

Proyecto Fin de Máster
Sistemas De Energía Eléctrica

“Gestión de la demanda eléctrica residencial.
Impacto económico y análisis de viabilidad de
cambio a receptores eficientes.”

Autora: Rocío González Galván
Tutor: Ángel Arcos

Dpto. Ingeniería Eléctrica
Escuela Técnica Superior
de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2019



“Gestión de la demanda eléctrica residencial. Impacto económico y análisis de viabilidad de cambio a receptores eficientes.”

Autora: Rocío González Galván
Tutor: Ángel Arcos

Sevilla, 2019.

RESUMEN

La presencia, cada vez mayor, de equipos de energía renovable en el sistema eléctrico conlleva la introducción de un alto grado de incertidumbre en la predicción de la producción de energía, debido a la dependencia de estos equipos con las condiciones meteorológicas. Ante esta situación, los programas de gestión de la demanda eléctrica se presentan como alternativa para satisfacer el balance entre generación y demanda en todo momento, lo que permitiría disminuir el sobredimensionamiento de la capacidad del parque eléctrico. Se pueden encontrar numerosos estudios enfocados en el análisis de diferentes programas de gestión de la demanda, tanto en la reducción del consumo eléctrico como en el desplazamiento de éste. Como principal novedad, en el presente estudio se muestra el impacto conjunto producido en la facturación eléctrica por tres aspectos diferenciados: las tarifas discriminatorias, el desplazamiento de parte del consumo y el uso de equipos más eficientes.

En este proyecto se analiza, desde un punto de vista económico, el papel del consumo residencial en España, el cual representa en torno al 30 % del consumo eléctrico total, en programas de gestión de la demanda. Se realizará un estudio del impacto que tendría la introducción de las tarifas con discriminación horaria en la facturación eléctrica, analizándose el potencial como señal económica de este tipo de tarifas para motivar a los consumidores a participar de forma activa en programas de gestión de la demanda. Adicionalmente se evalúa el impacto en la facturación eléctrica de la acción conjunta de la contratación de tarifas discriminatorias y el desplazamiento de parte del consumo por parte del consumidor. Por último, se analiza la viabilidad económica del cambio a equipos más eficientes y de menor consumo eléctrico.

ABSTRACT

The increasingly presence of renewable energy equipment in the electrical network brings a high degree of uncertainty when forecasting the energy production, due to the dependency of these equipment with the weather conditions. Given this situation, electricity demand management programs are presented as an alternative to meet the balance between generation and demand, which would reduce the capacity oversizing of the power generation park. Numerous studies can be found focused on the different demand management programs, analyzing both the reduction of electricity consumption and its shift from peak hour to valley hour. As novel aspect, the present study shows the joint impact produced in the electric bill by three different factors: discriminatory tariffs, the shift of part of the consumption and the use of more efficient equipment.

This project analyses the role of residential consumption in Spain, which represents around 30% of total electricity consumption, in demand management programs from an economic point of view. A study about the impact of introducing hourly discrimination tariffs on electricity bill will be made, analyzing its potential to motivate consumers to actively participate in demand management. In addition, the impact of the joint action of using discriminatory tariffs and the displacement of part of the consumption by the consumer on the electric bill is studied. Finally, the economic viability of reducing consumption by changing equipment to more efficient ones is discussed.

INDICE

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	1
2. ESTADO DEL ARTE	4
2.1. ROL DE LOS USUARIOS FINALES Y DE LA AUTOMATIZACIÓN DE VIVIENDAS.....	4
2.2. TÉCNICAS BÁSICAS DE GESTIÓN DE LA DEMANDA.....	7
2.3. REVISIÓN DE LA LITERATURA EXISTENTE.....	8
3. RETRIBUCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO ESPAÑOL	12
4. PRECIO VOLUNTARIO AL PEQUEÑO CONSUMIDOR (PVPC)	13
4.1. PVPC Y TARIFA DE ÚLTIMO RECURSO (TUR).....	13
4.2. MERCADO ELÉCTRICO.....	15
4.3. ESTRUCTURA TARIFARIA DE LOS COSTES DEL PVPC.....	18
4.4. EJEMPLO DE CÁLCULO DE LA FACTURACIÓN MENSUAL DE UN CLIENTE CON TARIFA PVPC SIN DISCRIMINACIÓN HORARIA.....	28
5. GESTIÓN DE LA DEMANDA POR PARTE DE LOS CONSUMIDORES	31
5.1. PERFIL DE CONSUMO.....	31
5.2. CONTADORES ELÉCTRICOS.....	33
5.3. DESAGREGACIÓN DEL CONSUMO RESIDENCIAL.....	38
6. PERIODO TARIFARIO ÓPTIMO SIN CAMBIO DE HÁBITOS DE CONSUMO	51
6.1. CONSUMIDOR CON UN PERFIL DE CARGA PROMEDIO PROPORCIONADO POR REE.....	51
6.2. CONSUMIDOR REAL.....	58
6.3. RESULTADOS DEL ESTUDIO PRESENTADO EN DYNA ENERGÍA Y SOSTENIBILIDAD.....	61
6.4. EJEMPLOS DE AHORROS ECONÓMICOS PARA DIFERENTES DISTRIBUCIONES DE CONSUMO.....	62
7. ESTRATEGIAS DE DESPLAZAMIENTO DE CONSUMO E INFLUENCIA EN LA FACTURA ELÉCTRICA	67
8. IMPACTO EN LA FACTURACIÓN ELÉCTRICA DE EQUIPOS MÁS EFICIENTES Y ANÁLISIS DE RENTABILIDAD	90
8.1. IMPACTO EN LA FACTURACIÓN ELÉCTRICA.....	90
8.2. ESTUDIO DE RENTABILIDAD DE LA SUSTITUCIÓN DE EQUIPOS ACTUALES POR LUMINARIAS MÁS EFICIENTE.....	104
8.3. COMPARATIVA DE INVERSIÓN EN EQUIPOS MÁS Y MENOS EFICIENTES FRENTE A ROTURA DE EQUIPOS ACTUALES.....	112
9. CONCLUSIONES Y LÍNEAS DE TRABAJO FUTURAS	117
10. BIBLIOGRAFIA	121

INDICE DE FIGURA

Figura 1. Evolución del consumo eléctrico.....	1
Figura 2. Precio de la electricidad para los consumidores domésticos (tasas incluidas).	1
Figura 3. Evolución de precios promedios por kWh para los tres tipos de tarifas.....	3
Figura 4. Ahorros promedio de electricidad de las viviendas dependiendo del tipo de información recibida.	5
Figura 5. Técnicas básicas de moldeado de las cargas.	7
Figura 6. Relación costes del sistema eléctrico y estructura tarifaria.	12
Figura 7. Evolución de los promedios trimestrales del mercado diario y subasta CESUR.....	14
Figura 8. Distribución de tipo de tarifa de acceso PVPC en 2018.	15
Figura 9. Ejemplo de curvas agregadas de demanda y oferta.	16
Figura 10. Sesiones del mercado intradiario.....	17
Figura 11. Box-plot de la distribución de los precios horarios del mercado diario en enero 2017.	20
Figura 12. Box-plot de la distribución de los precios horarios del mercado diario en Julio 2017.....	20
Figura 13. Izquierda, evolución horaria de los diferentes términos asociados a los costes de producción de energía. Derecha, Pesos de los términos de los costes CP_h para el día 1 de enero.	21
Figura 14. Izquierda, evolución horaria de los diferentes términos asociados a los costes de producción de energía. Derecha, Pesos de los términos de los costes CP_h en el cómputo global para el día 7 de julio.	21
Figura 15. Evolución de consumidores acogidos a peajes de acceso con discriminación horaria en mercado libre y comercializadoras de referencia.....	25
Figura 16. Perfil de consumo final promedio para el día 7 de Julio de 2017.	33
Figura 17. Perfil de consumo final promedio para el día 1 de enero de 2017.....	33
Figura 18. Esquema básico de contador eléctrico.....	34
Figura 19. Evolución experimentada por la instalación de los contadores inteligentes en hogares con una potencia menor de 15 kW.	37
Figura 20. Distribución porcentual del consumo total según servicio.	39
Figura 21. Distribución porcentual correspondiente a los electrodomésticos.....	39
Figura 22. Repartición porcentual del consumo total incluido el reparto según tipo de electrodoméstico.....	40
Figura 23. Distribución de probabilidad de funcionamiento horario de los frigoríficos.	41
Figura 24. Distribución de probabilidad de funcionamiento horario de la iluminación.....	42

Figura 25. Distribución de probabilidad de funcionamiento horario de las cocinas eléctricas.....	42
Figura 26. Distribución de probabilidad de funcionamiento horario de las lavadoras.....	43
Figura 27. Distribución de probabilidad de funcionamiento horario de los lavavajillas.....	44
Figura 28. Distribución de probabilidad de funcionamiento horario de las secadoras.....	44
Figura 29. Distribución de probabilidad de funcionamiento horario de los hornos.....	45
Figura 30. Distribución de probabilidad de funcionamiento horario de los televisores.....	45
Figura 31. Distribución de probabilidad de funcionamiento horario de los ordenadores.....	46
Figura 32. Distribución de probabilidad de funcionamiento horario de stand-by.....	46
Figura 33. Distribución de probabilidad de funcionamiento horario de las planchas.....	47
Figura 34. Temperaturas de consigna según el código técnico de la edificación.....	48
Figura 35. Distribución de probabilidad del consumo de calefacción para mantener las temperaturas de consigna.....	48
Figura 36. Distribución de probabilidad del consumo de refrigeración para mantener las temperaturas de consigna.....	49
Figura 37. Distribución de probabilidad del consumo de ACS.....	50
Figura 38. Distribución del consumo eléctrico del consumidor base estudiado.....	52
Figura 39. Distribución del consumo en franja horaria según tipo de tarifa. Izquierda tarifa 2.0 DHA; derecha tarifa 2.0 DHS.....	53
Figura 40. Distribución del coste en franja horaria según tipo de tarifa. Izquierda tarifa 2.0 DHA; derecha tarifa 2.0 DHS.....	54
Figura 41. Distribución mensual del coste variable asociado al peaje de acceso para tarifas 2.0 A, 2.0 DHA y 2.0 DHS, y diferencia económica mensual entre tarifa sin y con discriminación.....	55
Figura 42. Desglose de la factura PVPC por meses.....	57
Figura 43. Perfil de consumo de usuario real.....	59
Figura 44. Distribución de consumo según tramo horaria de dos periodos.....	59
Figura 45. Desglose factura PVPC.....	61
Figura 46. Desglose factura PVPC.....	65
Figura 47. Distribución del consumo gestionable y no gestionable.....	68
Figura 48. Distribución de probabilidad del consumo por hora y tipo de equipo.....	70
Figura 49. Perfil de consumo de los equipos gestionables.....	71
Figura 50. Precios por kWh promedios por hora en el año 2017.....	73
Figura 51. Distribución del consumo gestionable y perfiles de los costes variables horario según tafia.....	74

Figura 52. Distribución de los costes promedios horarios.	76
Figura 53. Distribución de los costes promedios horarios.	77
Figura 54. Perfil de consumo sin desplazamiento (azul) y con desplazamiento de la lavadora (rojo).	78
Figura 55. Coste variable del consumo total (rojo) y ahorro producido por cambio de tarifa o/y desplazamiento del consumo de la lavadora (verde).	79
Figura 56. Perfil de consumo sin desplazamiento (azul) y con desplazamiento del lavavajilla (rojo).	80
Figura 57. Coste variable del consumo total (rojo) y ahorro producido por cambio de tarifa o/y desplazamiento del consumo del lavavajillas (verde).	81
Figura 58. Perfil de consumo sin desplazamiento (azul) y con desplazamiento de la lavadora y lavavajillas (rojo).	82
Figura 59. Coste variable del consumo total (rojo) y ahorro producido por cambio de tarifa o/y desplazamiento del consumo de la lavadora y del lavavajillas (verde).	82
Figura 60. Perfil de consumo sin desplazamiento (azul) y con desplazamiento de la secadora(rojo).	84
Figura 61. Coste variable del consumo total (rojo) y ahorro producido por cambio de tarifa o/y desplazamiento del consumo de la secadora (verde).	85
Figura 62. Perfil de consumo sin desplazamiento (azul) y con desplazamiento de la plancha (rojo).	86
Figura 63. Coste variable del consumo total (rojo) y ahorro producido por cambio de tarifa o/y desplazamiento del consumo de la plancha (verde).	87
Figura 64. Perfil de consumo sin desplazamiento (azul) y con desplazamiento de la lavadora, el lavavajillas, la plancha y la secadora (rojo).	87
Figura 65. Coste variable del consumo total (rojo) y ahorro producido por cambio de tarifa o/y desplazamientos de los consumos de la lavadora, del lavavajillas, la secadora y la plancha (verde).	88
Figura 66. Distribución porcentual del consumo objetivo de reducción. ...	90
Figura 67. Distribución de tipos de luminarias.	91
Figura 68. Distribución porcentual del consumo horario de la iluminación.	92
Figura 69. Costes y ahorros entre usar luminarias más o menos eficientes.	93
Figura 70. Costes y ahorros entre usar una lavadora más eficiente.	96
Figura 71. Costes y ahorros entre usar un lavavajillas más eficiente.	98
Figura 72. Costes y ahorros entre usar una secadora más eficiente.	100
Figura 73. Costes y ahorros al eliminar parte del consumo de standby.	101
Figura 74. Ahorros según equipo y escenario.	103
Figura 75. Años de amortización según inversión realizada.	109
Figura 77. Años de amortización según inversión realizada.	110
Figura 78. Comparativa entre años de amortización de caso 1 y caso 2.	111

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Consumidores acogidos a PVPC según tarifa de acceso.....	14
Tabla 2. Distribución de costes asociados a tarifa de acceso.	23
Tabla 3. Precios según tipo de tarifa de acceso y periodo tarifario.	23
Tabla 4. Horarios de los tramos tarifarios para tarifa 2.0 DHA.	24
Tabla 5. Horarios de los tramos tarifarios para tarifa 2.0 DHS.	24
Tabla 6. Tabla resumen de costes.....	30
Tabla 7. Tabla resumen de requisitos mínimos de contadores inteligentes.	35
Tabla 8. Evolución de contadores inteligentes instalados.	37
Tabla 9. Distribución del consumo total medio según servicio.....	38
Tabla 10. Perfil diario del % del consumo máxima de ACS.	49
Tabla 11. Distribución del consumo según franja horaria de tarifa 2.0. DHA.	52
Tabla 12. Distribución del consumo según franja horaria de tarifa 2.0. DHS.	53
Tabla 13. Resumen de coste y ahorro anual correspondiente al peaje de acceso según tipo de tarifa considerando impuestos.	56
Tabla 14. Principales características geográficas de la muestra.	62
Tabla 15. Casos estudiados con diferentes porcentajes de consumo según tramo horario.	63
Tabla 16. Resumen de coste y diferencias económicas entre tarifas.	65
Tabla 17. Características de equipos.	67
Tabla 18. Perfil del consumo según hora de equipos eléctricos.	69
Tabla 19. Perfil del consumo según hora de equipos eléctricos.	70
Tabla 20. Precios por kWh promedios por hora en el año 2017.	72
Tabla 21. Costes promedio horario del término variable de los consumos.	75
Tabla 22. Costes promedio horario del término variable de los consumos.	76
Tabla 23. Costes del término variable impuestos incluidos según tarifa con y sin desplazamiento y ahorro obtenido con el desplazamiento del consumo de lavadora respecto a la tarifa PVPC 2.0 A.	79
Tabla 24. Costes del término variable impuestos incluidos según tarifa con y sin desplazamiento y ahorro obtenido con el desplazamiento del consumo de lavavajillas respecto a la tarifa PVPC 2.0 A.	80
Tabla 25. Costes del término variable impuestos incluidos según tarifa con y sin desplazamiento y ahorro obtenido con el desplazamiento del consumo de la lavadora y el lavavajillas respecto a la tarifa PVPC 2.0 A.....	81
Tabla 26. Costes del término variable impuestos incluidos según tarifa con y sin desplazamiento y ahorro obtenido con el desplazamiento del consumo de la secadora respecto a la tarifa PVPC 2.0 A.	84
Tabla 27. Costes del término variable impuestos incluidos según tarifa con y sin desplazamiento y ahorro obtenido con el desplazamiento del consumo de la plancha respecto a la tarifa PVPC 2.0 A.	86

Tabla 28. Tabla resumen de las dos estrategias presentadas	89
Tabla 29. Tabla de la distribución del consumo según luminaria.	91
Tabla 30. Tabla de costes y ahorros al cambiar a luminarias led.	93
Tabla 31. Clasificación energética de lavadora.....	94
Tabla 32. Tabla de costes y ahorros al cambiar a lavadora más eficiente.	95
Tabla 33. Clasificación energética de lavavajilla.	96
Tabla 34. Tabla de costes y ahorros al cambiar a lavavajilla más eficiente.	97
Tabla 35. Eficiencia energética de secadora.	98
Tabla 36. Tabla de costes y ahorros al cambiar a una secadora más eficiente.....	99
Tabla 37. Tabla de costes y ahorros al eliminar parte del consumo de standby.....	100
Tabla 38. Costes y ahorros totales y según equipo.	102
Tabla 39. Tabla resumen de consumo y ahorros totales y según equipo.	104
Tabla 40. Potencias y costes de luminarias LED.	105
Tabla 41. Precios de lavadoras A+++.....	106
Tabla 42. Precios de Lavavajillas A+++.....	106
Tabla 43. Precios de Lavavajillas A++.....	106
Tabla 44. Precios de secadoras A+++.....	107
Tabla 45. Precios de secadoras A++.....	107
Tabla 46. Resumen de inversiones y ahorros obtenidos.	108
Tabla 47. Inversión, ahorros y años de amortización caso 1.	108
Tabla 48. Inversión, ahorros y años de amortización caso 2.	110
Tabla 48. Ahorro total y según equipos tras la modificación de equipos más eficientes.	112
Tabla 50. Distribución de tipo de luminarias e inversión a realizar.....	113
Tabla 51. Horas de vida útil y potencia según tipo de luminarias.	113
Tabla 52. Tasa de renovación según tipo de luminarias.....	113
Tabla 53. Inversión total según tipo de luminarias.	114
Tabla 54. Precios de Lavavajillas A+.....	115
Tabla 55. Precios de secadoras B.....	115

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Hoy en día el consumo de energía eléctrica juega un papel fundamental. Su presencia en la realización de cualquier actividad, la convierte en un factor clave en la vida cotidiana.

Según datos oficiales publicados en el año 2015, el consumo eléctrico final en España alcanzó un valor de 232.000 GWh (IDAE), volviendo a sufrir una leve subida después de varios años de continuo descenso (Figura 1).

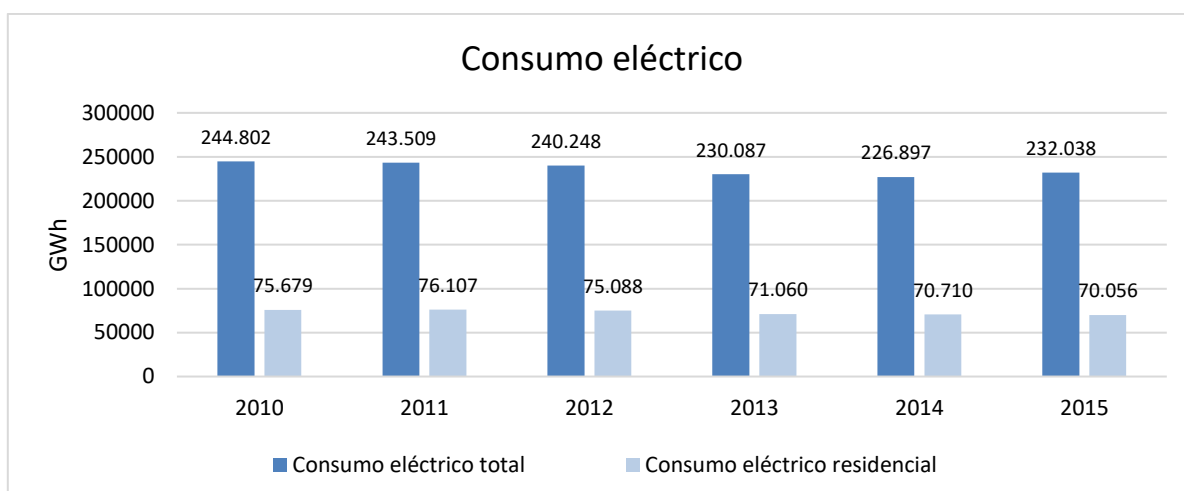


Figura 1. Evolución del consumo eléctrico.
(Fuente: Elaboración propia de los datos publicado por MINETUR/IDAE)

En la gráfica anterior se puede observar como el consumo residencial representa un porcentaje en torno al 30% del consumo total, llegándose a alcanzar para el año 2015 un valor aproximado de 70000 GWh (Figura 1) lo que representa un consumo medio por vivienda de aproximadamente 3500 kWh.

Respecto al precio por kWh del consumo eléctrico, actualmente España con un precio medio de 22 cts. (tasas incluidas) se sitúa como uno de los países con mayor precio por kWh dentro de la Unión Europea (Figura 2), superando en un 13% la media de estos países.

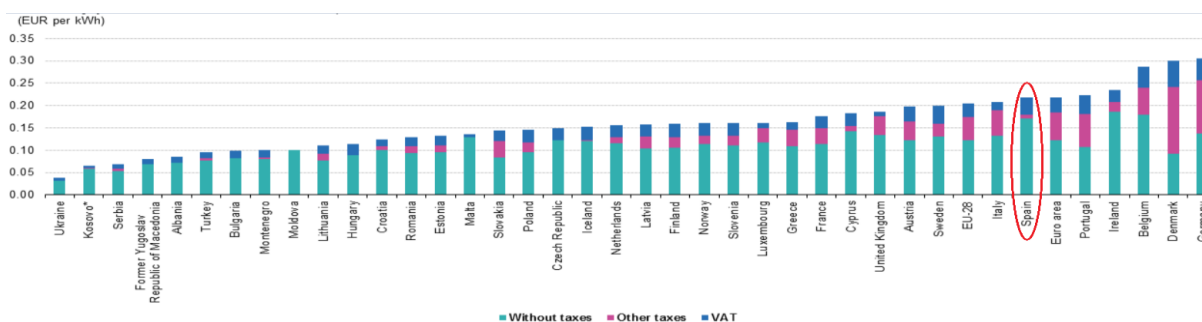


Figura 2. Precio de la electricidad para los consumidores domésticos (tasas incluidas).
(Fuente: EUROSTAT, 2017)

Observado el elevado precio por kWh que los consumidores españoles están sujetos a pagar por su consumo eléctrico, y la estrecha relación entre éste y el desarrollo económico de un país, se

considera de gran importancia e interés la realización de propuestas y métodos para intentar reducir el precio de la energía eléctrica, favoreciendo su consumo por todos los usuarios, incluyendo aquellos consumidores pertenecientes a sectores más desfavorecidos.

Una de las medidas llevadas a cabo para favorecer la reducción de costes por parte de los consumidores domésticos en el sistema eléctrico español fue la entrada en vigor de las tarifas con discriminación horaria, conocidas en la actualidad como tarifa 2.0 DHA (tarifa de dos periodos) y tarifa 2.0 DHS (tarifa de tres periodos). Estas tarifas fueron introducidas en el año 2015 como alternativa a la tarifa 2.0 A (tarifa de un único periodo), permitiendo la elección por parte del consumidor de la contratación de aquella que más se ajuste a sus hábitos de consumo, con la obtención de un posible ahorro económico en la facturación eléctrica.

La introducción de estos tipos de tarifas también puede ser considerada como una señal económica dirigida a motivar a los consumidores a desplazar su curva de demanda a aquellos tramos de menor coste, confiriendo a los consumidores, los cuales representan en torno al 30% del consumo total eléctrico, un papel activo en programas de respuesta de la demanda. Estos programas se consideran fundamentales en el panorama actual del sistema eléctrico español con la presencia cada vez más importante de la generación de equipos de energía renovable con un alto grado de incertidumbre en su producción. Estos programas se presentan como una alternativa al sobredimensionamiento de la capacidad del parque eléctrico para satisfacer el balance entre generación y demandada en todo momento. El objetivo es evitar el sobredimensionamiento del parque de generación, disminuyendo el alto coste de inversión requerido actualmente para satisfacer el equilibrio entre demanda y generación en las denominadas horas punta (hora de mayor consumo).

En este proyecto, por un lado, se analizará las diferencias económicas entre la contratación de tarifa PVPC sin discriminación y tarifa PVPC con discriminación, para diferentes perfiles de consumo con una potencia contratada menor de 10 kW. El objetivo es estudiar la idoneidad de las tarifas discriminatorias según perfil de consumo. Se analizará el posible ahorro que el cambio a una tarifa con discriminación pueda ocasionar en la facturación eléctrica de los consumidores domésticos sin cambiar éstos sus hábitos de consumo.

Por otro lado, se estudiará el potencial como señal económica de las tarifas con discriminación, se analizará su influencia en la motivación de los consumidores a participar de forma activa en programas de respuesta de la demanda. En este caso se realizará un análisis cuantitativo sobre los efectos que tendrá el desplazamiento de las curvas de consumo de aquellos electrodomésticos flexibles a ser desplazados. Se cuantificará el posible ahorro económico que el consumidor doméstico pudiera obtener si a la contratación de tarifa con discriminación horaria se le añade el desplazamiento de ciertos consumos de horas punta (horas de mayor consumo y costes) a las denominadas horas valles (horas de menor consumo y coste por kWh).

Las señales de precios mencionadas son mostradas en la siguiente figura (Figura 3), donde se muestra la evolución de precios promedios horarios obtenidos en el año 2017, quedando reflejada una diferencia económica entre las distintas horas. Estas diferencias son motivadas por la variabilidad y diferencias de dos de sus componentes, el precio del mercado (coste variable de la energía) y coste

de los peajes de accesos, destinados a pagar los costes de acceso a la red eléctrica. Una descripción de estos componentes y su impacto en la facturación electricidad serán explicados en detalles en los apartados siguientes.

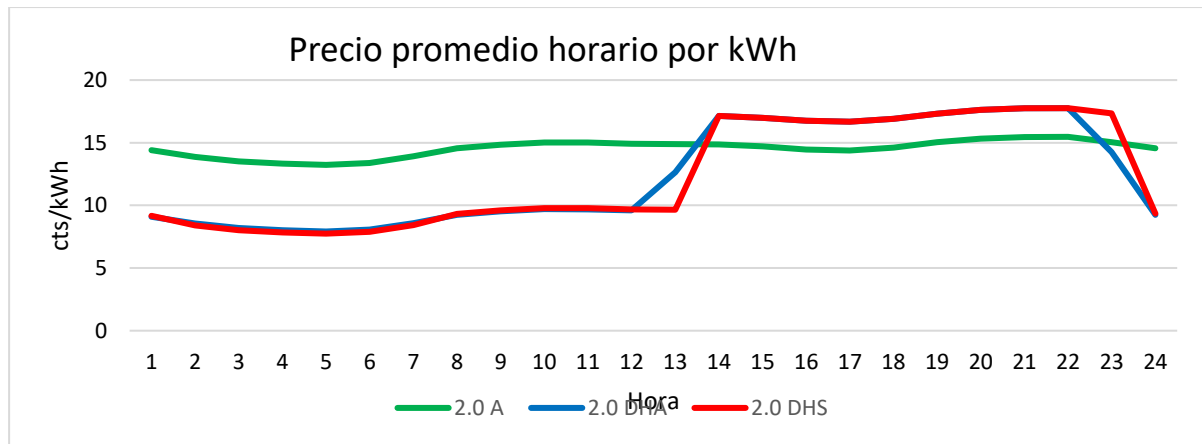


Figura 3. Evolución de precios promedio por kWh para los tres tipos de tarifas.
(Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos de OMIE)

Además del desplazamiento de parte de la demanda, otra medida considerada dentro de un programa de respuesta de la demanda es la reducción del consumo total. Para finalizar, en este proyecto también se analizarán las consecuencias de esta medida tanto a nivel de consumo como a nivel de rentabilidad económica para el consumidor. En concreto se analizará la rentabilidad de cambiar algunos de los equipos del parque actual por otro más eficientes, el uso de luminarias led y la reducción de standby. Adicionalmente se comparará la idoneidad de cambiar los equipos actuales ante rotura por unos de clase energética más eficiente o por otros de la misma clase.

Para la consecución de los objetivos citados, el presente trabajo se distribuye como se indica a continuación: Tras este apartado de introducción y descripción de los principales objetivos, se presenta un resumen del estado del arte de la gestión de la demanda. En el capítulo 3 se realiza un breve resumen del sistema de retribución del sector eléctrico español. En el apartado 4 se detallan los aspectos más relevantes relacionados con la tarifa PVPC, se contextualiza y detalla la estructura de la tarifa PVPC, adicionalmente, se realiza un resumen del funcionamiento del mercado eléctrico, y se finaliza con un ejemplo sobre el cálculo de la facturación mensual de un cliente con tarifa PVPC. En el capítulo 5 se analiza el papel de los usuarios en la gestión de la demanda, realizando un análisis de factores involucrados como son el perfil de consumo, los contadores eléctricos y la desagregación del consumo residencial. En el capítulo 6 se analiza el efecto en la facturación eléctrica de las tarifas discriminatorias para distintos perfiles de consumidores. En el apartado 7 se estudia el efecto de desplazamiento de parte del consumo en la facturación eléctrica de un consumidor con un perfil de consumo según la literatura. En el punto 8 se realiza tanto un análisis sobre la reducción del consumo total, así como un análisis de rentabilidad sobre el cambio de equipos más eficientes y la idoneidad desde el punto de vista económico de sustituir los equipos actuales por otros más o menos eficientes. Para finalizar las conclusiones del trabajo realizado y las posibles líneas de trabajo futuro son mostradas en el apartado 9.

2. ESTADO DEL ARTE

En este apartado se realiza una descripción del concepto de la gestión de la demanda, se analizan el rol de los usuarios y la automatización de la vivienda en dicha gestión y se mencionan las principales técnicas utilizadas. Para terminar, se lleva a cabo un estudio sobre los principales artículos de gestión de la demanda relacionados con la tarificación eléctrica, el desplazamiento del consumo y reducción del consumo, elementos que serán fundamentales en el desarrollo del presente proyecto.

El concepto de DSM

La gestión de la demanda (DSM) fue definida en la década de los 80 como “la planificación, implementación y monitorización de aquellas actividades diseñadas para influir en el uso de electricidad de los consumidores finales tal que el perfil de la curva de la demanda se vea afectado” [34]. También puede ser definido como la modificación de la demanda del consumidor a través de varios métodos con el objetivo de alterar el consumo total de energía o adelantar/retrasar éste hacia las denominadas horas valles.

Los programas destinados a influir en el uso de energía del consumidor son considerados DSM y pueden ser usados, o bien, para reducir el consumo total, o bien, para trasladar parte del consumo de una hora a otra [5]. En general, intentan motivar al usuario final a ser más eficiente energéticamente. Por otra parte, la gestión de la demanda también puede ayudar a disminuir la congestión de la red eléctrica y favorecer una reducción en la inversión a realizar en equipos de generación Hoy en día a través de los contadores inteligentes.

Hoy en día, la necesidad de flexibilidad para cumplir el equilibrio en todo instante entre la demanda y generación es satisfecha en la mayoría de las ocasiones por energía hidráulica y gas, estando muy poco desarrollada tanto a nivel práctico y normativo la gestión de la demanda [66], lo que supone un importante reto que abarcar.

2.1. Rol de los usuarios finales y de la automatización de viviendas

Papel de los usuarios

A través de inversiones en tecnología e infraestructura en el sector residencial es posible obtener unos ahorros significativos, siendo fundamental para la consecución de estos ahorros el comportamiento de los usuarios finales.

El uso de contadores inteligentes, equipos y tecnologías que faciliten el conocimiento del consumo en tiempo real, así como las campañas de concienciación, pueden llegar a causar un gran impacto en el comportamiento del usuario respecto a sus hábitos de consumo y `por consiguiente en la consecución o no de unos ahorros más o menos importantes [56].

A pesar del alto porcentaje que representa la energía consumida en una vivienda respecto al presupuesto total de ésta, los consumidores frecuentemente carecen de un conocimiento claro sobre cómo reducir su demanda energética [9]. Este desconocimiento de los usuarios representa un gran inconveniente a la hora de la implementación y participación de forma activa de éstos en los programas de gestión de la demanda.

Los usuarios pueden jugar un importante rol a la hora de obtener ahorro energético en el sistema energético actual en el cual la energía es generada de forma central por un lado, y consumida por usuarios individuales por el otro, un rol en el que es fundamental tener un conocimiento en tiempo real sobre el consumo y las tarifas, usando para ello contadores inteligentes y pantallas [69].

En [18] se ofrece un análisis sobre diferentes experimentos de reducción del consumo energético basados en la información. En uno de los estudios realizados se obtiene que una estrategia basada en el conocimiento del consumo de los usuarios de nuestro entorno conlleva un mayor ahorro que otros tipos de estrategia, en este estudio se obtiene un ahorro medio del 7.4% del consumo de electricidad.

En [6 y 73] se presentan unos estudios sobre la utilidad de las pantallas de información en el entendimiento de los patrones de comportamiento de los usuarios, y muestra como el uso de las mencionadas pantallas puede reducir el consumo de las facturas mensuales eléctrica.

Durante mucho tiempo se han realizado estudios sobre los efectos de diferentes sistemas de información sobre el comportamiento de los usuarios, demostrándose que el conocimiento de la información conlleva a la consecución de significativos ahorros energéticos hasta un 20 % [30] y ahorro en la facturación eléctrica entre 9.1%, y de un 11% [32].

El gran impacto que parece tener los programas de información según los estudios analizados, y su relativo bajo coste, pone de manifiesto la importancia de que estos programas sean considerados por los gobernadores del país para llevar a cabo una política energética alineada con la obtención de ahorros energéticos.

Aunque está probado que la información es un primer paso fundamental para involucrar a los consumidores a gestionar de forma adecuada sus recursos, existen algunos tipos de información más efectivos que otros. En [23] se indica que la información de tipo diaria, semanal, así como la información en tiempo real son las que proporcionan mayores ahorros en las viviendas respecto a otros tipos. En la siguiente figura se ha representado los ahorros medios de una vivienda en función del tipo de información obtenida según el estudio [23].

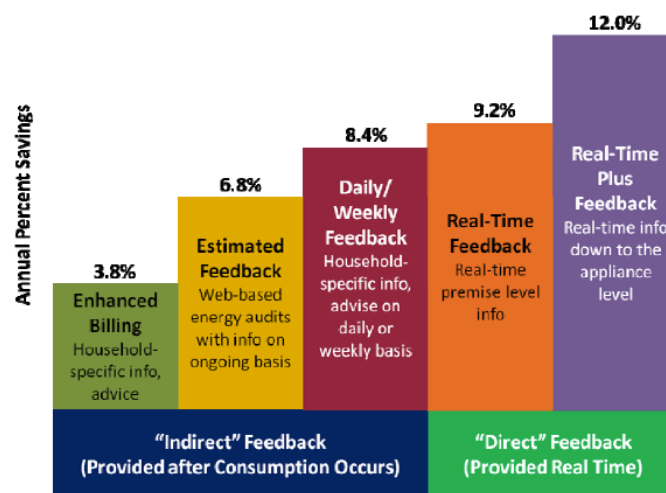


Figura 4. Ahorros promedio de electricidad de las viviendas dependiendo del tipo de información recibida. (Fuente: Ehrhardt-Martinez and Donnelly, 2010).

Como se ha comentado y observado en la figura anterior, algunos estudios ponen de manifiesto el mayor efecto sobre el ahorro de la información en tiempo real. En [55] se concluye que aquellos usuarios que reciben información en tiempo real reducen su consumo energético, efecto que disminuye con el paso del tiempo, misma conclusión a la que se llega en el artículo [69].

En resumen, según los artículos analizados la información recibida por los usuarios es primordial a la hora de favorecer y apoyar la participación de éstos de forma activa en la gestión de la demanda, concienciándolos hacia un correcto uso de su consumo energético en general y eléctrico en particular.

Rol de la automatización de las viviendas

En los últimos tiempos se ha incrementado el uso de elementos inteligentes en las casas, los cuales pueden llegar a jugar un papel crucial en los programas de DR (respuesta de la demanda) [3]. Mientras que hasta hace muy poco tiempo se consideraba que no era económicamente factible la implementación de estos equipos, salvo para consumidores de rentas muy altas, el descenso de los precios de los últimos años podría cambiar esta opinión y hacerlos asequibles a todo tipo de rentas. Este aumento en el uso de dispositivos inteligentes en las viviendas lleva asociado un incremento en la cantidad de datos disponibles, lo que producirá nuevos puntos de vista sobre el comportamiento energético de las viviendas [31].

Desde el punto de vista de la política energética, el fomento de las casas inteligentes forma un área de acción prioritaria para la Unión Europea en su plan estratégico de Tecnología energética. Debido a esto, las casas inteligentes son consideradas como una parte integral del futuro sistema energético, pues pueden ayudar a reducir el consumo global y relajar las restricciones durante los periodos de consumo pico [70].

Los dispositivos inteligentes pueden ser controlados remotamente por medio de un ordenador, smartphone o tablet permitiendo:

- Infinidad de actuación sobre los dispositivos, tales como el encendido o apagado de equipos, programación automática de funcionamiento de termo eléctrico, lavadora o lavavajillas...
- Conocimiento del consumo total y del consumo desagregado. Este aspecto es fundamental en el desarrollo del presente proyecto y su aplicación, al facilitar el conocimiento de los perfiles de consume y permitir la gestión del traslado de éstos.

En definitiva, la implementación de equipos inteligentes en la vivienda permite la optimización del uso de la energía, pudiéndose obtener ahorros energéticos significativos sin modificar el confort de los usuarios.

Hay que mencionar que, existen consumos de algunos electrodomésticos como son los portátiles, frigoríficos, planchas, etc., que no se ven reducidos por el uso de equipos inteligentes, ya que consumen la misma cantidad de energía con o sin la presencia de estos equipos. Teniendo en cuenta esta consideración, la implementación de los equipos inteligentes debería focalizarse en equipos considerados gestionables, pues el conocimiento de consumo en tiempo real de estos equipos si

puede ayudar a la toma de decisión sobre el traslado de este consumo. Hay que destacar que, el análisis sobre el traslado de parte del consumo de una vivienda es llevado a cabo en un apartado posterior, aunque sin tener en cuenta la instalación de equipos inteligentes, análisis que puede plantearse como línea de trabajo futuro.

2.2. Técnicas básicas de gestión de la demanda

Existen seis categorías principales en el contexto de la gestión de la demanda [34]:

1. **Reducción de demanda en punta (peak clipping):** Es una de las alternativas más tradicionales, y que supone la reducción de las cargas pico del sistema en periodos específicos. Reducir las demandas pico puede ayudar a reducir los costes de servicio, al reducir la operación de las unidades más costosas.
2. **Incremento de consumo en horarios de baja demanda (valley filling):** abarca el aumento del consumo en horas off-peak.
3. **Desplazamiento de carga (load shifting):** Consiste en mover las cargas de periodos pico a no-pico sin reducir necesariamente el consumo de energía. Las cargas apropiadas son movidas en el tiempo para un beneficio económico o medioambiental. Puede considerarse que tiene el mismo efecto que la combinación de llenado de valles y reducción de demandas punta. Esta técnica será la analizada en el presente proyecto.
4. **Curva de carga flexible:** Variaciones en las cargas interrumpibles. Los usuarios acuerdan aceptar la posibilidad de que su demanda sea controlada de forma variable por parte de la compañía suministradora, reduciendo o posponiendo su demanda para conseguir ahorros en su facturación eléctrica.
5. **Programas de conservación estratégica:** Consisten en una reducción de las ventas de energía y un cambio en los patrones de uso. Se disminuye la demanda global aumentando la eficiencia energética. No reduce solo la demanda en periodos pico, sino también en los no-pico. El concepto de estratégico se refiere a que estas medidas son realizadas a propósito.
6. **Crecimiento estratégico de la carga:** Aumento de la cuota de mercado de las cargas. Las compañías animan a los usuarios a operar durante periodos de baja demanda para conseguir una operación eficiente de las plantas de generación.

En la siguiente figura puede verse una representación de dichas técnicas:

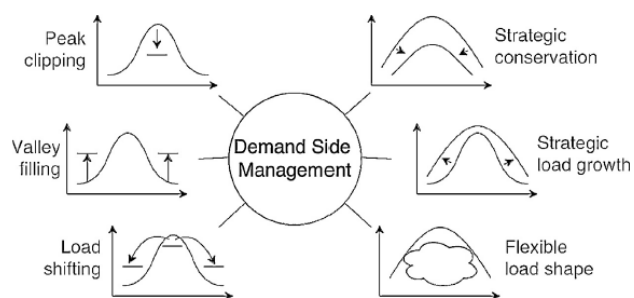


Figura 5. Técnicas básicas de moldeado de las cargas.
(Fuente: Gelazanskas and Gamage, 2014).

Como regla general, las medidas de gestión de la demanda pueden ser divididas en:

- Eficiencia energética: usar menos potencia para llevar a cabo las mismas tareas.
- Respuesta a la demanda: cualquier método diseñado para reducir, aplanar o mover la demanda, centrándose en la reducción de las cargas pico y cambiar la forma de las curvas.
- Incentivos financieros.
- Cambio en el comportamiento a través de la educación.

2.3. *Revisión de la literatura existente*

Existen incontables publicaciones sobre gestión de la demanda, habiéndose experimentado un rápido incremento en el número de éstas en los últimos años. Además de los ya mencionados en los apartados anteriores, en este apartado se va a realizar un breve resumen de aquellos artículos encontrados relacionados con la tarificación eléctrica, el desplazamiento de parte del consumo, y uso de equipos más eficientes, elementos que serán fundamentales en el desarrollo del presente proyecto.

En la mayoría de la bibliografía consultada, pocos son los estudios donde se analiza el potencial de ahorro sobre la factura eléctrica debido a la aplicación de una tarifa con precios variables sin necesidad de modificar la curva de la demanda, como es el caso presentado en [7]. En este artículo se analiza la idoneidad del uso de tarifas con precios variables en lugar de tarifas fijas, sin la necesidad de desplazar el consumo de las horas pico a horas valle. Como resultado de este estudio se obtiene un resultado favorable para aquellos usuarios que usan tarifas variables, traducido en la obtención de beneficio en la facturación eléctrica. Para el mercado eléctrico español en el estudio presentado en [4] se analiza también la posibilidad de reducción de los costes asociados al consumo eléctrico sin modificar sus hábitos de consumo al pasar de una tarifa de acceso de precio fijo a una tarifa con discriminación horaria, como resultado se obtiene que las tarifas con discriminación horaria son las óptimas para prácticamente el 99 % de los casos estudiados, obteniéndose un ahorro en torno al 10 % respecto al coste de la factura eléctrica con tarifa de acceso fija.

Por otro lado, son diversos los artículos consultados en los que se analiza el impacto de la variabilidad de precios como señal económica para programas de flexibilidad de la demanda, ya sea o bien disminuyendo parte del consumo total, o bien desplazando éste de las horas de mayor precio a las horas de menor precio.

En los estudios presentados en [53,67,71] se analiza la reducción de la carga máxima sin desplazamiento debido a la respuesta de los usuarios motivada por tarifas eléctricas con precios fijados por tramos horarios o precios dinámicos. Como resultado de estos estudios se obtiene una disminución entre el 3 % y 16 % del consumo pico para aquellos usuarios que optan por tarifas discriminatorias, mostrándose mayor reducción de consumo para los casos en que se aplica precios dinámicos horarios en lugar de tramos.

En otros artículos como los presentados en [4,54,2,36] se ha analizado tanto el potencial de desplazamiento de parte del consumo de las horas pico a horas valle como respuesta a una variabilidad de precios, así como la reducción de dicho consumo al aplicar medidas de eficiencia, en

concreto se ha analizado el desplazamiento de la lavadora y lavavajillas, con una reducción media de un 24% y un 13.5% de la carga pico respectivamente, o la combinación del uso de la bomba de calor y radiador con almacenamiento térmico consiguiendo con esta combinación un desplazamiento de consumo de horas pico a horas valle sin modificar apenas el confort de los usuarios finales, así como la sustitución de luminarias incandescente por luminarias led, o modificación de la temperatura del termostato del frigorífico. En [2] además de la reducción de consumo en horas pico, también son analizados los beneficios obtenidos para los diferentes agentes que participan en la implementación de las medidas indicadas.

Aunque el uso de electrodomésticos inteligentes no es un requisito indispensable para la implementación de programas de la gestión de la demanda, si favorece su grado de penetración reduciendo la actuación manual por parte de los usuarios. En [38] se discute el impacto de la introducción y uso de equipos inteligente en los hogares, mostrándose como resultado unos ahorros insuficientes respecto a la inversión requerida a pesar del potencial ahorro mostrado para equipos como los calentadores de agua sanitaria, poniéndose de manifiesto la necesidad de aumentar los incentivos para aquellos usuarios que decidan apostar por la inversión de equipos inteligentes que favorezcan su participación en programas de RD. En [54] siguiendo la línea de favorecer la implementación de programas de gestión de la demanda causando las menores molestias al consumidor, se presenta un modelo de plataforma para dar respuesta sobre recomendaciones energéticas a los usuarios de UK sobre la tarifa más idónea o sobre estrategias de desplazamiento del consumo. Esta plataforma a diferencia de las comparativas de precio existentes no necesita parámetros generales, ya que usa como inputs perfiles de consumo ya grabados con la consiguiente menor actuación manual del usuario. En el mencionado artículo se concluye que de los perfiles de usuarios analizados si éstos cambian su tipo de tarifa a otra más barata, obtendrían unos ahorros anuales entre 35 £ y 391 £ para 9 de cada 10 participantes, además aquellos usuarios con tarifa con 7 horas baratas de noche, obtendrían unos ahorros entre 26 £ y 110 £ si desplazarán el 20 % de su consumo.

La mayoría de la bibliografía analizada señala como requisito indispensable el flujo de información bidireccional entre usuario y proveedor de energía, con la necesidad de una estructura que permita este intercambio de información para una correcta aplicación de los programas de respuesta de la demanda. Sin embargo, en [72] son presentados dos novedosos métodos que no requieren una infraestructura bidireccional para un programa de RD, el primer método predice el consumo de los usuarios en función de la variabilidad de respectando las restricciones de red, precios que son transmitidos a los usuarios finales a través de una infraestructura unidireccional. En el segundo método el comportamiento del usuario se aproxima al estado de cogestión de la red en función de medidas históricas de voltaje. Ambos métodos son probados para una red local con resultados satisfactorios, desplazando parte de la carga de los usuarios y reduciendo la carga máxima respectando las restricciones de red.

Algunos otros estudios realizados sobre el análisis de programas de gestión de la demanda analizan el impacto e influencia que los sistemas de producción de energía renovables tienen en estos

programas, como es el caso presentado en [20] donde se ha analizado un sistema de gestión de consumo en el que se incluye un sistema fotovoltaico con batería, el cual se programa en función del coste de electricidad con el objetivo de disminuir el coste total del usuario final en la facturación eléctrica. Como resultado de este estudio se obtuvo que el consumo de la red de distribución se redujo en torno al 14 % y la reducción de la facturación eléctrica aproximadamente un 15 %. Además, se realizó un estudio económico sobre la inversión necesaria para la adquisición del sistema fotovoltaico, inversión que según dicho estudio sería recuperada en un periodo de 5 años.

Además de la inclusión de equipos de energía renovable en los programas de gestión de la demanda, otro elemento para tener en cuenta es el uso de equipos más eficientes que permiten la reducción del consumo total. En [63] se analiza el potencial de beneficios tanto para los usuarios como para las redes del uso de equipos más eficientes, cuyo coste de adquisición es bastante menor que el coste de inversión de los equipos de energía renovable. En este artículo como reivindicación a los resultados obtenidos, se hace hincapié en la necesidad de desarrollar una política que impulse la compra de electrodoméstico más eficiente, resaltando su alto potencial de ahorro tanto de energía como de coste.

En la literatura encontrada no solo es analizado el papel del consumidor final en los programas de la gestión de la demanda, también se analiza su impacto en la red de distribución y en los generadores de energía como muestran los artículos presentados en [21, 2]. En [21] se presenta un modelo para el cálculo del precio de la electricidad más idóneo desde el punto de vista tanto del proveedor de energía como el de los consumidores finales, maximizando sus beneficios. Como resultado a la aplicación del modelo un aplanamiento de la curva de la demanda fue obtenido por parte de aquellos usuarios que modifican sus hábitos de consumo como respuesta a la variabilidad de precio. En [2] la inversión y coste para la implementación de un programa de RD desde el punto de vista de la red de distribución y generadores es presentado. Aunque en este artículo se muestran unos resultados no muy positivos, siendo la inversión requerida mayor que los beneficios obtenidos, una visión optimista hacia el futuro es presentada, esperándose que el desarrollo de la tecnología e incremento de las energías renovables justifiquen la inversión a realizar.

Aunque la mayoría de los artículos consultados muestran una la reducción de la carga máxima de consumo tras la aplicación de programas de gestión de la demanda el resultado de penetración no es el esperado [1], quedando en evidencia la necesidad de unos mayores incentivos para motivar la participación de los usuarios finales. En algunos estudios para motivar esta participación de los usuarios se ha analizado otros tipos de incentivos a parte de los económicos, como puede ser la reducción de emisiones de CO₂ [20, 67], donde reducciones en torno al 15 % son obtenidas debido a la gestión de la demanda a través del uso de un sistema fotovoltaico y variabilidad en los precios de la electricidad.

