--------------|
| Valle | 0,05 | 00-10 | 10 horas |
| Llano | 0,10 | 10-15;22-24 | 7 horas |
| Punta | 0,20 | 15-22 | 7 horas |

Tabla 43: Propuesta de tarifa para la gestión de demanda

El segundo modelo se basaría en una retribución en base a la potencia desconectada que dejen gestionar de forma remota los participantes. Se debería pagar por potencia disponible para la desconexión y por cantidad de energía a bajar.

El segundo modelo es un control directo de cargas, y debería tener la propuesta de nueva tarifa expuesta anteriormente además de la remuneración económica que conlleve la desconexión de cargas. Esto es, se debería realizar algo similar a lo se hacía en el caso de Sacramento, en el que se pagaba un término fijo por la disponibilidad y otro variable por la cantidad de interrupciones.

Lo que se propone es una tarificación en la que se establecieran unos niveles mínimos de desconexión de cargas, y en base a estos niveles, se realizara un prorrateo entre la potencia disponible para interrumpir y el precio.

Para la remuneración, se va a seguir un modelo exponencial, de tal forma que se incentive una mayor potencia contratada para poder tener así un mayor potencial de energía gestionada. Para ello, se van a establecer dos puntos, que son la potencia mínima a interrumpir y la potencia máxima a interrumpir. Estos valores son los siguientes:

$$P_{\min}=1 \text{ kW} \Rightarrow R = 1,5 \text{ €} / (\text{kW} \cdot \text{año})$$

$$P_{\max}=4 \text{ kW} \Rightarrow R = 5 \text{ €} / (\text{kW} \cdot \text{año})$$

Estos valores se han establecido así ya que supondrían un ahorro en el término de la potencia de aproximadamente 18% si se tuviera disponible para la interrupción 4kW para una potencia contratada de 5,5 kW.

Siguiendo una curva exponencial para el cálculo de la remuneración económica, de la forma:

$$R = m \cdot e^{-P} + c \quad (9)$$

Donde:

R: representa la remuneración económica en € / (kW · año).

m es una constante de valor $67,46 \cdot 10^{-3} \text{ €} / (\text{kW} \cdot \text{año})$.

c es el corte con el eje y tiene un valor de $1,317 \text{ €} / (\text{kW} \cdot \text{año})$.



De tal forma que para los valores representativos siguientes que se podrían ofertar, los precios serían los siguientes:

| Potencia a interrumpir (kW) | Remuneración económica (€/año) |
|-----------------------------|--------------------------------|
| 1 | 1,50 |
| 1,5 | 1,62 |
| 2 | 1,82 |
| 2,5 | 2,14 |
| 3 | 2,67 |
| 4 | 5,00 |

Tabla 44: Remuneración económica por potencia disponible para el control directo de cargas.

Además, por cada carga interrumpida se les facturará una cuota de 0,05 c€/kWh que se interrumpa, de tal forma que si se les interrumpe una carga, durante todo el tiempo que la carga está sin funcionar, se active un contador que cuantifique esta cantidad de energía que no está permitiendo utilizar al usuario y se le remunere.

Las bonificaciones en las tarifas se deberán realizar de forma separada para que el usuario sea consciente de no solo los beneficios medioambientales y para la seguridad del sistema que tiene la participación en la Gestión Activa de la Demanda, sino también los beneficios económicos que puede provocar a los usuarios.

5.4 Sistemas de gestión de la demanda en hogares

En la actualidad no existe un sistema que permita la gestión activa de la demanda de forma remota por parte del operador de distribución o del operador del sistema, por lo que para una implantación masiva se va a pensar en un modelo en el que se va a centrar en modelos de negocio con la utilización de aparatos que gestionan la demanda de forma individual en cada hogar y que pueden ser programados de forma remota o local, dependiendo de la tecnología de cada aparato.

La gestión de la demanda se basa en un conocimiento por parte del usuario final, en este caso el usuario residencial, de la cantidad de energía que consume y las repercusiones que tiene la cantidad de energía en el sistema español.

