

**UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID**  
**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR**  
**DEPARTAMENTO INGENIERÍA ELÉCTRICA**



**TRABAJO FIN DE GRADO**  
**GESTIÓN ACTIVA DE LA DEMANDA EN EL SECTOR RESIDENCIAL.**  
**ESTADO DEL ARTE DE LOS PROYECTOS EN CURSO**

**AUTOR:** Rodrigo Jiménez Abad

**TUTOR:** Fernando Soto Martos

Leganés, 25 de Junio de 2013



Trabajo fin de grado: GESTIÓN ACTIVA DE LA DEMANDA EN EL SECTOR RESIDENCIAL.  
ESTADO DEL ARTE DE LOS PROYECTOS EN CURSO



## Índice

1. Objetivo .....	7
2. Introducción .....	8
3. Sistema Eléctrico .....	13
3.1. Generación .....	14
3.1.2 Integración de las energías renovables en el sistema eléctrico .....	17
3.2. Transporte .....	18
3.2.1 Subestaciones .....	19
3.2.2 Interconexiones .....	20
3.3. Distribución .....	21
3.4. Consumo .....	22
4. Demanda eléctrica .....	23
4.1 Curva de la demanda eléctrica en España .....	24
4.1.1 Diferentes curvas de la demanda .....	25
4.1.2 Ciclos de la curva de la demanda .....	27
4.1.3 Evolución anual de la curva de la demanda .....	29
4.1.4 Previsión de la demanda de energía eléctrica .....	30
4.1.5 Curva de la demanda eléctrica por sectores .....	31
4.1.6 Curva de la demanda eléctrica del sector residencial .....	33
4.2 Marco Regulatorio .....	35
5. Gestión Activa de la Demanda .....	37
5.1 Gestión Activa de la Demanda en el sector residencial .....	42
6. Estado del arte de los proyectos en curso .....	47
6.1 Proyecto GAD .....	47
6.2 Proyecto Ontario Smart Price Pilot .....	53
6.3 Proyecto SmartHouse-SmartGrid .....	59
6.4 Proyecto ADDRESS .....	66
7. Modelo de implantación real en España.....	71
8. Conclusiones.....	93
9. Bibliografía .....	94



## Índice de figuras

- Figura 1. Curva de la demanda del sistema eléctrico español el 20 de febrero del 2013.
- Figura 2. Curva de la demanda del sistema eléctrico español el 18 de julio del 2012.
- Figura 3. Modificación de la curva de la demanda realizada por la Gestión Activa de la Demanda.
- Figura 4. Esquema del sistema eléctrico.
- Figura 5. Evolución de producción en régimen ordinario y en régimen especial.
- Figura 6. Evolución de la red de transporte para redes menores o iguales de 220 kV y para redes de 400 kV.
- Figura 7. Distribuidores de energía eléctrica en España.
- Figura 8. Consumo horario de energía eléctrica en un día de invierno (noviembre 2011).
- Figura 9. Demanda de energía eléctrica del miércoles 8 de agosto de 2012 (día laborable verano).
- Figura 10. Demanda de energía eléctrica el miércoles 15 de enero de 2013 (día laborable Invierno).
- Figura 11. Ciclo semanal de la demanda eléctrica comprendida entre el 11 de febrero y el 17 de febrero de 2013.
- Figura 12. Ciclo mensual de la demanda de los meses de enero y febrero de 2012.
- Figura 13. Efecto producido por las huelgas generales en España en la previsión de la demanda
- Figura 14. Crecimiento anual de la demanda eléctrica.
- Figura 15. Consumo horario de energía eléctrica en un día de invierno (noviembre 2011)
- Figura 16. Demanda eléctrica en sector residencial en comparación a la demanda global en un día característico de verano (Izquierda) y uno de invierno (derecha)
- Figura 17. Objetivos de la GAD.
- Figura 18. Curva de carga del hogar medio en un día laborable de invierno.
- Figura 19. Curva de carga del hogar medio en un día laboral de verano
- Figura 20. Arquitectura del proyecto GAD y uso de las TIC
- Figura 21. Esquema de operación del proyecto GAD
- Figura 22. Comunicaciones entre los diferentes agentes del GAD
- Figura 23. Cálculo del límite por debajo del cual se produce el reembolso del PCR.



Trabajo fin de grado: GESTIÓN ACTIVA DE LA DEMANDA EN EL SECTOR RESIDENCIAL.  
ESTADO DEL ARTE DE LOS PROYECTOS EN CURSO

Figura 24. Distribución del ahorro en la factura de los participantes en el PPR por tiempo de uso.

Figura 25. Integrantes del mercado eléctrico y los casos de negocios del proyecto en los que participan.

Figura 26. Efecto de la aplicación de las diferentes tarifas en la curva de la demanda eléctrica.

Figura 27. Estructura y comunicaciones del hogar inteligente.

Figura 28. Arquitectura del proyecto ADDRESS

Figura 29. Planificación del proyecto ADDRESS

Figura 30. Clasificación de eficiencia energética de electrodomésticos y comparación respecto al consumo medio.

Figura 31. Penetración de electrodomésticos según etiqueta energética en los hogares españoles.

Figura 32. Caso base vivienda: Curva demanda eléctrica.

Figura 33. Horario periodos TUR con discriminación horaria en tres periodos tarifarios.

Figura 34. Caso GAD vivienda: Curva demanda eléctrica

Figura 35. Comparación curvas características de la demanda caso base y caso GAD



## **Índice de tablas**

Tabla 1. Potencia Instalada a 31 de Diciembre de 2012

Tabla 2. Energía producida en 2012.

Tabla 3. Saldo de los intercambios internacionales de energía eléctrica del sistema eléctrico español en GWh. Saldo positivo, importador, saldo negativo, exportador

Tabla 4. Evolución y crecimiento anual de la demanda eléctrica.

Tabla 5. Precios escalonados del PPR aplicables a todos los consumidores.

Tabla 6. Precios del PRP por tiempo de uso.

Tabla 7. Precios del PPR con PPC.

Tabla 8. Precios del PPR con PCR.

Tabla 9. Caso base: Equipos, cantidad y potencia de cada electrodoméstico

Tabla 10 Caso Base Vivienda: consumo energético por equipo

Tabla 11. Tarifas TUR mercado eléctrico español.

Tabla 12. Caso base vivienda: Estudio económico y evolución energética horaria tarifa A con discriminación horaria.

Tabla 13. Caso base vivienda: Estudio económico y evolución energética horaria tarifa B sin discriminación horaria

Tabla 14: Caso GAD vivienda. Modificaciones y costes de adquisición.

Tabla 15: Caso GAD Vivienda: consumo energético por equipo

Tabla 16. Caso GAD vivienda: Estudio económico y evolución energética horaria tarifa A con discriminación horaria.

Tabla 17. . Caso GAD vivienda: Estudio económico y evolución energética horaria tarifa B sin discriminación horaria.

Tabla 18. Resumen económico del modelo después de aplicar la GAD. Fuente: elaboración propia.

Tabla 19. Ahorro mensual respecto al caso base y tiempo de amortización. Fuente: Elaboración propia

Tabla 20. Caso GAD vivienda: Estudio económico y evolución energética horaria tarifa A con discriminación horaria, desestimando la adquisición de una secadora eficiente

Tabla 21. Resumen económico del modelo después de aplicar la GAD, desestimando la adquisición de una secadora eficiente

Tabla 22. Ahorro mensual respecto al caso base y tiempo de amortización, desestimando la adquisición de una secadora eficiente



## **1. Objetivo**

El objetivo principal del presente Trabajo Fin de Grado es el estudio de la gestión activa de la demanda eléctrica a través del análisis de proyectos de carácter nacional e internacional, en los que se realice una gestión activa de la demanda en el sector residencial.

Analizar cómo se implantaron estos proyectos y la repercusión que tuvieron en la curva de la demanda eléctrica, servirá para conocer el comportamiento y las pautas a seguir para la realización de la gestión activa de la demanda en el sistema eléctrico español.

Además, el proyecto tiene como objetivo secundario el estudio de las características de la demanda del sistema eléctrico español, para de este modo poder llevar a cabo un estudio de la implantación de la gestión activa de la demanda en los hogares. Para ello se analizarán los efectos energéticos y económicos comparativos entre un hogar con equipos electrodomésticos y hábitos de consumo tradicionales y los de ese mismo hogar en el que se aplica gestión activa de la demanda y en el que hay equipos eficientes y de bajo consumo.



## **2. Introducción**

Actualmente, y durante los últimos años, se están desarrollando numerosos proyectos con la finalidad de realizar un uso responsable de la energía y de limitar, al mismo tiempo, las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera.

En España, se ha apostado por la implantación de las energías renovables, fundamentalmente de la energía eólica cuya generación de energía eléctrica durante los primeros meses de 2013, está siendo superior a la de cualquier otra fuente de generación, incluso de la nuclear.

Estas energías renovables irán desplazando el uso de las energías consideradas como no renovables, las cuales producen una mayor cantidad de emisiones. Sin embargo, la impredecibilidad de las energías renovables conlleva a que sea muy complicado depender únicamente de estas, por lo que será necesario tener un sistema eléctrico que dependa, en la mayor medida posible, de energías de origen renovable pero sin olvidar la necesidad de otros tipos de energías que puedan cubrir la demanda eléctrica en el caso de que la producción de energía de origen renovable sea insuficiente para cubrir la misma.

La gestión activa de la demanda tiene como objetivo la homogeneización de la curva de la demanda eléctrica, es decir, llevar a cabo un aplanamiento de la curva reduciendo los consumos en la punta de la demanda eléctrica y rellenando el valle de consumo. En general se basa en conseguir una distribución temporal del consumo más eficiente y por tanto del sistema eléctrico en su conjunto.

Para conseguir este objetivo de modificar la demanda eléctrica es necesario analizar el comportamiento de los consumidores del sistema eléctrico sobre las comunicaciones existentes entre los diferentes operadores del sistema eléctrico y los clientes, para poder realizar un correcto control de las diferentes cargas de consumo. Este control se realizaría para consumir, en la medida de lo posible, en periodos de bajo consumo (periodo valle) y dejar de hacerlo, o reducirlo, en periodos en los que hay un consumo excesivo (periodo punta).

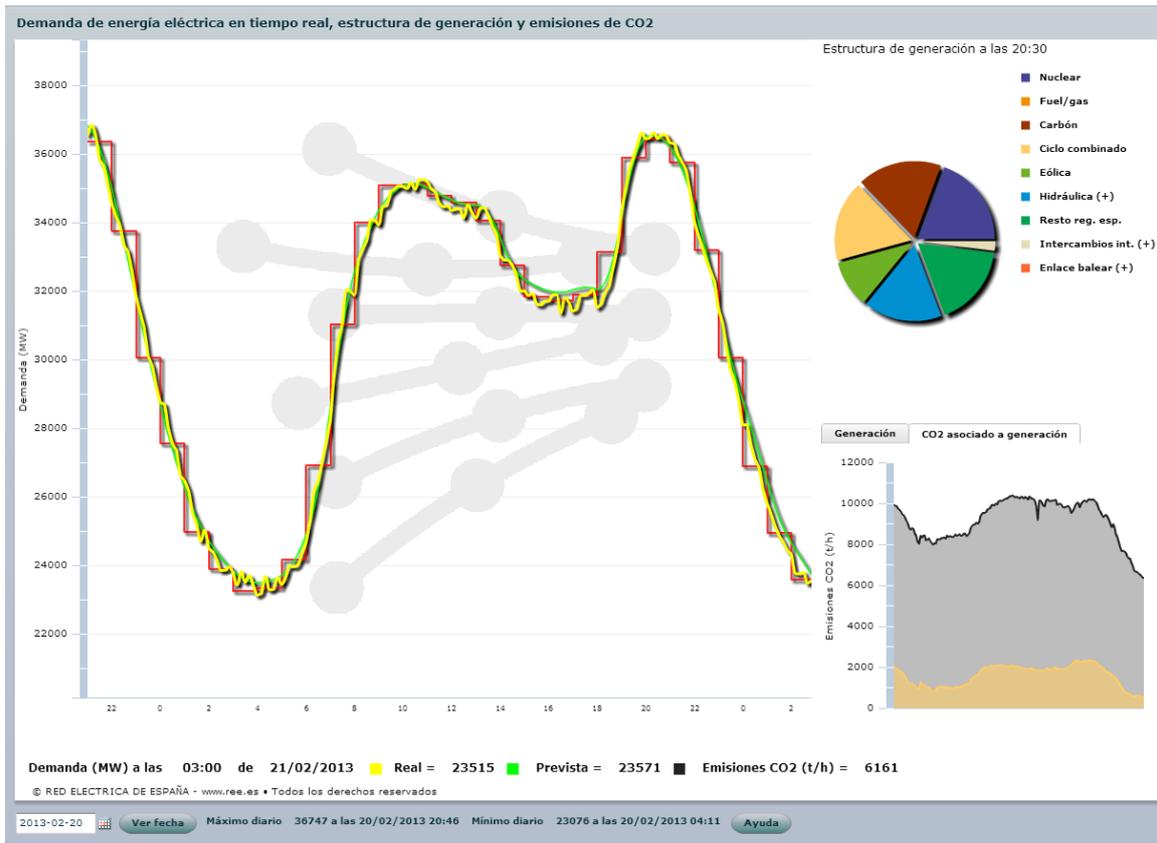
Para modificar la demanda eléctrica hacia una curva más eficiente y que al mismo tiempo sea más responsable con el medio ambiente, reduciendo las emisiones, se están realizando numerosos proyectos tanto a nivel nacional como a nivel internacional.

Estos proyectos tienen diversos objetivos, por ejemplo, la realización de un control de las cargas de consumo por un agente externo o implementar incentivos tarifarios a los clientes para que estos desplacen su consumo. Sin embargo, todos ellos tienen un objetivo en común, que es el de aplanar la curva de la demanda eléctrica para obtener de este modo un sistema más eficiente.

Para comprender mejor estos conceptos y los motivos por lo que es necesaria la gestión activa de la demanda en España, es necesario observar la estructura de la curva de la demanda eléctrica, que muestra Red Eléctrica de España (REE) en su página web [1]. Un ejemplo se muestra en la figura 1.



# Trabajo fin de grado: GESTIÓN ACTIVA DE LA DEMANDA EN EL SECTOR RESIDENCIAL. ESTADO DEL ARTE DE LOS PROYECTOS EN CURSO



**Figura 1. Curva de la demanda del sistema eléctrico español el 20 de febrero del 2013. Fuente:REE**

Esta curva, representa la demanda eléctrica requerida por los usuarios a lo largo del día. Esta tiene una forma característica en cada país, ya que varía en función de numerosos factores entre los que caben destacar el de la temperatura, la economía del país, la meteorología o la estacionalidad.

En España, fundamentalmente, se diferencian dos tipos de curva de la demanda eléctrica, una característica de los meses de invierno, que se caracteriza por tener dos picos de demanda, uno entorno a las 10:00-11:00 horas y otro más pronunciado entorno a las 20:00 horas (como se puede apreciar en la figura 1), y otro modelo de curva característico de los meses de verano en los que únicamente hay un pico diferenciado de consumo entorno a las 13:00 horas, como se muestra en la figura 2

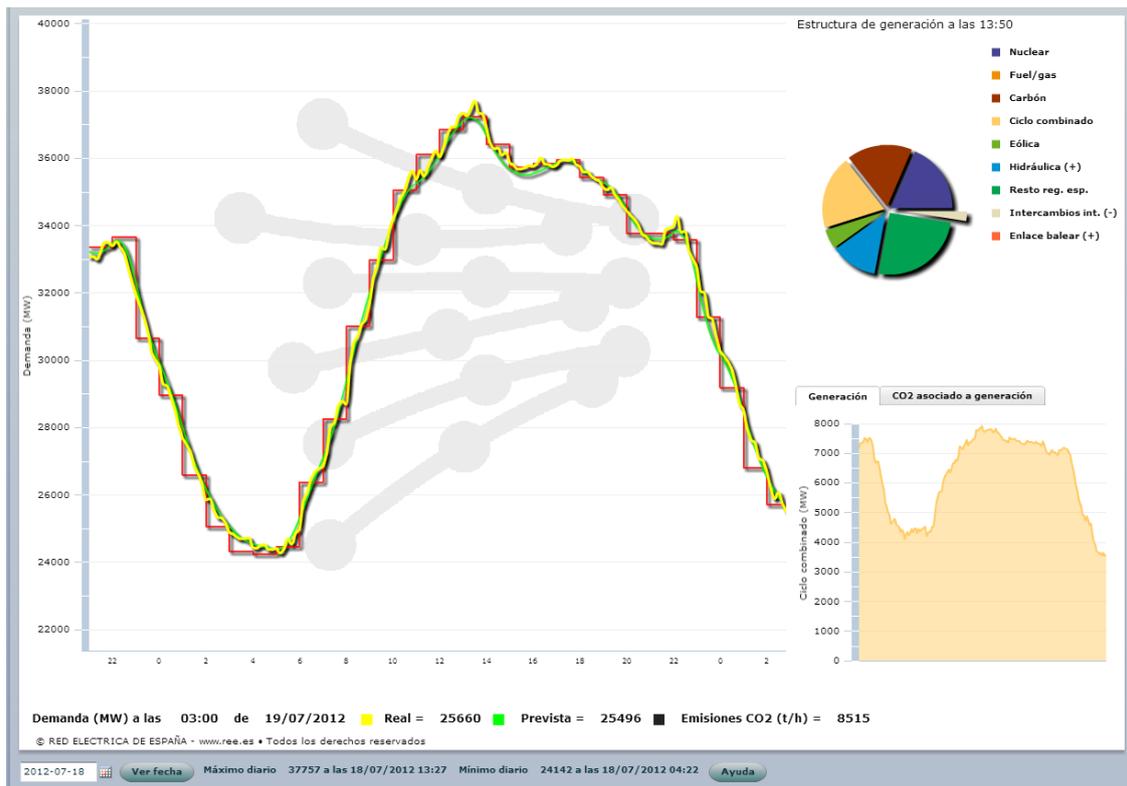


Figura 2. Curva de la demanda del sistema eléctrico español el 18 de julio del 2012. Fuente:REE

Estas curvas características de la demanda eléctrica española, pueden ser más o menos pronunciadas, entre otros motivos por la temperatura.

Como se puede comprobar en ambas gráficas hay una gran diferencia entre la demanda máxima y la demanda mínima, diferencia que es mayor si los picos son más pronunciados.

En el sistema eléctrico se debe mantener un equilibrio constante entre la demanda y la generación. Como consecuencia de la dificultad de almacenaje de la energía eléctrica, es necesario dimensionar el sistema eléctrico para poder atender la demanda eléctrica durante las horas pico de consumo. Este dimensionamiento, necesario para cubrir el consumo realizado durante un periodo reducido del día (horas pico), obliga a mantener un sistema que se encuentra generalmente infrutilizado, debido a que en la mayor parte del día el consumo no es tan elevado.

La gestión de la demanda promueve una serie de propuestas y medidas, que eviten estos picos y valles de consumo, reduciendo de este modo la diferencia entre la máxima y la mínima demanda eléctrica (como se muestra en la figura 3), consiguiendo un sistema más eficiente.

Esta reducción del consumo en la hora punta evita la necesidad de instalar nueva generación e incluso de desarrollar redes para suministrar el consumo de la punta, lo que redundaría en una mayor eficiencia del sistema.



**Figura 3. Modificación de la curva de la demanda realizada por la Gestión Activa de la Demanda. Fuente:REE**

La demanda eléctrica que se muestra en la figura 1 y figura 2, muestran la demanda global del sistema, la cual se puede dividir en función de la demanda eléctrica de los principales sectores; industrial, servicios y residencial. Fundamentalmente la estructura característica de la demanda eléctrica española la proporcionan la demanda del sector servicios y del sector residencial, ya que en la demanda eléctrica del sector industrial no se aprecian muchas variaciones a lo largo del día, siendo prácticamente constante.

El presente trabajo se centra en el estudio de la gestión activa de la demanda en el sector residencial. La demanda en el sector residencial depende fundamentalmente de la ocupación de los hogares, por lo que a pesar de que la estructura de la curva sea similar a la de la demanda eléctrica total, la demanda se encuentra desplazada, ya que por ejemplo en un día de invierno el pico de consumo en el sector residencial se da cuando mayor ocupación hay en los hogares, es decir entorno a las 21:00 y 22:00 horas, mientras que en la demanda total el pico se produce entorno a las 20:00 horas (ya que a estas horas la demanda en el sector servicios es elevada y en los hogares está en aumento).

Para llevar a cabo esta gestión en el sector residencial, el principal factor a tener en cuenta es que no se puede afectar al confort del usuario, ya que si fuese así, este no estaría interesado en llevarla a cabo.

Para la realización de la gestión activa de la demanda en el sector residencial, será necesaria la instalación de diversos elementos, como son electrodomésticos inteligentes, sobre los que se realizará la gestión de su consumo de forma automática, y sobre todo, cobra gran importancia la instalación de los contadores inteligentes. Estos contadores son los encargados de controlar y optimizar el consumo del hogar y de realizar la coordinación necesaria con un agente externo, conocido como agregador, para llevar a cabo el desplazamiento de los consumos, en función de las necesidades del sistema y de los periodos en los que la energía sea más barata, que en general es en los periodos valle, para reducir de este modo la factura del cliente.



Trabajo fin de grado: GESTIÓN ACTIVA DE LA DEMANDA EN EL SECTOR RESIDENCIAL.  
ESTADO DEL ARTE DE LOS PROYECTOS EN CURSO

Por lo que mediante el establecimiento de incentivos tarifarios, en función del periodo en el que se consuma energía eléctrica, se pretende influenciar al usuario a variar su comportamiento en el consumo.

Los proyectos relacionados con la gestión activa de la demanda se encargan de analizar los costes que supone su implementación y los beneficios ,tanto medioambientales, económicos, como de beneficio al sistema, que su realización conllevan. Una vez analizados se encargan de valorar si su implementación es viable o no.

Aparte de desarrollar las tecnologías necesarias para la implementación de la gestión activa de la demanda en los hogares, es fundamental realizar una concienciación de la sociedad. Es necesaria, ya que para llevar a cabo una correcta gestión activa de la demanda el usuario tiene que estar implicado en la misma, y ser consciente de que realizando este tipo de gestión, además de reducir su factura eléctrica. se logrará reducir notablemente las emisiones, así como la cantidad de recursos energéticos empleados.



### 3. Sistema Eléctrico

El sistema eléctrico es el conjunto de elementos que se encargan de satisfacer la demanda eléctrica de los consumidores, operando de forma coordinada para poder obtener dicho fin. Es decir, es el conjunto de medios y elementos necesarios para su correcta generación y transporte hasta el consumidor. Este conjunto de elementos está dotado de diversos sistemas de control, protección y seguridad.

Al hablar de sistema eléctrico, este se puede dividir en cuatro actividades principales:

- Generación: formado por el parque generador donde se produce la energía eléctrica.
- Transporte: se encarga de transmitir la energía eléctrica mediante las líneas de muy alta tensión (MAT), desde los generadores hasta la red de distribución. En España se realiza a 400 y 220 kV.
- Distribución: se encarga de llevar la electricidad, a través de líneas de alta, media y baja tensión (AT, MT y BT), a los puntos de consumo de los clientes. En España se realiza a tensiones menores de 220 kV, incluida la BT.
- Consumo: es la acción que realizan los clientes que demandan la energía eléctrica. Estos clientes pueden estar conectados a la red de transporte, en el caso de las grandes industrias, o a la red de distribución, que es lo más frecuente.

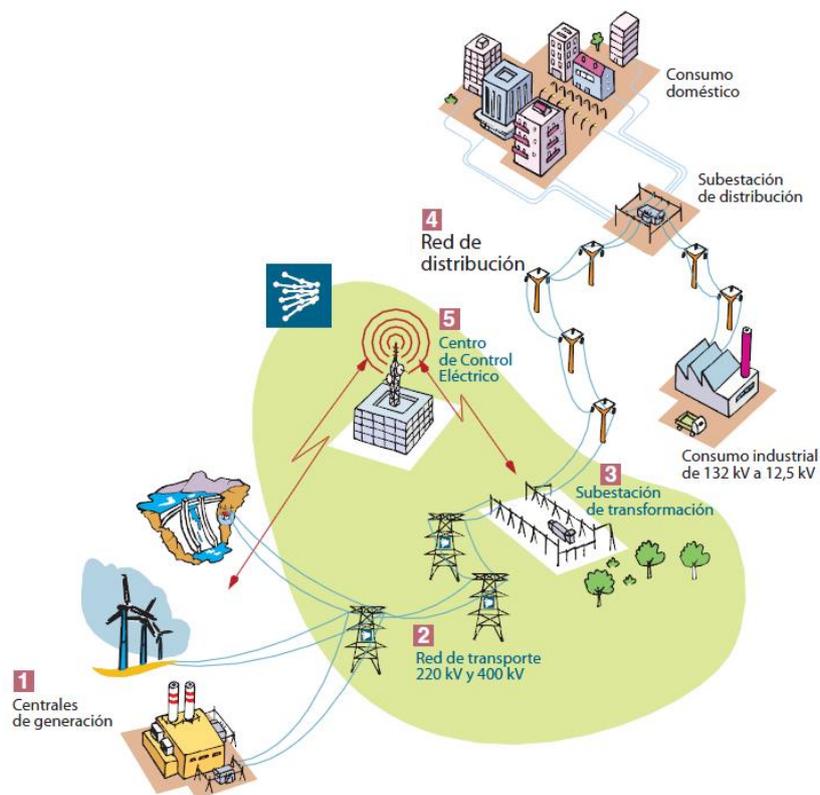


Figura 4. Esquema del sistema eléctrico. Fuente: REE.



En la figura 4 se ven otros elementos de los que no se ha hablado, como son la subestación de transformación o la subestación de distribución, que son los elementos que se encargan de adaptar la tensión para su correcto transporte y distribución de la energía eléctrica hasta el cliente final.

También se puede apreciar la presencia del centro de control eléctrico, el cual se encarga de controlar y solucionar las posibles incidencias en el sistema eléctrico, y de que las comunicaciones entre los diferentes agentes sea la correcta.

### **3.1 Generación**

La electricidad se genera en las centrales eléctricas y posteriormente se transporta hasta los clientes. Esta energía se genera a partir de la transformación de los distintos tipos de recursos energéticos de origen primario, que pueden ser de origen fósil, como el carbón o el petróleo, o de origen renovable, como el sol o el viento.

Una central eléctrica, es una instalación eléctrica que a partir de una fuente de energía primaria, hace girar una turbina, la cual se encarga de transformar el calor o movimiento producido por la fuente de energía primaria en energía mecánica, que hace girar un alternador, generando de este modo la energía eléctrica.

Existen numerosos tipos de centrales en función de su fuente de energía. La principal diferencia entre los distintos tipos reside en su capacidad de producción de energía y en su eficiencia de obtención de energía a partir del recurso primario.

Generalmente estas centrales se suelen situar cerca de los puntos de abastecimiento del tipo de fuente de energía primaria que emplean para la producción de energía eléctrica.

A la hora de hablar de generación, es importante entender la diferencia entre potencia instalada y energía producida. Potencia instalada es la cantidad de energía eléctrica que se podría producir en el caso de que estuviesen funcionando, a pleno rendimiento, todas las centrales eléctricas. Por otro lado, la energía producida es la energía real producida por las centrales eléctricas en un determinado periodo de tiempo, día, semana, mes o año.

La potencia peninsular instalada a finales del año 2012 fue de 102524 MW, lo que ha supuesto un aumento de 2356 MW respecto al año 2011. La mayor parte de este aumento de potencia instalada proviene de origen renovable (1122 MW de energía eólica, 968 MW de energía solar, 192 MW de energía hidráulica y 81 MW de térmica renovable).



### Potencia instalada a 31 de diciembre

	Sistema peninsular		Sistemas extrapeninsulares		Total nacional	
	MW	% 12/11	MW	% 12/11	MW	% 12/11
Hidráulica	17.761	1,1	1	0,0	17.762	1,1
Nuclear	7.853	0,0	-	-	7.853	0,0
Carbón <sup>(1)</sup>	11.620	0,0	510	0,0	12.130	0,0
Fuel/gas	1.492	0,0	2.909	0,9	4.401	0,6
Ciclo combinado	25.291	0,1	1.854	0,0	27.144	0,1
<b>Total régimen ordinario</b>	<b>64.016</b>	<b>0,3</b>	<b>5.274</b>	<b>0,5</b>	<b>69.290</b>	<b>0,3</b>
Hidráulica	2.039	-0,1	0,5	0,0	2.040	-0,1
Eólica	22.213	5,3	149	0,0	22.362	5,3
Solar fotovoltaica	4.186	3,4	224	10,6	4.410	3,8
Solar termoeléctrica	1.878	79,1	-	-	1.878	79,1
Térmica renovable	940	9,5	3	167,5	943	9,7
Térmica no renovable	7.252	-0,4	121	3,2	7.373	-0,4
<b>Total régimen especial</b>	<b>38.507</b>	<b>5,9</b>	<b>498</b>	<b>5,8</b>	<b>39.006</b>	<b>5,9</b>
<b>Total</b>	<b>102.524</b>	<b>2,4</b>	<b>5.772</b>	<b>0,9</b>	<b>108.296</b>	<b>2,3</b>

(1) A partir del 1 de enero de 2011 incluye GICC (Elcogás).

Tabla 1. Potencia Instalada a 31 de Diciembre de 2012. Fuente: REE.

En cuanto a la energía producida en el año 2012 se han producido aumentos significativos en producción de energía mediante carbón (un 27,9% más respecto a 2011), y sobre todo destaca el aumento en energías renovables fundamentalmente en la solar-termoeléctrica (un 84,4% respecto a 2011) y la eólica (un 14,3% respecto a 2011). Por otro lado han disminuido la generación por ciclos combinados en un 23,2% y la hidráulica en un 28,5% respecto a los valores de 2011.

### Balance eléctrico anual

	Sistema peninsular		Sistemas extrapeninsulares		Total nacional	
	GWh	% 12/11	GWh	% 12/11	GWh	% 12/11
Hidráulica	19.039	-30,9	0	-	19.039	-30,9
Nuclear	61.238	6,1	-	-	61.238	6,1
Carbón <sup>(1)</sup>	55.639	27,9	2.943	-2,9	58.581	25,9
Fuel/gas	0	-	7.578	1,3	7.578	1,3
Ciclo combinado	38.962	-23,2	3.911	-11,2	42.873	-22,2
<b>Régimen ordinario</b>	<b>174.878</b>	<b>-2,6</b>	<b>14.432</b>	<b>-3,2</b>	<b>189.310</b>	<b>-2,6</b>
Consumos en generación	-7.885	8,8	-858	-2,7	-8.743	7,5
<b>Régimen especial</b>	<b>102.167</b>	<b>10,6</b>	<b>1.039</b>	<b>4,3</b>	<b>103.206</b>	<b>10,5</b>
Hidráulica	4.469	-15,6	2	-	4.471	-15,6
Eólica	48.126	14,3	393	8,9	48.519	14,2
Solar fotovoltaica	7.906	11,3	351	5,4	8.257	11,1
Solar termoeléctrica	3.433	84,4	-	-	3.433	84,4
Térmica renovable	4.909	14,5	10	-70,2	4.919	13,9
Térmica no renovable	33.325	5,0	283	5,7	33.608	5,0
<b>Generación neta</b>	<b>269.161</b>	<b>1,7</b>	<b>14.612</b>	<b>-2,8</b>	<b>283.773</b>	<b>1,5</b>
Consumos bombeo	-4.970	54,6	-	-	-4.970	54,6
Enlace Península-Baleares <sup>(2)(3)</sup>	-569	-	569	-	0	-
Intercambios internac. <sup>(3)</sup>	-11.430	87,7	-	-	-11.430	87,7
<b>Demanda (b.c.)</b>	<b>252.191</b>	<b>-1,2</b>	<b>15.182</b>	<b>1,0</b>	<b>267.373</b>	<b>-1,1</b>

(1) A partir del 1 de enero de 2011 incluye GICC (Elcogás). (2) Enlace Península-Baleares funcionando al mínimo técnico de seguridad hasta el 13/08/2012. (3) Valor positivo: saldo importador; Valor negativo: saldo exportador.

Tabla 2. Energía producida en 2012. Fuente: REE.



Como se puede observar, tras analizar la tabla 1 y la tabla 2, que la potencia instalada de una tecnología sea mayor que otra no implica que de esta se produzca más energía eléctrica. Esto es consecuencia de diversos factores de los que se hablará en el apartado de la demanda eléctrica. El ejemplo más característico es la energía nuclear, que a pesar de tener menos potencia instalada que el carbón, el ciclo combinado, la hidráulica o la energía eólica, es la que mayor cantidad de energía eléctrica produjo en España en el año 2012, ya que son centrales de base<sup>1</sup> que funcionan a plena carga todas las horas del año, excepto cuando se producen paradas por averías o por mantenimiento.

Otro aspecto importante al hablar de generación, es la distinción entre generación en régimen ordinario y generación en régimen especial. En régimen ordinario se incluyen las centrales de tipo nuclear, carbón, fuel, gas, hidráulica y de ciclo combinado. Tanto su producción de energía eléctrica como la contaminación que estas producen, exceptuando la hidráulica que no produce emisiones de CO<sub>2</sub>, son mayores que en las centrales de régimen especial.

Las centrales de régimen especial recogen “la generación de energía eléctrica en instalaciones de potencia no superior a 50 MW que utilicen como energía primaria energías renovables o residuos, y aquellas otras como la cogeneración que impliquen una tecnología con un nivel de eficiencia y ahorro energético considerable” (Fuente: Ministerio de Industria, Energía y Turismo). Este tipo de centrales gozan de un régimen jurídico y económico beneficioso en comparación a las centrales de régimen ordinario (que son todas las centrales de producción eléctrica que no se acogen al régimen especial), y se caracterizan fundamentalmente por la disminución de emisiones contaminantes, por un menor impacto sobre el entorno y por una mayor eficiencia energética que conlleva a un ahorro energético.

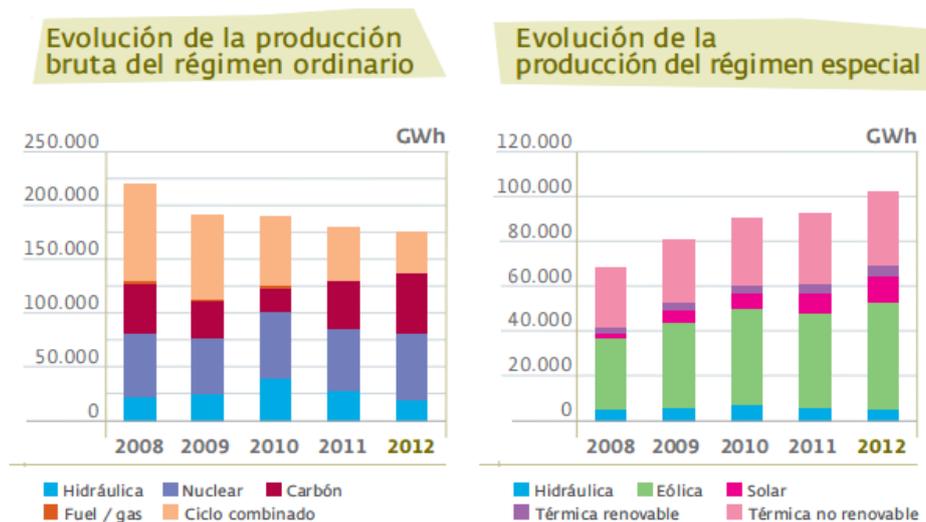


Figura 5. Evolución de producción en régimen ordinario y en régimen especial. Fuente: REE.