En definitiva, de la literatura analizada se resume que:

- La gestión de la demanda por parte de los usuarios residenciales se presenta como una potencial herramienta para dar respuesta a problemas de contingencias de red, aumento de energía renovables y balance de equilibrio instantáneo entre demanda y generación.

- Es posible obtener aplanamiento de la curva de la demanda, conservación de consumo y reducción de emisiones de CO₂ a través de programas de gestión de la demanda.
- El conocimiento sobre el comportamiento de consumo y precio de éste es fundamental para la conciencia de los usuarios.
- Contadores y electrodomésticos inteligentes, y equipos de energía renovables juegan o pueden llegar a jugar un papel fundamental en la implementación de la gestión de la demanda, a pesar de que actualmente la mayoría de ellos no son rentables.
- Aunque la variabilidad de precios en las tarifas eléctricas como señal económica se muestra como un parámetro fundamental en la motivación de los consumidores, traduciéndose en ahorros más o menos significativos en la facturación eléctrica de éstos, no son todavía suficientes para tal objetivo.
- La motivación económica no suele ser suficiente para motivar a los consumidores a modificar sus hábitos de consumo, siendo necesario apostar por un aumento de esta motivación.
- La cuantificación del éxito de los programas de gestión de la demanda, y beneficios reportado al consumidor depende de diferentes factores, siendo a veces complicado extrapolar los resultados de un estudio en concreto.

De los aspectos estudiados en la bibliografía, en el presente proyecto se analizará, por un lado, los ahorros sobre la factura eléctrica debido a la aplicación de una tarifa con precios variables, según el mercado español, sin necesidad de modificar la curva. Por otro lado, se estudiará el impacto e idoneidad de la tarifa discriminatoria como señal económica para persuadir al consumidor actuar de forma activa en la gestión de dicha demanda, cuantificándose los ahorros de consumo y energía obtenidos. Por último, se analizará la rentabilidad de llevar a cabo reducciones de consumo debido al uso de equipos más eficiente.

3. RETRIBUCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO ESPAÑOL

Los costes del sistema eléctrico español se pueden dividir en tres grupos, un primer grupo formado por los costes propios de la generación y comercialización de la energía eléctrica, otro correspondiente a los costes de las redes de transporte y distribución, y por último los costes asociados a las diferentes políticas energéticas adoptadas. Estos costes son retribuidos a través de la recaudación de la facturación eléctrica de los consumidores, la cual sigue la estructura tarifaria mostrada en la siguiente figura.

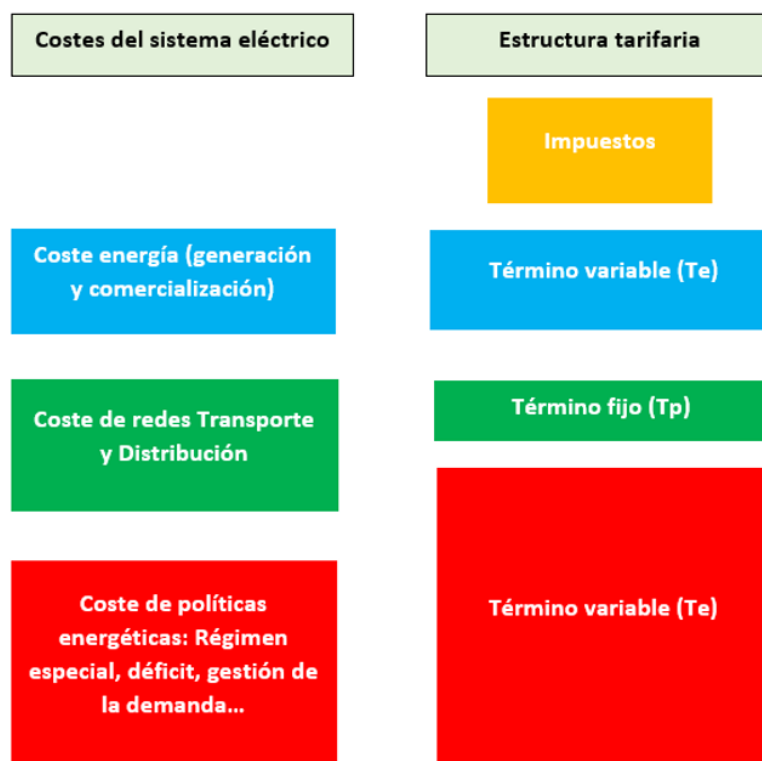


Figura 6. Relación costes del sistema eléctrico y estructura tarifaria.
(Fuente: Real Decreto 216/2014)

Como se puede observar en la figura mostrada arriba, la estructura tarifaria tiene un carácter binomial, compuesta por un término de potencia (término fijo) y un término de energía (término variable con el consumo). Mientras que el primero de estos términos está destinado a retribuir parte de los costes correspondientes a las redes de Transporte y Distribución, el término de energía está destinado a retribuir tanto el resto de los costes de la red de Transporte y Distribución, así como los costes de la generación, comercialización de energía y los costes asociados a las políticas energéticas. En los siguientes apartados se realizará un análisis más detallado sobre la estructura tarifaria del PVPC, siendo este tipo de tarifa la seleccionada para los análisis realizados en el presente proyecto.

4. PRECIO VOLUNTARIO AL PEQUEÑO CONSUMIDOR (PVPC)

En este apartado se explicará los aspectos más relevantes de la tarifa PVPC, en primer lugar, se hará referencia a la evolución de ésta, haciendo hincapié en sus diferencias respecto a la tarifa de último recurso. Adicionalmente se presentará un resumen sobre el mercado eléctrico español, cuyos resultados son la base de los costes de la tarifa PVPC actual. Para terminar, se describirá con detalle su estructura de costes, siendo éstos los que se utilizarán para la realización de los diferentes estudios y análisis que se mostrarán en los siguientes apartados.

4.1. PVPC y tarifa de último recurso (TUR)

La tarifa PVPC es un tipo de tarifa basada en un modelo con precios regulados, en el cual el precio del mercado mayorista de la electricidad es repercutido en la factura eléctrica del consumidor final.

Debido a la insostenibilidad económica del sector eléctrico, en Julio del año 2013 comenzó una serie de medidas llevadas a cabo por el ministerio de energía, turismo y agencia digital (MINETUR), dando como resultado el dictamen del *Real Decreto 216/2014* del 1 de abril de 2014 por el que se establecía una nueva metodología para el cálculo de los precios voluntarios del pequeño consumidor. En la actualidad la metodología del citado Real Decreto es la usada para el cálculo de la tarifa conocida como PVPC, la cual sustituye a la antigua tarifa de último recurso (TUR), tarifa que estuvo vigente desde el 1 de Julio de 2009 hasta la entrada en vigor del PVPC. Al igual que ocurría con su antecesora (TUR), para que el consumidor pueda acogerse esta tarifa, tiene que cumplir los requisitos descritos a continuación:

- Potencia contratada no superior a 10 kW.
- Estar conectado a baja tensión (1kV).

También hay que mencionar que al igual que la TUR, el precio voluntario para el pequeño consumidor solo puede ser ofertado por las comercializadoras de referencia.

Hasta ahora se ha mencionado las grandes similitudes entre el PVPC y su antecesora, sin embargo, existe una diferencia sustancial entre ambas tarifas, pues mientras que en el coste de la TUR se fijaba cada tres meses a través de las subastas CESUR, estableciéndose el coste de la energía antes de que esta fuera consumida, el precio horario del PVPC se establece en función de los resultados del mercado mayorista en tiempo real, mercado que será explicado en más detalle en el siguiente apartado.

En la Figura 7 se ha representado la evolución de los promedios trimestrales del pool diario y de la subasta CESUR desde el último trimestre del año 2011 hasta la última subasta CESUR celebrada en diciembre 2013, la cual fue anulada por la CNMC debido a su alto precio. Como se observa, el precio de la subasta CESUR es superior al pool diario para la mayoría de los casos representados, siendo en promedio un 12% superior. Este valor superior era debido a que los precios de la subasta CESUR, como se ha comentado, no se fijaban tomando como referencia el mercado diario sino el mercado a plazo, los cuales incorporan elevadas primas de riesgo.

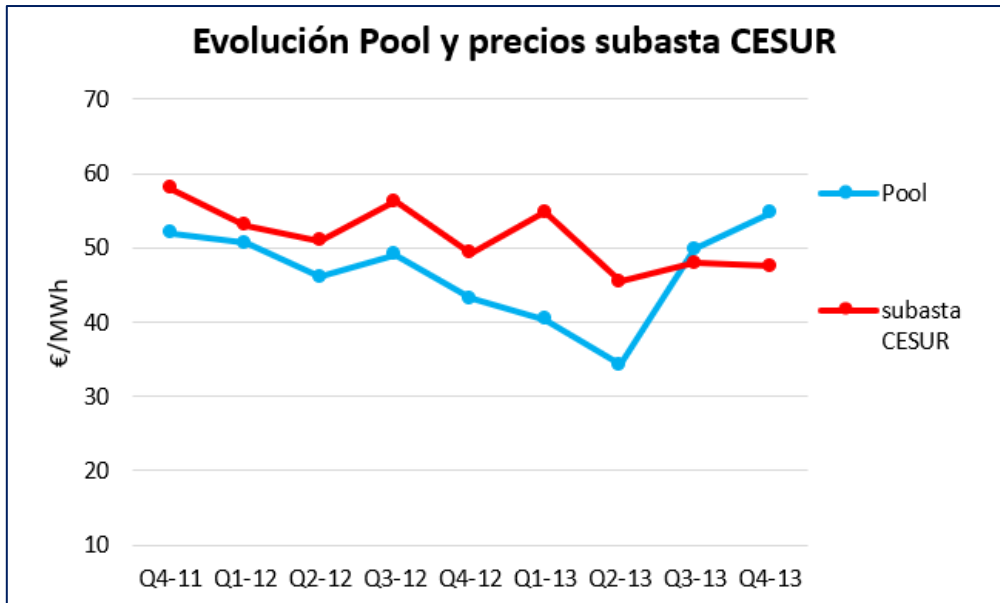


Figura 7. Evolución de los promedios trimestrales del mercado diario y subasta CESUR
(Fuente: OMIE, elaboración propia)

Estas diferencias de precios entre ambas subastas fueron el principal motivo del desarrollo de la nueva metodología de costes de la tarifa PVPC recogida en el Real Decreto mencionado.

Según el informe de indicadores eléctricos publicado por la CNCM en junio del año 2018, en febrero de ese mismo año, de un total de 26.271.692 consumidores con derecho a acogerse a PVPC un 42% tenían contratada dicha tarifa (11.194.221 consumidores). En la siguiente tabla se muestra la distribución de los consumidores acogidos a PVPC según tarifa de acceso.

Tabla 1. Consumidores acogidos a PVPC según tarifa de acceso.
(Fuente: Informe de indicadores eléctrico junio 2018, elaboración propia)

Tarifa de acceso	Nº consumidores	%
2.0 A	10.542.685	94%
2.0 DHA	649.355	6%
2.0 DHS	2.181	0%
Total	11.194.221	-

En la siguiente figura se ha representado gráficamente los resultados mostrados en la tabla superior:

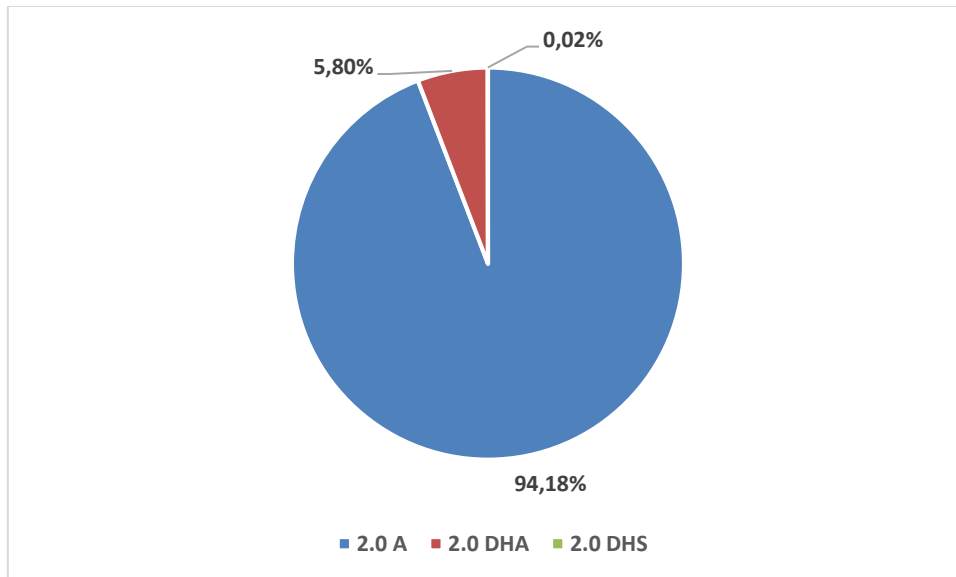


Figura 8. Distribución de tipo de tarifa de acceso PVPC en 2018.
(Fuente: Informe de indicadores eléctrico junio 2018, elaboración propia)

Como se puede observar, la mayoría de los consumidores acogidos a PVPC han optado por un peaje de acceso sin discriminación horaria (2.0 A), representando un 94% del total, a diferencia de la opción de la tarifa 2.0 DHS donde solo 2.181 consumidores han optado por ella, representando un porcentaje en torno al 0%. A través del análisis sobre la tarifa de acceso óptima para un consumidor doméstico objeto de este estudio, se intentará dar respuesta si esta diferencia entre la elección de una tarifa u otra se debe a temas económicos o a un posible desconocimiento por parte de los clientes.

4.2. Mercado eléctrico

Como se ha indicado en el apartado anterior, la gran diferencia de la tarifa PVPC respecto a la TUR es el uso de los resultados de los mercados mayoristas (pool) para el cálculo del precio de la energía, el cual es la base para el cálculo de los costes presentes en la facturación eléctrica.

En este apartado se realizará una descripción detallada del mercado eléctrico al contado, es decir, mercado donde la venta y compra de energía se organiza y gestiona desde un día antes hasta prácticamente el momento de consumo, existiendo otro mercado futuro donde los productores y consumidores pueden acordar la cantidad de energía y precio a intercambiar hasta tres años a futuro.

El mercado eléctrico español al contado está formado por una serie de mercados, en los que se producen una casación entre la energía demandada por los consumidores y la energía ofertada por los generadores en diferentes plazos. En la actualidad se pueden diferenciar tres tipos de mercados:

- Mercado diario
- Mercado intradiario.
- Mercado de servicio de ajustes.

Para el correcto funcionamiento de estos mercados existen dos figuras claves, como son el Operador del Sistema, papel llevado a cabo por REE, y el Operador de Mercado (OMIE). Mientras la función del

primer de éstos es garantizar técnicamente el equilibrio de la red, gestionando para ello en tiempo real las actividades de producción y transporte. La función del OMIE, es la de llevar a cabo y garantizar el correcto funcionamiento con total transparencia de las casaciones realizadas, así como trasladar toda la información al respecto de éstas a todos los agentes participantes en el mercado.

Mercado diario

En este mercado, por un lado, los generadores de electricidad ofertan para cada una de las 24 horas del día siguiente, aquella cantidad de energía por unidad generadora de la que son propietarios y que están dispuestos a poner en venta, así como el precio por el que estarían dispuestos a venderla. Por otra parte, los consumidores directos y comercializadoras, para cada una de las horas, indican la cantidad de energía que están dispuestos a comprar y el precio que están dispuestos a pagar.

Estas ofertas horarias de venta y compra de energía deben ser comunicadas al operador del sistema antes de las 12 a.m. del día anterior para el que se van a ofertar. Una vez que el operador del sistema tiene todas las ofertas, lleva a cabo la elaboración de la curva horaria de oferta agregada (cantidad de energía por unidad generadora ordenada según precio creciente) y la curva de la demanda agregada (cantidad de energía demandada según precio descendente), para cada una de las 24 horas del día siguiente. El precio de la energía para cada una de las horas es el resultado del cruce de las curvas descritas (Figura 9).

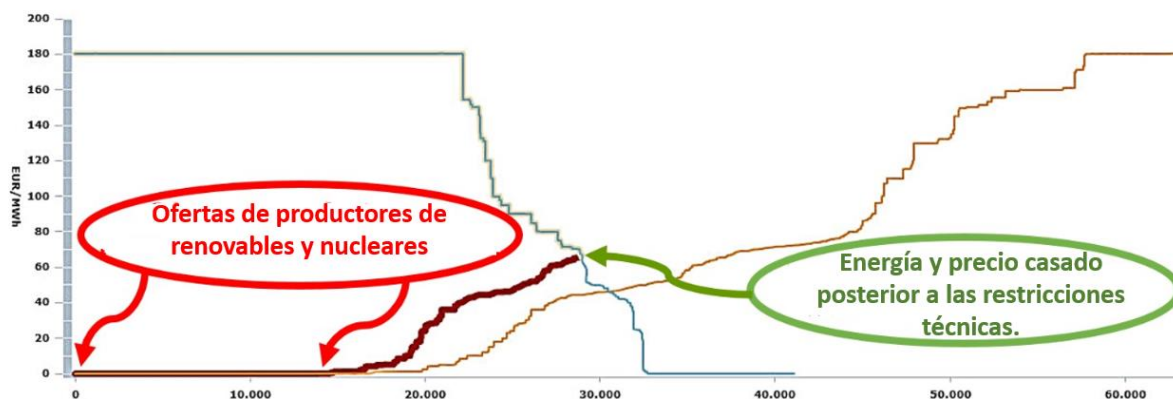


Figura 9. Ejemplo de curvas agregadas de demanda y oferta.
(Fuente: OMIE)

En la figura anterior se observa como las centrales nucleares y renovables ofertan a precio cero, dejando al resto de centrales fijar el precio final y asegurándose el entrar en la casación. El principal motivo para las centrales nucleares es su inflexibilidad, al estar constantemente en funcionamiento sin periodos de paradas y arranques, pues de otra forma serían totalmente inviables, por lo que se trata de un tipo de centrales que tienen que asegurarse entrar si o si en la casación. Por otro lado, están las centrales renovables, las cuales utilizan recursos naturales, por lo que producir no le supone un coste adicional a diferencia de otros tipos de centrales como la de gas o carbón, por lo que les interesa entrar en la casación sea cual sea el precio final de ésta.

En la anterior figura también se observa como el punto de corte que indica la energía y precio casado ha sufrido un desplazamiento hacia la derecha. Uno de los posibles motivos de este desplazamiento es la saturación de la capacidad de interconexión entre España y Portugal, separándose ambos mercados, y resolviéndose independientemente. Otro motivo puede ser el incumpliendo de las denominadas condiciones complejas, requisitos que condicionan las ofertas de ventas sujetas a este tipo de condiciones, las cuales no son ofertadas si no se cumplen estas condiciones complejas como pueden ser un ingreso mínimo, una condición de invisibilidad o gradiente de carga.

Tras la resolución del mercado diario, los resultados son enviados a REE, éste comprueba si éstos cumplen las restricciones técnicas del sistema, en caso de no cumplir las restricciones mencionadas debido, o bien a falta de capacidad en la red de transporte, o a falta de generación en ciertas zonas cuyos generadores no han sido casados dentro de la subasta, se recurre al mercado intradiario.

Mercado intradiario

En la mayoría de las ocasiones los resultados obtenidos del mercado diario no se suelen cumplir debido a diferentes efectos, pudiendo ser causados por una menor disponibilidad de los recursos naturales que los previstos en las centrales renovables, o por problemas en los generadores en otros tipos de centrales. Para dar solución a este tipo de desajustes existe el **mercado intradiario**. A través de seis sesiones los consumidores y productores realizan nuevas ofertas de venta o compra independiente de su papel, es decir, aquellos productores que han ofertado más energía de la que van a poder entregar, pueden realizar ofertas de compra para poder llegar a la cantidad a entregar comprometida, mientras que aquellos productores que han ofertado comprar más de la que realmente van a necesitar, pueden poner la energía excedente a la venta.

En la siguiente figura se muestra un resumen de las informaciones más relevantes de las seis sesiones intradiarias.

	SESION 1º	SESION 2ª	SESION 3ª	SESION 4ª	SESION 5ª	SESION 6ª
Apertura de Sesión	17:00	21:00	01:00	04:00	08:00	12:00
Cierre de Sesión	18:45	21:45	01:45	04:45	08:45	12:45
Casación	19:30	22:30	02:30	05:30	09:30	13:30
Recepción de desagregaciones de programa	19:50	22:50	02:50	05:50	09:50	13:50
Publicación PHF	20:45	23:45	03:45	06:45	10:45	14:45
Horizonte de Programación (Periodos horarios)	27 horas (22-24)	24 horas (1-24)	20 horas (5-24)	17 horas (8-24)	13 horas (12-24)	9 horas (16-24)

Figura 10. Sesiones del mercado intradiario.
(Fuente: OMIE)

Como se puede observar en la figura anterior, las dos primeras sesiones se llevan a cabo en el día D-1, mientras que el resto de las sesiones tienen lugar en el propio día de entrega de energía. Otro aspecto que destacar es el horizonte de programación, mientras que la primera sesión se producen casaciones intradiarias para un horizonte desde 1 hasta 27 horas, la última sesión cubre un horizonte de hasta 9 horas.

El resultado final de cada una de estas seis sesiones es una cantidad de energía casada y un precio de casación para cada una de las horas incluidas en el horizonte de programación.

Mercado de servicios de ajuste

El mercado de servicios de ajuste es necesario para garantizar el equilibrio entre la generación y demanda en tiempo real con unos niveles de seguridad y calidad adecuados. Este mercado se puede englobar en tres tipos:

- **Restricciones técnicas:** Una vez resuelto el mercado diario, el operador del sistema realiza una serie de simulaciones a través de flujos de carga para comprobar si la energía casada en el mercado diario cumple las condiciones de calidad, seguridad y fiabilidad según los procedimientos de operación para ciertas situaciones. En caso de no cumplirse las condiciones descritas se realiza una variación de la programación resultante procedente del mercado diario.
- **Servicios complementarios:** La energía comercializada en este tipo de mercado está destinada tanto al control de frecuencia-potencia como al control de tensión del sistema. Dentro de estos servicios destacan la regulación secundaria y terciaria. La primera se trata de una reserva de capacidad muy flexible, que le permite al operador del sistema en caso de ser necesario ante la presencia de una contingencia, obtener una respuesta en un tiempo menor de 30 segundos y mantener ésta hasta un máximo de 15 minutos. La capacidad de reserva del servicio complementario secundario, cuyo mercado es convocando tras el mercado diario y del de restricciones, es estimada por el operador de sistema cada día. El servicio de regulación terciaria es una potencia cuya función es sustituir la potencia de los servicios secundario, para ello es necesario que tenga una capacidad de respuesta mínima de 15 min, y mantener dicha respuesta durante al menos 2 horas. Su mercado se realiza a última hora del día anterior al despacho de la energía, y a diferencia del servicio secundario solo se retribuye si finalmente es utilizada por el operador del sistema.
- **Gestión de desvíos:** Mercado de energía para resolver en tiempo real los posibles desequilibrios que pueden aparecer en el sistema tras la ejecución de los mercados intradiarios.

4.3. Estructura tarifaria de los costes del PVPC

Respecto a la distribución de los precios PVPC, puede clasificarse en términos generales en los siguientes términos:

- Término de potencia.
- Término de energía.
- Impuestos.

A continuación, se hará una descripción más detallada de los principales componentes de costes del PVPC descritos en el Real Decreto 216/2014, donde se describe la metodología para el cálculo de los precios voluntarios del pequeño consumidor.

Coste de producción de la energía eléctrica

El coste de la producción de energía es un coste variable que recibe las empresas generadoras por su producción. En la factura eléctrica representa un valor medio alrededor del 50% del precio final [17].

Este coste se calcula aplicando la siguiente ecuación:

$$CP_h = PM_h + SA_h + OC_h \quad (1)$$

Dónde:

- CP_h ($\frac{\text{€}}{\text{MWh}}$): es el coste de producción en la hora h.
- PM_h ($\frac{\text{€}}{\text{MWh}}$): es el precio horario resultante del mercado diario e intradiario en la hora h.
- SA_h ($\frac{\text{€}}{\text{MWh}}$): es el coste asociado a los servicios de ajustes en la hora h.
- OC_h ($\frac{\text{€}}{\text{MWh}}$): este término hace referencia a otros costes entro los que se incluyen el pago de capacidad y servicio de interrumpibilidad.

El precio horario resultante del mercado (PM_h) se establece a través de un mecanismo de subasta gestionado por el operador del mercado OMIE, donde se negocia el precio de la energía a suministrar para las 24 horas del próximo día como se ha descrito en el apartado anterior. Por un lado, las compañías generadoras indican la cantidad de energía que son capaces de generar para cada uno de las 24 horas y el precio más bajo que están dispuestas a recibir por el MWh, por otro lado, las comercializadoras indica la cantidad de energía que necesitan para satisfacer la demanda de sus clientes y el precio que está dispuesta a pagar.

El precio de mercado para cada hora queda fijado por el cruce entre la curva de oferta y la demanda, mecanismo de fijación de precios que implica una alta dependencia de éstos con la meteorología, ya que de ésta depende la participación en la subasta de las centrales con menor coste como son las hidráulicas, eólicas o solares, y por consiguiente la causante de la volatilidad de los precios del mercado como se muestra en la Figura 11 Figura 11. Box-plot de la distribución de los precios horarios del mercado diario en enero 2017. y Figura 12, donde se ha representado la variabilidad de los precios del mercado para el mes de Enero y Julio en el año 2017.

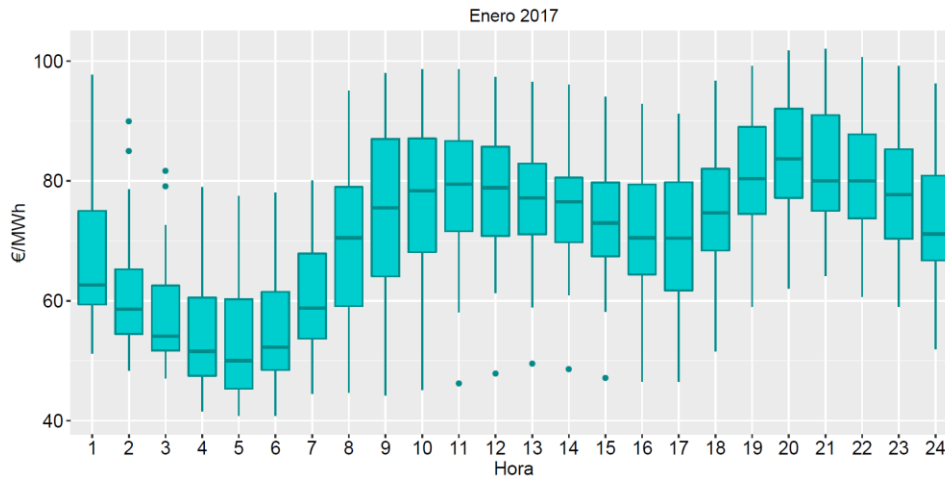


Figura 11. Box-plot de la distribución de los precios horarios del mercado diario en enero 2017. (Fuente: Elaboración propia de los datos publicado por OMIE)

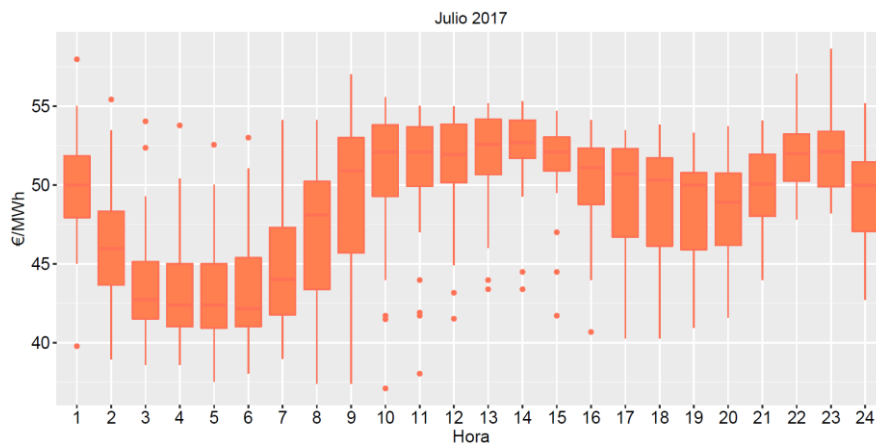


Figura 12. Box-plot de la distribución de los precios horarios del mercado diario en Julio 2017. (Fuente: Elaboración propia de los datos publicado por OMIE)

En las figuras anteriores se observa la volatilidad de los precios mencionada tanto a nivel horario dentro de un mismo día, como la variabilidad de un día a otro. Adicionalmente se observa como los precios son mayores en el mes de enero probablemente debido a la menor participación de centrales renovables durante este mes.

Los costes asociados a los servicios de ajustes (SA_h) engloban los costes tanto del mercado de las restricciones técnicas como los mercados de los servicios complementarios y gestiones de desvíos mencionados en el apartado anterior.

En la ecuación anterior también se ha mencionado el termino asociado a **otros costes (OC_h)**, estos costes cubren la retribución al operador del mercado y los costes del servicio de interrumpibilidad y pago por capacidad. Por un lado, el primero hace referencia al servicio prestado por parte de algunas empresas al poner al servicio de la red la posibilidad de interrumpir una cierta cantidad de energía en caso de que fuera requerida, por otro lado, el pago por capacidad está diseñado para cubrir los ingresos de las compañías generadoras por tener a disposición de la red una excedencia de capacidad para ser puesta en marcha en cualquier instante por si ocurriera algún tipo de contingencia.

Mencionar que los costes de producción horarios detallados en los párrafos anteriores pueden ser consultados por los clientes finales a partir de las 20.15 horas del día anterior a su aplicación, en la página web del operador del sistema (<https://www.esios.ree.es/es/pvpc>), pudiendo de esta forma tener los clientes una información a tiempo real de los precios y adaptar su consumo en función de éstos si lo creyera oportuno.

En las siguientes figuras se han representado la evolución horaria de los costes descritos y la distribución porcentual de éstos para el 1 de enero y 1 de Julio del 2017, respectivamente.

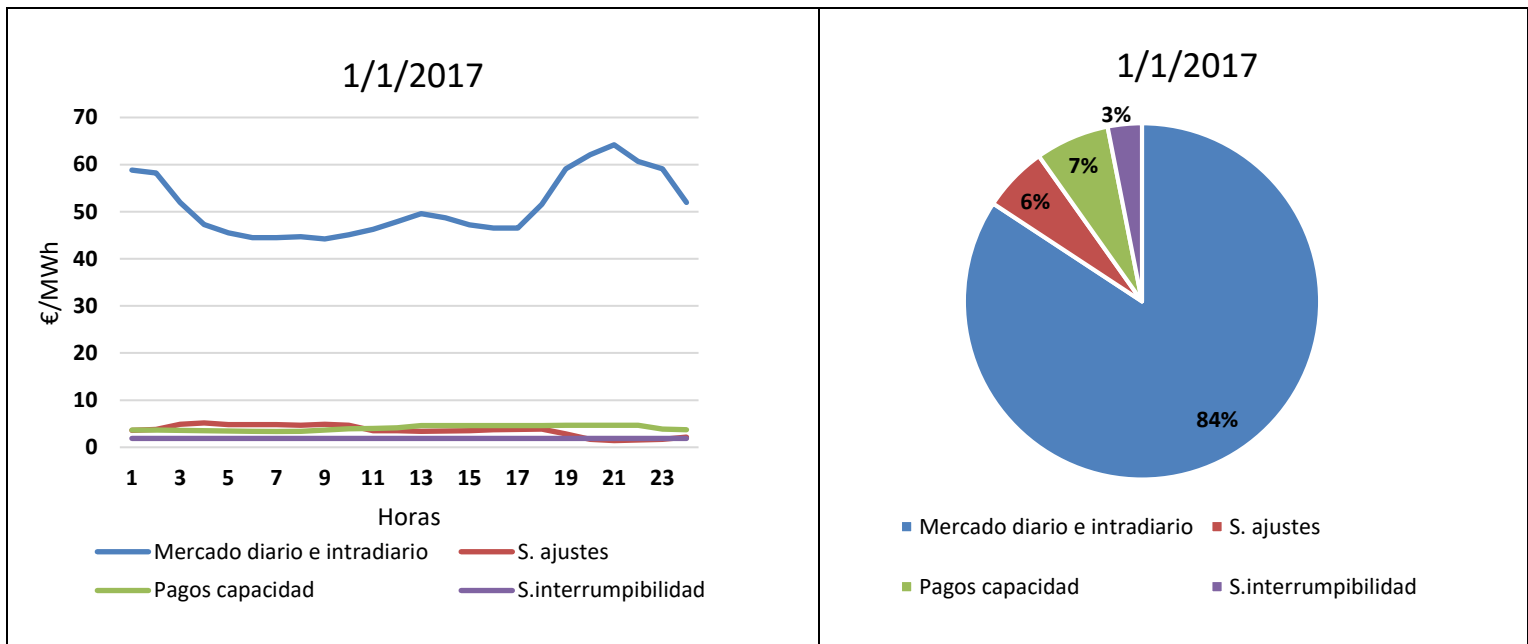


Figura 13. Izquierda, evolución horaria de los diferentes términos asociados a los costes de producción de energía. Derecha, Pesos de los términos de los costes CP_h para el día 1 de enero. (Fuente: OMIE, Elaboración propia)

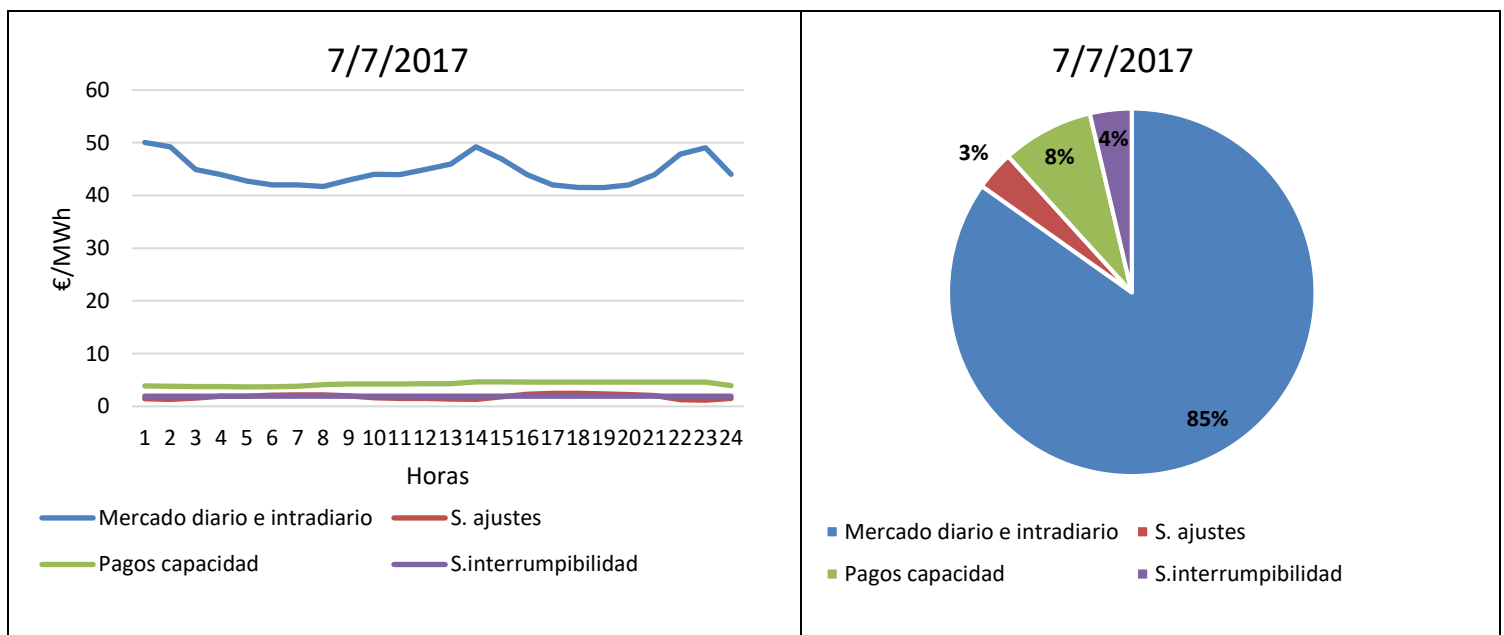


Figura 14. Izquierda, evolución horaria de los diferentes términos asociados a los costes de producción de energía. Derecha, Pesos de los términos de los costes CP_h en el cómputo global para el día 7 de julio. (Fuente: Elaboración propia de los datos publicado por OMIE)

Como se observa en la evolución y distribución de los costes el mayor peso con un valor en torno al 85 % corresponde a los costes resultante de la subasta del pool. En cambio, el menor porcentaje se muestra para los costes del servicio de interrumpibilidad (3%) en el caso de enero, servicio que se podría discutir su necesidad pero que no es objeto del presente proyecto, y para los costes asociados a los servicios de ajustes (3%) en julio. Si se realiza una clasificación considerando por un lado los costes asociados a los resultantes del pool, y por otro el resto de los términos, en ambos días los primeros representan el mayor peso, con un valor en torno al 85%, mientras que el resto de los costes se quedan con un valor global aproximadamente del 15%.

Cuando la energía es transportada desde la generación hasta el punto de consumo existen unas pérdidas, éstas junto con las pérdidas que se producen en los centros de transformación de tensión son también repercutidas al consumidor. Para cuantificarlas, a los costes de producción mencionados anteriormente se le suma un coeficiente de pérdidas según lo establecido en el Real Decreto 216/2014. A continuación, se muestra la ecuación para el cálculo de los costes de producción de energía considerando las pérdidas:

$$CP_{perh} = CP_h \cdot (1 + Perd_h) \quad (2)$$

Dónde:

- $CP_{per}(\frac{\text{€}}{MWh})$: coste de producción de energía incluida las pérdidas.
- $CP_h(\frac{\text{€}}{MWh})$: coste de producción de energía sin incluir las pérdidas.
- $Perd_h(\%)$: coeficiente de pérdidas en la hora h.

Por último, para calcular el coste total asociado a la producción de energía para un cliente final habrá que multiplicar la cantidad de energía consumida en cada hora por el coste de producción considerando las perdidas, aplicando para ello la siguiente fórmula:

$$CPt = \sum CP_{perh} \cdot E_h \quad (3)$$

Dónde:

- $CPt (\text{€})$: coste total de la producción de la energía.
- $E_h(\text{MWh})$: Energía consumida en la hora h.

Tarifas de acceso

Los costes asociados a las tarifas de acceso son unos costes regulados que cubren los siguientes conceptos:

- Peaje por el uso de la red de distribución y transporte.
- Déficit tarifario.

- Régimen retributivo a la energía renovable, las centrales de cogeneración y los residuos, denominado RECORE. Aunque en el 2013 fue suprimido el régimen especial, estos tipos de centrales siguen recibiendo ayudas más moderadas.
- Retribución a las islas. existe una compensación por parte del gobierno a los productores de Ceuta, Melilla, Canarias y Baleares debido a un mayor coste de producción en los sistemas no peninsulares.
- Tasa CNMC, estos costes van dirigidos a financiar las actividades de este organismo.

En la siguiente tabla se muestra el % del peso de cada uno de los conceptos citados arriba:

Tabla 2. Distribución de costes asociados a tarifa de acceso.
(Fuente: CNMC, elaboración propia)

Concepto	%
Coste de transporte	10.3
Coste de distribución y gestión comercial	29.5
Retribución de renovables, cogeneración y residuos	39.1
Deficit tarifario	16.7
Compensación sistemas aislados	4.3
Tasa CNMC	0.1

Como se observa en la tabla, la mayor parte del coste asociado a la tarifa de acceso recae en la retribución al uso de las redes de distribución y retribución a las centrales renovables, cogeneración y residuos.

Dentro del PVPC hay tres tipos de tarifas de acceso distintas, una sin discriminación horaria, donde el coste es independiente del tramo donde la energía sea consumida (2.0 A), y dos tarifas con discriminación horaria, donde existe diferencias significativas entre consumir en un tramo horario u otro (2.0 DHA y 2.0 DHS). Estas distintas tarifas serán de gran importancia en el desarrollo de este documento, siendo uno de los objetivos de éste el análisis de la tarifa óptima para el consumidor final. Independiente del tipo de tarifa de acceso su estructura interna se divide en un término fijo (€/kW) en función de la potencia que tenga contratada el cliente, y otro variable (€/kWh) en función de la energía consumida en cada instante. Mientras que el término fijo es igual en los tres tipos de tarifas, el término variable varía entre una tarifa u otra como se muestra en la siguiente tabla, donde se ha resumido los costes de las distintas tarifas:

Tabla 3. Precios según tipo de tarifa de acceso y periodo tarifario.
(Fuente: BOE nº314, 27 de diciembre de 2017, elaboración propia)

Tarifa de acceso	Potencia contratada (kW)	Término de potencia € ($\frac{\text{€}}{\text{kW} \cdot \text{mes}}$)	Término de energía sin DH cts ($\frac{\text{cts}}{\text{kWh}}$)	Término de energía P1 cts ($\frac{\text{cts}}{\text{kWh}}$)	Término de energía P2 cts ($\frac{\text{cts}}{\text{kWh}}$)	Término de energía P3 cts ($\frac{\text{cts}}{\text{kWh}}$)
2.0 A	P<10 kW	3,1702855	4,4027	-	-	-
2.0 DHA		3,1702855	-	6,2012	0,2215	-
2.0 DHS		3,1702855	-	6,2012	0,2879	0,0886

Como se observa en la tabla anterior respecto al término de energía, el periodo P1 de la tarifa con discriminación horaria de dos periodos (2.0 DHA), denominado periodo punta, presenta un coste de peaje de 6.2012 cts/kWh, 28 veces mayor que el coste por consumir en el periodo P2, denominado periodo valle, siendo el coste en este periodo de 0.2215 cts/kWh, a su vez un 95% aproximadamente menor que el precio de la tarifa de un único periodo. Por otro lado, la tarifa 2.0 DHS presenta tres tramos tarifarios, el mayor de ellos presenta un coste de 6.2012 ct/kWh igual que el periodo P1 de la tarifa 2.0 DHA, coste 70 veces superior al coste en el periodo P3 denominado supervalle, donde el coste es de 0.0886 cts/kWh, un precio 98% inferior al coste de tarifa sin discriminación.

Una vez mostrados los distintos precios de peaje según el tramo de consumo, en la tabla siguiente se muestra el horario correspondiente para cada uno de estos tramos según horas y periodo estival:

Tabla 4. Horarios de los tramos tarifarios para tarifa 2.0 DHA.
(Fuente: Iberdrola, elaboración propia)

2.0 DHA	P1	P2
Verano	[13-23h)	[23-13h)
Invierno	[12-22)	[22-12h)

Tabla 5. Horarios de los tramos tarifarios para tarifa 2.0 DHS.
(Fuente: Iberdrola, elaboración propia)

2.0 DHS	P1	P2	P3
Todo el año	[13-23h)	[23-1h) y [7-13h)	[1-7h)

Conociendo el tipo de tarifa y potencia contratada, así como el consumo energético y tramo horario donde se ha consumido, el coste asociado a la tarifa de acceso se calcula aplicando la siguiente ecuación:

$$CTA = \sum_p TVTA_p \cdot E_p + TFTA \cdot P \quad (4)$$

Dónde:

- **CTA(€)**: Coste total asociado a la tarifa de acceso.
- **TVTA_p($\frac{\text{€}}{MWh}$)**: Coste unitario asociado al término variable en el periodo tarifario p.
- **E_p(MWh)**: Energía consumida en el periodo tarifario p.
- **TFTA($\frac{\text{€}}{kW}$)**: Coste unitario asociado al término fijo.
- **P (kW)**: Potencia contratada.

En la siguiente figura se ha representado la evolución de los consumidores acogidos a PVPC desde el año 2013 hasta el 2018, como se observa la cantidad de consumidores ha ido en aumento desde su implementación con un crecimiento más acentuado en los últimos años, motivado posiblemente por el crecimiento de la implementación de los contadores inteligentes como se mostrará en un apartado posterior.

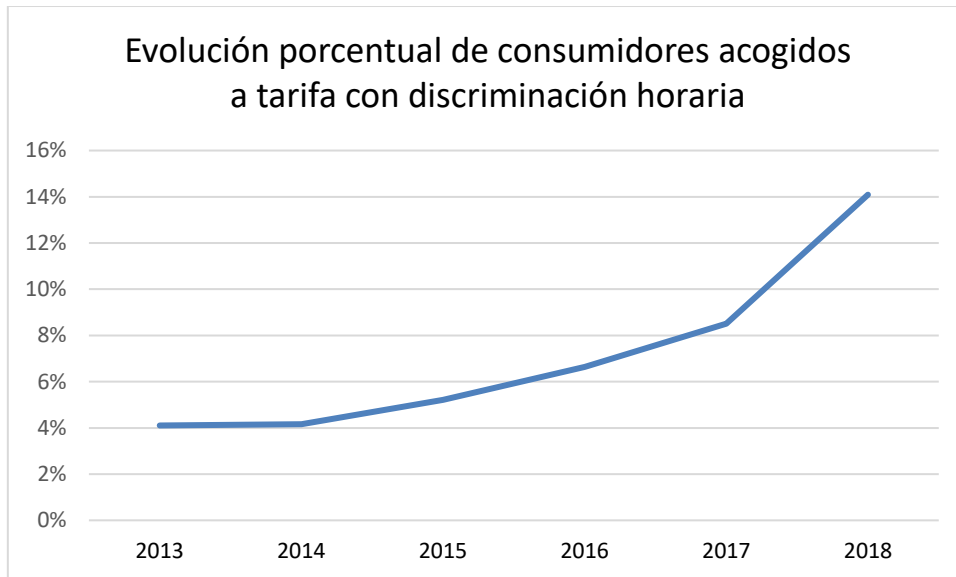


Figura 15. Evolución de consumidores acogidos a peajes de acceso con discriminación horaria en mercado libre y comercializadoras de referencia.
(Fuente: Elaboración propia datos publicados CNMC)

A pesar del crecimiento experimentado en los últimos años, como se observa en la figura, en la actualidad el porcentaje de consumidores acogidos a una tarifa con discriminación horaria es de solo un 14 % según datos de la CNMC, una respuesta que podría considerarse baja teniendo presente los resultados obtenidos en este proyecto y en estudios previos [4], donde se muestran ahorros económicos considerables para la mayoría de consumidores si en lugar de acogerse a una tarifa con periodo único se opta por una tarifa con distintos periodos.

Margen de comercialización

Los cotes referentes al margen de comercialización son costes de aplicación solo al PVPC y están diseñados para cubrir las actividades desarrolladas por la comercializadoras de referencia, como son la atención al cliente y las actividades de gestión y contratación.

Desde la aprobación del Real Decreto 216/2014 hasta el año 2016 esté inclusive, el margen de comercialización solo se aplicaba al término fijo de potencia y tenía un valor de 4 €/kW. Sin embargo, el tribunal supremo anunció que a partir del 2017 se debería establecer una nueva metodología para el cálculo de comercialización. Siguiendo este nuevo dictamen el gobierno estableció un nuevo método para el cálculo del margen de comercialización del PVPC a partir de un informe elaborado por la CNMC sobre los costes de comercialización basado en una consulta realizada a las propias comercializadoras de referencia.

Actualmente según se establece en el *Real Decreto 469/2016, de 18 de noviembre*, los costes asociados al margen de comercialización presentan dos términos:

- **Término fijo** expresado en euros por unidad de potencia contratada y año. Este término es calculado a partir de los costes fijos de explotación de las comercializadoras de referencia, información aportada por las propias comercializadoras. Una vez fijado su valor éste tiene una validez de tres años, volviéndose a actualizar al finalizar tal periodo. Actualmente el

término fijo tiene un valor de **3.13 €/kW por año** según la *Orden ETU/1948/2016, de 22 de diciembre*.

- **Término variable** expresado en euros por unidad de energía. Este término está compuesto por dos componentes, una componente calculada a partir de los costes de explotación variables de las comercializadoras, y otra denominada retribución unitaria destinada a cubrir el desarrollo de las actividades, ésta última se calcula en función del riesgo que asume las comercializadoras durante la realización de la actividad en el año n, y su valor será de aplicación durante los siguientes tres años, el valor actual de la retribución unitaria es de 0,000557 €/kWh según la *Orden ETU/1948/2016, de 22 de diciembre*. Dentro del margen de comercialización asociado a los costes de explotación variable, los cuales varían de una hora a otra, hay un coste destinado a la retribución del Fondo Nacional de Eficiencia Energética, cuyo valor es el mismo en todas las horas, siendo 0,000285 €/kWh su actual valor.

La siguiente ecuación describe el cálculo de la parte de la factura eléctrica del PVPC correspondiente al margen de comercialización a partir de los términos descritos:

$$CMC = \sum_h TVMC_h \cdot E_h + TFMC \cdot P \quad (5)$$

Dónde:

- **CMC(€)**: Coste total asociado al margen de comercialización.
- **TVMC_h($\frac{€}{MWh}$)**: Coste unitario asociado al término variable en la hora h
- **E_h(MWh)**: Energía consumida en la hora h.
- **TFMC($\frac{€}{kW}$)**: Coste unitario asociado al término fijo.
- **P (kW)**: Potencia contratada.