Por tanto, es necesario que todos los hogares tuvieran un visualizador de potencia instantánea consumida, que permita ver la cantidad de energía que se está consumiendo. Además es de gran utilidad que estos dispositivos tengan la capacidad de enviar datos de consumo a ordenadores con el fin de tener un histórico de consumos, así como medidas a tomar y costes derivados de los consumos que realiza el hogar. Así, existen empresas como Home Systems y Energy Systems que disponen ya de estos dispositivos, y el primero es incluso capaz de desconectar cargas de forma programada cuando se supere una potencia determinada o llegue una señal de precios (establecida por el usuario) superior a un valor.

Por otra parte, el usuario debe ser capaz de tener un sistema de gestión de la demanda. Este sistema puede estar integrado en el visualizador de consumo, o establecerse en otro



dispositivo. Por mayor facilidad se debe buscar que el dispositivo integre la mayor parte de gestión inteligente del hogar, así no supondrá un aumento en la complejidad del sistema y se podrá gestionar de forma más simple el manejo de la energía consumida.

En la actualidad existen dos vías de gestión de cargas en los hogares.

- La primera es el uso de electrodomésticos inteligentes. Estos aparatos, sería gestionados de forma remota por el usuario o por la compañía eléctrica distribuidora. El problema de estos electrodomésticos son el gasto económico que deberían realizar los clientes residenciales para cambiar los electrodomésticos convencionales que poseen ahora por electrodomésticos inteligentes, que pudieran ser interrumpidos de forma remota y no volvieran a iniciar el programa cuando se vuelven a conectar. Las ventajas que presentan estos electrodomésticos es que tras una interrupción no iniciarían de nuevo el programa desde el principio sino que continuarían justo donde habían parado. También podrían tener programas ECO, que se conectaran de forma remota si la necesidad de utilización es elevada.
- El segundo es el uso de enchufes inteligentes. Se basaría en un control remoto, similar al anterior de este tipo de enchufes, la diferencia radica en dos principales aspectos. El primero es que la gente no debería sustituir sus actuales electrodomésticos por unos nuevos y por tanto, la inversión es mucho menor. La segunda es que las cargas, al ser interrumpidas, volverían a conectarse desde el principio, y por tanto, se produciría un aumento de la energía consumida.

5.5 Comunicaciones

En función de lo estudiado en las experiencias internacionales, se va a implementar un sistema basado en el control directo de las cargas, que se realizará por parte del operador de distribución siguiendo las órdenes que envíe el operador del sistema.

Para la recepción de las órdenes, se debe implementar un sistema de comunicaciones que vaya desde el operador del sistema hasta la carga final que se quiera desconectar. Por ello, se debe tener en cuenta que existen tres comunicaciones diferenciadas. La primera sería una comunicación que se llamaría *comunicación de control*, esta comunicación sería entre el operador del sistema y el operador de distribución. La segunda sería la *comunicación de ejecución*, que sería entre el operador de distribución y el usuario final, y la tercera y última sería la *comunicación de hogar*, que sería entre la entrada de la orden en la vivienda y los electrodomésticos gestionados. La primera comunicación debe ser rápida, fiable y con un ancho de banda que no tiene que ser demasiado amplio, ya que los archivos a enviar no serán de gran tamaño, porque son órdenes de desconexión de cargas en zonas determinadas. Por tanto con un fichero XML que tiene la principal ventaja de la autodescripción, sería suficiente. El medio podría ser una línea telefónica y utilizar una red privada virtual (VPN) entre el operador del sistema y los diferentes operadores de distribución, de tal forma que fuese una línea segura y privada para que no se pudieran enviar archivos erróneos por parte de otras personas ajenas al operador del sistema o al operador de distribución.

