



**COMILLAS**  
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

**ICAI**

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA  
INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

DESARROLLO DE UN MODELO TEÓRICO  
PARA LA DETERMINACIÓN DEL GASTO  
ELÉCTRICO EN UN HOGAR ESPAÑOL

Autor: Álvaro Cosín López-Medel

Director: Eva Arenas Pinilla

Co-Director: Roberto Barrella

Madrid

Enero de 2022



Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título  
Desarrollo de un modelo teórico para la determinación del gasto eléctrico  
en un hogar español en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia  
Comillas en el  
curso académico 7º de GITI+ADE es de mi autoría, original e inédito y  
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es  
plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada  
de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Álvaro Cosín López-Medel      Fecha: 12/01/2022

**Alvaro  
Cosin** Digitally signed  
by Alvaro Cosin  
Date:  
2022.01.12  
01:08:55 +01'00'

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Eva Arenas Pinilla      Fecha:



Firmado  
digitalmente por  
Eva Arenas  
Fecha: 2022.01.12  
10:16:43 +01'00'

Fdo.: Roberto Barrella      Fecha:

Firmado por Y6622135N  
ROBERTO BARRELLA el día  
12/01/2022 con un  
certificado emitido por AC  
CAMERFIRMA FOR NATURAL  
PERSONS - 2016





**COMILLAS**  
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

**ICAI**

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA  
INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

DESARROLLO DE UN MODELO TEÓRICO  
PARA LA DETERMINACIÓN DEL GASTO  
ELÉCTRICO EN UN HOGAR ESPAÑOL

Autor: Álvaro Cosín López-Medel

Director: Eva Arenas Pinilla

Co-Director: Roberto Barrella

Madrid

Enero de 2022



# DESARROLLO DE UN MODELO TEÓRICO PARA LA DETERMINACIÓN DEL GASTO ELÉCTRICO EN UN HOGAR ESPAÑOL

**Autor: Cosín López-Medel, Álvaro.**

Directores: Arenas Pinilla, Eva y Barrella, Roberto.

Entidades Colaboradoras: Cátedra de Energía y Pobreza de la Universidad Pontificia Comillas y ECODES (Fundación Ecología y Desarrollo).

## **RESUMEN DEL PROYECTO**

### **1. Introducción**

Uno de los problemas que más afectan a la sociedad es la pobreza energética, que consiste (en los países desarrollados) en la falta de asequibilidad de la energía necesaria a los hogares para cubrir sus necesidades básicas. Es un problema presente en España y en la Unión Europea, donde se estima que cerca de 50 millones de personas están en dicha situación [1] [2] [3].

Actualmente no hay una definición consensuada de pobreza energética en los diferentes países y organismos europeos, aunque sus definiciones si concuerdan que se trata de hogares que no pueden calentar y disponer de la energía eléctrica suficiente para cubrir sus necesidades, ya sea por los altos precios de la energía, la baja eficiencia energética de las viviendas o la falta de recursos económicos.

Ante el panorama en el que nos encontramos surge la necesidad de elaborar estrategias y planes que permitan tanto garantizar esos derechos como afrontar la pobreza energética y el cambio climático.

Es necesario facilitar a los hogares el acceso a tecnologías más baratas y ofrecer ayudas financieras para combatir contra la pobreza energética. Por ello, los países de la Unión Europea han abordado diferentes medidas para hacer frente a la pobreza energética y proteger a los consumidores vulnerables, como intervenciones financieras, medidas de protección al consumidor, de eficiencia energética y de suministro de información.

Para poder diseñar e implantar unas estrategias de forma efectiva es prioritario realizar una caracterización energética de los hogares españoles y el desarrollo de modelos de predicción del gasto energético en sus viviendas, objetivo de este proyecto. Con ese objetivo, ECODES y la Cátedra de Energía y Pobreza de la Universidad Pontificia Comillas realizaron en 2019 el estudio denominado “Caracterización del comportamiento energético en una muestra de hogares españoles” [4].

En ese trabajo se desarrolló un modelo de demanda térmica que permite calcular el gasto térmico teórico (GTT), así como el requerido definido según la Estrategia Nacional (GTR). Este proyecto surge como continuación de este último ya que se considera necesario realizar un modelo que permita obtener el gasto eléctrico teórico (GELT) que, sumándolo al anterior, lleve a disponer del gasto energético teórico, que permitirá tener una referencia del gasto en el que debería incurrir un hogar para poder tener sus necesidades energéticas cubiertas.

Por lo que este proyecto se centrará en la realización de un modelo de gasto eléctrico teórico en función de la superficie de la vivienda y otros parámetros de la composición del hogar como el número de miembros o su ocupación. Para probar dicho modelo se utilizará la base de datos del programa «Ni un hogar sin energía» de ECODES [5], que recoge información sobre las características y usos de la energía de una muestra de hogares españoles. Este modelo servirá de referencia para poder identificar y elaborar medidas de prevención de la pobreza energética.

El objetivo general de este estudio es la obtención de un modelo que permita calcular el gasto teórico que debería tener un hogar español para poder cubrir sus necesidades energéticas de carácter eléctrico, en función de los parámetros más representativos del mismo.

Otros objetivos son la definición de las principales fuentes de consumo eléctrico de los hogares, así como sus características de funcionamiento, como potencia media y frecuencia de uso; la formulación del modelo de gasto eléctrico teórico a partir de las conclusiones del objetivo anterior; adaptar el modelo a las características de los hogares, como el tamaño de la vivienda, el número de miembros y su ocupación; realizar un simulador que permita el cálculo teórico del consumo de energía eléctrica de los hogares y su coste; obtener las curvas de potencia media a lo largo del día de los diferentes aparatos y electrodomésticos del hogar; el cálculo del gasto medio de los hogares según el número de miembros y la tarifa con y sin discriminación horaria.



El desarrollo de este proyecto en colaboración con la Cátedra de Energía y Pobreza de la Universidad Pontificia Comillas ha servido de base para la elaboración un informe para ECODES que recoge el gasto eléctrico teórico de los hogares [6] así como un artículo de modelización y análisis de la electricidad consumida por los hogares españoles [7].