Alquiler de equipos de medidas

Otro de los componentes que se incluye en la factura PVPC es el correspondiente al alquiler de los equipos de medición. El valor de este componente se estipula en la orden ITC/3680/2007, el cual depende del tipo de consumidor y del tipo de contador. Para consumidores domésticos y contadores analógicos el valor es de 0.54 €/mes, en cambio para contadores inteligentes y capaces de ser telegestionados su valor asciende a 0.81 €/mes.

Impuestos

Como últimos términos incluidos en el PVPC se encuentran aquellos asociados a los impuestos. En la facturación de la energía eléctrica existe dos tipos de impuestos a considerar como se describe a continuación:

- **Impuesto especial sobre la electricidad**: es un tipo de impuesto indirecto que grava el consumo de energía eléctrica realizado por el cliente. Este impuesto surgió en el año 1998 como medida llevada a cabo por el gobierno para ayudar a las minas del carbón debido a su reducción de ingresos como resultado de las medidas del sector eléctrico enfocada en la reducción de esta materia prima. Su valor es de 4.864% y se aplica sobre el valor obtenido de

multiplicar por 1.05113 los costes asociados a la producción de energía, tarifa de acceso y margen de comercialización, o lo que es lo mismo, se calcula aplicando un recargo del 5.1126% a los costes citados. Hay que destacar que al tratarse de un tipo de impuesto especial estará sujeto de aplicación de IVA.

- **IVA:** En la factura del consumo eléctrico PVPC a todos los costes descritos hasta ahora incluido el impuesto especial sobre la electricidad se le aplica un impuesto sobre el valor añadido del 21 %.

Una vez descritos con detalles todos los costes en los párrafos anteriores, a continuación, a modo de resumen se recoge como quedaría la metodología del cálculo de la factura de un consumidor con una potencia contratada menor de 10 kW acogido a PVPC sin considerar los impuestos citados. Como se ha mostrado éstos se pueden englobar en dos términos principales:

- **Término asociado a la potencia contratada:** Se trata de un término fijo que se aplica sobre la potencia contratada. Su valor es independiente de la cantidad de energía consumida por el cliente durante el periodo facturado, e incluye los costes correspondientes al margen de comercialización y tarifa de acceso asociados al termino de potencia:

$$TP = CTA_p + CMC_p = 38.043426 + 3.013 = 41.056 \frac{\text{€}}{\text{kW} \cdot \text{año}} \quad (6)$$

Dónde:

- $TP(\frac{\text{€}}{\text{kW} \cdot \text{año}})$: Coste asociado al término de potencia.
 - $CTA_p(\frac{\text{€}}{\text{kW} \cdot \text{año}})$: Coste asociado al término de potencia de la tarifa de acceso.
 - $CMC_p(\frac{\text{€}}{\text{kW} \cdot \text{año}})$: Coste asociado al término de potencia del margen de comercialización.
- **Término asociado a la energía consumida:** Se trata de un término variable, que depende de la cantidad de energía consumida en el periodo de facturación. Incluye los costes de producción de energía y los costes de tarifa de acceso y comercialización variables:

$$TE = CP_{per} + CTA_E + CMC_E \quad (7)$$

Dónde:

- $TE(\frac{\text{€}}{\text{MWh}})$: Coste asociado al término de energía.
- $CP_{per}(\frac{\text{€}}{\text{MWh}})$: Coste asociado a la producción de energía considerando las pérdidas.
- $CTA_E(\frac{\text{€}}{\text{MWh}})$: Coste asociado al término de energía de la tarifa de acceso.
- $CMC_E(\frac{\text{€}}{\text{MWh}})$: Coste asociado al término de energía del margen de comercialización.

Cabe resaltar que para poder aplicar la metodología descrita es fundamental el conocimiento del consumo horario, y por consiguiente la presencia de contadores inteligentes capaces de medir y proporcionar la información en tiempo real, de los cuales se realizará un análisis más detallado más adelante. En caso de que el cliente no disponga de contador inteligente y este acogido a la tarifa

PVPC, como ocurría a la mayoría de los clientes al inicio del periodo de aplicación esta nueva metodología, se utilizará la curva de carga proporcionada por REE para el cálculo de los costes de la factura eléctrica, la cual también será explicada en detalle en capítulos posteriores.

4.4. Ejemplo de cálculo de la facturación mensual de un cliente con tarifa PVPC sin discriminación horaria

En este apartado se calculará el valor de los distintos componentes de la factura mensual de un consumidor acogido al PVPC sin discriminación, analizándose el peso de cada componente en el total facturado.

Para los cálculos realizados en este apartado se ha considerado un cliente con un consumo medio de 2.039 kWh y una potencia contratada de 3.73 kW, consumo y potencia media según el informe de indicadores eléctricos del 2018 de la CNMC. El mes que se ha elegido para el cálculo de la factura es julio de 2017, utilizándose los costes horarios durante este mes para los términos variables dependiente de la hora del periodo facturado.

Tras la caracterización del cliente seleccionado, a continuación, se muestra los cálculo y resultados obtenidos:

Coste de producción de la energía consumida

Para los costes de producción de la energía se aplican las siguientes ecuaciones ya descritas en los párrafos anteriores:

$$CP_h = PM_h + SA_h + OC_h \quad (1)$$

$$CP_{perh} = CP_h \cdot (1 + Perd_h) \quad (2)$$

$$Cpt = \sum CP_{perh} \cdot E_h \quad (3)$$

Los costes horarios correspondientes al resultado del mercado diario e intradiario, los costes asociados a los servicios de ajustes y otros costes correspondientes al periodo de facturación del mes de Julio del 2017 han sido consultados en la página de la CNMC donde fueron publicados y almacenados. Respecto al coeficiente de pérdidas eléctricas, éste se ha considerado constante durante todo el periodo de facturación con un valor igual al 14 %, según se establecía en Orden IET/107/2014. Para el coste total de la producción según la ecuación (3) es necesario conocer el consumo horario en el mes de julio, este se ha calculado aplicando la siguiente ecuación:

$$E_h = \frac{E \cdot ch_h}{\sum_h ch_h} \quad (8)$$

Dónde:

- **E (kWh):** Consumo anual, en el caso en estudio es de 2039 kWh.
- **ch_h** : coeficiente horario del perfil de consumo proporcionado por REE para el año 2017.

Aplicando la ecuación (8) se obtiene el perfil de consumo horario anual. Para el cálculo del ejemplo que se está analizando se ha seleccionado el perfil de consumo horario correspondiente al mes de Julio, cuyos valores han sido multiplicado por los costes totales de producción de energía obtenido en la ecuación (2) durante este mes. El resultado obtenido es un coste mensual de producción de **12.04 €**.

Coste de tarifa de acceso

Este coste se divide en una parta fija y otra variable. El coste fijo asociado al término de potencia tiene un valor de $38.043426 \frac{\text{€}}{\text{kW}\cdot\text{año}}$, en el ejemplo presentado este valor se divide por 365 días y se multiplica por 31 que tiene Julio y por la potencia contratada, obteniéndose un valor de **12.1 €**. Por otro lado, el coste variable del peaje de acceso para una tarifa sin discriminación tiene un valor de 0.044027 €/kWh que, al multiplicarlo por el consumo mensual de julio de 184 kWh, da un valor de **8.1 €**. Como resultado se ha obtenido un coste **total correspondiente a la tarifa de acceso de 20.2 €**.

Coste de margen de comercialización

Al igual que ocurre con los costes correspondientes a la tarifa de acceso este coste se divide en un término fijo y otro variable. El primero de ellos asociado al **término de potencia tiene un valor de $3.13 \frac{\text{€}}{\text{kW}\cdot\text{año}}$** , valor que al dividirlo por 365 días y multiplicarlo por 31 días y por la potencia contratada da un resultado de **0.99€**. Respecto **al término asociado al consumo** realizado tiene un valor de 0.000842 €/kWh que al multiplicarlo por el consumo mensual da **un valor de 0.15 €**.

Coste de equipo de medida

Suponemos que el cliente tiene un contador inteligente con capacidad para ser telegestionado, en dicho caso el coste es de **0.81€**.

Impuesto especial sobre la electricidad

Al aplicar un recargo del 5.1126% a los costes calculados a excepción del coste de equipos de medidas se obtiene un valor de **1.71 €**.

IVA

El total de IVA de los costes para el periodo analizado es de **7.5 €**

A continuación, en la siguiente tabla se muestra los costes obtenidos según tipo de coste fijo asociado al término de potencia o coste variable asociado al término de energía, así como el porcentaje de aportación de cada uno de ellos en la factura total:

Tabla 6. Tabla resumen de costes.
(Fuente: Elaboración propia datos publicados CNMC, IDAE)

Coste	Fijo	Variable	Total	Distribución porcentual
Producción de energía	-	12,04	12,04	28%
Tarifa de acceso	12,1	8,1	20,2	46%
Margen de comercialización	0,99	0,15	1,14	3%
Equipos de medida	0,81	-	0,81	2%
Impuesto especial	0,71	1,04	1,75	4%
IVA	3,07	4,48	7,55	17%
Total	17,68	25,81	43,49	100%

Como se observa en la tabla mostrada, para el mes de Julio el mayor peso de la factura recae sobre el coste de la tarifa de acceso, con un porcentaje aproximado del 50%, casi el doble que el coste de producción de energía, el cual con un porcentaje del 28% ocupa el segundo lugar. Uno de los objetivos principales de este proyecto es el análisis sobre la posibilidad de reducción de este coste asociado a la tarifa de acceso por parte del cliente al modificar sus hábitos de consumo y/o tarifa de acceso. Respecto a la clasificación de los costes asociados al término de potencia y consumo en el cómputo total, el primero de ellos representa un porcentaje en torno al 40% y el segundo el 60 % restante, estos porcentajes son intercambiados al referirse a los costes de acceso, donde el término asociado al termino fijo presenta el mayor porcentaje.

5. GESTION DE LA DEMANDA POR PARTE DE LOS CONSUMIDORES

Con la evolución del sistema eléctrico y la penetración cada vez mayor de las denominadas energías renovables, es de gran importancia la introducción de técnicas o mecanismos en el sistema eléctrico que le confiera a éste el suficiente grado de flexibilidad para hacer frente a la naturaleza impredecible de éstas. Uno de esos mecanismos es la respuesta a la demanda donde los consumidores juegan un papel activo. Se entiende como respuesta de la demanda la capacidad de los consumidores de aumentar o disminuir su consumo en función de unas señales económicas del mercado, incentivos, o por actuación directa del operador del sistema, con el objetivo de conferir estabilidad a la red y optimizar los recursos energéticos del sistema

De la demanda total eléctrica consumida en España, el 30% de ésta corresponde al consumo residencial [41], siendo este sector un importante segmento para considerar como mecanismo de respuesta a la demanda. Una de las iniciativas introducidas en España como señal económica destinada a obtener una respuesta por parte de los consumidores domésticos fue la introducción de las tarifas con discriminación horaria de dos o tres periodos en los años 2010 y 2015, respectivamente. Uno de los grandes inconvenientes encontrados en los inicios de aplicación de ambas tarifas fue el desconocimiento real de consumo horario en cada tramo, aplicándose para ello un perfil de carga promedio, este hándicap ha ido desapareciendo con el paso de los años con la instalación de los equipos inteligentes en los hogares domésticos, los cuales no solo permiten el conocimiento del consumo horario por parte del operador del sistema, y la aplicación tanto del precio del mercado como los precios de las mencionadas tarifas de acceso al consumo real, sino que permite el conocimiento de sus propios consumos por parte de los consumidores, los cuales pueden consultar sus perfiles de carga a través de la página web de la compañía distribuidora, y planificar algunas estrategias de desplazamientos en función del conocimiento real de su consumo y de los precios de mercado y costes de peajes de acceso.

A continuación, en este apartado se llevará a cabo la descripción de aspectos relevantes en la respuesta de la demanda como son el perfil de consumo, los contadores inteligentes y la desagregación de los consumos según equipo.

5.1. Perfil de consumo

Como se ha mencionado en apartados anteriores, para la aplicación de la metodología de la tarifa PVPC con y sin discriminación es fundamental el conocimiento del perfil diario del consumidor. Se trata de la curva de consumo de los usuarios para cada día a la cual se le aplicará el precio del pool eléctrico para cada hora y la tarifa de acceso según tramo tarifario. El perfil de consumo es un concepto fundamental en el desarrollo del presente proyecto, su conocimiento permitirá tanto el análisis de las diferencias entre las tarifas con y sin discriminación, así como, el estudio de las posibles estrategias de desplazamiento del consumo.

La curva de consumo diaria puede ser obtenida de dos formas distintas, la primera de ellas es a través de los contadores inteligentes, en caso de que los consumidores domésticos los tengan implementados, o en el segundo de los casos, a través del perfil promedio proporcionado por REE

[58] a final de año, siendo esta segunda opción la utilizada en la mayoría de los casos en el inicio de la implementación de las tarifas con discriminación.

Según la disposición adicional tercera de la *Orden IET/3586/2011, de 30 de diciembre*, por la que se establecen los peajes de acceso a partir de 1 de enero de 2012 y las tarifas y primas de las instalaciones del régimen especial, REE, como operador del sistema es el encargado de remitir a la CNMC anualmente antes del 30 de noviembre una revisión de los perfiles de consumo actuales, según el tipo de tarifa de acceso contratada. Este perfil de consumo se aplicará en el año siguiente a aquellos consumidores que no dispongan de contadores inteligentes instalados.

La *disposición 1509 del BOE número 315 de 2017* presenta la última versión de los perfiles de consumo, utilizados durante el año 2018, en dicha disposición se muestran a través de unas tablas los coeficientes horarios de los perfiles iniciales de consumo a los que es necesario realizar una serie de correcciones posteriores en función de variables como luminosidad, temperatura, ect, dando lugar a los perfiles de consumo final.

REE proporciona diferentes perfiles en función del tipo de consumidor 2.0, 2.1, 3.0 y 3.1 y según tarifa con o sin discriminación. En este proyecto será de interés los perfiles tipo P^a y tipo P^b, los cuales representan perfiles para consumidores 2.0 y 2.1 sin discriminación y para consumidores 2.0 y 2.1 con discriminación, respectivamente.

El método para la obtención de cada uno de los diferentes perfiles de consumo consiste en la aplicación de un conjunto de coeficientes ponderados para cada hora en función del consumo total anual. El cálculo de la ponderación es realizado por el operador del sistema, siendo explicado en detalle en el *artículo 7 de la disposición 1509*. Obteniéndose un perfil horario promedio de consumo según tipo de consumidor y tarifa a aplicar a cada hora para el cálculo de la factura eléctrica de aquellos usuarios cuyo consumo real horario no es conocido.

En las siguientes figuras se muestran los perfiles de consumo diario promedio para los días 1 de enero y 7 de julio del año 2017.

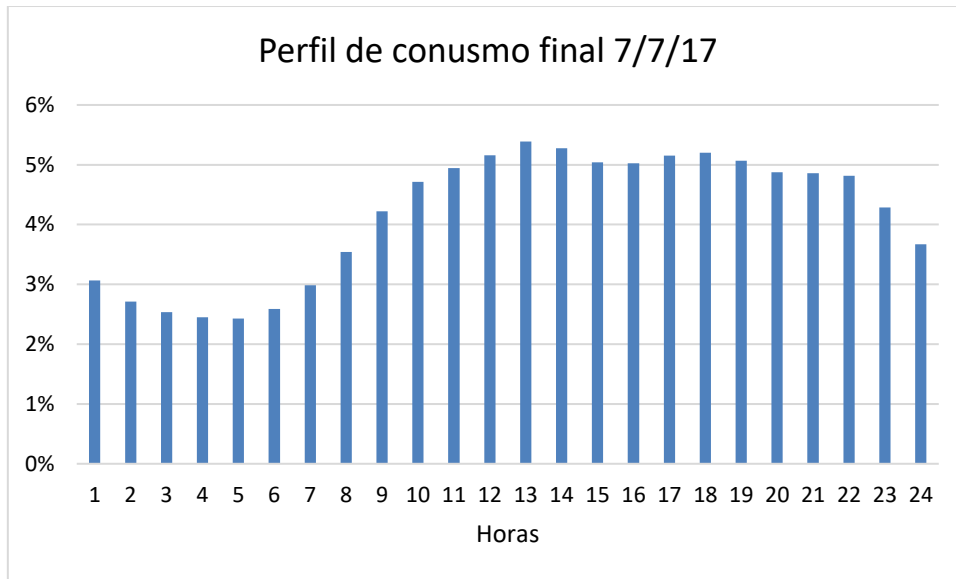


Figura 16. Perfil de consumo final promedio para el día 7 de Julio de 2017.
(Fuente: Elaboración propia datos REE)

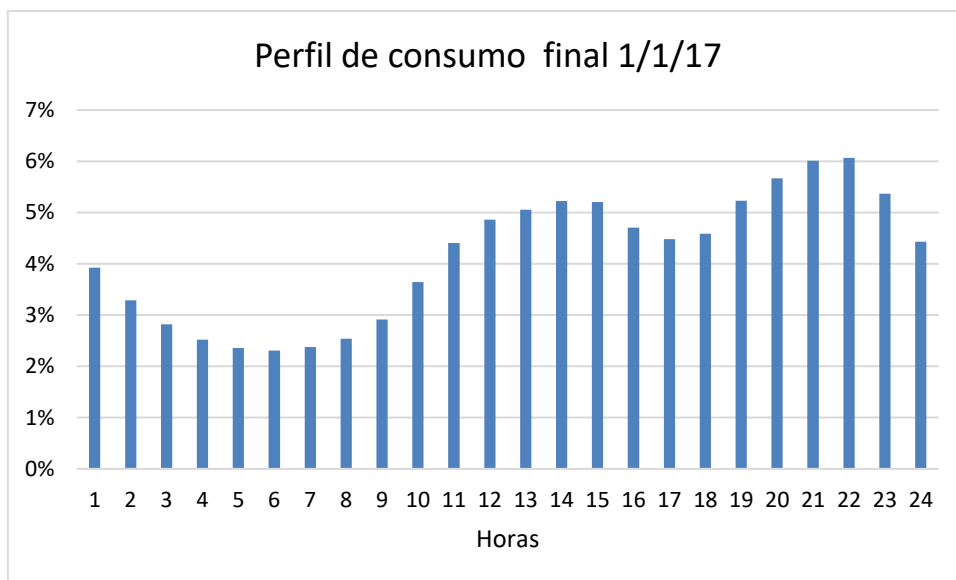


Figura 17. Perfil de consumo final promedio para el día 1 de enero de 2017.
(Fuente: Elaboración propia datos REE)

En ambas figuras donde se han representado los perfiles promedio horarios para estaciones estivales distintas, se corrobora la coincidencia de estos perfiles con el comportamiento medio de los consumidores domésticos españoles respecto al consumo horario, siendo más pronunciado en las horas típicas de almuerzo y cena (14 y 22 horas).

5.2. Contadores eléctricos

El crecimiento exponencial de las TICs (tecnología, información y comunicación) en los últimos años ha llevado a la digitalización de gran parte de las industrias y servicios, como el sector eléctrico. Esta digitalización ha sido fundamental en la evolución experimentada en el sector eléctrico con la penetración creciente de la participación de las energías renovables e introducción de redes

inteligentes. Respecto a la temática del presente proyecto, la digitalización se traduce en la introducción del denominado contador inteligente, elemento fundamental para el conocimiento de los consumos reales de los usuarios domésticos, y la involucración de éstos en la respuesta de la demanda al poder disponer información real sobre su consumo y gestionar éste de forma adecuada en búsqueda de un ahorro económico. Entre las distintas funciones de los contadores inteligentes destacan:

- Su capacidad para aplicar el coste de la energía en el momento de consumo, y consecuente aplicación de los costes de las tarifas de acceso con discriminación según tramo horario.
- Su capacidad para la lectura y tratamiento de los datos obtenidos de forma remota.

En la siguiente figura se ha representado un esquema básico de un contador inteligente:

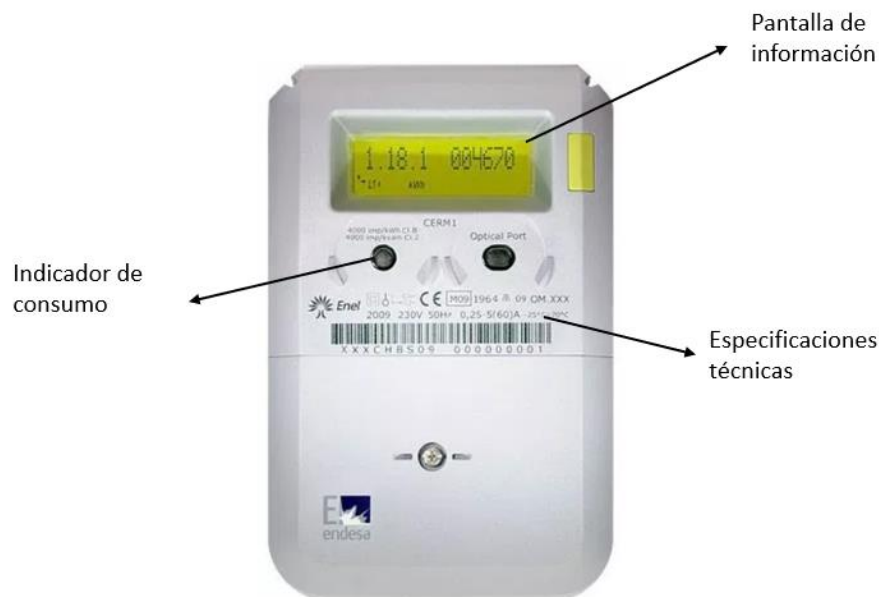


Figura 18. Esquema básico de contador eléctrico.
(Fuente: Endesa)

En la pantalla mostrada del contador representado arriba, el consumidor puede consular en tiempo real varias variables como son el nivel de tensión e intensidad, así como el consumo si tiene contratado una tarifa con o sin discriminación. Teniendo en cuenta este último aspecto, los contadores inteligentes podrían proporcionar de forma indirecta a los usuarios, la posibilidad de conocer los consumos desagregado por equipo en un momento dado. Esto es posible conectando a la red solo aquellos equipos para los cuales se desee conocer su consumo, no siendo posible conocer el consumo por equipo de forma directa teniendo todos los equipos conectados a la vez. Para un conocimiento desagregado de los equipos eléctricos conectados todos a la red, es necesario la aplicación de complejas técnicas matemáticas o el uso de enchufes inteligentes a los cuales se conectan directamente el equipo al que se le quiere analizar su consumo. En definitiva, en un principio el uso de estos equipos en lugar de los contadores convencionales supone un gran avance en el sector eléctrico tanto para empresas eléctricas como consumidores, proporcionando no solo un

flujo de información en ambos sentidos, sino que supone por un lado, la posibilidad de facturar el consumo real de los cliente por parte de las compañías, y por el otro lado, supone una iniciativa para la concienciación por parte de los usuarios finales de su consumo, favoreciendo la gestión y control de éste, así como la tomas de decisiones sobre cambios en los hábitos de consumos que lleve asociado un menor coste en la factura final, aspecto que será analizado en un apartado posterior.

Según las recomendaciones realizadas por la comisión europea el 9 de marzo del 2012, los contadores inteligentes deben de cumplir una serie de requisitos mínimos, los cuales han sido resumidos en la siguiente tabla:

Tabla 7. Tabla resumen de requisitos mínimos de contadores inteligentes.
(Fuente: Comisión europea)

Requisitos dirigidos a clientes	Lectura del consumo, tensión e intensidad a tiempo real de forma directa y sencilla al consumidor.
	Actualización de las lecturas de los contadores con una frecuencia aceptable y almacenamiento de dichos datos en un periodo mínimo tal que permita el estudio de posibles estrategias de consumo para la consecución de ahorro económico.
Requisitos dirigidos a distribuidora y operador de red	Lectura remota de contadores.
	Flujo bidireccional entre contador inteligente y red externa, para permitir un control y funcionamiento adecuado.
	Encendido/Apagado del suministro a distancia, así como control de potencia máxima.
Requisitos dirigidos a un mercado competitivo	Compatibilidad con sistemas tarifarios de varios periodos.
Requisitos de privacidad y seguridad	Detención de posibles fraudes eléctricos.
	Comunicación de forma segura de la demanda y oferta.

Con la estipulación de los requisitos mínimos descritos se pretende tanto favorecer los intereses del consumidor final como los de las distribuidoras, operador del sistema y mercado. Por un lado, se favorece la transferencia de información hacia los consumidores, concienciado a éstos sobre su consumo real y favoreciendo el estudio de posibles soluciones para la consecución de ahorro económicos en la facturación eléctrica. Por parte de las distribuidoras y operadores permite tanto la mejora de control y gestión de la red como la aplicación de los costes del sistema a los consumos reales de los usuarios.

Respecto a la regulación y normativa referida a los contadores inteligentes existen varias directivas tanto a nivel nacional como internacional, las cuales pretenden regular las actividades de estos equipos. Entre las que se destacan las siguientes:

Normativa europea

- **Directiva 2006/32/CE del 5 de abril del 2006 sobre la eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos [12]**, en la cual se resalta la relevancia de la medición electrónica en los estudios y aplicación de soluciones relacionados con el ahorro energético.
- **Directiva 2009/72/CE del 13 de Julio de 2009 sobre normas comunes para el mercado interior de la electricidad [13]**, en la que se fija el año 2020 como año límite para la instalación total de contadores inteligentes de un mínimo del 80 % de los consumidores totales de la unión europea.
- **Mandato M/441 de la comisión europea de 12 de marzo del 2009** a CENELEC, ETSI y CEN [14] para el desarrollo de unas mejoras y estándares en el campo de las redes inteligentes, teniendo como referencia la transferencia de información y la integración de todos los usuarios del sistema eléctrico.
- **Directiva 2012/27/UE del parlamento europeo del 25 de octubre de 2012 [16]**, donde se dictamina que los responsables de los contadores inteligentes será el estado, los cuales serán los encargados de la transferencia de los datos. Adicionalmente se establece la necesidad de informar sobre las características y funcionalidades de los contadores telegestionados a través de diversas campañas.

Normativa española

- **Real Decreto 809/2006 de 30 de junio [43]**, en el cual por una parte se revisa los precios de la tarifa eléctrica a partir de julio de 2006, por otro lado, se establece la obligatoriedad de las propiedades de discriminación horaria de los nuevos contadores a instalar hasta una potencia de 15 kW.
- **Orden IET/3860/2007 de 28 de diciembre [46]**, donde se establece las nuevas tarifas a partir del 1 de enero de 2008 y se dictamina la sustitución total de los contadores analógicos antes del 31 de diciembre del 2018. Según esta orden el papel en la sustitución de los contadores con una potencia menor de 15 kW por cada empresa dependerá de su porcentaje en el parque de los contadores de medidas. La sustitución se distribuye en tres etapas, estando la primera compuesta por la sustitución del 35 % de los contadores antes del 31 de diciembre, un 70% antes del 31 de diciembre del 2016 en la segunda, y el 30% restante antes del 31 de 2018 en la última etapa
- **Real Decreto 1110/2007 de 24 de agosto [44]**, donde se aprueba la normativa de los puntos de medida del sistema eléctrico.

- **Orden IETC/3022/2007 de 10 de octubre [45]**, donde se establecen las normas para llevar a cabo el control meteorológico de los contadores que incorporan sistemas de discriminación horaria, tanto en evaluaciones antes y después de modificaciones y evaluaciones periódicas.
- **Real Decreto 1074/2015 de 27 de noviembre**, por el cual se actualizan el Real decreto y Orden detallados en los párrafos anteriores respecto a los requisitos iniciales de los equipos de medidas equipados con sistemas de telegestión y discriminación horaria.

En la tabla y grafica mostradas a continuación se ha representado la tendencia seguida en la instalación de contadores inteligentes por las cinco grandes distribuidoras (Endesa, Iberdrola, Viesgo, Unión Fenosa, EDP) en los hogares españoles con una potencia contratada menor de 15 kW.

Tabla 8. Evolución de contadores inteligentes instalados.
(Fuente: Elaboración propia datos publicados por las distribuidoras)

	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Contadores totales instalados (millones)	7,36	11,11	16,36	21,45	25,15	26,79
Porcentaje de contadores instalados (%)	27,24	41,12	60,53	79,37	93,06	99,15

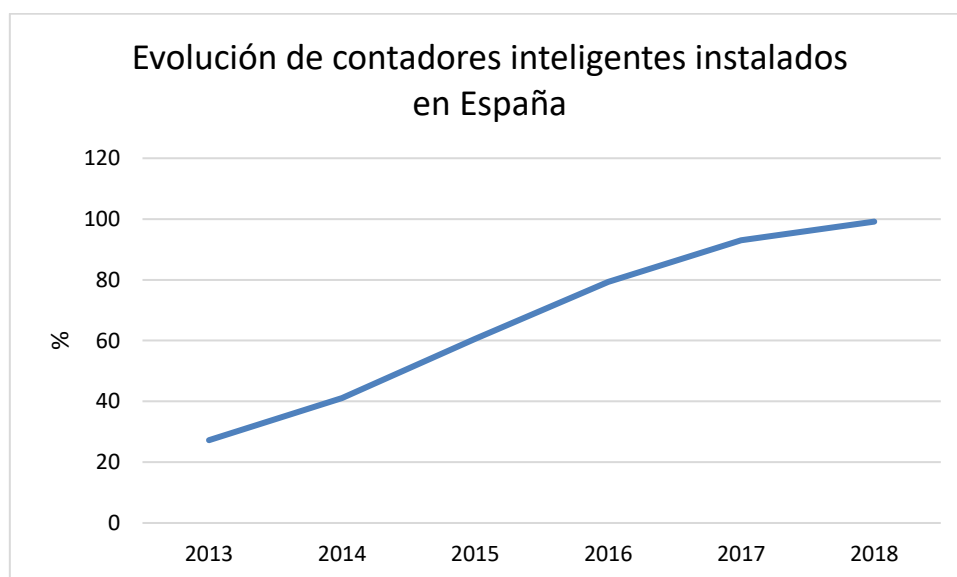


Figura 19. Evolución experimentada por la instalación de los contadores inteligentes en hogares con una potencia menor de 15 kW.
(Fuente: Elaboración propia datos publicados por las distribuidoras)

Al comparar las evoluciones de la Figura 19 y Figura 15, está última donde se ha representado la evolución de los consumidores acogidos a tarifas con discriminación horaria mostrada en la sección anterior, se puede observar una relación directa entre la evolución de los contadores y el aumento de consumidores acogidos a tarifas discriminatoria. Evento que evidencia la importancia e influencia de los equipos de medidas en una actuación efectiva de la participación de los consumidores domésticas en el mecanismo de repuesta de la demanda.

La relación mostrada entre los contadores inteligentes y la apuesta de los clientes por tarifas con discriminación podría estar motivada entre otros motivos por el conocimiento de estos de su propio consumo horario, con la consiguiente posibilidad de aplicar diferentes estrategias de desplazamiento de su consumo y obtener una reducción en su factura eléctrica.

La posibilidad de diferentes estrategias de desplazamiento para trasladar parte del consumo de horas punta a horas valles, y su consecuencia en la factura para clientes acogidos a PVPC será el objetivo del siguiente apartado.

5.3. Desagregación del consumo residencial

Para el planteamiento de distintas estrategias de desplazamientos es necesario tener un conocimiento previo sobre los hábitos de consumo horario frecuentes del usuario según tipo de equipo implicado en el consumo eléctrico total, es decir, disponer de información del consumo horaria de forma desagregada. La desagregación del consumo eléctrico de una vivienda a partir de una única curva de carga según tipo de electrodoméstico es uno de los grandes retos dentro del sector energético, son numerosos los estudios e investigaciones que han abordado esta temática [32,35,65,74] a través de distintas técnicas matemáticas, sin encontrar una solución con suficiente garantía.

Hoy en día a través de los contadores inteligentes los consumidores tienen acceso al consumo horario total, el cual puede ser consultado a través de la página web de la compañía distribuidora. Sin embargo, no es posible disponer de un conocimiento de este consumo de forma desagregada. Por ello para el análisis de las estrategias de desplazamientos de parte del consumo de horas puntas a horas valles y el posterior análisis de su influencia en la economía del consumidor se analizará los datos de consumos desagregados publicados en los proyectos EURECO y SPAHOUSEC [27,40], los cuales están relacionados con la desagregación del consumo eléctrico total en función de los equipos utilizados.

El análisis sobre la desagregación de consumo se ha estudiado sobre un consumidor promedio utilizando los datos de consumo eléctrico publicado en el proyecto SPAHOUSEC llevado a cabo en el año 2011, donde fueron publicados datos estadísticos sobre los hábitos de consumo de los hogares españoles. En particular se considerará un hogar medio con un consumo anual de 3487 kWh, con una distribución igual a la mostrada en la siguiente tabla:

Tabla 9. Distribución del consumo total medio según servicio.
(Fuente: Elaboración propia datos publicados en SPAHOUSEC)

Calefacción (kWh)	258 kWh
ACS (kWh)	262 kWh
Cocina (kWh)	324 kWh
Refrigeración (kWh)	80 kWh
Iluminación (kWh)	408 kWh
Electrodoméstico (kWh)	2155 kWh
Total (kWh)	3487 kWh

Como se muestra la tabla anterior los electrodomésticos con un consumo de 2155 kWh tienen el mayor peso en la repartición del consumo total, y por consiguiente el mayor peso en la factura eléctrica del cliente. A continuación, en las siguientes figuras se muestran la distribución porcentual del consumo total, desagregando el consumo correspondiente a los electrodomésticos según tipo:

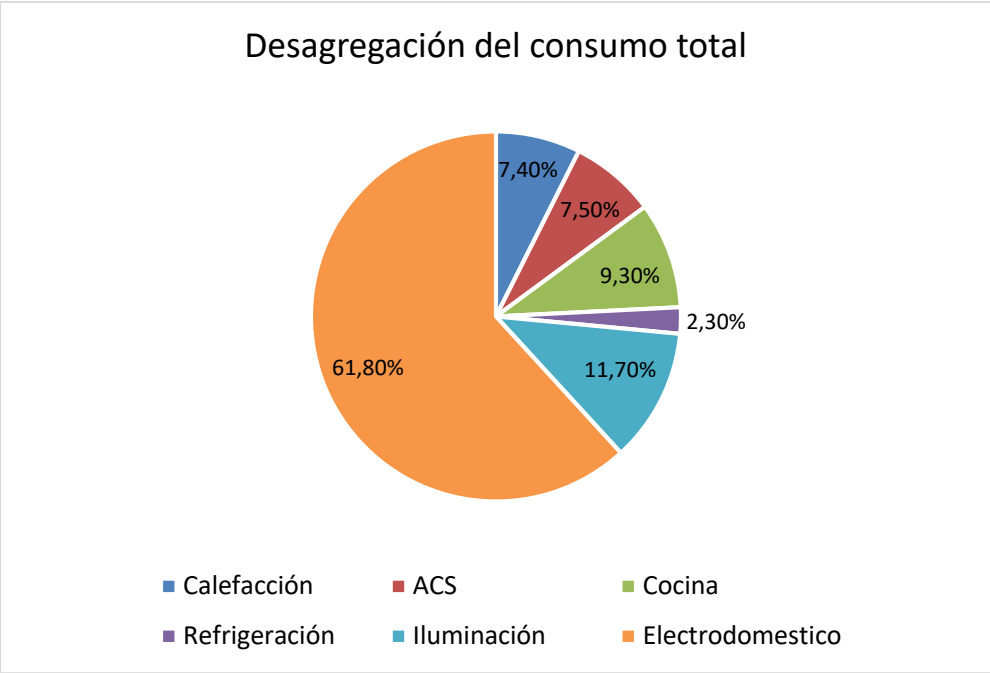


Figura 20. Distribución porcentual del consumo total según servicio.
(Fuente: Elaboración propia datos publicados en SPAHOUSEC)

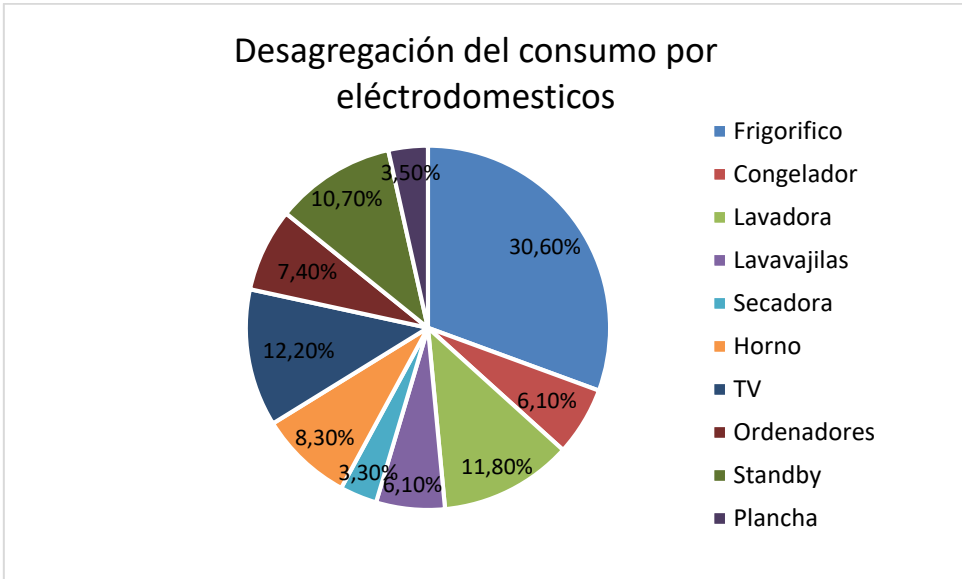


Figura 21. Distribución porcentual correspondiente a los electrodomesticos.
(Fuente: Elaboración propia datos publicados en SPAHOUSEC)

En la figura anterior se observa que el electrodoméstico que más electricidad consume en una vivienda es el correspondiente a los frigoríficos en gran medida debido a sus 24 horas de funcionamiento, seguido de la lavadora con un 11,8%.

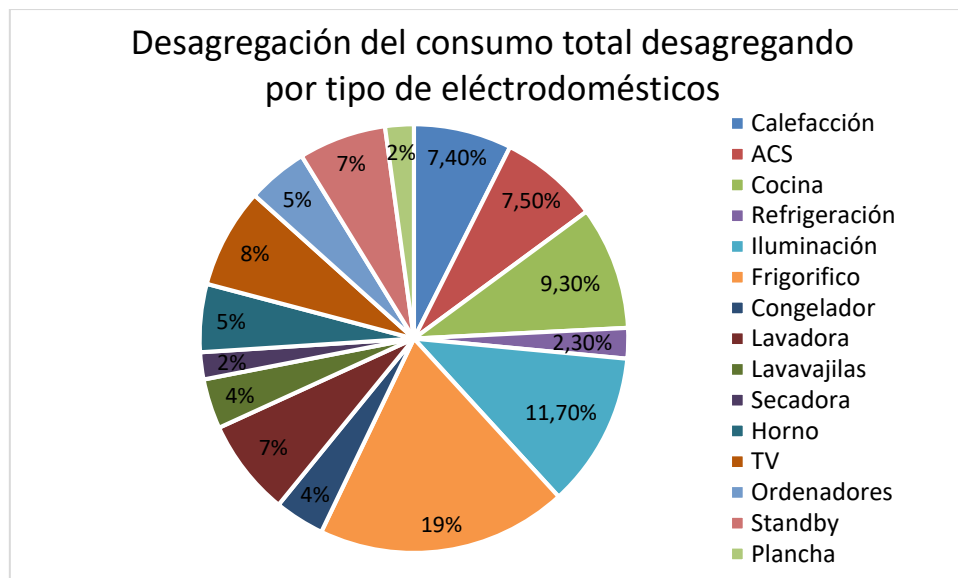


Figura 22. Repartición porcentual del consumo total incluido el reparto según tipo de electrodoméstico.
(Fuente: Elaboración propia datos publicados en SPAHOUSEC)

En la última figura mostrada arriba, donde el consumo total correspondiente a los electrodomésticos ha sido desagregado según su tipo, el mayor porcentaje está representado por el consumo producido por el frigorífico (19%), en segundo lugar, se encuentra la iluminación (11%), seguida muy de cerca por varios equipos cuyo consumo están en torno al 9-7 %, como son televisión, lavadora o cocina eléctrica. También es de destacar el porcentaje relativamente alto asociado al standby (7%), un consumo en el que en la mayoría de los casos podría ser ahorrado.

Como se ha podido observar de los datos publicados por SPAHOUSEC, existen equipos como las lavadoras y los lavavajillas cuyos consumos suma un porcentaje del 11% sobre el total, los cuales son en un principio susceptibles a sufrir desplazamientos de horas punta a horas valles, produciendo el consiguiente ahorro para el consumidor.

Para el estudio de las posibles estrategias a llevar a cabo sobre el desplazamiento del consumo, no solo es necesario conocer el total consumido según equipo, sino que además es necesario el conocimiento de sus curvas horarias.

Las distribuciones de probabilidad de la curva de carga horaria promedio de algunos equipos han sido publicadas como resultado del proyecto EURECO, el cual está basado en una amplia campaña de monitorización ejecutada en el año 2012 sobre el consumo eléctrico de los hogares de 5 países de la Unión Europea (Dinamarca, Grecia, Francia, Portugal y Italia). Para los análisis llevados a cabo a continuación en este proyecto ha sido tomados como referencia los resultados asociados a Portugal, debido a su proximidad y similitud en el comportamiento.

En las siguientes figuras son mostradas los perfiles de distribución de probabilidad de las horas de funcionamiento de algunos de los principales dispositivos de consumo eléctrico residencial en Portugal según el estudio EURECO [27], la cuales serán utilizadas para los análisis de desplazamientos llevados a continuación para el consumo español.

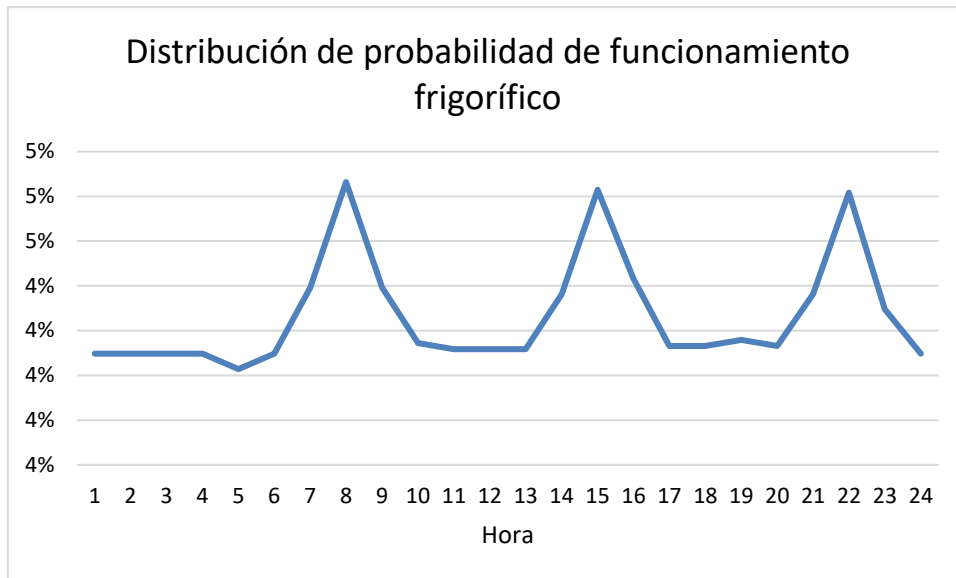


Figura 23. Distribución de probabilidad de funcionamiento horario de los frigoríficos. (Fuente: Elaboración propia datos publicados en EURECO)

En la figura anterior se observa un consumo bastante constante a lo largo del día, con unos picos del 1% superior sobre el consumo normal en algunas horas. Estos picos pueden estar causados por la correspondiente caída de temperatura en el interior, debido a una mayor frecuencia de apertura de estos equipos, coincidiendo con las horas típicas de preparación de las principales comidas del día, y la consiguiente mayor probabilidad de apertura de los frigoríficos.

Para el caso del congelador se va a suponer una función de probabilidad igual a la del frigorífico, considerándose esta función más representativa que la calculada con los datos de EURECO, donde solo tres muestras en un corto periodo de tiempo fueron monitorizadas. Esta elección está basada en la coherencia, suponiéndose el mayor consumo de los congeladores, al igual que el de los frigoríficos, en aquellas horas típicas de comida.

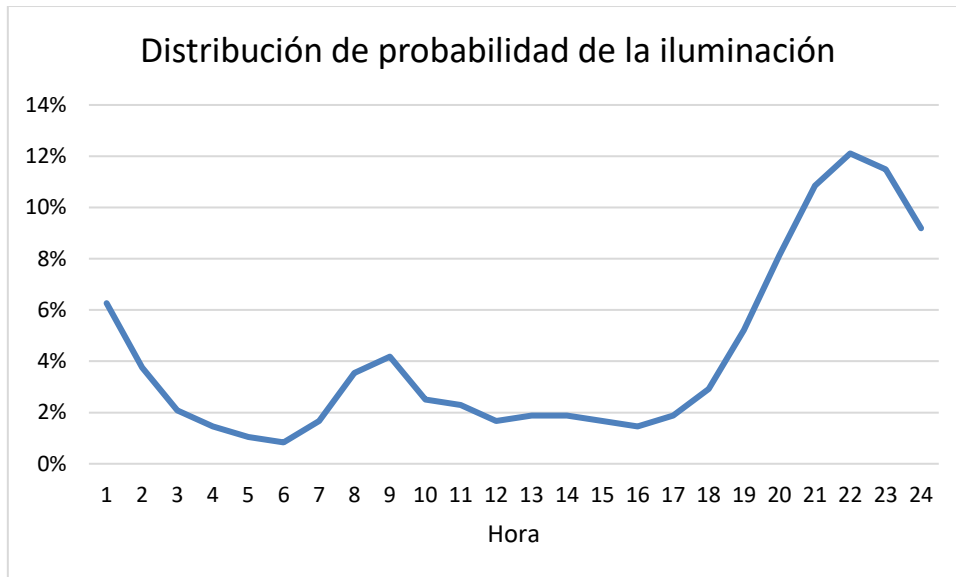


Figura 24. Distribución de probabilidad de funcionamiento horario de la iluminación. (Fuente: Elaboración propia datos publicados en EURECO*)

En el caso de la iluminación se observa una distribución bimodal con un gran pico sobre las 21-23h correspondiente con la carencia de luz natural y el alto grado de ocupación en las viviendas por parte de los usuarios. El otro pico observado, el cual es mucho menor, se produce sobre las 8-9h de la mañana, pues a pesar de la presencia de luz natural corresponde con un alto porcentaje de usuarios en la casa que comienzan a prepararse para comenzar la jornada laboral, muchos de los cuales tienden a encender la luz en algunos casos motivados por la ausencia de luz natural según disposición de la vivienda y arquitectura.

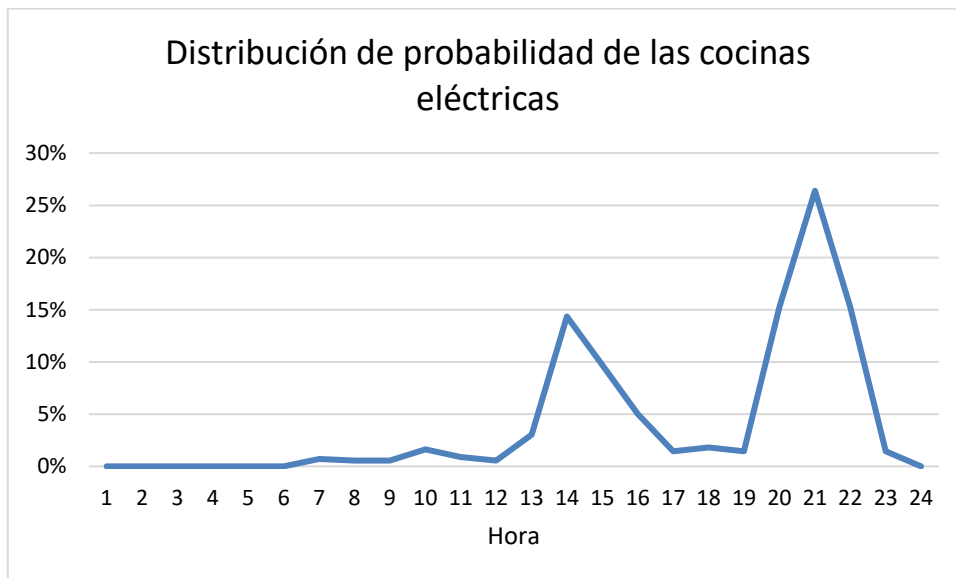


Figura 25. Distribución de probabilidad de funcionamiento horario de las cocinas eléctricas. (Fuente: Elaboración propia*)

* En EURECO son publicadas el consumo en Portugal de solo dos horas, el resto se ha supuesto teniendo en cuenta el grado de ocupación de la vivienda y elevación solar.

Los picos en la función de probabilidad de la cocina como era de esperar coinciden con las horas más típicas de almuerzo y cena en España, las cuales, aunque suelen variar un poco entre invierno y verano, suelen tener lugar cerca de las horas donde se ha mostrado los picos de consumo de la cocina eléctrica en la mayoría de los hogares.