<sup>1</sup>**Centrales de base:** También reciben la denominación de centrales principales. Son las centrales destinadas a suministrar la mayor parte de la energía eléctrica siendo preferentemente centrales nucleares, térmicas e hidráulicas de gran potencia. Este suministro se produce en servicio permanente, es decir, sin interrupciones de funcionamiento de la instalación, estando en marcha durante largos períodos de tiempo y solo haciendo paradas imprescindibles para operaciones de mantenimiento.



Como se puede ver en las gráficas, la producción de energía eléctrica en régimen ordinario, a pesar de ser superior a la de régimen especial, ha ido disminuyendo en los últimos años mientras que la generación en régimen especial ha ido aumentando, ya que se está intentando favorecer la creación de centrales de régimen especial, que sustituyan a las centrales de régimen ordinario, para favorecer, entre otras cosas, la reducción de emisiones y la obtención de un sistema eléctrico más eficiente.

### **3.1.2 Integración de las energías renovables en el sistema eléctrico**

El objetivo de numerosos países es el de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, y para ello es necesario la reducción del uso de los combustibles fósiles, sustituyéndolos por energías de origen renovable.

Las centrales de generación de energía eléctrica mediante fuentes de energía de origen fósil o nuclear, tienen la gran ventaja, respecto a las de origen renovable, de tener la capacidad de predecir con antelación la cantidad de energía que van a producir.

Sin embargo, las energías de origen renovable, no tienen esta capacidad, ya que dependen de las condiciones climáticas. Por ejemplo en un año de sequías la producción de energía hidráulica se ve muy perjudicada, o un día con poco viento afecta a la generación de energía eólica. Es decir, un inconveniente de este tipo de generación es que no se pueden prever sus resultados con exactitud, lo que supone un problema para el sistema eléctrico.

A pesar del carácter intermitente de las energías renovables, estas tienen numerosas ventajas, entre las que destacan que es un tipo de energía que se obtiene de fuentes naturales que son virtualmente inagotables (ya que el viento o el sol, a pesar de ser variables, son una fuente de energía ilimitada) y que son energías limpias, no producen emisiones de gases de efecto invernadero, así como no producen residuos.

Otra característica importante de las energías renovables es que los recursos están disponibles localmente, es decir, conlleva a una menor dependencia de recursos energéticos para aquellos países con escasez de los mismos.

Por estos motivos, en España, así como en la mayoría de países del mundo, se está intentando integrar en los sistemas eléctricos la mayor cantidad de energía de origen renovable posible. Para controlar la variabilidad de este tipo de energías, y poder integrarlas en el sistema eléctrico español con unas condiciones de seguridad óptimas, en España Red Eléctrica de España (REE) ha creado un centro de control denominado como "Cecre", para controlar la generación de los productores de energías renovables y de este modo poder integrarlas al sistema eléctrico español.



### 3.2 Transporte

La red de transporte se encuentra gestionada en España por Red Eléctrica de España (REE) siendo esta el transportista único. REE también desempeña la función de operador del sistema, encargándose de garantizar la continuidad y seguridad del suministro eléctrico, manteniendo un constante equilibrio entre la generación y la demanda eléctrica en España.

La gestión de la red de transporte se realiza a través del Centro de Control Eléctrico de Red Eléctrica (CECOEL) que controla toda la energía eléctrica que se produce en España. Este centro se encarga de realizar las operaciones necesarias para el correcto funcionamiento de la red de transporte, así como de garantizar el servicio de energía eléctrica.

Una de funciones principales de REE como operador del sistema es la de realizar una correcta coordinación entre el sistema de producción y el de transporte, ejerciendo las funciones de coordinación con los distintos operadores y los clientes del Mercado Ibérico de la energía eléctrica.

Para llevar a cabo un correcto transporte de la energía, la red española se encuentra altamente mallada, y en continuo aumento y mejora, para poder mejorar de este modo el suministro eléctrico.

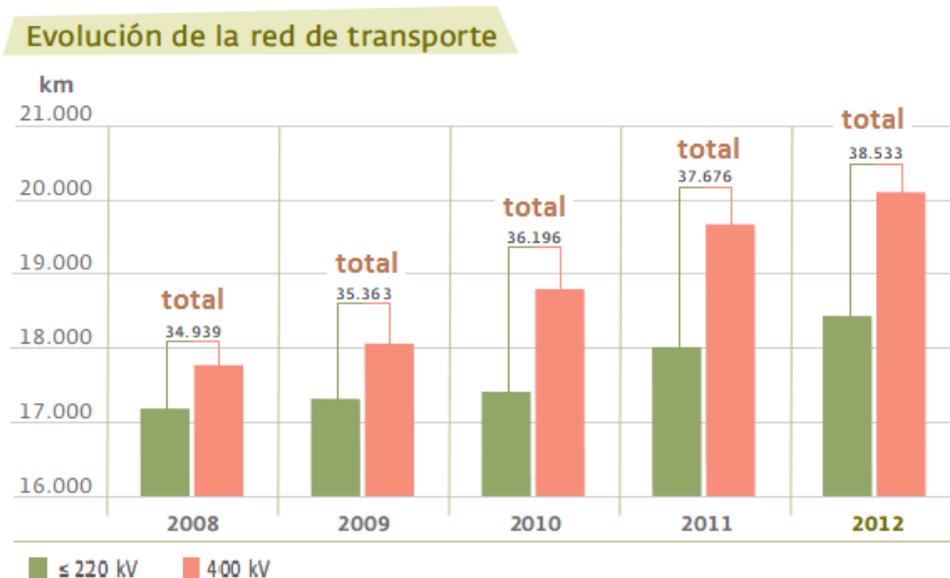


Figura 6. Evolución de la red de transporte para redes menores o iguales de 220 kV y para redes de 400 kV.  
Fuente: REE.

En la figura 6 se muestra el aumento progresivo de la red de transporte tanto en líneas de 400 kV como en redes de 220 kV o de menor tensión.

En función de la cantidad de energía eléctrica que se quiera transportar y de la distancia a la que se quiera transportar, la electricidad se transporta a una tensión u otra, para reducir las pérdidas al mínimo posible como se mostrará en el siguiente apartado.



Hay diversas formas de clasificar los distintos tipos de líneas; desde el punto de vista reglamentario, desde el punto de vista legislativo, pero el que más se suele usar es la división de las distintas líneas del siguiente modo:

- Líneas de Alta Tensión (AT): a las líneas entre 400 kV y 45 kV (dentro de estas también se suele dividir entre las líneas de Muy Alta Tensión, MAT, que son las líneas de 400 y 220 kV, y entre las líneas de Alta Tensión, que son las líneas de 132, 66 y 45 kV). Este tipo de líneas se usan para transportar gran cantidad de energía a largas distancias, y el motivo de que la tensión sea tan elevada es que a mayor tensión se producen menores pérdidas de energía en el transporte, ya que al aumentar la tensión se consigue disminuir la resistencia que ofrece el conductor eléctrico, consiguiendo de este modo la ya mencionada disminución de las pérdidas de energía eléctrica, que se produce en forma de calor. El otro inconveniente que plantean estas pérdidas en forma de calor es el incremento de la temperatura del cable, lo cual no es favorable para el conductor.
- Líneas de Media Tensión (MT): comprenden las líneas de 25, 20 y 15 kV, que son las redes empleadas para la distribución, de la cual se hablará en el siguiente apartado.
- Líneas de Baja Tensión (BT): Son las líneas con una tensión nominal de 400/230 V, que son aquellas líneas que se usan para llevar la energía al consumidor final. El motivo de llevar la energía a los puntos de consumo (hogares) con esta tensión es que los equipos domésticos funcionan con una tensión comprendida entre los 220 y los 380 V.

### **3.2.1 Subestaciones**

Son instalaciones destinadas a dirigir el flujo de energía eléctrica en un punto de la red eléctrica en el cual confluyen líneas, que conectan nudos lejanos de igual tensión, y transformadores<sup>2</sup>, que conectan nudos cercanos de distinta tensión. Las subestaciones también incorporan en su interior equipos que aportan protección y control sobre el sistema eléctrico.

Las principales funciones de las subestaciones son las de aportar al sistema:

- Seguridad: consiguiendo aislar al sistema eléctrico de las zonas en la que se ha producido alguna perturbación, como puede ser un cortocircuito o la caída de un rayo, consiguiendo disminuir el riesgo para el resto de instalaciones.
- Interconexión: mediante el escalonamiento que realiza entre las líneas con distintos niveles de tensión y garantizando seguridad en el suministro de la energía eléctrica mediante un adecuado mallado de la red eléctrica.
- Explotación: consiguiendo dirigir los flujos de energía eléctrica de la forma más óptima posible, para conseguir las menores pérdidas posibles y además permitiendo el mantenimiento de los equipos y de las instalaciones eléctricas.

---

<sup>2</sup> **Transformador:** es un elemento del sistema eléctrico que transvasa energía eléctrica entre dos sistemas que se encuentran a diferentes niveles de tensión.



Las subestaciones encargadas de realizar el mallado eléctrico entre los niveles de tensión característicos de las líneas de transporte reciben el nombre de subestaciones de interconexión, y estas se encargan de la transformación de MAT a AT.

### **3.2.2 Interconexiones**

Las interconexiones entre diferentes sistemas aportan seguridad y estabilidad a los sistemas eléctricos. Estas son capaces de garantizar el suministro de energía eléctrica, en un determinado territorio, cuando un sistema no es capaz de generar suficiente energía eléctrica como para cubrir la demanda solicitada. Esta situación suele ocurrir como consecuencia de que un centro de producción de energía deje de estar operativo temporalmente y que como consecuencia de ello no pueda suministrar energía al sistema. Otra causa puede ser cuando se produce una punta de consumo imprevista.

Un sistema eléctrico será más seguro y la calidad de servicio de energía eléctrica será mejor cuanto mayor sea su grado de interconexión con otros sistemas, ya que de este modo tendrá mayor capacidad de intercambio de energía y como consecuencia de ello tendrá mayor facilidad para solucionar los problemas de suministro que tenga que afrontar el sistema en cuestión.

El sistema eléctrico español se encuentra interconectado con el sistema eléctrico portugués, andorrano, francés (el cual le conecta con el sistema eléctrico europeo) y marroquí.

Actualmente el sistema eléctrico español es exportador de energía ya que a pesar de que en el total de los intercambios de energía con Francia, España importa energía, el sistema eléctrico español exporta mayor cantidad de energía a los sistemas eléctricos de Portugal, Andorra y Marruecos como se puede observar en la siguiente tabla.

Francia	Portugal	Andorra	Marruecos	Total
1573	-7774	-296	-4933	-11430

**Tabla3. Saldo de los intercambios internacionales de energía eléctrica del sistema eléctrico español en GWh. Saldo positivo, importador, saldo negativo, exportador. Fuente: REE**

### 3.3 Distribución

Es el proceso que tiene por objetivo principal la transmisión de energía eléctrica desde las redes de transporte hasta los consumidores, en las adecuadas condiciones de calidad. Esta función la desempeñan los distribuidores, que en España son principalmente tres, Iberdrola, Endesa y Unión Fenosa.



Figura 7. Distribuidores de energía eléctrica en España. Fuente: Apuntes de la asignatura “Regulación de sistemas eléctricos” impartida por Julio Usaola García.

Las instalaciones que forman parte de la red de distribución son aquellas que no pertenecen a un particular y que tengan una tensión nominal inferior a 220 kV.

A medida que se aproxima al punto de consumo la tensión va disminuyendo a las denominadas tensiones de reparto, que son las tensiones comprendidas entre 66 y 45 kV. A estos niveles de tensión se conectan grandes clientes industriales y también constituye la alimentación a las subestaciones de distribución, que se encargan de realizar la transformación de AT a MT, para poder realizar la distribución de la energía eléctrica, a través de las líneas de media tensión (25, 20 y 15 kV).

Estas redes de MT penetran en los centros de consumo, pero la adecuación del nivel de tensión a la tensión presente en los hogares (400/230 V, que es la tensión de línea y tensión de fase-neutro respectivamente) se realiza a través de los transformadores, presentes en los centros de transformación que se encargan de la transformación de MT a la BT que llega a los consumidores finales.

La red de distribución de BT, inferior a 1 kV, es el conjunto de instalaciones que se encargan de unir las salidas de los centros de transformación con los puntos de consumo.

Concretamente el límite entre las redes de distribución de las empresas eléctricas y las instalaciones de los usuarios se encuentra en la caja general de protección, la cual contiene los elementos de protección de las líneas que realizan el reparto de energía eléctrica entre los clientes.



### 3.4 Consumo

Los consumidores son los últimos usuarios de la electricidad y por ello son considerados como clientes. Estos demandan la energía producida por las centrales eléctricas.

Dentro de los consumidores, se pueden diferenciar tres grandes grupos o sectores; el sector industrial, el sector servicios y el sector residencial, siendo este último el estudiado en este proyecto, y del que se hablará más a fondo en el apartado de la demanda eléctrica del sector residencial.

Debido a las diferencias existentes entre cada uno de estos tres tipos de clientes, se puede apreciar una curva de la demanda eléctrica distinta en cada uno de ellos.

Los clientes del sector industrial son los que más consumo de energía eléctrica demandan, sin embargo a la hora de intentar modificar su curva de demanda es el sector que más inconvenientes presenta, ya que su demanda es prácticamente constante a lo largo del día.

Por su parte, el sector residencial es el que menos energía eléctrica consume, aunque la diferencia con el sector servicios no es muy elevada, y en cambio es el sector que aparentemente presenta mayor capacidad para poder modificar su curva característica de la demanda.

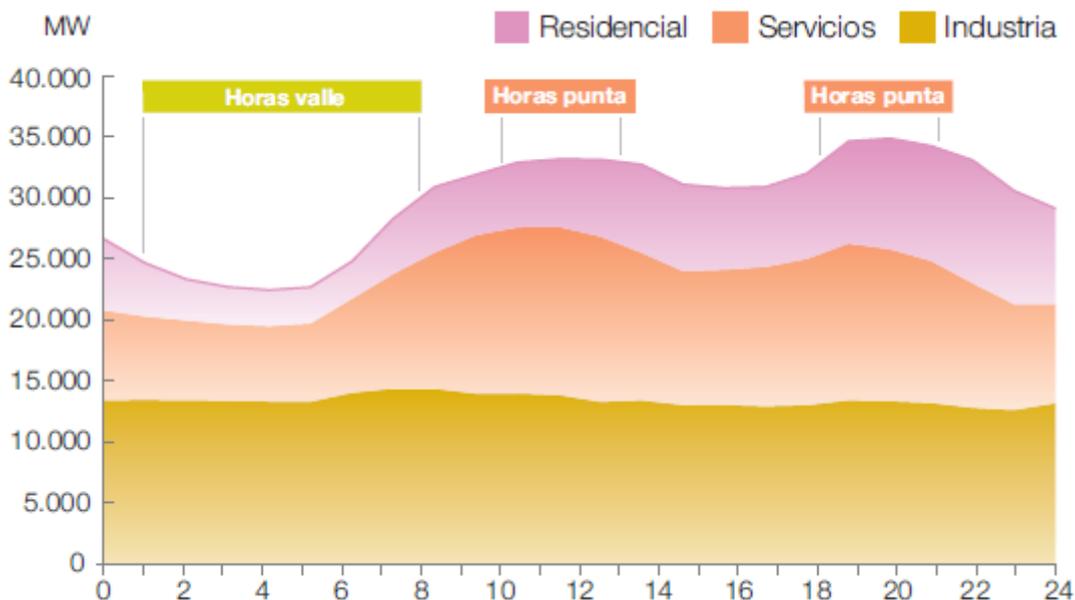


Figura 8. Consumo horario de energía eléctrica en un día de invierno (Noviembre 2011). Fuente:REE.

A partir de la figura 8 se puede comprobar que el consumo en el sector industrial es más o menos constante, mientras que el consumo de energía eléctrica tanto en el sector servicios como en el sector residencial presenta diferentes picos y valles de consumos, por lo que lo óptimo sería desplazar el consumo de horas pico a valle para así conseguir el “aplanamiento” de las curvas de la demanda en ambos sectores. Sobre este tema se hablará más en detalle en el apartado “4. Demanda eléctrica” y en el apartado “5. Gestión Activa de la Demanda”.



## 4. Demanda eléctrica

La sociedad demanda en cada instante energía eléctrica para producir bienes en las fábricas, desarrollar la actividad de los diferentes comercios y empresas y también para vivir, con un mayor confort, en los hogares.

Uno de los mayores problemas con los que se encuentra el sistema eléctrico es que la energía eléctrica no es almacenable. Como consecuencia de ello y de que la demanda de energía eléctrica a lo largo del día es variable, la curva que representa la demanda de energía eléctrica va a sufrir cambios durante el día.

La sociedad demanda más energía en ciertos momentos del día, conocidos como horas punta u horas de pico de consumo. Durante estas horas la producción de la electricidad es más cara, ya que es necesario que las centrales de producción de energía más caras estén en funcionamiento. Estas centrales son conocidas como centrales de punta<sup>3</sup>.

Otra característica del actual sistema eléctrico es que tiene que estar dimensionado para poder satisfacer el consumo en estas horas pico, las cuales se producen durante unas pocas horas al día, mientras que el resto del día la demanda eléctrica es inferior.

En el sistema eléctrico peninsular español, las horas en las que se producen estos picos de consumo varían en función de la estación del año. Durante los meses de invierno, las horas punta son por la mañana y por la tarde/noche. Sin embargo durante los meses de verano, el mayor consumo se da en las horas en la que la temperatura es más elevada, es decir en las horas centrales del día.

Por otro lado se encuentran aquellas horas en la que el consumo es reducido, conocidas como horas valle, que se encuentran fundamentalmente en las horas nocturnas en las que la demanda es mínima. Esto sucede debido a que en las horas nocturnas únicamente mantienen un consumo de energía eléctrica importante las grandes industrias, ya que o bien trabajan durante las 24 horas o bien aprovechan estas horas para la producción, como consecuencia de la posibilidad de contratar la energía a precios más baratos que si la contratan durante las horas diurnas. También hay que tener en cuenta que hay servicios que no reducen el consumo durante las horas nocturnas, como pueden ser el alumbrado público. Pero lo que sí se reduce es el consumo tanto en los hogares, como en oficinas o comercios y en general se reduce en todos los sectores de consumo, en comparación a la demanda que se produce en horario diurno.

La demanda eléctrica varía en función del país o territorio, ya que se ve afectada por diversos factores como la temperatura, el grado de desarrollo, la situación económica, la época del año o por los hábitos de vida de la población, cobrando gran importancia las industrias y los servicios que se den en dicho país o territorio.

---

<sup>3</sup> **Centrales de punta:** son las centrales cuya finalidad es la de cubrir la demanda de energía en horas punta, trabajando en paralelo a las centrales de base.



## 4.1 Curva de la demanda eléctrica en España

La curva de la demanda eléctrica española representa la cantidad de potencia eléctrica demandada por los consumidores españoles, por unidad de tiempo. Es decir, la curva diaria supone el sumatorio de todas las potencias instantáneas solicitadas por los clientes a lo largo del día, siendo el área encerrada bajo la curva que describe la demanda eléctrica, el total de la energía eléctrica consumida en un día.

El encargado de prever la demanda eléctrica en España es el Operador del sistema, función que desarrolla Red Eléctrica de España (REE). REE se encarga de mantener el equilibrio entre la generación y la demanda, por lo que debe hacer una previsión del consumo de energía eléctrica que se producirá cada día.

REE presenta en su web ([www.ree.es](http://www.ree.es)) unos gráficos en tiempo real de la evolución de la demanda de energía eléctrica en el sistema eléctrico peninsular. Estos gráficos (por ejemplo, el de la figura 9) incluyen datos de la demanda eléctrica real, de la demanda prevista y de la programada así como los valores de la mínima y la máxima demanda eléctrica que se ha dado en el día. La precisión temporal de los datos de la gráfica de la curva de la demanda es de diez minutos.

Además de los datos de la energía demandada en tiempo real, se muestran otros gráficos que dan información sobre las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas en la generación de energía y sobre los distintos tipos de generación de energía que se han empleado para satisfacer la demanda.

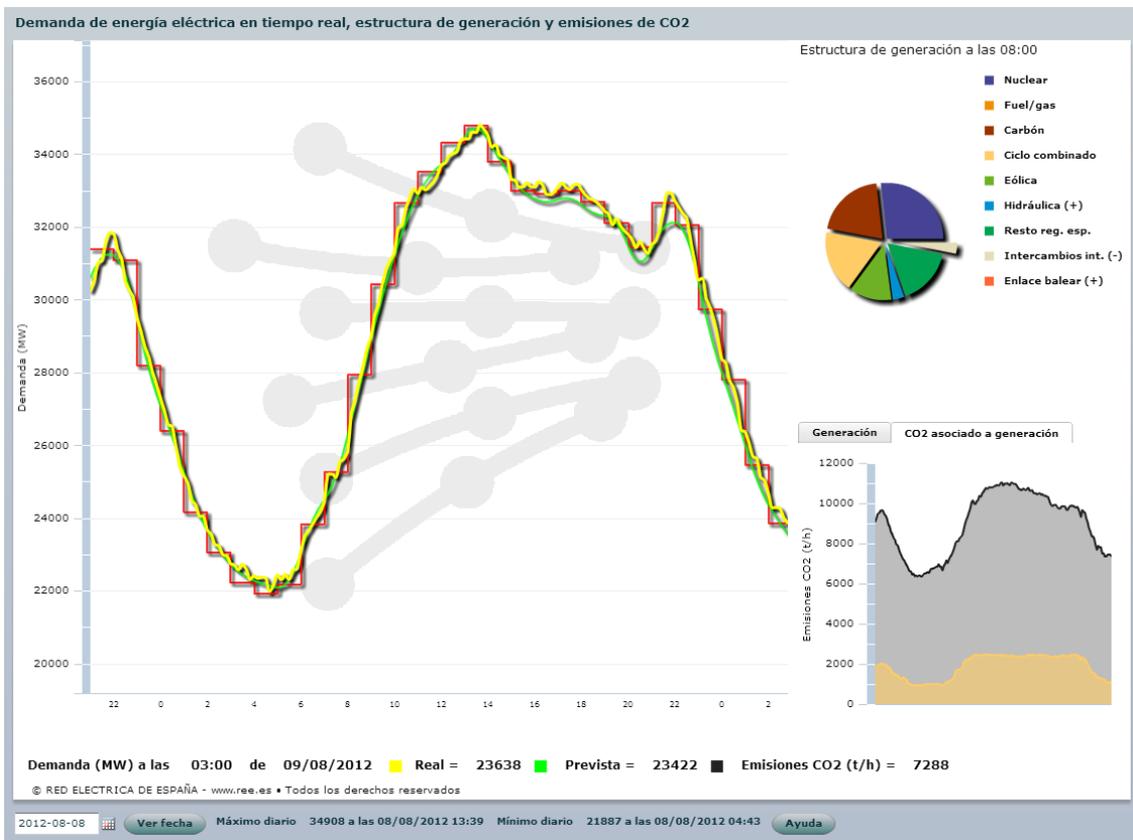


Figura 9. Demanda de energía eléctrica del miércoles 8 de agosto de 2012 (día laborable verano). Fuente: REE.



La curva amarilla, es la correspondiente a la demanda real, que refleja la demanda instantánea de energía.

La curva verde, por su parte, muestra la previsión de la demanda eléctrica realizada por REE. Esta previsión es realizada a través de los valores de consumo de energía eléctrica que se dieron en periodos precedentes similares, los cuales se corrigen mediante factores que tienen en cuenta la climatología, la laboralidad y la actividad económica.

Por último la curva roja, la cual se encuentra escalonada, muestra la programación horaria operativa, es decir, la producción programada para los distintos grupos de generación eléctrica a los que se les ha adjudicado el suministro de electricidad en la casación de los mercados diarios<sup>4</sup> e intradiarios<sup>5</sup>, así como en los mercados de gestión de regulación terciaria<sup>6</sup> y de gestión de desvíos de energía eléctrica, conocidos como mercados de balance<sup>7</sup>.

Junto a la estructura que nos muestra la generación se presenta el total de las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas en la generación.

#### **4.1.1 Diferentes curvas de la demanda**

La curva de la demanda tiene distintas formas en función de la estacionalidad, la temperatura y de la situación económica.

La variable que mejor explica el comportamiento de la curva es la económica, que posteriormente se ve modificada por los efectos de la temperatura y la estacionalidad.

La variable que más afecta a la variación de la curva de la demanda eléctrica es la temperatura. Históricamente, la influencia de la temperatura ha hecho que llegue a variar la demanda de energía eléctrica hasta en un 12% de un mes a otro.

En España, se pueden apreciar fundamentalmente dos categorías de meses entre los que se encuentran diferencias significativas en la curva de la demanda. Estos son aquellos que revelan sensibilidad al frío, que son los meses comprendidos entre noviembre y abril y por otro lado los meses sensibles al calor que son los meses comprendidos entre junio y septiembre. Por su parte los meses de mayo y octubre son considerados como meses de transición, de paso del calor al frío o viceversa.

Es decir, se pueden diferenciar dos curvas características; la de los meses de verano (figura 9) y de los meses de invierno (figura 10). La diferencia entre estas dos curvas reside en las horas en

---

<sup>4</sup> **Mercado diario:** tiene por objeto llevar a cabo las transacciones, de energía eléctrica para el día siguiente mediante la presentación de ofertas de venta y adquisición de la energía eléctrica por parte de los agentes del mercado.

<sup>5</sup> **Mercado intradiario:** Su función es la de atender los ajustes que se producen en la oferta y la demanda de energía eléctrica con posterioridad a haberse fijado el mercado diario, es decir, en él se corrigen las posibles desviaciones inesperadas con respecto a lo programado el día anterior en el mercado diario.

<sup>6</sup> **Regulación terciaria:** es un servicio complementario que se encarga de la restitución de la reserva de regulación secundaria, la cual se encarga de restituir la frecuencia a su valor fijado, en España 50 Hz, tras una perturbación y de ajustar la generación ante las modificaciones de la demanda que tienen lugar en tiempo real.

<sup>7</sup> **Mercados de balance:** Son los mercados de servicios de ajustes del sistema eléctrico destinado a mantener el equilibrio entre generación y demanda.



## Trabajo fin de grado: GESTIÓN ACTIVA DE LA DEMANDA EN EL SECTOR RESIDENCIAL. ESTADO DEL ARTE DE LOS PROYECTOS EN CURSO

las que se producen los picos de demanda, y en el número de picos de demanda que poseen estas curvas.

En la curva de la demanda eléctrica de un día de invierno (figura 10) se aprecian dos picos de demanda bien diferenciados, uno en torno a las 11 de la mañana y el otro pico, en torno a las 8 de la tarde. El pico de demanda eléctrica que se produce entre las 11 y las 12 de la mañana es consecuencia de que la actividad en las empresas de servicios es máxima y también debido al comienzo en la utilización de hornos y vitrocerámicas en los hogares españoles. Por su parte, el pico de consumo que sucede entre las 19 y las 20 horas, en el cual se produce la mayor demanda de energía eléctrica del día, es consecuencia de la actividad comercial y el aumento de la ocupación de los hogares.

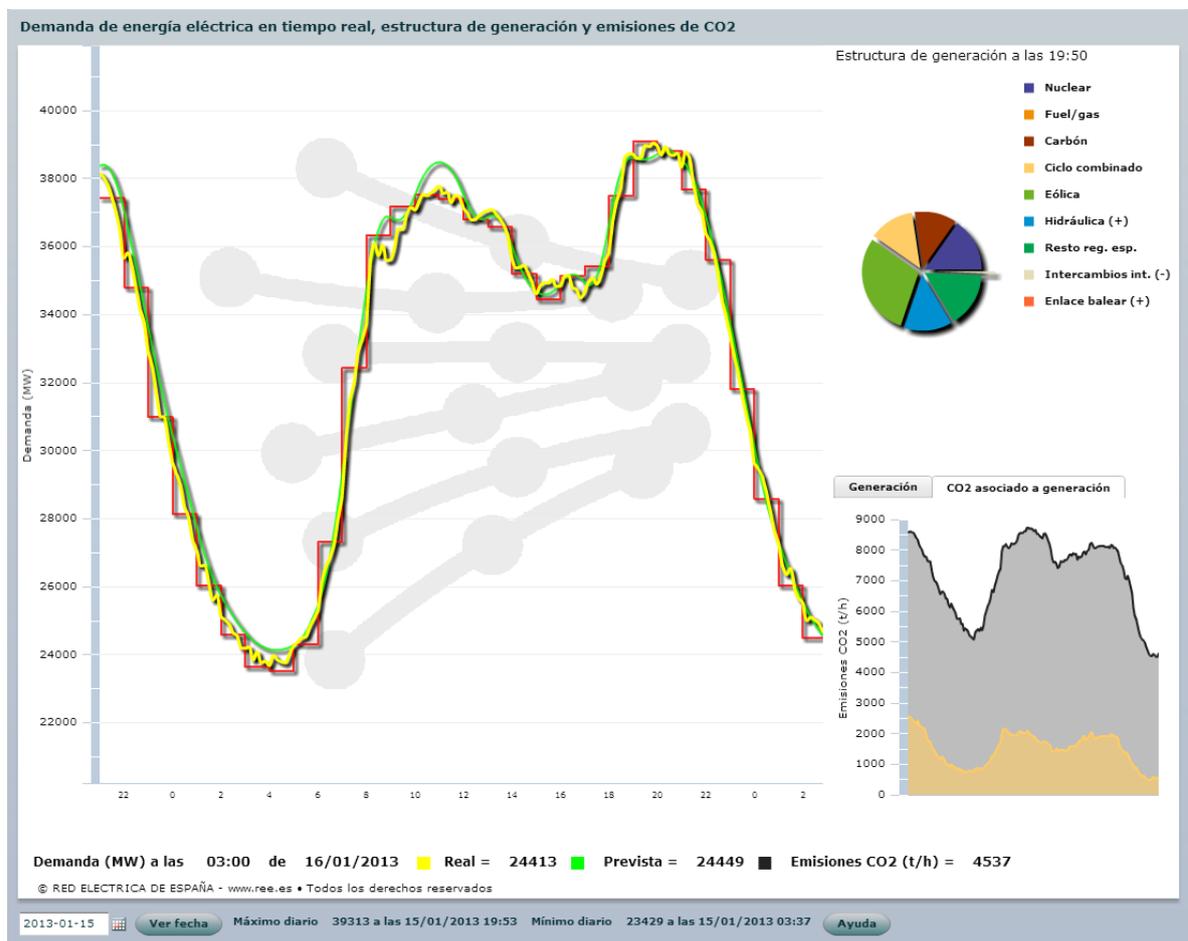


Figura 10. Demanda de energía eléctrica el miércoles 15 de enero de 2013 (día laborable Invierno). Fuente: REE.

Por su parte, como se ha podido apreciar en la figura 9 (mostrada anteriormente en la página 24), la demanda eléctrica en los meses de verano se caracteriza por existir, además de un pequeño pico en las horas de la tarde/noche, un pico bien diferenciado en las horas comprendidas entre las 14:00 y las 16:00 horas, como consecuencia del uso de las cocinas, lavavajillas y televisiones, a lo que hay que sumar el uso de los equipos de aire acondicionado, cuyo uso, en estas horas del día en las que la temperatura es más alta, aumenta considerablemente.



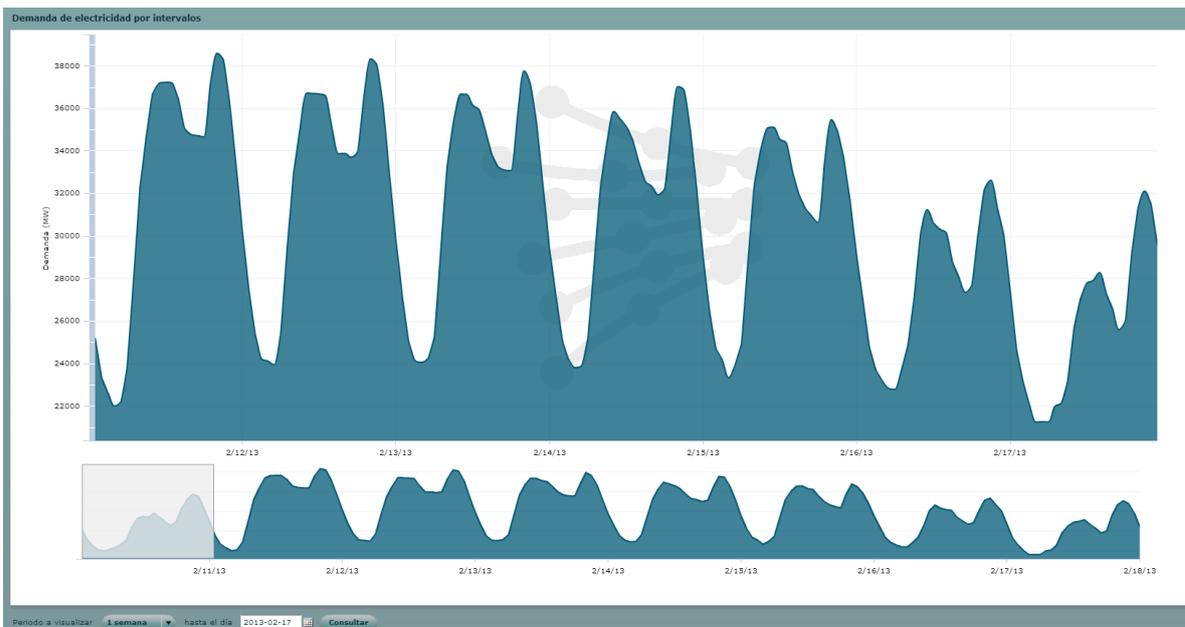
#### 4.1.2 Ciclos de la curva de la demanda

La demanda eléctrica tiene ciclos diarios, semanales y anuales.

En cuanto el nivel de demanda eléctrica, generalmente los meses con mayor consumo son los meses de invierno. Estos ciclos conllevan a que no todas las centrales estén siempre generando energía eléctrica, es decir, que parte de la capacidad instalada no sea utilizada durante todo el tiempo.