## 2. Metodología de trabajo

En primer lugar, se ha realizado un análisis del panorama español y europeo de la pobreza energética, así como una investigación de los modelos de consumo eléctrico presentes en la literatura y de los factores que se tenían en cuenta dentro de estos. Partiendo de estas referencias se definen las fuentes de consumo (aparatos y electrodomésticos), sus potencias medias y los factores que afectan a la frecuencia de uso de dichas fuentes de consumo. Se han considerado la cocina (fogones de cocina y horno), lavadora, secadora, lavavajillas, frigorífico, congelador, televisores, ordenadores, tablets, móviles y microondas.

A continuación, se lleva a cabo el diseño y desarrollo de tres modelos de cálculo de consumo eléctrico de los hogares según sus características siguiendo un esquema bottom-up: Modelo de Gasto Teórico Simplificado, Modelo de Gasto Teórico Avanzado y Modelo de Gasto Teórico Avanzado 2.0.

- El primer modelo de ellos parte de una serie de hipótesis de potencia y frecuencia de uso y factores de uso de los hogares basadas en estadísticas y estudios nacionales para obtener el consumo total de los hogares según su número de miembros y el tamaño del hogar. Además, dicho modelo utiliza la Encuesta de Empleo de Tiempo (EET) [8] para el cálculo de los factores de uso que no están determinadas por la literatura. Dichas hipótesis tomadas se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 1: Hipótesis de potencia y frecuencia de uso de los aparatos.

Aparato	$P_i$ [kW]	$f_{i, invierno}$ [h/mes]	$f_{i, verano}$ [h/mes]
Cocina (Fogón grande/Fogón pequeño)	0.96/0.8	30.0/9.0	21.0/3.0
Horno	1.02	8.6	4
Lavadora	1.7	8.6	8.6
Secadora	2.2	6.4	6.4
Frigorífico	0.10/0.08	720	720
Congelador	0.08/0.064	720	720
Iluminación	0.024	1587.6	1190.7
Lavavajillas	1.9	8.6	8.6
Tvs	0.255	95.3	95.3
Ordenadores	0.28	68.6	68.6
Otros (Móviles/ Tablet/ Microondas)	0.005/0.020/0.900	60.0/17.2/5.1	60.0/17.2/5.1

Tabla 2: Hipótesis de factores de uso (FU) de los aparatos en función del tamaño del hogar.

FU(TH)	1	2	3	4	Mas de 4
Cocina	0.60	1.04	1.10	1.25	1.47
Horno	0.60	1.04	1.10	1.25	1.47
Lavadora	1.20	1.50	1.90	2.20	2.50
Secadora	1.20	1.50	1.90	2.20	2.50
Frigorífico	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Congelador	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Iluminación	0.40	0.80	1.20	1.60	2.00
Lavavajillas	1.10	1.30	1.50	1.80	1.90
Tvs	0.68	1.17	1.02	1.08	1.23
Ordenadores	0.32	0.71	1.36	1.84	1.73
Otros (Móviles/Tabletas/ Microondas)	1.00/1.00/1.00	2.00/1.50/1.10	3.00/2.00/1.20	4.00/2.50/1.30	5.00/3.00/1.45

Tabla 3: Penetración de los diferentes dispositivos y fuentes utilizadas.

Aparato	Penetración	Fuente
Secadora	28.30%	Spahousec 2011
Congelador	24.80%	Spahousec II 2019
Horno	77.10%	Spahousec 2011
Lavavajillas	54.80%	Spahousec II 2019
Ordenador	80.90%	España en cifras 2020
Tablet	54.50%	España en cifras 2020

- El segundo modelo parte de la EET y calcula el consumo medio de los aparatos asociados a las actividades que realizan los encuestados dentro del hogar en función del número de miembros y del tamaño de la vivienda, utilizando las mismas hipótesis de potencia y frecuencia que el modelo anterior.
- El tercer modelo parte del modelo anterior, es decir, Modelo de Gasto Teórico Avanzado, pero haciendo una distinción no solo del número de miembros de los hogares, sino también de su ocupación. A partir de este modelo se han obtenido unos factores de ajuste que permitirán el cálculo más detallado. Los tipos de hogares distinguidos en este modelo son los siguientes:

Tabla 4: Tablas de tipo de ocupación para el Modelo de Gasto Teórico Avanzado.

Ocupación (r)	Distinción (s)	Tipo de hogar (rs)
Ocupados (A)	1 ocupado (1)	A1
	2 ocupados (2)	A2
	3 o mas ocupados (3)	A3
Parados (B)	1 parado (1)	B1
	2 parados o mas (2)	B2
Estudiantes (C)	1 estudiante (1)	C1
	2 estudiantes o mas (2)	C2
Jubilados (D)	1 jubilado (1)	D1
	2 jubilados o mas (2)	D2
Pensionistas 1 (E)	1 o mas (1)	E1
Pensionistas 2 (F)	1 o mas (1)	F1
Tareas hogar (G)	1 o mas (1)	G1
Otros (H)	1 o mas (1)	H1

De esta manera se obtienen tres modelos que se ajustan a las características del hogar en función del número de miembros, los metros cuadrados de la vivienda y su equipamiento. Además, el tercer modelo también se adapta a las ocupaciones de los miembros del hogar.

Los resultados obtenidos en los dos primeros modelos se contrastan con los otros modelos o referencias de la literatura actual para validar que el consumo calculado se encontraba entre dichas referencias, como [9], [10], [11], [12] y [13].

El tercer modelo ha sido contrastado con la base de datos de ECODES del proyecto “Ni un hogar sin energía”, ya que, a diferencia de los informes y artículos mencionados anteriormente, este cuenta con datos referentes a la ocupación de los miembros de los hogares. Se ha comparado el consumo real anual en electricidad (CELR) de cada uno de los 1650 hogares analizados con el consumo eléctrico teórico (CELT) estimado utilizando el Modelo Avanzado 2.0. Para dicha comparación se han utilizado dos indicadores. A partir de los resultados obtenidos, se ha procedido analizar los siguientes indicadores, el primero la mediana muestral del cociente CELR/CELT y el segundo la proporción de hogares cuyo CELR es inferior al correspondiente CELT.