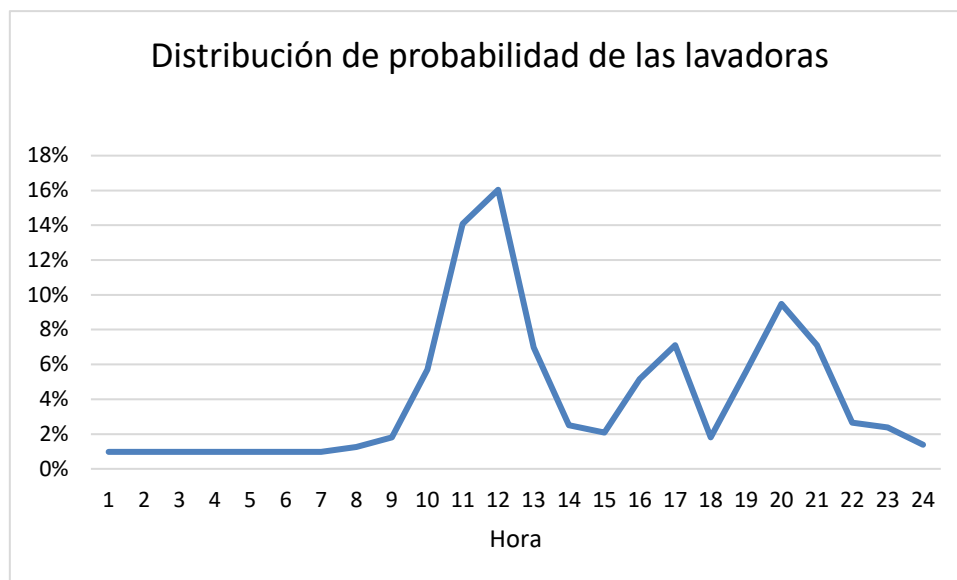


Figura 26. Distribución de probabilidad de funcionamiento horario de las lavadoras (Fuente: Elaboración propia datos publicados en EURECO)

En la figura anterior donde se ha representado la distribución de probabilidad para las lavadoras, se observa varios picos de consumo (sobre las 12h, 17h y 20 horas). El mayor de estos picos se da sobre las 12, este hecho puede estar motivado por el aprovechamiento de las horas de sol para secar la ropa tras la posterior finalización de las lavadoras. Por otro lado, el pico observado sobre las 20 h puede corresponder a aquellos usuarios que estén trabajando durante todo el día y no tenga servicio de ayuda para las labores domésticas.

† En EURECO no se han publicado datos respecto a la distribución del consumo horario de cocina, por lo que para la realización de este proyecto esta se ha supuesto la misma que la de los lavavajillas adelantada dos horas.

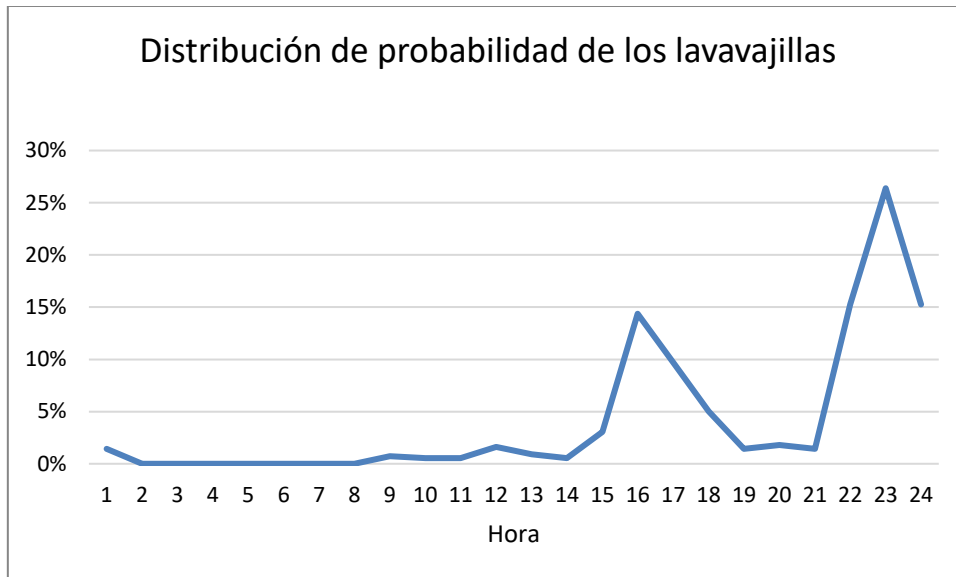


Figura 27. Distribución de probabilidad de funcionamiento horario de los lavavajillas.
(Fuente: Elaboración propia datos publicados en EURECO)

Respecto a los lavavajillas, al igual que ocurre con la cocina, presenta una distribución bimodal, cuyos picos tienen lugar en las horas posteriores a la finalización del almuerzo y cena.

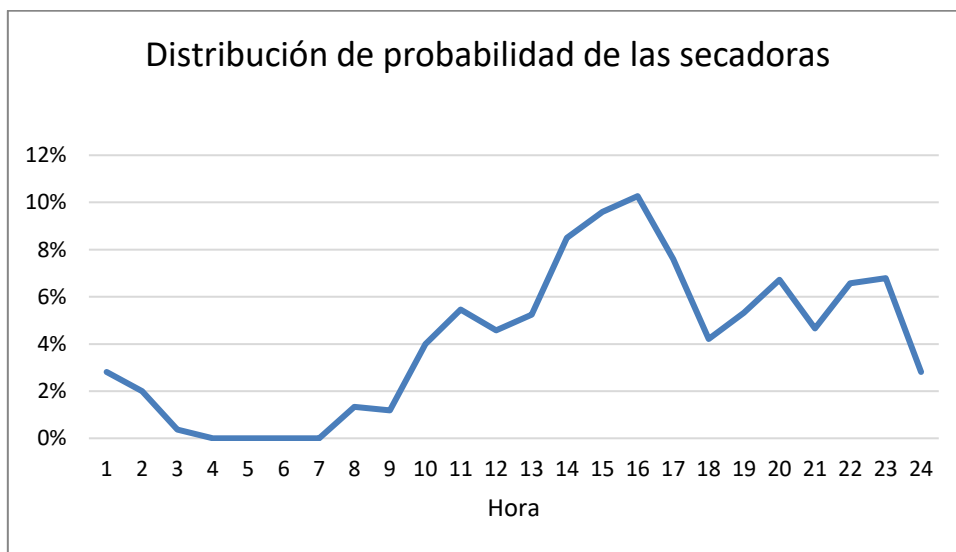


Figura 28. Distribución de probabilidad de funcionamiento horario de las secadoras.
(Fuente: Elaboración propia datos publicados en EURECO)

En la figura anterior se observa una curva de probabilidad creciente desde las 8 h hasta las 15h, hora donde se produce la máxima probabilidad de funcionamiento (10%). Es un poco sorprendente este pico de la secadora el cual en un principio no está impulsado o respaldado por ningún hábito predominante por parte de los usuarios. Destaca el porcentaje superior al 6 % en las horas nocturnas (22h-23h), en parte motivado por la disponibilidad de los consumidores a partir de esas horas de tiempo libre tras realizar otras series de tareas domésticas anteriormente (ducha, preparación de la cena, cuidado de niños...)

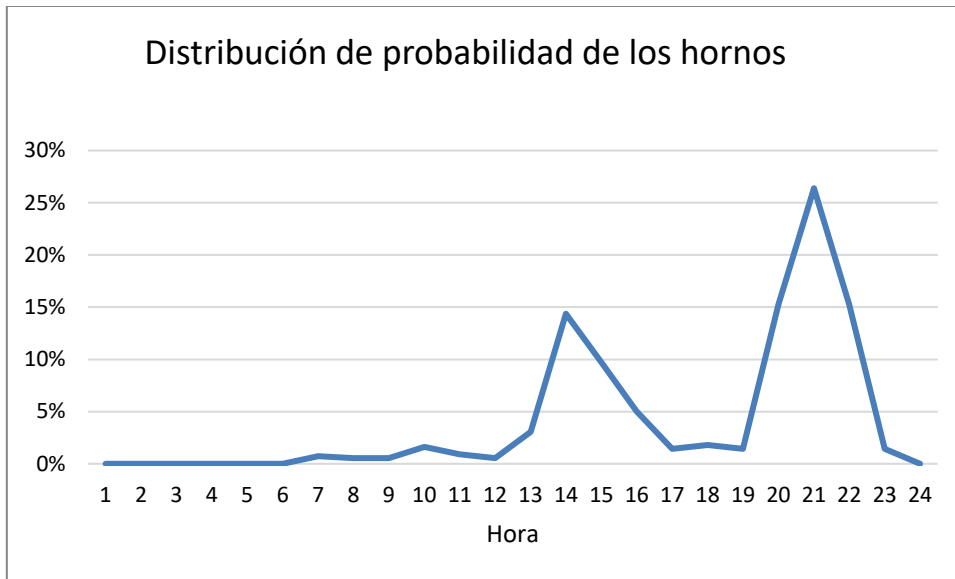


Figura 29. Distribución de probabilidad de funcionamiento horario de los hornos.
(Fuente: Elaboración propia[‡])

Al igual que ocurre con la distribución de probabilidad de la cocina, esta función se ha supuesto igual a la distribución de los lavavajillas adelantada dos horas, alcanzándose sus picos en torno a las 14h y 21h.

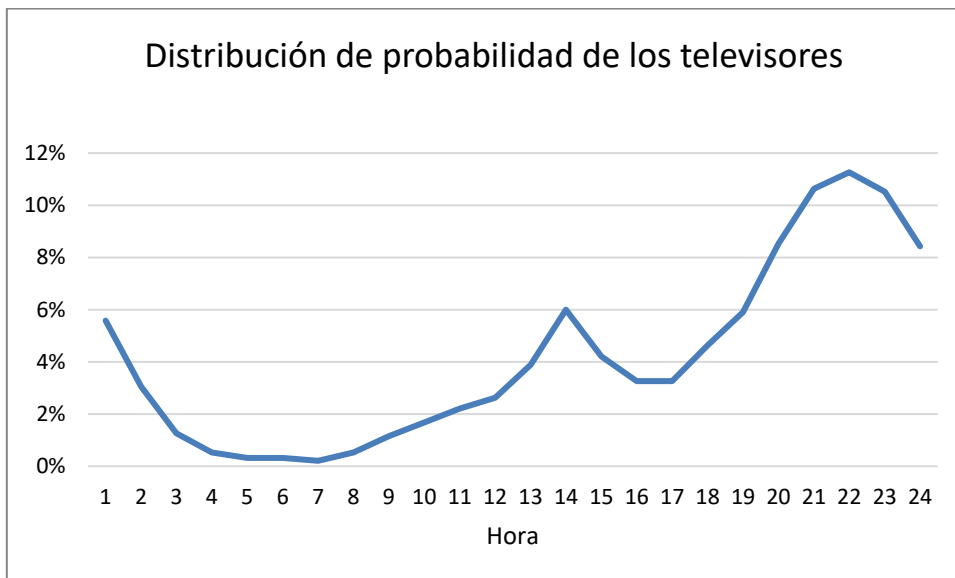


Figura 30. Distribución de probabilidad de funcionamiento horario de los televisores.
(Fuente: Elaboración propia datos publicados en EURECO)

Dos picos también son observados en la distribución de funcionamiento de los televisores mostrada arriba. Estos picos son observados sobre las 14h y 22 h, siendo estas horas próximas a los horarios más frecuente de comida.

[‡] La función de distribución ha sido supuesta de igual forma que la distribución de la cocina

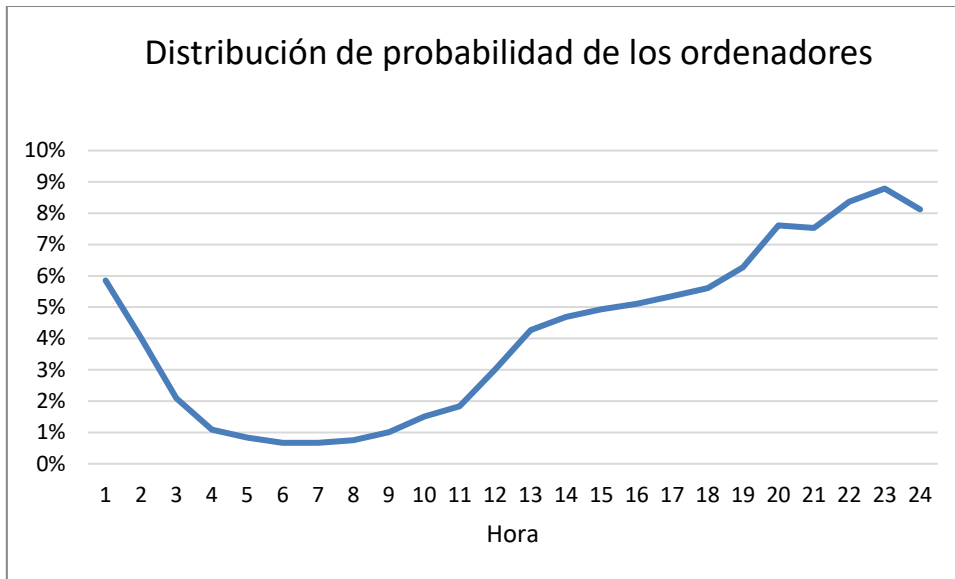


Figura 31. Distribución de probabilidad de funcionamiento horario de los ordenadores. (Fuente: Elaboración propia datos publicados en EURECO)

En la figura anterior, es observada una distribución creciente desde las 7 hasta las 23 horas, alcanzándose su máximo (9%) a las 23h. El mayor consumo observado sobre las 22-24h está motivado por la coincidencia del alto grado de ocupación de los consumidores en las viviendas y las horas de descanso de éstos.

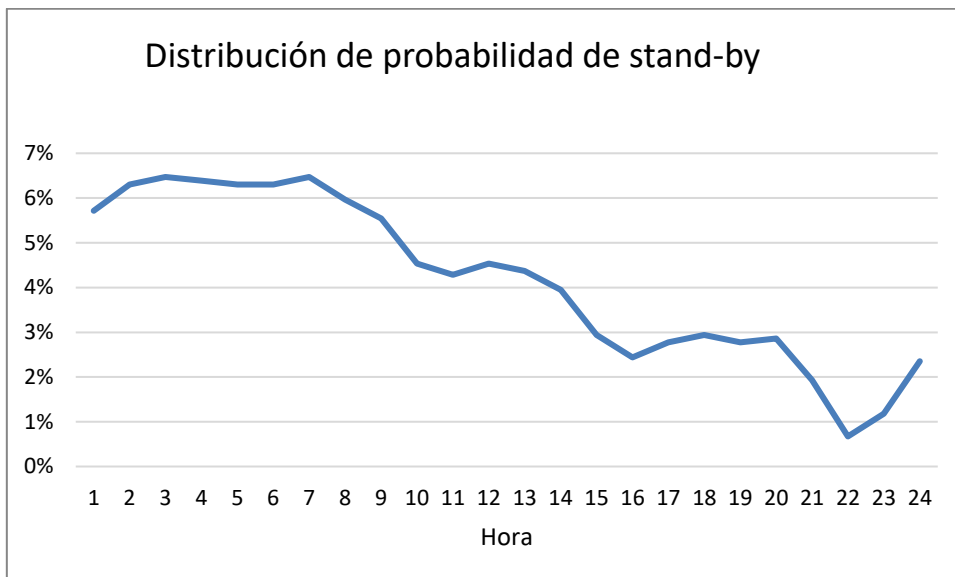


Figura 32. Distribución de probabilidad de funcionamiento horario de stand-by. (Fuente: Elaboración propia datos publicados en EURECO)

En la figura anterior como era de esperar el mayor consumo de los dispositivos en stand-by se produce en horas nocturnas (1-7h), horas donde el consumo global es menor al tratarse de horas en las que la mayoría de los consumidores se encuentran durmiendo, predominando en la mayoría de los equipos un estado de off o standby.

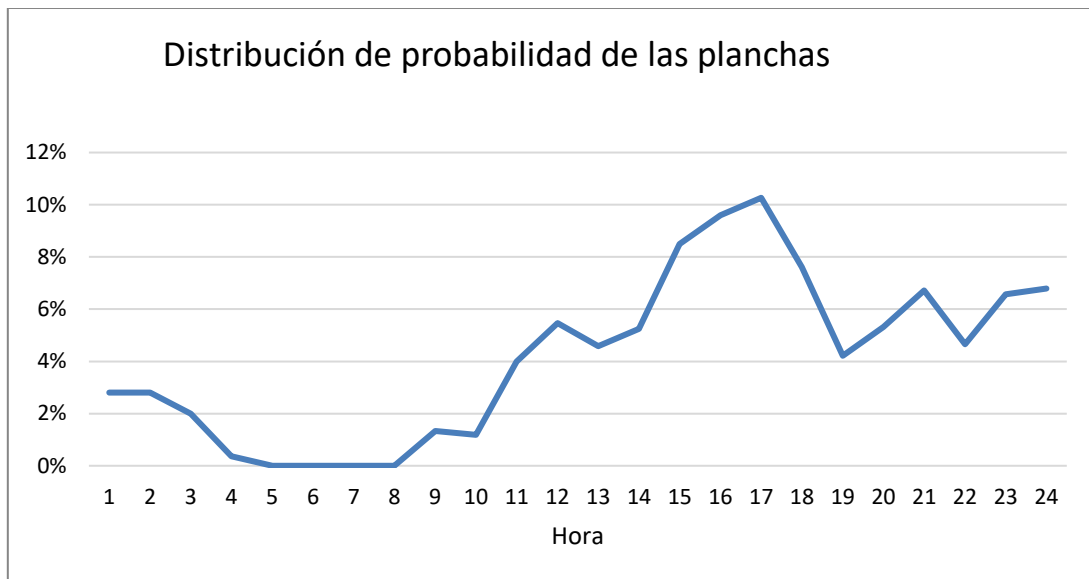


Figura 33. Distribución de probabilidad de funcionamiento horario de las planchas
(Fuente: Elaboración propia)

La función de probabilidad de las planchas se ha supuesto igual que la de la secadora, pero desplazada una hora, suponiendo el mayor uso de estos equipos al finalizar el periodo de secado, ya sea a través de dispositivos electrónicos como secadora, calefactor, etc., o haciendo uso de recurso natural como la luz solar.

En el proyecto EURECO [27] los consumos horarios referentes a la calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria, o bien no fueron medidos, o solo fueron medidos en algunos meses, no reflejando su distribución el fuerte carácter estacional que estos consumos presentan. Por consiguiente, para conocer el consumo horario en estos casos, diferentes procedimientos han sido llevados a cabo.

A diferencia de las funciones representadas arriba, las cuales están basadas en encuestas realizadas sobre los consumos típicos de los consumidores, las funciones de probabilidades mostradas a continuación se basan en simulaciones llevadas a cabo para unas condiciones dadas.

Por un lado, en la herramienta unificada LIDER-CALENER, única herramienta informática permitida oficialmente para la obtención del certificado energético de una vivienda [49], se ha simulado el consumo horario de la demanda de calefacción y refrigeración de una vivienda situada en Madrid de 69 m² metros repartidos en 5 estancias, con unas características constructivas típicas de los años 80, caracterizada por envolvente de baja calidad. Para el cálculo de la demanda eléctrica se ha supuesto un COP de 3 y una temperatura interior según las temperaturas de consigna mostrada en la siguiente tabla:

USO RESIDENCIAL	(24h, BAJA)				
	1-7	8	9-15	16-23	24
Temp Consigna Alta (°C)					
Enero a Mayo	–	–	–	–	–
Junio a Septiembre	27	–	–	25	27
Octubre a Diciembre	–	–	–	–	–
Temp Consigna Baja (°C)					
Enero a Mayo	17	20	20	20	17
Junio a Septiembre	–	–	–	–	–
Octubre a Diciembre	17	20	20	20	17

Figura 34. Temperaturas de consigna según el código técnico de la edificación (Fuente: Documento básico HE [8])

Donde la temperatura de consigna es definida en el documento básico HE [8] como:

“temperatura o rango de temperaturas consideradas en el cálculo de la demanda energética que fija el límite de temperatura interior a partir del cual operan los sistemas de acondicionamiento del edificio, requiriendo aportes energéticos”.

Por consiguiente, se va a calcular las funciones de probabilidad de los consumos horarios de calefacción y refrigeración mínimos, que requiere la vivienda caracterizada, para mantener las temperaturas citadas anteriormente según periodo y hora.

Para las condiciones detalladas arriba se ha obtenido como resultado las siguientes funciones de probabilidad para el consumo horario de refrigeración y calefacción respectivamente.

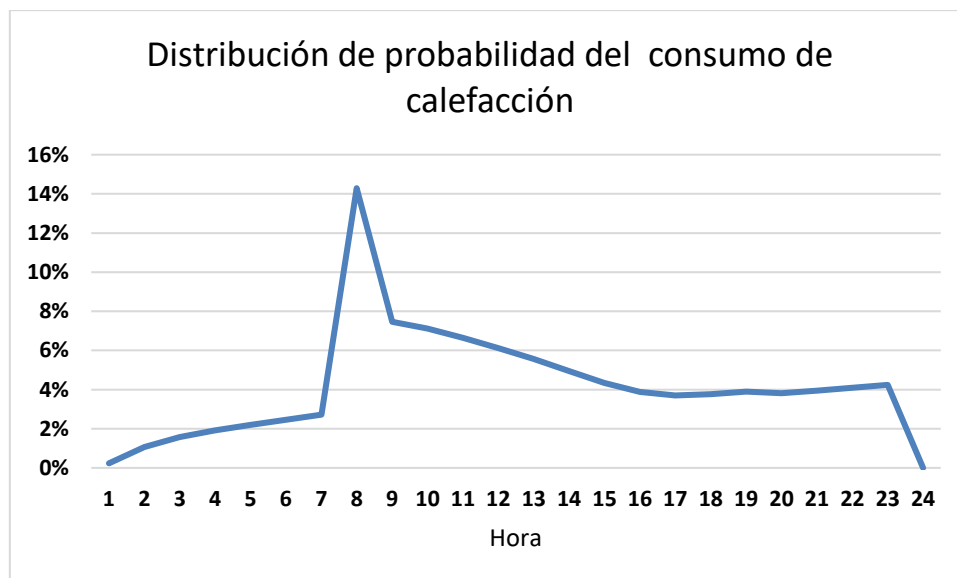


Figura 35. Distribución de probabilidad del consumo de calefacción para mantener las temperaturas de consigna. (Fuente: Elaboración propia)

En la figura anterior un pico es observado a las 8 horas, éste es motivado por la necesidad de aporte extra por parte del equipo para pasar de una temperatura de 17°C a 20°C. El consumo del equipo desciende en la hora siguiente, y se mantiene más o menos constante hasta la 23 h, sufriendo un

descenso a las 24h motivada por el descenso de temperatura de consigna, no siendo en dicho caso necesario apenas el aporte de consumo eléctrico.

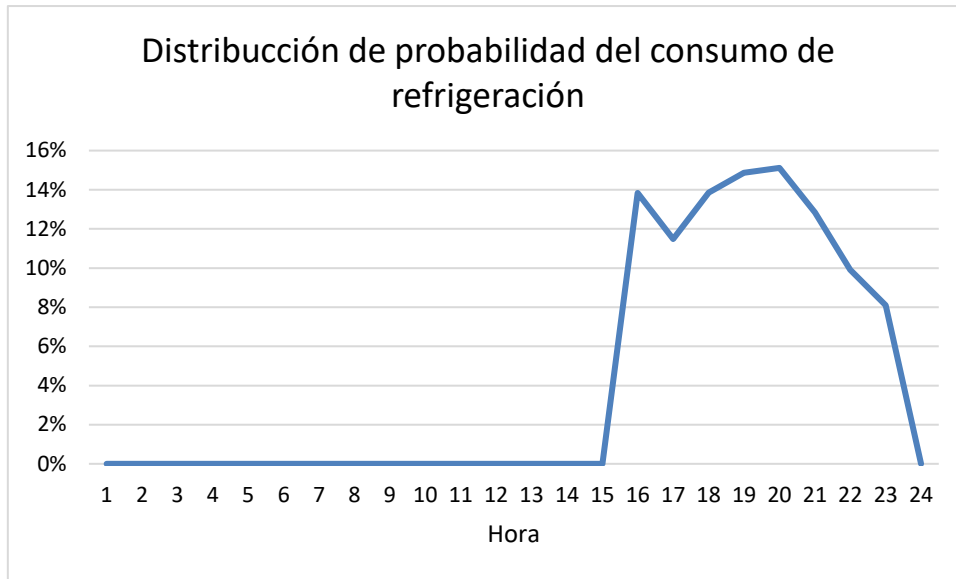


Figura 36. Distribución de probabilidad del consumo de refrigeración para mantener las temperaturas de consigna.
(Fuente: Elaboración propia)

La función de probabilidad del consumo de refrigeración para el caso caracterizado mostrada arriba es igual a 0 hasta las 15 de la tarde, coincidiendo con la ausencia de temperatura de consigna según el código técnico. Para estas horas la inercia de la vivienda y su propia construcción es tal que no necesita de un aporte de energía extra a través de un equipo externo para mantener una temperatura inferior a 25°C.

Los perfiles de consumo de agua caliente doméstica son difíciles de definir debido a la gran cantidad de variables, como son las condiciones geográficas, económicas y sociales, comportamiento y número de ocupantes, condiciones climáticas en diferentes períodos del año, etc. [62]. En este caso para obtener la función de probabilidad del consumo eléctrico de aquellos equipos utilizados para calentar agua caliente sanitaria (ACS), se ha recurrido a los anexos publicados por el IDAE sobre “Condiciones de aceptación de procedimientos alternativos a LIDER y CALENDER” [39]. En concreto se ha hecho uso del perfil diario del % de consumo mostrado en la siguiente tabla:

Tabla 10. Perfil diario del % del consumo máxima de ACS.
(Fuente: Anexos del documento “Condiciones de aceptación de procedimiento alternativos a LIDER y CALENDER”)

Viviendas																								
Ventilación invierno ³	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Laboral, sábado y festivo	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Agua Caliente Sanitaria (%)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Perfil Diario (% del Máximo)	12	5	4	2	2	6	27	100	70	75	62	56	48	48	41	33	39	38	52	70	57	63	48	52

² En régimen de verano, durante el período comprendido entre la 1 y las 8 horas, ambas incluidas, se supondrá que los espacios habitables de los edificios destinados a vivienda presentan una infiltración originada por la apertura de ventanas de 4 renovaciones por hora. El resto del tiempo, indicados con * en la tabla, el número de renovaciones hora será constante e igual al calculado según el procedimiento del apartado 4.7.4.

³ El número de renovaciones hora, indicado con * en la tabla, será constante e igual al calculado según el procedimiento del apartado 4.7.4.

Haciendo uso del consumo de demanda de ACS mostrado en la tabla anterior, la función de probabilidad del consumo eléctrico queda mostrado en la siguiente figura:

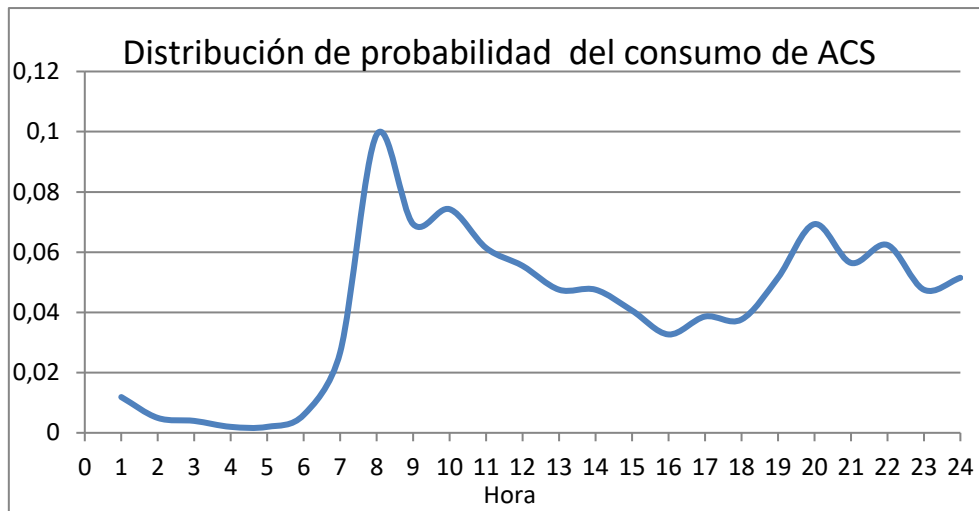


Figura 37. Distribución de probabilidad del consumo de ACS.

(Fuente: Elaboración propia datos publicados Condiciones de aceptación de procedimientos alternativos a LIDER y CALENDER)

Un mayor consumo es observado a primeras y últimas horas del día, correspondiendo con el horario típico de ducha por parte de los usuarios.

En este apartado se ha puesto de manifiesto la variabilidad horaria de los consumos residenciales eléctricos, cuyo conocimiento y simulación es fundamental tanto para el estudio sobre la óptima tarifa a contratar por parte del consumidor según su patrón de consumo, como para el análisis de las estrategias de desplazamiento de parte de estos consumos.

6. PERIODO TARIFARIO ÓPTIMO SIN CAMBIO DE HÁBITOS DE CONSUMO

En este apartado se mostrará diferentes estudios sobre la tarifa óptima a contratar por diferentes tipos de consumidores.

6.1. Consumidor con un perfil de carga promedio proporcionado por REE

En este apartado un análisis sobre la tarifa de acceso óptima a contratar por un consumidor con PVPC será llevado a cabo.

Hay que enfatizar que en este estudio solo se analizará el cambio de tarifa eléctrica, manteniendo los usuarios finales su patrón de consumo, y por consiguiente sin repercusión por parte de esta actuación en el desplazamiento de la curva de demanda.

Para tal análisis se utilizará los datos del proyecto SPAHOUSEC publicados en el año 2011 sobre el consumo residencial, donde han sido reflejado los resultados estadísticos obtenidos de la campaña de medidas y encuestas realizada en el 2010 sobre los hábitos de consumo del pequeño consumidor ($P_c < 10$ kW). Un análisis detallado tanto de los consumos térmicos como eléctricos según tipo de vivienda y zona climática es mostrado en el citado proyecto.

Del total de datos mostrado en SPAHOUSE, el consumo eléctrico medio por vivienda, así como la distribución de este consumo según servicio (calefacción, agua caliente sanitaria, cocina, refrigeración, iluminación y electrodomésticos), incluido la distribución detallada del consumo según tipo de electrodoméstico (frigorífico, congelador, lavadora, lavavajillas, secadoras, horno, TV, ordenadores, stanby y otros), serán el utilizados.

Para analizar las diferencias económicas que le supone a un consumidor tener contratado el PVP con tarifa de acceso de un único periodo 2.0.A o una tarifa con discriminación horaria de dos o de tres periodos, 2.0.DHA o 2.0.DHS, respectivamente, se partirá de un consumo medio de **3487 kWh**.

Como **caso base** para la realización de este estudio se supondrá un **consumidor con PVPC y tarifa de acceso única**, cuya facturación será comparada con la facturación para el mismo consumidor, pero con PVPC con discriminación horaria.

La diferencia entre PVPC con y sin discriminación radica en el término variable de la componente referida al peaje de acceso, siendo el cálculo de esta componente y su comparación el principal objetivo del estudio llevado a cabo en este capítulo.

En el caso base, con un coste de peaje de 0,04027 €/kWh para todas las horas y un consumo medio anual de 3487 kWh, **un coste anual asociado a la tarifa de acceso de 154 €** es obtenido.

Para calcular el coste anual de la componente del peaje de acceso para periodos tarifarios con discriminación es necesario conocer la curva de carga horaria del consumidor. En este caso se tomará el perfil de consumo ofrecido por REE para el año 2017 para el grupo de consumidores con una tarifa 2.0.A, este perfil fue el utilizado durante el año 2017 para calcular la facturación de aquellos consumidores acogidos al PVPC y que no disponían de equipos de medidas telegestionados. Como se ha comentado con más detalle en un apartado previo este perfil de carga indica el porcentaje horario del consumo total anual para una determinada hora, día y mes.

La siguiente figura muestra la distribución horaria del consumo anual de 3487 kWh estudiado. En los meses de invierno (enero y diciembre), una mayor frecuencia de consumos picos es mostrada, mientras que en el resto de los meses una menor variabilidad entre los valores horarios es mostrada, no alcanzase para estos meses los valores picos observados en los meses de invierno.

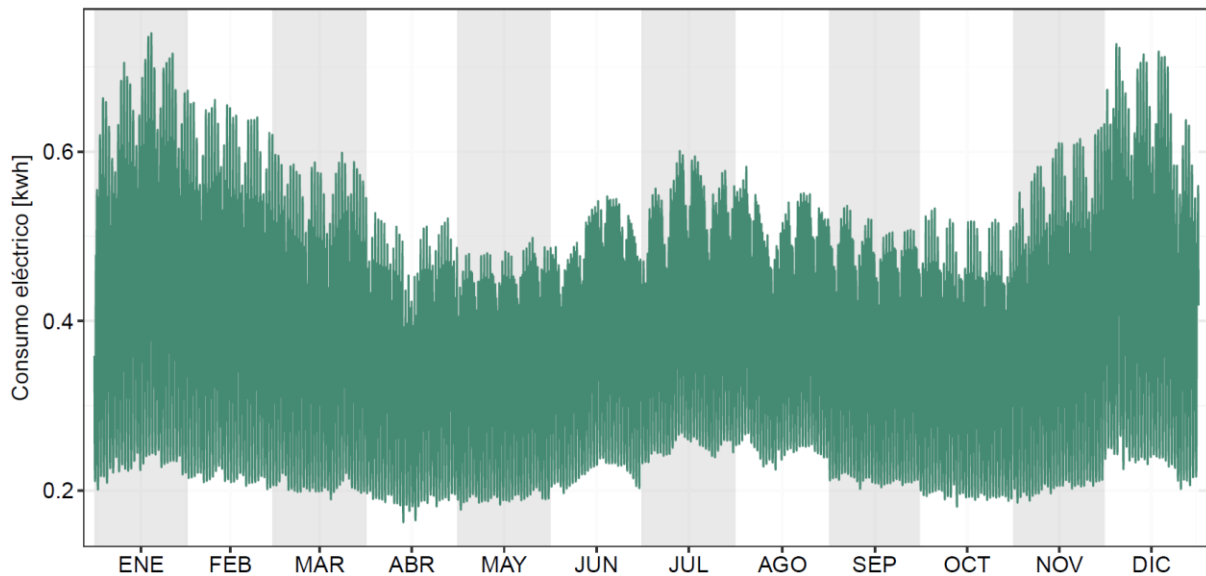


Figura 38. Distribución del consumo eléctrico del consumidor base estudiado.
(Fuente: Elaboración propia de los datos publicado REE y SPAHOUSEC)

En la siguiente tabla se muestra la distribución del consumo mencionado según franja horaria y periodo estival para las tarifas de dos y tres periodos mencionados.

Tabla 11. Distribución del consumo según franja horaria de tarifa 2.0. DHA.
(Fuente: Elaboración propia de los datos publicado REE y SPAHOUSEC)

2.0 DHA	P1 (0,062012 €/kWh)		P2 (0,002215 €/kWh)	
	Verano	[13-23h)	967 kW	[23-13h)
Invierno	[12-22)	990 kW	[22-12h)	732 kW
Total		1957 kW		1530 kW

Tabla 12. Distribución del consumo según franja horaria de tarifa 2.0. DHS.
(Fuente: Elaboración propia de los datos publicado REE y SPAHOUSEC)

2.0 DHS	P1 [13-23h] (0,062012 €/kWh)	P2 [23-1h) y [7-13h) (0,002879 €/kWh)	P3 [1-7h) (0,000886 €/kWh)
Todo el año	1764 kW	1205 kW	517 kW

Para el caso de la tarifa 2.0. DHA, la distribución tomada como referencia se caracteriza por un consumo mayor en la franja P1, en torno al 56% del consumo total anual, y un consumo del 44% en la franja de menor coste. Respecto a la tarifa 2.0 DHS, un mayor consumo también es obtenido en la franja P1, en torno al 51%, en la franja P2 un consumo del 35%, mientras que el restante 15 % es consumido en la franja P3 de menor coste. Las siguientes figuras muestra estos consumos porcentuales según franja horaria.

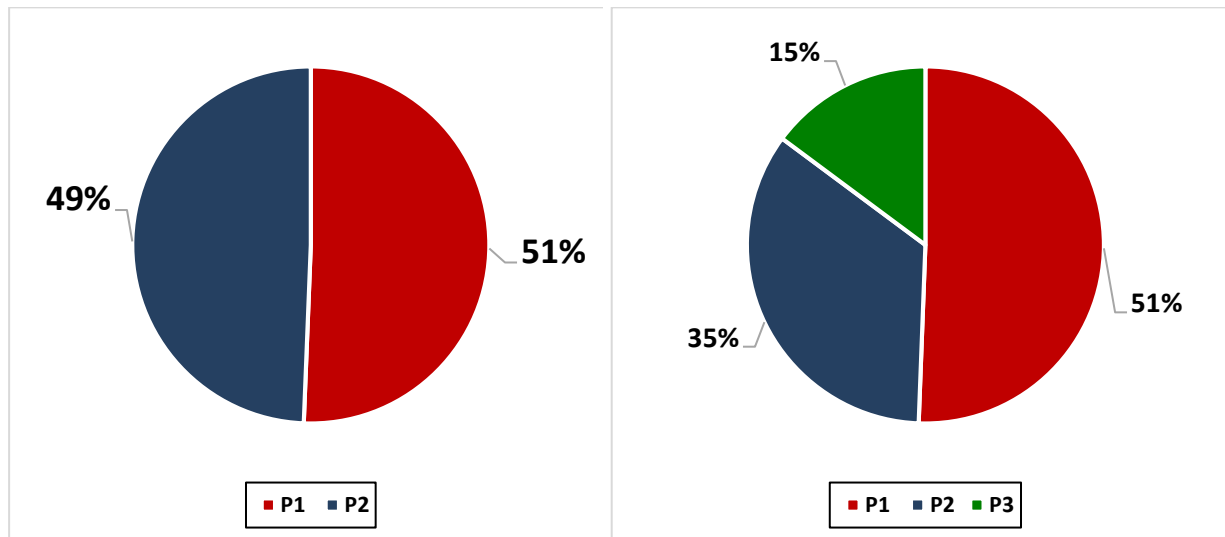


Figura 39. Distribución del consumo en franja horaria según tipo de tarifa. Izquierda tarifa 2.0 DHA; derecha tarifa 2.0 DHS.
(Fuente: Elaboración propia de los datos publicado REE y SPAHOUSEC)

Para el cálculo del coste anual correspondiente a la componente variable del peaje de acceso del consumo caracterizado, para las tarifas de dos y tres periodos, se ha aplicado el término variable de la ecuación (4) descrita anteriormente:

$$CTA_{var} = \sum_p TVTA_p \cdot E_p \quad (9)$$

Al aplicar la formula citada y suponiendo el consumo y distribución anual del consumidor base presentado, se obtiene un coste total CTA_{var} de 113 € para ambas tarifas con discriminación, es decir, que la distribución es tal que no existen diferencias entre el coste asociado al peaje de acceso para las tarifas 2.0 DHA y 2.0 DHS. En cambio, como se ha mencionado arriba el coste correspondiente al peaje de acceso para una tarifa de un único periodo es de 154 €, obteniéndose

para ambos tipos de tarifas un ahorro de aproximadamente 41 € anual, sin considerar el impuesto especial sobre la electricidad e IVA.

En las gráficas mostradas a continuación se muestra la distribución de los costes calculados según franja horaria y tipo de tarifa.

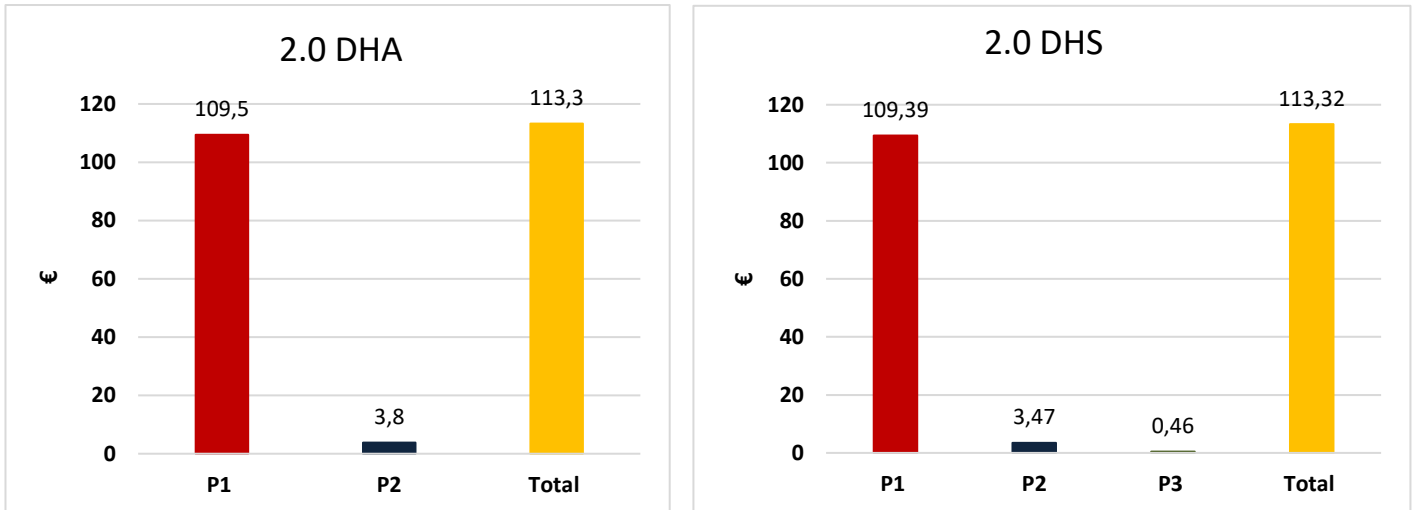


Figura 40. Distribución del coste en franja horaria según tipo de tarifa. Izquierda tarifa 2.0 DHA; derecha tarifa 2.0 DHS.

(Fuente: Elaboración propia de los datos publicado REE, SPAHOUSEC, IDAE)

Como se observa en la anterior figura la distribución del coste total en ambas tarifas se concentra en el periodo P1 con una contribución del 96% respecto al coste total. Además, se observa que la introducción de un nuevo periodo P3 con un coste menor en la tarifa 2.0 DHS no supone para el caso de estudio un ahorro adicional significativo.

La explicación de la diferencia apenas apreciable entre los costes de ambas tarifas se puede explicar analizando la distribución de consumo según franjas horarias. Como se observó en la Figura 39 un mismo porcentaje de consumo en torno al 51% se produce en la franja P1 para ambas tarifas. En cambio, mientras que en el caso de la tarifa 2.0 DHA el 44% del restante consumo se produce en la franja P2 con un precio fijado de 0.002215 €/kW, en la tarifa 2.0 DHS el restante 44% de consumo se reparte entre el periodo valle (35%) con un precio de 0.002879 €/kW y el periodo supervalle (15%) con un precio de 0.000886 €/kWh, no siendo suficiente el total de kWh consumido en P3 para contrarrestar la subida de precio del periodo P2 en la tarifa 2.0 DHS. En resumen, la distribución de consumo es tal que se produce una igualdad entre el coste total de ambas tarifas con distintos periodos tarifarios.

En la siguiente figura se muestra la distribución de los costes calculados por meses. En dicha figura se observa que los meses con mayor coste para los tres tipos de tarifas son los meses de invierno y verano, posiblemente debido al mayor consumo de los equipos de calefacción y refrigeración. Respecto al ahorro por meses, éste es prácticamente constante, fenómeno que puede explicarse por

el hecho de que, en los meses de mayor consumo, éste se produce en las horas donde el coste de peaje es mayor, es decir, en periodo punta, en cambio, en los meses de menor consumo, una mayor proporción de electricidad es consumido en periodos donde el coste de la tarifa de peaje es menor. Fenómeno que explicaría la no proporcionalidad de los ahorros mensuales con el consumo de cada uno de los doce meses.

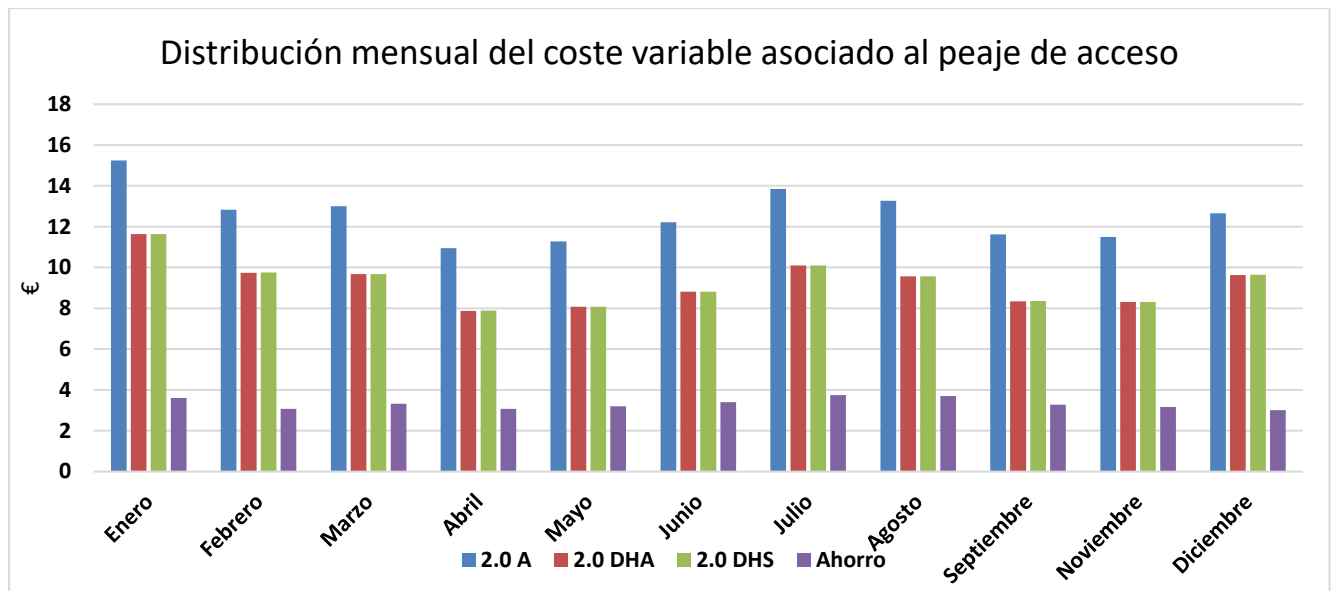


Figura 41. Distribución mensual del coste variable asociado al peaje de acceso para tarifas 2.0 A, 2.0 DHA y 2.0 DHS, y diferencia económica mensual entre tarifa sin y con discriminación. (Fuente: Elaboración propia de los datos publicado REE, SPAHOUSEC, IDAE)

El coste anual de la parte variable para la **tarifa 2.0 A** sube hasta el valor de **196 € al adicionar los términos de impuesto e IVA. Para las tarifas con discriminación** horaria éste aumenta hasta los **144 €**. Por consiguiente, si se considera los términos correspondientes a los impuestos el **ahorro de** contratar una tarifa con discriminación es de **52 €**, un 27 % del valor inicial calculado.

La siguiente tabla muestra a modo de resumen las principales características del consumidor base estudiado, así como el coste y ahorro que se obtendría si se contratará alguna de las tarifas con discriminación horaria, incluido los términos de impuestos:

Tabla 13. Resumen de coste y ahorro anual correspondiente al peaje de acceso según tipo de tarifa considerando impuestos.

Principales características del consumidor	Coste anual peaje de acceso 2.0 A (€)	Coste anual peaje de acceso 2.0 DHA (€)		Coste anual peaje de acceso 2.0 DHS (€)	
		P1	P2	P1	P2
Consumo anual: 3487 kWh. Perfil de carga: REE 2017.	196	139.3		109.39	
		4.8		3.47	
				0.46	
Coste total anual (€)	196	144		144	
Ahorro total anual (€)	-	52		52	
Ahorro total anual[§] (%)	-	26		26	

Como muestra la tabla anterior para el consumidor base con un consumo de 3487 kWh y un perfil de carga igual al perfil de carga promedio proporcionado por REE en el año 2017, un **ahorro anual del 52 €** es obtenido, es decir, si el consumidor de referencia en lugar de tener contratada la tarifa PVPC de un único periodo tuviera la tarifa de dos o tres periodos, obtendría un ahorro del **26% respecto al coste total** correspondiente a la componente variable del peaje de acceso de tarifa PVPC de un solo periodo.