Los ciclos diarios son los mostrados con las figuras 9 y 10, en las cuales se puede apreciar que las gráficas varían en función de si se trata de un día característico de los meses de verano, de los meses de invierno, o de los meses considerados como de transición, teniendo cada uno de ellos una curva característica.

Los ciclos semanales se caracterizan fundamentalmente por cinco días con demandas similares, que son los días laborables comprendidos entre lunes y viernes, y los fines de semana durante los cuales la demanda se reduce como consecuencia de la disminución de la actividad en empresas y comercios.



**Figura 11. Ciclo semanal de la demanda eléctrica comprendida entre el 11 de febrero y el 17 de febrero de 2013. Fuente: REE**

En cuanto a los ciclos mensuales, se pueden ver variaciones de una semana a otra como consecuencia de las variaciones de temperatura que pueden causar, por ejemplo, una ola de frío o de calor, pero en general las semanas comprendidas en un mismo mes suelen tener consumos similares, como se puede ver en la figura 12 que se muestra a continuación, en la cual se puede observar que durante el mes de enero (cuatro primeros ciclos semanales de la figura 12) se produce un consumo similar, el cual se ha visto reducido durante el mes de febrero (cuatro últimos ciclos semanales de la figura 12) como consecuencia de los leves aumentos de temperatura.

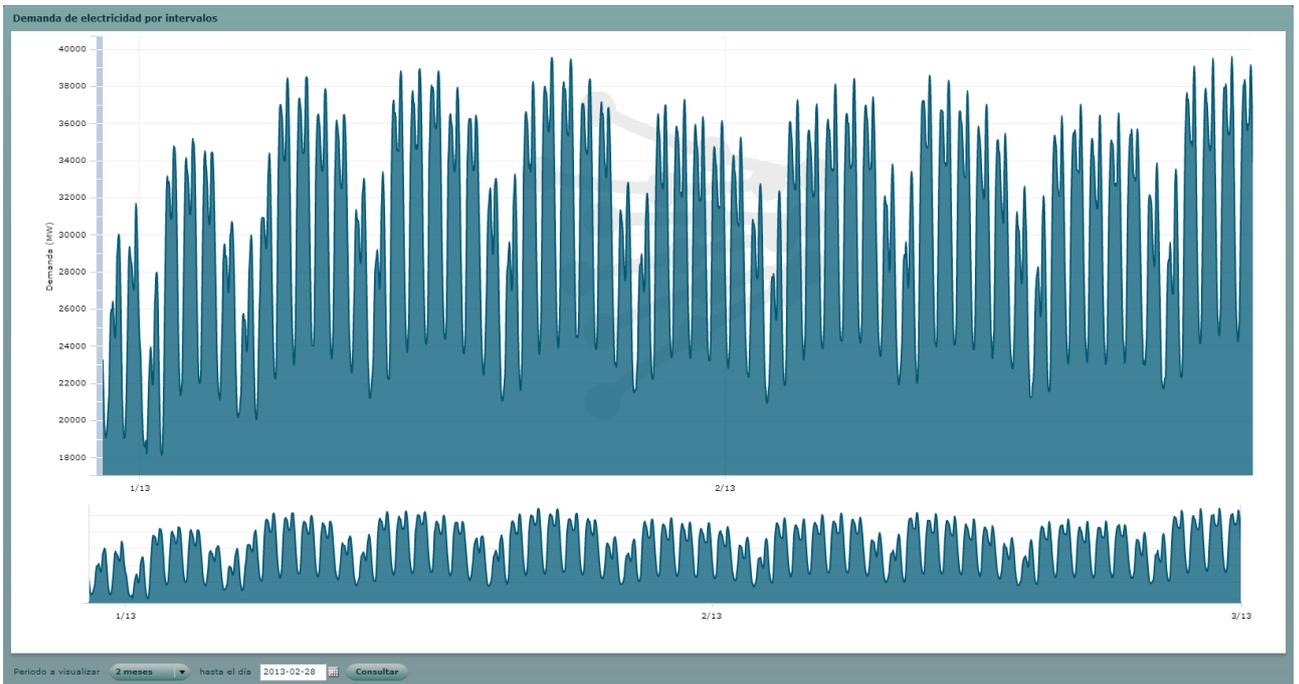


Figura 12. Ciclo mensual de la demanda de los meses de enero y febrero de 2012. Fuente: REE

Durante el mes de enero se puede ver una clara anomalía en la demanda durante la primera semana del año como consecuencia de las festividades del día 1 y 6 de enero. Estas anomalías causadas por festividades nacionales o por eventos importantes como pudo ser la final del Mundial de Fútbol, tienen que ser previstos por REE, ya que el consumo va a variar respecto a un día normal. Uno de los casos más característicos en el que se produce un comportamiento anómalo en la demanda eléctrica es en los días en los que se produce una huelga general, en el cual la actividad cesa de forma repentina y con ello la demanda de energía eléctrica. Estos hechos hacen que realizar una correcta previsión de la demanda por parte de REE sea complicada.

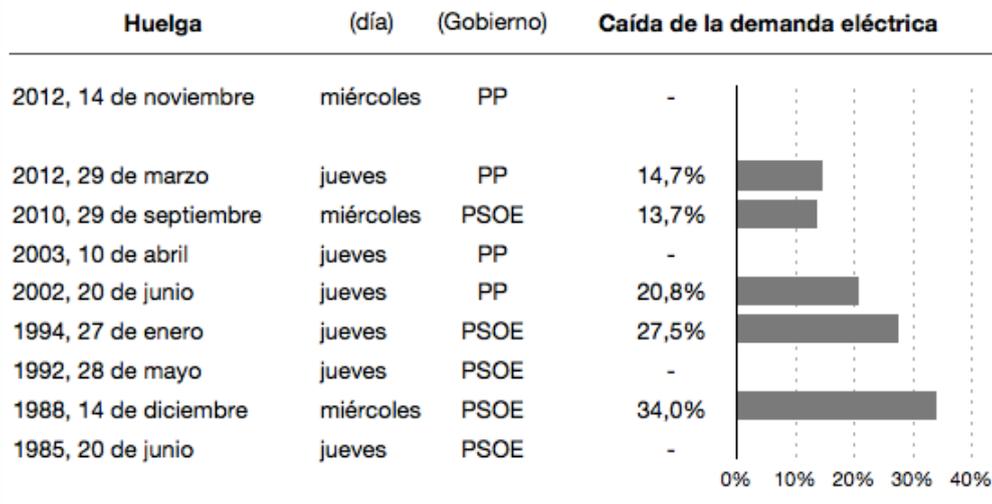


Figura 13. Efecto producido por las huelgas generales en España en la previsión de la demanda. Fuente REE



### **4.1.3 Evolución anual de la curva de la demanda**

Durante las décadas de los ochenta y los noventa la demanda eléctrica peninsular mantuvo una tendencia creciente, que se mantuvo hasta el año 2006, año a partir del cual este crecimiento se ha moderado progresivamente hasta descender considerablemente en el año 2009.

Estas variaciones en la demanda eléctrica no han sido homogéneas en el tiempo. Esta ha ido variando en función de las diferentes coyunturas económicas que ha atravesado el país.

En cuanto a estas variaciones cabe destacar el gran aumento en la demanda que tuvo lugar durante el periodo comprendido entre el año 1987 y el año 1991, con un incremento del 5% anual, como consecuencia de un periodo expansivo en la economía española, aumento frenado durante los años 1992-1993, como consecuencia de un periodo de recesión en la economía española, y de nuevo un aumento durante el periodo comprendido entre los años 1994 y 1997 como consecuencia de la recuperación, por parte de la economía española, de las tasas de crecimiento anteriores a la pequeña crisis acontecida durante 1992-1993.

Posteriormente, la demanda española ha registrado crecimientos entorno al 4% y el 7% entre los años 1998 y 2005, como consecuencia de la continua evolución de la economía.

Sin embargo, desde el 2006 el crecimiento fue disminuyendo, hasta que en el 2009, la demanda anual de energía eléctrica descendió un 4,7%, como consecuencia de la crisis económica del país durante este año.

Durante los últimos cinco años la variación de la demanda ha experimentado diferentes oscilaciones, como la ya mencionada considerable disminución de la demanda en el 2009 y el posterior aumento durante el 2010 como consecuencia de una leve mejora de la situación económica a lo largo de ese mismo año.

<b>Año</b>	<b>GWh</b>	<b>Variación anual (%)</b>
<b>2001</b>	205849	5,5
<b>2002</b>	211563	2,8
<b>2003</b>	225843	6,7
<b>2004</b>	263280	4,6
<b>2005</b>	247295	4,7
<b>2006</b>	254902	3,1
<b>2007</b>	262406	2,9
<b>2008</b>	265206	1,1
<b>2009</b>	252660	-4,7
<b>2010</b>	260530	3,1
<b>2011</b>	255373	-2
<b>2012</b>	252191	-1,2

Tabla 4. Evolución y crecimiento anual de la demanda eléctrica. Fuente: REE y Comisión Nacional de la Energía (CNE)



Sin embargo a la hora de ver la variación anual de la demanda eléctrica hay que tener en cuenta los efectos causados por los factores de la temperatura y de la laboralidad, que hacen que esta curva varíe. Como consecuencia de ello además de calcular la evolución de la demanda se realiza el cálculo de la demanda eléctrica anual corrigiendo estos factores, para conseguir de este modo la variación de la demanda teniendo fundamentalmente en cuenta el factor económico del país.

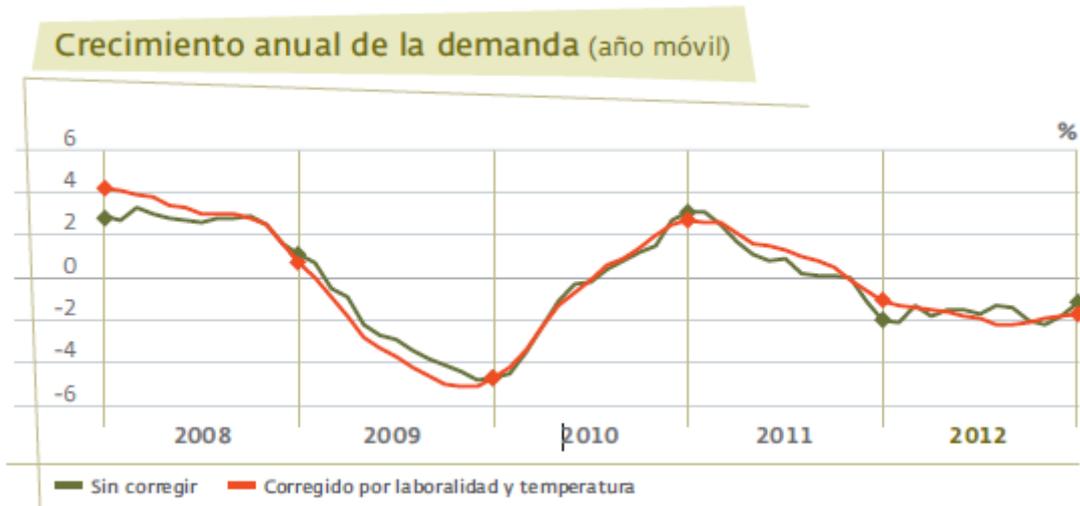


Figura 14. Crecimiento anual de la demanda eléctrica. Fuente: REE

Es decir, se puede sacar como conclusión que, además de la temperatura y la laboralidad, la situación económica del país afecta al valor de la demanda eléctrica de un año a otro, ya que a pesar de que la estructura de la curva sea similar, el valor de la demanda eléctrica es inferior en un año con crisis económica que en un año de expansión económica.

#### **4.1.4 Previsión de la demanda de energía eléctrica**

La estimación del crecimiento o decrecimiento de la demanda de energía eléctrica es fundamental para la realización del cálculo de la cobertura de la misma que se tiene que realizar.

En la estimación anual a largo plazo, fundamentalmente se tiene en cuenta el crecimiento de la actividad económica y la laboralidad.

Para el cálculo del efecto que causa la actividad económica en la demanda de energía eléctrica, se tiene en cuenta la estimación de los incrementos anuales del Producto Interior Bruto(PIB)<sup>8</sup>, el cual es una variable utilizada comúnmente para mostrar el índice de la variación de la actividad económica.

<sup>8</sup> **PIB:** Es una medida macroeconómica que expresa el valor monetario de la producción de bienes y servicios de un país durante un periodo determinado de tiempo ( en general un año)



Esto puede verse claramente reflejado en las variaciones en la demanda durante los años 2009 y 2010, las cuales se mostraron en el apartado anterior en la tabla 4 y en la figura 14. En el año 2009 se experimentó una disminución del PIB del 3,7%, lo que supuso una disminución en la demanda eléctrica de un 4,7%, mientras que en el 2010 la disminución del PIB fue únicamente del 0,1%, implicando un aumento de la demanda en el año 2010 del 3,1%.

En cuanto al factor de la laboralidad, se tiene en cuenta el número de días laborables del año, que en general es el mismo, excepto en aquellos años que son bisiestos, en los cuales hay un día más de actividad laboral y como consecuencia de ello un ligero aumento en la demanda.

Como ya se ha comentado en apartados anteriores, otro de los principales factores a tener en cuenta es la temperatura, la cual afecta considerablemente en las variaciones a corto plazo. Pero en el caso de hacer previsiones a largo plazo o anuales, no suele ser un factor relevante, ya que se consideran los históricos del registro de temperaturas.

#### **4.1.5 Curva de la demanda eléctrica por sectores**

Para poder comprender mejor la forma característica de la curva de la demanda eléctrica española, se va a realizar una diferenciación entre los tres sectores fundamentales que demandan energía.

- Sector Industrial.
- Sector Servicios.
- Sector Residencial.

A continuación, en la figura 15, se muestra la demanda eléctrica en un día de invierno. (Durante este apartado se va a hablar en concreto de esta gráfica de la demanda en un día de invierno, ya que la demanda en los sectores se adecua a la demanda eléctrica global y como consecuencia de ello no se ha considerado necesario hacer una diferenciación entre verano e invierno, cogiendo como ejemplo esta última. Sin embargo sí se realizará una distinción entre demanda eléctrica en verano e invierno en el sector residencial, ya que es el sector en el que se centra este proyecto).

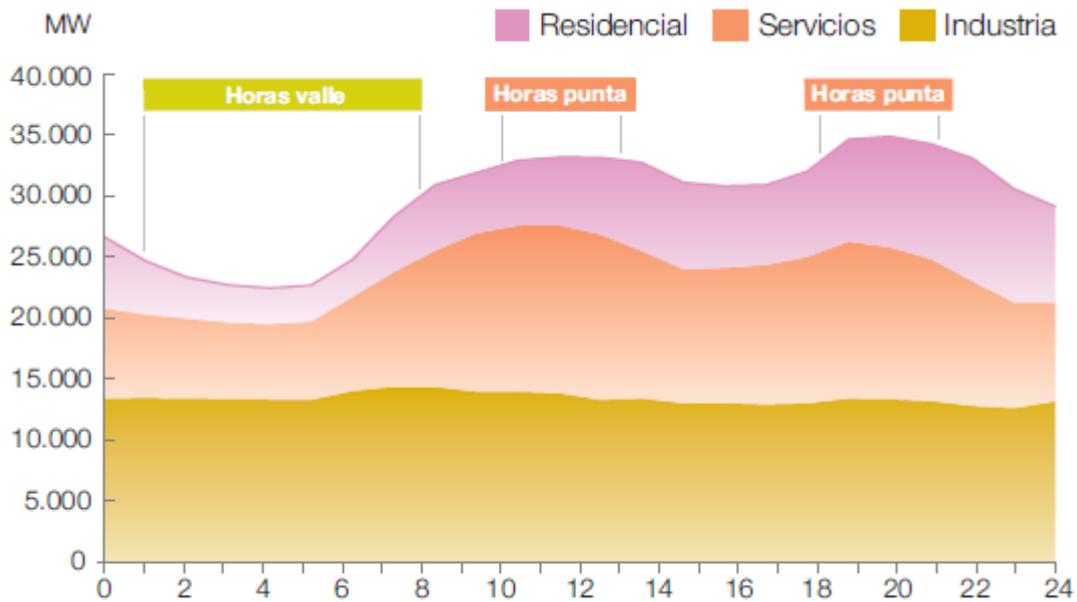


Figura 15. Consumo horario de energía eléctrica en un día de invierno (Noviembre 2011). Fuente:REE.

En este gráfico de la figura 15 se puede observar que el mayor consumo se realiza por parte del sector industrial, el cual tiene una distribución prácticamente constante, aunque se aprecia un pequeño pico durante las horas de la mañana. Sin embargo, este aumento en la demanda no supone una variación de la demanda eléctrica del sector industrial superior al 10% a lo largo del día. Ello conlleva a que sea difícilmente gestionable, ya que las actividades de carácter industrial se prolongan durante todo el día, por lo que no se pueden hacer grandes cambios en su demanda eléctrica.

La segunda curva que presenta mayor consumo es la de la demanda eléctrica del sector servicios. Esta curva sí que tiene una variación considerable a lo largo del día, con un aumento en la demanda entre las 9:00 y las 12:00 horas, ya que durante estas horas la actividad comercial empieza a funcionar, llegando a su punto más alto a las 12 de la mañana, coincidiendo con el punto de mayor demanda eléctrica global. Posteriormente se aprecia una disminución de la demanda como consecuencia del cierre de oficinas y comercios, en general durante las horas de la comida, tras la cual vuelven a abrir dichos comercios y oficinas, y con ello se experimenta un aumento de la demanda hasta las 18:00 horas, donde se produce otro pico de consumo y tras el cual se reduce linealmente hasta alcanzar los valores mínimos de demanda eléctrica que se producen durante las horas nocturnas.

Por último se encuentra la demanda del sector residencial, que presenta una curva que también varía a lo largo del día y que tiene un aspecto similar a la del sector servicios, aunque sus picos de consumo están un poco desplazados. Se hablará con más detalle de la demanda del sector residencial en el siguiente apartado, ya que es el sector en el que se centra este proyecto.



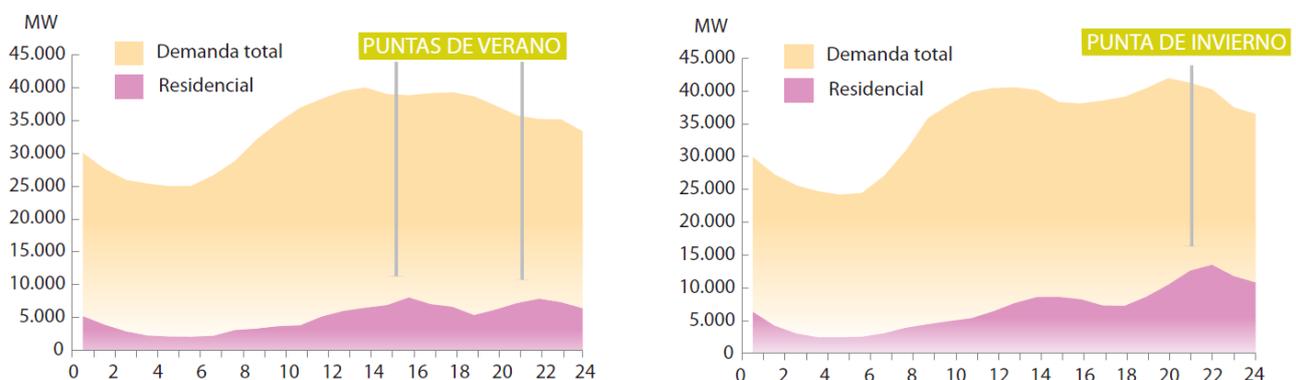
Como conclusión de este análisis y debido al consumo casi lineal del sector industrial, se puede afirmar que la curva total de la demanda eléctrica española debe su estructura de picos y valles de consumo a la demanda del sector residencial y a la del sector servicios..

#### 4.1.6 Curva de la demanda eléctrica del sector residencial

La demanda del sector residencial supone aproximadamente el 25% del consumo de energía eléctrica total en España, según el estudio “Sech-Spahousec” sobre el análisis del consumo energético del sector residencial en España, realizado por el IDAE en julio de 2011. La cantidad de energía eléctrica consumida en un hogar varía en función de su tamaño, de su ubicación, del tipo de vivienda y del número de ocupantes de la misma.

El consumo en los hogares es mayor en los meses de invierno, como consecuencia del uso de la calefacción e iluminación, y en los meses de verano debido a la utilización del aire acondicionado. Por su parte este consumo es menor en los meses considerados de transición entre el verano y el invierno y viceversa ya que el consumo de estos elementos es inferior en los hogares debido a que las temperaturas y las horas de luz no son tan extremas como en los meses de verano e invierno.

La cantidad de energía eléctrica que demandan los hogares varía a lo largo del día, y de forma diferente en función de si se trata de un día de los considerados como meses de verano o de invierno.



**Figura 16. Demanda eléctrica en sector residencial en comparación a la demanda global en un día característico de verano (Izquierda) y uno de invierno (derecha).Fuente: Guía consumo inteligente-REE**

En invierno la demanda máxima de los hogares se produce entre las 21:00 y las 22:00 horas, como consecuencia de la elevada ocupación de los hogares y como consecuencia fundamentalmente del gran uso de la iluminación, calefacción y televisión.

Por su parte, en verano se producen dos picos de consumo uno a la misma hora que en invierno (aunque con un consumo menor, ya que ya no está presente el uso de la calefacción, y en general tampoco el uso del aire acondicionado puesto que las temperaturas no son



## Trabajo fin de grado: GESTIÓN ACTIVA DE LA DEMANDA EN EL SECTOR RESIDENCIAL. ESTADO DEL ARTE DE LOS PROYECTOS EN CURSO

excesivamente elevadas a esa hora) y otro a las horas centrales del día (14:00-16:00), como consecuencia del uso de cocinas, lavavajillas, televisiones y aparatos de aire acondicionado, al ser a estas horas la temperatura muy elevada y como consecuencia de ello aumenta considerablemente el uso de estos.

En cuanto al resto de horas presentan una estructura más o menos similar, aunque la cantidad de energía demandada es diferente, dado que por ejemplo por las noches se suele gastar más energía en la calefacción de la que se gasta en verano para los aires acondicionados, ya que el ser humano suele soportar mejor el calor que el frío.

Entre las 22:00 y las 2:00 horas se muestra una disminución progresiva del consumo, pues a estas horas las personas van acostándose de forma progresiva.

Durante las 2:00 y las 6:00 el consumo permanece constante, al estar durmiendo la mayoría de la gente y como consecuencia de ello la actividad en las viviendas es reducida.

A partir de las 6:00 la demanda vuelve a aumentar de forma progresiva hasta las 8:00-9:00 como consecuencia de que la gente empieza a despertarse para ir a trabajar.

Posteriormente se aprecia una pequeña disminución, al dejar la gente los hogares para ir a trabajar, pero a las 10:00 vuelve a aumentar la demanda hasta las horas centrales del día como consecuencia de las tareas de limpieza así como la preparación de la comida, las cuales tienen un consumo elevado de energía.

Después de las horas centrales del día la demanda vuelve a disminuir, porque o bien la gente descansa o vuelve a irse a trabajar.

Por último, desde las 17:00 hasta las 21:00-22:00, que es cuando se produce el pico de consumo, se produce un aumento progresivo del consumo ya que la gente vuelve a sus hogares. El motivo de que vaya en aumento es que cada vez se necesita mayor iluminación, se procede a la climatización de la casa y también debido a que se aumenta el uso de los electrodomésticos, entre otras cosas para hacer la cena o para el ocio personal.

Como conclusión del análisis de la curva de la demanda eléctrica del sector residencial, se podría afirmar que dicha demanda es directamente proporcional a la ocupación de los hogares durante el día, siendo muy reducida en las horas nocturnas como consecuencia de la poca actividad en las viviendas.



## 4.2 Marco Regulatorio

En cuanto al marco regulatorio en España, cabe destacar la aprobación de la *Ley 2/2011*, de 4 de marzo, sobre la economía sostenible, por la que se establecían diferentes medidas en el sector eléctrico con el objetivo, por el que apuesta España, de un modelo energético sostenible en el país. El cumplimiento de los *objetivos 20-20-20*<sup>9</sup> en el año 2020, establecidos por la Directiva 2009/28/CE, se traspone en esta *Ley 2/2011*, fomentándose de este modo las actividades de I+D+i<sup>10</sup> y proyectos energéticos como el desarrollo de redes inteligentes, el desarrollo de los vehículos eléctricos e híbridos o la gestión activa de la demanda.

En la Ley de economía sostenible también se regulan importantes reformas en el funcionamiento de la Comisión Nacional de Energía (CNE), entre las que sobresalen, la obligación de rendir cuentas al Parlamento, la reducción de miembros del Consejo, la introducción de medidas destinadas a dotarle de mayor transparencia y autonomía, así como la modificación de la función 14, relativa a la adquisición de participaciones por sociedades y de la función 15, en la que se establece la emisión por parte de la CNE de un informe determinante en las operaciones de concentración de empresas. Ha de tenerse en cuenta que las competencias de la CNE serán asumidas, cuando se constituya, por la nueva Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia y la Secretaría de Estado de Energía del Ministerio de Industria, Energía y Turismo, conforme a lo previsto en la *Ley 3/2013*, de 4 de junio, de creación de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia.

Durante el año 2011 se publicaron además numerosas disposiciones de regulación del sector eléctrico, entre las que destacan las siguientes (Fuente: Informe del Sistema Eléctrico- REE):

- *Real Decreto 647/2011*, del 9 de mayo, por el que se regula la actividad del gestor de cargas del sistema para la realización de los servicios de recarga energética, que establece la regulación de los gestores de cargas del sistema como sujetos que se encargan de desarrollar la actividad destinada al suministro de la energía eléctrica para la recarga de los vehículos eléctricos. Para esta actividad se crea un nuevo peaje de acceso “supervalve” para suministros entre 10 y 15 kW, y modificándose asimismo la TUR<sup>11</sup> para incluir esta discriminación horaria “supervalve”.
- *Real Decreto 1544/2011*, de 31 de octubre, por el que se establecen los peajes de acceso a las redes de transporte y de distribución que deben satisfacer los productores de energía eléctrica. Esta disposición fija un peaje uniforme de 0,5 €/MWh, con carácter transitorio hasta que se desarrolle una metodología específica de asignación, aplicable desde el 1 de enero de 2011 a cada instalación de generación, tanto del régimen ordinario como especial, que será

---

<sup>9</sup> **Objetivos 20-20-20:** objetivos sobre la eficiencia energética definidos por la Unión Europea en junio del año 2008. Estos objetivos eran de:

- Reducir para 2020 las emisiones globales de gases de efecto invernadero de la Comunidad Europea en al menos un 20% respecto a los niveles del 1990.
- Aumentar el uso de energías renovables hasta el 20% de la producción total de energía eléctrica.
- Reducir el consumo energético en un 20% con respecto al nivel previsto para el año 2020.

<sup>10</sup> **I+D+i:** Investigación, desarrollo e innovación.

<sup>11</sup> **TUR:** Tarifa de Último Recurso, tarifa fijada por el gobierno sobre el precio de la electricidad para consumidores con una potencia contratada inferior a 10 kW, cuyo importe es revisado trimestralmente.



recaudado por las empresas transportistas y distribuidoras para su puesta a disposición del procedimiento de liquidación de ingresos y costes regulados del sector.

- *Real Decreto 1623/2011*, de 14 de noviembre, por el que se regulan los efectos de la entrada en funcionamiento del enlace entre el sistema eléctrico peninsular y el balear, y se modifican otras disposiciones del sector eléctrico, en el que se establece el marco reglamentario para la gestión técnica y económica del nuevo enlace entre la península y la isla de Mallorca, así como para la liquidación de la energía que circule a través del mismo.
- *Real Decreto-ley 20/2011*, de 30 de diciembre, de medidas urgentes en materia presupuestaria, tributaria y financiera para la corrección del déficit público, cuya principal medida para el sector eléctrico fue la reducción de los importes de la financiación del sobrecoste de los sistemas insulares y extra peninsulares cargados a los Presupuestos Generales del Estado en los años 2011 y 2012, que se fijan en un 17 % del sobrecoste del año 2011 frente al 51 % previamente vigente, y con un montante máximo de 256,4 millones de euros para el año 2012, que sustituye al porcentaje del 75 % del sobrecoste para este año establecido con anterioridad.

En la normativa relacionada con este proyecto cabe destacar, del mismo modo, la entrada en vigor del *Código Técnico de la Edificación* (aprobado mediante el *R.D. 314/2006*), que obliga a disponer de un aislamiento óptimo en las edificaciones de nueva construcción. Este código supone la toma de medidas, de forma obligatoria, sobre la eficiencia energética en el proyecto de un edificio, por parte del sector de la edificación. A partir de la aplicación de este conjunto de normas, el parque edificatorio español va a poder reducir notablemente el consumo de energía de su sector, ya que se empezarán a construir edificios que de por sí, demanden menos energía para conseguir el mismo nivel de confort en su interior, como consecuencia de la mejora del aislamiento. [3]

Posteriormente, en el año 2013 se aprobó el *Real Decreto 235/2013*, de 5 de abril, “por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios. El real decreto establece la obligación de poner a disposición de los compradores o usuarios de los edificios un certificado de eficiencia energética que deberá incluir información objetiva sobre la eficiencia energética de un edificio y valores de referencia tales como requisitos mínimos de eficiencia energética con el fin de que los propietarios o arrendatarios del edificio o de una unidad de éste puedan comparar y evaluar su eficiencia energética. Los requisitos mínimos de eficiencia energética de los edificios o unidades de éste no se incluyen en este real decreto, ya que se establecen en el Código Técnico de la Edificación, citado con anterioridad. De esta forma, valorando y comparando la eficiencia energética de los edificios, se favorecerá la promoción de edificios de alta eficiencia energética y las inversiones en ahorro de energía en los mismos. Además, este real decreto contribuye a informar de las emisiones de CO<sub>2</sub> por el uso de la energía proveniente de fuentes emisoras en el sector residencial, lo que facilitará la adopción de medidas para reducir las emisiones y mejorar la calificación energética de los edificios” (Fuente: Boletín Oficial del Estado número 89 del sábado 13 de abril de 2013, Sección I). [4]



## **5. Gestión Activa de la demanda**

La demanda de energía eléctrica en España es muy variable. Esta característica de la demanda junto con la imposibilidad de almacenar electricidad en grandes cantidades, conlleva a que se tenga que mantener un equilibrio constante, en tiempo real, entre lo que se consume y lo que se produce, es decir, la generación tiene que ser igual a la demanda más las pérdidas. Esta poca capacidad de almacenamiento de energía eléctrica en el sistema, obliga a éste a tener que dimensionar la capacidad de generación en función del pico de la demanda, ya que es necesario que el sistema eléctrico sea capaz de satisfacer la demanda en todo momento.

Como consecuencia de ello es necesario mantener un sistema de generación que la mayor parte del tiempo se encuentra infrautilizado, ya que hay que tener centrales térmicas operativas funcionando al mínimo técnico por si fuera necesaria una mayor utilización de las mismas, para garantizar la seguridad de suministro (las centrales se encuentran operativas, no encendidas sin producir). Como consecuencia de ello hay un sobrecoste debido a un uso no eficiente del parque generador existente, a lo que hay que sumar las emisiones que se producen como consecuencia de ello.

Para intentar solucionar o disminuir el problema que supone dimensionar la capacidad de generación en función del pico de la demanda eléctrica, y poder de este modo satisfacer esta en todo momento, se han planteado diversas medidas posibles entre las que se encuentra la Gestión Activa de la Demanda (GAD).

La gestión activa de la demanda se puede definir como el conjunto de técnicas y herramientas empleadas para modificar la curva de la demanda eléctrica, con el fin de mejorar la eficiencia energética del sistema eléctrico.

En primer lugar, hay que tener en cuenta que no toda la demanda de electricidad es igual de gestionable. Como se trató en el apartado de la demanda eléctrica, la demanda del sistema eléctrico se puede clasificar, a grandes rasgos, en tres grandes bloques; el consumo industrial, el comercial y el residencial, siendo este último el que se analiza en este proyecto y que supone alrededor de un 25% de la demanda total de energía eléctrica, según el estudio "Sech-Spahousec" sobre el análisis del consumo energético del sector residencial en España, realizado por el IDAE en julio de 2011.

La gestión activa de la demanda en el sector residencial consiste en influir en el consumo de los usuarios individuales, para que de este modo, a nivel global, se pueda conseguir un desplazamiento del consumo a las horas donde se encuentra el excedente de generación, consiguiendo de este modo reducir los picos de consumo y en conclusión conseguir "aplanar" la curva de la demanda. Al mismo tiempo se trata de conseguir un consumo más eficiente utilizando dispositivos de bajo consumo.

No interesa tanto la manera de consumir de un usuario en concreto sino el consumo agregado de muchos consumidores. Para conseguirlo se necesitan mecanismos capaces de reconocer el comportamiento de los consumidores a través del control de los clientes individuales.



Al “aplanar” la curva de la demanda lo que se consigue es:

- Retrasar la necesidad de desarrollar las redes eléctricas y de integrar nueva generación.
- Ajustar las necesidades de generación a la evolución de la demanda.
- Mayor facilidad para el aprovechamiento e integración de las consideradas como energías renovables así como de la generación distribuida.
- Disminución de la posibilidad de problemas de abastecimiento eléctrico o de nudos sobrecargados en la red eléctrica.
- Disminución de emisiones de gases de efecto invernadero.

En definitiva, se consigue un sistema eléctrico más eficiente y sostenible, tanto en el aspecto técnico como en el económico.

→ Objetivos de la gestión activa de la demanda



Figura 17. Objetivos de la gestión activa de la demanda. Fuente: REE

Uno de los objetivos de la gestión activa de la demanda es la reducción del consumo (gráfica 1 de la figura 17) para ello se necesitará una mejora en la eficiencia de los equipos y de los procesos eléctricos. A ello hay que sumarle que es necesaria una concienciación de la sociedad sobre el ahorro energético, por lo que se necesitará una formación y educación en la escuela y en los hogares.

En la segunda gráfica de la figura 17 se puede ver que, mediante la GAD, se pretende conseguir un desplazamiento del consumo de energía eléctrica de las horas punta a las horas valle. Para ello es necesario obtener una discriminación horaria en el consumo, a partir de la respuesta de los clientes en función de los precios del mercado de energía eléctrica. Es decir, se quiere obtener una participación activa de la demanda en los mercados.

En cuanto a la tercera gráfica, el llenado de valles tendrá que llevarse a cabo mediante diversos sistemas que realicen consumo de energía eléctrica durante las horas valle. Un ejemplo es la utilización de energía eléctrica por centrales hidráulicas de bombeo durante las horas valle, es decir que realicen el bombeo del pantano inferior al superior durante las horas valle del consumo eléctrico. Otra forma que se plantea es la recarga de los vehículos eléctricos (cuya implantación en la sociedad se espera que vaya ascendiendo durante los próximos años) durante estas horas valle.