Una vez validados los modelos, se obtiene el gasto eléctrico del hogar medio a través del consumo medio calculado por los modelos simplificado y avanzado, aplicando la tarifa regulada de PVPC 2.0A y 2.0DHA, anteriores a la nueva regulación de junio de 2021, y realizando una serie de hipótesis para estimar la potencia contratada.

Finalmente se ha elaborado un simulador en Excel y en R que permite el cálculo del consumo eléctrico de los hogares según su tamaño y la ocupación de sus miembros, así como su gasto según las tarifas PVPC 2.0A y 2.0DHA.

### 3. Resultados

#### 3.1. Modelo de Gasto Teórico Simplificado

El consumo eléctrico teórico medio obtenido por el Modelo de Gasto Teórico Simplificado tiene un valor de 3031.67 kWh al año. La siguiente tabla muestra el consumo según el tamaño del hogar y desglosado para las diferentes aparatos o electrodomésticos de los hogares, teniendo en cuenta su penetración.

Tabla 5: Consumo eléctrico teórico anual (kWh/año) doméstico (CELT), según el número de ocupantes y para el hogar medio, siguiendo el modelo de gasto teórico simplificado.

MODELO SIMPLIFICADO						
Nº Ocupantes	1	2	3	4	Mas de 4	Media
Placa Cocina	227.86	394.95	417.74	474.70	558.25	<b>380.05</b>
Horno	37.75	65.43	69.20	78.64	92.48	<b>62.96</b>
Lavadora	209.83	262.29	332.23	384.69	437.14	<b>294.70</b>
Secadora	57.63	72.04	91.26	105.66	120.07	<b>80.95</b>
Frigorífico	748.80	748.80	748.80	748.80	748.80	<b>748.80</b>
Congelador	148.56	148.56	148.56	148.56	148.56	<b>148.56</b>
Iluminación	167.02	334.05	501.07	668.09	835.12	<b>412.80</b>
TV	198.29	341.17	297.43	314.93	358.67	<b>291.85</b>
Ordenador	59.65	132.34	253.50	342.96	322.46	<b>186.43</b>
Lavavajillas	117.80	139.22	160.64	192.77	203.48	<b>151.19</b>
Otros	59.94	70.11	80.27	90.44	103.31	<b>75.05</b>
Stand-by	142.32	189.63	217.05	248.52	274.98	<b>198.33</b>
<b>Total</b>	<b>2175.45</b>	<b>2898.58</b>	<b>3317.75</b>	<b>3798.77</b>	<b>4203.33</b>	<b>3031.67</b>

En la comparación con los modelos de referencia SECH-SPAHOUSEC [9] y Escobar et al. [10] se ha adaptado el modelo a las referencias de 2011 [9], obteniéndose una sobreestimación del 10% y una infraestimación del 1% respectivamente. Mientras que en comparación con modelo actuales como Informe Sintético de Indicadores de Eficiencia Energética (IEE) en España [11], Informe anual de indicadores energéticos [12] y Informe anual de consumos energéticos [13] el consumo medio se encuentra un 5%, 11% y 11% por debajo (infraestimación). Por tanto, este modelo se encuentra dentro de un rango de [-11%, 10%] con respecto a las referencias, lo que muestra una buena estimación del hogar medio, aunque dicha desviación varía según los diferentes electrodomésticos.

### 3.2. Modelo de Gasto Teórico Avanzado

El Modelo de Gasto Teórico Avanzado permite un estudio de los aparatos asociados a las actividades que realizan los encuestados en la Encuesta de Empleo de Tiempo [8] (cocina, lavadora, secadora, lavavajillas, televisión y ordenador) ya que no solo calcula su consumo, sino también las curvas de carga media a lo largo del día, tal y como se muestra en la siguiente figura la de la cocina.

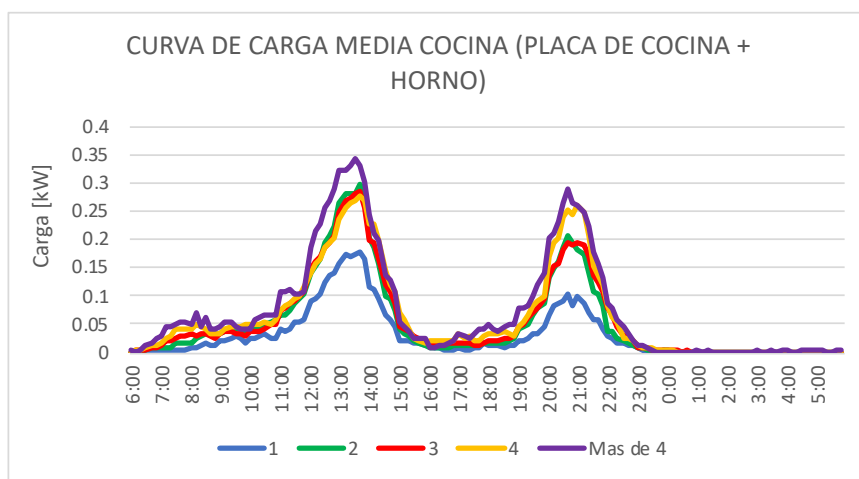


Figura 1: Curvas de carga media a lo largo del día debidas al uso de la cocina y el horno, en función del número de miembros del hogar.

El consumo eléctrico teórico medio obtenido de dicho modelo tiene un valor de 3030.32 kWh al año, prácticamente el mismo que el Modelo de Gasto Teórico Simplificado ya que utilizan las mismas hipótesis de potencia y frecuencia de uso; y el simplificado utiliza la EET como fuente para calcular algunos factores de uso. La siguiente tabla muestra el consumo según el tamaño del hogar y desglosado para las diferentes aparatos o electrodomésticos de los hogares, teniendo en cuenta su penetración. El consumo de los aparatos no asociados a las tareas de la EET se toman del Modelo Simplificado.

Tabla 6: Consumo eléctrico anual (kWh/año) doméstico, según el número de ocupantes y para el hogar medio, siguiendo el Modelo Avanzado.