Con el objetivo de cuantificar el porcentaje de ahorro respecto al coste total anual de facturación, además del término variable del coste correspondiente al peaje de acceso, se ha calculado los costes de todos aquellos componentes que aparecen en la facturación eléctrica para un consumidor acogido a PVPC. Para ello vamos a suponer que el consumidor base que se está analizando tiene una potencia contratada de 4.4 kW, potencia de un consumidor doméstico medio:

Coste anual de producción de energía

$$CP = \sum_h PM_h \cdot E_h + \sum_h SA_h \cdot E_h + \sum_h OC_h \cdot E_h = 219.4 \text{ €}$$

Si se considera un coeficiente de pérdidas constante iguala a 14 %:

$$CP_{\text{perd}} = CP \cdot (1 + \text{Perd}) = 250.08 \text{ €}$$

Coste anual de tarifa de acceso

[§] Porcentaje calculado respecto al coste total anual correspondiente a la componente variable del peaje de acceso obtenido de la tarifa de periodo único.

$$CTA = \sum_p TVTA_p \cdot E_p + TFTA \cdot P = 0.044027 \cdot 3487 + 38.043 \cdot 4.4 = 320.91 \text{ €}$$

Coste anual margen de comercialización

$$CMC = \sum_h TVMC_h \cdot E_h + TFMC \cdot P = 0.000842 \cdot 3487 + 3.13 \cdot 4.4 = 16.07 \text{ €}$$

Coste equipos de medidas

Suponiendo que el consumidor tiene instalado un equipo inteligente:

$$CeqMed = 0.81 \cdot 12 = 9.72 \text{ €}$$

Coste impuesto especial

$$Cimp_{esp} = 0.051126 \cdot (CMC + CTA + CP_{perd}) = 30 \text{ €}$$

IVA

$$IVA = 0.21 \cdot (CP_{perd} + CTA + CMC + CeqMed + Cimp_{esp}) = 131.8 \text{ €}$$

Coste total

$$CT = CP_{perd} + CTA + CMC + CeqMed + Cimp_{esp} + IVA = 760 \text{ €}$$

En la siguiente figura se representa el desglose de los costes calculados por meses:

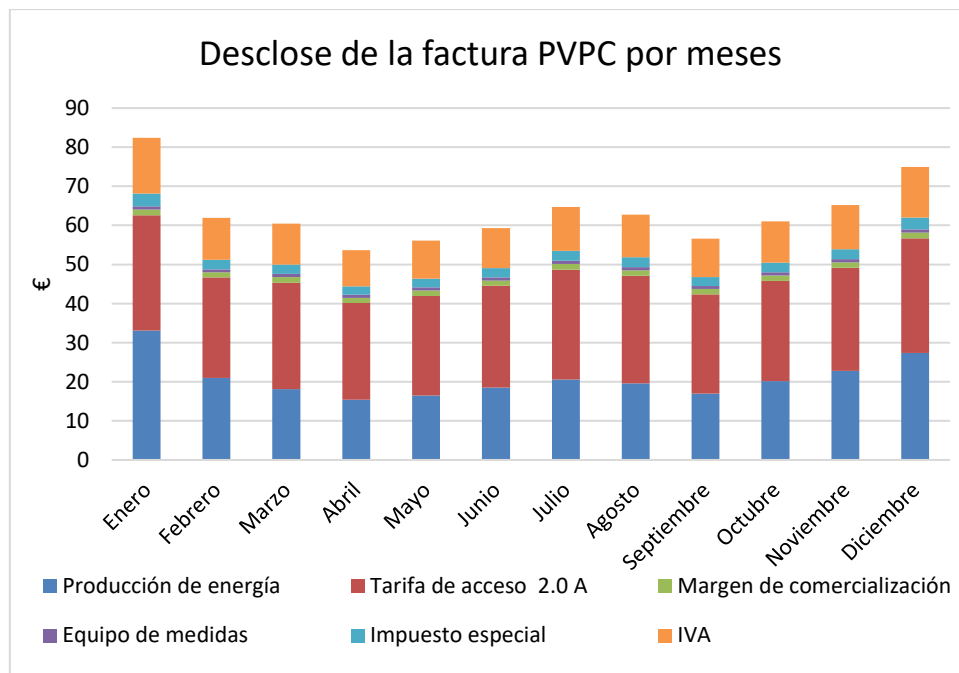


Figura 42. Desglose de la factura PVPC por meses.
(Fuente: Elaboración propia de los datos publicado REE, SPAHOUSEC, IDAE)

La figura anterior refuerza los cálculos y análisis realizados tanto en el apartado 4 como en el presente. Se observa que para el consumidor estudiado y para cada uno de los 12 meses, el coste regulado correspondiente al peaje de acceso es aproximadamente el doble del coste de producción de energía con un valor mensual aproximadamente constante a lo largo de todo el periodo facturado.

La alta contribución de este coste al total de la factura ha sido uno de los motivos que ha llevado a su análisis en el presente proyecto, llevando a cabo estudios como el presentado en este apartado sobre la tarifa de acceso óptima que minimice este coste sin cambios en los hábitos de consumo, o el análisis realizado en un capítulo posterior sobre la posibilidad de reducción de los costes para el consumidor a través de gestión de la demanda.

Para el cliente base estudiado acogido a PVPC sin discriminación se ha obtenido un coste anual de su factura eléctrica de 760 €. Como se ha calculado en los párrafos anteriores el ahorro que el consumidor analizado obtendría si mantuviera sus hábitos de consumo y contratará una de las dos tarifas con discriminación sería de **52 € al año**. Esta cantidad representa aproximadamente un ahorro del **7 % respecto del coste total**.

Como resultado del análisis realizado se puede concluir que los costes regulados, los cuales representan en torno a un 42 % de los costes totales, para un cliente con un perfil de consumo promedio puede reducirse en un 26% y reducir el coste de la factura total en un 7 %, si en lugar de contratar tarifa de acceso sin discriminación, contrata una tarifa con discriminación horaria.

6.2. Consumidor real

En este apartado se analizará la diferencia económica que supondría el cambio a una tarifa con discriminación para un consumidor real acogido a PVPC sin discriminación. En este apartado solo será considerada la tarifa 2.0 DHA, descartando la tarifa 2.0 DHS, pues en los análisis previos se ha podido comprobar que no hay diferencias económicas relevantes entre ambas tarifas, por lo que los resultados obtenidos para la tarifa 2.0 DHA podrán ser extrapolables a la tarifa 2.0 DHS.

El suministro estudiado se caracteriza por dar electricidad a dos viviendas, la primera es una casa ocupada por tres usuarios, la cual está prácticamente habitada las 24 horas del día por algunos de los usuarios. En cambio, la segunda vivienda es un piso situado en el parte superior caracterizado por un grado de ocupación mucho menor, éste se reduce en la mayoría de los días a horario tarde noche debido a la jornada laboral de los usuarios. Respecto a los principales equipos eléctricos de la vivienda destaca un termoeléctrico para calentamiento de agua sanitaria, el cual es un equipo auxiliar de un sistema de placas solares, y dos aires acondicionados, los cuales son usados con alta frecuencia en el periodo estival debido a las altas temperaturas (máximas superiores a 35º) alcanzadas en Sevilla, ciudad donde están situadas las viviendas mencionadas. Hay que destacar que las viviendas carecen de calefacción centralizada, siendo los citados aires acondicionados o calefactores de aceites los equipos usados en invierno. Adicionalmente ambas viviendas disponen de lavadoras, frigorífico, cocina eléctrica, varios televisores y ordenadores.

A continuación, se muestra el perfil de consumo para el suministro mencionado durante el año 2017:

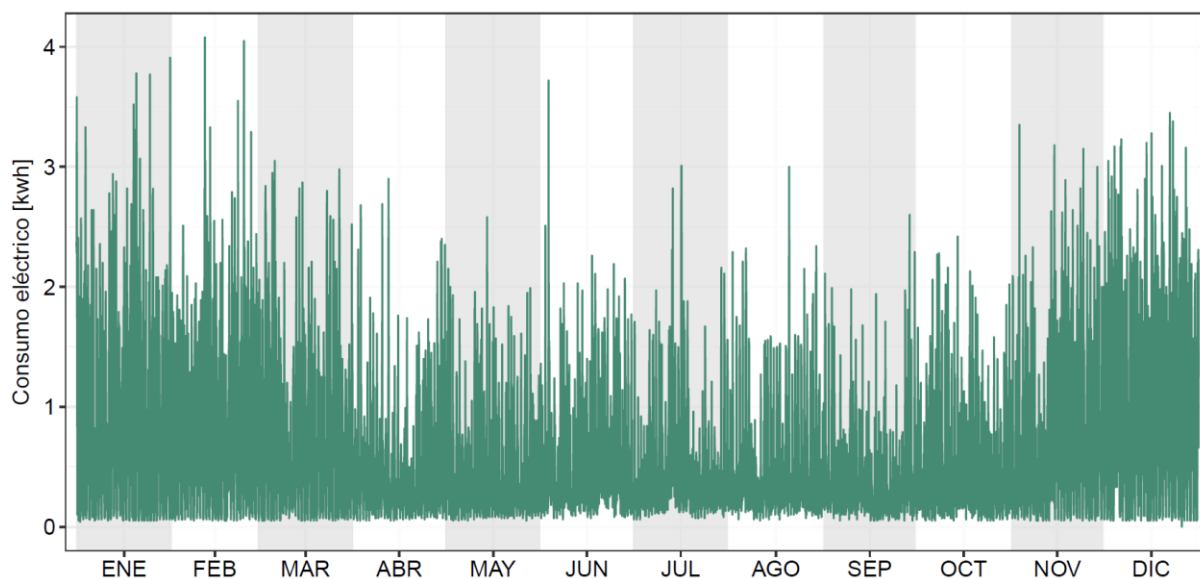


Figura 43. Perfil de consumo de usuario real.

La figura anterior muestra la distribución horaria de un consumo anual de 5222 kWh y potencia contratada 4.4 kW. Al igual que ocurría con el perfil de carga promedio, el perfil mostrado presenta un mayor consumo en los meses de invierno a pesar de las altas temperaturas alcanzadas en verano en Sevilla, y el uso frecuente del aire acondicionado. Este alto consumo en los meses de invierno posiblemente puede ser debido, además del uso de los aires acondicionado en modo calefacción y uso de calefactores eléctricos, por el mayor consumo del termoeléctrico mencionado debido al menor rendimiento de las placas solares en estas fechas causado por la menor presencia de radiación solar.

Para el caso estudiado, como se muestra en la siguiente figura, del total de consumo realizado durante el periodo de facturación, el 48 % es consumido en hora valle y el 52 % en hora punta.

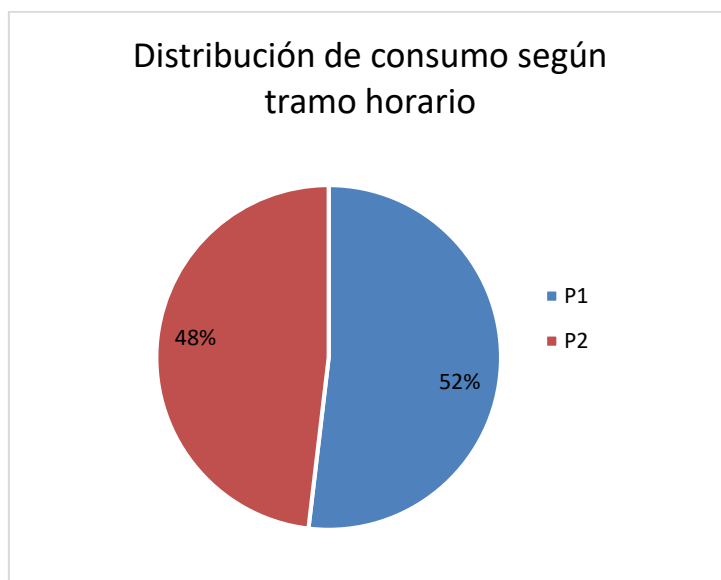


Figura 44. Distribución de consumo según tramo horaria de dos periodos. (Fuente: Elaboración propia de los datos publicado ENDESA)

Si se compara la distribución mostrada arriba y el perfil de carga promedio proporcionado por REE, se observa que el consumidor estudiado sigue una distribución según tramo horario bastante parecida al

Perfil de REE, aunque con un consumo bastante mayor. En tramo tarifario P1 el consumo es de 2709 kWh frente a los 2513 kWh consumidos en el tramo P2.

A continuación, una vez caracterizado el consumo durante el año 2017, se ha calculado los diferentes términos presentes en la factura PVPC sin discriminación para el suministro estudiado:

Coste anual de producción de energía

$$CP = \sum_h PM_h \cdot E_h + \sum_h SA_h \cdot E_h + \sum_h OC_h \cdot E_h = 337 \text{ €}$$

Si se considera un coeficiente de pérdidas constante iguala a 14 %:

$$CP_{\text{perd}} = CP \cdot (1 + \text{Perd}) = \mathbf{384 \text{ €}}$$

Coste anual de tarifa de acceso

$$CTA = \sum_p TVTA_p \cdot E_p + TFTA \cdot P = 0.062012 \cdot 5222 + 38.043 \cdot 4.4 = \mathbf{397.3 \text{ €}}$$

Coste anual margen de comercialización

$$CMC = \sum_h TVMC_h \cdot E_h + TFMC \cdot P = 0.000842 \cdot 5222 + 3.13 \cdot 4.4 = \mathbf{18.2 \text{ €}}$$

Coste equipos de medidas

Suponiendo que el consumidor tiene instalado un equipo inteligente:

$$CeqMed = 0.81 \cdot 12 = \mathbf{9.72 \text{ €}}$$

Coste impuesto especial

$$Cimp_{esp} = 0.051126 \cdot (CMC + CTA + CP_{\text{perd}}) = \mathbf{40.9 \text{ €}}$$

IVA

$$IVA = 0.21 \cdot (CP_{\text{perd}} + CTA + CMC + CeqMed + Cimp_{esp}) = \mathbf{178.6 \text{ €}}$$

Coste total

$$CT = CP_{\text{perd}} + CTA + CMC + CeqMed + Cimp_{esp} + IVA = \mathbf{1366 \text{ €}}$$

En la siguiente figura se muestra el desglose porcentual de los términos calculados. Se muestra que al igual que ocurría con las distribuciones anteriormente analizadas, el coste de la tarifa de acceso es el que presenta mayor contribución al coste total. Sin embargo, es de destacar, que mientras que en los casos anteriores este término era casi el doble del situado en segundo lugar, como es el término asociado al coste de producción, en este caso el coste de producción y tarifa de acceso representa un porcentaje muy similar en torno al 40 %.

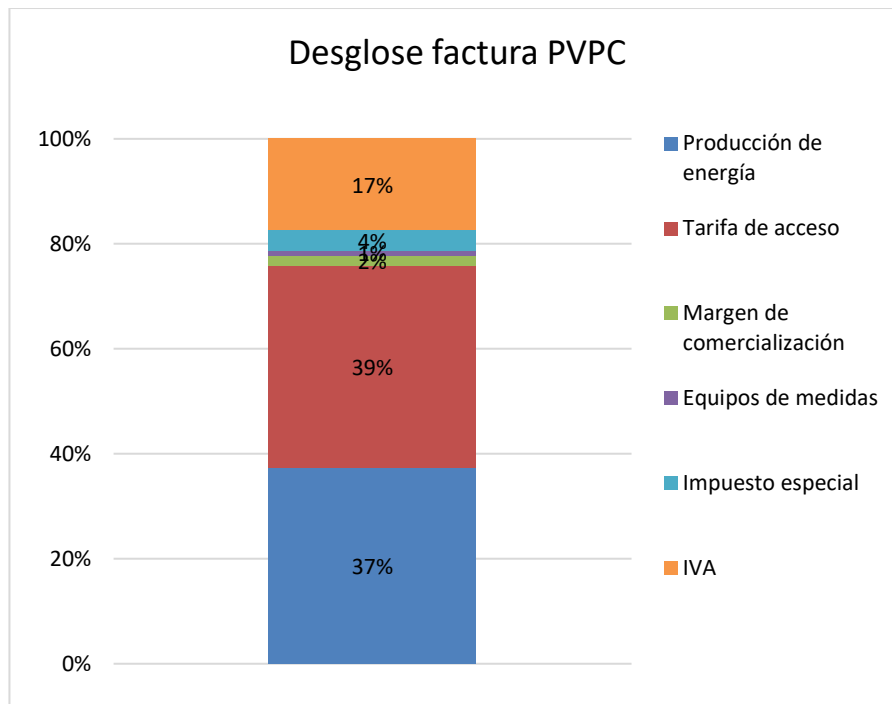


Figura 45. Desglose factura PVPC.
(Fuente: Elaboración propia de los datos publicado ENDESA, IDAE, OMIE)

Seguidamente, se calcula el coste anual asociado a la tarifa de acceso incluido impuesto, que hubiera tenido el consumidor si en lugar de estar acogido a una tarifa sin discriminación, hubiera estado acogido a la tarifa 2.0 DHA.

En primer lugar, se va a calcular la proporción de energía consumida en el periodo punta y valle. Con

Coste anual de tarifa de acceso

$$CTA = \sum_p TVTA_p \cdot E_p + TFTA \cdot P = 0.062012 \cdot 2709 + 0.002215 \cdot 2513 + 38.043 \cdot 4,4 = 341 \text{ €}$$

Si al coste anterior se le suma los términos de impuesto especial e IVA da un resultado de **434 €**.

Al comparar el coste total de la tarifa de acceso de dos periodos que se ha calculado, con el coste total de **505.3 €** que el consumidor ha pagado durante el periodo de facturación 2017, correspondiente al termino de tarifa de acceso sin discriminación, incluidos impuesto, el cliente se habría ahorrado un total de aproximadamente **71 €**, un 5% del coste total de la facturación eléctrica durante todo el periodo considerado, un tanto por ciento similar al obtenido para el caso del consumidor con perfil de carga promedio proporcionado por REE.

6.3. Resultados del estudio presentado en Dyna Energía y Sostenibilidad

En este apartado se mostrará los resultados publicados en el artículo “¿Cómo transformar información en ahorro para el consumidor doméstico?” publicado en la revista Dyna Energía y sostenibilidad en el año 2018 [4].

En el trabajo desarrollado por estudiantes y profesores de la universidad de Sevilla se analiza el consumo agregado de 1115 usuarios domésticos, con el objetivo de intentar caracterizar la curva de

la demanda de los clientes analizados y estudiar la posibilidad de reducción de sus costes asociados al consumo eléctrico sin modificar sus hábitos de consumo.

En la siguiente tabla se muestran las principales características de la muestra de usuarios elegidos aleatoriamente en las ciudades de Barcelona, Málaga y Sevilla:

Tabla 14. Principales características geográficas de la muestra.
(Fuente: Elaboración propia, DINA Energía y Sostenibilidad,2017)

	Valor	
Nº total de registros (capturas individuales cada 15 min.)	BARCELONA	642
Nº total de usuarios que componen el estudio	MÁLAGA	272
Nº total de usuarios por Municipio	SEVILLA	201

Del total de datos estudiados se concluye que la tarifa 2.0 A es la óptima solo para 10 de los casos (1%), en cambio la tarifa 2.0 DHA es la óptima para 944 (85%) y la tarifa 2.0 DHS es la más adecuada para 161 (14%). En resumen, se obtiene que las tarifas con discriminación horaria son la óptima para prácticamente el 99 % de los casos estudiados.

El ahorro promedio obtenido para los consumidores por el hecho de cambiar solo de tarifa es de unos 30.17€ sin considerar impuestos, un ahorro en torno al 10 % de la facturación total.

Comentar, que, aunque la adecuación de la potencia contratada no es tema de este proyecto, en el estudio presentado del citado artículo si se analizó la adecuación, quedando demostrado que en torno al 48 % de los usuarios tiene una potencia contratada superior, pudiendo obtener los usuarios un ahorro adicional al adecuar la potencia de la instalación, con un resultado de un ahorro medio anual de 53 € sin considerar impuestos.

6.4. Ejemplos de ahorros económicos para diferentes distribuciones de consumo

En los ejemplos mostrados arriba, se ha analizado el ahorro desde el punto de vista del consumidor al contratar la tarifa óptima. Los ejemplos analizados han sido:

- Consumidor con perfil de consumo promedio proporcionado por REE,
- Consumidor real.
- Resumen de resultados obtenido del análisis de más de 1000 curvas de consumo presentados en artículo científico.

Para finalizar este apartado sobre la tarifa óptima, se analizará las diferencias económicas entre los distintos tipos de tarifas para diferentes distribuciones de perfil de consumo, cuyas características se describirán con más detalle a continuación. Se analizará la tarifa eléctrica óptima para cada perfil

presentado, estudiando las diferencias económicas en la facturación entra la tarifa de acceso 2.0 A y las tarifas con discriminación horaria.

Para los cálculos se partirá de un consumidor con un consumo medio anual de 3487 kWh y potencia contratada de 4.4 kW. En la siguiente tabla se resumen las características de las distribuciones analizadas, donde se detallan los porcentajes de consumo según tramo horario éstas:

Tabla 15. Casos estudiados con diferentes porcentajes de consumo según tramo horario.
(Fuente: Elaboración propia)

	2.0 DHA		2.0 DHS		
	P1	P2	P1	P2	P3
Caso 1: Consumidor con perfil promedio	51 %	49 %	51 %	35%	15%
Caso 2: Consumidor con mayor consumo en hora punta.	85 %	15%	85%	10%	5%
Caso 3: Consumidor con mayor consumo en hora valle.	15%	85%	15%	70%	15%
Caso 4: Consumidor con mayor consumo en hora supervalle.	15%	85%	15%	15%	70%

Como puede observarse en la tabla mostrada, se ha considerado analizar tres distribuciones extremas diferentes en las que el consumidor pueda verse reflejado y por consiguiente operar según las conclusiones extraídas de aquella que más se asemeje a su propia distribución.

A continuación, se calculará las diferencias económicas entre las distintas tarifas de acceso para los casos mostrados, a excepción del caso 1, el cual ha sido analizado con detalle en el apartado 6.1.

Hay que mencionar que como se indicó en el análisis previamente realizado, las diferencias entre tarifas con y sin discriminación radica en la variación del término variable de éstas.

El coste variable de la tarifa de acceso considerando impuestos para la tarifa sin discriminación es el mismo para todos los casos. El valor de éste es de **196 €** calculado en el apartado 6.1. Respecto a los costes para las tarifas con discriminación para los diferentes casos son calculados a continuación:

Caso 2

Para una distribución con un consumo de 2964 kWh en el periodo P1 y de 523 kWh en el periodo P2 para una tarifa **2.0 DHA** el coste variable del peaje de acceso es:

$$CTA_{var} = \sum_p TVTA_p \cdot E_p = 0.062012 \cdot 2964 + 0.002215 \cdot 523 = 185€$$

Si al coste calculado se le añade el impuesto especial e IVA, se obtiene un valor de **233.3 €**.

Para una distribución con un consumo de 2964 kWh en el periodo P1 y de 349 kWh en el periodo P2 y de 174 kWh para una tarifa **2.0 DHS** el coste variable del peaje de acceso es:

$$CTA_{var} = \sum_p TVTA_p \cdot E_p = 0.062012 \cdot 2964 + 0.002879 \cdot 523 + 0.000886 \cdot 174 = 187\text{€}$$

Si al coste calculado se le añade el impuesto especial e IVA, se obtiene un valor de **235.6 €**.

Caso 3

Para una distribución con un consumo de 523 kWh en el periodo P1 y de 2964 kWh en el periodo P2 para una tarifa 2.0 DHA el coste variable del peaje de acceso es:

$$CTA_{var} = \sum_p TVTA_p \cdot E_p = 0.062012 \cdot 523 + 0.002215 \cdot 2964 = 40\text{€}$$

Si al coste calculado se le añade el impuesto especial e IVA, se obtiene un valor de **50 €**.

Para una distribución con un consumo de 523 kWh en el periodo P1 y de 2441 kWh en el periodo P2 y de 523 kWh para una tarifa 2.0 DHS el coste variable del peaje de acceso es:

$$CTA_{var} = \sum_p TVTA_p \cdot E_p = 0.062012 \cdot 523 + 0.002879 \cdot 2441 + 0.000886 \cdot 523 = 40\text{€}$$

Si al coste calculado se le añade el impuesto especial e IVA, se obtiene un valor de **50 €**.

Caso4

Para este caso la distribución para una tarifa 2.0 DHA es la misma que para el caso 3, siendo 50 € el coste de la tarifa incluyendo los impuestos.

Para una distribución con un consumo de 523 kWh en el periodo P1 y de 523 kWh en el periodo P2 y de 2441 kWh para una tarifa 2.0 DHS el coste variable del peaje de acceso es:

$$CTA_{var} = \sum_p TVTA_p \cdot E_p = 0.062012 \cdot 523 + 0.002879 \cdot 523 + 0.000886 \cdot 2441 = 36\text{€}$$

Si al coste calculado se le añade el impuesto especial e IVA, se obtiene un valor de **45.5 €**.

En la siguiente tabla se resumen los resultados obtenido para los cuatro casos considerados:

Tabla 16. Resumen de coste y diferencias económicas entre tarifas.

	Descripción	Coste tarifa 2.0 A (€)	Coste tarifa 2.0 DHA (€)	Coste tarifa 2.0 DHS (€)	Diferencia 2.0 A y 2.0 DHA (€)	Diferencia 2.0 A y 2.0 DHS (€)
Caso 1	Consumidor con perfil promedio	196	144	144	52	52
Caso 2	Consumidor con mayor consumo en hora punta	196	233	236	-37	-40
Caso 3	Consumidor con mayor consumo en hora valle.	196	50	50	146	146
Caso 4	Consumidor con mayor consumo en hora supervalle.	196	50	47	146	149

En la siguiente figura se representa gráficamente los resultados de costes y posibles ahorros que se podrían obtener al pasar de una tarifa sin discriminación a una tarifa con discriminación, y que han sido mostrados en la tabla anterior:

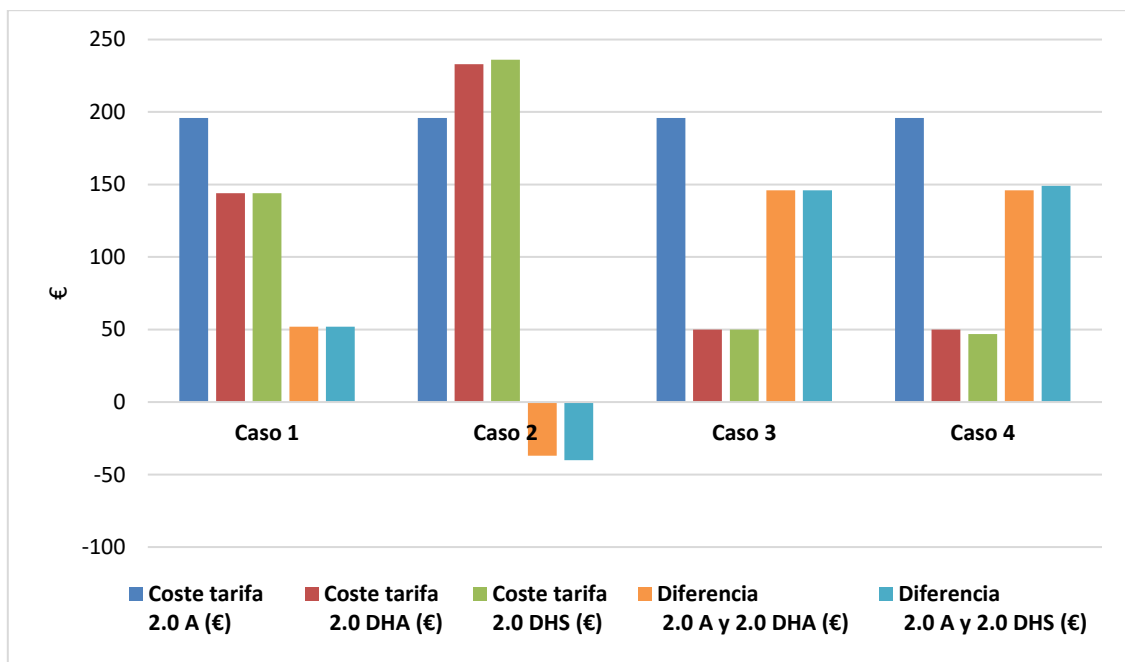


Figura 46. Desglose factura PVPC.
(Fuente: Elaboración propia)

Por un lado, se vuelve a observar poca diferencia entre considerar una tarifa con discriminación con dos o tres periodo, la mayor diferencia entre ambas se observa en el caso 4, donde se ha supuesto la mayor repartición del consumo en el periodo más económico, la diferencia entre ambas tarifas es de aproximadamente de 4€, siendo esta diferencia prácticamente nula cuando el mayor peso en la tarifa de tres periodos recae sobre el periodo P2. Por otro lado, para aquellos consumidores con un perfil

de consumo similar al caso 2 con altos consumos en horas punta no es conveniente las tarifas con discriminación, como queda reflejado en el caso estudiado con un encarecimiento de la factura para la tarifa con discriminación de aproximadamente 40 €. En cambio, se puede concluir que aquellos consumidores con una distribución de consumo parecida al caso 3 o 4, es decir, con un consumo elevado fuera de las horas punta, la contratación de tarifas con discriminación puede repercutirles en ahorros considerables, en concreto para la distribución estudiada, el **ahorro es de 146 €**, una situación quizás ideal, pero que da una idea del ahorro que se puede obtener en función de la distribución de consumo y tipo de tarifa sin necesidad de modificar sus hábitos de consumo.

Como se ha observado en este apartado, para los diferentes casos estudiados, las tarifas de accesos con discriminación horaria se presentan como una alternativa de ahorro para los consumidores en la facturación eléctrica sin la necesidad de cambiar sus hábitos de consumo. En el siguiente apartado se analizará el posible aumento del ahorro por parte del consumidor si además adapta sus hábitos de consumo a las señales económicas de las tarifas de acceso, participando activamente en la respuesta de la demanda con el consiguiente desplazamiento de parte de su consumo de horas punta a hora valle.

7. ESTRATEGIAS DE DESPLAZAMIENTO DE CONSUMO E INFLUENCIA EN LA FACTURA ELÉCTRICA

En este capítulo se analizará las consecuencias en la facturación eléctrica por parte del consumidor, al modificar parte de sus hábitos de consumo en búsqueda de un mayor ahorro.

En primer lugar, para estudiar las posibles estrategias de desplazamientos por parte de los consumidores domésticos, se realizará una descripción de las características de los equipos eléctricos centrándose en aquellos que son gestionables, entendiéndose como tal, aquellos que permiten modificar sus horas de funcionamiento.

En la siguiente tabla se describe el porcentaje de consumo de los equipos eléctrico en España según el estudio de SPAHOUSEC [40], detallándose si éstos son gestionables (verde) o no (rojo).

Tabla 17. Características de equipos.
(Fuente: Elaboración propia, SPAHOUSEC)

Equipo	Consumo (%)	Gestionable
Calefacción	7,4%	NO
ACS	7,5%	NO
Cocina	9,3%	NO
Refrigeración	2,3%	NO
Iluminación	11,7%	NO
Lavavajillas	3,8%	SI
Horno	5,1%	NO
Frigorífico	18,9%	NO
Congelador	3,8%	NO
Lavadora	7,3%	SI
Secadora	2,0%	SI
TV	7,5%	NO
Ordenadores	4,6%	NO
Standby	6,6%	NO
Plancha	2,2%	SI

Como se observa en la tabla de arriba, para el análisis realizado en este proyecto, del total de equipos que participan en el consumo eléctrico de una vivienda se van a considerar como equipos gestionables:

- Plancha.
- Lavadora.
- Secadora.
- Lavavajillas.

Aunque hay otros equipos como pueden ser frigorífico, calefacción o agua caliente sanitaria en los que se podrían realizar diferentes estudios sobre actuación en el termostato para un consumo óptimo y desplazar su curva de demanda, se ha decidido no abarcar en este proyecto, y proponerlo como

posible ampliación en trabajos futuros, ya que no depende solamente de la decisión usuario a cambiar sus hábitos de consumo ante posibles señales económicas, sino que sería necesario un estudio detallado del funcionamiento y física del equipo en cuestión, saliéndose estas tareas del objetivo inicial planteado en el proyecto presentado.

El total de consumo gestionable a partir de la suposición realizada arriba representa el **15.3 %** del consumo total de un consumidor medio, siendo la lavadora con un porcentaje del 7.3% la que tiene un mayor consumo. Suponiendo consumo medio anual de **3487 kWh** y con una distribución por equipo según SPAHOUSEC [40], el **consumo gestionable**, el cual será objetivo de desplazamiento en este apartado, es de **534 kWh**.

En la siguiente figura se ha representado el total de consumo gestionables (532 kWh) y consumo no gestionable (2955 kWh), según suposición establecida.

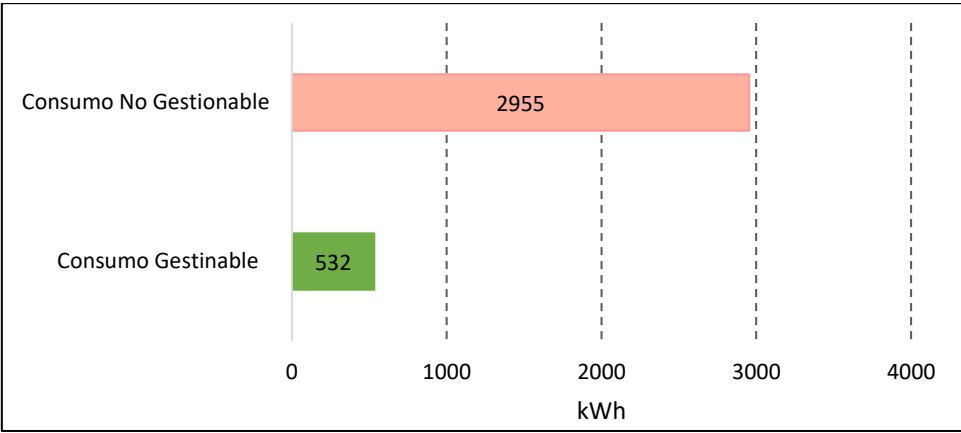


Figura 47. Distribución del consumo gestionable y no gestionable.
(Fuente: Elaboración propia datos SPAHOUSEC)

Como se ha comentado, el objetivo de este proyecto es analizar el desplazamiento del consumo definido como gestionable y analizar su influencia en la facturación eléctrica. Para llevar a cabo cualquier estrategia de desplazamiento del consumo y analizar sus consecuencias será necesario conocer la distribución horaria de los equipos.

En las siguientes tablas se muestra el consumo eléctrico por hora, según las funciones de probabilidad calculadas en el en el apartado 5.3, marcados en verde aquellos equipos considerados gestionables:

Tabla 18. Perfil del consumo según hora de equipos eléctricos.
(Fuente: Elaboración propia datos EURECO, SPAHOUSEC)

kWh	Iluminación	Cocina	Frigorífico	Congelador	Lavadora	Lavavajillas	Secadora	Horno
1	25,6	0,0	26,4	5,5	2,5	1,9	2,0	0,0
2	15,3	0,0	26,4	5,6	2,5	0,0	1,4	0,0
3	8,5	0,0	26,4	5,4	2,5	0,0	0,3	0,0
4	6,0	0,0	26,4	5,6	2,5	0,0	0,0	0,0
5	4,3	0,0	25,9	5,3	2,5	0,0	0,0	0,0
6	3,4	0,0	26,4	5,5	2,5	0,0	0,0	0,0
7	6,8	2,3	28,3	5,3	2,5	0,0	0,0	1,3
8	14,5	1,7	31,4	5,3	3,2	0,0	0,9	1,0
9	17,0	1,7	28,3	5,3	4,6	0,9	0,8	1,0
10	10,2	5,2	26,7	5,3	14,5	0,7	2,8	2,9
11	9,4	2,9	26,5	5,4	35,8	0,7	3,9	1,6
12	6,8	1,7	26,5	5,4	40,8	2,1	3,3	1,0
13	7,7	9,9	26,5	5,5	17,7	1,2	3,7	5,5
14	7,7	46,6	28,1	5,5	6,4	0,7	6,0	25,7
15	6,8	31,4	31,2	5,5	5,3	4,0	6,8	17,3
16	6,0	16,3	28,6	5,5	13,1	18,9	7,3	9,0
17	7,7	4,7	26,6	5,5	18,1	12,7	5,4	2,6
18	11,9	5,8	26,6	5,6	4,6	6,6	3,0	3,2
19	21,3	4,7	26,8	5,5	14,2	1,9	3,8	2,6
20	33,2	49,5	26,6	5,6	24,1	2,4	4,8	27,3
21	44,3	85,6	28,1	5,6	18,1	1,9	3,3	47,2
22	49,4	49,5	31,1	5,6	6,7	20,1	4,7	27,3
23	46,8	4,7	27,7	5,5	6,0	34,7	4,8	2,6
24	37,5	0,0	26,4	5,6	3,5	20,1	2,0	0,0

Tabla 19. Perfil del consumo según hora de equipos eléctricos.
(Fuente: Elaboración propia datos EURECO, SPAHOUSEC)

kWh	TV	Ordenadores	Standby	Plancha	ACS	Calefacción	Refrigeración
1	14,7	9,3	13,2	2,1	3,1	0,6	0,0
2	8,0	6,4	14,5	2,1	1,3	2,7	0,0
3	3,3	3,3	14,9	1,5	1,0	4,1	0,0
4	1,4	1,7	14,7	0,3	0,5	4,9	0,0
5	0,8	1,3	14,5	0,0	0,5	5,7	0,0
6	0,8	1,1	14,5	0,0	1,6	6,3	0,0
7	0,6	1,1	14,9	0,0	7,0	7,0	0,0
8	1,4	1,2	13,8	0,0	25,9	36,9	0,0
9	3,0	1,6	12,8	1,0	18,1	19,3	0,0
10	4,4	2,4	10,5	0,9	19,4	18,4	0,0
11	5,8	2,9	9,9	3,0	16,1	17,2	0,0
12	6,9	4,8	10,5	4,1	14,5	15,8	0,0
13	10,2	6,8	10,1	3,5	12,4	14,4	0,0
14	15,8	7,5	9,1	4,0	12,4	12,8	0,0
15	11,1	7,9	6,8	6,4	10,6	11,2	0,0
16	8,6	8,1	5,6	7,2	8,5	10,0	11,1
17	8,6	8,5	6,4	7,7	10,1	9,5	9,2
18	12,2	8,9	6,8	5,7	9,8	9,7	11,1
19	15,5	10,0	6,4	3,2	13,5	10,0	11,9
20	22,4	12,1	6,6	4,0	18,1	9,8	12,1
21	28,0	12,0	4,5	5,1	14,8	10,2	10,3
22	29,6	13,3	1,6	3,5	16,3	10,5	8,0
23	27,7	14,0	2,7	5,0	12,4	10,9	6,5
24	22,1	12,9	5,4	5,1	13,4	0,0	0,0

La siguiente figura representa gráficamente los datos mostrados en las tablas anteriores:

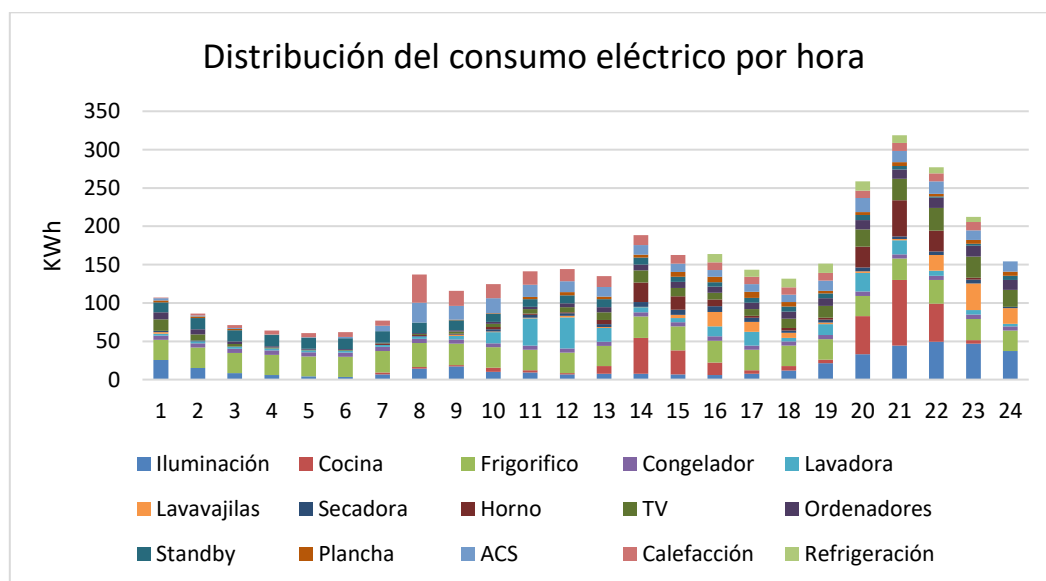


Figura 48. Distribución de probabilidad del consumo por hora y tipo de equipo.
(Fuente: Elaboración propia datos publicados en EURECO y SPAHOUSEC)

En el perfil horario representado arriba se muestra dos picos de consumo, uno sobre las 14h y otro sobre las 21h, siendo este segundo mucho mayor que el primero. Ambos picos tienen lugar en las denominadas horas punta, cuyo precio por kWh es mayor, con su correspondiente inflación de la factura eléctrica.

A continuación, se muestra la curva horaria considerando solo los equipos considerados gestionables:

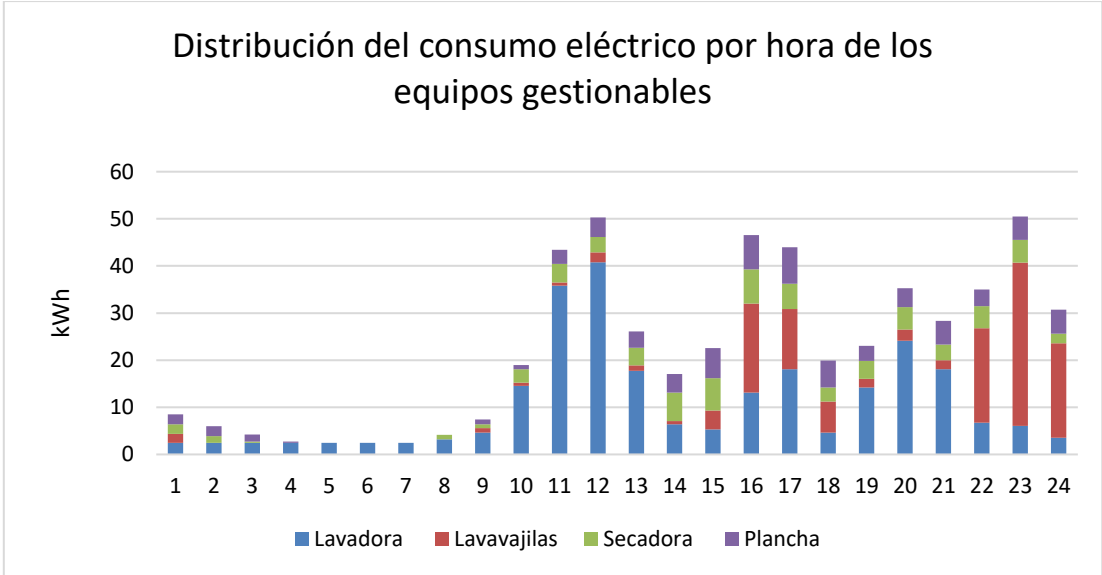


Figura 49. Perfil de consumo de los equipos gestionables.
(Fuente: Elaboración propia datos publicados en EURECO y SPAHOUSEC)

En la distribución del consumo de los equipos gestionables (Figura 49) a diferencia de la distribución del consumo total, se observa tres picos, a media mañana, predominado por el consumo de la lavadora, y después del horario típico de comida y cena, consumo predominado por el uso de lavavajillas y en menor medida lavadores y otros equipos.

El objetivo de este apartado como se ha comentado anteriormente es llevar a cabo diferentes estrategias de desplazamiento, trasladando parte de este consumo hacia horas valle, favoreciendo por un lado el aplanamiento de la curva, y por otro lado, la reducción del total de la factura eléctrica, siendo este último factor el principal aliciente en el que se basará las estrategias que se analizará a continuación.

Para el desplazamiento del consumo es necesario conocer la potencia máxima contratada, la cual es una restricción a la hora de llevar a cabo el desplazamiento, no pudiendo superar la potencia requerida para la hora de consumo máximo la potencia contratada. En este caso se va a suponer que la potencia máxima contratada es aquella que corresponde con el consumo máximo horario, es decir, al realizar el desplazamiento de parte del consumo de horas punta a hora valle, éste no podrá superar los 319 kWh correspondiente al consumo horario máximo consumido a las 21 h para el perfil estudiado.

Para cuantificar las consecuencias de los desplazamientos de consumo en la facturación eléctrica es necesario conocer el precio por kWh promedio para cada una de las 24 horas. En este caso se ha tomado como referencia los valores del año 2017, estos términos estarán compuesto por el coste de producción de la energía y la parte variable de los costes asociados a la tarifa de acceso y comercialización, a los que se incluirán los cargos relacionados con el impuesto de electricidad e IVA, no teniéndose en cuenta los gastos fijos que serán indiferentes a la hora de consumo.

En la tabla siguiente se muestran los costes variables promedios incluyendo impuesto por hora para un consumidor acogido a tarifa PVPC con y sin discriminación horaria:

Tabla 20. Precios por kWh promedios por hora en el año 2017.
(Fuente: Elaboración propia datos publicados CNMC, IDAE)

cts/kWh	Tarifa 2.0 A	Tarifa 2.0 DHA	Tarifa 2.0 DHS
1	14,4	9,1	9,2
2	13,9	8,6	8,4
3	13,5	8,2	8,0
4	13,3	8,0	7,8
5	13,2	7,9	7,7
6	13,4	8,1	7,9
7	13,9	8,6	8,4
8	14,6	9,2	9,3
9	14,8	9,5	9,6
10	15,0	9,7	9,8
11	15,0	9,7	9,8
12	14,9	9,6	9,7
13	14,9	12,6	9,6
14	14,9	17,2	17,2
15	14,7	17,0	17,0
16	14,5	16,8	16,8
17	14,4	16,7	16,7
18	14,6	16,9	16,9
19	15,0	17,3	17,3
20	15,3	17,6	17,6
21	15,5	17,7	17,7
22	15,5	17,8	17,8
23	15,0	14,3	17,3
24	14,6	9,3	9,3

En la tabla anterior se observa que independientemente de la tarifa de acceso a la que se acoja el mayor coste tiene lugar sobre las 21-23h, coincidiendo con las horas de mayor consumo (Figura 48) y alto consumo de los equipos gestionables (Figura 49).

En la figura mostrada a continuación se ha representado gráficamente los datos de la anterior tabla:

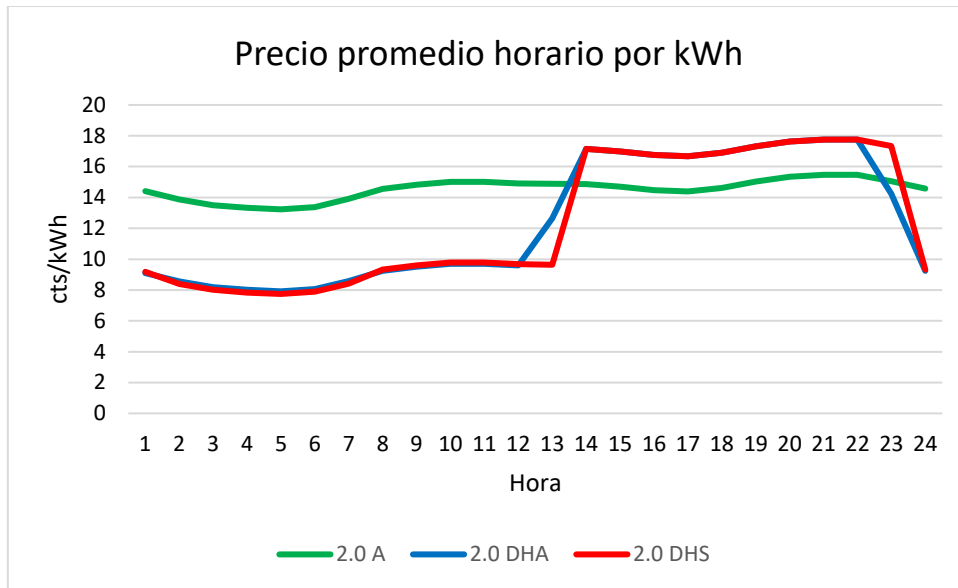


Figura 50. Precios por kWh promedios por hora en el año 2017.
(Fuente: Elaboración propia datos publicados CNMC, IDAE)

En primer lugar y como ya se había analizado en apartados anteriores se observa que la diferencia entre los costes de las tarifas de dos y tres periodos puede considerarse despreciable para los análisis que se van a realizar en este apartado. De aquí en adelante se considerará la tarifa PVPC de dos periodos como tarifa representativa de las tarifas con discriminación horaria. Aunque se podría haber decidido optar por cualquiera de las dos tarifas con discriminación horaria, la decisión de optar por la tarifa 2.0 A está basada en el hecho de que resulta menos esfuerzo para el consumidor realizar el desplazamiento del consumo a las horas donde el coste es menor en la tarifa 2.0 DHA, buscando siempre un compromiso entre el ahorro y confort de los consumidores.

Otro de los aspectos observados en la tabla anterior y en menor medida en la figura, es el menor coste promedio por hora, el cual tiene un valor de 13.23 cts/kWh y 7.92 cts/kWh para las tarifas con y sin discriminación, respectivamente, y es alcanzado a las 5h de la mañana.

En la siguiente figura se ha representado conjuntamente el precio variable horario promedio según tarifa, y el consumo gestionable del perfil bajo estudio.