## Trabajo fin de grado: GESTIÓN ACTIVA DE LA DEMANDA EN EL SECTOR RESIDENCIAL. ESTADO DEL ARTE DE LOS PROYECTOS EN CURSO

Por último, como se muestra en la gráfica cuatro de la figura 17, se pretende obtener una reducción del consumo en las horas punta. Para ello la GAD promueve una gestión automática de las cargas (que se explicará en profundidad a lo largo del proyecto tanto en el apartado “6. Estado del arte de los proyectos en curso” como en el apartado “7. Modelo de implantación real en España”), así como diversas tarifas de precios que penalicen el consumo en estas horas y la favorezcan en horas valle.

### ➔ Mecanismos y modelos para la Gestión Activa de la Demanda

Para poder hacer de la gestión activa de la demanda una realidad, es necesario establecer mecanismos eficientes de la gestión de la demanda eléctrica. Entre los principales mecanismos que se pueden encontrar están:

- Las “Smart Grids” o redes inteligentes, que constituyen la infraestructura que permitiría las comunicaciones necesarias entre usuarios, comercializadoras y distribuidoras, para llevar a cabo la GAD.

Es decir, son redes eléctricas que son capaces de integrar de manera inteligente el comportamiento y las acciones de todos los usuarios conectados a ellas, desde los generadores hasta el consumidor final, con el fin de poder funcionar de una manera sostenible, eficiente y económica que además garantice el suministro eléctrico.

Uno de los puntos a destacar de estas redes es la red de contadores inteligentes que están instalados a lo largo de la misma. Estos contadores se encargan de transmitir información a los operadores de distribución y de estos al operador del sistema para que se pueda ver lo que está sucediendo en la red en todo momento y en tiempo real.

En cuanto a fabricantes de electrodomésticos y equipos, estos están desarrollando equipos que se aprovechen de la interactividad con la red. Esta se basa en que estos equipos estarán dotados para mantener una comunicación con la red, permitiendo saber la cantidad de energía utilizada y la manera de ahorrar energía mediante la configuración de la operación de los equipos.

La finalidad de este tipo de redes inteligentes es la de:

- Mejorar la facilidad de conexión y funcionamiento de los diferentes tipos de generadores de energía eléctrica., en particular de la denominada generación distribuida.
- Hacer que el consumidor desempeñe un papel importante en la optimización de la operación del sistema eléctrico.
- Proporcionar la información y opciones sobre la oferta energética a elegir por él mismo.
- Aumentar la calidad de suministro así como la seguridad del mismo, ya que este tipo de redes son capaces de alertar a los operadores del sistema eléctrico de problemas potenciales antes de que causen ese fallo, permitiendo de este modo reparar o solucionar este futuro problema.
- Mejorar la eficiencia de los servicios existentes, ya que la Red Inteligente es un sistema de distribución de energía eléctrica que utiliza tecnología digital para de este modo reducir las pérdidas y aumentar la fiabilidad del sistema eléctrico.



## Trabajo fin de grado: GESTIÓN ACTIVA DE LA DEMANDA EN EL SECTOR RESIDENCIAL. ESTADO DEL ARTE DE LOS PROYECTOS EN CURSO

- La instalación de generación distribuida, que es la generación o almacenamiento de energía eléctrica a pequeña escala, lo más cercana al punto de consumo, y con la opción de interactuar con la red eléctrica, bien sea comprando o vendiendo energía.

En cuantos a los modelos de gestión activa de la demanda que facilitan la realización de la misma, cabe destacar dos tipos:

- Iniciativas basadas en precios (*Pricing initiatives*): se basan en ofrecer un incentivo en forma de remuneración económica por realizar esta gestión y también se basa en el envío de señales de precios. Este tipo de modelo se puede realizar de forma manual, desconectando manualmente las cargas, o de forma automática a través de enchufes inteligentes o electrodomésticos programables que permitan su programación.

Dentro de este tipo de iniciativas el modelo más común es conocido como “Time of Use” (TOU) o tiempo en uso, que se basa en dividir el día en periodos en los que el precio de la electricidad va a variar.

También se pueden encontrar otros modelos como el de “Real Time Pricing” o precio en tiempo real, que se basa en la variación en el precio de la electricidad a lo largo del día. La dificultad de este modelo reside en la previsión necesaria del precio de la energía, ya que hay diversos factores que influyen en ella.

- Control directo de cargas (*Direct load control*): se basa en la utilización de equipamiento de carácter inteligente para ser controlado de forma remota por parte del operador de la red o por parte del distribuidor del usuario. En este modelo hay que tener en cuenta que no se puede afectar al confort de los usuarios si se desconectan las cargas.

El modelo del control directo de cargas es un modelo que necesita una inversión inicial mayor que el de las iniciativas basadas en precios, ya que es necesario disponer de equipos inteligentes. Sin embargo con este modelo, de forma general, el ahorro energético que se obtiene es superior y con ello también el ahorro económico.

### → Diferentes visiones para llevar a cabo la GAD

- Desde el ámbito de la operación: se basa en las necesidades de operación de la red. Cuando el operador de la red del sistema eléctrico (tanto de la red de distribución como de la de transporte) detecte algún fallo en uno de los nodos del sistema eléctrico o no sea capaz de abastecer la demanda en una zona, tiene que proceder o bien a la limitación del consumo máximo de ciertos usuarios hasta que desaparezca el problema o bien a desconectar ciertos puntos del sistema eléctrico para así evitar la propagación del problema. En la actualidad en España existe el servicio de gestión de la demanda de electricidad, que garantiza el suministro eléctrico ante incidentes en la red.
- Desde el ámbito de la planificación: se trata de un enfoque mucho más predictivo que el anterior y por ello tratará de influir en el consumo de los clientes a través de factores económicos. Para facilitar y mejorar el funcionamiento de este sistema las



## Trabajo fin de grado: GESTIÓN ACTIVA DE LA DEMANDA EN EL SECTOR RESIDENCIAL. ESTADO DEL ARTE DE LOS PROYECTOS EN CURSO

comercializadoras agruparán a los clientes en función de sus perfiles de consumo de energía eléctrica, para así poder actuar sobre un grupo de clientes de forma simultánea y de este modo evitar la actuación sobre los clientes de forma individual. Una posible forma de actuación sería establecer precios más caros durante las horas pico y más baratos durante las valle, favoreciendo de este modo el consumo en estas horas.

- Desde el ámbito doméstico: para la realización desde este ámbito es necesaria una planificación inteligente de los electrodomésticos, ya que no todos ellos se consideran igual de prioritarios. Además, esta planificación de los electrodomésticos guarda una estrecha relación con las políticas económicas del ámbito de la planificación y de la operación de las que se habló anteriormente. Esta planificación será realizada por el propio cliente, o como será más común, a través de un intermediario entre el cliente y los distribuidores, conocido como agregador, que conocerá los electrodomésticos que hay en cada hogar así como el precio de la energía eléctrica, pudiendo ayudar además de al ahorro energético a nivel global, a que esta gestión suponga un ahorro económico en la factura eléctrica de los clientes. Un ejemplo de ello es que por ejemplo el lavavajillas se active a las 5 de la mañana (hora valle) en lugar de las 10 de la noche (hora pico), o que el aire acondicionado se desconecte unos minutos cada cierto tiempo, ya que no supondría un variación perceptible para el confort del usuario y en cambio supondría un ahorro de energía, especialmente significativo en horas pico.
- Desde el ámbito social: para que la GAD sea posible es fundamental la aceptación por parte de la sociedad de los sistemas necesarios para la implantación de la gestión de la demanda eléctrica. Esto supondrá cambios en los hábitos de los clientes, lo cual suele ocasionar rechazo por parte de los usuarios y como consecuencia de ello hay que proceder a la concienciación de la población del ahorro energético, así como de la disminución de emisiones derivadas del ahorro, que la GAD supondría para la sociedad.

La gestión activa de la demanda, en el contexto energético actual, cobra una gran importancia, debido al aumento de la preocupación por la sostenibilidad medioambiental así como por la seguridad en el suministro eléctrico. Como consecuencia de estas dos preocupaciones la instalación de equipos de bajo consumo y más eficientes están adquiriendo una gran importancia.

Dentro de la propia GAD, se pueden distinguir diferentes tipos de formas de realizarla en función de sus objetivos (que se han expuesto anteriormente), en función del tipo de incentivo que se emplee para intentar promover cambios en la demanda eléctrica, en función del tipo de consumidores o en función del nivel de automatización que sea necesario para la gestión de la demanda eléctrica.

A pesar de la diferencias entre los distintos tipos de gestión, todos ellos buscan reducir o desplazar el consumo de forma puntual para favorecer al sistema, proporcionando incentivos a los clientes. De esta forma, en general, se consigue una disminución del consumo eléctrico por parte de los clientes en las horas pico, consumo que se desplaza a las horas consideradas como valle, en las cuales hay una menor demanda.



Uno de los principales problemas con los que se encuentra la GAD en España es la necesidad de adecuar los hogares para poder realizar la gestión, a través de la instalación de contadores inteligentes, electrodomésticos inteligentes y en general de diseñar un hogar inteligente. Esta adecuación de los hogares implicará que en un principio sea necesaria una inversión elevada para la creación del hogar inteligente. Esta inversión supone una gran barrera para su implementación como consecuencia de la situación económica actual de España.

## **5.1 Gestión Activa de la Demanda en el Sector Residencial**

Como se ha mencionado anteriormente, para hacer posible la gestión activa de la demanda eléctrica en el sector residencial será necesario un elevado nivel de automatización en las viviendas. Es decir, es necesario que las residencias tengan a su disposición gestores automáticos de carga eléctrica, que sean capaces de desplazar y disminuir el consumo eléctrico de ciertos electrodomésticos, como lavadora o lavavajillas, en función de las necesidades del sistema así como del precio de la propia energía eléctrica, que va variando a lo largo del día en función de la generación de energía eléctrica que haya en ese instante.

La forma de la curva de la demanda eléctrica se ve muy influenciada por la demanda producida en el sector residencial. Entorno a las 19:00 y las 21:00 se suele producir un pico de la demanda eléctrica, consecuencia de que en el sector residencial se produce un aumento considerable de la demanda debido a la ocupación de los hogares y a la preparación de la cena en las viviendas. Este pico no es solo consecuencia de este sector ya que el sector servicios también afecta en este pico de demanda. A pesar de ello se podría afirmar que la implantación masiva en los hogares de la gestión activa de la demanda produciría una variación en la curva de la demanda eléctrica del sistema, pudiendo reducir este pico de consumo.

Este sistema eléctrico basado en la GAD no ha sido probado a gran escala, ya que el sistema eléctrico actual no se encuentra preparado para ello, pero sí se han realizado estudios, sobre ello a pequeña escala. Entre los proyectos que se han realizado, a nivel únicamente residencial, se encuentra el proyecto "Ontario Smart Price Pilot" llevado a cabo en Canadá o el proyecto "GAD" realizado en España, de los cuales se hablan en este proyecto.

Uno de los países donde mayor número de proyectos se han realizado ha sido Estados Unidos, lo que ha servido para sacar conclusiones sobre cada modelo de GAD. Entre los estudios realizados en EE. UU. se distinguen algunos, como el "Energy Smart-Pricing" realizado en Illinois, basado en la respuesta de los clientes en el consumo de energía eléctrica en función de las diferentes tarifas horarias de la misma. Este tipo de GAD se lleva a cabo sin tener ningún tipo de sistema que gestione automáticamente las cargas, es decir que es el propio usuario el que se encargaba de desplazar el consumo de energía eléctrica, por ejemplo conectando la lavadora en horas valle. Por otro lado se han realizados estudios como el "Good Cents Select" en Florida, en los cuales sí se instalaron dispositivos que permitían un control automático del consumo de los usuarios.

Aunque en general se ha demostrado que es más efectivo a nivel residencial que haya instalados dispositivos que permitan un control automático de las cargas (electrodomésticos), ya que el no tenerlos supone un mayor esfuerzo por parte del usuario, ambos sistemas consiguen un cierto aplanamiento de la curva de la demanda eléctrica. Este aplanamiento



## Trabajo fin de grado: GESTIÓN ACTIVA DE LA DEMANDA EN EL SECTOR RESIDENCIAL. ESTADO DEL ARTE DE LOS PROYECTOS EN CURSO

implica beneficios tanto para el sistema como para el consumidor de energía eléctrica (en este caso, consumidor residencial). Entre estos beneficios destaca fundamentalmente la reducción en la factura eléctrica de los consumidores residenciales y en el caso del sistema eléctrico, ahorros en su expansión (la cual disminuiría) y en la operación del sistema de generación de energía eléctrica y también ahorros en la inversión para el desarrollo y mantenimiento de la redes de distribución.

A pesar de las conclusiones obtenidas en los diferentes proyectos (los cuales suelen ser realizados a nivel local, aunque se están realizando también proyectos a mayor escala como el proyecto ADDRESS, del cual se habla en este proyecto), sus resultados no son fácilmente extrapolables, ya que los efectos causados en la demanda eléctrica se ven muy influenciados por numerosos factores como los incentivos económicos por el desplazamiento del consumo eléctrico o el nivel de automatización de los hogares, y en general del sistema eléctrico, pero también por otros factores como pueden ser las características demográficas donde se quiera implantar, las condiciones meteorológicas o las características particulares de cada consumidor.

Para poder comprenderlo, a través de un ejemplo real, se van a mostrar a continuación los datos tomados durante la realización del proyecto “INDEL: Atlas de la demanda eléctrica española”, proyecto llevado a cabo en España en el año 1997, por lo que sus datos están anticuados, pero su mensaje sigue siendo válido (para poder comprobar el consumo y la gestión en un hogar actual se realizará un estudio más adelante). En él se muestra el consumo de los hogares a través de *curvas de carga*<sup>12</sup> de un día de diario de invierno y otro de verano. Con ellas se identificará la demanda de un hogar y se podrá analizar qué consumos dentro de la vivienda pueden ser susceptibles de gestión, ya sea remota, manual o mediante programación de las cargas, para de este modo disminuir la demanda del sistema eléctrico.

---

<sup>12</sup>**Curvas de carga:** Es considerada como la representación gráfica de la forma en la que el consumidor, en un determinado intervalo de tiempo, hace uso de sus equipos eléctricos. El intervalo de tiempo puede ser cualquiera que sea útil para el análisis, generalmente se considera un intervalo de tiempo diario, mensual o anual.

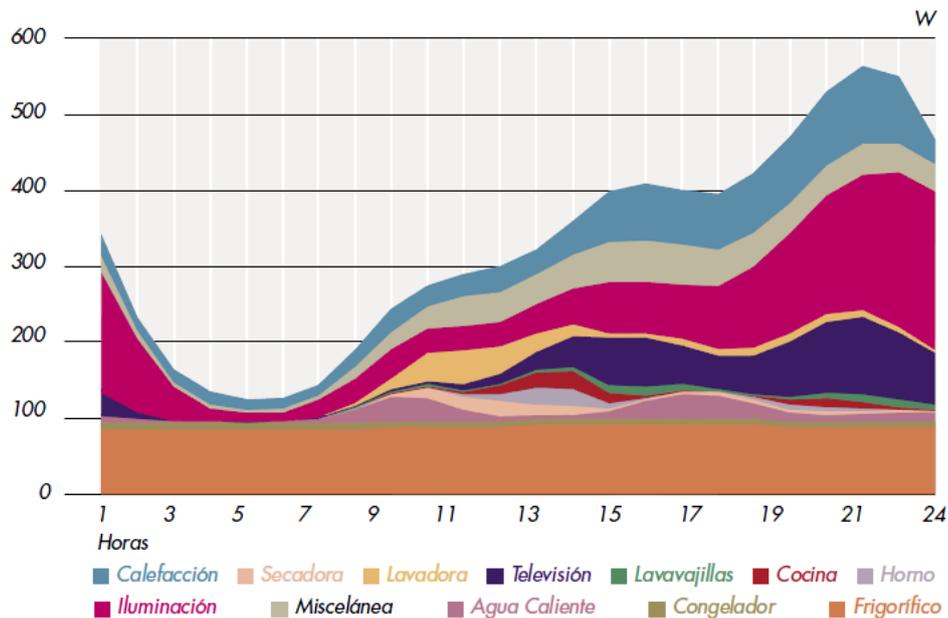


Figura 18. Curva de carga del hogar medio en un día laborable de invierno.<sup>13</sup> Fuente: Proyecto INDEL.

Como se puede ver en la leyenda de la figura 18 se muestra el consumo de potencia eléctrica en vatios (W) de los diferentes dispositivos que se abastecen de energía eléctrica para su funcionamiento. El mayor consumo se produce por parte del frigorífico, televisión e iluminación de la vivienda. Otra de las conclusiones importantes de esta gráfica es que la punta de consumo en invierno se produce entre las 21:00 y las 22:00 horas y en menor medida otra punta de consumo a las 15:00 horas, periodo en el que la iluminación cobra mayor peso en el consumo.

De este tipo de gráficas también se pueden sacar conclusiones sobre los hábitos de la población; como ejemplo se puede poner el uso del agua caliente el cual tiene una punta a las 9:00 horas, como consecuencia del aseo matinal y otro entorno a las 17:00 horas como consecuencia del fregado de las vajillas, ya sea bien de forma manual o a través del propio lavavajillas. Otro rasgo muy característico sería el uso de la cocina y el horno, cuyo consumo se centra entre las 12:00 y las 14:00 horas, ya que son las horas previas a la comida, y entorno a las 21:00 horas, como consecuencia de la cena.

<sup>13</sup> **Miscelánea:** hace referencia a un grupo de pequeños electrodomésticos como pueden ser la aspiradora, los ordenadores, el DVD, etc.

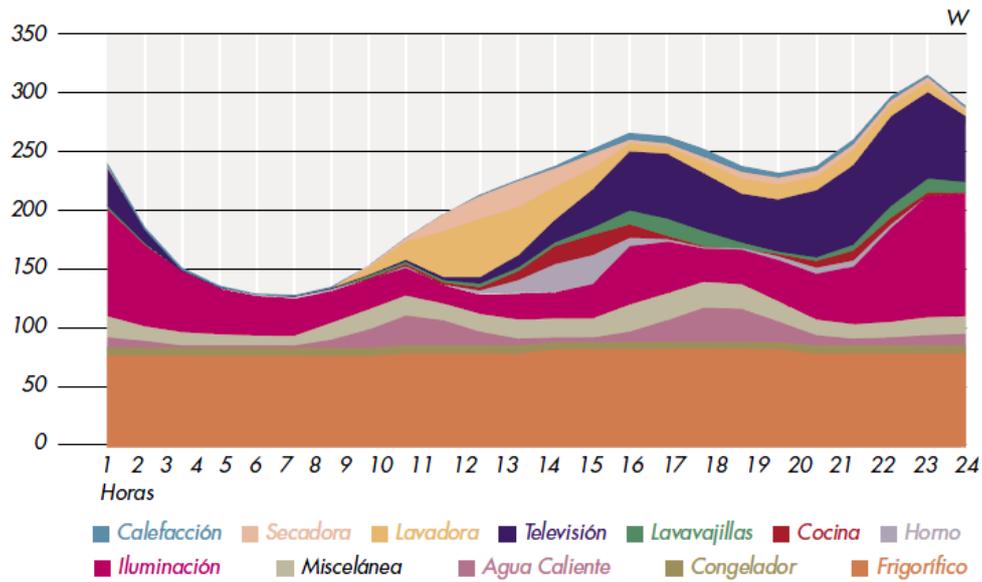


Figura 19. Curva de carga del hogar medio en un día laboral de verano. Fuente: Proyecto INDEL

En este caso, presentado en la figura 19, se sigue observando que el consumo se caracteriza fundamentalmente por el consumo del frigorífico, televisión y por la iluminación de la casa, produciéndose el pico de consumo a las 23:00 horas. Sin embargo se pueden ver grandes diferencias entre ambos consumos. Uno de los más destacados es el uso de la calefacción en invierno, el cual tiene un consumo considerable, mientras que en verano es despreciable como consecuencia de las condiciones meteorológicas del país, siendo sustituido por el aire acondicionado, sobre todo en el centro y sur del país. También se puede observar cómo se desplazan ciertos consumos como por ejemplo el de la iluminación, el cual se desplaza a horas más tardías en los horarios de verano.

Al observar las gráficas se observa que en comparación a lo que hay contratado en las viviendas (en torno a 3,3 kW) la potencia es muy reducida. Esto se debe a que se están teniendo en cuenta diferentes curvas de carga, por lo que la forma de calcular la curva de carga es sumando las potencias y dividiendo estas entre el número de viviendas que tiene dicha potencia. A pesar de ello lo principal que se puede extraer de estas gráficas son los hábitos de uso que tienen las personas de los diferentes dispositivos que hay en las viviendas.

No todos los electrodomésticos podrán participar en la gestión activa de la demanda, ya que una de las características primordiales para participar es que no reduzcan el confort de los residentes de las viviendas, es decir, lo que no se puede realizar es desconectar el televisor para reducir el consumo, ya que de este modo se está viendo afectado el usuario. Por tanto, no se podrán gestionar aquellos aparatos que tengan un consumo instantáneo, ni aquellos que no se puedan usar en otro momento sin que afecte a dicho confort de la persona. A pesar de ello, se podría llevar a cabo una concienciación de la sociedad para que se intente reducir el consumo en ciertos aspectos que no afectarían al cliente y que consisten en consumos instantáneos, como puede ser la iluminación, evitando dejar luces encendidas en las viviendas si la habitación iluminada no está siendo utilizada.



Trabajo fin de grado: GESTIÓN ACTIVA DE LA DEMANDA EN EL SECTOR RESIDENCIAL.  
ESTADO DEL ARTE DE LOS PROYECTOS EN CURSO

Los elementos en los que de una forma más sencilla sería posible realizar la GAD serían en el lavavajillas, lavadora o secadora, los cuales, sin reducir el confort del usuario, podrían ser programados para su activación en periodos de horas valle.

También entran dentro de este campo los calentadores de agua con electricidad, ya que procederían a este calentamiento a horas en las que la demanda eléctrica fuera menor.

Otra medida que se podría tomar sería, por ejemplo, tener instalados frigoríficos inteligentes, que cada cierto tiempo, sobre todo en horas pico, se desconectarán un periodo reducido de tiempo, ya que no supondría una elevación de la temperatura del frigorífico significativa, pero sin embargo sí supondría una pequeña reducción en el consumo.

Otra medida viable sería desconectar el aire acondicionado, o la calefacción en el caso de ser eléctrica, durante pequeños periodos de tiempo que no causarían una variación muy significativa de la temperatura del hogar, por lo que no supondría una pérdida de confort para el habitante de la vivienda.

En conclusión, hay bastantes medidas que se podrían tomar y que podrían hacer más eficiente el sistema eléctrico, si se desarrollan electrodomésticos lo suficientemente inteligentes para desconectarse durante pequeños periodos de tiempo en horas pico y conectarse en los periodos de horas valle, siempre y cuando se respete el ya mencionado confort de la persona o personas que vivan en la vivienda.



## **6. Estado del Arte de los proyectos en curso**

En esta sección se procederá al estudio de una muestra de los proyectos realizados sobre la gestión activa de la demanda en el sector residencial.

Se han considerado cuatro proyectos entre los numerosos proyectos que se han realizado sobre este tema, intentando obtener una visión global de los proyectos.

Para ello se ha escogido un proyecto de carácter nacional (proyecto GAD), dos proyectos a nivel europeo (proyecto ADDRESS y proyecto SmartHouse/ SmartGrid) y otro americano, concretamente de Canadá (proyecto Ontario).

Aparte de la variedad en el lugar geográfico donde se han llevado a cabo los proyectos, se ha realizado la selección de los proyectos estudiados, intentando mostrar la visión más amplia posible a través de proyectos que muestren diferentes métodos para llevar a cabo la gestión.

### **6.1 Proyecto GAD**

El Proyecto conocido como GAD (Gestión Activa de la Demanda), se encuentra financiado por el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI) del Ministerio de Ciencia e Innovación de España, con una inversión aproximada de 23 millones de euros. En torno a este proyecto se encuentran trabajando 15 empresas nacionales y 14 centros de investigación.

Durante los cuatro años de investigación del Proyecto, se han extraído conclusiones que han permitido conocer las posibilidades que aportaría la futura implantación de la gestión activa de la demanda, junto con las ventajas y desventajas esperadas con ella. Entre sus principales objetivos se encontraba la definición de los servicios de la gestión activa de la demanda dentro del mercado español, analizando los diferentes requerimientos de los agentes implicados (Operador del Sistema, Operador de Distribución, Comercializadores y los Clientes) y desarrollando una solución que beneficie lo máximo posible a todos ellos.

#### **Misión del proyecto**

El objetivo primordial del proyecto es la investigación de los mecanismos disponibles para poder optimizar lo máximo posible el consumo eléctrico en los hogares españoles y por lo tanto reducir el coste asociado al consumo de energía eléctrica, pero sin dejar de satisfacer las necesidades del consumidor con la misma calidad de suministro.

Para ello, es fundamental el desarrollo de las soluciones necesarias, tanto de Hardware como de Software, desde los centros de control eléctricos, para aquellos hogares que hayan implementado la gestión activa de la demanda. Esta implementación debe realizarse de una forma transparente para el usuario final y teniendo en cuenta su nivel de confort, el cual se tiene que mantener o mejorar, en ningún caso reducirlo.

La participación activa de los propios consumidores y elementos de consumo en los mecanismos de gestión de la demanda y la difusión de los costes de la generación de energía en tiempo real, incluidos los factores medioambientales, harán posible una concienciación de



## Trabajo fin de grado: GESTIÓN ACTIVA DE LA DEMANDA EN EL SECTOR RESIDENCIAL. ESTADO DEL ARTE DE LOS PROYECTOS EN CURSO

la sociedad y la modificación de sus patrones de consumo energético, tendiendo así hacia la necesaria sostenibilidad energética.

### **Objetivo del proyecto**

- Desarrollo e investigación de las herramientas necesarias para la optimización del consumo eléctrico de carácter residencial, pudiendo reducir de este modo el coste final de la energía para el usuario así como el impacto ambiental.
- Desarrollo e investigación de dispositivos para ofrecer a los consumidores información relacionada con el precio de la energía y el origen de la misma.
- Investigación necesaria para la optimización del uso de las infraestructuras de transporte y distribución, cuyo objetivo primordial es el de mejorar la calidad de suministro a través de una generación distribuida, pudiendo facilitar de este modo la explotación óptima de la generación de energías renovables. El objetivo primordial de esto sería la de desplazar la ocurrencia de las puntas de consumo eléctrico a los periodos en los cuales se produce la energía de origen renovable.

### **Beneficiarios del GAD**

El principal beneficiado de la gestión activa de la demanda es el cliente, ya que al optimizar el consumo en los hogares, haciendo que se consuma cuando el precio es menor, se reduciría la factura eléctrica, es decir, lo que se intentará es evitar el consumo cuando el coste de la electricidad es mayor.

El precio se establece por la ley de la oferta y demanda, y como consecuencia de ello el precio es más elevado cuando la demanda es mayor. En realidad no es viable dejar de consumir en los picos de la demanda, ya que si sucediese eso no se respetarían las necesidades del consumidor, por lo que se intentará es distribuir a lo largo del día el consumo en los hogares gracias a la tecnología que implementaría el GAD, lo que conllevaría a que los picos de la demanda fuesen menores y con ello se viese un descenso en el precio de la electricidad así como una mayor facilidad para planificar la oferta.

También adquiere un papel importante, en la reducción de la factura, un mayor control en las cargas a través del controlador de energía del hogar, ya que a través del GAD se podrá programarlas para no conectarlas todas de forma simultánea (pudiendo reducir de este modo la potencia contratada) y adecuarlas a las necesidades de los usuarios.

Aunque en menor medida que los clientes, también se encuentran beneficiadas las compañías distribuidoras, ya que podrán ajustar el consumo eléctrico que realizan los clientes que tienen contratados la GAD en función de las necesidades del sistema, pudiendo así desplazar la demanda a los denominados periodos valle para de este modo evitar los periodos punta.

Como ya se ha mencionado anteriormente, otro de los grandes beneficiados será el medio ambiente, evitando la emisión de gases de efecto invernadero (ocasionadas por las tecnologías basadas en combustibles fósiles) al poder disminuir la producción de energía eléctrica durante los periodos de punta así como proceder al abastecimiento eléctrico de los hogares en los momentos en los que la generación de la energía provenga de fuentes menos contaminantes como pueden ser la solar o la eólica, entre otras. Todo esto conllevará a que no sea necesario un mayor número de infraestructuras para la distribución de la energía.

## Arquitectura del proyecto

El esquema que se muestra a continuación muestra el empleo de las tecnologías de las comunicaciones y la información (TIC) para la GAD de los clientes y la promoción que se pretende obtener de la eficiencia energética. La segunda imagen de la figura 20 nos muestra la implementación física que se pretende realizar mediante el GAD.

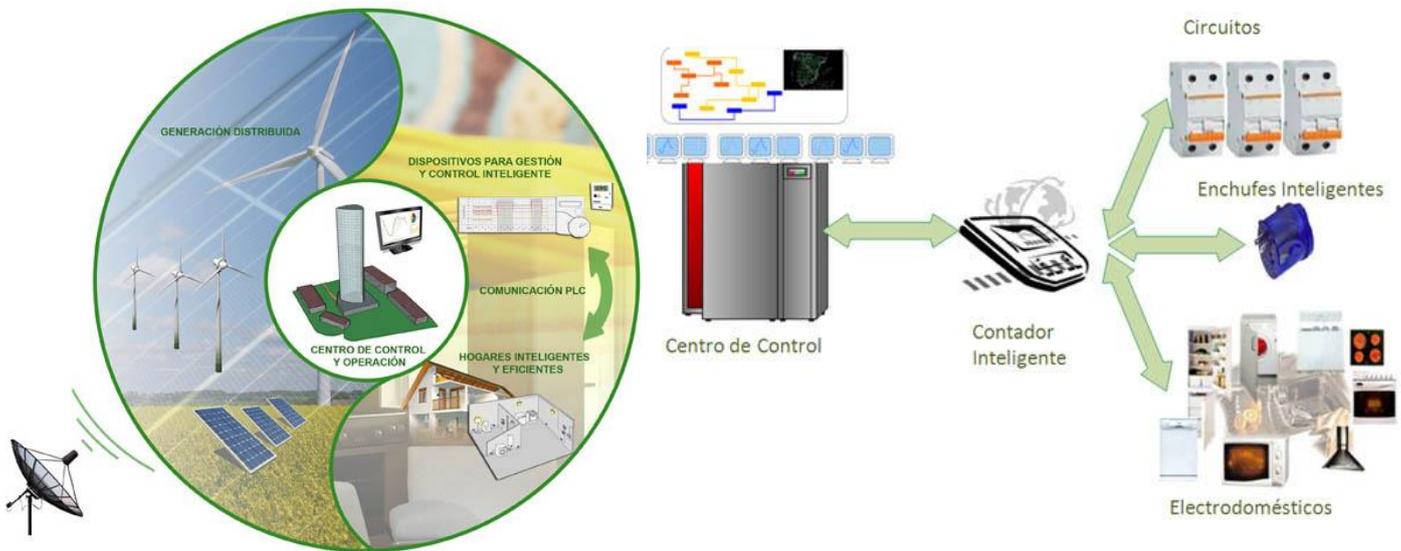


Figura 20. Arquitectura del proyecto GAD y uso de las TIC<sup>14</sup>. Fuente: Proyecto GAD

Como se puede observar en la figura 20, lo que se pretende realizar es la instalación de contadores inteligentes en las diferentes viviendas que quieran contratar el servicio de la Gestión Activa de la Demanda, para de este modo tener una comunicación con un centro de control que se encargará de llevar a cabo dicho servicio en función de las señales que reciba de dicho contador.

La arquitectura del proyecto tiene que estar sujeta a las funciones que desempeñan cada uno de los diferentes agentes del sector eléctrico (Operador del Sistema, Operador de Distribución, Comercializadores y Clientes) e integrando, en dicha arquitectura, los mecanismos necesarios para que puedan llevarse a cabo las diferentes comunicaciones entre los agentes, y el control necesario, tanto de las cargas eléctricas como de los electrodomésticos presentes en los hogares.

<sup>14</sup> **TIC:** Son el conjunto de tecnologías desarrolladas con el objetivo de gestionar información y enviarla de un punto a otro.

DIAGRAMA FUNCIONAL DE AGENTES

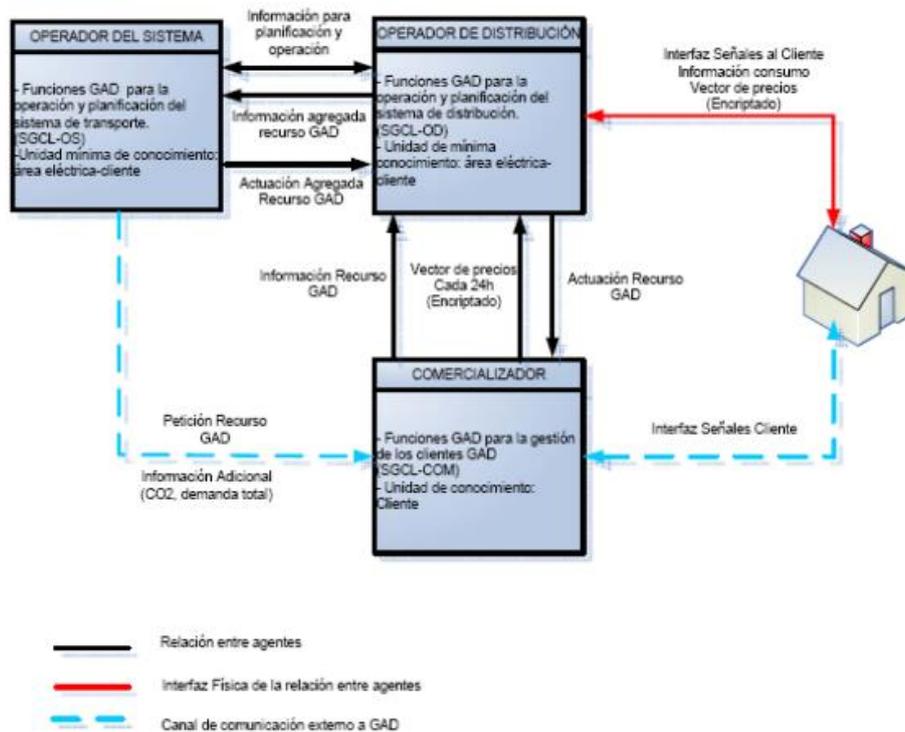


Figura 21. Esquema de operación del proyecto GAD. Fuente: proyecto GAD

Mediante esta actuación coordinada de los agentes, se pretende maximizar los beneficios de todos los agentes presentes en la gestión.

Para conseguir que la gestión sea efectiva el proyecto GAD ha decidido llevar a cabo un modelo de gestión “automático”, para el cual hay que definir un conjunto de dispositivos de control así como diferentes funciones que no se desempeñaban con anterioridad.