Modelo Avanzado						
Nº Ocupantes	1	2	3	4	Mas de 4	Media
Cocina	266.58	458.97	485.03	552.08	650.55	<b>442.21</b>
Lavadora	209.83	262.29	332.23	384.69	437.17	<b>294.70</b>
Secadora	57.56	72.04	91.22	105.58	120.04	<b>80.90</b>
Frigorífico	748.80	748.80	748.80	748.80	748.80	<b>748.80</b>
Congelador	148.56	148.56	148.56	148.56	148.56	<b>148.56</b>
Iluminación	167.02	334.05	501.07	668.09	835.12	<b>412.80</b>
TV	197.27	341.69	296.73	314.38	359.95	<b>291.57</b>
Ordenador	59.57	131.87	253.29	343.57	321.81	<b>186.29</b>
Lavavajillas	117.80	139.22	160.64	192.77	203.48	<b>151.19</b>
Otros	59.94	70.11	80.27	90.44	103.31	<b>75.05</b>
Stand-by	142.31	189.53	216.85	248.43	275.02	<b>198.25</b>
<b>Total</b>	<b>2175.24</b>	<b>2897.12</b>	<b>3314.70</b>	<b>3797.39</b>	<b>4203.81</b>	<b>3030.32</b>

La comparación de dicho modelo con los modelos de referencia SECH-SPAHOUSEC [9], Escobar et al. [10] e Informe Sintético de Indicadores de Eficiencia Energética (IEE) en España [11], se ha realizado solo de los aparatos asociados a las tareas asociadas a la EET, mencionados anteriormente, obteniendo una sobreestimación con respecto a los dos primeros de 8% y 7% respectivamente y un una infraestimación del 1% con respecto al último.

### 3.3. Modelo de Gasto Teórico Avanzado 2.0

Por último el Modelo de Gasto Teórico Avanzado 2.0 calcula el consumo eléctrico teórico teniendo en cuenta también la ocupación de los miembros de los hogares. Para ello se ha obtenido unos factores de ajuste asociados a las posibles ocupaciones que se sumarán o restarán al valor promedio de consumo de cada tamaño de hogar para obtener el consumo medio teórico. Estos factores se muestran a continuación:

Tabla 7: Factores calculados según el tamaño de los hogares y el tipo de ocupación [kWh/año]

		Factores				
		1	2	3	4	Mas de 4
	Consumo medio	2175.77	2897.54	3315.03	3797.93	4204.45
fxA1	F. Con 1 ocupado	-159.48	-100.12	101.47	31.20	134.25
fxA2	F. Con 2 ocupados	-	-242.16	-136.29	-125.21	-128.49
fxA3	F. Con 3 o mas ocupados	-	-	-82.71	317.90	173.63
fxB1	F. Con 1 parado	263.53	26.17	128.69	112.44	-69.98
fxB2	F. Con 2 o mas parados	-	88.31	179.65	363.74	188.13
fxC1	F. Con 1 estudiante	-266.71	-68.23	-2.39	41.97	-143.42
fxC2	F. Con 2 o mas estudiantes	-	-438.96	-183.48	-95.06	2.12
fxD1	F. Con 1 jubilado	-54.94	93.55	176.89	376.06	54.59
fxD2	F. Con 2 o mas jubilados	-	123.12	116.36	204.04	165.43
fxE1	F. Con pensionistas 1	83.52	21.23	173.91	364.98	416.19
fxE2	F. Con pensionistas 2	9.29	95.24	104.52	206.31	273.04
fxG1	F. Con Realizadores tarea hogar	224.34	170.61	219.65	230.74	218.35
fxH1	F. Con Otros	-138.47	-278.65	-370.61	-430.56	40.46

También dicho modelo es capaz de obtener las curvas de carga media a lo largo del día según el tipo de aparato y el tipo de ocupación. A continuación se muestra un ejemplo de dicha curva de la lavadora para los hogares de dos personas con dos ocupados, dos jubilados, un parado (y otro miembro con cualquier ocupación) y un estudiante (y otro miembro con cualquier ocupación).

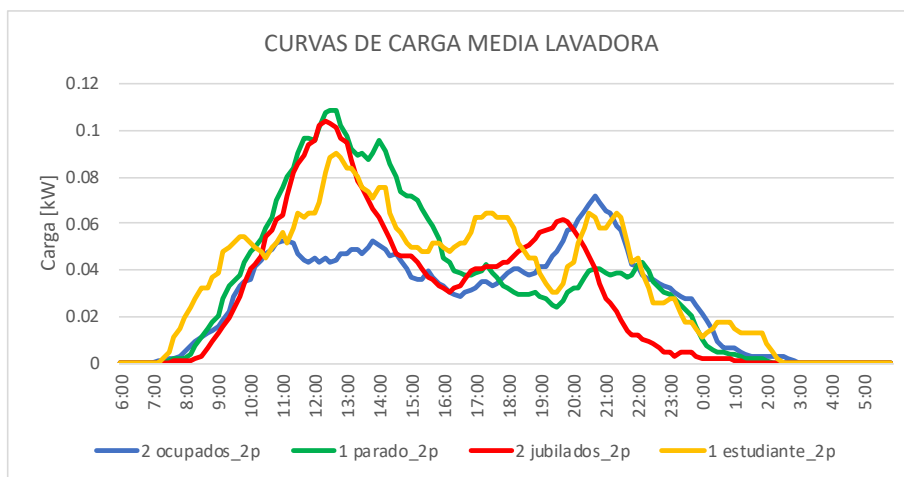


Figura 2: Curvas de carga media a lo largo del día debidas al uso de la lavadora para diferentes tipos de hogares con tamaño de 2 personas.

Los consumos totales por tipo y tamaño de hogar obtenidos en el Modelo de Gasto Teórico Avanzado 2.0 se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 8: Consumo total por tipo de hogar en función del tamaño Modelo de Gasto Teórico Avanzado 2.0.