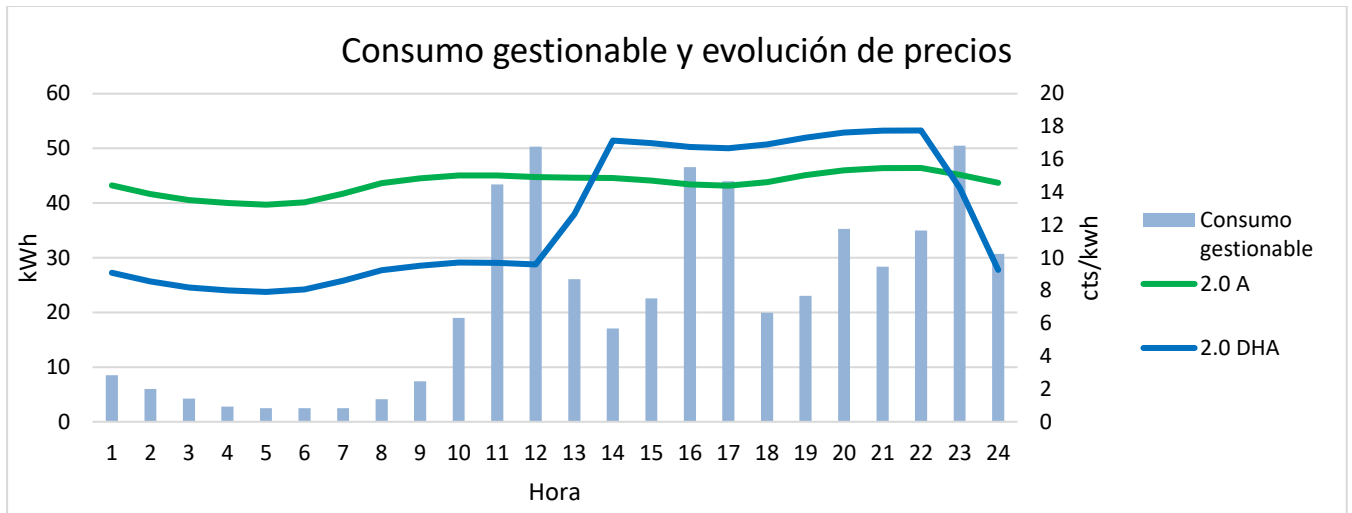


Figura 51. Distribución del consumo gestionable y perfiles de los costes variables horario según tarifa. (Fuente: Elaboración propia datos publicados en EURECO, SPAHOUSESEC, CNMC y IDAE)

En la figura anterior por un lado, se observa que solo una pequeña cantidad de energía es consumida en las horas cuyo coste es menor (1-9 h) en las tarifas de discriminación horaria, por otro lado, se observa que hay una cantidad importante de energía entre las 11-12 h que por el simple hecho de cambiar de tarifa se produciría una disminución de costes, y otra importante cantidad de energía entre las 13-23h, cuyo desplazamiento proporcionaría un ahorro adicional, siendo esta última observación el objetivo del presente apartado.

En la siguiente tabla se muestra los costes asociados al término variable para el caso base, es decir, para una tarifa sin discriminación, del consumo de todos los equipos, donde se ha destacado en verde aquellos definidos como gestionables.

Tabla 21. Costes promedio horario del término variable de los consumos.
(Fuente: Elaboración propia datos publicados CNMC, IDAE y EURECO)

€	Iluminación	Cocina	Frigorífico	Congelador	Lavadora	Lavavajillas	Secadora	Horno
1	3,68	0,00	3,80	0,79	0,36	0,27	0,29	0,00
2	2,13	0,00	3,66	0,77	0,34	0,00	0,20	0,00
3	1,15	0,00	3,56	0,73	0,34	0,00	0,04	0,00
4	0,79	0,00	3,51	0,75	0,33	0,00	0,00	0,00
5	0,56	0,00	3,43	0,70	0,33	0,00	0,00	0,00
6	0,46	0,00	3,53	0,73	0,33	0,00	0,00	0,00
7	0,95	0,32	3,94	0,74	0,35	0,00	0,00	0,18
8	2,11	0,25	4,57	0,78	0,46	0,00	0,14	0,14
9	2,53	0,26	4,20	0,79	0,68	0,14	0,12	0,14
10	1,53	0,79	4,01	0,79	2,18	0,11	0,43	0,43
11	1,41	0,44	3,98	0,81	5,38	0,11	0,58	0,24
12	1,02	0,26	3,95	0,81	6,08	0,32	0,49	0,14
13	1,14	1,47	3,94	0,82	2,64	0,18	0,55	0,81
14	1,14	6,92	4,18	0,82	0,95	0,11	0,90	3,82
15	1,00	4,62	4,58	0,81	0,78	0,59	1,00	2,55
16	0,86	2,36	4,13	0,80	1,90	2,73	1,06	1,30
17	1,10	0,67	3,82	0,79	2,60	1,83	0,78	0,37
18	1,74	0,85	3,88	0,82	0,67	0,97	0,44	0,47
19	3,20	0,70	4,02	0,82	2,13	0,28	0,57	0,39
20	5,09	7,59	4,08	0,85	3,70	0,36	0,73	4,19
21	6,85	13,23	4,35	0,86	2,80	0,29	0,51	7,30
22	7,64	7,66	4,81	0,86	1,04	3,10	0,72	4,22
23	7,05	0,70	4,16	0,83	0,91	5,22	0,73	0,39
24	5,46	0,00	3,84	0,81	0,52	2,92	0,29	0,00
Total	60,60	49,10	95,92	19,11	37,80	19,53	10,56	27,08

Tabla 22. Costes promedio horario del término variable de los consumos.
(Fuente: Elaboración propia datos publicados CNMC, IDAE y EURECO)

€	TV	Ordenadores	Standby	Plancha	ACS	Calefacción	Refrigeración
1	2,11	1,35	1,90	0,30	0,09	0,00	0,45
2	1,11	0,89	2,02	0,29	0,38	0,00	0,18
3	0,45	0,45	2,02	0,20	0,55	0,00	0,14
4	0,18	0,23	1,96	0,04	0,66	0,00	0,07
5	0,11	0,18	1,92	0,00	0,75	0,00	0,07
6	0,11	0,14	1,94	0,00	0,85	0,00	0,21
7	0,08	0,15	2,08	0,00	0,97	0,00	0,97
8	0,20	0,17	2,00	0,00	5,37	0,00	3,77
9	0,45	0,24	1,90	0,15	2,86	0,00	2,69
10	0,66	0,36	1,57	0,13	2,76	0,00	2,92
11	0,87	0,44	1,48	0,45	2,58	0,00	2,41
12	1,03	0,72	1,56	0,61	2,36	0,00	2,16
13	1,52	1,01	1,50	0,51	2,14	0,00	1,85
14	2,34	1,11	1,35	0,59	1,90	0,00	1,85
15	1,63	1,16	1,00	0,94	1,64	0,00	1,56
16	1,24	1,18	0,81	1,05	1,45	1,61	1,24
17	1,23	1,23	0,92	1,11	1,37	1,32	1,45
18	1,78	1,31	0,99	0,84	1,42	1,62	1,44
19	2,33	1,51	0,96	0,48	1,51	1,79	2,03
20	3,44	1,86	1,01	0,62	1,51	1,86	2,78
21	4,32	1,86	0,69	0,78	1,57	1,59	2,28
22	4,58	2,06	0,24	0,54	1,63	1,23	2,52
23	4,16	2,11	0,41	0,75	1,65	0,98	1,87
24	3,23	1,89	0,79	0,75	0,00	0,00	1,96
Total	39,19	23,59	33,02	11,14	37,96	12,00	38,86

La siguiente figura representa gráficamente los datos mostrados en las tablas anteriores:

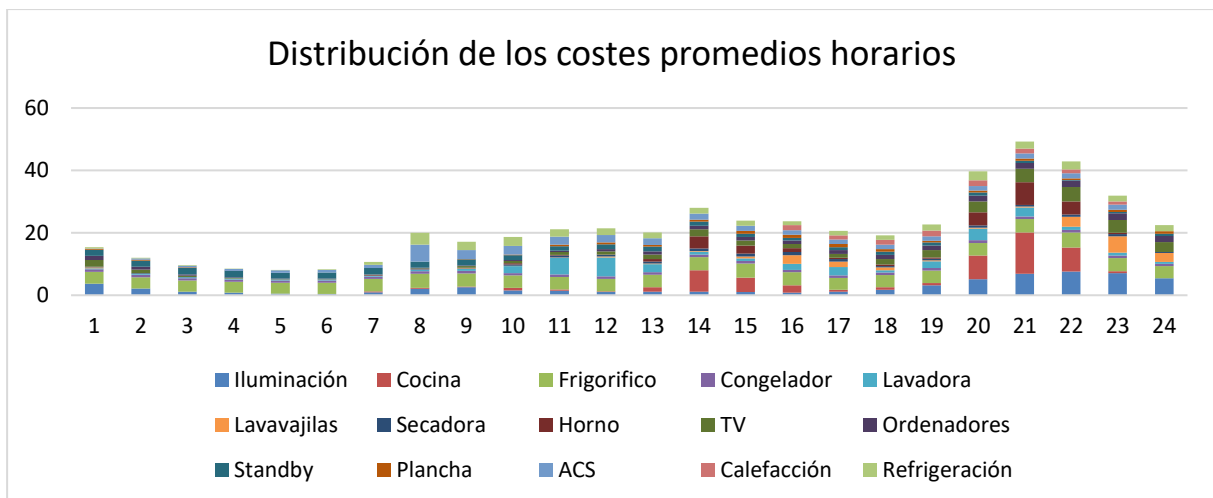


Figura 52. Distribución de los costes promedio horarios.
(Fuente: Elaboración propia datos publicados CNMC, IDAE y EURECO)

De la gráfica y tabla mostradas arriba, al igual que en las tablas y gráficas mostradas referentes al consumo, se observa solo un pico pronunciado en torno a las 21 horas (hora cuyo consumo eléctrico presenta mayor coste), sin embargo, a diferencia del perfil de consumo, el pico producido sobre las 14 h para este caso es un poco menos pronunciado, en parte mitigado por el efecto del menor coste a esa hora respecto a otras horas de mayor coste. También se observa que el consumo producido en el tramo horario entre las 20h-22h tiene una gran contribución al coste total de energía en la factura eléctrica, debido a factores coincidentes como son el alto consumo y el mayor coste por kWh en este tramo.

Para el caso estudiado con un consumo total de **3487 kWh** se tiene un coste total correspondiente a la parte variable incluyendo impuestos de **516 €**. El mayor peso del coste total calculado es representado por el consumo del frigorífico, seguido por los consumos correspondiente a la iluminación y cocina, consumos no gestionables. Sin embargo, existen otros consumos como son los asociados a lavadoras, lavavajillas, secadoras y planchas con un coste total de 80 €, cuyos consumos como se ha visto son gestionables, los cuales representan un peso en el coste total del 15 %.

En la siguiente figura se ha representado el perfil de los costes horarios promedio variables asociados al consumo gestionable:

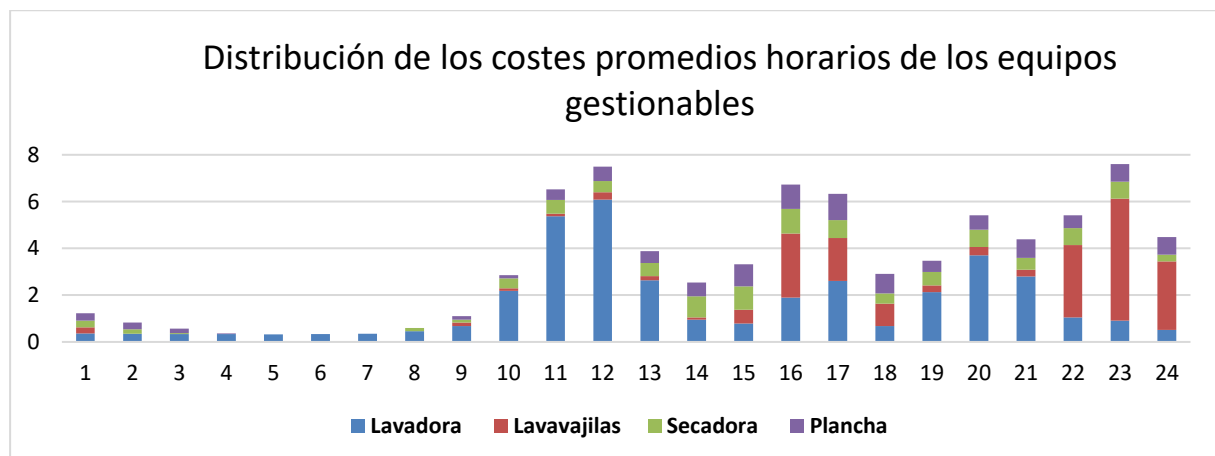


Figura 53. Distribución de los costes promedio horarios.
(Fuente: Elaboración propia datos publicados CNMC, IDAE y EURECO)

La figura de arriba muestra un perfil similar al perfil de consumo, no siendo la variabilidad de precios horarias suficiente para contrarrestar el mayor consumo de las horas pico, donde además el precio por kWh es mayor.

A continuación, con el objetivo de estudiar y poder cuantificar el potencial de las tarifas con discriminación horaria en caso de desplazamiento del consumo, se va a suponer dos estrategias de desplazamientos:

- **Estrategia 1:** Desplazamiento a las horas de menor coste de aquel consumo gestionable que pueda ser programado sin la actuación manual del consumidor final. Por consiguiente, en esta estrategia se considerará solo el desplazamiento de la lavadora y el lavavajillas, siendo el resto de los equipos gestionables, o bien, no programables como es el caso de la plancha,

o bien, requiere la finalización previa de algunos de los equipos programables como es el caso de la secadora. En este segundo caso es requerida la finalización previa de la lavadora y la consecuente actuación del usuario.

- **Estrategia 2:** Desplazamiento de todo el consumo gestionable a las horas de menor coste limitado por el consumo horario máximo permitido según potencia contratada.

Para las dos estrategias detalladas se analizará su impacto en la factura eléctrica anual:

Estrategia 1: Desplazamientos de los consumos de lavadoras, lavavajillas

Lavadora

Se desplazará todo el consumo de este equipo (254 kWh) a las horas de menor coste limitado por el consumo total horario máximo (319 kWh.)

Observando los datos reflejados de la Tabla 20 las horas de menor costes son las 5,6,4 3, 7 y 2 a.m. por ese orden, por consiguiente, el consumo promedio de la lavadora se repartirá hasta llegar al consumo máximo limitante siguiendo el orden indicado. En este caso al ser el consumo de las 5 a.m. de 61 kWh y el de la lavadora de 254 kWh, todo el consumo de este equipo puede ser desplazado a las 5 a.m. sin llegar a superarse el consumo máximo total.

En la siguiente figura es representado el perfil de consumo antes y después del desplazamiento.

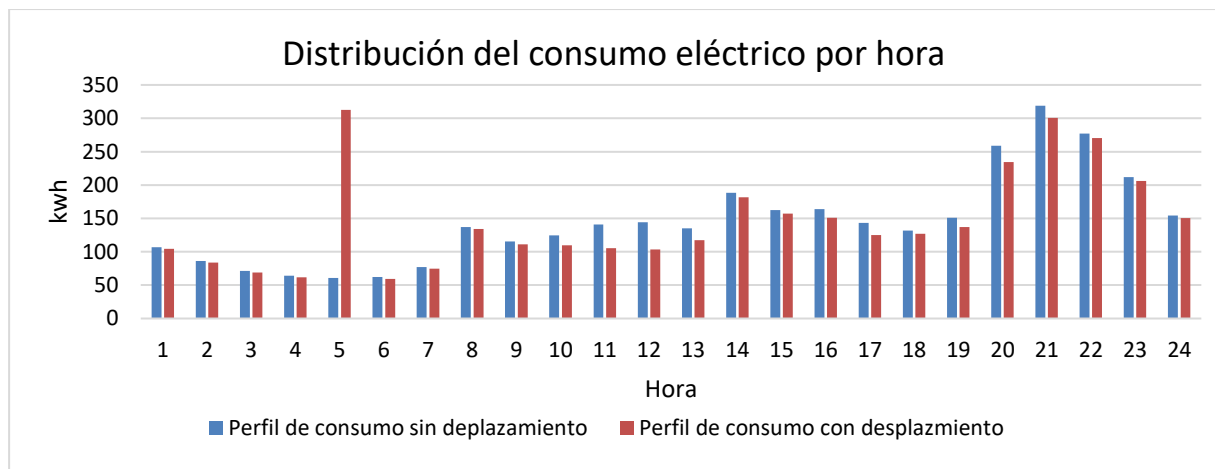


Figura 54. Perfil de consumo sin desplazamiento (azul) y con desplazamiento de la lavadora (rojo).
(Fuente: Elaboración propia, datos publicados EURECO)

En el nuevo perfil de consumo ha aparecido un nuevo pico como resultado del desplazamiento realizado. Pues mientras en la situación anterior el consumo de la lavadora estaba distribuido en diferentes horas, en la nueva situación está aglutinado en una única hora.

En la siguiente tabla se muestra los costes para el consumidor antes y después del desplazamiento para una tarifa con y sin discriminación, así como el ahorro que se obtendría al producirse este desplazamiento:

Tabla 23. Costes del término variable impuestos incluidos según tarifa con y sin desplazamiento y ahorro obtenido con el desplazamiento del consumo de lavadora respecto a la tarifa PVPC 2.0 A.
(Fuente: Elaboración propia, datos publicados CNMC, IDAE y EURECO)

Coste tarifa 2.0 A con desplazamiento (€)	511
Coste tarifa 2.0 DHA sin desplazamiento (€)	480
Coste tarifa 2.0 DHA con desplazamiento (€)	467
Ahorro tarifa 2.0 A por desplazamiento (€)	4,15
Ahorro solo cambio de tarifa 2.0 DHA (€)	35,15
Ahorro solo cambio de tarifa 2.0 DHA (%)	7%
Ahorro cambio de tarifa 2.0 DHA y desplazamiento (€)	49
Ahorro cambio tarifa 2.0 DHA y desplazamiento (%)	9,5 %

En la anterior tabla se observa que el desplazamiento del consumo total de la lavadora a las 5 a.m. junto con un cambio de tarifa discriminatoria de dos periodos conlleva un ahorro total, respecto al coste variable sin desplazamiento y tarifa 2.0 A, de 49€, valor que representa un 9,5 % respecto al coste variable del caso base (perfil de consumo sin desplazamiento y tarifa 2.0 A). Del total de ahorro obtenido (49 €) unos 35 € se debe al hecho de cambio de tarifa discriminatoria sin tener en cuenta el desplazamiento. Se pone de relevancia la mayor efectividad de la diferencia de precios entre tarifas frente a la diferencia de precio entre las diferentes horas.

En la siguiente figura se ha representado gráficamente los costes variables incluidos impuestos del consumo total según tipo de tarifa, y los ahorros que conllevarían en la factura eléctrica el cambio de tarifa junto con el desplazamiento del consumo de lavadora a las 5 a.m.



Figura 55. Coste variable del consumo total (rojo) y ahorro producido por cambio de tarifa o/y desplazamiento del consumo de la lavadora (verde).

(Fuente: Elaboración propia, datos publicados CNMC, IDAE y EURECO)

Lavavajillas

El consumo del lavavajillas (131 kWh) se desplazará al igual que el de la lavadora a las horas de menor coste sin superar el consumo límite establecido, teniendo en cuenta que el perfil inicial de consumo ha sido modificado con el traslado del consumo de la lavadora, llegándose a alcanzar a las 5 a.m. aproximadamente el consumo máximo.

Los 131 kWh del consumo del lavavajillas se trasladará a las 6 a.m., siendo esta hora aquella cuyo coste por consumir es menor tras la saturación de las 5 a.m. con el traslado previo comentado. Tras el desplazamiento de los 131 kWh, el consumo total a las 6 a.m. pasa de tener un valor de 60 kWh a 193 kWh.

En la siguiente figura se representa el perfil de consumo antes y después del desplazamiento, considerando solo el desplazamiento del lavavajillas:

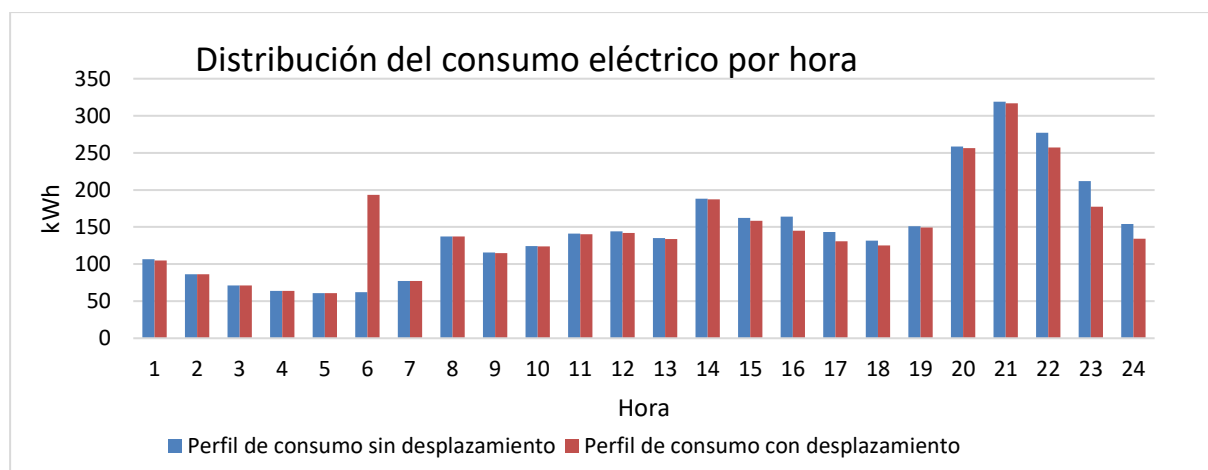


Figura 56. Perfil de consumo sin desplazamiento (azul) y con desplazamiento del lavavajilla (rojo).
(Fuente: Elaboración propia, datos publicados EURECO)

Al desplazar todo el consumo asociado al lavavajilla a una única hora, un pico de consumo es producido a esa hora, como se observa en la anterior figura.

La influencia de este desplazamiento en la factura eléctrica es mostrada en la siguiente tabla:

Tabla 24. Costes del término variable impuestos incluidos según tarifa con y sin desplazamiento y ahorro obtenido con el desplazamiento del consumo de lavavajillas respecto a la tarifa PVPC 2.0 A.
(Fuente: Elaboración propia, datos publicados CNMC, IDAE y EURECO)

Coste tarifa 2.0 A sin desplazamiento (€)	515
Coste tarifa 2.0 A con desplazamiento (€)	514
Coste tarifa 2.0 DHA sin desplazamiento (€)	480
Coste tarifa 2.0 DHA con desplazamiento (€)	472
Ahorro tarifa 2.0 A por desplazamiento (€)	2
Ahorro solo cambio de tarifa 2.0 DHA (€)	35
Ahorro solo cambio de tarifa 2.0 DHA (%)	7%
Ahorro cambio de tarifa 2.0 DHA y desplazamiento (€)	44
Ahorro cambio tarifa 2.0 DHA y desplazamiento (%)	8,5%

En la anterior tabla se observa que el desplazamiento del consumo total del lavavajillas a las 6 a.m. junto con un cambio de tarifa discriminatoria de dos periodos conlleva un ahorro total, respecto al coste variable sin desplazamiento y tarifa 2.0 A, de 44€, valor que representa un 8,5 % respecto al coste variable del caso base (perfil de consumo sin desplazamiento y tarifa 2.0 A). Como ya se ha visto anteriormente, 35 € del total de los 49 € se debe al hecho de cambio de tarifa discriminatoria sin

tener en cuenta el desplazamiento. Adicionalmente, se observa que el ahorro debido exclusivamente al desplazamiento para una tarifa 2.0 DHA es de 9 €, mientras que si no se cambia de tarifa es de solo 2 €, viéndose de esta forma favorecido el consumidor al pagar un coste menor a las 6 a.m. para la tarifa de 2 periodos que de un único periodo.

Cabe destacar que a pesar de que el consumo del lavavajilla es prácticamente la mitad que el consumo de la lavadora, se obtiene un ahorro similar. Este fenómeno puede explicarse por el hecho de que el lavavajilla suele funcionar en horas cuyos costes son superiores a las horas de funcionamiento normal de la lavadora.

En la siguiente figura se ha representado gráficamente los costes variables incluidos impuestos del consumo total según tipo de tarifa, y los ahorros que conllevarían en la factura eléctrica el cambio de ésta junto con el desplazamiento del consumo del lavavajillas a las 6 a.m.:

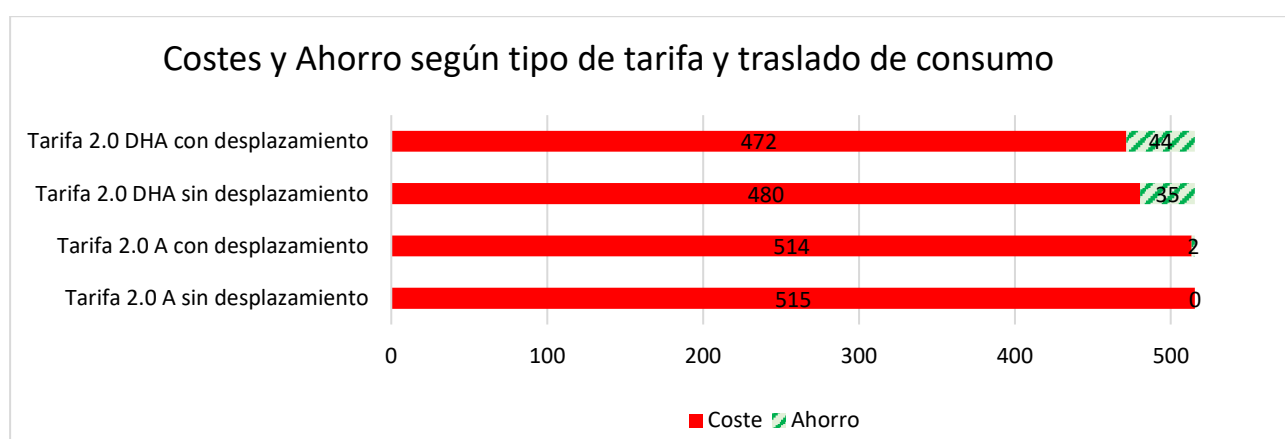


Figura 57. Coste variable del consumo total (rojo) y ahorro producido por cambio de tarifa o/y desplazamiento del consumo del lavavajillas (verde).

(Fuente: Elaboración propia, datos publicados CNMC, IDAE y EURECO)

La siguiente tabla muestra los costes y ahorros que se obtendrían al realizar conjuntamente los dos desplazamientos considerados:

Tabla 25. Costes del término variable impuestos incluidos según tarifa con y sin desplazamiento y ahorro obtenido con el desplazamiento del consumo de la lavadora y el lavavajillas respecto a la tarifa PVPC 2.0 A. (Fuente: Elaboración propia, datos publicados CNMC, IDAE y EURECO)

Coste tarifa 2.0 A sin desplazamiento (€)	515
Coste tarifa 2.0 A con desplazamiento (€)	509
Coste tarifa 2.0 DHA sin desplazamiento (€)	480
Coste tarifa 2.0 DHA con desplazamiento (€)	458
Ahorro tarifa 2.0 A por desplazamiento (€)	6,13
Ahorro solo cambio de tarifa 2.0 DHA (€)	35,15
Ahorro solo cambio de tarifa 2.0 DHA (%)	7%
Ahorro cambio de tarifa 2.0 DHA y desplazamiento (€)	57,37
Ahorro cambio tarifa 2.0 DHA y desplazamiento (%)	11,1%

Como se observa en la anterior tabla el total de ahorro obtenido a llevar a cabo el desplazamiento del consumo de la lavadora y lavavajillas es de aproximadamente 57 €, siendo 22 € el total de ahorro

debido al desplazamiento en una tarifa discriminatoria, siendo los 35 € restantes ahorro debido al simple hecho de cambiar de tarifa. El total de ahorro obtenido representa un peso del 11 % respecto al coste variable del consumo total del caso base.

A continuación, se muestra el perfil de consumo antes y después de ambos desplazamientos:

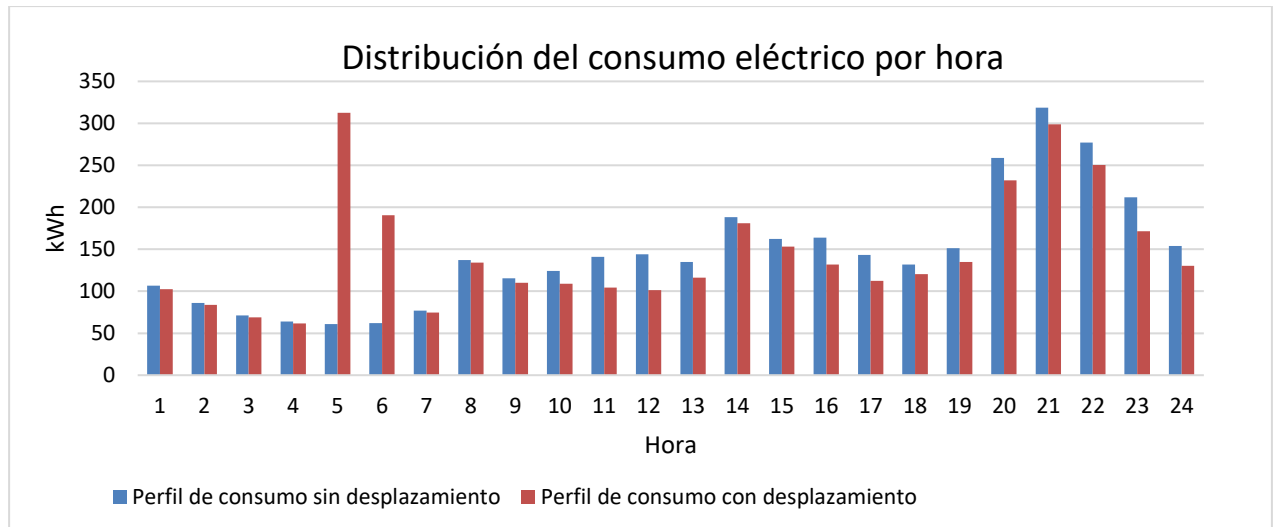


Figura 58. Perfil de consumo sin desplazamiento (azul) y con desplazamiento de la lavadora y lavavajillas (rojo). (Fuente: Elaboración propia, datos publicados EURECO)

En la figura anterior se observa los picos producidos por los desplazamientos realizados, siendo el correspondiente a la lavadora a las 5 a.m. bastante significativo, aproximándose el consumo de esa hora al consumo máximo permitido.

En la siguiente figura se ha representado gráficamente los costes variables incluidos impuestos del consumo total según tipo de tarifa, y los ahorros que conllevarían el cambio de ésta junto con los desplazamientos de los consumos de la lavadora a las 5 a.m. y del lavavajillas a las 6 a.m.:

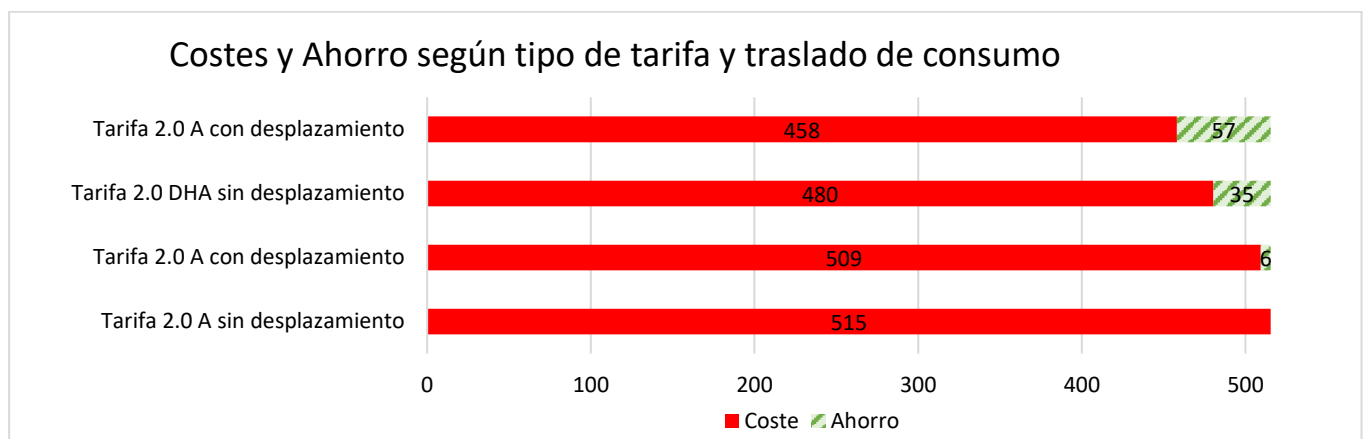


Figura 59. Coste variable del consumo total (rojo) y ahorro producido por cambio de tarifa o/y desplazamiento del consumo de la lavadora y del lavavajillas (verde). (Fuente: Elaboración propia, datos publicados CNMC, IDAE y EURECO)

Para el caso estudiado de un consumidor con un consumo medio de 3487 kWh según el estudio de SPAHOUSEC, con un perfil horario igual a la suma de los perfiles desagregados calculados según los

resultados del estudio de EURECO, y con una tarifa PVPC sin discriminación horaria, para los desplazamientos detallados en la estrategia 1 se obtendría un ahorro de solo 6 € si no se lleva a cabo un cambio de tarifa discriminatoria, sin embargo, se obtendría un ahorro de 57 €, un 11% del coste variable inicial, si además del desplazamiento se realiza un cambio de tarifa.

A continuación, para cuantificar el ahorro resultante respecto al coste total de la facturación eléctrica anual para el caso de la tarifa 2.0 A., se calcula la parte referente al coste fijo, el cual es independiente del desplazamiento del consumo.

Para el cálculo del coste fijo se ha seguido el procedimiento detallado en el apartado 4.3, según el cual éste se divide en el coste fijo de la tarifa de acceso (3.1702855 €/kW·mes), el coste fijo de comercialización (3.13 €/kW·dia) y el coste de los equipos de medidas (0.81 €/mes), a los cuales hay que incluir el impuesto especial eléctrico (5,11 %) y el IVA (21%), no aplicándose el primero de éstos a los costes de equipos. Para una potencia supuesta de 4,4 kW para el caso estudiado, el coste total de la parte fija es de 274 €, obteniendo un coste anual total de la facturación eléctrica con impuestos incluidos de 789 €.

Para el caso estudiado, un cambio de tarifa con discriminación horaria y un desplazamiento del consumo de la lavadora a las 5 a.m. y del consumo del lavavajillas a las 6 a.m., un ahorro de 57 € representa un 7 % respecto al coste total anual de 789€, de los cuales aproximadamente en torno al 4.5 % se debe al cambio de tarifa.

Estrategia 2: Desplazamientos de los consumos de lavadoras, lavavajillas, secadora y plancha

En esta segunda estrategia, además del desplazamiento de los consumos de la lavadora y del lavavajillas, ambos equipos considerados gestionables y programables, se considerará el traslado del resto de consumos gestionables, como son el de la secadora y la plancha.

El consumo de la lavadora se desplazará totalmente a las 5 a.m., mientras el del lavavajillas se desplazará a las 6 a.m. como se han considerado en estrategia 1, resultando un ahorro máximo de 57 € ya analizado previamente.

A continuación, se detalla los desplazamientos de los consumos de la secadora y plancha, cuyos ahorros obtenidos se sumarán a los citados.

Secadora

El desplazamiento del consumo de la secadora (71 kWh) debe realizarse en horas posteriores a la finalización del funcionamiento de la lavadora. En esta situación habiendo desplazado todo el consumo de la lavadora a las 5 a.m., el funcionamiento de la secadora se desplazará a aquella hora posterior a las 5h cuyo coste es menor. Como puede verse en la Tabla 20, la hora de menor coste posterior a las 5 a.m. es la 6 a.m., hora en la cual el consumo total es de 191 kWh, incluido el consumo desplazado del lavavajillas. Teniendo en cuenta el menor coste de consumo a las 6 a.m. y al no llegarse a alcanzar el consumo máximo limitante, el desplazamiento de la secadora se llevará a cabo a las 6 a.m.

En la siguiente figura se representa el perfil de consumo antes y después del desplazamiento, considerando solo el desplazamiento de la secadora:

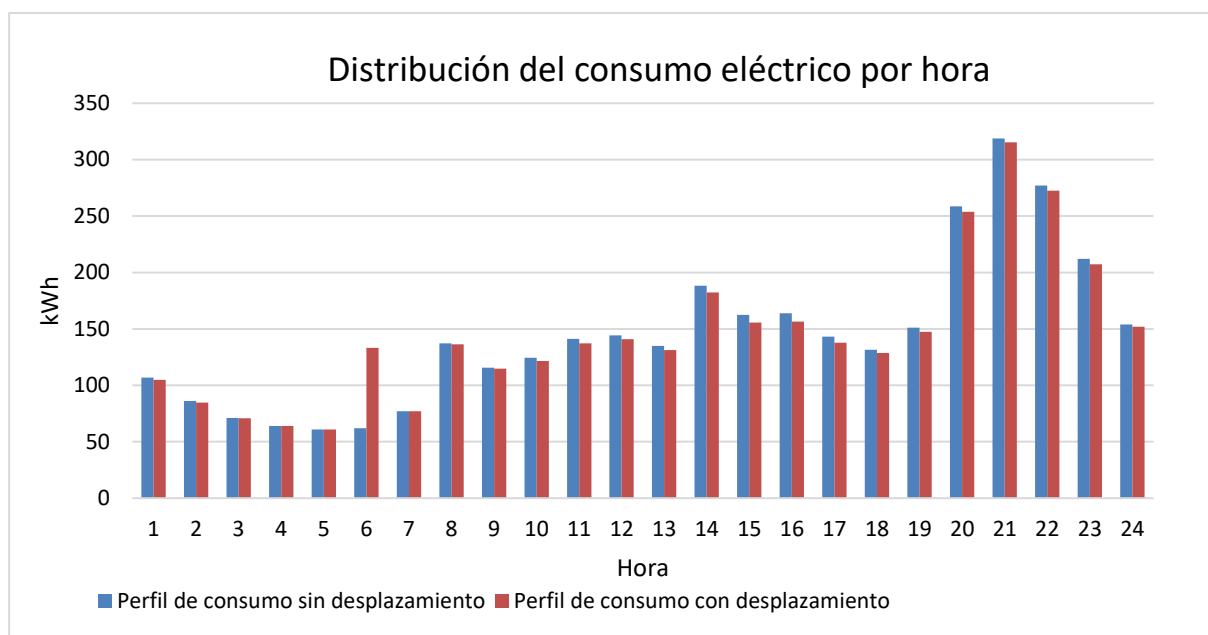


Figura 60. Perfil de consumo sin desplazamiento (azul) y con desplazamiento de la secadora(rojo).
(Fuente: Elaboración propia, datos publicados EURECO)

Al desplazar todo el consumo asociado a la secadora a una única hora, el consumo de las 6 a.m. aumenta como puede verse en la figura anterior, aunque sin destacar en exceso respecto al mayor consumo en otras horas del día.

La influencia de este desplazamiento en la factura eléctrica es mostrada en la siguiente tabla:

Tabla 26. Costes del término variable impuestos incluidos según tarifa con y sin desplazamiento y ahorro obtenido con el desplazamiento del consumo de la secadora respecto a la tarifa PVPC 2.0 A.
(Fuente: Elaboración propia, datos publicados CNMC, IDAE y EURECO)

Coste tarifa 2.0 A sin desplazamiento (€)	515
Coste tarifa 2.0 A con desplazamiento (€)	514
Coste tarifa 2.0 DHA sin desplazamiento (€)	480
Coste tarifa 2.0 DHA con desplazamiento (€)	476
Ahorro tarifa 2.0 A por desplazamiento (€)	1,04
Ahorro solo cambio de tarifa 2.0 DHA (€)	35,15
Ahorro solo cambio de tarifa 2.0 DHA (%)	7%
Ahorro cambio de tarifa 2.0 DHA y desplazamiento (€)	39,96
Ahorro cambio tarifa 2.0 DHA y desplazamiento (%)	7,8%

En la anterior tabla se observa que el desplazamiento del consumo total de la secadora a las 6 a.m. junto con un cambio de tarifa discriminatoria de dos periodos conlleva un ahorro total, respecto al coste variable sin desplazamiento y tarifa 2.0 A, de 40€, valor que representa un 8 % respecto al coste variable del caso base (perfil de consumo sin desplazamiento y tarifa 2.0 A). Como se observa en la tabla, 35 € del total de los 40 € se debe al hecho de cambio de tarifa discriminatoria sin tener en

cuenta el desplazamiento. Adicionalmente, de los datos mostrados se calcula que el ahorro debido exclusivamente al desplazamiento para una tarifa 2.0 DHA es de aproximadamente 5 €, mientras que si no se cambia de tarifa es de solo 1 €. En resumen, aunque el desplazamiento del consumo de la secadora a las 6 a.m. favorece al consumidor para ambos tipos de tarifa, habría que analizar si es suficientemente significativo para motivar al consumidor a modificar sus hábitos de consumo.

En la siguiente figura se ha representado gráficamente los costes variables incluidos impuestos del consumo total según tipo de tarifa, y los ahorros que conllevarían en la factura eléctrica el cambio de ésta junto con el desplazamiento del consumo de la secadora a las 6 a.m.:

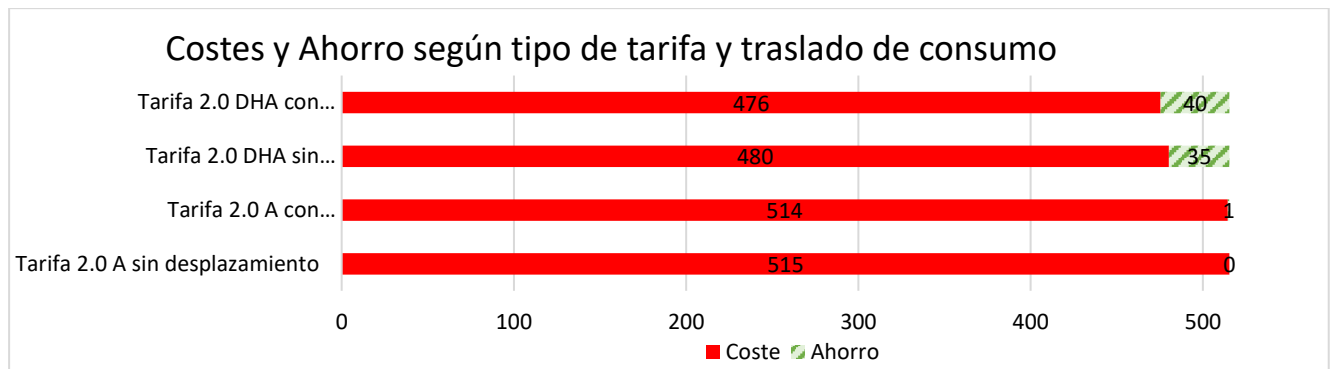


Figura 61. Coste variable del consumo total (rojo) y ahorro producido por cambio de tarifa o/y desplazamiento del consumo de la secadora (verde).
(Fuente: Elaboración propia, datos publicados CNMC, IDAE y EURECO)

Plancha

El desplazamiento del consumo de la plancha (75 kWh) debe realizarse en horas posteriores a la finalización del funcionamiento de la secadora, por consiguiente, todo el consumo correspondiente a la plancha se trasladará aquella hora de menor coste posterior a las 6 h, como puede verse en la Tabla 20, esta hora de menor coste es la 7 a.m. de la mañana. Con este desplazamiento a las 7 a.m. el consumo a esa hora es de 153 kWh, no alcanzándose el consumo limitante, y por consiguiente no encontrándose impedimento para este desplazamiento.

En la siguiente figura se representa el perfil de consumo antes y después del desplazamiento, considerando solo el desplazamiento de la plancha:

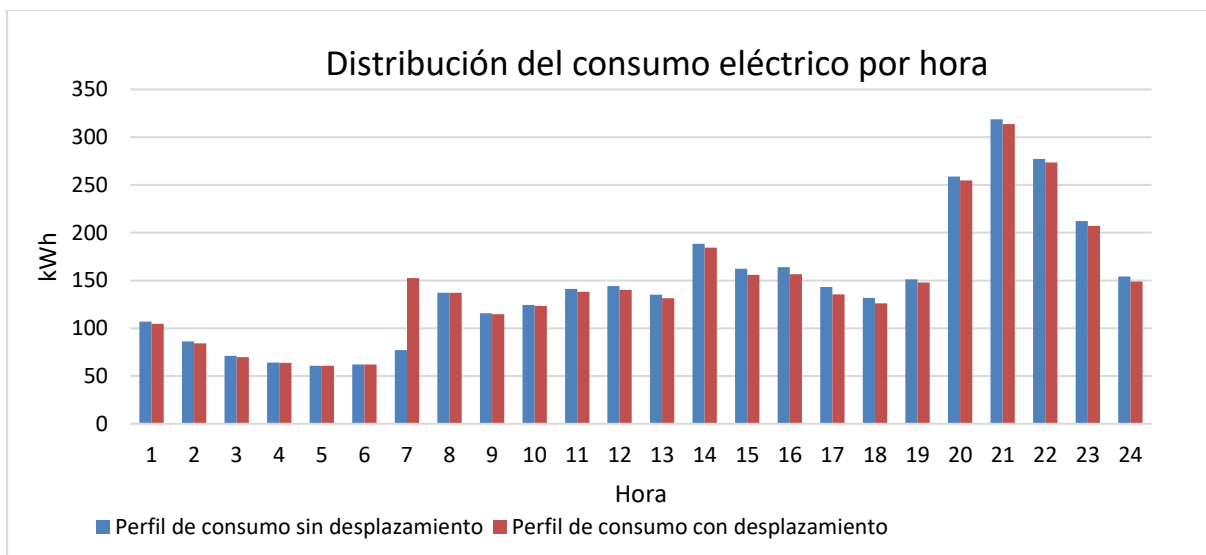


Figura 62. Perfil de consumo sin desplazamiento (azul) y con desplazamiento de la plancha (rojo).
(Fuente: Elaboración propia, datos publicados EURECO)

Al desplazar todo el consumo asociado a la plancha a una única hora, el consumo de las 7 a.m. aumenta como puede verse en la figura anterior, aunque sin destacar en exceso respecto al mayor consumo en otras horas del día.

La influencia de este desplazamiento en la factura eléctrica es mostrada en la siguiente tabla:

Tabla 27. Costes del término variable impuestos incluidos según tarifa con y sin desplazamiento y ahorro obtenido con el desplazamiento del consumo de la plancha respecto a la tarifa PVPC 2.0 A.
(Fuente: Elaboración propia, datos publicados CNMC, IDAE y EURECO)

Coste tarifa 2.0 A sin desplazamiento (€)	515
Coste tarifa 2.0 A con desplazamiento (€)	515
Coste tarifa 2.0 DHA sin desplazamiento (€)	480
Coste tarifa 2.0 DHA con desplazamiento (€)	476
Ahorro tarifa 2.0 A por desplazamiento (€)	0,65
Ahorro solo cambio de tarifa 2.0 DHA (€)	35,15
Ahorro solo cambio de tarifa 2.0 DHA (%)	7%
Ahorro cambio de tarifa 2.0 DHA y desplazamiento (€)	39,70
Ahorro cambio tarifa 2.0 DHA y desplazamiento (%)	7,7%

En la anterior tabla se observa que el desplazamiento del consumo total de la plancha a las 7 a.m. junto con un cambio de tarifa discriminatoria de dos periodos conlleva un ahorro total, respecto al coste variable sin desplazamiento y tarifa 2.0 A, de aproximadamente 40€, valor que representa en torno al 8 % respecto al coste variable del caso base (perfil de consumo sin desplazamiento y tarifa 2.0 A). Como se observa en la tabla, 35 € del total de los 40 € se debe al hecho de cambio de tarifa discriminatoria sin tener en cuenta el desplazamiento. Adicionalmente, de los datos mostrados se obtiene que el ahorro debido exclusivamente al desplazamiento para una tarifa 2.0 DHA es de aproximadamente 5 €, mientras que si no se cambia de tarifa es de solo 1 €. En resumen, aunque el desplazamiento del consumo de la plancha a las 7 a.m. favorece al consumidor para ambos tipos de

tarifas, como se ha indicado en el caso anterior, habría que analizar si es suficientemente significativo para motivar al consumidor a modificar sus hábitos de consumo.