Por parte del operador de distribución se realizaría un envío de respuesta de la orden recibida y la cantidad de demanda que se ha desconectado. Un ejemplo sería el siguiente:



- El operador del sistema (OS) envía una orden de desconexión de carga de 50 MW en la zona de Valencia, ya que se está poniendo en riesgo el suministro eléctrico por una saturación de un transformador. Por tanto, se enviaría un fichero XML con las órdenes de desconexión de 50 MW y la zona, en este caso Valencia.
- El operador de distribución (OD) recibe el fichero anteriormente descrito, y envía una confirmación de recepción para que el operador del sistema sepa que se ha recibido la orden. A continuación el OD ejecutará las medidas oportunas para la desconexión de las cargas y una vez que se haya reducido la demanda tanto como ordenaba el OS, el OD envía un fichero XML con la información de la demanda reducida, la zona y el tiempo empleado para la reducción.

Respecto a la *comunicación de ejecución* debe tener las características siguientes, la primera es que tiene que tener un amplio ancho de banda ya que debe enviar multitud de mensajes a todos los hogares que se encuentren con un control directo de carga. La segunda es que la velocidad de conexión debe ser elevada para que las órdenes se ejecuten lo antes posible, ya que la orden de reducción por parte del OS puede ser debida a diversos factores, como faltas, saturación de líneas, fallo de transformadores, etc. Esta parte de la comunicación es la que más problemas puede suscitar, algunos de estos problemas, se van a exponer a continuación, así como las posibles soluciones que se podrían ejecutar para solventarlos.

El primer problema es que se debe tener un fichero actualizado cada poco tiempo que muestre el consumo de los hogares, la razón de esto, es que no se puede enviar una orden de reducción de demanda a un hogar que está consumiendo 1kW, porque probablemente, su consumo sea el del frigorífico y algunos aparatos de consumo instantáneo, tales como televisión, video, iluminación, etc. Por tanto, se debe realizar una comunicación bidireccional, lo que provoca que el ancho de banda sea elevado, y se tenga que disponer de un servidor que almacene los consumos “instantáneos” en cada momento.

El segundo problema es el intervalo de tiempos en los que se debe tomar las medidas, en principio, se podría pensar que intervalos de tiempos de 15 minutos, como se realizan en varios proyectos internacionales, serían adecuados, sin embargo, la cantidad de carga que se ha podido conectar y desconectar ha podido variar considerablemente, por ejemplo, se han podido acabar los ciclos de la lavadora y el lavavajillas que habían estado conectados a la vez, y se podría enviar una orden de desconexión de una carga que ya habría acabado, con el consiguiente mensaje de error hacia el operador de distribución. Por tanto, una medida cada 5 minutos, reduciría de forma considerable este tipo de errores.

El tercer problema es qué hogares se deben gestionar. Lo que se propone para un control directo de cargas, son hogares que tengan un consumo elevado, ya que son los que con mayor facilidad podrán reducir los consumos en un momento en el que el OS lo requiera, por tanto, se podría realizar una instalación en los hogares con potencias contratadas iguales o superiores a 3,3kW.

El cuarto y último problema es qué cargas se deben desconectar, para ello, se debe realizar un sistema inteligente que gestione las cargas en los hogares para saber qué cargas puede desconectar y qué potencia disminuiría. Este problema se solventaría con la instalación de un sistema software en la entrada de los hogares que fuese capaz de



saber que electrodomésticos están conectados, y así poder interrumpir su funcionamiento cuando se le ordenara.

El medio físico que se podría utilizar es la banda ancha de internet, ya que la mayoría de los hogares ya dispone de ella, y hay un proyecto por parte del ministerio de industria, turismo y comercio para que todas las personas puedan acceder a internet a esta velocidad.

El último tramo sería la *comunicación de hogar*, que sería la que se ejecuta desde la entrada del hogar, por ejemplo desde el interruptor de control de potencia (ICP) hasta los electrodomésticos finales. Para evitar el problema de los cables y modificar las instalaciones, se debería ejecutar mediante una conexión inalámbrica (Wireless). El control estaría situado a continuación del ICP y este sería el encargado de recibir las órdenes por parte del OD y ejecutar las desconexiones de los electrodomésticos adecuados para que se reduzca la demanda como ordena el OS. Recibiría las órdenes en formato XML y sería un sistema lo suficientemente inteligente como para enviar señales de conexión y desconexión a los electrodomésticos debidos para reducir la demanda. Así mismo, se podrían ejecutar también órdenes de ajuste de temperaturas de confort y de funcionamiento de frigoríficos y sistemas de calefacción. Una vez realizada la pertinente orden, se enviaría un mensaje al OD para que recogiese las acciones ejecutadas. Se debería informar de la cantidad de potencia desconectada y la hora de desconexión.