	Consumos totales por tipo de hogar				
	1	2	3	4	Mas de 4
Consumo medio	2175.77	2897.54	3315.03	3797.93	4204.45
Con 1 ocupado	2016.29	2797.42	3416.50	3829.12	4338.70
Con 2 ocupados	-	2655.38	3178.75	3672.71	4075.96
Con 3 o mas ocupados	-	-	3232.32	4115.83	4378.08
Con 1 parado	2439.30	2923.71	3443.72	3910.37	4134.47
Con 2 o mas parados	-	2985.85	3494.68	4161.66	4392.58
Con 1 estudiante	1909.07	2829.31	3312.64	3839.90	4061.03
Con 2 o mas estudiantes	-	2458.58	3131.55	3702.87	4206.57
Con 1 jubilado	2120.84	2991.09	3491.92	4173.98	4259.03
Con 2 o mas jubilados	-	3020.67	3431.39	4001.96	4369.88
Con pensionistas 1	2259.30	2918.77	3488.94	4162.90	4620.64
Con pensionistas 2	2322.48	2843.76	3403.48	3792.62	4359.63
Con Realizadores tarea hogar	2400.12	3068.15	3534.68	4028.67	4422.80
Con otra situación de inactividad	2037.31	2618.90	2944.43	3367.36	4244.91

### 3.4. Simulador

El simulador realizado tanto en R como en Excel incluye una serie de preguntas a los usuarios para conocer las características del hogar mediante un menú desplegable, para el cálculo del consumo eléctrico de los hogares según su tamaño y la ocupación de los miembros. A continuación se muestra la vista del simulador en Excel.

Número de miembros del hogar	4	Consumo teórico anual [kWh/año]	4425.63
Tamaño de la vivienda (m2)	121 a 140	Gasto teórico anual (PVPC 2.0A) [€/año]	815.94
<b>Ocupaciones</b>		Gasto teórico anual (PVPC 2.0DHA) [€/año]	697.73
Ocupado/a	1		
Parado/a	1		
Estudiante	1		
Jubilado/a, prejubilado/a	1		
Cobrando una pensión de incapacidad permanente o invalidez	0		
Cobrando una pensión de viudedad u orfandad	0		
Realizando tareas del hogar	0		
Otra situación de inactividad	0		
<b>Aparatos / Electrodomésticos</b>			
Cocina eléctrica (Fogones)	Si		
Horno eléctrico	Si		
Lavadora	Si		
Secadora	No		
Frigorífico	Si		
Congelador	No		
TV	Si		
Ordenador	Si		
Lavavajillas	No se		
Movil	Si		
Tablet	Si		
Microondas	No se		

Figura 3: Vista simulador Excel. Interfaz usuario.

### 3.5. Aplicación del Modelo Avanzado 2.0 a la base de datos del proyecto “Ni un hogar sin energía”

Se ha contrastado el Modelo de Gasto Teórico Avanzado 2.0 con la base de datos del programa "Ni un hogar sin energía" utilizando los dos indicadores mencionados anteriormente CELR/CELT y CELR<CELT.

Se ha obtenido un consumo eléctrico real de los hogares recogidos en la base de datos inferior al teórico, 2148 kWh al año frente a 2575.96 kWh al año. El primer indicador (CELR/CELT) señala un ajuste del modelo al consumo real de 0.83, mientras que el segundo indicador (CELR<CELT) señala que un 64% de los hogares tienen un consumo real menor que el teórico y que son potenciales hogares vulnerables.

Haciendo un desglose del consumo de los hogares según su tamaño, se puede observar que la mediana del consumo real en hogares de una persona es levemente superior al teórico, pero a



medida que aumentan en número de miembros de los hogares, mientras el consumo real crece levemente, el aumento es mucho mayor en el consumo teórico.

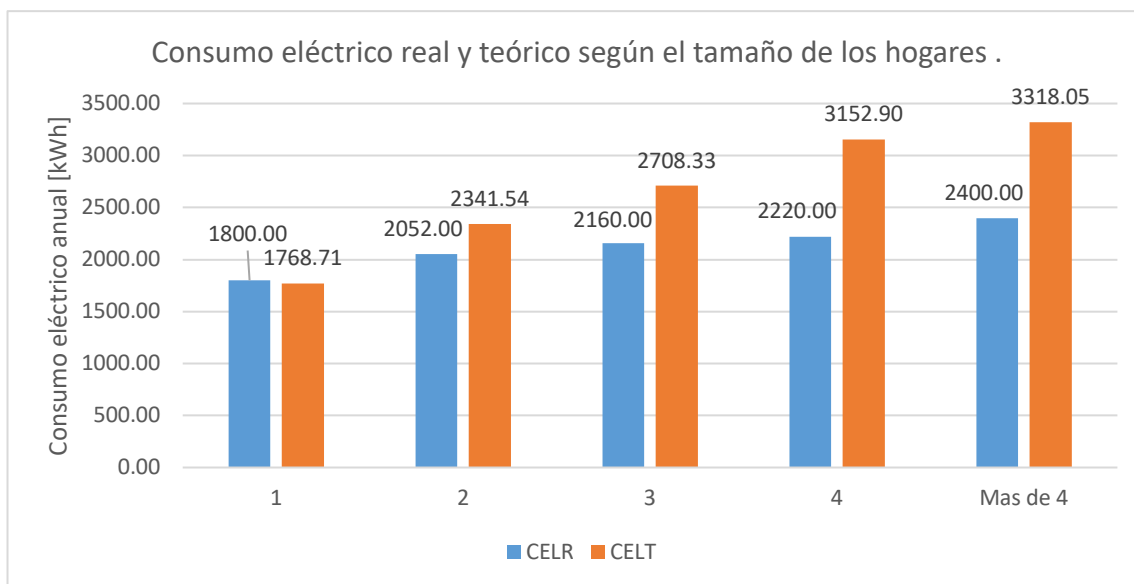


Figura 4: Medianas de consumo eléctrico real y teórico [kWh/año] según el tamaño de los hogares.