En la siguiente figura se ha representado gráficamente los costes variables incluidos impuestos del consumo total según tipo de tarifa, y los ahorros que conllevarían en la factura eléctrica el cambio de ésta junto con el desplazamiento del consumo de la plancha a las 7 a.m.:

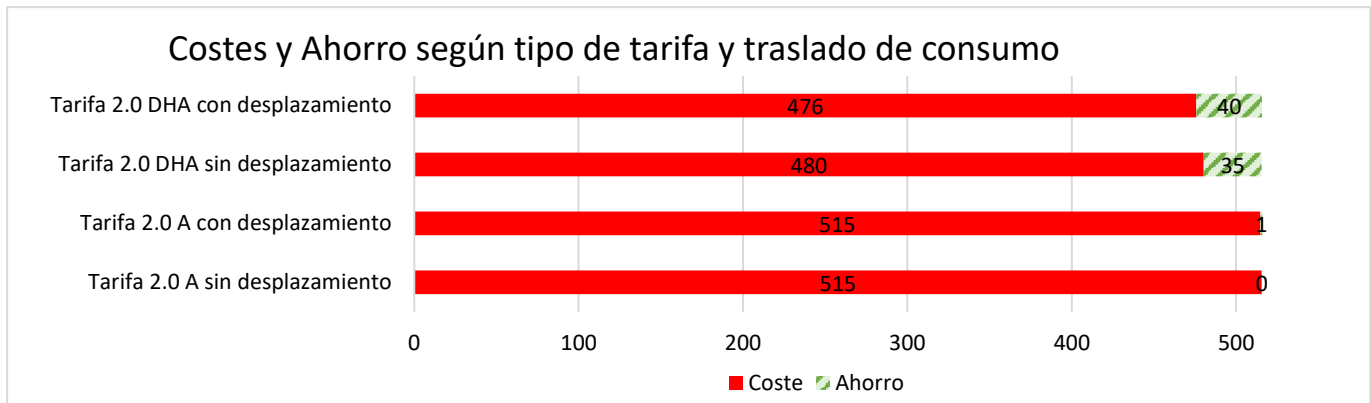


Figura 63. Coste variable del consumo total (rojo) y ahorro producido por cambio de tarifa o/y desplazamiento del consumo de la plancha (verde).
(Fuente: Elaboración propia, datos publicados CNMC, IDAE y EURECO)

Los resultados mostrados en el traslado del consumo de la plancha son prácticamente idénticos a los obtenidos a desplazar únicamente el consumo de la secadora, este hecho además de deberse a la similitud de ambos consumos anuales, pone de relieve la mayor influencia del efecto del cambio de tarifa frente al efecto del desplazamiento de los consumos

A continuación, se ha representado el perfil de consumo antes y después de los desplazamientos presentados en la estrategia 2:

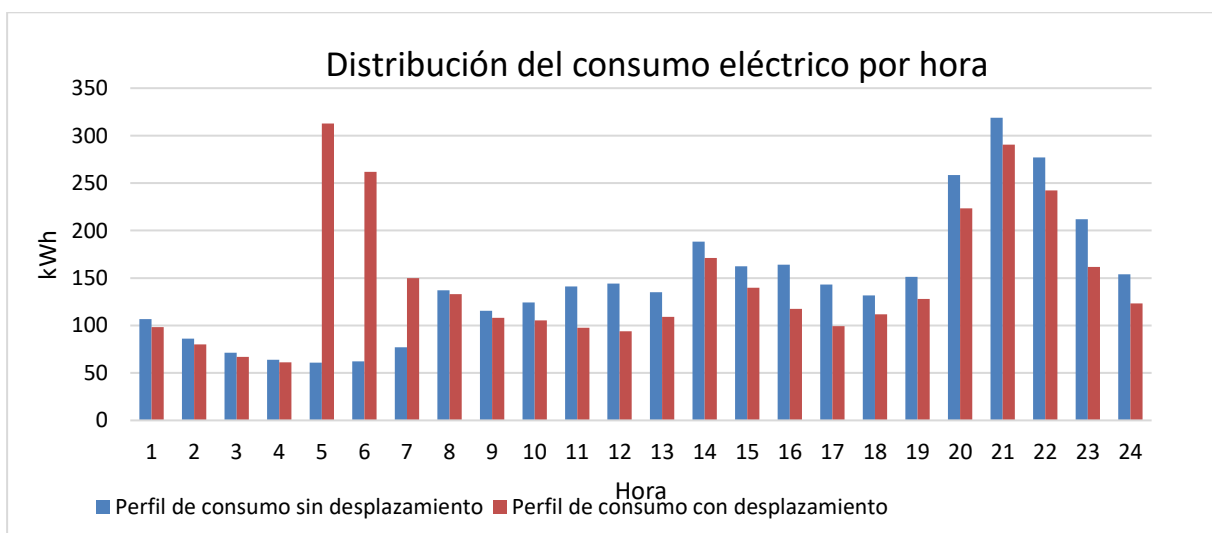


Figura 64. Perfil de consumo sin desplazamiento (azul) y con desplazamiento de la lavadora, el lavavajillas, la plancha y la secadora (rojo).
(Fuente: Elaboración propia, datos publicados EURECO)

En la anterior figura, de los cuatros desplazamientos sugeridos, destaca el desplazamiento de la lavadora y lavavajillas a las 5 a.m. y 6 a.m., respectivamente, alcanzándose a las 5 a.m. el consumo horario medio máximo, el cual está cercano al consumo limitante (319 kWh).

En la siguiente figura se ha representado gráficamente los costes variables incluidos impuestos del consumo total según tipo de tarifa, y los ahorros que conllevarían el cambio de ésta junto con los desplazamientos de los consumos de la lavadora a las 5 a.m., del lavavajillas y la secadora a las 6 a.m., y de la plancha a las 7 a.m.:

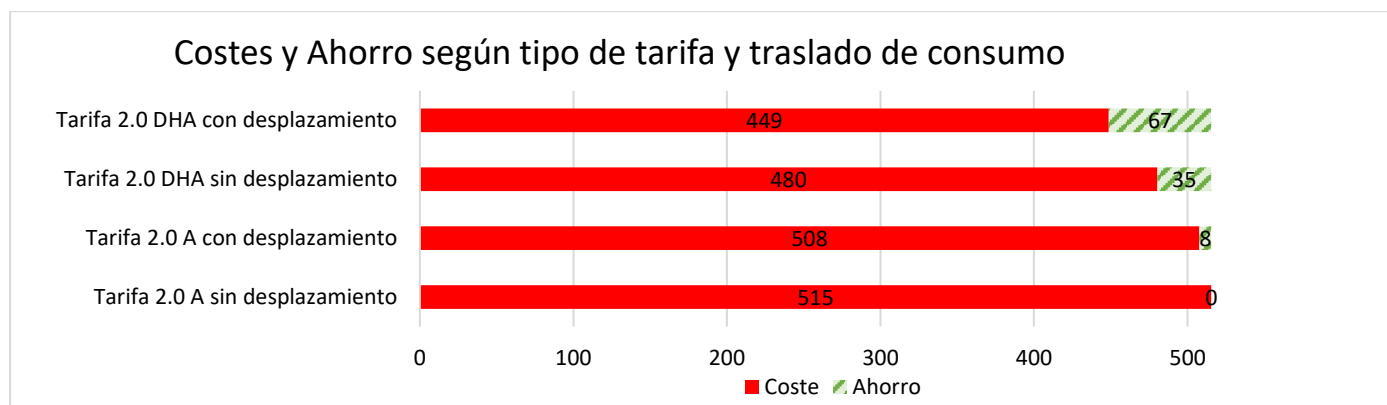


Figura 65. Coste variable del consumo total (rojo) y ahorro producido por cambio de tarifa o/y desplazamientos de los consumos de la lavadora, del lavavajillas, la secadora y la plancha (verde).
(Fuente: Elaboración propia, datos publicados CNMC, IDAE y EURECO)

Para el caso estudiado de un consumidor con un consumo medio de 3487 kWh según el estudio de SPAHOUSEC, con un perfil horario igual a la suma de los perfiles desagregados calculados según los resultados del estudio de EURECO, y con una tarifa PVPC sin discriminación horaria, para los desplazamientos detallados en la estrategia 2 se obtendría un ahorro de solo 8 € si no se lleva a cabo un cambio de tarifa discriminatoria, sin embargo, se obtendría un ahorro de 67 €, un 13% del coste variable inicial, si además de los desplazamientos se realiza un cambio de tarifa, del cual el 4,4 % es debido al cambio de tarifa.

Con un coste total anual de 789 € calculado en la estrategia 1, los 67 € representa un porcentaje superior al 8 % de este coste anual.

La siguiente tabla muestra a modo de resumen los resultados más relevantes de las dos estrategias presentadas en este apartado:

Tabla 28. Tabla resumen de las dos estrategias presentadas
(Fuente: Elaboración propia, datos publicados CNMC, IDAE y EURECO)

	Descripción	Coste termino variable tarifa 2.0 DHA	Ahorro solo cambio de tarifa	Ahorro cambio de tarifa y deslazamiento	Ahorro respecto a la facturación anual inicial
Estrategia 1	Desplazamiento de los consumos de aquellos equipos que son gestionables y programables.	459 €	35,15 €	57,37 €	11%
Estrategia 2	Desplazamiento de los consumos de aquellos equipos que son gestionables.	449€	35,15 €	66,72 €	13%

Nota: Los costes incluyen impuestos.

Como se observa en la tabla anterior y era de esperar el mayor ahorro es obtenido en la estrategia 2, donde además de los consumos gestionables y programables, también han sido considerados los consumos de aquellos equipos que son gestionables, pero no programables. El ahorro máximo obtenido en la estrategia 2 es de 67 €, de los cuales aproximadamente 30 € es atribuido al desplazamiento del consumo para una tarifa con discriminación, cantidad que en un principio parece escasa para incentivar a los consumidores a jugar un papel activo en la gestión de la demanda, y por consiguiente en la consecución del aplanamiento de la curva de consumo.

Al comparar ambas estrategias presentadas en la tabla anterior se observa que el hecho de desplazar adicionalmente aquellos equipos no programables, un ahorro de 10 € a favor de la estrategia 2 es obtenido. Respecto al porcentaje del ahorro en la facturación inicial, la estrategia 2 supone un 2% más respecto al ahorro obtenido al aplicar la estrategia 1.

8. IMPACTO EN LA FACTURACIÓN ELÉCTRICA DE EQUIPOS MÁS EFICIENTES Y ANÁLISIS DE RENTABILIDAD

Para la realización de este apartado se ha supuesto que el parque actual con consumo de 3487 kWh según IDAE tiene una eficiencia energética de clase A. En esta sección se ha analizado el ahorro energético y económico obtenido debido a:

- **Cambio de algunos equipos de clase A por otros de clase A+++.**
- **Sustitución de la distribución de iluminación actual según IDAE por una de tipo led.**
- **Reducción del consumo de standby en torno al 85 %.**

Posteriormente se ha calculado la inversión necesaria y el periodo de rentabilidad para la consecución de los cambios propuestos. Para finalizar se ha comparado la idoneidad de cambiar los equipos actuales ante rotura por unos de clase energética más eficiente o por otros de la misma clase.

8.1. Impacto en la facturación eléctrica.

Para el análisis del impacto del uso de equipos más eficientes sobre la facturación eléctrica, al igual que en el apartado anterior, se ha partido de un consumo medio anual de 3487 kWh con una distribución por equipo según [27]. De este consumo total se va a analizar la disminución del consumo de iluminación, lavadora, lavavajillas, secadoras y standby, un consumo total de aproximadamente 1100 kWh, que representa en torno el 31% del consumo total. Para la reducción del consumo comentado se va a estudiar el uso de luminarias led y el uso de equipos más eficientes. En la siguiente figura se ha representado los porcentajes que representa cada consumo del total de los 1100 kWh que se van a analizar.

Distribución consumo analizado

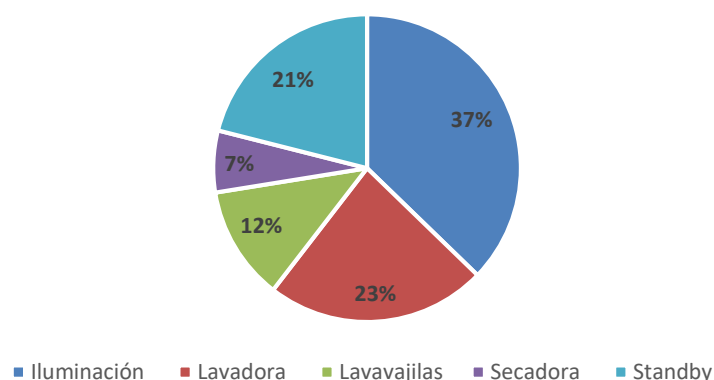


Figura 66. Distribución porcentual del consumo objetivo de reducción.
(Fuente: Elaboración propia, datos publicados IDAE)

En la anterior figura se observa como el mayor consumo corresponde al consumo de la iluminación (37%), seguido por la lavadora (23%), destacando el alto valor de standby que representa un 21 % del consumo a reducir.

Uso de luminarias más eficientes

El consumo correspondiente a la iluminación para el caso estudiado es de 408 kWh. Según [40] el número medio de luminarias en una vivienda en España es de aproximadamente 22, repartidas según la distribución mostrada en la siguiente figura.

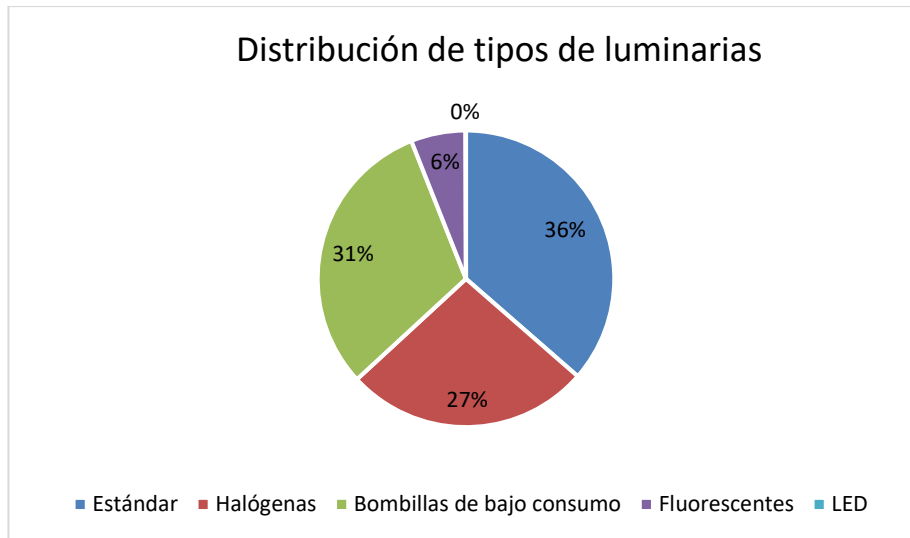


Figura 67. Distribución de tipos de luminarias.
(Fuente: Elaboración propia, datos publicados IDAE)

En la siguiente tabla se muestra cómo queda repartido el consumo total de iluminación para el caso bajo estudio según la distribución porcentual mostrada en la figura anterior.

Tabla 29. Tabla de la distribución del consumo según luminaria.
(Fuente: Elaboración propia, datos publicados en IDAE)

Tipo iluminaria	Consumo (kWh)
Estándar	148,6
Halógenas	109,1
Bombillas de bajo consumo	125,9
Fluorescentes	24,3
LED	0,2

En la tabla anterior se observa como el mayor consumo corresponde con las luminarias de tipo estándar, seguidas de las bombillas de bajo consumo, siendo prácticamente nulo el uso de luminarias de tipo led.

A continuación, se detallan las relaciones entre los consumos de luminarias menos eficientes frente al consumo de luminarias de tipo led:

- **Bombillas estándar, halógenas:** Un consumo 8 veces superior a luminarias de tipo led.
- **Fluorescente:** Un consumo 3 veces superior que la luminaria de tipo led.

- **Bombillas de bajo consumo:** Un consumo 2 veces superior que la luminaria tipo led.

Como **medida de disminución del consumo en iluminación se va a suponer que todas las bombillas van a ser sustituidas por LED**, luminarias de menor consumo.

Haciendo uso de las relaciones de consumo entre los tipos de luminarias comentadas, se obtiene que el consumo de luminarias estándar y halógenas se reduce hasta un valor de 37 kWh, el consumo de fluorescente pasa a tomar un valor de 8 kWh, y el consumo de las bombillas de bajo consumo se reduce hasta un valor de aproximadamente 63 kWh. En total una vez realizado el cambio se obtiene un consumo total de 108 kWh, una disminución de unos 300 kWh, que representa en torno 74 % del consumo inicial.

Para llevar a cabo el análisis propuesto en este apartado sobre el ahorro en la facturación eléctrica al disminuir el consumo para tarifa con y sin discriminación horaria, es necesario conocer la distribución horaria de dicho consumo. Para ello se ha supuesto una distribución horaria teniendo en cuenta por un lado los valores mostrados en [14], donde se indica el consumo en iluminación para dos horas concreta en Portugal, país tomado como referencia debido a su similitud con España, y por otra parte, ponderando para el resto de horas el consumo en función de las horas de luz natural y hábitos de consumo de los usuarios, mostrándose en la siguiente figura la distribución resultante.

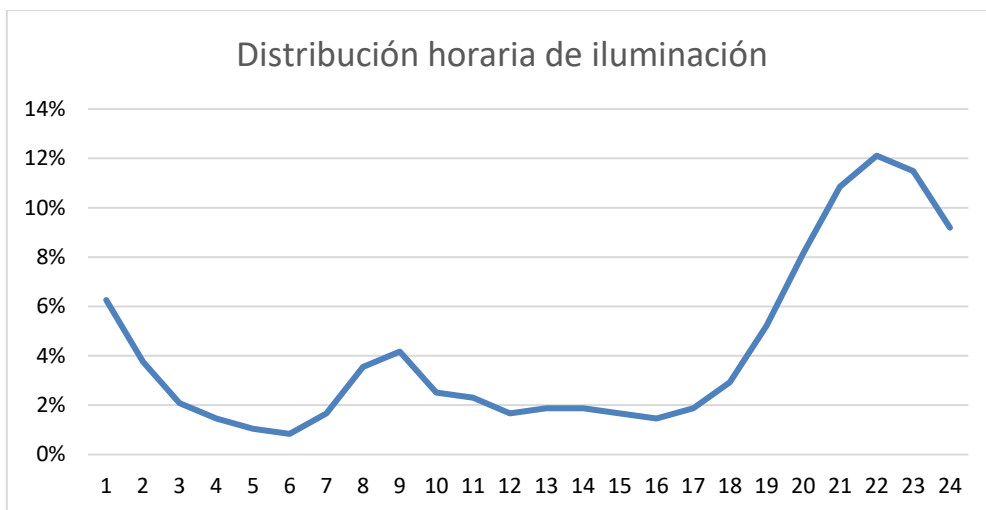


Figura 68. Distribución porcentual del consumo horario de la iluminación.
(Fuente: Elaboración propia, datos publicados EURECO)

Como es de esperar el mayor consumo en iluminación tiene lugar sobre las 21h y 23h, horas sin luz natural en España y con un alto grado de ocupación en viviendas.

En la siguiente tabla se ha representado el coste y ahorro en la facturación eléctrica antes y después de la sustitución del tipo de luminarias para tarifas con y sin discriminación horaria, teniendo en cuenta el consumo inicial, la relaciones entre consumo de los diferentes tipos de luminarias y la distribución horaria supuesta.

Tabla 30. Tabla de costes y ahorros al cambiar a luminarias led.
(Fuente: Elaboración propia)

	Consumo total (kWh)	Coste tarifa sin discriminación (€)	Coste tarifa con discriminación (€)
Escenario Inicial	408	61	56
Escenario final	108	16	15
Ahorro máximo (€)		46	

En la tabla anterior se muestra que partiendo de una situación inicial con una distribución de diferentes tipos de luminaria según Figura 67, y una tarifa sin discriminación horaria, el mayor ahorro se obtiene para una situación en el que todas las luminarias son de tipo led y para una tarifa discriminatoria, obteniéndose un ahorro total de 46 €.

En la siguiente figura se ha representado gráficamente los costes y ahorros obtenidos entre los distintos escenarios comentados a continuación:

- Escenario 1: Consumo de 408 kWh, tarifa 2.0 A y situación sin desplazamiento.
- Escenario 2: Consumo de 108 kWh, tarifa 2.0 A y situación sin desplazamiento.
- Escenario 3: Consumo de 108 kWh, tarifa 2.0 DHA y situación sin desplazamiento.

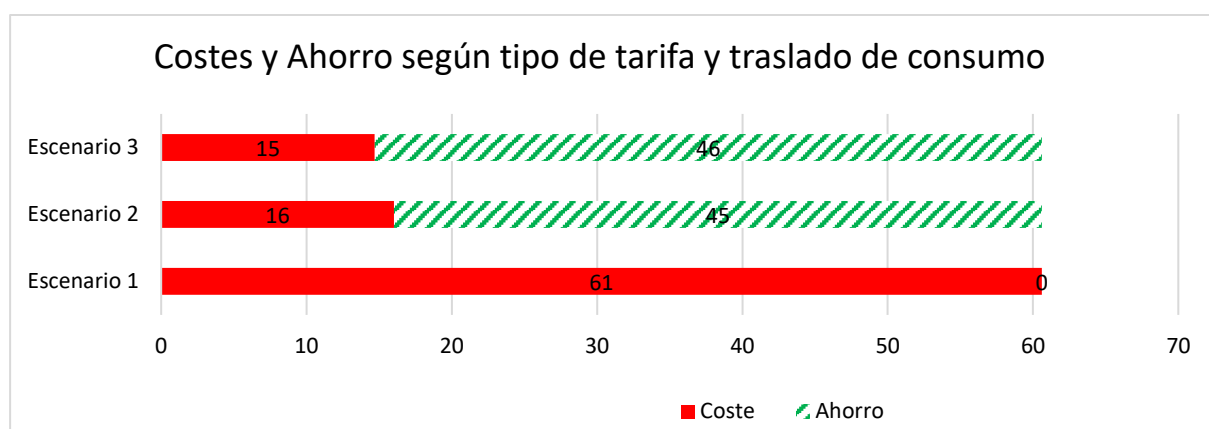


Figura 69. Costes y ahorros entre usar luminarias más o menos eficientes.
(Fuente: Elaboración propia)

Como se muestra en la tabla y gráfica anterior una modificación de luminarias led para el caso estudiado, supone un ahorro anual de aproximadamente 46 € en el escenario más favorable, cantidad debida mayoritariamente (45€) al cambio de luminarias, y en menor medida (1 €) al cambio de tarifa.

Uso de lavadora más eficiente

El consumo correspondiente a la lavadora para el caso estudiado es de 254 kWh al año. En este apartado se va a analizar tanto el ahorro de consumo como el ahorro económico en la facturación eléctrica al cambiar la lavadora de clase A por una de clase A+++, lavadora más eficiente con menor gasto energético.

Desde la aplicación de la Directiva Europea [15], la lavadora junto con otros electrodomésticos como la secadora y el lavavajillas, estudiados más adelante, están obligados a mostrar una etiqueta energética donde se muestren los datos más relevantes de su consumo. Entre estos datos se encuentra la clase de eficiencia energética, la cual se representa en la etiqueta a través de una letra y color. La clase de eficiencia energética de una lavadora se clasifica según lo estipulado en la siguiente tabla.

Tabla 31. Clasificación energética de lavadora.
(Fuente: Directiva Europea 2010/30/EU)

Clase de eficiencia energética	Índice de Eficiencia Energética
A+++ (más eficiente)	$IEE < 46$
A++	$46 \leq IEE < 52$
A+	$52 \leq IEE < 59$
A	$59 \leq IEE < 68$
B	$68 \leq IEE < 77$
C	$77 \leq IEE < 87$
D (menos eficiente)	$IEE \geq 87$

La pertenencia a una clase energética u otra depende del valor del denominado **Índice de Eficiencia Energética (EEI)**. Dicho Índice se calcula mediante la siguiente fórmula.

$$EEI = \frac{AE_c}{SAE_c} \cdot 100 \quad (9)$$

Donde:

- **AE_c**: Consumo de energía anual ponderado de una lavadora doméstica en el programa normal de algodón a 60 °C con carga completa y carga parcial.
- **SAE_c**: Consumo anual normalizado de una lavadora doméstica en el programa normal de algodón a 40 °C con carga parcial (SAE_c).

La diferencia entre una clase u otra puede representar un ahorro significativo en consumo energético lo que se traduce en un ahorro en la facturación eléctrica, el cual será estudiado en este apartado. A continuación, se estudiará y cuantificará el ahorro producido al pasar de una lavadora con un consumo de 254 kWh al año y clase energética A, a una lavadora de clases A+++.

Se va a suponer un consumo de una lavadora con etiqueta A+++ de 160 kWh al año, valor estimado según los consumos proporcionados en [26] con una distribución horaria para el cálculo de los costes de la tarifa de acceso con discriminación según [27]. Hay que mencionar que para el caso de la lavadora también se va a analizar el ahorro del nuevo consumo para el caso con desplazamiento de éste según apartado anterior.

En la siguiente tabla se ha representado el coste y ahorro en la facturación eléctrica antes y después de la sustitución, este análisis se ha realizado para tarifas con y sin discriminación, y para situación con y sin desplazamiento.

Tabla 32. Tabla de costes y ahorros al cambiar a lavadora más eficiente.
(Fuente: Elaboración propia)

	Consumo total (kWh)	Coste tarifa sin discriminación (€)	Coste tarifa con discriminación (€)
Escenario Inicial sin desplazamiento	254	38	34
Escenario final sin desplazamiento	160	24	21
Escenario Inicial con desplazamiento	254	34	20
Escenario final con desplazamiento	160	21	13
Ahorro máximo (€)		25	

En la tabla anterior se muestra que, partiendo de una situación con un consumo anual de 254 kWh y una tarifa sin discriminación, un ahorro máximo de 25 € es obtenido si se sustituye la lavadora por una de clase A+++ con un consumo medio de 160 kWh, y adicionalmente se realiza un desplazamiento de su consumo y una sustitución a la tarifa con discriminación horaria. Se observa que parte de este ahorro (11 €) es debido al cambio de tarifa con discriminación y al traslado de consumo, mientras que un ahorro de 14 € es debido a la lavadora más eficiente y su consecuente menor consumo energético.

En la siguiente figura se ha representado gráficamente los costes y ahorros obtenidos entre distintos escenarios comentados a continuación:

- Escenario 1: Consumo de 250 kWh, tarifa 2.0 A y situación sin desplazamiento.
- Escenario 2: Consumo de 160 kWh, tarifa 2.0 A y situación sin desplazamiento.
- Escenario 3: Consumo de 160 kWh, tarifa 2.0 DHA y situación sin desplazamiento.
- Escenario 4: Consumo de 160 kWh, tarifa 2.0 A y situación con desplazamiento.
- Escenario 5: Consumo de 160 kWh, tarifa 2.0 DHA y situación con desplazamiento.

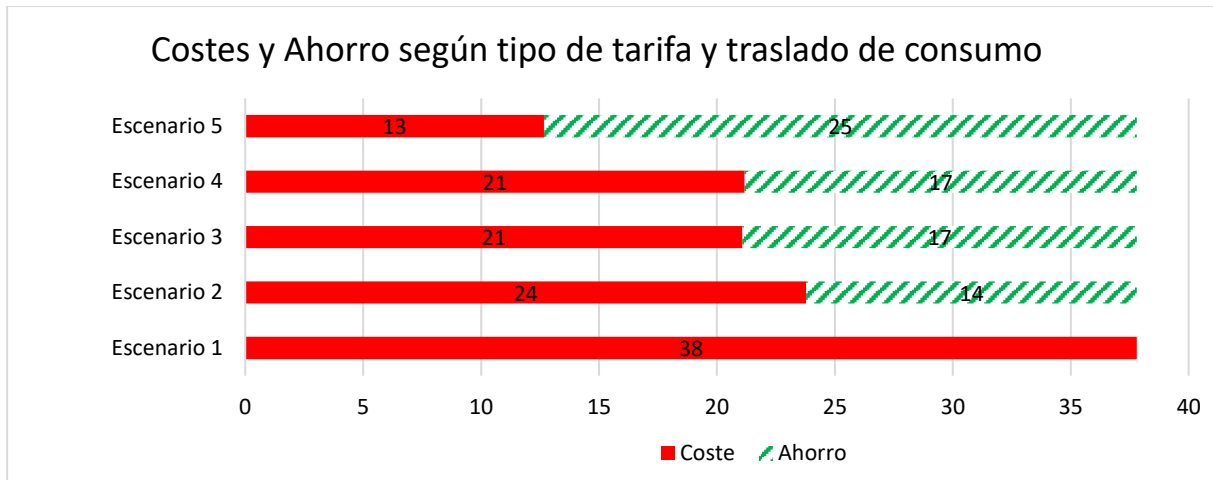


Figura 70. Costes y ahorros entre usar una lavadora más eficiente.
(Fuente: Elaboración propia)

En la figura anterior se muestra como un ahorro de 14 € es obtenido en el escenario 2 donde solo una reducción de consumo anual ha sido considerada. Al aplicar un cambio de tarifa, un ahorro adicional de 3 € es obtenido, aumentando hasta los 25 € en el caso de trasladar el consumo.

Uso de lavavajillas más eficiente

En consumo correspondiente al lavavajillas para el caso estudiado es de 132 kWh al año. En este apartado se va a analizar tanto el ahorro de consumo como el ahorro económico en la facturación eléctrica al cambiar el lavavajillas del caso estudiado por uno de clase A+++, lavavajilla más eficiente con menor gasto energético.

La clase de eficiencia energética de un lavavajilla se clasifica según lo estipulado en la siguiente tabla.

Tabla 33. Clasificación energética de lavavajilla.
(Fuente: Directiva Europea 1061/2010/EU)

Clase de eficiencia energética	Índice de Eficiencia Energética
A+++ (más eficiente)	$IEE < 50$
A++	$50 \leq IEE < 56$
A+	$56 \leq IEE < 63$
A	$63 \leq IEE < 71$
B	$71 \leq IEE < 80$
C	$80 \leq IEE < 90$
G (menos eficiente)	$IEE \geq 90$

La pertenencia a una clase energética u otra depende del valor del denominado **Índice de Eficiencia Energética (EEI)**. Dicho Índice se calcula mediante la fórmula (9) según [59].

Para el caso estudiado con un valor de consumo inicial de 132 kW no se conoce las características del lavavajillas, por lo que según la información publicada en [29] se va a suponer un lavavajillas más eficiente con una disminución del 30%. Lo que supone un consumo anual de 92 kWh.

En la siguiente tabla se ha representado el coste y ahorro en la facturación eléctrica antes y después de la sustitución del lavavajilla por uno más eficiente, este análisis se ha realizado para tarifas con y sin discriminación, y para situación con y sin desplazamiento.

Tabla 34. Tabla de costes y ahorros al cambiar a lavavajilla más eficiente.
(Fuente: Elaboración propia)

	Consumo total (kWh)	Coste tarifa sin discriminación (€)	Coste tarifa con discriminación (€)
Escenario Inicial sin desplazamiento	131	20	19
Escenario final sin desplazamiento	92	14	14
Escenario Inicial con desplazamiento	131	18	11
Escenario final con desplazamiento	92	12	7
Ahorro máximo (€)		12	

En la tabla anterior se muestra que, partiendo de una situación con un consumo anual de 131 kWh y una tarifa sin discriminación, un ahorro máximo de 12 € es obtenido si se sustituye el lavavajillas por uno de clase A+++ con un consumo medio de 92 kWh, si adicionalmente se realiza un desplazamiento del consumo y una sustitución a la tarifa con discriminación horaria. Parte de este ahorro (6€) es debido al cambio de tarifa con discriminación y traslado de consumo, mientras que un ahorro de 6 € es debido al uso del lavavajillas más eficiente y su consecuente menor consumo energético.

En la siguiente figura se ha representado gráficamente los costes y ahorros obtenidos entre los distintos escenarios comentados a continuación:

- Escenario 1: Consumo de 131 kWh, tarifa 2.0 A y situación sin desplazamiento.
- Escenario 2: Consumo de 92 kWh, tarifa 2.0 A y situación sin desplazamiento.
- Escenario 3: Consumo de 92 kWh, tarifa 2.0 DHA y situación sin desplazamiento.
- Escenario 4: Consumo de 92 kWh, tarifa 2.0 A y situación con desplazamiento.
- Escenario 5: Consumo de 92 kWh, tarifa 2.0 DHA y situación con desplazamiento.

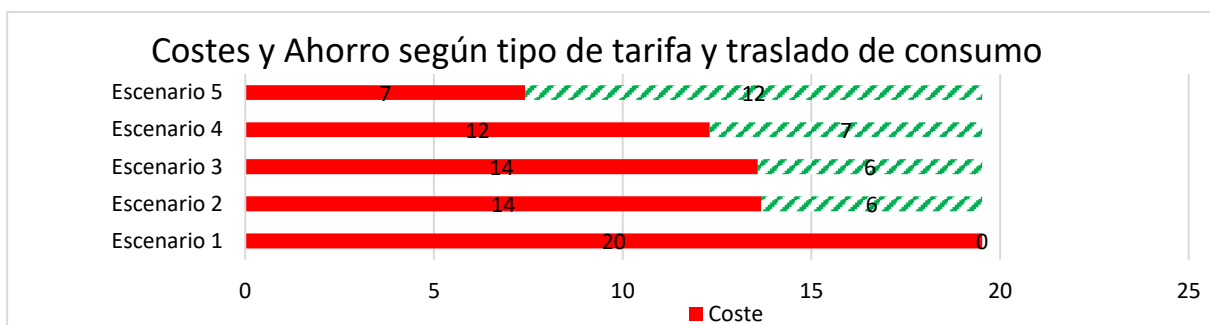


Figura 71. Costes y ahorros entre usar un lavavajillas más eficiente.
(Fuente: Elaboración propia)

En la figura anterior se muestra como un ahorro de 6 € es obtenido en el escenario 2 donde solo una reducción de consumo anual ha sido considerada. Al aplicar un cambio de tarifa, un ahorro adicional prácticamente nulo es obtenido, aumentando hasta los 12 € en el caso de trasladar el consumo.

Uso de secadora más eficiente

El consumo correspondiente a la secadora para el caso estudiado es de 71 kWh al año. En este apartado se va a analizar tanto el ahorro de consumo como el ahorro económico en la facturación eléctrica al cambiar la secadora del caso estudiado por uno de clase A+++, lavadora más eficiente con menor gasto energético.

La clase de eficiencia energética de una secadora se clasifica según lo estipulado en la siguiente tabla.

Tabla 35. Eficiencia energética de secadora.
(Fuente: Directiva Europea 1059/2010/EU)

Clase de eficiencia energética	Índice de eficiencia energética
A+++ (más eficiente)	$IEE < 24$
A++	$24 \leq IEE < 32$
A+	$32 \leq IEE < 42$
A	$42 \leq IEE < 65$
B	$65 \leq IEE < 76$
C	$76 \leq IEE < 85$
D (menos eficiente)	$85 \leq IEE$

La pertenencia a una clase energética u otra depende del valor del denominado **Índice de Eficiencia Energética (EEI)**. Dicho Índice se calcula mediante la fórmula (9) según [61].

Para el caso estudiado con un valor de consumo inicial de 132 kW tampoco se conocen las características de la secadora. Para la suposición del consumo de una secadora más eficiente se ha analizado las tablas de los índices de eficiencia tanto de la secadora como la del lavavajillas, en el análisis realizado se observa una mayor reducción del índice de eficiencia en el caso de la secadora, por consiguiente, se va a suponer un consumo anual un 40 % menor al modificar la secador actual por una más eficiente, lo que supone un consumo anual de aproximadamente 43 kWh.

En la siguiente tabla se ha representado el coste y ahorro en la facturación eléctrica antes y después de la sustitución de la secadora por una más eficiente, este análisis al igual que los anteriores se ha realizado para tarifas con y sin discriminación, y para situación con y sin desplazamiento.

Tabla 36. Tabla de costes y ahorros al cambiar a una secadora más eficiente.
(Fuente: Elaboración propia)

	Consumo total (kWh)	Coste tarifa sin discriminación (€)	Coste tarifa con discriminación (€)
Escenario Inicial sin desplazamiento	71	11	11
Escenario final sin desplazamiento	43	6	6
Escenario Inicial con desplazamiento	71	10	6
Escenario final con desplazamiento	43	6	3
Ahorro máximo (€)		7	

En la tabla anterior se muestra que, partiendo de una situación con un consumo anual de 71 kWh y una tarifa sin discriminación, un ahorro máximo de 7 € es obtenido si se sustituye por una de clase A+++ con un consumo medio de 43 kWh, si adicionalmente se lleva a cabo un traslado de consumo y una sustitución a la tarifa con discriminación horaria. Parte de este ahorro (2€) es debido al cambio de tarifa con discriminación y traslado de consumo, mientras que un ahorro de 5 € es debido al lavavajilla más eficiente y su consecuente menor consumo energético.

En la siguiente figura se ha representado gráficamente los costes y ahorros obtenidos entre distintos escenarios comentados a continuación:

- Escenario 1: Consumo de 71 kWh, tarifa 2.0 A y situación sin desplazamiento.
- Escenario 2: Consumo de 43 kWh, tarifa 2.0 A y situación sin desplazamiento.
- Escenario 3: Consumo de 43 kWh, tarifa 2.0 DHA y situación sin desplazamiento.
- Escenario 4: Consumo de 43 kWh, tarifa 2.0 A y situación con desplazamiento.
- Escenario 5: Consumo de 43 kWh, tarifa 2.0 DHA y situación con desplazamiento.

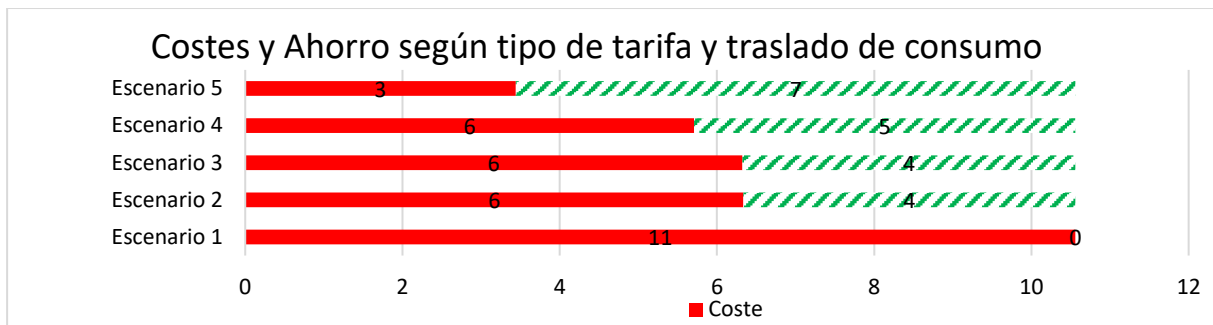


Figura 72. Costes y ahorros entre usar una secadora más eficiente.
(Fuente: Elaboración propia)

En la figura anterior se muestra como un ahorro de 4 € es obtenido en el escenario 2 donde solo una reducción de consumo anual ha sido considerada. Al aplicar un cambio de tarifa, un ahorro adicional prácticamente nulo es obtenido, aumentando hasta los 7 € en el caso de trasladar el consumo.

Standby

El mayor consumo de standby en una vivienda es causado por equipos audiovisuales y ordenadores [27]. En el caso estudiado para un consumo anual medio de 3487 kWh el consumo de standby anual es de 231 kWh, prácticamente el mismo que el consumo de la lavadora. La mayoría de este consumo, como es el caso del asociado a televisores, puede ser reducido por la actuación del usuario, y traducido en un ahorro no solo en el consumo sino también en la facturación eléctrica.

En el caso estudiado se va a suponer que el 75 % del consumo total de standby asociados a equipos como televisores o lavadoras según [27] puede ser eliminado, no siendo posible eliminar el 25 % restante asociado a alarmas de reloj, modem... El consumo total queda reducido de los 231 kWh hasta un valor de 58 kWh.

En la siguiente tabla se ha representado el coste y ahorro en la facturación eléctrica antes y después de la eliminación de parte del consumo de standby, en este análisis se ha realizado para tarifas con y sin discriminación.

Tabla 37. Tabla de costes y ahorros al eliminar parte del consumo de standby.
(Fuente: Elaboración propia)

	Consumo total (kWh)	Coste tarifa sin discriminación (€)	Coste tarifa con discriminación (€)
Escenario Inicial	231	33	25
Escenario final	58	8	6
Ahorro máximo (€)		27	

En la tabla anterior se muestra que, partiendo de una situación con un consumo anual de 231 kWh y una tarifa sin discriminación, un ahorro máximo de 27 € es obtenido si se elimina parte de ese consumo hasta consumir solo 58 kWh. Como era de esperar la mayor parte de este ahorro es debido

a la eliminación de parte del propio consumo (25 €), llegándose a 27 € si además se cambia a una tarifa con discriminación.

En la siguiente figura se ha representado gráficamente los costes y ahorros obtenidos entre distintos escenarios comentados a continuación:

- Escenario 1: Consumo de 231 kWh, tarifa 2.0 A y situación sin desplazamiento.
- Escenario 2: Consumo de 58 kWh, tarifa 2.0 A y situación sin desplazamiento.
- Escenario 3: Consumo de 58 kWh, tarifa 2.0 DHA y situación sin desplazamiento.

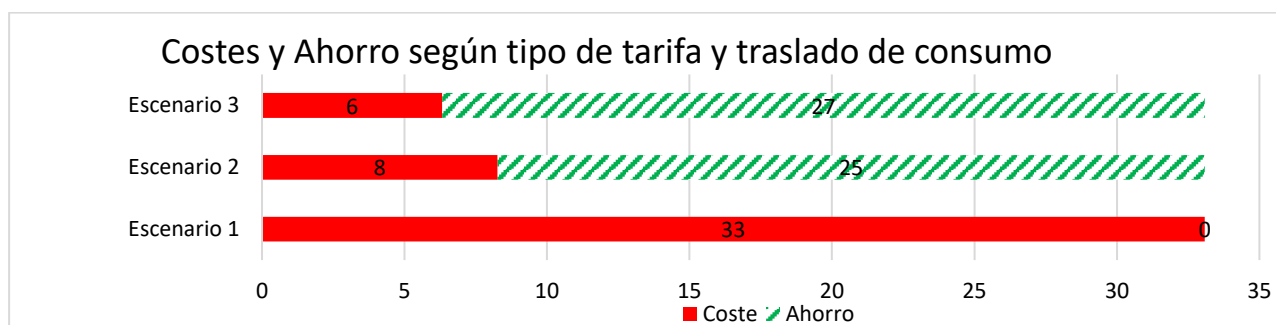


Figura 73. Costes y ahorros al eliminar parte del consumo de standby.
(Fuente: Elaboración propia)

En la figura anterior se muestra como un ahorro de 25 € es obtenido en el escenario 3 donde solo una reducción de consumo anual ha sido considerada. Al aplicar un cambio de tarifa, un ahorro adicional de 2€ es obtenido, obteniéndose un ahorro total de 27 €.

En la siguiente tabla se resume la reducción de consumo y el ahorro obtenido tras la sustitución de los equipos analizados para los distintos escenarios estudiados:

Tabla 38. Costes y ahorros totales y según equipo.
(Fuente: Elaboración propia, IDEA, EURECO)

		Consumo total (kWh)	Coste tarifa sin discriminación (€)	Coste tarifa con discriminación (€)
Iluminación	Escenario Inicial sin desplazamiento	408	61	56
	Escenario final sin desplazamiento	108	16	15
	Ahorro máximo	46		
lavadora	Escenario Inicial sin desplazamiento	254	38	34
	Escenario final sin desplazamiento	160	24	21
	Escenario Inicial con desplazamiento	254	34	20
	Escenario final con desplazamiento	160	21	13
	Ahorro máximo	25		
lavavajillas	Escenario Inicial sin desplazamiento	131	20	19
	Escenario final sin desplazamiento	92	14	14
	Escenario Inicial con desplazamiento	131	18	11
	Escenario final con desplazamiento	92	12	7
	Ahorro máximo	12		
secadora	Escenario Inicial sin desplazamiento	71	11	11
	Escenario final sin desplazamiento	43	6	6
	Escenario Inicial con desplazamiento	71	10	6
	Escenario final con desplazamiento	43	6	3
	Ahorro máximo	7		
standby	Escenario Inicial sin desplazamiento	231	33	25
	Escenario final sin desplazamiento	58	8	6
	Ahorro máximo	27		

		Consumo total (kWh)	Coste tarifa sin discriminación (€)	Coste tarifa con discriminación (€)
Total	Escenario Inicial sin desplazamiento	1096	162	144
	Escenario final sin desplazamiento	460	68	62
	Escenario Inicial con desplazamiento	1096	154	57
	Escenario final con desplazamiento	460	63	45
	Ahorro máximo		117	

En la tabla anterior se muestra el ahorro total obtenido, el cual toma un valor de 117 €. Destaca el ahorro obtenido al modificar la iluminación, lavadora y eliminación de standby, representado en torno al 85 % del consumo total, en menor medida se encuentra el ahorro debido al consumo de la secadora y lavavajillas, con un valor en conjunto de 20 €.

En la siguiente figura se ha resumido gráficamente los ahorros obtenidos según tipo de equipos para los diferentes escenarios anteriormente descritos:

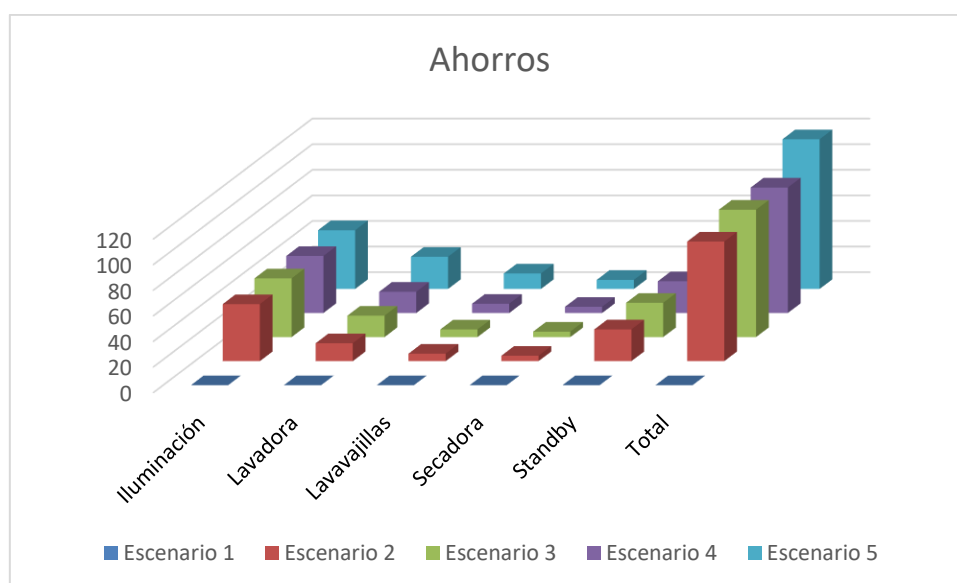


Figura 74. Ahorros según equipo y escenario.
(Fuente: Elaboración propia)

En la figura anterior muestra como ya se ha visto anteriormente que el mayor ahorro se produce en el cambio del escenario 1 al escenario 2, es decir, la reducción de consumo es el principal factor influyente en la obtención de los ahorros, en torno al 80%. También se observa que el traslado del consumo sin modificación de la tarifa de acceso es el factor menos influyente con un peso del 5 %, cuantificándose la participación del cambio de tarifa en los ahorros obtenidos en un porcentaje en torno al 15%.

8.2. Estudio de rentabilidad de la sustitución de equipos actuales por luminarias más eficiente.

En este apartado se va a realizar un análisis de rentabilidad de la sustitución de equipos menos eficientes (equipos de clase energética A) por otro más eficiente (equipos de clase energética A+++ y A++) con su correspondiente menor consumo energético. Para este objetivo se partirá de los datos de análisis de ahorros obtenidos en el apartado de arriba.

La siguiente tabla resume los datos de partida del caso analizado:

Tabla 39. Tabla resumen de consumo y ahorros totales y según equipo.
(Fuente: Elaboración propia datos publicados SPAHOUSEC, IDAE)

	Consumo Inicial (kWh)	Consumo final (kWh)	Ahorro por reducción de consumo (€)	Ahorro máximo (€)
Iluminación	408	108	45	46
Lavadora	254	160	14	25
Lavavajillas	131	92	6	12
Secadora	71	43	4	7
Standby	231	58	25	27
Total	1096	460	93	117

En la tabla anterior el ahorro máximo corresponde al ahorro obtenido debido a la sustitución de equipos, cambio de tarifa y desplazamiento de consumo.

Según los datos mostrados en la tabla de arriba se analizará dos casos de rentabilidad:

- **Caso 1:** Se supondrá el ahorro obtenido considerando solo la reducción del consumo debido a la sustitución de los equipos actuales por otros más eficientes.
- **Caso 2:** Se supondrá el ahorro máximo obtenido de las acciones conjuntas de reducción y desplazamiento de consumo, y modificación de tarifa.

A continuación, se analizará la inversión a realizar para la compra de luminarias led, y de equipos de clase energética A+++ para el caso de la lavadora, y de clase energética A++ para el caso de la secadora y el lavavajillas.

Luminarias Led

Para el caso estudiado se va a calcular la inversión necesaria para la adquisición de 22 bombillas de tipo led, número medio de bombillas por vivienda en España según [40].

En la tabla mostrada a continuación se ha representado la distribución de los tipos bombillas del caso de partida, así como la potencia de las iluminarias led por las que se sustituirán según [22] y el coste necesario a realizar para llevar a cabo tal sustitución.

Tabla 40. Potencias y costes de luminarias LED.
(Fuente: IDEA, Efecto Led)

Tipo de bombillas situación inicial	Nº de luminarias	Potencia de luminarias Led (W)	Coste de bombillas Led unitario (€)	Coste total (€)
Estándar	8	6	1	8,0
Halógenas	6	12	1,9	11,4
Bombillas de bajo consumo	7	15	1,95	13,7
Fluorescentes	1	18	6	6,0
Total	22	51	10,85	39,05

En la tabla anterior se muestra que es necesario una inversión de aproximadamente 39 € para cambiar todas las luminarias del caso analizado a luminarias tipo led.

Para el análisis de rentabilizar también es necesario conocer los años de vida útil de las luminarias de tipo led. Según [64; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**] la vida útil de las luminarias led es de aproximadamente 50000 horas. Para traducir este número a años de vida útil, es necesario conocer tanto el consumo como la potencia por luminaria. El consumo es el resultado de dividir el consumo total de 108 kWh entre 22, número de luminarias totales, obteniéndose un valor de 5kWh. La potencia se promediará en función de la potencia de cada luminaria y el número de éstas, obteniéndose un valor medio de 11 W. Estos datos se traducen en un valor de 454 horas de funcionamiento al año, por consiguiente, un cambio de luminarias a más de 100 años es obtenido. Aunque éstos son valores medios, después en la realidad hay luminarias que son más utilizadas que otras y esta cantidad de años de vida útil se ve reducida. Sin embargo, aunque esta cantidad de año se vea reducida difícilmente superará los años de amortización de la inversión.

Lavadora A+++

El coste de inversión para una lavadora de clase A+++ depende de varios factores como las revoluciones o capacidad de carga. Para este estudio se va a elegir una lavadora con una capacidad de 7 kg y entre 1200-1600 revoluciones.