6 Conclusiones

La gestión activa de la demanda es un cambio de perspectiva en el concepto energético, ya que hasta ahora, la idea es que se debía adaptar la generación para que siempre abasteciese a la demanda, que presentaba un perfil difícilmente modificable. Pero ahora, con la gestión de la demanda, es esta quien se puede adaptar para que el equilibrio entre generación y demanda sea el óptimo, y no sea la generación la que se tiene que adaptar a la demanda, sino que ambas participen de forma activa en el sistema eléctrico.

Las ventajas que traerá esta nueva visión de la gestión de la demanda, todavía están en proceso de evaluación, y son difícilmente cuantificables de momento, ya que los proyectos que se han realizado han sido a pequeña escala. Sin embargo, en función de lo estudiado en el presente documento, entre las ventajas que producirá la gestión de la demanda se encuentran una mayor integración de las energías renovables en el sistema peninsular; la utilización más eficiente de las instalaciones actuales, ya que los flujos de carga que circulan por las líneas serán más homogéneos y por tanto no existirán diferencias tan elevadas entre punta y valle como ocurre en la actualidad; mayor adaptabilidad a la integración del vehículo eléctrico, ya que se podrán realizar cargas y descargas inteligentes en función de la demanda global del sistema; reducción de las emisiones de CO₂ producidas en los procesos de generación de energía eléctrica; menores tiempos de respuesta ante fallo en el sistema eléctrico y menor dependencia energética del exterior.

Las desventajas que puede presentar la gestión activa de la demanda, son la posible disminución del confort de los usuarios, sumado a una difícil adaptación de los participantes al concepto de gestión de demanda que puede provocar que las inversiones que se tengan que realizar queden ensombrecidas por los pocos resultados energéticos que se puedan obtener.



7 **Bibliografía**

La bibliografía utilizada ha sido la siguiente:

- [1] Página web de Red Eléctrica de España: <http://www.ree.es>
- [2] Página web Proyecto GAD: <http://www.proyectogad.es>
- [3] Página web del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio: <http://www.mityc.es>
- [4] Residential Time-of- Use with Critical Peak Pricing Pilot Program: Comparing customer response between Educated-only and Technologic- Assisted Pilot Segments <http://www.summitblue.com/attachments/0000/0448/14 - Residential Time-of-Use with Critical Peak Pricing Pilot Program.pdf>
- [5] AmerenUE Critical Peak Pricing Pilot <http://drrc.lbl.gov/pubs/drtown-pricing-voytas.pdf>
- [6] EVALUATION OF INDIVIDUAL METERING AND TIME-OF-USE PRICING PILOT Evaluation http://www.oeb.gov.on.ca/documents/cases/EB-2004-0205/smartpricepilot/TOU_Pilot_Report_OakvilleHydro_20080403.pdf
- [7] Worldwide Survey of Network-driven Demand-side Management Projects <http://www.efa.com.au/Library/David/Published%20Reports/2006/IEADSMTaskXVRe searchReport1.pdf>
- [8] Pacific Northwest Grid wise Testbed Demonstration Projects http://gridwise.pnl.gov/docs/op_project_final_report_pnnl17167.pdf
- [9] Energy efficiency and load curve impacts: EFFLOCOM <http://www.efflocom.com/pdf/EFFLOCOM%20report%20no.%207%20Pilot%20Results.pdf>
- [10] Automated Critical Peak Pricing Field Tests <http://drrc.lbl.gov/pubs/59351.pdf>
- [11] *Automated Demand Response Tests: An OpenADR Demonstration Project – Revision 1*. EPRI, Palo Alto, CA: 2009. 1018895.
- [12] Comisión Nacional de la Energía <http://www.cne.es>
- [13] Boletín Oficial del Estado <http://www.boe.es>
- [14] Instituto Nacional de Estadística <http://www.ine.es>