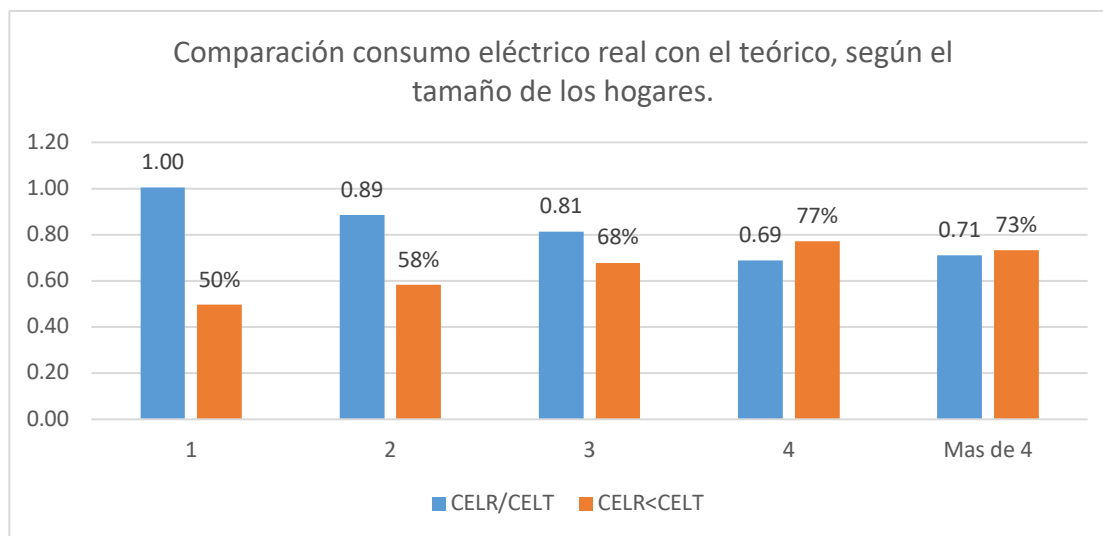


Figura 5: Comparación entre las medianas de consumo eléctrico teórico para el hogar medio (CELT) y del consumo real (CELR), según el tamaño de los hogares.

Estos valores se deben principalmente a que la base de datos contiene los valores de hogares vulnerables, los cuales tienen presumiblemente un consumo eléctrico menor al teórico. Por

ello, se puede interpretar que la diferencia de consumo los hogares aumenta con el número de miembros de los hogares.

### 3.6. Obtención del gasto eléctrico a partir del consumo

Por último se ha calculado el gasto eléctrico que un hogar debe alcanzar para satisfacer sus necesidades energéticas relacionadas con electricidad (gasto eléctrico teórico, GELT), bajo las tarifas del PVPC (antes del cambio en la factura de junio 2021), 2.0A y 2.0DHA (discriminación horaria). El gasto asociado al consumo eléctrico bajo el Modelo Avanzado se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 9: Gasto Eléctrico Teórico medio según el Modelo Avanzado en función del número de miembros y para el hogar medio.

Modelo Avanzado						
Nº Ocupantes	1	2	3	4	Mas de 4	Media
Consumo anual (kWh/año)	2175.24	2897.12	3314.70	3797.39	4203.81	3030.32
Potencia contratada (kW)	2.79	3.72	4.26	4.88	5.40	3.89
Gasto anual PVPC 2.0A (€/año)	466.66	617.62	704.95	805.89	890.88	645.47
Gasto anual PVPC 2.0DHA (€/año)	409.85	541.96	618.39	706.72	781.10	566.34

El gasto eléctrico para un hogar medio (2.5 miembros) se estimado por los dos modelos es de unos 646€ al año con tarifa 2.0A y 567€ al año con tarifa 2.0DHA. Este valor se encuentra entre los 467€ y los 891 € al año para 1 y más de 4 miembros, respectivamente, bajo una tarifa sin discriminación horaria 2.0A, y los 410€ y los 781€ para 1 y más de 4 miembros respectivamente, con una tarifa con discriminación horaria 2.0DHA. Por lo que se estima que se ahorran 79€ anuales por contratar la tarifa con discriminación horaria.

## 4. Conclusiones

Las principales conclusiones que se pueden obtener del trabajo realizado se resumen en los siguientes puntos:

- El consumo eléctrico teórico medio anual estimado por los modelos Simplificado y Avanzado es de 3031.67 kWh y 3030.32 kWh respectivamente. Estos valores no se desvían más de un 11% por encima o por abajo de las diferentes referencias utilizadas.
- Aunque los Modelos de Gasto Teórico Simplificado y Avanzado emplean una metodología diferente para hallar el consumo eléctrico de ambos modelos, obtienen un consumo bastante similar debido a que utilizan las mismas hipótesis de potencia, la

frecuencia de uso de los electrodomésticos y el factor de uso de los hogares para su desarrollo.

- El análisis del Modelo de Gasto Teórico Avanzado 2.0 refleja que los hogares con ocupados, estudiantes y los que se encuentran en otra situación de inactividad en general consumen menos energía eléctrica. Mientras que los hogares con parados, jubilados, pensionistas por incapacidad permanente o invalidez, pensionistas por viudedad u orfandad y los que realizan tareas del hogar en general consumen mayor cantidad de energía.
- En la aplicación del Modelo de Gasto Teórico Avanzado 2.0 a la base de datos del programa “Ni un hogar sin energía” de ECODES se obtiene que el modelo reproduce relativamente bien al consumo real de los hogares, especialmente en los hogares unipersonales; sin embargo, a medida que aumenta el número de miembros este ajuste va disminuyendo, principalmente en los hogares de cuatro miembros. Esto se puede deber principalmente a que dicha base de datos está formada por hogares vulnerables en su mayoría.
- Por tanto, mediante la comparación anterior queda reflejado como a través del modelo se puede interpretar que la diferencia de consumo los hogares aumenta con el número de miembros de los hogares.
- El gasto eléctrico para un hogar medio (2.5 miembros) se estima en unos 646€ al año con una tarifa sin discriminación horaria, mientras que los que optan por una tarifa con discriminación horaria su gasto será aproximadamente 79€ menor, 567€, siguiendo el esquema de tarifas vigente hasta junio de 2021.

## **5. Referencias**

[1] H. Thomson y S. Bouzarovski, «Addressing Energy Poverty in the European Union: State of Play and Action,» EU Energy Poverty Observatory , 2018.

[2] N. DellaValle, «People’s decisions matter: understanding and addressing Energy Poverty with Behavioral Economics,» Energy and Buildings, 2019.

[3] N. DellaValle y S. Sareen, «Nudging and boosting for equity? Towards a behavioural economics of energy justice,» Energy Research & Social Science, 2020.