En primer lugar se definen dos tipos de señales:

- *Señales de precio*, las cuales tendrían forma de vectores, con resolución horaria, y que llegarían al usuario con un día de antelación para de este modo poder gestionar el consumo de la vivienda a través del gestor de cargas.

- *Señales técnicas*, las cuales tendrían su origen en incidencias causadas en la operación de las redes de transporte y distribución. Como consecuencia de ello este tipo de señales llegarían desde la empresa encargada de la distribución, y tendrían que hacer uso de la flexibilidad en el consumo que los comercializadores han contratado con sus clientes.



Trabajo fin de grado: GESTIÓN ACTIVA DE LA DEMANDA EN EL SECTOR RESIDENCIAL.  
ESTADO DEL ARTE DE LOS PROYECTOS EN CURSO

En cuanto a las comunicaciones necesarias entre los diferentes agentes, se muestra en el siguiente esquema

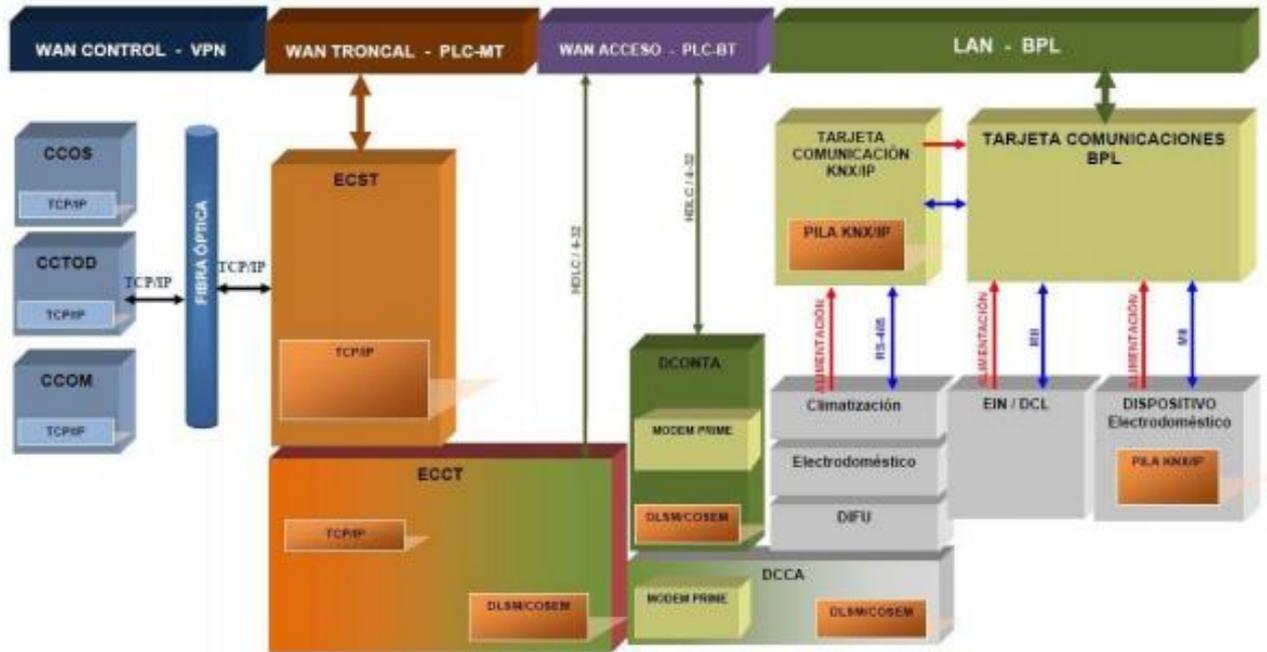


Figura 22. Comunicaciones entre los diferentes agentes del GAD. Fuente: proyecto GAD

- CCOM → Centro de Control Territorial de la Comercializadora
- CCTOD → Centro de Control Territorial del Operador de Distribución
- CCOS → Centro de Control Territorial del Operador del Sistema
- ECST → Equipo de Comunicaciones de Subestación Transformadora
- ECCT → Equipo de Comunicaciones de Centro de Transformación
- DCONTA → Dispositivo Contador de Energía
- DCCA → Dispositivos de control de cargas

Es decir las comunicaciones se dividen en cuatro grandes bloques:

- *WAN de control*, que se encarga de las comunicaciones entre los centros de control del Operador del Sistema, el Operador de Distribución y los Comercializadores.
- *WAN troncal*: se encarga de las comunicaciones entre el centro de control del operador de distribución (DCONTA en el esquema) y los dispositivos de control de cargas de las viviendas. (DCCA en el esquema).



## Trabajo fin de grado: GESTIÓN ACTIVA DE LA DEMANDA EN EL SECTOR RESIDENCIAL. ESTADO DEL ARTE DE LOS PROYECTOS EN CURSO

- *WAN de acceso* es la comunicación existente entre los contadores inteligentes y los dispositivos de control de carga de las viviendas (elemento representado como DCCA) con los centros de transformación.
- *LAN* son las comunicaciones existentes dentro de las residencias.

### **Conclusiones del proyecto GAD**

Tras la finalización del proyecto, y gracias a las diferentes pruebas que se han llevado a cabo, se ha llegado a la conclusión de que la tecnología necesaria para la implantación de la GAD es una tecnología existente y como consecuencia de ello se trata de un proyecto viable, para el cual habría que definir un tipo de arquitectura para cada usuario en función de las necesidades del mismo. Sin embargo, para su comercialización e instalación en las residencias de los clientes será necesario un proceso de adaptación.

Los estudios realizados durante el proyecto han demostrado que la tipología de las cargas las define como gestionables o no gestionables, siendo el control, en estas últimas reducido ya que únicamente se podrá conocer el consumo, el estado, etc. Esto sucede por ejemplo en las vitrocerámicas, ya que el control total de las mismas supondría una pérdida de confort para el usuario, y como consecuencia de ello será necesario llevar a cabo análisis de los perfiles de consumo de los usuarios, para adaptarse a ellos de la forma más óptima posible.

Uno de los puntos del proyecto reside en reducir el consumo de las cargas en *stand-by*<sup>15</sup>, para poder cumplir la normativa vigente que establece los consumos máximos que los electrodomésticos deben tener tanto en el modo "*stand-by*" como en el modo "desactivado". Como consecuencia de ello se ha conseguido optimizar dichos consumos, evitando de este modo los picos y adaptando la curva de la demanda a las necesidades de la propia infraestructura.

Uno de los principales inconvenientes con los que se encuentra la Gestión Activa de la Demanda es la inversión inicial que se tiene que realizar, ya que es necesaria la instalación de dispositivos de comunicación, tanto en las subestaciones como en los centros de transformación (con lo que se obtendrá las denominadas redes inteligentes). A ello hay que sumarle la instalación de las infraestructuras necesarias dentro de las viviendas.

Para poder llevar a cabo la Gestión Activa de la Demanda es necesaria la implementación de sistemas de control que mediante algoritmos nos permitan regular tanto la tensión como los flujos de potencia y para ello se han implementado diferentes aplicaciones software que facilitaran dicho control.

---

<sup>15</sup> **Stand-by:** Se refiere a los electrodomésticos que una vez apagados siguen consumiendo una pequeña cantidad de energía debido a que su apagado no es total.



## **6.2 Proyecto “Ontario Smart Price Pilot”**

El consejo de energía de Ontario (Canadá) decidió iniciar en junio de 2006 el proyecto conocido como “Ontario Energy Board Smart Price Pilot” o simplemente como “Ontario Smart Price Pilot” (OSPP). La realización de este proyecto tenía como objetivo comprobar la repercusión que tendría, en el comportamiento del consumidor, el conocimiento de distintas estructuras de precios de la energía eléctrica en un mismo instante de tiempo.

La finalización del mismo fue el 28 de febrero de 2007, obteniéndose las conclusiones del proyecto, de las que se hablará con mayor detalle en los siguientes apartados, del análisis de los efectos causados por las medidas tomadas a lo largo del estudio sobre la curva de la demanda eléctrica así como de la respuesta que se obtuvo de los usuarios que participaron en este proyecto.

### **Objetivos del proyecto**

Los objetivos fundamentales del estudio eran los siguientes:

- Comprobar si el conocimiento de las distintas estructuras de precios de la energía eléctrica, que plantea el estudio, conlleva al desplazamiento del consumo eléctrico de los usuarios a los periodos valle, reduciendo de este modo los picos en la curva de la demanda.
- A partir de qué precio de la energía eléctrica, cada estructura de precios (de las cuales se hablarán en el siguiente apartado) genera un cambio en el consumo energético mensual de los clientes.
- La aceptación por parte de la sociedad (en el caso del proyecto de un grupo reducido de los clientes de “Hydro Ottawa”) de las distintas estructuras de precios de la energía y de las comunicaciones derivadas de las mismas, para poder realizar la Gestión Activa de la Demanda (GAD).

### **Planificación del proyecto**

La planificación del proyecto se basa en la estructura que determina el precio de la energía eléctrica en función de su tiempo de uso y de las horas en las que esta se consume. A lo largo del proyecto este tipo de estructura se denominó como “precio regulado por tiempo de uso”. El precio regulado por tiempo de uso, tanto en el sector residencial como en pequeñas empresas, se puede realizar gracias al uso de los contadores inteligentes, basándose en una estructura tarifaria que refleja el coste asociado a la producción de la electricidad a lo largo del día.

Los precios a lo largo del día suben y bajan en función de la disponibilidad del suministro y de la demanda, la cual tiende a disminuir durante la noche y los fines de semana, ya que el consumo es reducido. Por ello se realiza una diferenciación en función de la demanda, habiendo tres tipos de periodos:

- Periodo valle (*Off-peak*), que se produce cuando la demanda es baja y se emplean, para el suministro de energía, las centrales con menor precio en el mercado.



Trabajo fin de grado: GESTIÓN ACTIVA DE LA DEMANDA EN EL SECTOR RESIDENCIAL.  
ESTADO DEL ARTE DE LOS PROYECTOS EN CURSO

- Periodo llano (*Mid-peak*), que es cuando la demanda y el coste de la energía es moderado.
- Periodo pico (*On-peak*), que se produce cuando la demanda es muy elevada y como consecuencia de ello, a veces, es necesario que produzcan las centrales cuya producción de energía es más cara.

Para la consecución de dichos objetivos, y gracias a la colaboración de la compañía “Hydro Ottawa”, el consejo de energía de Ontario decidió estudiar tres estructuras distintas de precios aplicadas cada una de ellas a un grupo de clientes distinto, por lo que se dividieron a los participantes en tres grupos para testar las siguientes estructuras de precios:

- El Plan de Precio Regulado por tiempo de uso
- Un ajuste del Plan de Precio Regulado por tiempo de uso con un precio de pico crítico establecido en las horas de máximo consumo.
- El Plan de Precio Regulado por tiempo de uso con un reembolso por reducir el consumo por debajo de un nivel de referencia durante las horas de pico crítico de consumos.

A continuación se mostrarán las diferentes estructuras con mayor detalle.

El Plan de Precios Regulado convencional, tiene valores de precios en dos niveles, un precio para el consumo mensual inferior al umbral establecido, y un precio mayor para consumos por encima de ese umbral.

Estos umbrales para los consumidores de la empresa “Hydro Ottawa” eran

- 600 kWh por mes desde el 1 de Mayo al 31 de Octubre
- 1000 kWh por mes desde el 1 de Noviembre hasta el 30 de Abril.

Los precios de los dos niveles del Plan de Precios Regulados (PPR) que se dieron durante el periodo experimental (del 1 de agosto al 28 de febrero), y los cuales fueron aplicados a todos los grupos de clientes estudiados, se muestran en la siguiente tabla adjunta, en la cual el precio está expresado en céntimos de dólar canadiense (¢):

1 Agosto- 31 Octubre	Precio(¢/kWh)	1 Noviembre-28 Febrero	Precio(¢/kWh)
Primeros 600kWh por mes	5.8 ¢	Primeros 1000 kWh por mes	5.5 ¢
Si se excedía el limite	6.7 ¢	Si se excedía el limite	6.4 ¢

**Tabla 5. Precios escalonados del PPR aplicables a todos los consumidores. Fuente: proyecto OSPP y elaboración propia.**

La razón de la diferenciación de precios de la energía, era la de poder proporcionar, en un principio, una señal de precios que sirviese de referencia a los consumidores hasta que se instalasen los contadores inteligentes en las viviendas para que la tasa de precios por tiempo de uso pudiese ser aplicada en Ontario y pudiese dar comienzo el estudio.



Trabajo fin de grado: GESTIÓN ACTIVA DE LA DEMANDA EN EL SECTOR RESIDENCIAL.  
ESTADO DEL ARTE DE LOS PROYECTOS EN CURSO

→ *El Plan de Precio Regulado por tiempo de uso.*

La experimentación del plan de precios por horas de uso sin tener en cuenta los puntos críticos de consumo, se utilizó para uno de los tres grupos de clientes en los que se dividió el total de participante en el estudio.

La tabla 6 que se muestra a continuación refleja los cambios en el Plan de Regulación de Precios que entró en vigor el 1 de Noviembre del 2006:

Periodo	Horas (1 Agosto- 31 Octubre)	Precio(¢/kWh)	Horas (1 Noviembre- 28 Febrero)	Precio(¢/kWh)
Valle	10 pm-7am días de diario ; todo el día en fines de semana y festivos	3.5 ¢	10 pm-7am días de diario ; todo el día en fines de semana y festivos	3.4¢
Llano	7am-11am y 5pm-10pm de los días de diario	7.5¢	11am-5pm y 8pm-10pm de los días de diario	7.1¢
Pico	11am-5pm de los días de diario	10.5¢	7am-11am y 5pm-8pm de los días de diario	9.7¢

Tabla 6. Precios del PRP por tiempo de uso Fuente: proyecto OSPP y elaboración propia.

→ *Ajuste del Plan de Precio Regulado por tiempo de uso* mediante el establecimiento de *un Precio de Pico Crítico (PPC)*, establecido en las horas de máximo consumo.

Al igual que sucedía con los precios del Plan de Precio Regulado por tiempo de uso, el precio en este plan, en el cual se tiene en cuenta los picos de consumos, fue establecido para obtener la mayor rentabilidad posible, tanto por parte del sistema como por parte del cliente. El precio del consumo de las horas pico aplicable durante el estudio, se determinó a través de la media de precios de las 93 horas en las que hubo mayor consumo entre junio de 2005 y junio de 2006 en Ontario.

Los precios aplicables al PPR por tiempo de uso fue empleado para todas las horas que no eran críticas a lo largo del estudio. Sin embargo el valor en el periodo valle se redujo a 3.1¢/kWh, favoreciendo el consumo en estas horas y compensando de este modo el aumento en el precio en los periodos de pico con PPC, en los cuales la energía costaba 30¢/kWh, como se muestra en la siguiente tabla:

Tiempo	Horas (1 Agosto-31 Octubre)	Precio(¢/kWh)	Horas (1 Noviembre- 28 Febrero)	Precio(¢/kWh)
Valle	10pm-7am los días de diario; todos el día de los fines de semana y festivos	3.1¢	10pm-7am los días de diario; todos el día de los fines de semana y festivos	3.1¢
Llano	7am-11am y 5pm-10pm de los días de diario	7.5¢	11am-5pm y 8pm-10pm de los días de diario	7.1¢
Pico	11 am-5pm de los días de diario	10.5¢	7am-11am y 5pm-8pm de los días de diario	9.7¢
PPC	De 3 a 4 horas durante el periodo de pico (se dio nueve veces durante el estudio)	30¢	De 3 a 4 horas durante el periodo de pico (se dio nueve veces durante el estudio)	30¢

Tabla 7. Precios del PPR con PPC. Fuente: proyecto OSPP y elaboración propia



El PPC representa un aumento de casi tres veces el precio de la energía en el periodo pico. La razón de esta diferencia tan notable en los precios es que los precios del PPC solo están en vigor durante pocas horas al año, concretamente cuando se declaran eventos considerados de consumo crítico (que son establecidos por la empresa “Hydro Ottawa”), mientras que fuera de las horas punta los precios se encuentran en vigor para más de la mitad de todas las horas del año.

Los precios de PPC solo se producen durante los días críticos de pico de consumo y durante 3 o 4 horas de su periodo pico. El número máximo de estos días de consumo crítico que se estimaron para el proyecto fue de nueve días.

→ Plan de Precio Regulado por tiempo de uso con un Punto Crítico con Reembolso (PCR)

También se decidió llevar a cabo un estudio de los efectos de una estructura de precios de la energía eléctrica basada en el reembolso económico. A diferencia de lo que se ha visto anteriormente con el PPC, el PCR ofrece un reembolso a los participantes en el caso de que reduzcan su consumo por debajo de un nivel de referencia durante las horas pico de consumo. La cantidad de reembolso se fija en el mismo precio que el PPC durante las horas críticas. También hay que añadir que al ser una rebaja (el incentivo durante las horas pico críticas) no habrá una variación en el precio del periodo valle. Por lo que un cliente que no haga ningún cambio ante los eventos críticos de pico, pagará lo mismo perteneciendo al PPR por tiempo de uso con PCR que si perteneciese al grupo de cliente que únicamente basa su tarifa de precios de la energía eléctrica en el PPR por tiempo de uso.

Los precios del Plan de Precios Regulados (PPR) por tiempo de uso fueron usados durante el estudio de este grupo. Al igual que sucedía con el PPC, en el PCR los descuentos estaban en vigor solo cuando se declaraban los eventos o días críticos de consumo. Para el periodo en el que se realizó el estudio se estimó que habría un máximo de nueve días con estas características de consumo crítico, de los cuales solo se tendría en cuenta tres o cuatro horas de su periodo pico.

Para determinar cuál era el nivel de referencia a partir del cual se producía el reembolso, se observaron los procesos llevados a cabo, para determinar este límite, de otros estudios similares como el del “New York Independent System Operator” o el de “San Diego Gas & Electric”. Tras analizar los diversos estudios sobre el cálculo de este límite se decidió establecerlo a través de la media de consumo, en kWh, de los cinco últimos días de la semana que no fueran festivos o en los cuales haya un evento especial. Una vez calculado habría que multiplicar esta media por 125% para obtener definitivamente este límite de kWh de consumo, a partir del cual se obtendría las bonificaciones.

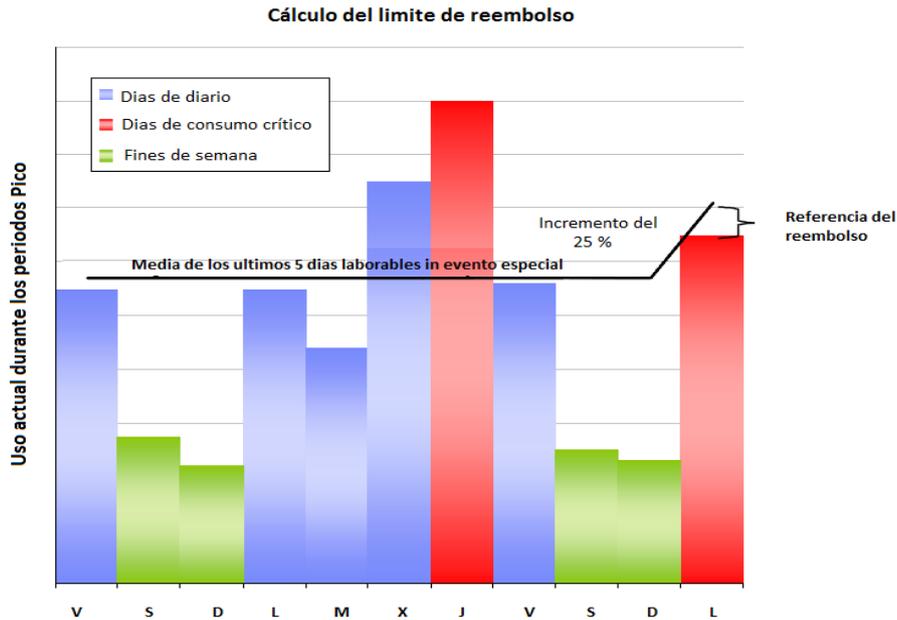


Figura 23. Cálculo del límite por debajo del cual se produce el reembolso del PCR. Fuente: Elaboración propia y proyecto OSPP

Como se observa en la figura 23 el reembolso se calcula como la diferencia, en kWh, entre el límite de referencia del PCR y el uso actual del día, teniendo que multiplicar esta diferencia por el precio establecido el cual era de 30 ¢/kWh, obteniendo de este modo la cantidad a reembolsar a cada cliente

Por lo que los precios quedaron de la siguiente manera:

Tiempo	Horas (1 Agosto-31 Octubre)	Precio(¢/kWh)	Horas (1 Noviembre- 28 Febrero)	Precio(¢/kWh)
Valle	10pm-7am los días de diario; todos el día de los fines de semana y festivos	3.5¢	10pm-7am los días de diario; todos el día de los fines de semana y festivos	3.4¢
Llano	7am-11am y 5pm-10pm de los días de diario	7.5¢	11am-5pm y 8pm-10pm de los días de diario	7.1¢
Pico	11 am-5pm de los días de diario	10.5¢	7am-11am y 5pm-8pm de los días de diario	9.7¢
PCR	De 3 a 4 horas durante el periodo de pico (se dio nueve veces durante el estudio)	30¢	De 3 a 4 horas durante el periodo de pico (se dio nueve veces durante el estudio)	30¢

Tabla 8 Precios del PPR con PCR. Fuente: proyecto OSPP y elaboración propia

### Participantes en el proyecto

Los participantes en el proyecto fueron elegidos de forma aleatoria entre la población que tuviese contratado el servicio eléctrico con la compañía “Hydro Ottawa” y que además tuviesen instalados contadores inteligentes.

Se enviaron 600 solicitudes por grupo de análisis (1800 en total) de las cuales se esperaba una aceptación de únicamente un 10%. Sin embargo 459 clientes respondieron a dicha solicitud, lo



que suponía una tasa de respuesta de alrededor del 25% y con ello una buena muestra de interés por parte de la sociedad en este tipo de proyectos.

Finalmente hubo 373 participantes seleccionados para el estudio, 125 fueron asignados al plan de precios regulados por tiempo de uso con PCR (con reembolso), 124 al de PPC (Precio de pico crítico) y los 124 restantes en el PPR por tiempo de uso sin tener en cuenta los puntos críticos, es decir sin reembolso y sin sobre penalización por consumir en horas de consumo pico.

También se estableció un grupo de control de 125 clientes residenciales al azar de “Hydro Ottawa”, que tuviesen los contadores inteligentes pero siguiesen pagando los precios establecidos (sin tener en cuenta el estudio), para de este modo poder hacer las comparaciones oportunas entre los clientes del estudio y los que no se encuentran sometidos al mismo.

Al inscribirse cada participante recibía una tabla con los distintos precios por tiempo de uso, periodos y épocas del año correspondientes al plan al que perteneciese el participante.

Para acomodarse a las necesidades del estudio, los participantes siguieron recibiendo y pagando la factura bimensual de forma normal. Por otro lado recibieron mensualmente estadísticas que mostraban sus cargos por el suministro eléctrico en función del plan piloto del estudio al que perteneciesen, mostrando los ahorros que generalmente se producían respecto a la factura eléctrica tradicional existente en Ontario.

Al finalizar el estudio los voluntarios recibieron un informe comparando los gastos en electricidad entre su modelo y el modelo vigente en Ontario.

### **Conclusiones del proyecto**

Para cada participante, se calculó el impacto económico en su factura eléctrica por periodo de uso.

Durante el periodo experimental, en promedio, los participantes del PPR por tiempo de uso se ahorraron un 3% respecto a la factura convencional a lo que hay que añadir que desplazaron en cierta medida su consumo a horas con menor demanda. Se llegó a la conclusión de que tres cuartas partes de los participantes ahorrarían dinero mediante las tarifas por tiempo de uso, como refleja la siguiente gráfica.

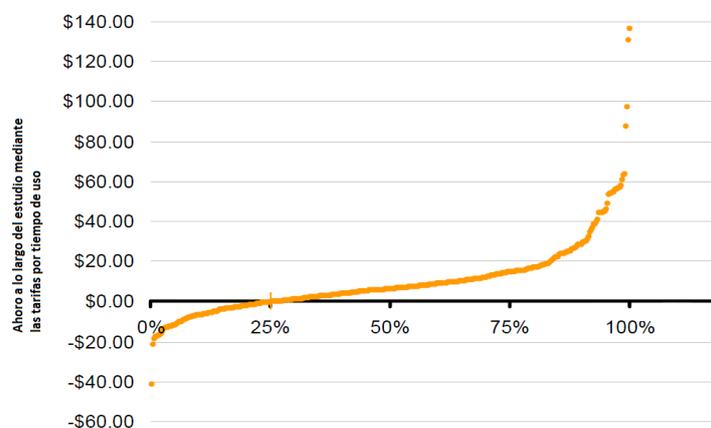


Figura 24. Distribución del ahorro en la factura de los participantes en el PPR por tiempo de uso. Fuente: elaboración propia y proyecto OSPP



## Trabajo fin de grado: GESTIÓN ACTIVA DE LA DEMANDA EN EL SECTOR RESIDENCIAL. ESTADO DEL ARTE DE LOS PROYECTOS EN CURSO

Durante el periodo del estudio solo se declararon siete días de punta crítica de los nueve previstos, por lo que los voluntarios del plan PPC manifestaron que los ahorros previstos se habían exagerado un poco.

Por otro lado, los participantes en el modelo de PCR también manifestaron que recibieron menos descuentos de los previstos, por el mismo motivo que los del plan de PPC. Como consecuencia de todo ello cerca del 74% de los participantes eligieron como el sistema más acertado el de PPR por tiempo de uso sin tener en cuenta ni el PPC ni el PCR.

La mayoría de los participantes (78%) recomendarían el plan de precios por tiempo de uso a otra gente, es decir que se implantase, mientras que únicamente un 6% no lo recomendarían en ningún caso, habiendo un 16% restante que no se posicionaba ni a favor ni en contra del nuevo plan de precios.

Los encuestados que se encontraban a favor de implementar este sistema dijeron que se encontraban de acuerdo ya que además de reducir la factura, suponía un mayor control sobre sus gastos en electricidad, así como los beneficios medioambientales que supondría reducir los picos de consumo y desplazar estos consumos a horas valle.

Por el contrario aquellos clientes que o bien no se encontraban seguros o no lo recomendarían, argumentaban que este tipo de sistema de precios aporta unos ahorros insuficientes en la factura eléctrica y que en cambio conllevan a un gran esfuerzo por parte del usuario.

### **6.3 Proyecto “SmartHouse/SmartGrid”**

El proyecto SmartHouse/SmartGrid es un proyecto a escala europea, elaborado por la Comisión Europea y con la colaboración de diferentes empresas como la empresa informática alemana SAP, centros de investigación como el centro de investigación de los Países Bajos “Energy Research Center of the Netherlands” (ECN) y agencias de energía como la agencia alemana “MVV Energie AG”.

Se inició oficialmente en Septiembre de 2008 y se finalizó en Febrero de 2011, llevándose a cabo los estudios en campo del proyecto en Alemania, Países Bajos y Grecia.

El proyecto es conocido como “SmartHouse/SmartGrid” (Hogar inteligente/ Red inteligente) o simplemente como “Proyecto SmartHouse”, pero su nombre completo es “Smart Houses Interacting with Smart Grids to achieve next-generation energy efficiency and sustainability”, cuyo significado es el de “hogares inteligentes que interactúan con las redes inteligentes para lograr una eficiencia energética y sostenibilidad de nueva generación”.

El proyecto pretende validar y comprobar cómo las TIC (Tecnologías de la Información y la Comunicación)<sup>16</sup> facilitan la colaboración entre los técnicos comerciales, conocidos como agregadores, y los hogares inteligentes para conseguir elevados y necesarios niveles de eficiencia energética en Europa.

---

<sup>16</sup> **TIC:** Son el conjunto de tecnologías desarrolladas con el objetivo de gestionar información y enviarla de un punto a otro.



### **Objetivos del proyecto**

El objetivo del proyecto SmartHouse/SmartGrid fue diseñar, desarrollar y validar las TIC y sistemas de control para el sistema eléctrico en Europa, con el fin de cumplir el objetivo europeo de suministro de energía “limpia”, segura y asequible, proporcionando soluciones técnicas que favoreciesen la integración de cargas eficientes (como los hogares inteligentes) y de generación distribuida, fundamentalmente a partir de la instalación de pequeñas fuentes de energías renovables.

Es decir, el objetivo era validar y probar como las TIC pueden favorecer a que los hogares inteligentes puedan obtener una gran eficiencia energética en las mismas.

Para conseguir estos objetivos el proyecto SmartHouse, se planteó unos retos de instalación de diferentes tipos de tecnologías que facilitasen las labores de los distintos agentes y las técnicas de mercado para el control descentralizado y la optimización de la red:

- Interacción con el cliente a través de una tecnología instalada en los hogares que ofrezca una gestión óptima de la energía. El sistema recibirá información en tiempo real y ofrecerá diferentes tarifas dinámicas, y por su parte el cliente actuará como *prosumidor*, es decir, además de consumir energía también la producirá, pudiendo integrarla al sistema.
- Una tecnología instalada en los hogares que permita una interacción con la Red inteligente global.
- Una tecnología, basada en la función de un agregador, que es capaz de monitorear y controlar de manera óptima el consumo de energía, a través del control de las cargas.
- Técnicas de previsión del mercado eléctrico que permitan optimizar automáticamente los consumos de las cargas eléctricas en los hogares, en función de las necesidades del sistema y de los precios del mercado.

### **Diferentes países en los que se desarrolló las pruebas del proyecto**

La tecnología proporcionada por el Proyecto Smarthouse/SmartGrid se ensayó en tres países diferentes (Alemania, Países Bajos y Grecia).

Las actividades que se hicieron en cada país fueron las siguientes:

- En los Países Bajos se realizó un estudio sobre la capacidad de manejar a gran escala la comunicación, negociación e intercambio de información entre miles de dispositivos inteligentes de energía, al mismo tiempo.
- En Alemania se comprobó la capacidad de interactuar de forma inteligente con el cliente, y como realizar una óptima gestión de la energía del hogar. Para ello se realizó un estudio en 100 hogares dotados de generación distribuida, fundamentalmente de energía fotovoltaica.
- En Grecia se estudió la capacidad de controlar los diferentes dispositivos inteligentes, de una manera descentralizada, y con el objetivo de alcanzar la máxima eficiencia energética a nivel global, así como una mayor seguridad de suministro. En este escenario se probó el modo isla, del que se hablará más adelante, y que consiste en cómo tras un apagón, un sistema aislado que dispone de generación distribuida, puede ayudar a restablecer el funcionamiento de la red.



### Casos o iniciativas de negocio

En este proyecto, se describieron nueve situaciones o iniciativas de negocio. Estas sirvieron para diseñar la arquitectura necesaria de los sistemas de las TIC aplicados en las redes inteligentes.

Estos casos son los siguientes:

1. **Agregación de hogares como colaboradores inteligentes conectados a Red (a la Red inteligente).** El hogar inteligente permite la interacción, comunicación y negocio tanto con el cliente como con los distintos agentes del sistema, como pueden ser el agente distribuidor. Ello permite que la operación del sistema eléctrico sea más eficiente. Por ello se propone la presencia de un agregador comercial que coordine el consumo en los hogares que tengan contratados sus servicios.
2. **Tarifas variables en función del periodo de consumo y generación.** Lo que propone es la aplicación de diferentes tarifas, de las cuales será informado el cliente proporcionándole el perfil variable del precio del día anterior. Por lo que el sistema de gestión de la energía recibirá diferentes señales de precios, a través de las cuales deberá determinar el momento adecuado para el consumo, o generación en el caso de que sea un *prosumidor*. Es decir lo que se busca es incentivar al cliente a través de una tecnología y diferentes tarifas que permitan reducir su factura eléctrica.
3. **Control del uso de la energía y optimización de servicios para los consumidores finales.** El asesoramiento personalizado, de cada cliente o grupo de clientes, sobre cómo aumentar el ahorro energético. Por lo que este estudio promueve entregar a cada cliente información detallada y comprensible sobre su consumo.
4. **Reducción del desequilibrio en tiempo real de la generación-demanda.** La idea que propone es usar la flexibilidad, en tiempo real, de los usuarios finales, para que el operador del sistema pueda mantener el equilibrio entre generación-demanda, en ciertos casos considerados como críticos. Esto lo realiza utilizando la generación distribuida disponible gracias a los *prosumidores*, en lugar de utilizar las centrales de energía tradicionales
5. **Ofrecimiento de capacidad de reserva de regulación secundaria<sup>17</sup> al operador de las redes de transporte (TSO).** Se basa en el ofrecimiento por parte de los usuarios que dispongan de generación distribuida, a participar en la reserva de regulación secundaria, para favorecer de esta forma al sistema.
6. **Sistemas de control que eviten la congestión en el sistema de distribución eléctrico.** El aumento en la demanda, causado por la implementación de nuevos dispositivos eléctricos, como el coche eléctrico, causarían un aumento de la capacidad necesaria en las líneas. Sin embargo al promover la instalación de generación distribuida, y mediante la coordinación de estos nuevos dispositivos a los que se le pueden asignar periodos de consumo en los que la demanda es reducida, se podría retrasar la necesidad de desarrollar las redes eléctricas y de integrar nueva generación
7. **Distribución del sistema en Islas en caso de inestabilidad de los Sistemas Eléctricos.** Lo que permite este modelo es la operación, de forma automática, de una parte del sistema en modo isla (puntos o celdas del sistema que se quedan aisladas) en caso de

---

<sup>17</sup> **Regulación secundaria:** se encarga de corregir el desvío de la frecuencia, causado en la regulación primaria (que se encarga de recuperar el balance entre potencia consumida y potencia demandada). También se encarga del ajuste en la generación ante modificaciones en la demanda, que tiene lugar en tiempo real. Esto se consigue mediante la variación de la potencia de referencia de alguna fuente de generación del sistema



una gran inestabilidad del sistema, por la cual haya que desconectar un gran número de cargas. Técnicamente se base en vigilar y predecir las cargas y la generación distribuida disponible y de la creación de un programa de eliminación de cargas necesario para mantener el modo isla. Este modelo favorece al operador de la red de distribución a la hora de restablecer lo más rápido posible la estabilidad del sistema en un área.

8. **Reposición del sistema desde los hogares inteligentes, en caso de apagón.** La implementación de esta idea, supondría un apoyo para el arranque o restablecimiento del sistema en caso de un apagón. Tras un apagón, la red local también se encuentra fuera de servicio por lo que el objetivo fundamental es poner en marcha el modo isla, y desde ahí conectar, aguas arriba, con la red, con el fin de poder suministrar energía al sistema, para ayudar en su restablecimiento.
9. **Integración de las técnicas y herramientas de predicción para la participación en el mercado eléctrico.** La imprevisibilidad del nivel de producción de la generación distribuida, hace necesario el uso de herramientas de previsión para poder participar en el mercado. Cuanto menor sea este error más eficiente será la participación en el mercado. La participación en el mercado beneficiará tanto al agregador, que será el encargado de participar en el mercado eléctrico, como al consumidor ya que obtendrá una reducción en el precio de su factura eléctrica. Pero para realizar este proceso de manera óptima es necesario realizar un seguimiento del comportamiento en el consumo del cliente, no simplemente realizar una lectura de los datos del contador inteligente, para posteriormente realizar una evaluación de los mismos.