Hay que destacar que, para favorecer la rentabilidad del proyecto se han consultado aquellas marcas de lavadora que muestran unos precios más competitivos. En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos de la consulta realizada:

Tabla 41. Precios de lavadoras A+++.
(Fuente: Mediamark, Worten)

Marca	Proveedor	Coste (€)
Beko	Mediamark	269
Candy	Mediamark	299
Balay	Mediamark	349
Zanussi	Mediamark	319
Balay	Worten	299
Candy	Worten	269
Media	-	301

En primer lugar, se observa que para lavadoras iguales como las consultadas de la marca Candy y Balay, Worten ofrece unos precios más competitivos. Sin embargo, para el análisis de rentabilidad se va a tomar el valor de coste medio de las diferentes marcas buscadas, tomando éste un valor de aproximadamente 300 €.

Lavavajillas A+++ y A++

En un principio se han consultado los precios de lavadoras A+++ , ya que para el cálculo del ahorro por reducción de consumo calculado anteriormente se ha supuesto un lavavajillas de esta clase. Los precios de aquellos lavavajillas A+++ más competitivos se han mostrado en la siguiente tabla.

Tabla 42. Precios de Lavavajillas A+++.
(Fuente: Mediamark, Worten)

Marca	Proveedor	Coste (€)
Balay	Mediamark	505
Bosh	Mediamark	529
Bosh	Worten	499
Balay	Worten	504
Media	-	509

A diferencia de las lavadoras, son muy pocos y a precios altos los lavavajillas de clase A+++ encontrados en la consulta realizada. Debido a este hecho se ha supuesto que la reducción de consumo entre un lavavajillas de clase A y para uno de clase A++ es el mismo que el supuesto en el apartado anterior. En la siguiente tabla se muestran los precios más competitivos de lavavajillas de clase A++ consultados, no sin antes mencionar que una de las características para definir a éstos, además de la clase energética, es el número de cubierto, tomándose para el caso analizado un valor de 12-13 cubiertos, valores más frecuentes de aquellos equipos consultados.

Tabla 43. Precios de Lavavajillas A++.
(Fuente: Mediamark, Worten)

Marca	Proveedor	Coste (€)
Balay	Mediamark	359
Bosh	Mediamark	436
Balay	Worten	362
Bosh	Worten	418
Media	-	394

Al igual que para la lavadora, se tomará el coste medio de lavavajillas de 394 € para el análisis de rentabilidad.

Secadora A+++ y A++

Como en el caso del lavavajillas, en un principio se han consultado los precios de secadoras A+++, ya que para el cálculo del ahorro por reducción de consumo calculado anteriormente se ha supuesto una secadora A+++. Los precios de aquellas secadoras A+++ consultadas más competitivos se han mostrado en la siguiente tabla.

Tabla 44. Precios de secadoras A+++.
(Fuente: Mediamark, Worten)

Marca	Proveedor	Coste (€)
Electrolux	Mediamark	669
Samsung	Mediamark	719
AEG	Mediamark	769
Electrolux	Worten	669
Samsung	Worten	720
AEG	Worten	600
Media	-	691

Como en el caso anterior son muy pocos y muy altos los precios de los lavavajillas de clase A+++ encontrados en la consulta realizada. Debido a este hecho se ha supuesto que la reducción de consumo entre una secadora de clase A y una de clase A++ es el mismo que el supuesto en el apartado anterior. En la siguiente tabla se muestran los precios más competitivos de secadoras de clase A++ consultados, los precios mostrados corresponden a lavadoras con una capacidad de 8 kg.

Tabla 45. Precios de secadoras A++.
(Fuente: Mediamark, Worten)

Marca	Proveedor	Coste (€)
Beko	Mediamark	439
Indesit	Mediamark	430
Balay	Mediamark	479
Becken	Worten	350
Indesit	Worten	360
Balay	Worten	340
Media	-	400

Para el análisis de rentabilidad, se tomará el coste medio de las secadoras analizadas de 400 €.

En la siguiente tabla se resumen las inversiones a realizar para la sustitución de los equipos actuales por luminarias y equipos más eficientes, y los ahorros anuales obtenidos en la facturación eléctrica.

Tabla 46. Resumen de inversiones y ahorros obtenidos.
(Fuente: Mediamark, Worten, IDAE)

	Inversión (€)	Ahorro por reducción de consumo (€)	Ahorro máximo (€)
Iluminación (Convencional → Led)	39,05	45	46
Lavadora (A → A+++)	301	14	25
Lavavajillas (A → A++)	394	6	12
Secadora (A → A++)	400	4	7
Standby (100% → 25 %)	-	25	27
Total	1133	93	117

Caso 1

Para el caso en el que solo es tenido en cuenta la reducción de consumo debido al uso de equipos más eficientes, la amortización de la inversión total de los equipos analizados es ligeramente superior a los **12 años**. Una cantidad superior al número de años de la vida útil de los equipos considerados, la cual está en torno a los 10 años [37].

En la siguiente tabla se ha detallado la amortización para el caso 1 de la inversión individualizada de cada tipo de equipo.

Tabla 47. Inversión, ahorros y años de amortización caso 1.
(Fuente: Mediamark, Worten, IDAE)

	Inversión (€)	Ahorro por reducción de consumo (€)	Años de amortización
Iluminación (Convencional → Led)	39,05	45	0,9
Lavadora (A → A+++)	301	14	21,5
Lavavajillas (A → A++)	394	6	65,6
Secadora (A → A++)	400	4	99,9
Standby (100% → 25 %)	-	25	
Total	1133	93	12,2

Como se ha comentado, la tabla de arriba por una parte muestra que los años necesarios para recuperar la inversión total inicial es superior a los 12 años. Respecto a los años de amortización de las inversiones individualizadas, destaca la inversión en luminarias led cuya recuperación es menor al año, y por consiguiente es altamente recomendable pasar de luminarias menos eficiente a luminarias

de tipo led. Sin embargo, en el otro lado se encuentra la inversión debida al cambio de la secadora cuya amortización tendrá lugar casi a los 100 años, periodo muy superior a los años de vida útil del equipo.

En la siguiente figura se ha representado gráficamente la amortización por inversión individualizada según equipo.

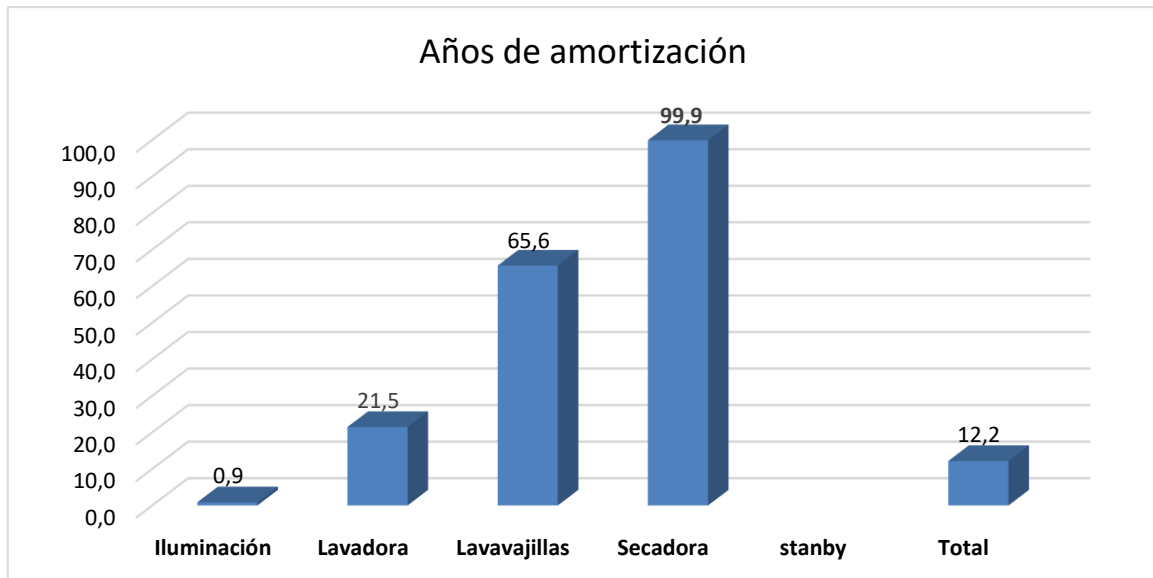


Figura 75. Años de amortización según inversión realizada.
(Fuente: Mediamark, Worten, IDAE)

En la figura se muestra que a excepción de la iluminación cuyo periodo de amortización es menor al año, y el standby el cual la inversión es cero y por consiguiente el periodo de amortización es también cero, el resto de las inversiones presentan un periodo de recuperación mayor incluso al número de años de vida útil de estos equipos.

Caso 2

Para el caso en el que además de la reducción de consumo debido al uso de equipos más eficientes, se consideran el cambio de tarifa y el traslado de parte del consumo, la amortización de la inversión total disminuye hasta los 9.7 años, una reducción de aproximadamente 3 años respecto al caso anterior.

En la siguiente tabla se ha detallado la amortización para el caso 2 de la inversión individualizada según tipo de equipo.

Tabla 48. Inversión, ahorros y años de amortización caso 2.
(Fuente: Mediamark, Worten, IDAE)

	Inversión (€)	Ahorro máximo (€)	Años de amortización
Iluminación (Convencional → Led)	39,05	46	0,8
Lavadora (A → A+++)	301	25	12,0
Lavavajillas (A → A++)	394	12	32,8
Secadora (A → A++)	400	7	57,1
Standby (100% → 25 %)	-	27	
Total	1133	117	9,7

Como se ha comentado, la tabla de arriba muestra que los años necesarios para recuperar la inversión total inicial es de 9.7 años. Respecto a los años de amortización de las inversiones individualizadas, al igual que en el caso 1 destaca la inversión en luminarias led cuya recuperación es menor al año, y por consiguiente es altamente recomendable pasar de luminarias menos eficiente a luminarias de tipo led. Sin embargo, para este segundo caso, aunque los años de amortización de la lavadora, lavavajillas y secadora se han reducido prácticamente a la mitad con la inclusión del ahorro debido a la modificación de tarifa y el traslado de consumo, esta cantidad sigue siendo superior al periodo de vida útil de los equipos.

En la siguiente figura se ha representado gráficamente la amortización por inversión individualizada según equipo.

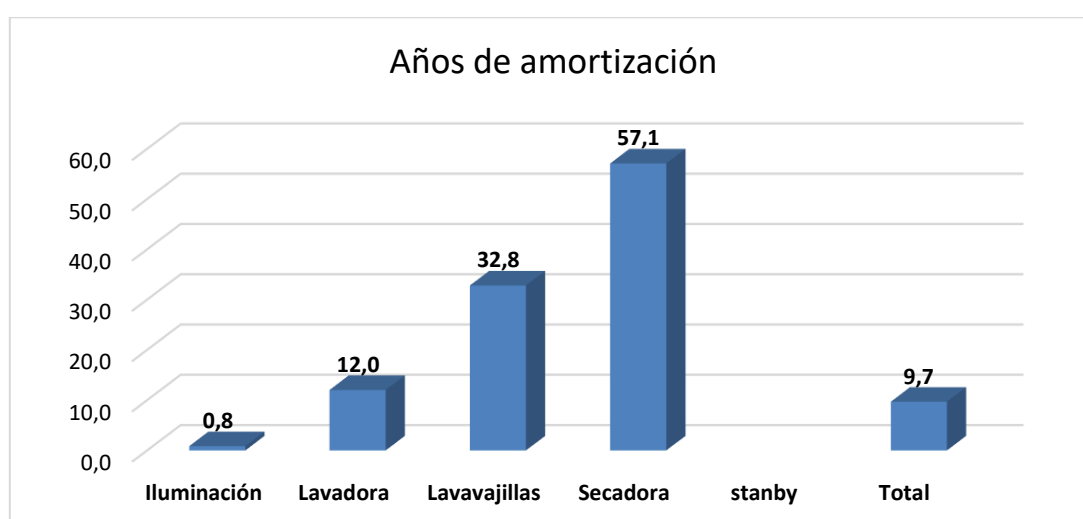


Figura 76. Años de amortización según inversión realizada.
(Fuente: Mediamark, Worten, IDAE)

En la anterior figura se muestra que a excepción de la iluminación cuyo periodo de amortización es menor al año, y el standby el cual la inversión es cero, y por consiguiente el periodo de amortización es también cero, el resto de las inversiones, a pesar de la reducción en los años de amortización, presentan un periodo de recuperación mayor a su periodo de vida útil, siendo la inversión correspondiente a lavadora con un valor aproximadamente de 12 años, la que presenta un periodo de amortización menor.

La siguiente figura muestra gráficamente la comparativa entre los años de amortización para los dos casos presentados.

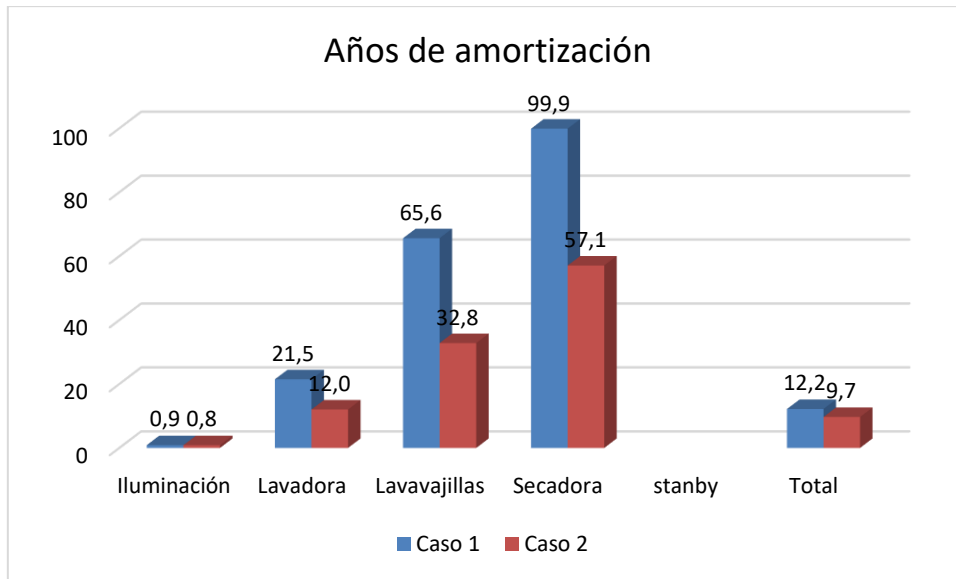


Figura 77. Comparativa entre años de amortización de caso 1 y caso 2.
(Fuente: Mediamark, Worten, IDAE)

En la figura anterior se muestra como los años de amortización para el caso 2 son reducidos aproximadamente al 50 % para las inversiones de la lavadora, lavavajillas y secador, reducción que es menor para aquellas inversiones que requiere de menor inversión como es el caso de las luminarias. Respecto a los años de amortización de la inversión total inicial éstos son reducidos un 20 %.

A pesar de las reducciones observadas para el caso 2, los periodos de amortizaciones del cambio de equipos son bastante altos, hecho que no favorece en un principio el interés del usuario final para cambiar sus equipos por otros más eficientes. Sin embargo, estos equipos energéticamente más eficientes se presentan como una posible alternativa en el momento que los usuarios finales se vean obligados a cambiar los equipos actuales debido a la rotura de éstos. Esta posible alternativa será analizada en el siguiente apartado donde se comparará la sustitución de los equipos actuales por otro de la misma clase energética frente a cambiarlos por otros más eficiente como el caso estudiado párrafos arribas.

8.3. Comparativa de inversión en equipos más y menos eficientes frente a rotura de equipos actuales.

En este apartado frente a la rotura de la lavadora, lavavajillas, secadora o iluminación actual, se estudiará la idoneidad o no de invertir en equipos más eficientes en lugar de invertir en equipos de la misma clase energética.

Para analizar cuál de las dos opciones comentadas es la más idónea se comparará el ahorro proporcionado por el uso de equipos más eficiente durante un periodo de 10 años, año de vida útil de la mayoría de los equipos considerados, con el ahorro proporcionado por la adquisición de equipos menos eficiente pero más económicos.

En la siguiente tabla se muestran los ahorros económicos obtenidos al usar equipos más eficientes durante el periodo de 10 años considerado. Hay que destacar que para el análisis llevado a cabo en este apartado solo se va a considerar la reducción del consumo sin cambio de tarifa y cambios de hábitos de consumo, además de no considerarse la reducción del standby, el cual puede ser reducido sin necesidad de inversión adicional.

Tabla 49. Ahorro total y según equipos tras la modificación de equipos más eficientes.
(Fuente: Mediamark, efecto led, Worten, IDAE)

	Inversión (€)	Ahorro en 10 años por reducción de consumo (€)
Iluminación (Convencional → Led)	39	450
Lavadora (A → A+++)	301	140
Lavavajillas (A → A++)	394	60
Secadora (A → A++)	400	40
Total	1134	690

En la tabla anterior se muestra un ahorro total de 690€ obtenido en la facturación. Hay que resaltar que el mayor ahorro como ya se había comentado anteriormente es el obtenido al modificar el tipo de luminarias, representado un ahorro en torno al 65 % del ahorro total. En segundo lugar, se encuentra el ahorro obtenido al sustituir la lavadora con un valor de 140 €, un porcentaje en torno al 20 % del ahorro total. En último lugar se encuentra el ahorro obtenido al modificar el lavavajillas y secadora por este orden, curiosamente corresponde con aquellos equipos que requieren mayores inversiones.

A continuación, se va a calcular la inversión a realizar para la sustitución de los equipos actuales por otros del mismo tipo en lugar de equipos más eficientes.

Iluminación

En la siguiente tabla se muestra la distribución del tipo de luminarias para el caso estudiado [40] y la inversión necesaria a realizar para su sustitución por otras luminarias del mismo tipo en caso de rotura.

Tabla 50. Distribución de tipo de luminarias e inversión a realizar.
(Fuente: Elaboración propia, manomno.es, lamaparadirecta.es, IDAE)

Tipo de bombillas situación inicial	Nº de luminarias	Coste unitario (€/ud)	Coste total (€)
Estándar	8	0,8	6,4
Halógenas	6	3,95	23,7
Bombillas de bajo consumo	7	2,6	18,2
Fluorescentes	1	1,7	1,7
Total	22	9,05	50

La tabla anterior muestra una cantidad de 50 € como inversión inicial requerida para la sustitución de la distribución de luminarias actuales por otras luminarias del mismo tipo.

Además de la inversión inicial, para conocer el valor de la inversión total es necesario conocer la tasa de sustitución de las luminarias dentro del periodo de los 10 años analizado. Para ello en la siguiente tabla se resume el número de horas de vida útil según tipo de luminarias y la potencia media de estas según [22]:

Tabla 51. Horas de vida útil y potencia según tipo de luminarias.
(Fuente: Elaboración propia, Ecoluz led)

	Vida útil	Potencia
Estándar	1000	60
Halógenas	3000	35
Fluorescentes	6000	30
Bajo Consumo	3000	20
Led	50000	11

Para conocer las horas de funcionamiento, las cuales se va a suponer iguales para todos los tipos de luminarias, es necesario conocer la potencia media. Para el caso analizado la potencia media se va a suponer igual al valor promedio de las potencias mostradas en la tabla anterior según la distribución de luminarias mostradas en la Tabla 50, obteniéndose un valor medio de 40 W. Con un consumo total de 408 kW, una potencia media de 40 W y un total de 22 bombillas, el número medio de horas de funcionamiento por luminarias es de 464 horas, lo que supone un total de 4640 horas de funcionamiento en los 10 años analizados.

En la siguiente tabla se muestra la tasa de renovación del tipo de luminarias suponiendo un total de horas de funcionamiento igual a las 4640 horas calculadas.

Tabla 52. Tasa de renovación según tipo de luminarias.
(Fuente: Elaboración propia, Ecoluz led)

	Vida útil	Horas de funcionamiento	Tasa de renovación
Estándar	1000	4640	4,6
Halógenas	3000	4640	1,5
Fluorescentes	6000	4640	0,8
Bajo Consumo	3000	4640	1,5

En la tabla anterior se muestra que a diferencia de la sustitución por luminarias de tipo led con una vida útil de 50000 horas, y por consiguiente sin la necesidad de llevar a cabo una renovación de éstas, en el caso de sustituir las luminarias actuales por otras del mismo tipo, es necesario incluir al coste de inversión inicial el coste de la tasa de renovación, al ser la vida útil menor de los 10 años considerados.

En la siguiente tabla se muestra la inversión total requerida para llevar a cabo la sustitución de las luminarias actuales por luminarias del mismo tipo:

Tabla 53. Inversión total según tipo de luminarias.
(Fuente: Elaboración propia, Ecoluz led)

	Inversión inicial (€)	Inversión de tasa de renovación (€)	Inversión total (€)
Estándar	6,4	29,7	36,1
Halógenas	23,7	36,7	60,4
Bajo Consumo	18,2	28,1	46,3
Fluorescentes	1,7	1,3	3,0
Total	50	96	146

En la tabla anterior una inversión total de 146 € es obtenido, hay que destacar que esta cantidad es casi 4 veces superior a la inversión requerida si se sustituyen las luminarias por luminarias de tipo led, echo que demuestra el rápido crecimiento y maduración experimentado por la tecnología led. Se demuestra que **ante una situación de rotura de alguna de las luminarias actuales es económica y energéticamente más favorable sustituir esta por una de tipo led.**

Lavadora

La consulta realizada sobre la búsqueda de lavadoras de clase energética A para conocer sus precios y poder compararlos con la adquisición de lavadoras de clase A++ ha sido infructuosa, no encontrándose ninguna lavadora de clase A. El total de lavadoras encontradas ha sido de clase energética A+++, estando de este modo **el usuario final obligado a sustituir su lavadora en caso de rotura por una más eficiente, con su correspondiente reducción de consumo.** Hay que destacar la política energética de los fabricantes de lavadora alineadas con las medidas de consumo eficiente, favoreciendo en un futuro cercado una reducción global de consumo total debido a la fabricación y uso de lavadoras más eficientes.

Lavavajillas

Al igual que en el caso de la lavadora no se han encontrado lavavajillas de clase energética A, siendo la clase energética más baja encontrada la clase A+. En la siguiente tabla se muestran los costes de lavavajillas A+ consultados con las mismas especificaciones técnicas que los consultados anteriormente de clase energética A++:

Tabla 54. Precios de Lavavajillas A+.
(Fuente: Mediamark, Worten)

Marca	Proveedor	Coste (€)
Balay	Mediamark	366
Bosh	Mediamark	329
Bosh	Worten	330
Indesit	Worten	274
Media	-	325

En la tabla anterior se muestra un coste medio de lavavajillas de clase energética A+ de 325 €, esta cantidad de inversión inicial representa un ahorro de 70 € respecto a la adquisición de lavavajillas de clase A++ supuesto en el apartado anterior. Al adquirir un lavavajillas más eficiente que el actual una reducción de consumo es obtenida. En este caso al ser de una clase energética menor que en el caso analizado en el apartado anterior, se va a suponer una reducción del 10 %, pasando de consumir un total de 131 kWh a un total de 118 kWh. Esta reducción de consumo lleva asociado una reducción anual en la factura eléctrica de 2 €, y de 20 € en el periodo de 10 años.

Se obtiene que mientras que el cambio del lavavajillas actual por una de clase A++ proporciona un ahorro durante 10 años de 60 €, el cambio de éste por uno de clase A+ supone un ahorro en la factura eléctrica durante 10 años de 20 € y una reducción de la inversión inicial de 70 €. En definitiva, se puede concluir que **ante una situación de rotura del lavavajillas la mejor opción desde el punto de vista económico, es sustituirlo por uno de clase energética A+ en lugar de A++**. Este hecho pone de relieve el insuficiente papel que puede jugar la reducción del consumo como motivación dirigida al consumidor para la compra de equipos más eficiente energéticamente debido al alto coste de inversión que éstos.

Secadora

En la consulta realizada respecto a las secadoras tampoco han sido encontradas secadoras de tipo A. Sin embargo, a diferencia de los casos analizados anteriormente si han sido encontradas secadoras de clase energética B, observándose grandes diferencias económicas entre las lavadoras de clase B y las de clase A++ anteriormente analizadas. Para el análisis realizado se va a suponer que las secadoras de clase B consumen lo mismo que la secadora del caso supuesto, calculándose a continuación la inversión a realizar en el caso de sustituir la secadora actual por una de tipo B. En la siguiente tabla se muestran los costes de secadoras clase B consultadas con las mismas especificaciones técnicas que las consultadas anteriormente de clase energética A++.

Tabla 55. Precios de secadoras B.
(Fuente: Mediamark, Worten)

Marca	Proveedor	Coste (€)
INDESIT	Mediamark	319
Beko	Mediamark	293
Becken	Worten	360
INDESIT	Worten	250
Media	-	306

En la tabla anterior se muestra un coste medio de secadoras de clase energética B de 306 €, esta cantidad de inversión inicial representa un ahorro de 94 € respecto a la adquisición de secadoras de clase A++ supuesto en el apartado anterior.

Se obtiene que mientras que el cambio de la secadora actual por una de clase A++ proporciona un ahorro durante 10 años de 40 €, el cambio de ésta por uno de clase B supone una reducción de la inversión inicial de 94 €. En definitiva, se puede concluir que **ante una situación de rotura de la secadora, la mejor opción desde el punto de vista económico, es sustituirla por uno de clase energética B en lugar de A++**. Este hecho refuerza lo visto en el caso del lavavajillas sobre el insuficiente papel que puede jugar la reducción del consumo como motivación para la compra de equipos más eficiente energéticamente debido al alto coste de inversión que éstos.

9. CONCLUSIONES Y LÍNEAS DE TRABAJO FUTURAS

A lo largo de este proyecto se han analizado y presentado una serie de resultados respecto a la optimización de la tarifa eléctrica a contratar según perfil de consumo del usuario. Se obtiene que, **para la mayoría de los casos** estudiados, el simple hecho de **cambiar de una tarifa sin discriminación a otra con discriminación ocasiona una reducción de la facturación eléctrica**. Una fuerte dependencia con el tipo de perfil de consumo ha sido observada, con ahorros que van desde 146 € para perfiles con un alto grado de consumo en horas valle (85%) hasta pérdidas de 40 € para el caso extremo en el que la mayor parte del consumo se lleve a cabo en las horas punta (85%). Obteniéndose para un caso real, y otro según el perfil promedio de REE, un ahorro en la facturación eléctrica de 5 % (71 €) y 7 % (52 €), respectivamente. Como resultado del análisis realizado se puede concluir que **los costes regulados, los cuales representan en torno a un 42 % de los costes totales, para un cliente con un perfil de consumo promedio puede reducirse en un 26% y reducir el coste de la factura total en un 7 %**, si en lugar de contratar tarifa de acceso sin discriminación, contrata una tarifa con discriminación horaria. Hay que mencionar que en el estudio realizado para los diferentes casos analizados **no se han mostrado diferencias apreciables entre las tarifas de dos y tres periodos**, no encontrándose motivo para la contratación de la tarifa de tres periodos en lugar de la de dos, con unos tramos horarios menos restrictivos para los consumidores residenciales.

Adicionalmente se ha estudiado el impacto conjunto de las tarifas discriminatorias y el desplazamiento de parte de este consumo en la facturación eléctrica. Se ha analizado de forma indirecta la idoneidad de estas tarifas como señal económica para motivar a los consumidores residenciales (30% del consumo total) a participar de forma activa en los programas de gestión de la demanda. Programas de gran importancia en la situación actual del sistema eléctrico con la penetración cada vez mayor de las denominadas energías renovables y la necesidad de conferir al sistema el suficiente grado de flexibilidad para hacer frente a la naturaleza impredecible de éstas. Como resultado al análisis realizado se obtiene que **el traslado de aquellos equipos considerados gestionables (15 %), como son la lavadora, lavavajillas, secador y plancha, junto con la contratación de una tarifa discriminatoria da lugar a unos ahorros de 67 €**, una cantidad que representa un porcentaje en torno al **8 % de la facturación** para el caso estudiado. Hay que mencionar que **en torno al 4,5 % de este porcentaje se debe únicamente al cambio de tarifa, quedando el 3.5 % restante al impacto conjunto del desplazamiento y tarifa discriminatoria**. En este análisis también destaca el escaso ahorro obtenido en el caso de no contratar una tarifa con varios periodos, donde un ahorro de solo 8 €, un 1% de la facturación total, es obtenido. En este estudio se pone de relieve que **en un principio las tarifas de acceso con discriminación se presentan como una señal económica insuficiente para motivar a los consumidores a modificar sus hábitos de consumo para obtener un ahorro en su facturación eléctrica y contribuir al aplanamiento del perfil de consumo agregado**.

Para finalizar el proyecto, se han analizado tanto el impacto en la facturación eléctrica del uso de equipos más eficientes, con el consiguiente menor consumo energético, como la rentabilidad de sustituir los equipos actuales por otros más eficientes, habiéndose analizado adicionalmente la idoneidad de cambiar los equipos actuales ante rotura por unos de clase energética más eficiente o menos eficientes. En concreto en el caso analizado, **la sustitución de iluminarias estándar, halógenas, fluorescentes y bajo consumo por luminarias tipo led, la reducción del 85% del consumo de standby**, el cual representa un alto porcentaje de consumo (7 %), **y la sustitución de la lavadora, el lavavajillas y la secadora por equipos más eficientes**, supone un ahorro máximo de 117 € para el escenario más favorable, escenario caracterizado por una tarifa con discriminación horaria y desplazamiento de los equipos gestionables. El mayor porcentaje de ahorro se produce debido a la reducción de consumo, con un impacto en el ahorro total en torno al 80%. En cambio, el traslado del consumo es el factor menos influyente con un peso del 5 %, cuantificándose la participación del cambio de tarifa en un porcentaje en torno al 15%. Del total de ahorro obtenido es destacable el ahorro de iluminación, lavadora y standby, representado el 80 % del ahorro total obtenido. En especial es de destacar el ahorro debido a la reducción de standby, unos 27 € que representa un porcentaje en torno al 23 % del ahorro total obtenido, sin necesidad de inversión adicional, con el simple hecho desconectar ciertos equipos cuando no estén en uso. Respecto al análisis de rentabilidad realizado para la sustitución de los equipos mencionados, dos escenarios han sido analizados. En el escenario donde solo es tenido en cuenta la reducción de consumo debido al uso de equipos más eficientes, la amortización de la inversión total de los equipos analizados es ligeramente superior a los 12 años. Una cantidad superior al número de años de la vida útil de los equipos considerados, la cual está en torno a los 10 años. Respecto a los años de amortización de las inversiones individualizadas, destaca la inversión en luminarias led cuya recuperación es menor al año, y por consiguiente es altamente recomendable pasar de luminarias menos eficiente a luminarias de tipo led. Sin embargo, en el otro lado se encuentra la inversión debida al cambio de la secadora cuya amortización tendrá lugar casi a los 100 años, periodo muy superior a los años de vida útil del equipo. Para el caso en el que además de la reducción de consumo debido al uso de equipos más eficientes, se consideran el cambio de tarifa con discriminación y el traslado de parte del consumo, la amortización de la inversión total disminuye hasta los 9.7 años. Aunque los años de amortización de la lavadora, lavavajillas y secadora se han reducido prácticamente a la mitad con la inclusión del ahorro debido a la modificación de tarifa y el traslado de consumo, esta cantidad sigue siendo superior al periodo de vida útil de los equipos. A pesar de las reducciones observadas para el segundo escenario analizado, los periodos de amortizaciones del cambio de equipos son bastante altos, hecho que no favorece en un principio el interés del usuario final para cambiar sus equipos por otros más eficientes. Antes una situación de cambio obligatorio debido a una situación de rotura se ha analizado que para el caso de la iluminación es mucho más beneficioso desde el punto de vista económico la sustitución de ésta por una de tipo led, suponiendo no solo una reducción de la factura eléctrica de 450 €, sino una reducción en la inversión inicial 4 veces menor. Respecto a la sustitución de la lavadora se ha comprobado como los

fabricantes apenas fabrican lavadoras distintas a la clase energética A+++, favoreciendo una política de reducción de consumo energético, obligando a los consumidores a compra equipos más eficientes. En el lado contrario se encuentra **la sustitución del lavavajillas y la secadora,** mostrándose en el análisis realizado que **en actualidad la reducción del consumo al utilizar equipos más eficientes para estos dos casos no es suficiente frente al alto coste de inversión a realizar.**

En definitiva, del trabajo llevado a cabo se puede concluir que:

- Las tarifas 2.0 DHA y 2.0 DHA se presentan como las tarifas óptimas para la mayoría de los casos estudiados. No mostrándose diferencias económicas ventajosas entre ellas según los perfiles analizados.
- Las tarifas con discriminación horaria en España no se presentan como señales económicas suficientes para motivar al consumidor a participar de forma activa en los programas de gestión de la demanda, favoreciendo el aplanamiento de la curva de la demanda de consumo agregado.
- La reducción de consumo de luminarias, lavavajillas, lavadora, secadora y standby proporcionan ahorros en la factura eléctrica. Sin embargo, para la mayoría de los casos, a excepción de la luminaria y ahorro de standby, su periodo de amortización es bastante alto, superando el número de años de ciclo de vida de los equipos.
- Es altamente recomendable el cambio de luminarias menos eficiente a luminarios de tipo led, con un periodo de amortización en torno al año.
- Existe un alto porcentaje de consumo (standby) inutilizable, que puede y deber ser reducido, aportando un ahorro más o menos significativo en la facturación, sin apenas esfuerzo por parte del consumidor.

Hay que destacar que, a diferencia de otros estudios realizados previamente para el sector eléctrico español, en este estudio se ha analizado el impacto conjunto en la facturación eléctrica de tres aspectos como son las tarifas discriminatorias, el desplazamiento de parte del consumo y el uso de equipos más eficientes. Otro hecho a resaltar como novedoso en dicho proyecto es el uso del consumo desagregado de datos provenientes de encuestas, como son las realizadas en los estudios presentados por EURECO y SPAHOUSEC [27,40].

Como líneas de trabajo futuro se proponer usar las herramientas LIDER y CALENER para estudiar diferentes comportamientos en los patrones de consumo de calefacción y refrigeración, consumos mencionados en el presente proyecto, pero no analizados en detalle. Se propone analizar tanto el impacto de las tarifas eléctrica con discriminación, como uso de equipos más eficiente, en los diferentes patrones de consumo de calefacción y refrigeración simulados por las herramientas citadas. Por otro parte, también se propone el análisis del impacto en la facturación eléctrica de la instalación de equipos de autoconsumo o/e introducción del coche eléctrico, y el análisis de la influencia de tarifa de tres periodos para esos casos. Con la implementación de los contadores

telegestionados al completo en el parque de contadores, una gran cantidad de datos de los consumos reales de los consumidores finales son obtenidos, por consiguiente, estudios sobre el comportamiento de éstos y la influencia de diferentes parámetros en su comportamiento, usando técnicas de machine learning pueden ser otras interesantes líneas de trabajo futuro.

10. BIBLIOGRAFIA

1. Albadi, M.H., et al. (2008). A summary of demand response in electricity markets, *Electric Power Systems Research* 78 1989–1996.
2. Allcott, H. (2011). Rethinking real-time electricity pricing. *Resource and Energy Economics*, 33(4).
3. Amer, M., et al. (2014). Smart Home Energy Management System for Peak Average Ratio Reduction.
4. Arcos-Vargas, A. et al. (2017). ¿Cómo transformar información en ahorro para el consumidor doméstico? el caso del contador eléctrico?. *DINA Energía y Sostenibilidad*.
5. Arteconi, A., Hewitt, N.J., Polonara, F., 2013. Domestic demand-side management (DSM): Role of heat pumps and thermal energy storage (TES) systems. *Appl. Therm. Eng.* 51, 155–1652, 2012.
6. Berry, S. et al., Finding faults and influencing consumption: the role of in-home energy feedback displays in managing high-tech homes. *Energy Effic.* 1–21, 2016.
7. Campillo, J., et al. (2016). Is real-time electricity pricing suitable for residential users without demand-side management?. *Energy* 109, 310–325.
8. CODIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN, (2013). Documento básico HE. Disponible en:
<https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/DcmHE.pdf>
9. Coleman, M., et al. (2015). Utilizing smart home data to support the reduction of energy demand from space heating—insights from a UK field study. *8th Int. Conf. Energy Effic. Domest. Appliances Light.* 1–14.
10. COMISIÓN NACIONAL DE LOS MERCADOS Y LA COMPETENCIA, (2018). Boletín de indicadores eléctricos de junio 2018.
11. COMISION NACIONAL DE LOS MERCADOS Y LA COMPTENCIA. Precios del Mercado de Producción de Energía Eléctrica. Disponibles en:
<https://www.cnmc.es/ambitos-de-actuacion/energia/mercado-electrico#precios>
12. COMISIÓN EUROPEA, (2006). Directiva 2006/32/CE del parlamento europeo y del consejo de 5 de abril de 2006 sobre la eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos. Disponible en: <https://www.boe.es/doue/2006/114/L00064-00085.pdf>
13. COMISIÓN EUROPEA, (2009). Directiva 2009/72/CE del parlamento europeo y del consejo de 13 de julio de 2009 sobre normas comunes para el mercado interior de la electricidad. Disponible en: <https://www.boe.es/doue/2009/211/L00055-00093.pdf>
14. COMISIÓN EUROPEA, (2009). M/441 EN Standardisation mandate to CEN, CENELEC and ETSI. Disponible en:
https://ec.europa.eu/en8ergy/sites/ener/files/documents/2011_03_01_mandate_m490_en.pdf
15. COMISIÓN EUROPEA, (2010). Directiva 2010/30/UE del parlamento europeo y del consejo, 19 de mayo de 2010. Disponible en:

- 16.COMISIÓN EUROPEA, (2012). Directiva 2012/27/CE del parlamento europeo y del consejo de 25 de octubre de 2012 sobre la eficiencia energética. Disponible en:
<http://www.boe.es/doue/2012/315/L00001-00056.pdf>
- 17.CONSEJO ECONÓMICO Y SOCIAL ESPAÑA, (2017). Informe del sector eléctrico en España.
- 18.Delmas, M.A. et al. (2013), Information strategies and energy conservation behavior: A meta-analysis of experimental studies from 1975 to 2012. *Energy Policy* 61, 729–739.
- 19.Del rosso A., et al. (2009). Análisis de respuesta de la demanda para mejorar la eficiencia de sistemas eléctricos, Cámara Argentina de la Construcción.
- 20.Ditiro S. et al., (2016). Combined residential demand side management strategies with coordination and economic analysis. *Electrical Power and Energy Systems*, 79, 150-160.
- 21.Doostizadeh, M., et al. (2012). A day-ahead electricity pricing model based on smart metering and demand-side management. *Energy* 46, 221–230.
- 22.“Ecoluzled.com”. Equivalencias LED (W) y las Bombillas Tradicionales. Recuperado de:
<https://www.ecoluzled.com/content/8-que-consumo-tiene-una-bombilla-led>
- 23.Ehrhardt-Martinez, A.K., et al. (2010). Advanced Metering Initiatives and Residential Feedback Programs : A Meta-Review for Household Electricity-Saving Opportunities. *Energy* 123, 128.
- 24.ENDESA DISTRIBUCIÓN, (2018). Consulta del perfil de carga de clientes. Éste puede ser consultado en la siguiente dirección tras previa inscripción:
<http://www.lecturas.endesadistribucion.es/lecturas/>
- 25.“Enerplus.es” (26 de abril de 2018). Conoce cuánto puedes ahorrar según la clasificación energética del electrodoméstico. Recuperado de: <https://www.enerplus.es/noticias/conoce-cuanto-puedes-ahorrar-segun-la-clasificacion-energetica-del-electrodomestico/>
26. “Etiquetaenergetica.com”. La etiqueta energética. Recuperado en:
<https://www.etiquetaenergetica.com/lavadoras-eficientes/>
- 27.EURECO, (2002). End-use metering campaign in 400 households of the European Community assessment of the Potential Electricity Savings.
- 28.EUROSTAT, (2017). Statistics Explained. Se puede consultar en la siguiente dirección:
[https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Electricity_prices_for_household_consumers,_second_half_2017_\(EUR_per_kWh\).png#file](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Electricity_prices_for_household_consumers,_second_half_2017_(EUR_per_kWh).png#file)

29. "Euronics.es". Número de cubiertos. Recuperado de: <https://www.euronics.es/wikinics/gran-electrodomestico/lavavajillas/numero-de-cubiertos/>
30. Faruqi, A., et al. (2010). The impact of informational feedback on energy consumption-A survey of the experimental evidence. *Energy* 35, 1598–1608.
31. Firth, S.K., et al., (2013). Decision support systems for domestic retrofit provision using smart home data streams. CIB W78 2013 30th Int. Conf. Appl. IT AEC Ind. Move Towar. Smart Build. Infrastructures Cities.
32. Gabaldon A., et al. (2017). Residential end-uses disaggregation and demand response evaluation using integral transforms.
33. García P. (12 de diciembre del 2016). Electrodomésticos ultraeficientes ¿merecen la pena?. Recuperado de: <https://nergiza.com/electrodomesticos-ultraeficientes-merecen-la-pena/>
34. Gellings, C.W. (1985). The concept of demand-side management for electric utilities. *Proc. IEEE* 73, 1468–1470.
35. Gomatom K., et al. (2013). Non-intrusive load monitoring.
36. González O., et al., (2016). Quantification of electrical energy savings in residential customersthrough demand management strategies.
37. González, J. (21 de enero de 2019). Cuánto duran los electrodomésticos por marcas: lavadoras, 10 años de media. Recuperado de: https://www.elespanol.com/sociedad/consumo/20190121/duran-electrodomesticos-marcas-lavadoras-anos-media/370213399_0.html
38. Gottwalt, S., et al. (2011). Demand side management-A simulation of household behavior under variable prices. *Energy Policy* 39, 8163–8174.
39. IDAE, (2009). Condiciones de aceptación de procedimientos alternativos a LIDER y CALENER. Disponible en:
http://www.mincotur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/OtrosDocumentos/Calificaci%C3%B3n%20energ%C3%A9tica.%20Viviendas/Guia-8_Condiciones_Alternativos.pdf
40. IDAE, (2011). Informe sobre el análisis del consumo energético del sector residencial en España. Disponible en:
http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Informe_SPAHOUSEC_ACC_f68291a3.pdf
41. IDAE, (2015). Consulta sobre la evolución de consumo de energía final.
42. IDAE, (2018). Documento sobre los precios de las tarifas eléctricas de acceso para el PVPC. Disponible en:

http://www.idae.es/sites/default/files/estudios_informes_y_estadisticas/tarifas_reguladas_jul_2018.pdf

43. JEFATURA DEL ESTADO, (2006). Real Decreto 809/2006, de 30 de junio, por el que se revisa los precios de la energía eléctrica. BOE. Disponible en:

<http://www.boe.es/boe/dias/2006/07/01/pdfs/A24789-24794.pdf>

44. JEFATURA DEL ESTADO, (2007). Real Decreto 1110/2007, de 24 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento unificado de puntos de medida del sistema eléctrico. Disponible en:

<https://www.boe.es/boe/dias/2007/09/18/pdfs/A37860-37875.pdf>

45. JEFATURA DEL ESTADO, (2007). Orden ITC/3022/2007, de 10 de octubre, donde se establecen las normas para llevar a cabo el control meteorológico de los contadores que incorporan sistemas de discriminación horaria, tanto en evaluaciones antes y después de modificaciones, como en evaluaciones periódicas³⁰. Disponible en: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2007-18193

46. JEFATURA DEL ESTADO, 2012. Orden IET/290/2012, de 16 de febrero, por la que se establecen las tarifas eléctricas a partir del 1 de enero de 2008 y se dictamina que todos los contadores deben ser sustituidos antes del 31 de diciembre del 2018. Disponible en:

<http://www.boe.es/boe/dias/2012/02/21/pdfs/BOE-A-2012-2538.pdf>

47. JEFATURA DEL ESTADO, (2013). Orden ITC/3860/2007, de 28 de diciembre, por la que se revisan las tarifas eléctricas a partir del 1 de enero de 2008. Disponible en:

<https://www.boe.es/boe/dias/2007/12/29/pdfs/A53781-53805.pdf>

48. JEFATURA DEL ESTADO, (2014). Real Decreto 216/2014, de 28 de marzo, por el que se establece la metodología de cálculo de los precios voluntarios para el pequeño consumidor de energía eléctrica. Disponible en:

<https://www.boe.es/boe/dias/2014/03/29/pdfs/BOE-A-2014-3376.pdf>

49. JEFATURA DEL ESTADO, (2016). Nota informativa sobre el procedimiento para la certificación de la eficiencia energética de edificios vigente desde el 14 de enero de 2016. Disponible en:

http://www.mincotur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/Documents/Reconocidos/Documents/2016-08-04_NOTA%20INFORMATIVA.pdf

50. JEFATURA DEL ESTADO, (2016). Orden ETU/1948/2016, de 22 de diciembre, por la que se fijan determinados valores de los costes de comercialización de las comercializadoras de referencia a incluir en el cálculo del precio voluntario para el pequeño consumidor de energía eléctrica en el período 2014-2018. Disponible en:

<https://www.boe.es/boe/dias/2016/12/24/pdfs/BOE-A-2016-12274.pdf>

51. JEFATURA DEL ESTADO, (2016). Resolución de 28 de diciembre de 2016, de la Dirección General de Política Energética y Minas, por la que se aprueba para el año 2017 el perfil de consumo y el método de cálculo a efectos de liquidación de energía. Disponible en:
<https://www.boe.es/boe/dias/2016/12/30/pdfs/BOE-A-2016-12487.pdf>
52. JEFATURA DEL ESTADO, (2018). Orden ETU/1282/2017, de 22 de diciembre, por la que se establecen los peajes de acceso de energía eléctrica para 2018. Disponible en:
<https://www.boe.es/boe/dias/2017/12/27/pdfs/BOE-A-2017-15521.pdf>
53. Jessoe, K., et al. (2014). Knowledge is (Less) Power: Experimental Evidence from Residential Energy Use. *American Economic Review*, 104 (4), 1417-1438.
54. Laicane, I., et al. (2015). Reducing household electricity consumption through demand side management: the role of home appliance scheduling and peak load reduction. *Energy Procedia* 72, 222–229.
55. Lynham, J., et al. (2016). Why does real-time information reduce energy consumption? *Energy Econ.* 54, 173–181.
56. Podgornik et al. (2015). Effects of customized consumption feedback on energy efficient behaviour in low-income households. *J. Clean. Prod.* 130, 25–34.
57. Real Decreto 1074/2015, de 27 de noviembre, donde se modifican diferentes órdenes y decretos del sector eléctrico. Disponible en: <https://www.boe.es/boe/dias/2015/12/04/pdfs/BOE-A-2015-13140.pdf>
58. RED ELÉCTRICA ESPAÑOLA, (2018). Perfiles de consumo eléctrico. Disponible en:
<http://www.ree.es/es/actividades/operacion-del-sistema-electrico/medidas-electricas>
59. Reglamento delegado 1059/2010 de la comisión europea, 28 de septiembre de 2010. Disponible en:
<https://www.boe.es/doue/2010/314/L00001-00016.pdf>
60. Reglamento delegado 1061/2010 de la comisión europea, 28 de septiembre de 2010. Disponible en:
<https://www.boe.es/doue/2010/314/L00047-00063.pdf>
61. Reglamento delegado 392/2012 de la comisión europea, 1 de marzo de 2012. Disponible en:
<https://www.boe.es/doue/2012/123/L00001-00026.pdf>
62. Rodríguez-Hidalgo, M.C. et al. (2012). Domestic hot water consumption vs. solar thermal energy storage: The optimum size of the storage tank. *Appl Energy* 97, 897–906.
63. Roldán Fernández, J.M., et al. (2016). Renewable generation versus demand-side management. A comparison for the Spanish market. *Energy Policy* 96, 458–470.

64. Ruda A. (30 de mayo de 2018). Vida útil en luminarias led. Recuperado de: <http://www.yld-eu.com/vida-util-luminarias-led/>
65. Sankara A. (2015). Energy disaggregation in NIALM using hidden Markov models. Masters Theses. Missouri University of Science and Technology, Paper 7414,
66. SEDC (2014). Mapping Demand Response in Europe Today. SEDC. Smart Energy Demand Coalit. 92.
67. Shirley P. (2016). Effects of information and time-of-use pricing on Irish electricity demand and supply, Department of Agricultural and Resource Economics.
68. Strengers, Y.A.A. (2011). Designing eco-feedback systems for everyday life. Proc. CHI '11, ACM Press, 2135-2144.
69. Wilson, C. et al. (2015). Smart homes and their users: a systematic analysis and key challenges. Pers. Ubiquitous Comput. 19, 463–476.
70. Wilson, C., et al. (2017). Benefits and risks of smart home technologies. Energy Policy 103, 72–83.
71. Wolak, F. A. (2011). Do Residential Customers Respond to Hourly Prices? Evidence from a Dynamic Pricing Experiment." The American Economic Review, 101(3), 8387.
72. Xia, L., et al. (2015). Local measurements and virtual pricing signals for residential demand side management. Sustain. Energy, Grids Networks 4, 62–71.
73. Zhang, X., et al. (2016). Smart meter and in-home display for energy savings in residential buildings: a pilot investigation in Shanghai, China. Intell. Build. Int. 0, 1–23.
74. Zeifman M., et al. (2011). Nonintrusive appliance load monitoring: review and outlook. IEEE Trans Consum Electron 57(1):76–84.