- [4] Arenas Pinilla, Eva; Barrella, Roberto; Lineares, Jose Ignacio; Romero Mora, Jose Carlos, «Caracterización del comportamiento energético en una muestra de hogares españoles,» 2019.
- [5] ECODES, «Ni un hogar sin energía,» [En línea]. Available: <https://niunhogarsinenergia.org/>.
- [6] E. Arenas Pinilla, R. Barrella, Á. Cosín López-Medel, J. I. Linares Hurtado, J. C. Romero Mora, C. Foronda Díez y L. Díez Alzueta, «Desarrollo de un modelo de cálculo de gasto eléctrico teórico en los hogares españoles,» ECODES, Madrid, 2020.
- [7] R. Barrella, A. Cosin, E. Arenas, J.I. Linares, J.C. Romero, E. Centeno, Modeling and analysis of electricity consumption in Spanish vulnerable households, 2021 IEEE Madrid PowerTech, PowerTech 2021 - Conf. Proc. (2021). <https://doi.org/10.1109/PowerTech46648.2021.9494785>.
- [8] «Encuesta de Empleo de tiempo,» INE, 2010. [En línea]. Available: [https://www.ine.es/prensa/eet\\_prensa.htm](https://www.ine.es/prensa/eet_prensa.htm).
- [9] Secretaría General. Departamento de Planificación y Estudios. , «Proyecto Sech - Spahousec. Análisis del consumo energético del sector residencial en España,» IDAE , 2011.
- [10] P. Escobar, E. Martínez, J. Saenz-Díez, E. Jiménez y J. Blancoa, «Modeling and analysis of the electricity consumption profile of the residential sector in Spain,» Energy & Buildings, 2020.
- [11] Departamento de Planificación y Estudios. IDAE, «Informe sintético de indicadores de eficiencia energética en España. Año 2018,» IDAE, vol. 4ª Edición, 2020.
- [12] IDAE, «Informe anual de indicadores energéticos. Año 2018.,» Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, IDAE.
- [13] IDAE, «Informe anual de consumos energético. Evolución 2010-2018.,» Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, IDAE, vol. 11, 2020.
- [14] «Objetivos de Desarrollo Sostenible,» [En línea]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>.

- [15] Ministerio para la Transición Ecológica, «Estrategia Nacional Contra la Pobreza Energética 2019-2014,» [En línea]. Available: [https://www.miteco.gob.es/es/prensa/estrategianacionalcontralapobrezaenergetica2019-2024\\_tcm30-496282.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/prensa/estrategianacionalcontralapobrezaenergetica2019-2024_tcm30-496282.pdf).
- [16] S. Bouzarovski y S. Petrova, «A global perspective on domestic energy deprivation: Overcoming the energy poverty–fuel poverty binary,» *Energy Research & Social Science*, 2015.
- [17] S. Pye y A. Dobbins, «Energy poverty and vulnerable consumers in the energy sector across the EU: analysis of policies and measures,» *Insightenergy*, 2015.
- [18] A. Boeri, V. Gianfrate, S. O. Murielle Boulanger y M. Massari, «Future Design Approaches for Energy Poverty: Users Profiling and Services for No-Vulnerable Condition,» *Energies*, 2020.
- [19] Ministerio de Fomento, «Código Técnico de Edificación,» Ministerio de Fomento, 2019.
- [20] Departamento de Planificación y Estudios - IDAE, «Estudio SPAHOUSEC II. Análisis estadístico del consumo de gas natural en las viviendas principales con calefacción individual.,» IDAE, Madrid, 2019.

# DEVELOPMENT OF A THEORETICAL MODEL FOR THE DETERMINATION OF ELECTRICITY EXPENDITURE IN A SPANISH HOUSEHOLD.

**Author: Cosín López-Medel, Álvaro.**

Directors: Arenas Pinilla, Eva and Barrella, Roberto.

Collaborating Entities: Catedra de Energia y Pobreza de la Universidad Pontificia Comillas y ECODES (Fundacion Ecologia y Desarrollo).

## **PROJECT SUMMARY**

### **1. Introduction**

One of the problems that most affect society is energy poverty, which consists (in developed countries) in the lack of affordability of the energy necessary for households to cover their basic needs. This problem is present in Spain and in the European Union, where it is estimated that about 50 million people are in this situation [1] [2] [3].

There is currently no agreed definition of energy poverty in the different European countries and organizations, although their definitions do agree that these are households that cannot heat and have enough electricity to meet their needs, either due to high energy prices, low energy efficiency of housing or lack of economic resources.

Faced with this situation, there is a need to develop strategies and plans to guarantee these rights and to address energy poverty and climate change.

It is necessary to provide households with access to cheaper technologies and offer financial aid to combat energy poverty. For this reason, the countries of the European Union have addressed different measures to tackle energy poverty and protect vulnerable consumers, such as financial interventions, consumer protection measures, energy efficiency and information provision.

In order to design and implement strategies effectively, it is a priority to carry out an energy characterization of Spanish households and the development of predictive models of energy

expenditure in their homes, which is the objective of this project. With this objective, ECODES and the Chair of Energy and Poverty of the Comillas Pontifical University carried out in 2019 the study called " Caracterizacion del comportamiento energetico en una muestra de hogares españoles " [4].

In that work, a thermal demand model was developed to calculate the theoretical thermal expenditure (GTT), as well as the required one defined according to the National Strategy against Energy Poverty (GTR). This project arises as a continuation of the latter, since it is considered necessary to develop a model that allows to obtain the theoretical electric expenditure (GELT) that, adding it to the previous one, leads to have the theoretical energy cost, which will allow to have a reference of the cost that a household should incur to have its energy needs covered.

Therefore, this project will focus on the development of a model of theoretical electricity expenditure depending on the surface area of the home and other parameters of the household composition such as the number of members or occupancy. To this model, the database of the ECODES program "Ni un hogar sin energia" [5] will be used, which collects information on the characteristics and energy uses of a sample of Spanish households. This model will serve as a reference to be able to identify and develop measures to prevent energy poverty.

The general objective of this study is to obtain a model for calculating the theoretical expenditure that a Spanish household should have to cover its electrical energy needs, based on the most representative parameters of the household.