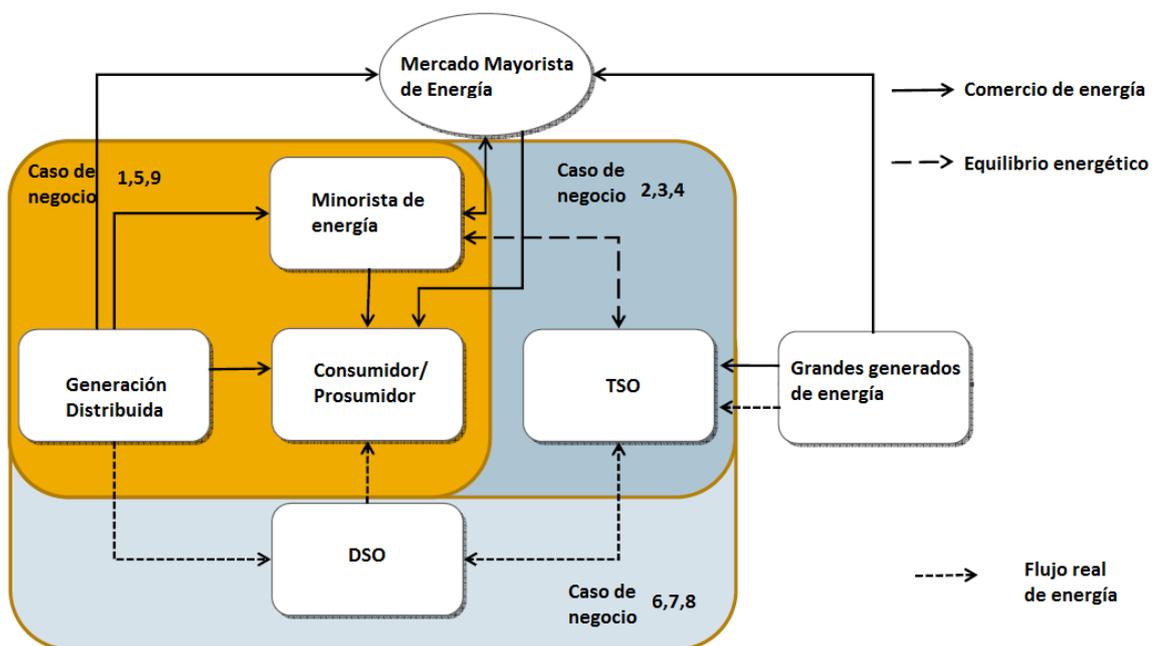


Figura 25. Integrantes del mercado eléctrico y los casos de negocios del proyecto en los que participan. Fuente: Elaboración propia e informe del proyecto SmartHouse/SmartGrid.

### Arquitectura del proyecto

En el proyecto SmartHouse se desarrollaron tres arquitecturas de carácter general diferentes para la gestión de la demanda y la gestión de la oferta con el objetivo de obtener una red inteligente de energía eficiente, flexible y sostenible.



A estos tres tipos de arquitecturas generales se las denominó de la siguiente forma:

- **PowerMatcher (aplicada en el estudio realizado en Holanda)**
  - Toma de decisiones descentralizada sobre el consumo y la producción de energía eléctrica.
  - Toma de decisiones basada en el equilibrio de todas las ofertas del mercado eléctrico.
  - Información en tiempo real de la demanda y la oferta eléctrica.
  - Control automático de unidades de consumo y generación.
  - Arquitectura con facilidad para su expansión.

Este tipo de arquitectura se basa en un gran número de agentes que negocian en el mercado con el fin de lograr sus objetivos de control local de cargas, comunicando el precio en el mercado de la energía en tiempo real.

- **BEMI(Bidirectional Energy Management Interface, interfaz de la gestión bidireccional de la energía), que fue aplicada en el estudio de Alemania**
  - Toma de decisiones descentralizada sobre el consumo y la producción de energía eléctrica.
  - Toma de decisiones en función de diferentes tarifas centralizadas establecidas.
  - Establecimiento de la demanda en función de la oferta disponible.
  - Control automático de las unidades de consumo.
  - Aportación de información para el control manual del consumo.

Esta arquitectura utiliza un tipo de gestión de la energía que es de carácter descentralizado y evita el control central de las cargas. En este modelo cada participante en el mercado opera con una interfaz de gestión del hogar que controla tanto el consumo de energía, como la generación de energía.

- **MAGIC**
  - Toma de decisiones descentralizada sobre el consumo y la producción de energía eléctrica.
  - Toma de decisiones basada en la negociación centralizada de las solicitudes de energía eléctrica.
  - Información sobre la demanda y la oferta eléctrica.
  - Control automático de unidades de consumo y generación.

En cuanto a la arquitectura del hogar inteligente, esta consta de:

- **Agentes /Nodos inteligentes:** se encargan de llevar a cabo operaciones de comunicación y control de estos sistemas de comunicaciones inteligentes.
- **Una vía de comunicación con el exterior del hogar:** esta vía de comunicación, en algunos casos como en la arquitectura BEMI es al mismo tiempo el que se encarga de gestionar el consumo del hogar.
- **Diversos dispositivos operados por el cliente y elementos de medida.**
- **Una interfaz con el usuario que permita llevar a cabo una gestión del consumo eléctrico.**



Por su parte los principales agentes de la arquitectura del proyecto son:

- **Minorista de energía:** este juega un papel fundamental para establecer con éxito una red inteligente, ya que es el responsable de entregar la energía en los puntos establecidos de entrega de la misma. Es el encargado de elegir una herramienta, BEMI, MAGIC o PowerMatcher, que le ayude a equilibrar la demanda eléctrica en función de la energía disponible. También se encarga de analizar todos los datos obtenidos sobre el consumo en los contadores inteligentes, de predecir los consumos y de desplazarlos en función del tipo de tarifa que tenga el cliente.
- **DSO:** las empresas de distribución tienen un papel importante ya que son aquellos que poseen la red de distribución. En el caso de mercados liberalizados estos no participan en el negocio de la energía, únicamente se concentran en el desarrollo y mantenimiento de la red cobrando en función de la energía distribuida a través de su red. Por ello el DSO se encargará de establecer un esquema de tarifas o primas en función de los periodos en los que se demande electricidad, siendo más caro en los periodos pico de consumo. Otro papel importante del DSO es la instalación de los contadores inteligentes, que servirán para la comunicación necesaria entre los diferentes agentes.
- **Agregador:** Su función es la de agrupar a un número de hogares inteligentes en los que a pesar de mantener el contrato con su minorista de energía, se ofrezcan a cambiar ciertas cargas de consumo cuando sea necesario para la eficiencia y estabilidad del sistema. Esta flexibilidad por parte de los clientes, será recompensada gracias a una disminución en la factura eléctrica gracias a un sistema de primas.

### Pruebas realizadas

Se realizó una prueba en cada país y se las denominó como “pruebas en campo A, B y C.”

→ Prueba en campo A o prueba de instalación a gran escala.

Se llevó a cabo en los Países Bajos y demostró la perspectiva a gran escala (un millón de hogares) del control automático agregado de los sistemas de los usuarios finales, para la obtención de una mejora de eficiencia energética.

Otro de los objetivos de este ensayo era el de demostrar que el rendimiento del control automático de un millón de hogares es el adecuado respecto al caso de negocio “*Reducción del desequilibrio en tiempo real de la generación-demanda*”, del que se habló en el apartado anterior. Es decir se estudió la capacidad de controlar la demanda flexible y el suministro eléctrico a los electrodomésticos con el fin de mejorar la demanda global y mantener un equilibrio de la oferta eléctrica.

→ Prueba en campo B

Fue realizada en Alemania. Su objetivo era probar la respuesta automática de los dispositivos del hogar y el comportamiento de los clientes en función de tarifas variables del precio de la electricidad. La solución propuesta era la integración de un sistema de gestión de la demanda, que ofreciendo incentivos para usar los aparatos eléctricos en momentos determinados, desplazase el consumo hacia unos periodos u otros. Este sistema de gestión de la energía debe ser flexible para poder extender sus funciones de control a los generadores de electricidad presentes en los hogares inteligentes propuestos, como pueden ser placas solares. Este sistema por lo tanto se encargará de controlar tanto la generación como la demanda de las diferentes cargas para obtener la mayor eficiencia posible así como el menor consumo. Para conseguir estos sistemas es fundamental la presencia de los contadores inteligentes que se

encarguen de dar información sobre el consumo y la presencia de cargas (electrodomésticos) inteligentes que permitan su conexión y desconexión automática en función de los periodos de consumo a los que se quiera desplazar éste.

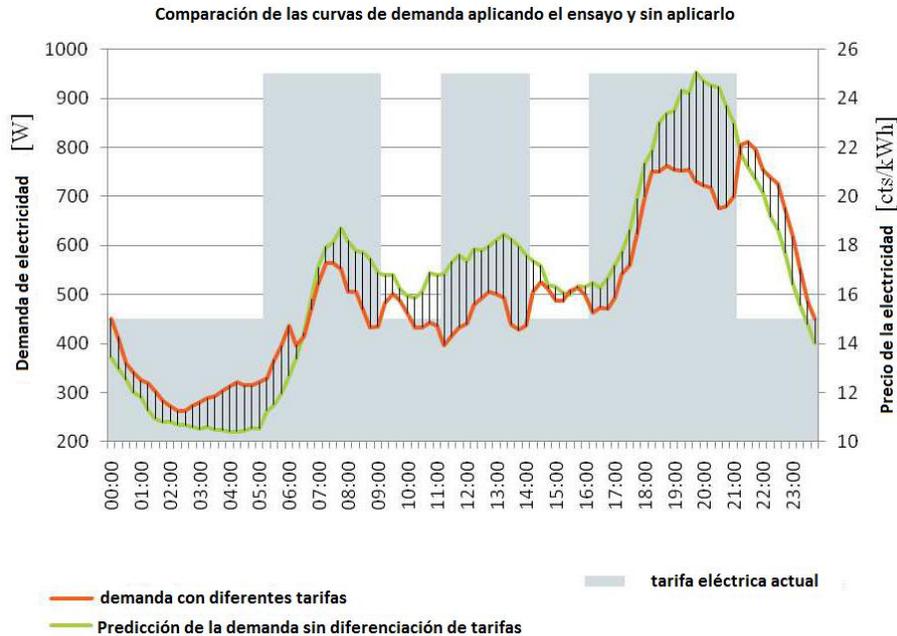


Figura 26. Efecto de la aplicación de las diferentes tarifas en la curva de la demanda eléctrica. Fuente: Elaboración propia y Proyecto SmartHouse

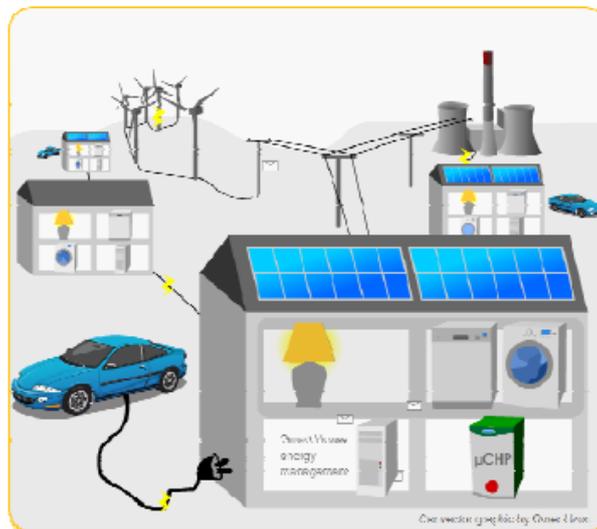


Figura 27. Estructura y comunicaciones del hogar inteligente. Fuente: Proyecto SmartHouse.

→ Prueba en campo C.

Se realizó en Grecia, con el objetivo de demostrar la capacidad de un sistema descentralizado, para afrontar situaciones críticas tales como la transición a modo isla o la situación causada por un apagón. También se demostró la capacidad de desconectar cargas para aliviar la congestión de la red. El estudio se realizó en 170 casas provistas de generadores diesel y de



## Trabajo fin de grado: GESTIÓN ACTIVA DE LA DEMANDA EN EL SECTOR RESIDENCIAL. ESTADO DEL ARTE DE LOS PROYECTOS EN CURSO

placas fotovoltaicas. Esta generación les permitía autoabastecerse en el caso de situaciones críticas en la red.

### **Conclusiones del proyecto**

Las conclusiones que se obtuvieron tras la realización del proyecto fueron positivas y esperanzadoras.

Uno de las principales conclusiones que se obtuvo fue que a través de los hogares inteligentes y de la instalación de generación distribuida se puede conseguir un sistema eléctrico más eficiente y responsable con el medio ambiente.

Cabe destacar la variación en el consumo que en los clientes supone la presencia de diferentes tarifas de precio de energía eléctrica en función del periodo en el que se consuma. También cabe destacar la flexibilidad en el consumo de los hogares inteligentes, con el fin de poder ayudar al sistema, tanto en el caso de que tenga un problema, como puede ser un apagón, como en el caso de la reducción de consumos en horas pico.

Por último cabe destacar la utilidad de los diferentes sistemas que se desarrollaron a lo largo del proyecto que facilitaban la realización de la gestión activa de la demanda en los hogares inteligentes.

El impacto que se puede conseguir a través del uso generalizado de las tecnologías desarrolladas en el proyecto SmartHouse/SmartGrid sería elevado. Sin embargo actualmente la mayoría de las tecnologías relacionadas con este proyecto se encuentran en una fase temprana de su incorporación al mercado, por lo que no será hasta dentro de unos años cuando su implantación pudiese llegar a ser masiva en los hogares.

### **6.4 Proyecto ADDRESS.**

El principal objetivo del proyecto ADDRESS (Active Distribution network with full integration of Demand and distributed energy RESourceS) es el de obtener una red que sea flexible, fiable, accesible y económica, lo cual puede ayudar a que la idea de la “European Technology Platform Smart Grids” de obtener una red inteligente a nivel continental, se convierta en realidad. A continuación se muestran los métodos que se plantean para obtener estos objetivos

*Para agregar flexibilidad al sistema:*

- Mejora de la respuesta de los consumidores (haciendo que los consumidores se conviertan en *prosumidores*: clientes que consumen electricidad con un comportamiento proactivo, es decir, que el cliente toma la iniciativa de aplicar medidas que impliquen una reducción en el consumo y haciendo que este sea más eficiente) ampliando la flexibilidad en el consumo que permite la gestión activa de la demanda
- Proporcionar optimización en tiempo real de los flujos de energía eléctrica a nivel local y global



## Trabajo fin de grado: GESTIÓN ACTIVA DE LA DEMANDA EN EL SECTOR RESIDENCIAL. ESTADO DEL ARTE DE LOS PROYECTOS EN CURSO

### *Para agregar fiabilidad al sistema:*

- Desarrollo de tecnologías para el control, distribución y gestión en tiempo real de la red
- El aprovechamiento de la flexibilidad de la carga para poder lograr una operación más segura de la red y aumentar de este modo la eficiencia del sistema.

### *Para agregar accesibilidad al sistema:*

- Proponer soluciones para eliminar las barreras comerciales y de regulación en contra de la gestión activa de la demanda y en contra de la plena integración de la generación distribuida y los recursos de las energías renovables

### *Para agregar el factor económico al sistema:*

- Habilitación de la participación en la economía energética de todos los integrantes del mercado para aumentar la competitividad en el mercado energético y proporcionar de este modo un cierto ahorro local y global, lo que implicará la reducción de la factura energética
- La combinación de la gestión activa de la demanda con la generación distribuida y los recursos de las energías renovables para permitir un crecimiento sostenible del consumo eléctrico, obteniendo también un sistema eléctrico más eficiente, tanto en el aspecto técnico como en el económico y teniendo en cuenta el medioambiente.

## **Responsables del proyecto**

El proyecto ADDRESS se inició el 1 de junio de 2008 y su fin estaba estimado para mayo de 2012, sin embargo dicho proyecto se ha alargado teniendo como nueva fecha de finalización el año 2013. El consorcio del proyecto está formado por veinticinco socios, de once países de la Unión Europea, entre los que se incluyen diferentes industrias y centros de investigación como la Universidad de Manchester o la Universidad Pontificia de Comillas. El proyecto tiene un presupuesto de 16 millones de euros.

Este proyecto se está llevando a cabo en distintas zonas de Europa con diferentes características geográficas y demográficas. Concretamente los países en los que se está realizando mayor número de pruebas son en España, Italia y Francia, para así poder cumplir con los requisitos de diversidad y ofrecer una visión representativa de la arquitectura del proyecto.

## **Objetivos del proyecto**

El proyecto ADDRESS quiere estudiar, desarrollar y encontrar soluciones para permitir llevar a cabo la gestión activa de la demanda y aprovechar los beneficios que esta aportaría.

Para habilitar la gestión activa de la demanda, el proyecto ADDRESS se propone:

- Desarrollar soluciones técnicas, tanto en las instalaciones de los consumidores como en el propio sistema eléctrico.



## Trabajo fin de grado: GESTIÓN ACTIVA DE LA DEMANDA EN EL SECTOR RESIDENCIAL. ESTADO DEL ARTE DE LOS PROYECTOS EN CURSO

- Identificar las posibles barreras contra el desarrollo de la gestión activa de la demanda y desarrollar recomendaciones y soluciones para eliminar esas barreras teniendo en cuenta aspectos económicos, normativos, sociales y culturales

Para aprovechar los beneficios que proporciona la gestión activa de la demanda, los principales objetivos serán:

- Identificar los beneficios potenciales para los diferentes sistemas eléctricos participantes en ella.
- Desarrollo de los mercados y mecanismos apropiados para administrar los nuevos contratos.
- Estudiar y proponer medidas complementarias para hacer frente a los aspectos sociales, culturales y medioambientales.

Fundamentalmente los objetivos que se buscan obtener son una reducción del 20% de las emisiones de CO<sub>2</sub>, aumentar la eficiencia energética en un 20% y que alrededor del 30-35% de la energía provenga de energías renovables.

### Arquitectura del proyecto

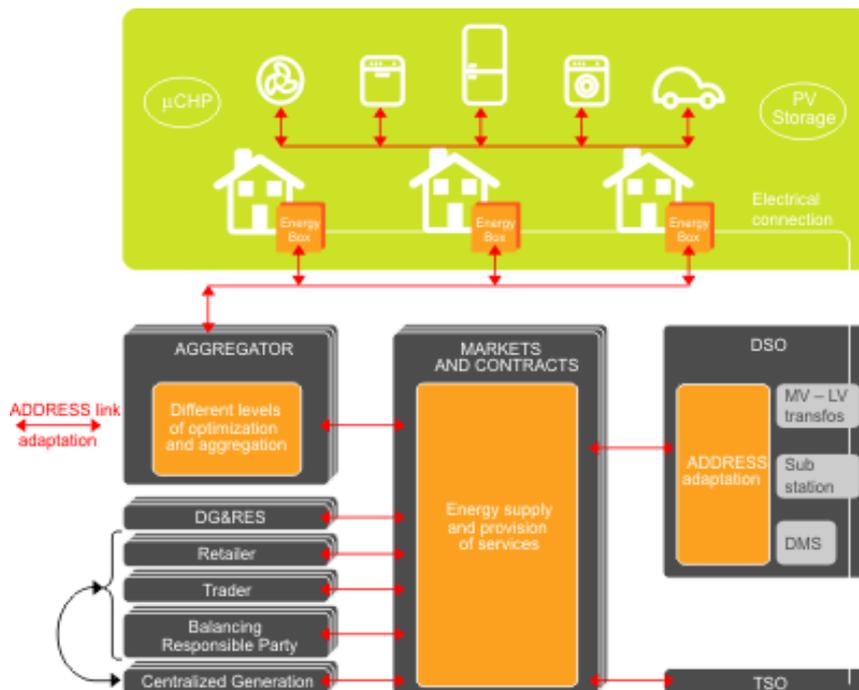


Figura 28. Arquitectura del proyecto ADDRESS. Fuente: proyecto ADDRESS

En la zona verde, en la parte superior de la figura 28 se encuentran las viviendas de los usuarios, en las cuales los aparatos eléctricos (calderas, frigoríficos, etc.), la generación distribuida y los sistemas de almacenamiento de energía térmica o eléctrica pueden ser controlados y optimizados por medio de la caja de la energía o contador inteligente (Energy box en la figura 28). Este contador inteligente será la interfaz con el mundo exterior, y en particular con el agregador. Como *agregador* se entiende al intermediario entre los consumidores, mercados y cualquier otro integrante del sistema eléctrico.



## Trabajo fin de grado: GESTIÓN ACTIVA DE LA DEMANDA EN EL SECTOR RESIDENCIAL. ESTADO DEL ARTE DE LOS PROYECTOS EN CURSO

En la arquitectura propuesta, los agregadores aparecen como mediadores entre los consumidores y los mercados por lo que desempeñan un papel importante para ambas partes:

- Se recogerá las solicitudes y las señales provenientes de los mercados y de los diferentes sistemas de energía participantes
- Los agregadores cobrarán las "flexibilidades" y contribuciones previstas por los consumidores para responder a estas peticiones y señales y ofrecer servicios a los diferentes sistemas de energía participantes (a través de los mercados).

Las funcionalidades del agregador pueden dividirse en diversos módulos:

- Previsión del consumo y flexibilidad: tiene que ser capaz de prever a corto y largo plazo el comportamiento del consumo de los usuarios para así poder desempeñar las medidas necesarias para beneficiar económicamente a dichos usuarios.
- Previsión del mercado: el agregador deberá prever el comportamiento del mercado, para poder comprar la energía en el momento adecuado, en función de los precios que el usuario que haya contratado la gestión activa de la demanda esté dispuesto a pagar por la energía eléctrica.
- Mercado y gestión de la cartera de consumo: el agregador definirá la estrategia que adoptará a largo plazo a partir de las predicciones que realice sobre la flexibilidad de los consumidores y los precios del mercado a largo plazo.
- Optimización operacional: deberá determinar las posturas que ofrecerá en el mercado a corto plazo para poder crear las señales de precio y volumen (de las que se hablará más adelante) que enviará a los consumidores.
- Liquidación y facturación: este proceso se utilizará para el pago de incentivos a los consumidores, de acuerdo a los contratos establecidos entre ambas partes.

La base de la interacción entre los participantes del sistema, será el intercambio de dos tipos de señales: señales en tiempo real de los precios de la energía eléctrica y señales en tiempo real de volumen de la energía eléctrica. Con "tiempo real" se refiere a una escala de tiempo comprendida entre los 20 y los 30 minutos.

Dependiendo del servicio que se quiera proporcionar, estas señales también pueden ser moduladas en función de la información geográfica. Sin embargo, este proyecto se encarga únicamente de investigar la repercusión, tanto en el usuario como en el sistema eléctrico, de la utilización de las señales de precio y volumen para mejorar la eficiencia de todo el sistema eléctrico.

Los mercados ("Markets and contracts" en la figura 20) consisten en todo tipo de relaciones comerciales entre los participantes del sistema

Los mercados para los diferentes productos y servicios serán considerados como:

- Suministro de energía,
- Servicios auxiliares y de control de tensión, de la frecuencia y de la reserva activa terciaria.
- Servicios de equilibrio y de compensación de la variabilidad que tienen las fuentes de energía renovables, como pueden ser la eólica o la solar.
- Servicios de alivio frente a las sobrecargas o congestiones de la red.



## Trabajo fin de grado: GESTIÓN ACTIVA DE LA DEMANDA EN EL SECTOR RESIDENCIAL. ESTADO DEL ARTE DE LOS PROYECTOS EN CURSO

Los operadores de redes de distribución (DSO, "Distribution system operator") también juegan un papel importante ya que no sólo afecta la gestión activa de la demanda a los consumidores, conectados a las propias redes de distribución, sino que también serán esenciales las redes de distribución inteligentes para la correcta realización de la gestión activa de la demanda. Estos operadores principalmente tendrán interacciones con los otros participantes en el sistema de alimentación de energía y, en particular, tendrán relación con los agregadores a través de los propios mercados. Sin embargo, también tendrá algunas interacciones con los operadores de redes de transporte (GRT) para poder asegurar el correcto funcionamiento de la red eléctrica.

La optimización local será necesaria para satisfacer los requisitos de los servicios que se solicitan. Por lo tanto serán necesarios distintos niveles con una cantidad apropiada de inteligencia distribuida. El problema es saber cuánta cantidad y a qué lugares del sistema dotar de inteligencia.

Todos los participantes en el sistema eléctrico necesitarán, probablemente, inteligencia local para optimizar las respuestas en tiempo real hacia los otros participantes del sistema eléctrico.

Sin embargo, debido a sus funciones centrales, los siguientes participantes recibirán una atención especial y se estudiarán individualmente en el proyecto:

- El consumidor: cómo aplicar la inteligencia artificial en los lugares de consumo
- El agregador: distintos niveles de optimización y agregación serán necesarios en función de los objetivos.
- Los DSO: para permitir y aprovechar los beneficios que genera la gestión activa de la demanda se requerirá que se creen diferentes niveles de comunicación en las redes de distribución para así poder tener un control óptimo.

### Planificación del proyecto

En cuanto a la planificación del proyecto se ha dividido en ocho bloques de trabajo, como se muestra en la imagen adjunta:

- WP1-WP4 son para la investigación técnica y desarrollo.
- WP5 para la investigación socio-económica.
- WP6 para la demostración de los resultados obtenidos.
- WP7 para la difusión de los resultados.
- WP8 para la dirección del proyecto.

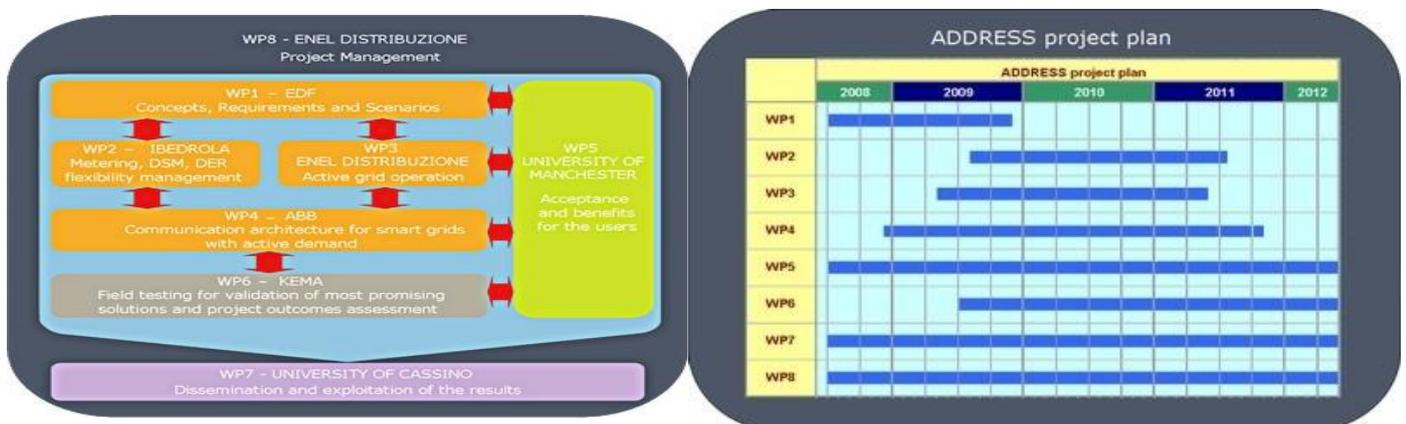


Figura 29. Planificación del proyecto ADDRESS. Fuente: proyecto ADDRESS



## **7. Modelo de implantación real en España**

En este apartado del proyecto se procederá a realizar un estudio sobre un caso real de aplicación de gestión activa de la demanda en un hogar español.

Para ello, en primer lugar se procederá a describir los elementos que demandan energía eléctrica en el hogar y sus hábitos de consumo, para posteriormente poder realizar el estudio en sí.

El uso de los electrodomésticos varía en función del hogar, pero en este estudio se realizará un caso en concreto, lo más generalizado posible. Los electrodomésticos más comunes que se pueden encontrar en los hogares son los siguientes:

- **Lavadora:** es un electrodoméstico cuyo consumo es puntual, ya que su demanda permanece con un valor prácticamente nulo a lo largo del día, exceptuando el periodo en el que este electrodoméstico se utiliza, que suele ser entre las 8 y las 12 de la mañana, o entre las 5 de la tarde y las 9 de la noche.
- **Secadora:** Su implementación es muy inferior, en los hogares españoles, al de la lavadora, pero su utilización suele producirse en los mismos periodos horarios que la lavadora aunque su uso suele ser reducido en la estación de verano.
- **Lavavajillas:** su utilización suele producirse después de las comidas, es decir entre las 14:00 y las 17:00 horas o entre las 21:00 y las 23:00 horas.
- **Frigorífico:** su consumo se produce a lo largo de todo el día, ya que tiene que estar conectado para que el compresor pueda mantener la temperatura óptima en el frigorífico. A pesar de ello su consumo no es constante a lo largo de todo el día ya que consume más o menos en función de las variaciones de temperatura que se produzcan, es decir, no consume lo mismo un frigorífico que se abre una vez al día que uno que se está abriendo numerosas veces, ya que en este caso se producen mayores variaciones de temperatura y como consecuencia de ello el compresor tiene que demandar mayor cantidad de energía para poder mantener dicha temperatura.
- **Congelador:** sus características se podrían considerar similares a las de un frigorífico, solo que su uso no suele ser tan elevado como el del frigorífico. En el estudio, el frigorífico y el congelador se englobarán en un único electrodoméstico considerado como frigorífico-congelador o simplemente como frigorífico.
- **Calefacción eléctrica:** su demanda varía en función de la época del año, siendo elevada a lo largo del día durante los días de invierno, mientras que su uso durante los días de verano, es nulo. Normalmente su consumo suele aumentar entre las 16:00 y las 21:00 horas, debido a que la gente llega a los hogares y desea calentar su residencia y suele ser nula durante las horas nocturnas.
- **Bomba de calor:** es un sistema de calefacción diferente al de las calderas tradicionales o al de los radiadores eléctricos. Su funcionamiento se podría asemejar al de los frigoríficos o aires acondicionados, absorben el calor de un sitio y lo bombean a otro, siendo en general más eficientes que otros sistemas de climatización de los hogares. En los hogares españoles su utilización es reducida, y como consecuencia de ello no se tomará en cuenta en la realización del estudio.
- **Aire acondicionado:** su demanda es característica de los meses de verano. A pesar de ello, se puede decir que su consumo durante estos meses se maximiza durante las horas centrales del día, en las que el calor es más elevado.
- **Termo eléctrico para el almacenamiento de agua caliente:** los termos permiten calentar agua y almacenarla a esta temperatura. El ahorro energético suele ser mayor



que en el uso de agua caliente sin acumulación, ya que el consumo de energía en el caso del uso del termo solo se realiza para calentar el agua que se almacenará (produciendo este consumo de energía a la hora que se crea oportuno), mientras que sin termo eléctrico es necesario calentar el agua cada vez que esta se demande, por lo que además de gastar más energía el consumo de agua también es superior. El consumo de agua caliente suele producirse en las horas tempranas del día, entre las 6:00 y las 10:00, y posteriormente entre las 18:00 y las 22:00 horas para el aseo personal de los habitantes. También se demanda por ejemplo para el lavado de las vajillas (tanto de forma manual como por lavavajillas) que se produce en las horas posteriores a las comidas del hogar.

- **Iluminación:** la demanda producida por la iluminación varía a lo largo del día ya que es una demanda puntual. Sin embargo, se podría decir que esta se suele producir durante las horas diurnas, siendo su demanda máxima entre las 7:00 y las 10:00 y entre las 19:00 y las 00:00, periodo tras el cual su demanda suele disminuir hasta llegar a un mínimo durante las horas nocturnas donde su demanda es mínima.
- **Televisión:** se trata de un electrodoméstico cuyo consumo va aumentando de forma progresiva entre las 13:00 y las 00:00 horas, dándose su mayor consumo tras la hora de la cena. Sin embargo el consumo de este dispositivo es nulo durante las horas nocturnas y reducido durante las primeras horas del día debido a que normalmente el hogar se encuentra vacío durante estas horas (en el caso de que no haya ninguna persona que permanezca en la vivienda).
- **Vitrocerámica:** su uso se produce antes de las horas de las comidas, entre las 12:00 y las 14:00 horas y entre las 19:00 y las 21:00 horas.
- **Horno:** Su utilización es similar al de las vitrocerámicas, aunque se suele emplear menos para la elaboración de la cena, por lo que su consumo se suele centrar entre las 12:00 y las 14:00 horas.
- **Stand-by:** es un consumo que se producen en diferentes aparatos electrónicos como el televisor, aire acondicionado, ordenadores o cargadores. Este consumo se produce porque estos electrodomésticos se encuentran conectados a la espera de recibir órdenes mientras se encuentran apagados y por ello demanda energía eléctrica. El consumo de energía por *stand-by* en un hogar, se estima que es alrededor del 7% del consumo eléctrico total, según el proyecto "Sech-Spahousec: *Análisis del consumo energético del sector residencial en España*" realizado por el IDAE y por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo el 16 de julio de 2011. El consumo energético producido por el *stand-by* es prácticamente constante a lo largo de todo el día.
- **Microondas:** su consumo suele centrarse a las horas de las tres comidas principales del día, es decir entre las 7:00 y las 9:00 horas, entre las 13:00 y las 15:00 horas y entre las 20:00 y las 22:00 horas. En comparación con la vitrocerámica u horno, su demanda suele ser durante un periodo de tiempo inferior, aunque su consumo de forma general es superior al del horno.
- **Miscelánea:** aquí se engloban el resto de aparatos empleados en el hogar y de los que no se ha hablado anteriormente, como pueden ser las batidoras, cafeteras, planchas o las tostadoras. Su uso está relacionado con la presencia de personas en la vivienda, por lo que su demanda suele producirse a primeras horas del día entre las 7:00 y las 9:00 horas y posteriormente en los periodos en los que la ocupación de los hogares aumenta, cuyos periodos son entre las 13:00 y las 15:00 horas y entre las 17:00 y las 23:00 horas.



## Trabajo fin de grado: GESTIÓN ACTIVA DE LA DEMANDA EN EL SECTOR RESIDENCIAL. ESTADO DEL ARTE DE LOS PROYECTOS EN CURSO

Una vez expresada la demanda de los distintos elementos de un hogar, se procederá a comentar las características que deben cumplir los diferentes electrodomésticos para que se pueda realizar la gestión activa de la demanda (GAD).

La principal característica que deben cumplir los elementos gestionados es que no afecten al confort de los usuarios, por lo que no se podrá aplicar la gestión activa de la demanda en electrodomésticos como la televisión. Es decir, no se pueden gestionar aquellos aparatos destinados al consumo instantáneo y cuyo uso no pueda realizarse en otro momento, ya que su interrupción supondría el rechazo por parte del usuario. Un caso muy característico es el de la iluminación, ya que este se emplea cuando se quiere mantener una habitación iluminada, por lo que no se puede aplicar la GAD. Sin embargo se están llevando a cabo campañas de concienciación a la sociedad para intentar no dejar iluminadas habitaciones que no estén siendo utilizadas.

Otra característica importante, pero no esencial, sería que los elementos gestionados tuviesen un consumo elevado, ya que su gestión implicaría un efecto importante en la demanda del hogar.

A continuación, se procederá a analizar aquellos electrodomésticos en los que será más viable la realización de la gestión activa de la demanda. Se ha considerado que aquellos elementos más susceptibles de ser gestionados son los siguientes:

- Lavadora
- Calefacción
- Lavavajillas
- Secadora
- Termo eléctrico para el almacenamiento de agua caliente.

El **lavavajillas**, la **lavadora** y la **secadora** tienen la posibilidad de ser programados o interrumpidos (en el caso de ser interrumpidos no implica que al volver a conectarse vuelvan a empezar el ciclo, sino que continuaría en el punto de la desconexión), para que funcionen a horas en las que la demanda de energía sea menor o en las que beneficiase en mayor medida al sistema eléctrico. Esto se podrá realizar de forma manual o bien a través de un control automático de las cargas, para lo cual sería necesaria la instalación de electrodomésticos inteligentes. Es decir, habría que realizar una inversión inicial, la cual habría que valorar si saldría o no rentable. El mayor inconveniente que conlleva el desplazamiento del consumo de estos electrodomésticos es que provocan mucho ruido, por lo que se debería intentar que estos electrodomésticos se encontrasen en lugares del hogar en los que no molestasen a los usuarios, como por ejemplo terrazas o cuartos concretos para ellos.

En cuanto a los **termos eléctricos**, se procedería al calentamiento del agua a las horas en las que la demanda fuese menor, para luego mantenerla a esa temperatura durante un tiempo estimado de unas 12-14 horas, en un termo estándar (este periodo puede ser superior o inferior en función del aislamiento del termo eléctrico). Como consecuencia de ello habría que estudiar si calentar ésta cada 12 horas o si por el contrario con calentarla una vez al día para el aseo de los habitantes de la casa sería suficiente. Otro factor importante, que no se ha mencionado, es la capacidad que tienen que tener estos termos. Para un hogar en el que vivan cuatro personas se estima que será necesario un termo eléctrico de unos 100-150 litros, en función de la demanda de los habitantes.



## Trabajo fin de grado: GESTIÓN ACTIVA DE LA DEMANDA EN EL SECTOR RESIDENCIAL. ESTADO DEL ARTE DE LOS PROYECTOS EN CURSO

Por último en el caso de la **calefacción**, es más complicada su gestión, ya que el calor no se mantiene durante mucho tiempo en los hogares, entre otros motivos porque el aislamiento en los hogares españoles no suele ser del todo correcto (para evitar ese problema ha entrado en vigor el *Código Técnico de la Edificación*, por el cual es necesario un correcto aislamiento en los hogares de nueva construcción, como se muestra en el apartado "*4.2 Marco Regulatorio*"). Como consecuencia de ello, para la realización de la gestión se propone que la utilización de la calefacción sea lo más dispersa posible, procediendo a su desconexión cada cierto tiempo. Estaría conectada entorno a la mitad del tiempo durante los periodos en los que su demanda sea mayor, es decir, sería necesario un termostato en el que se estableciera una temperatura máxima y otra mínima (cuanto menor fuese la temperatura menor consumo habría, pero esta variará en función del hogar, ya que hay personas más sensibles al frío que otras), que una vez alcanzada la temperatura máxima se apagase y se volviese a encender cuando llegase a la mínima. Por otro lado, se mantendría desconectada a partir de las 23:00 horas aproximadamente, ya que el calor se mantendría en el hogar hasta que los habitantes se fuesen a dormir, periodo durante el cual permanecería apagada, hasta las 5:00-6:00 horas, periodo en el cual se volvería a conectar, para calentar la casa, en un periodo en el que la demanda es reducida.

Por otro lado, existen otros elementos, que también tienen un consumo eléctrico importante en el hogar y cuyas características permiten que su funcionamiento no sea a pleno rendimiento y como consecuencia de ello que su consumo no sea el de la potencia máxima.

Estos elementos son los siguientes:

- Frigorífico-congelador
- Vitrocerámica
- Horno
- Aire acondicionado

Para la realización de una gestión activa de la demanda sobre el **frigorífico/congelador** lo que se plantearía sería realizar pequeñas desconexiones durante pequeños periodos, que no supongan un aumento de la temperatura de más de 1-2º C ya que si es superior podría implicar que los alimentos que contiene sufriesen desperfectos. Otra medida podría ser subir directamente un grado la temperatura del congelador y del frigorífico, si esto implica no producir los ya mencionados desperfectos en los alimentos. Esta última medida solo se podría realizar en aquellos frigoríficos en los que hubiese una temperatura muy baja, sin ser ella necesaria para mantener los alimentos en las condiciones óptimas.

Por su parte la **vitrocerámica** y el **horno** plantean un mayor problema, ya que si se procede a reducir la potencia instantánea, esto implicaría un aumento en el tiempo de cocinado, lo que podría afectar al usuario, por lo que la gestión activa de la demanda en estos dos elementos se plantea más cuestionable. Sin embargo para reducir el consumo lo que se podría plantear es la utilización de elementos más eficientes, como se verá más adelante.

En cuanto a la gestión del **aire acondicionado**, consistiría en aumentar la temperatura de unos 20-22º C a unos 24-26º C. Este aumento de temperatura no implicaría una pérdida de confortabilidad en el hogar, y sí una reducción en el consumo.

Tras haberse mostrado los diferentes electrodomésticos en los que es más susceptible aplicar la GAD, cabe mencionar la importancia que cobra la utilización de electrodomésticos más



eficientes. La instalación de estos elementos supondría una inversión inicial, que variaría en función de la eficiencia de los electrodomésticos y de los elementos del hogar que se sustituyesen, por lo que habría que hacer un estudio para comprobar si esta inversión sería rentable y en cuanto tiempo estaría amortizada.

La eficiencia energética de los electrodomésticos, que es la capacidad de un electrodoméstico para realizar su función pero con un consumo inferior, se clasifica en los frigoríficos, congeladores, lavadoras, lavavajillas, secadoras, hornos eléctricos, aires acondicionados y fuentes de luz domésticas según una escala que va desde la más eficiente, letra A (en la que se han añadido A<sup>+</sup>, A<sup>++</sup> y A<sup>+++</sup>) hasta la menos eficiente, letra G.

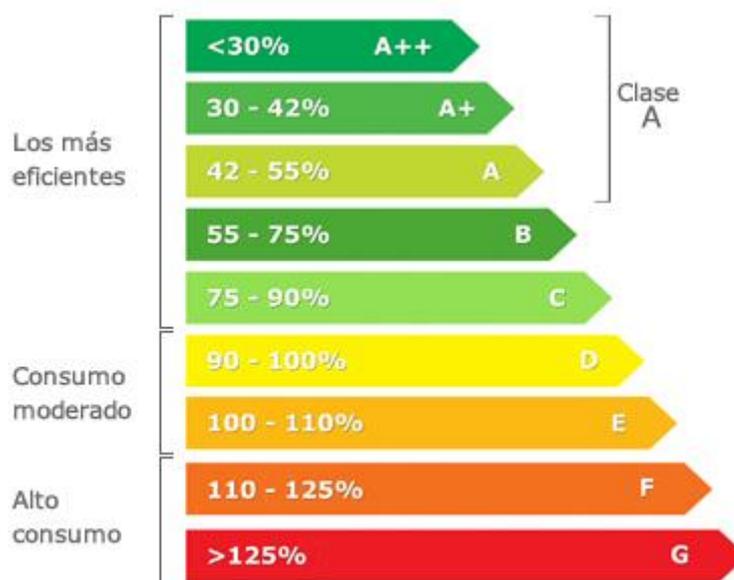


Figura 30. Clasificación de eficiencia energética de electrodomésticos y comparación respecto al consumo medio.  
Fuente: página web [enredelectrodomesticos.es](http://enredelectrodomesticos.es)

En la figura 30, se muestra el consumo de los electrodomésticos según su etiqueta en comparación con la eficiencia energética de clase D, la cual es tomada como referencia de consumo de los electrodomésticos.

En la figura 30 no sale reflejado el consumo de un electrodoméstico de clase A<sup>+++</sup>, que es del 24% respecto al consumido por un electrodoméstico de la clase D. Los más eficientes son los de la gama A<sup>+++</sup>, mientras que los de menor eficiencia y como consecuencia de ello mayor consumo, son los de la gama G.

Se puede comprobar que la eficiencia cobra gran importancia ya que la reducción en el consumo de estos electrodomésticos es notable, pudiendo ser del 70% o incluso superior.

Actualmente ya no se producen electrodomésticos con tan baja eficiencia energética como la G, siendo las clases A<sup>+++</sup>, A<sup>+</sup>, A<sup>++</sup>, A, B o C las eficiencias más comunes en nuevos electrodomésticos.

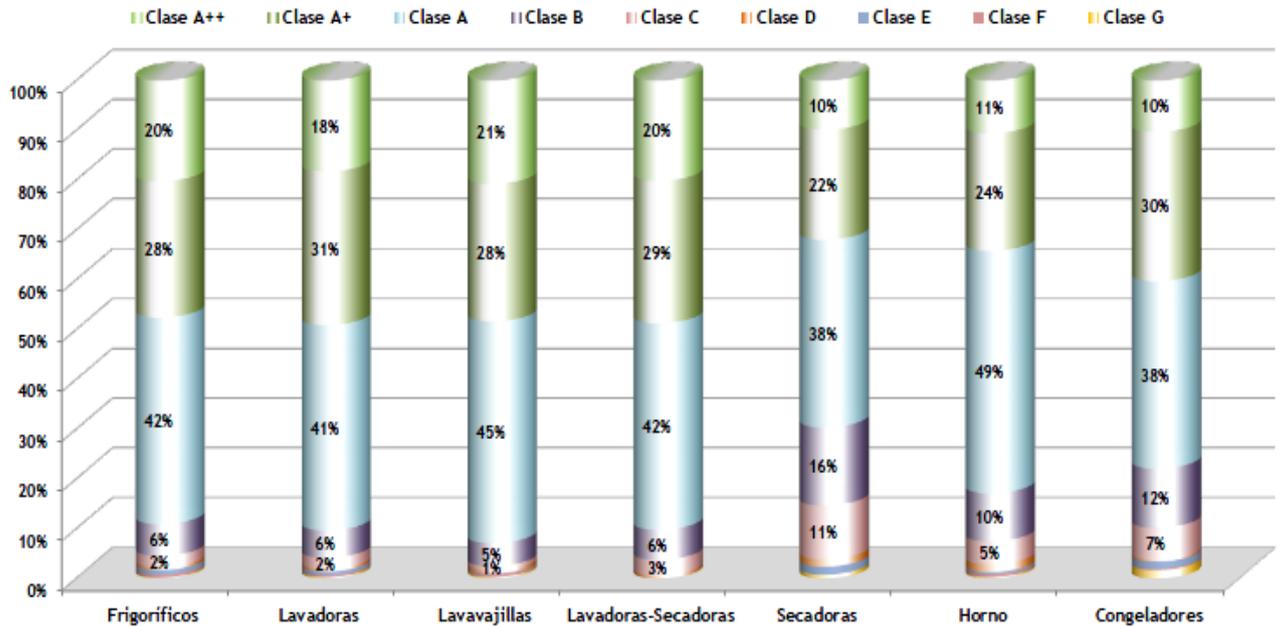


Figura 31. Penetración de electrodomésticos según etiqueta energética en los hogares españoles. Fuente: Proyecto "Sech-Spahousec" realizado por el IDAE en Julio de 2011 [10]

Además de la adquisición de elementos más eficientes y del desplazamiento de ciertos consumos a horas con menor demanda eléctrica, se pueden encontrar otras medidas como los enchufes programables o inteligentes, que se desconectan cuando los electrodomésticos conectados a ellos no están siendo utilizados. Esta desconexión, que se produciría fundamentalmente por la noche debido a que es el periodo en el que menos demanda hay, provocaría fundamentalmente una reducción en el consumo producido por *stand-by*.

### Estudio de aplicación de la GAD en un hogar español

Para poder comprobar en un caso real lo mencionado anteriormente, se procede a realizar un estudio en un hogar de unos 100 m<sup>2</sup> con 4 dormitorios, salón comedor, cocina, 2 baños, calefacción, agua caliente sanitaria y climatización, todo ello eléctrico.

Con la finalidad de facilitar el cálculo del consumo energético del hogar y lo que implica en dicho consumo la aplicación de la GAD, se ha creado una herramienta Excel<sup>18</sup> para el cálculo del consumo y del coste de la factura eléctrica en colaboración con Carlos Jiménez Jerez, que ha realizado el Trabajo Fin de Grado "Gestión activa de la demanda en el sector servicios y estado del arte de los proyectos en curso".

<sup>18</sup>**Nota:** cabe destacar que se trata de una herramienta específica para cada tipo de consumo, no de carácter dinámico, por tanto es válida para realizar estudios desde una consultoría energética especializada que realice el estudio individual para cada tipo de edificación, así como de los tipos de consumos de cada cliente, manteniendo la política llevada a cabo tanto, en el sector residencial como en el sector servicios, de la GAD. Por lo tanto, para la utilización de dicha herramienta será necesario consultarlo con sus creadores.



## Trabajo fin de grado: GESTIÓN ACTIVA DE LA DEMANDA EN EL SECTOR RESIDENCIAL. ESTADO DEL ARTE DE LOS PROYECTOS EN CURSO

Con esta herramienta se permite calcular el consumo y las reducciones que implica la GAD en él, tanto en el sector residencial (que será la tratada en este trabajo fin de grado) como en el sector servicios (siendo el caso de una oficina el que se ha tenido en cuenta en el estudio que se muestra en el TFG de Carlos Jiménez Jerez), teniendo de este modo una visión más global de las consecuencias que tendría la aplicación de la GAD en ambos sectores.

En este estudio se hace un caso experimental lo más generalizado posible, por lo que las conclusiones obtenidas no servirán para todos los hogares u oficinas españolas, ya que cada caso en particular presenta comportamientos de consumo diferentes.

Para la simplificación del estudio se han tomado las siguientes hipótesis, las cuales variarán en función del estudio personalizado de cada cliente:

- El estudio se centrará en un día característico de invierno ya que la demanda de energía eléctrica es mayor en este periodo (como consecuencia de la presencia del consumo de los radiadores eléctricos, cuyo consumo es sustituido por el del aire acondicionado que es inferior, y la mayor demanda de iluminación). Debido a ello se apreciarán en mayor medida la aplicación de las medidas de la GAD.
- Para el cálculo del consumo de energía y el coste de la factura eléctrica mensual, se supondrá un mes de 30 días, considerándose el consumo de todos ellos igual al del día analizado en el estudio.
- Se dividirá el día en periodos de dos horas, por lo que si el consumo no se produce durante todo el periodo, se realizará una ponderación en función del tiempo en el que esté demandando energía. Esta simplificación hará que el consumo sea constante durante ese periodo de dos horas.
- Para los electrodomésticos cuyos consumos no sean constantes todos los días del año (lavadora, lavavajillas, secadora, DVD, plancha, horno, etc.) se realizará una ponderación que suponga su consumo en el día de estudio, es decir, si solo se realiza su uso una vez a la semana se calculará como que el tiempo que está conectado es la duración de su ciclo o utilización, entre los 7 días de la semana, suponiendo de este modo su consumo diario.
- A la hora de calcular el coste de la factura eléctrica mediante la tarifa TUR con discriminación horaria se han establecido 24 periodos, ya que en un periodo (de dos horas) puede haber dos tarifas distintas, como es el caso del periodo comprendido entre las 22:00 y las 24:00 horas. Por ello, se ha procedido a dividir los periodos de dos horas en dos periodos de una única hora, haciendo que el consumo en las dos horas del periodo sea el mismo, ya que como se había indicado en la primera hipótesis, se había considerado constante el consumo durante cada periodo.
- En la **lavadora** se han supuesto que los ciclos de lavado son de una hora y veinte minutos y que se producen 220 ciclos anuales, es decir, aproximadamente cuatro lavados a la semana.
- En la **secadora** se ha considerado que su uso es de dos veces a la semana con una duración por secado de dos horas. Adicionalmente se ha considerado que su consumo se produce solo en los meses característicos del invierno. Por tanto el consumo anual ofrecido por el fabricante de 160 ciclos anuales, se ha ponderado a los 6 meses y 50 ciclos de lavado supuestos para este estudio en concreto.
- El **lavavajillas** se ha supuesto que se pone cinco veces a la semana y que su ciclo de lavado es de 90 minutos.



## Trabajo fin de grado: GESTIÓN ACTIVA DE LA DEMANDA EN EL SECTOR RESIDENCIAL. ESTADO DEL ARTE DE LOS PROYECTOS EN CURSO

- En el **frigorífico**, se ha establecido que el consumo es constante a lo largo del día, realizando para ello una relación entre lo que consume anualmente (dato ofrecido por el fabricante) y lo que debería consumir horariamente.
- En el caso del **termo eléctrico**, debido a su funcionamiento discontinuo, se ha determinado aplicar un factor de simultaneidad de 0,6 para corregir su consumo en el periodo, ya que el termo eléctrico solo funcionará cuando la temperatura del agua se encuentre dentro de un rango de temperaturas determinado por una temperatura mínima y otra máxima, y como consecuencia de ello no funcionará de forma continua.
- El **DVD** se ha considerado que su uso es de cinco horas semanales.
- En la **plancha** se ha supuesto que su uso es de tres horas semanales.
- En cuanto a los **radiadores eléctricos**, en el periodo en el que estén funcionando, se les aplicará un factor de simultaneidad de 0,65, ya que el funcionamiento de estos no es de manera continua debido a la presencia del termostato que regula la temperatura entre dos valores, uno máximo y otro mínimo.
- Para el resto de elementos se ha supuesto que su consumo es constante todos los días de la semana, por lo que no se han realizado ponderaciones.
- En cuanto al **stand-by**, se ha supuesto un consumo del 7% respecto al total del hogar, dato tomado del proyecto "Sech-Spahousec" sobre el análisis del consumo energético del sector residencial en España, realizado por el IDAE en julio de 2011.

### Caso base

En primer lugar se procederá a comprobar la demanda en el hogar del estudio sin haber aplicado la GAD.

A continuación, se muestra la tabla 9, en la que se reflejan el número y la potencia de cada elemento eléctrico presentes en el hogar sin haber adquirido los electrodomésticos eficientes que se aplicarán en el caso de la GAD.

En cuanto a los equipos considerados en el estudio, se ha intentado que estén presentes aquellos que son más comunes en los hogares actuales, pudiendo ser diferentes en el caso de cada cliente en concreto, ya que pueden tener una mayor o una menor cantidad de elementos que demanden energía eléctrica

Un ejemplo a tener muy en cuenta en el futuro, cuando su integración en la sociedad sea mayor, será la introducción en el estudio del vehículo eléctrico. Este vehículo será de gran ayuda para la GAD ya que fundamentalmente se recargará en las horas nocturnas, llenando de este modo el valle de consumo.



**CASO BASE VIVIENDA**

Equipo	N° de equipos	Potencia (W)
<b>Iluminación</b>	30	60
Salón	5	60
Cocina	3	60
Dormitorios (4)	10	60
Baños (2)	6	60
Zonas transitables	6	60
<b>Termo eléctrico 150L</b>	1	2200
<b>Horno eléctrico</b>	1	1200
<b>Microondas</b>	1	800
<b>Aspirador</b>	1	1200
<b>Televisión</b>	1	156
<b>Portátiles</b>	2	90
<b>Pequeños electrodomésticos</b>	18	4016,8
Cafetera	1	700
Secador	1	1850
Tostadora	1	900
DVD	1	25
Consola	1	195
Batidora	1	200
Cargador teléfono móvil	4	4,8
Módem	1	12
Teléfono Inalámbrico	2	25
Reloj	4	5
Radio	1	100
<b>Vitrocerámica / Cocina Eléctrica</b>	4	6400
Fogón Grande	1	2500
Fogón Mediano 1	1	1500
Fogón Mediano 2	1	1500
Fogón Pequeño	1	900
<b>Freidora</b>	1	1800
<b>Campana Extractora</b>	1	500
<b>Frigorífico-Congelador A+</b>	1	160
<b>Lavavajillas</b>	1	2200
<b>Lavadora A+</b>	1	2300
<b>Secadora</b>	1	4000
<b>Plancha</b>	1	1000
<b>PC + TFT</b>	1	320
<b>Calefacción eléctrica</b>	0	0
Radiadores eléctrica	7	2800
SALON	1	1500
DORMITORIOS (4)	4	800
BAÑOS (2)	2	500
Bomba de calor	0	0
Acumuladores	0	0
<b>Aire acondicionado</b>	1	1500
<b>Stand By</b>	0	0
<b>Impresora-Escáner</b>	1	100

Tabla 9.Caso base: Equipos, cantidad y potencia de cada electrodoméstico. Fuente: elaboración propia



Trabajo fin de grado: GESTIÓN ACTIVA DE LA DEMANDA EN EL SECTOR RESIDENCIAL.  
ESTADO DEL ARTE DE LOS PROYECTOS EN CURSO

Equipo	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24
<b>Iluminación</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Salón	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0	0,15	0,6	0,6
Cocina	0	0	0	0,045	0,045	0	0	0,09	0	0,09	0,18	0
Dormitorios	0,15	0	0	0,6	0,3	0	0	0	0	0	0,15	0,3
Baños	0,054	0	0	0,27	0,036	0	0	0	0	0,036	0,072	0,072
Zonas transitables	0,036	0	0	0,072	0,036	0	0	0	0	0,072	0,072	0,072
<b>Termo eléctrico 150L</b>	0	1,32	1,32	0	0	0	0	0	1,32	1,32	0	0
Horno eléctrico	0	0	0	0	0	0	0,4	0	0	0	0	0
Microondas	0	0	0	0,12	0,04	0	0	0,12	0,12	0	0,12	0,12
Aspirador	0	0	0	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0
Televisión	0,078	0	0	0	0,039	0	0	0,156	0,156	0	0,195	0,312
Portátiles	0	0	0	0	0,045	0	0	0	0,135	0,27	0,18	0,09
<b>Pequeños electrodomésticos</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cafetera	0	0	0	0,029	0	0	0	0,029	0	0	0	0
Secador	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,154	0
Tostadora	0	0	0	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0
DVD	0	0	0	0	0	0	0	0,00892 8571	0	0	0	0,009
Consola	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,195	0	0
Batidora	0	0	0	0	0	0	0,007	0	0	0	0	0
Cargador teléfono móvil	0,019	0,038	0,038	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Módem	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024
Teléfono Inalámbrico	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Reloj	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Radio	0	0	0	0,05	0,05	0	0	0	0	0	0	0
<b>Vitrocerámica / Cocina Eléctrica</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fogón Grande	0	0	0	0	0	0	1,875	0	0	0	0	0
Fogón Mediano 1	0	0	0	0	0	0	0,75	0	0	0	0	0
Fogón Mediano 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,75	0
Fogón Pequeño	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,225	0
Freidora	0	0	0	0	0	0	0,3	0	0	0	0,3	0
Campana Extractora	0	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0,125	0
<b>Frigorífico-Congelador</b>	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067
Lavavajillas	0	0	0	0	0	0	0	0	0,799	0	0	0
Lavadora	0	0	0	0	0	0,647	0	0	0	0	0	0
Secadora	0	0	0	0	0	0	0	0,607	0	0	0	0
Plancha	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,428	0	0
PC + TFT	0	0	0	0,16	0	0	0	0	0	0,64	0,32	0
<b>Calefacción eléctrica</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Radiadores eléctrica	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>SALON</b>	0	0	0	0	0	0	0	1,95	1,95	1,95	1,95	0
<b>DORMITORIOS</b>	0	0	0	1,56	1,04	0	0	2,08	0	2,08	2,6	1,04
<b>BAÑOS</b>	0	0	0	0,325	0,325	0	0	0	0	0,65	0,65	0
Bomba de calor	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Acumuladores	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Aire acondicionado</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Stand By	0,123	0,123	0,123	0,123	0,1238	0,123	0,123	0,123	0,123	0,123	0,123	0,123
Impresora-Escáner	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,008	0	0
<b>TOTAL</b>	0,841	1,713	1,713	3,736	2,31	1,302	3,936	5,396	4,835	8,244	8,997	2,969
	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24

Tabla 10. Caso Base Vivienda: consumo energético por equipo. Fuente: elaboración propia.



En la tabla 10 se puede apreciar la distribución del consumo energético por intervalos. Para ello se ha realizado una estimación de la distribución horaria del funcionamiento de los equipos, dando como resultado un balance energético sin la aplicación de la GAD acorde a los hábitos de consumo en el hogar. Además de los valores numéricos se ha mostrado la evolución del consumo a través de una gama de colores con el objetivo de poder mostrarlo de una manera más intuitiva. En ella las celdas del color azul equivalen a una potencia consumida, por el equipo, nula o muy reducida, mientras que según se aproxima a la gama de colores de los rojos de forma ascendente implica que el consumo es superior. De esta forma se puede analizar con mayor facilidad los equipos cuyo consumo es mayor y gracias a ello comprobar los elementos en los que sería más relevante aplicar las medidas de la GAD.

Además, en la tabla 10 se puede constatar que el mayor consumo energético es producido por la calefacción eléctrica. El consumo de la misma es muy elevado por lo que se aconsejaría realizar otro estudio adicional para comprobar el tipo de calefacción que le interesaría más al cliente; si por bomba de calor, caldera de gas natural, radiadores eléctricos o cualquier otro tipo de sistema de calefacción. En este estudio se ha supuesto que la calefacción es eléctrica ya que se ha querido analizar una vivienda con la mayor cantidad de demanda eléctrica posible.

A continuación se muestra en la figura 32 una gráfica sobre la evolución de la demanda eléctrica de la vivienda propuesta a lo largo de las 24h de un día, para de este modo poder analizar su comportamiento.

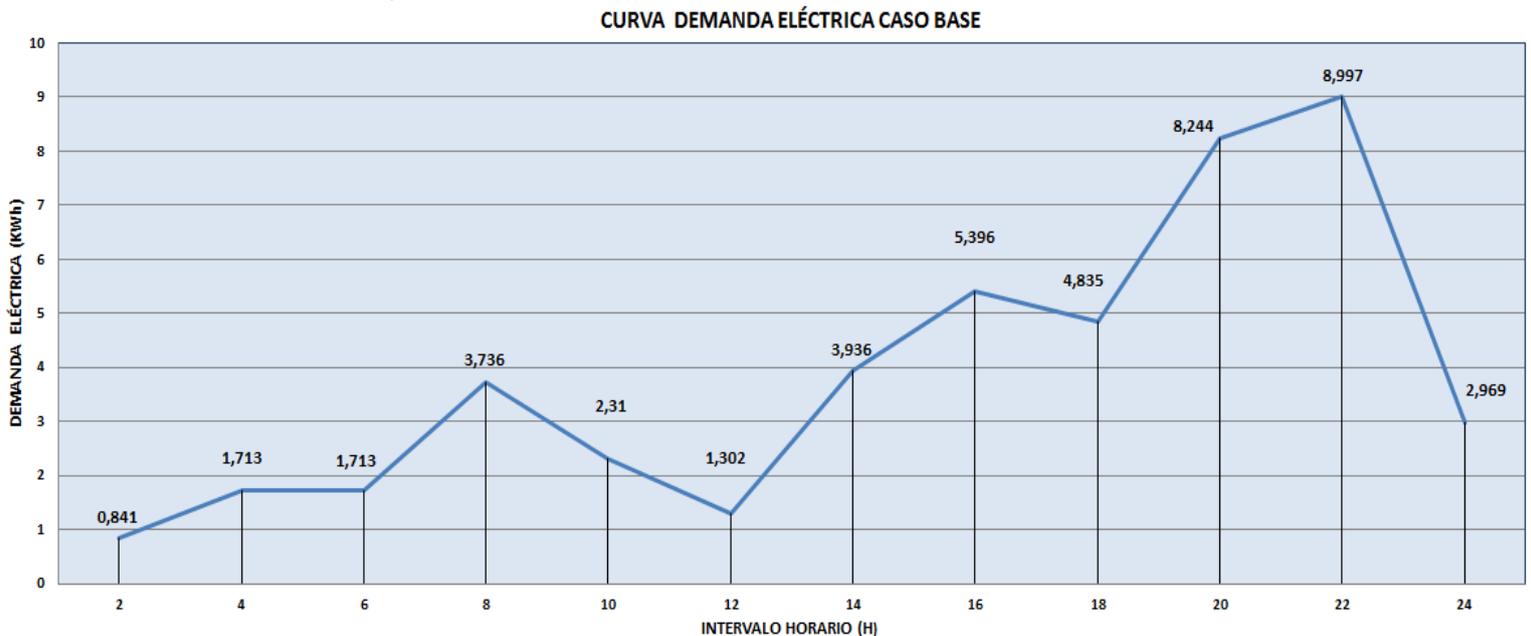


Figura 32. Caso base vivienda: Curva demanda eléctrica. Fuente: elaboración propia.

A través de la figura 32 se puede comprobar que el rasgo principal de la curva es que la demanda eléctrica no es homogénea sino que presenta picos y valles de consumo, habiendo una gran diferencia entre el periodo más bajo (0,841 kWh) y el más alto de consumo (8,997 kWh). Estas grandes diferencias entre el consumo máximo y mínimo hacen que el sistema eléctrico en su conjunto sea menos eficiente, como se mostró en el apartado "4. Demanda eléctrica". Una de las principales conclusiones que se puede obtener de este caso de estudio, es que la demanda eléctrica depende fundamentalmente de la ocupación del hogar. Esta ocupación empieza a aumentar según las hipótesis consideradas, a partir de las



## Trabajo fin de grado: GESTIÓN ACTIVA DE LA DEMANDA EN EL SECTOR RESIDENCIAL. ESTADO DEL ARTE DE LOS PROYECTOS EN CURSO

18:00 hasta las 22:00 horas, periodo en el cual se produce el pico de consumo y tras el cual la demanda disminuye, ya que los habitantes del hogar comienzan a acostarse, hasta llegar al valle de consumo que se produce fundamentalmente durante las horas nocturnas.

Se puede comprobar que a partir de las 6:00 horas la demanda comienza a aumentar como consecuencia del comienzo del funcionamiento de los radiadores eléctricos. Estos se activan a esta hora para calentar los baños y las habitaciones para que de este modo a las 7:00, cuando se comiencen a despertar los habitantes (lo que supondrá que se empiece a demandar adicionalmente energía para la iluminación de baños, cocina y dormitorios) las habitaciones se encuentren a una temperatura óptima para el confort de las personas.

A partir de las 8:00-9:00 de la mañana comienza a disminuir la demanda debido a la disminución de la ocupación del hogar, comenzando a aumentar de nuevo a las 12:00, ya que a partir de esta hora se comienza a preparar la comida. El descenso producido entre las 16:00 y las 18:00 es consecuencia de que hay habitantes del hogar que se vuelven a marchar del mismo, pero se puede comprobar que tras este periodo el crecimiento empieza a ser más o menos lineal, como se ha mostrado al comienzo del análisis de la figura 32.

Un aspecto que puede considerarse anómalo es que el consumo en los periodos de 2:00-4:00 y de 4:00-6:00 la demanda eléctrica es mayor que en el periodo de 10:00-12:00. Esto sucede ya que se ha considerado que el termo eléctrico, cuyo consumo es elevado, se enciende entre las 3:00 y las 5:00, mientras que en el periodo de 10:00 a 12:00 no se produce demanda ni por parte de los radiadores ni por parte del termo eléctrico (que son los dos elementos con mayor consumo) y por ello su consumo es inferior.

Otro aspecto que se ha tenido en cuenta en el estudio es el importe económico de la factura eléctrica en relación a las tarifas eléctricas existentes en el mercado eléctrico español. A través de este estudio se puede determinar qué tarifa le conviene contratar al cliente para que obtenga el mayor ahorro posible en su consumo.

Las tarifas que se han contemplado en el estudio son la TUR sin discriminación horaria (B), en la cual se aplica un único precio por kWh consumido, y la TUR con discriminación horaria en tres periodos (A) que en función del periodo en el que se consuma energía se le aplica un precio al kWh consumido u otro.



A		B
TUR con discriminación horaria en tres periodos		TUR sin discriminación horaria
Período	Punta	0,138658 €
13-23h	0,167558 €	
Período	Valle	
1-7h	0,049695 €	
Período	Llano	
23-1h	0,06946 €	
7-13h	0,06946 €	

Tabla 11. Tarifas TUR mercado eléctrico español. Fuente: elaboración propia. Datos Iberdrola.

El precio en euros (€) corresponde al precio en términos de energía por kWh.



Figura 33. Horario periodos TUR con discriminación horaria en tres periodos tarifarios. Fuente: HC-energía [22]

Como se quiere reflejar en la figura 33, en la tarifa con discriminación horaria se diferencian tres periodos (en España también se puede contratar una tarifa con discriminación horaria en dos periodos, pero se ha considerado que era más adecuado realizar la comparación entre la TUR sin discriminación horaria y la TUR con discriminación horaria en tres periodos, ya que con esta última se favorecen más las medidas tomadas con la GAD). Estos tres periodos se ajustan a los periodos de consumo más reducido o valle, al periodo con consumo moderado o llano y al consumo elevado o punta, siendo el precio más elevado en los periodos con mayor demanda, como se ha reflejado en la tabla 11, favoreciendo de este modo el consumo de energía eléctrica en el periodo comprendido entre la 1:00 y las 7:00 (periodo valle) y perjudicándolo entre las 13:00 y las 23:00 horas (periodo punta).



Trabajo fin de grado: GESTIÓN ACTIVA DE LA DEMANDA EN EL SECTOR RESIDENCIAL.  
ESTADO DEL ARTE DE LOS PROYECTOS EN CURSO

A continuación se muestra el consumo de energía mensual en kWh, así como el coste mensual que este consumo implica en la factura eléctrica, diferenciando ambas tarifas. Además se muestra el consumo diario en kWh, y el coste en € que supone, en cada intervalo.

A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total Mensual
Energía (KWh)	↓ 0,421	↓ 0,421	↘ 0,856	↘ 0,856	↘ 0,856	↘ 0,856	↑ 1,868	↑ 1,868	↔ 1,155	↔ 1,155	↓ 0,651	↓ 0,651	348,421
Coste (€)	0,03 €	0,02 €	0,04 €	0,04 €	0,04 €	0,04 €	0,09 €	0,13 €	0,08 €	0,08 €	0,05 €	0,05 €	20,81 €
A	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Energía (KWh)	↓ 1,968	↓ 1,968	↔ 2,698	↔ 2,698	↘ 2,417	↘ 2,417	↑ 4,122	↑ 4,122	↑ 4,499	↑ 4,499	↓ 1,485	↓ 1,485	1031,333
Coste (€)	0,14 €	0,33 €	0,45 €	0,45 €	0,41 €	0,41 €	0,69 €	0,69 €	0,75 €	0,75 €	0,25 €	0,10 €	162,65 €
													183,46 €

**Tabla 12. Caso base vivienda: Estudio económico y evolución energética horaria tarifa A con discriminación horaria. Fuente: elaboración propia.**

En la tabla 12 se aprecia que se ha dividido el día de estudio en 24 periodos. Esto se debe a que hay periodos en los que coinciden dos tarifas diferentes y como consecuencia de ello se ha considerado dividir el día en 24 periodos, dividiendo el consumo que se producía anteriormente en los periodos de dos horas en los dos nuevos periodos de una hora de manera equitativa.

B	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	Total Mensual
Energía (KWh)	↓ 0,841	↓ 1,713	↓ 1,713	↘ 3,735	↓ 2,310	↓ 1,302	↘ 3,936	↔ 5,396	↔ 4,835	↑ 8,244	↑ 8,997	↘ 2,969	1379,754
Coste (€)	0,12 €	0,24 €	0,24 €	0,52 €	0,32 €	0,18 €	0,55 €	0,75 €	0,67 €	1,14 €	1,25 €	0,41 €	191,31 €

**Tabla 13. Caso base vivienda: Estudio económico y evolución energética horaria tarifa B sin discriminación horaria. Fuente: elaboración propia.**

Por su parte, en la tabla 13, al no haber discriminación horaria y ser durante todos los periodos el mismo coste por kWh, no ha sido necesario dividir el día en 24 periodos, permaneciendo los doce periodos iniciales del estudio.

Como se aprecia en el estudio económico, elegir una tarifa u otra supone una diferencia económica en el coste de la factura eléctrica, que a la larga puede suponer un ahorro significativo y por ello es un aspecto a tener en cuenta y que adquiere un papel importante a la hora de aplicar el GAD.

En el caso base (sin aplicación de la GAD) se aprecia que la factura eléctrica es inferior en el caso de contratar la TUR con discriminación horaria, exactamente 7,85 € al mes. Este ahorro, a pesar de ser significativo, no es elevado ya que en el caso base no se han tomado ninguna medida de GAD y como consecuencia de ello hay consumos que se centran en los periodos en los que la demanda global del sistema es mayor, periodo en el que la TUR con discriminación horaria penaliza el consumo de energía y debido a ello el valor de la factura eléctrica comparando una tarifa y otra no adquiere grandes diferencias, como se verá en el caso de estudio de la aplicación de las medidas de la GAD



### Caso con aplicación de la GAD en el hogar

Tras comprobar el consumo del hogar del caso base, se procederá a aplicar la GAD en el mismo, comprobando lo que esta implica en el consumo eléctrico de la residencia.

La primera medida tomada es la adquisición de ciertos electrodomésticos con una mayor eficiencia energética, para de este modo poder reducir el consumo. Los elementos que se han escogido para ser sustituidos son aquellos cuyo consumo y utilización es mayor, que son los siguientes:

- **Vitrocerámica:** se ha cambiado una vitrocerámica convencional por una de inducción, ya que aunque la potencia es mayor en las vitrocerámicas de inducción, el tiempo de cocinado se reduce notablemente (alrededor de una hora menos al día), por lo que el consumo total es inferior.
- **El lavavajillas, secadora, lavadora y el frigorífico-congelador:** se han sustituido por electrodomésticos con mayor eficiencia energética (A<sup>+++</sup> o A<sup>++</sup>), ya que supone un ahorro de aproximadamente el 50%, respecto a los electrodomésticos anteriores.
- Por último se ha procedido a la sustitución de las diferentes **bombillas**, por unas bombillas tipo LED, ya que su potencia es únicamente de 6 W, mientras que las anteriores bombillas eran de 60 W.
- No se ha procedido ni a la sustitución de la **calefacción eléctrica** ni a la del **termo eléctrico**, ya que la inversión necesaria para su sustitución es muy elevada y no se conseguiría reducir prácticamente el consumo. A pesar de ello sí que se han tomado diversas medidas con ambos elementos que se mostrarán más adelante.

En la tabla 14 se muestran los equipos presentes en la vivienda, marcándose en verde aquellos elementos en los que se ha aplicado la GAD y el valor económico de aquellos elementos que se ha considerado sustituir por otros de mayor eficiencia. Estos precios variarán en función del electrodoméstico que se quiera adquirir, dependiendo fundamentalmente este valor de la eficiencia energética del electrodoméstico y del fabricante. Los datos obtenidos se han tomado de las referencias bibliográficas [19] y [20]

Equipo	INVERSIÓN
Iluminación	75,00 €
Termo eléctrico 150L	
Horno eléctrico	
Microondas	
Aspirador	
Televisión	
Portátiles	
Pequeños electrodomésticos	
Vitrocerámica / Cocina Eléctrica	679,00 €
Freidora	
Campana Extractora	
Frigorífico-Congelador A+++	1.200,00 €
Lavavajillas A+++	529,00 €
Lavadora A+++	409,00 €
Secadora A++	1.049,00 €
Plancha	
PC + TFT	
Calefacción eléctrica	
Stand By	
Impresora-Escáner	
	INVERSIÓN TOTAL
	3.941,00 €

Tabla 14. Caso GAD vivienda. Modificaciones y costes de adquisición. Fuente: elaboración propia. Datos de proveedores: BOSCH y FAGOR.



## Trabajo fin de grado: GESTIÓN ACTIVA DE LA DEMANDA EN EL SECTOR RESIDENCIAL. ESTADO DEL ARTE DE LOS PROYECTOS EN CURSO

Se podrían haber sustituido más elementos como el horno, pero no se ha realizado ya que no se ha considerado necesario porque su utilización no es muy elevada y como consecuencia de ello el consumo total no se vería influido. Otro elemento cuya sustitución habría sido posible es la de los ordenadores de sobremesa por ordenadores portátiles ya que estos pueden llegar a consumir un 85% menos que uno de sobremesa. Sin embargo su efecto en la demanda de un hogar no es tan significativo como puede ser en una oficina. La sustitución por nuevos electrodomésticos variará en función del presupuesto disponible, debido a que por ejemplo el ahorro que supone la adquisición de una secadora más eficiente no es muy elevado ya que su uso a lo largo del año no es tan elevado como la de otros electrodomésticos como pueden ser la lavadora o el lavavajillas y sin embargo sí que supone una inversión significativa (1049 €).

A la hora de aplicar la GAD, aquellos consumos considerados como puntuales no se han modificado ya que afectaría al confort de los residentes del hogar.

En cuanto a las medidas tomadas destacan:

- Desplazamiento del consumo del **lavavajillas, lavadora y secadora** a horas nocturnas en las que la demanda eléctrica y el precio de la electricidad es inferior.
- Reducción del consumo de los **radiadores** eléctricos y desplazamiento de su consumo, haciendo que el confort sea el adecuado pero realizando el menor consumo posible. Para ello se utilizarán termostatos a través de los cuales se ajustaran a la temperatura deseada en el hogar, y se procederá a la conexión y desconexión de la calefacción en los horarios señalados en la tabla 15. La temperatura entre las que se regula el termostato se ha reducido aproximadamente un grado, por lo que es necesario que funcione durante menos tiempo, reduciéndose una hora el periodo de conexión, respecto al caso base, de los radiadores en los baños, dormitorios y salón, ya que se ha considerado que estas medidas no afectan al confort de las personas que viven en la vivienda.
- Desplazamiento del consumo del termo eléctrico a periodos con menor demanda eléctrica, evitando su consumo durante el periodo de mayor demanda comprendido entre las 13:00 y las 23:00 horas.
- En cuanto a la iluminación no se ha tomado ninguna medida (excepto la de instalar bombillas LED), ya que se considera como un consumo puntual. A pesar de ello se pueden realizar las ya mencionadas campañas de concienciación que intenten evitar el dejar habitaciones que no estén siendo utilizadas iluminadas, por lo que se podría reducir el consumo, pero esta reducción no se ha tenido en cuenta en el estudio.
- En el caso del *stand-by* se ha estimado que la GAD permitirá reducir el mismo a un valor de aproximadamente el 3% del consumo total, ya que se aplicaran medidas en la que se evite tener electrodomésticos en modo *stand-by*, fundamentalmente durante las horas nocturnas. La principal medida para la reducción de este consumo será la instalación de los enchufes inteligentes, que se desconecten cuando el electrodoméstico en cuestión no esté siendo utilizado.

Una vez adquiridos los nuevos electrodomésticos eficientes y con las medidas mostradas anteriormente, se obtiene una nueva distribución horaria del consumo de energía del hogar más óptima que la que se obtenía en el caso base. Esta nueva distribución se muestra en la tabla 15 que se puede ver en la siguiente hoja.



Trabajo fin de grado: GESTIÓN ACTIVA DE LA DEMANDA EN EL SECTOR RESIDENCIAL.  
ESTADO DEL ARTE DE LOS PROYECTOS EN CURSO

**CASO GAD VIVIENDA**

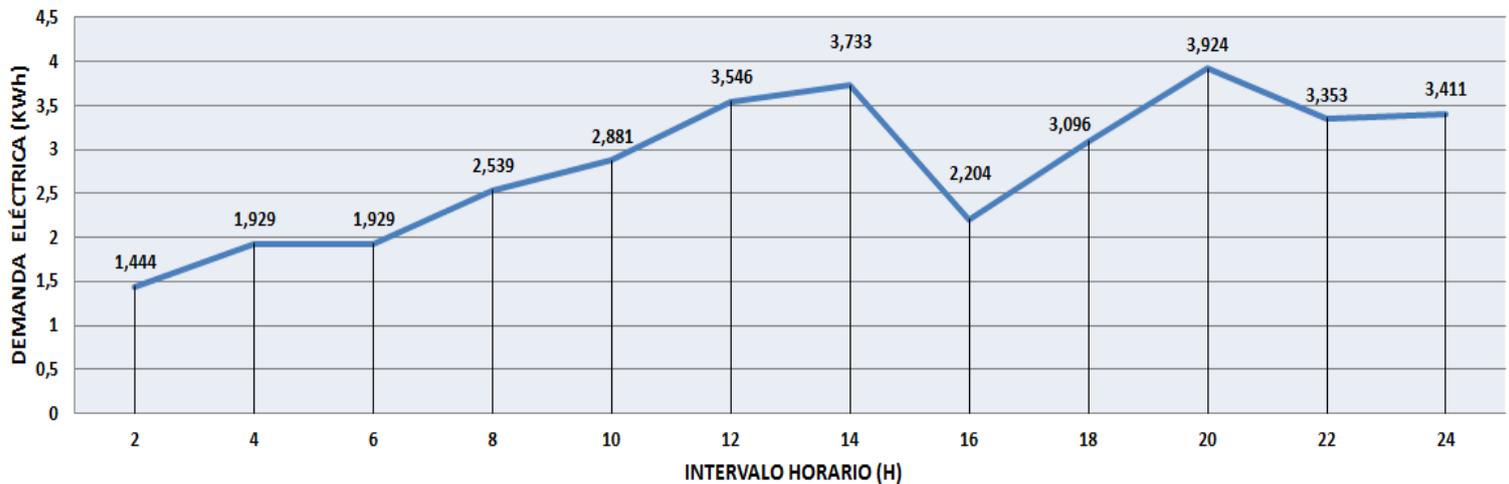
Equipo	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24
<b>Iluminación</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Salón	0,015	0	0	0	0	0	0	0	0	0,015	0,06	0,06
Cocina	0	0	0	0,004	0,004	0	0	0,009	0	0,009	0,018	0
Dormitorios	0,015	0	0	0,06	0,03	0	0	0	0	0	0,015	0,03
Baños	0,005	0	0	0,027	0,004	0	0	0	0	0,004	0,007	0,007
Zonas transitables	0,003	0	0	0,007	0,003	0	0	0	0	0,007	0,007	0,007
<b>Termo eléctrico 150L</b>	0	1,65	1,65	0	0	0,99	0	0,99	0	0	0	0
Horno eléctrico	0	0	0	0	0	0	0,4	0	0	0	0	0
Microondas	0	0	0	0,12	0,04	0	0	0,12	0,12	0	0,12	0,12
Aspirador	0	0	0	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0
Televisión	0,078	0	0	0	0,039	0	0	0,156	0,156	0	0,195	0,312
Portátiles	0	0	0	0	0,045	0	0	0	0,135	0,27	0,18	0,09
<b>Pequeños electrodomésticos</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cafetera	0	0	0	0,029	0	0	0	0,029	0	0	0	0
Secador	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,154	0
Tostadora	0	0	0	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0
DVD	0	0	0	0	0	0	0	0,009	0	0	0	0,009
Consola	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,195	0	0
Batidora	0	0	0	0	0	0	0,007	0	0	0	0	0
Cargador teléfono móvil	0,019	0,038	0,038	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Módem	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024
Teléfono inalámbrico	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Reloj	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Radio	0	0	0	0,05	0,05	0	0	0	0	0	0	0
<b>Vitrocerámica / Cocina Eléctrica</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fogón Grande	0	0	0	0	0	0	1,12	0	0	0	0	0
Fogón Mediano 1	0	0	0	0	0	0	0,44	0	0	0	0	0
Fogón Mediano 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,36	0
Fogón Pequeño	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,21	0
Freidora	0	0	0	0	0	0	0,3	0	0	0	0,3	0
Campana Extractora	0	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0,125	0
<b>Frigorífico-Congelador</b>	0,034	0,034	0,0345	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034
Lavavajillas	0,611	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lavadora	0,455	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Secadora	0	0	0	0	0,40972 2222	0	0	0	0	0	0	0
Plancha	0	0	0	0	0	0	0	0	0,428571429	0	0	0
PC + TFT	0	0	0	0,16	0	0	0	0	0	0,64	0,32	0
<b>Calefacción eléctrica</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Radiadores eléctrica	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>SALON</b>	0	0	0	0	0,975	0,975	0,975	0	0,975	0,975	0	0,975
<b>DORMITORIOS</b>	0	0	0	1,04	1,04	1,04	0	0	1,04	1,56	1,04	1,56
<b>BAÑOS</b>	0	0	0	0,65	0	0	0	0,65	0	0	0	0
Bomba de calor	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Acumuladores	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aire acondicionado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Stand By	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043
Impresora-Escáner	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,008	0	0
	1,444	1,929	1,929	2,539	2,881	3,546	3,733	2,204	3,096	3,924	3,353	3,411
	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24

Tabla 15. Caso GAD Vivienda: consumo energético por equipo. Fuente: elaboración propia



Como se puede apreciar en la tabla 15, se ha conseguido establecer una distribución más equilibrada del consumo del hogar, lo que permite favorecer al sistema eléctrico al rellenar las horas valle del periodo nocturno con el desplazamiento de diversos consumos. A pesar de ello y como ya se ha comentado antes, hay consumos que se consideran como puntuales que no se han podido desplazar ya que afectarían al confort del usuario. Como consecuencia de ello la estructura de la curva sigue manteniendo una forma similar, pero con la diferencia de que en este caso el pico de consumo es considerablemente inferior al del caso base (8,997 kWh). Se ha reducido prácticamente un 60% hasta un valor de 3,924 kWh, como se puede comprobar en la figura 34, en la que se refleja la curva de la demanda eléctrica del mismo hogar una vez se han aplicado las medidas de la GAD.

**CURVA DEMANDA ELÉCTRICA CASO GAD**



**Figura34. Caso GAD vivienda: Curva demanda eléctrica. Fuente: elaboración propia**

Como se mencionó con anterioridad estas medidas, de desplazamientos de consumos, guardan una estrecha relación con la tarifa TUR con discriminación horaria (Tarifa A), ya que esta beneficia los consumos en estos periodos de baja demanda.

A pesar de la aplicación de la GAD, el consumo nocturno sigue sin ser elevado, aunque se haya aumentado un poco al desplazar, por ejemplo, el consumo de la lavadora o el lavavajillas a estos periodos. Es decir, a pesar de que se desplacen los consumos que no sean considerados como puntuales a las horas nocturnas, no se va a conseguir que la demanda sea igual que durante las horas diurnas, ya que no sería adecuado proceder a poner en funcionamiento elementos como la calefacción eléctrica por el simple hecho de desear que la demanda eléctrica nocturna sea superior. Este consumo sería inútil, ya que el calentamiento de la casa durante las horas nocturnas no supondría ningún beneficio para el cliente (pues el aislamiento de los hogares no permite que la temperatura se mantenga durante largos periodos de tiempo), únicamente un gasto innecesario.

En este caso, la aplicación de una tarifa u otra (TUR con o sin discriminación horaria) cobra gran importancia, ya que supone un ahorro significativo en la factura eléctrica. En el caso de la aplicación de la GAD, la tarifa que más conviene al cliente es la TUR con discriminación horaria, dado que como se ha mencionado anteriormente esta favorece el desplazamiento del consumo a las horas en las que la demanda es inferior, que coincide con las medidas tomadas en este caso.



Trabajo fin de grado: GESTIÓN ACTIVA DE LA DEMANDA EN EL SECTOR RESIDENCIAL.  
ESTADO DEL ARTE DE LOS PROYECTOS EN CURSO

En las tablas 16 y 17, se muestra el coste de la energía mensual en función de la tarifa contratada por el usuario, después de haber aplicado las medidas de la GAD.

A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total Mensual
Energía (KWh)	↓ 0,722	↓ 0,722	↓ 0,965	↓ 0,965	↓ 0,965	↓ 0,965	↓ 1,269	↓ 1,269	↗ 1,441	↗ 1,441	↗ 1,773	↗ 1,773	428,078
Coste (€)	0,05 €	0,04 €	0,05 €	0,05 €	0,05 €	0,05 €	0,06 €	0,09 €	0,10 €	0,10 €	0,12 €	0,12 €	26,27 €
A	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Energía (KWh)	↑ 1,867	↑ 1,867	↓ 1,102	↓ 1,102	↔ 1,548	↔ 1,548	↑ 1,962	↑ 1,962	↗ 1,676	↗ 1,676	↗ 1,706	↗ 1,706	591,619
Coste (€)	0,13 €	0,31 €	0,18 €	0,18 €	0,26 €	0,26 €	0,33 €	0,33 €	0,28 €	0,28 €	0,29 €	0,12 €	88,62 €
													114,88 €

Tabla 16. Caso GAD vivienda: Estudio económico y evolución energética horaria tarifa A con discriminación horaria. Fuente: elaboración propia.

B	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	Total Mensual
Energía (KWh)	↘ 1,444	↘ 1,929	↘ 1,929	↔ 2,539	↗ 2,881	↑ 3,546	↑ 3,733	↔ 2,204	↗ 3,096	↑ 3,924	↑ 3,353	↑ 3,411	1019,697
Coste (€)	0,20 €	0,27 €	0,27 €	0,35 €	0,40 €	0,49 €	0,52 €	0,31 €	0,43 €	0,54 €	0,46 €	0,47 €	141,39 €

Tabla 17. Caso GAD vivienda: Estudio económico y evolución energética horaria tarifa B sin discriminación horaria. Fuente: elaboración propia.

Como se puede comprobar en las tablas 16 y 17, adoptando la tarifa A con discriminación horaria se consigue un ahorro adicional de 26,51 € al mes. Este ahorro hay que sumárselo al ahorro que se ha conseguido respecto al caso base por las medidas adoptadas, obteniendo un ahorro total de 68,58 € mensuales, como se muestra en la tabla 18.

Por último, se muestra en la tabla 18 el ahorro energético y económico que ha supuesto la aplicación de la GAD en el hogar del estudio. Además se muestra el tiempo estimado de amortización de la inversión realizada. Este valor es estimativo ya que el consumo no es constante a lo largo de todos los meses del año, a lo que hay que añadir que el precio del kWh puede sufrir variaciones.

RESUMEN ECONÓMICO Y ENERGÉTICO			
AHORRO ECONÓMICO	INVERSIÓN INICIAL (€)	COSTE FINAL FACTURA ELÉCTRICA	AHORRO ENERGÉTICO
37%	3.941,00 €	114,88 €	26%

Tabla 18. Resumen económico del modelo después de aplicar la GAD. Fuente: elaboración propia.

Ahorro mensual respecto al caso base
68,58 €
TIEMPO DE AMORTIZACIÓN (meses)
57

Tabla 19. Ahorro mensual respecto al caso base y tiempo de amortización. Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar con la implementación de la GAD, se ha conseguido reducir notablemente el consumo y el coste económico que el cliente tiene que pagar por la energía eléctrica demandada. A esto hay que sumarle que gracias a la aplicación de la GAD se consigue beneficiar al sistema, intentando conseguir de este modo una curva de la demanda eléctrica global lo más homogénea posible.



Trabajo fin de grado: GESTIÓN ACTIVA DE LA DEMANDA EN EL SECTOR RESIDENCIAL.  
ESTADO DEL ARTE DE LOS PROYECTOS EN CURSO

Como se puede ver en la tabla 19, la amortización es un poco elevada, concretamente de 57 meses (4 años y 9 meses). Se puede reducir en el caso de que se adquieran menos electrodomésticos eficientes. El ejemplo más significativo que se podría desestimar es el de la secadora, cuya inversión ha sido de 1049€ (supone más del 25% de la inversión) y el ahorro energético que supone no es muy significativo ya que su uso no es muy elevado.

En el caso de no sustituir la secadora y mantener la secadora del caso BASE la factura eléctrica y el consumo aumentarían un poco, como se muestra en la tabla 20.

A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total Mensual
Energía (KWh) ↓	0,722	0,722	0,965	0,965	0,965	0,965	1,269	1,269	1,540	1,540	1,773	1,773	434,016
Coste (€)	0,05 €	0,04 €	0,05 €	0,05 €	0,05 €	0,05 €	0,06 €	0,09 €	0,11 €	0,11 €	0,12 €	0,12 €	26,68 €
A	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Energía (KWh) ↑	1,867	1,867	1,102	1,102	1,548	1,548	1,962	1,962	1,676	1,676	1,706	1,706	591,619
Coste (€)	0,13 €	0,31 €	0,18 €	0,18 €	0,26 €	0,26 €	0,33 €	0,33 €	0,28 €	0,28 €	0,29 €	0,12 €	88,62 €
													115,30 €

Tabla 20. Caso GAD vivienda: Estudio económico y evolución energética horaria tarifa A con discriminación horaria, desestimando la adquisición de una secadora eficiente. Fuente: elaboración propia.

Como se puede ver en la tabla 20, el coste aumenta un valor muy reducido: de 114,88€ (tabla 16) a un valor de 115,30€ al mes, es decir la sustitución de la secadora supone un ahorro económico de 0,42 € mensuales en la factura mientras que el consumo en el periodo de 8:00 a 10:00 horas (que es en el periodo en el que la secadora está funcionando) se ha visto incrementado en 0,198 kWh diarios. Este ahorro no es significativo en comparación al que se consigue al aplicar las medidas de GAD y a la instalación de otros elementos eficientes cuyo consumo es superior.

A estas conclusiones obtenidas de la desestimación de la adquisición de una nueva secadora más eficiente, hay que añadir el nuevo resumen económico y energético, y el ahorro mensual que supone respecto al caso base, así como el tiempo de amortización necesario.

RESUMEN ECONÓMICO Y ENERGÉTICO			
AHORRO ECONÓMICO	INVERSIÓN INICIAL (€)	COSTE FINAL FACTURA ELÉCTRICA	AHORRO ENERGÉTICO
37%	2.892,00 €	115,30 €	26%

Tabla 21. Resumen económico del modelo después de aplicar la GAD, desestimando la adquisición de una secadora eficiente. Fuente: elaboración propia

Ahorro mensual respecto al caso base
68,16 €
TIEMPO DE AMORTIZACIÓN (meses)
42

Tabla 22. Ahorro mensual respecto al caso base y tiempo de amortización, desestimando la adquisición de una secadora eficiente. Fuente: Elaboración propia



En las tablas 21 y 22 se muestran las conclusiones obtenidas anteriormente: el ahorro mensual obtenido se reduce de 68,58 € (valor mostrado en la tabla 19) a 68,16 €, es decir se reduce en los ya mencionados 0,42 € mensuales. Tanto el aumento en la factura como el aumento en el consumo son prácticamente despreciables, ya que como se muestra en la tabla 21 el ahorro energético y económico siguen siendo del 26% y del 37% respectivamente, respecto al caso base.

A todo ello hay que sumarle que la reducción de 57 meses a 42 meses del periodo de amortización sí que es un valor considerable, ya que se ha reducido este periodo en 15 meses (un año y tres meses) al desestimar la adquisición de la secadora.

Por último se quiere hacer una comparación entre las gráficas de la demanda eléctrica del hogar con y sin aplicación de la gestión activa de la demanda.

### CURVA CARACTERÍSTICA DEMANDA HOGAR-COMPARATIVA CASO BASE VS GAD



Figura 35. Comparación curvas características de la demanda caso base y caso GAD. Fuente: elaboración propia

Como se aprecia en la figura 35, tras adoptar las medidas indicadas de aplicación de la GAD se ha conseguido aumentar el consumo en las horas nocturnas y reducirlo considerablemente en los periodos en los que la demanda eléctrica era mayor. De este modo se ha conseguido una curva de la demanda eléctrica más homogénea, en la que la variación entre consumo máximo y mínimo no es tan elevada como sucedía anteriormente sin la aplicación de la GAD, confirmando de este modo las consecuencias positivas que implica la GAD en la curva de la demanda eléctrica.



### **Conclusiones del estudio**

Con este estudio se ha podido mostrar ampliamente las materias analizadas y los conocimientos obtenidos a lo largo del desarrollo del presente TFG.

Se muestra que la aplicación de medidas de GAD, favorecen tanto al sistema, reduciendo el consumo y desplazando estos a periodos con menor demanda, como al propio cliente, reduciendo considerablemente su factura eléctrica.

En contraposición se puede sacar una conclusión negativa, que es la inversión inicial necesaria para la adquisición de electrodomésticos con una mayor eficiencia y que estén dotados de una cierta inteligencia para poder ser programados por el cliente (o un operador externo) para que se activen en periodos nocturnos con menor demanda.

Como consecuencia de la situación de crisis económica actual de España lo que se plantea es realizar una adaptación progresiva a la GAD. Con esto se quiere decir que cuando sea necesario cambiar un electrodoméstico en un hogar, esta sustitución se produzca por otro con una eficiencia energética elevada. Sin embargo que un hogar no esté dotado con electrodomésticos eficientes no implica que no se puedan tomar ciertas medidas de GAD haciendo desplazamientos de consumo, así como la optimización de los mismos y consiguiendo de este modo la reducción de la demanda eléctrica del hogar y de la factura que debe pagar el cliente sin necesidad de hacer una inversión inicial significativa.



## **8. Conclusiones**

Se han cumplido los objetivos del proyecto del estudio del estado del arte de los proyectos en curso sobre la gestión activa de la demanda en el sector residencial. A través de ellos se han podido sacar experiencias y prácticas que permiten desplazar y reducir consumos en los hogares, mejorando la eficiencia del sistema eléctrico en su conjunto.

A través de los proyectos estudiados se han podido evaluar las diferentes ventajas e inconvenientes que conlleva la aplicación de la gestión activa de la demanda.

Se ha comprobado que la aplicación de esta gestión favorecerá la integración de las energías de origen renovable y de generación distribuida, así como la utilización de una forma más eficiente de las instalaciones actuales, consiguiendo de este modo tener una menor necesidad de ampliar el sistema eléctrico, ya que se conseguiría un mejor dimensionamiento del mismo, lo que también conlleva a una reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

A pesar de ello también se han podido sacar ciertas conclusiones no óptimas de la aplicación de la gestión activa de la demanda. La principal es una cierta disminución del confort del usuario cuya afección se está estudiando para reducirla lo mínimo posible hasta que sea nula. Otro gran inconveniente reside en la inversión inicial necesaria en los hogares para poder adaptarlos para la realización de la correcta gestión, inversión que sin embargo, con el paso del tiempo, se compensa con el ahorro energético que deriva de ella y como consecuencia de ello de la reducción de la factura eléctrica.

Por otro lado también es de resaltar la elaboración de una herramienta informática para poder simular casos de estudio y comprobar las conclusiones obtenidas, de los proyectos estudiados, en un caso real de un hogar. A través de este estudio se ha podido comprobar la considerable reducción de consumo energético tras la aplicación de la gestión activa de la demanda y de la compra de electrodomésticos más eficientes, así como la manera de poder hacer que este consumo sea lo más homogéneo posible a lo largo del día. Como principal inconveniente se ha podido comprobar que el periodo de amortización de los electrodomésticos es un poco elevado, debido a la alta inversión inicial, lo cual podría ser un gran inconveniente debido a la situación económica del país, si se deseara su aplicación en el corto plazo.

Desde el punto de vista personal este trabajo fin de grado me ha servido para introducirme en un campo novedoso y cuya importancia irá creciendo progresivamente debido a la reducción en el consumo y en las emisiones de gases de efecto invernadero que su implementación conlleva. También me ha servido para conocer en mayor profundidad el sistema eléctrico español y la demanda eléctrica, fundamentalmente en el sector residencial.

Por último, la realización del estudio de aplicación me ha servido para profundizar y comprender, con la aplicación en un caso real, lo investigado a lo largo de todo el TFG. El estudio también me ha servido para conocer el consumo de los diferentes electrodomésticos presentes en el hogar, viendo la gran cantidad de posibilidades para reducir y desplazar sus consumos y las consecuencias que ello implica, siendo muy gratificante comprobar que los resultados obtenidos eran los esperados.



## 9. Bibliografía

- [1] Página web de Red Eléctrica de España: <http://www.ree.es>  
Último acceso: Junio de 2013
- [2] Página web de la Comisión Nacional de la Energía <http://www.cne.es>  
Último acceso: abril de 2013
- [3] Página web del Ministerio de Industria, Energía y Turismo: <http://www.minetur.gob.es>  
Último acceso: Junio de 2013
- [4] Página web del Boletín Oficial del Estado <http://www.boe.es>  
Último acceso: Junio de 2013
- [5] Página web de Iberdrola S.A. <http://www.iberdrola.es>  
Último acceso: Abril de 2013
- [6] Página web de Endesa S.A.: <http://www.endesaonline.com>  
Último acceso: Abril de 2013
- [7] Página web del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE):  
<http://www.idae.es/>  
Último acceso: Mayo de 2013
- [8] Página web del Instituto Nacional de Estadística (INE): <http://www.ine.es/>  
Último acceso: Abril de 2013
- [9] Red Eléctrica de España. Avance Informe REE 2012. “El sistema Eléctrico español”. Año 2013. [http://www.ree.es/sistema\\_electrico/pdf/infosis/Inf\\_Sis\\_Elec\\_REE\\_2012.pdf](http://www.ree.es/sistema_electrico/pdf/infosis/Inf_Sis_Elec_REE_2012.pdf)  
Último acceso: Mayo de 2013
- [10] Ministerio de Industria, Energía y Turismo, IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), “PROYECTO SECH-SPAHOUSEC. Análisis del consumo energético del sector residencial en España.” Año 2011  
[http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos\\_Informe\\_SPAHOUSEC\\_ACC\\_f68291a3.pdf](http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_Informe_SPAHOUSEC_ACC_f68291a3.pdf)
- [11] Red Eléctrica de España, “Proyecto INDEL. Atlas de la Demanda Eléctrica Española”. Año 1998 [http://www.ree.es/sistema\\_electrico/pdf/indel/Atlas\\_INDEL\\_REE.pdf](http://www.ree.es/sistema_electrico/pdf/indel/Atlas_INDEL_REE.pdf)  
Último acceso: Junio de 2013
- [12] Página web del Operador del Mercado Eléctrico (OMEL): <http://www.omel.es>  
Último acceso: Mayo de 2013
- [13] Proyecto Fin de Carrera, Universidad Carlos III de Madrid, GESTIÓN ACTIVA DE LA DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA. Miguel Ángel Cerezo Moreno, Marzo de 2010.
- [14] Proyecto Fin de Carrera, Universidad Carlos III de Madrid, ESTADO SOBRE EL ESTADO ACTUAL DE LAS “SMART GRIDS”. Javier Lorente de la Rubia, Junio de 2011.



Trabajo fin de grado: GESTIÓN ACTIVA DE LA DEMANDA EN EL SECTOR RESIDENCIAL.  
ESTADO DEL ARTE DE LOS PROYECTOS EN CURSO

[15] Proyecto Fin de Carrera, Universidad Carlos III de Madrid, SISTEMA DE GESTIÓN DE DEMANDA DE INTERRUMPIBILIDAD. Juan Díaz Lagarcha, Abril de 2011.

[16] Adela Conchado, Pedro Linares, “GAD eléctrica doméstica, beneficios y costes”, Universidad Pontificia de Comillas.  
[http://gad.ite.es/docs/20100121\\_iit\\_comillas.pdf](http://gad.ite.es/docs/20100121_iit_comillas.pdf)  
Último acceso: Enero de 2013

[17] Apuntes de la asignatura “Regulación de Sistemas Eléctricos” impartida por el Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid (Curso 2012-2013)

[18] Apuntes de la asignatura “Gestión de Redes Eléctricas” impartida por el Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid (Curso 2012-2013)

[19] Página web del proyecto GAD: <http://www.proyectogad.com/>  
Último acceso: Diciembre de 2012

[20] Informe Proyecto OSPP  
<http://www.centerpointenergy.com/staticfiles/CNP/Common/SiteAssets/doc/OSPP%20Final%20Report%20-%20Final070726.pdf>  
Último acceso: Junio 2013

[21] Página web del Proyecto SmartHouse-SmartGrid: <http://www.smarthouse-smartgrid.eu/>  
Último acceso: Mayo de 2012

[22] Página web del Proyecto ADDRESS.: <http://www.addressfp7.org/>  
Último acceso: Febrero de 2013

[23] Página web de BOSCH electrodomésticos: <http://www.bosch-home.es/>  
Último acceso: Junio de 2013

[24] Página web de FAGOR electrodomésticos, S.Coop: <http://www.fagor.com>  
Último acceso: Junio de 2013

[25] Página web cálculo consumo electrodomésticos: <http://www.electrocalculator.com/>  
Último acceso: Junio de 2013

[26] Página web HC Energía S.A.: <http://www.hcenergia.com/es/>  
Último acceso: Junio de 2013

[27] Comunidad de Madrid, “GUIA BÁSICA DE LA GESTIÓN DE LA DEMANDA ELÉCTRICA” Año 2007 <http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/guia-basica-de-la-gestion-de-la-demanda-energetica-fenercom.pdf>

[28] Página web Twenergy, Endesa S.: <http://twenergy.com/>  
Último acceso: Junio de 2013