Other objectives are the definition of the main sources of household electricity consumption, as well as their operating characteristics, such as average power and frequency of use; the formulation of the theoretical electricity expenditure model based on the conclusions of the previous objective; adapting the model to the characteristics of the households, such as the size of the dwelling, the number of members and their occupancy; to create a simulator that allows the theoretical calculation of household electricity consumption and its cost; to obtain the average power curves throughout the day of the different household appliances and domestic appliances; the calculation of the average expenditure of households according to the number of members and the tariff with and without hourly discrimination.

The development of this project in collaboration with the Chair of Energy and Poverty of the Comillas Pontifical University has served as the basis for the preparation of a report for ECODES that includes the theoretical electricity expenditure of households [6] as well as an article of modeling and analysis of the electricity consumed by Spanish households [7].

## **2. Work methodology**

Firstly, an analysis of the Spanish and European situation of energy poverty was carried out, as well as an investigation of the electricity consumption models present in the literature and the factors considered within these models. Based on these references, the sources of consumption (appliances and domestic appliances), their average power and the factors affecting the frequency of use of these sources of consumption were defined. The kitchen (stove and oven), washing machine, dryer, dishwasher, refrigerator, freezer, televisions, computers, tablets, cell phones and microwaves have been considered.

Next, the design and development of three models for calculating household electricity consumption according to their characteristics is carried out following a bottom-up scheme: Simplified Theoretical Expenditure Model, Advanced Theoretical Expenditure Model and Advanced Theoretical Expenditure Model 2.0.

- The first model is based on a series of hypotheses of power and frequency of use and household usage factors based on national statistics and studies to obtain the total consumption of households according to their number of members and household size. In addition, such model uses the Time Use Survey (EET) [8] for the calculation of usage factors that are not determined by the literature. Such hypotheses taken are shown in the following tables:



Table 1: Power and appliance usage frequency assumptions.

Equipment	P <sub>i</sub> [kW]	f <sub>i,winter</sub> [h/month]	f <sub>i,summer</sub> [h/month]
Stove (Large stove/Small stove)	0.96/0.8	30.0/9.0	21.0/3.0
Oven	1.02	8.6	4
Washing machine	1.7	8.6	8.6
Dryer	2.2	6.4	6.4
Refrigerator	0.10/0.08	720	720
Freezer	0.08/0.064	720	720
Lighting	0.024	1587.6	1190.7
Dishwasher	1.9	8.6	8.6
Tvs	0.255	95.3	95.3
Computers	0.28	68.6	68.6
Others (Cell Phones/ Tablets/ Microwaves)	0.005/0.020/0.900	60.0/17.2/5.1	60.0/17.2/5.1

Table 2: Hypothesized usage factors (FU) of devices as a function of household size.

FU(TH)	1	2	3	4	More than 4
Stove	0.60	1.04	1.10	1.25	1.47
Oven	0.60	1.04	1.10	1.25	1.47
Washing machine	1.20	1.50	1.90	2.20	2.50
Dryer	1.20	1.50	1.90	2.20	2.50
Refrigerator	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Freezer	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Lighting	0.40	0.80	1.20	1.60	2.00
Dishwasher	1.10	1.30	1.50	1.80	1.90
Tvs	0.68	1.17	1.02	1.08	1.23
Computers	0.32	0.71	1.36	1.84	1.73
Others (Cell Phones/ Tablets/ Microwaves)	1.00/1.00/1.00	2.00/1.50/1.10	3.00/2.00/1.20	4.00/2.50/1.30	5.00/3.00/1.45

Table 3: Penetration of different devices and sources used.

Equipment	Penetration	Source
Dryer	28.30%	Spahousec 2011
Freezer	24.80%	Spahousec II 2019
Oven	77.10%	Spahousec 2011
Dishwasher	54.80%	Spahousec II 2019
Computers	80.90%	España en cifras 2020
Tablet	54.50%	España en cifras 2020

- The second model starts from the EET and calculates the average consumption of devices associated with the activities performed by the respondents within the household as a function of the number of members and the size of the dwelling, using the same power and frequency assumptions as the previous model.
- The third model starts from the previous model, Advanced Theoretical Expenditure Model, but making a distinction not only of the number of household members, but also

of their occupation. The types of households distinguished in this model are the following:

*Table 4: Occupation type tables for the Advanced Theoretical Expenditure Model.*

Occupation (r)	Distinction (s)	Household type (rs)
Employed (A)	1 employed (1)	A1
	2 employed (2)	A2
Unemployed (B)	3 or more employed (3)	A3
	1 unemployed (1)	B1
	2 unemployed or more (2)	B2
Students (C)	1 student (1)	C1
	2 students or more (2)	C2
Retired (D)	1 retired (1)	D1
	2 retired or more (2)	D2
Pensioners 1 (E)	1 or more (1)	E1
Pensioners 2 (F)	1 or more (1)	F1
Household chores (G)	1 or more (1)	G1
Others (H)	1 or more (1)	H1

In this way, three models are obtained that adjust to the characteristics of the household according to the number of members, the square meters of the dwelling and its equipment. In addition, the third model is also adapted to the occupations of the household members.

The results obtained in the first two models are contrasted with the other models or references in the current literature to validate that the calculated consumption was among those references, such as [9], [10], [11], [12] and [13].

The third model has been contrasted with the ECODES database of the "Ni un hogar sin energía" project, since, unlike the reports and articles mentioned above, this one has data referring to the occupation of the household members. The actual annual electricity consumption (CELR) of each of the 1650 households analyzed was compared with the theoretical electricity consumption (CELT) estimated using the Advanced Model 2.0. Two indicators were used for this comparison. Based on the results obtained, the following indicators have been analyzed: the first is the sample median of the CELR/CELT ratio and the second is the proportion of households whose CELR is lower than the corresponding CELT.

Once the models have been validated, the electricity expenditure of the average household is obtained through the average consumption calculated by the simplified and advanced models, applying the regulated tariff of PVPC 2.0A and 2.0DHA, prior to the new regulation of June 2021, and making a series of assumptions to estimate the contracted power.

Finally, a simulator has been developed in Excel and R that allows the calculation of the electricity consumption of households according to their size and the occupation of their members, as well as their expenditure according to the PVPC 2.0A and 2.0DHA tariffs.

### 3. Results

#### 3.1. Simplified Theoretical Expenditure Model

The average theoretical electricity consumption obtained by the Simplified Theoretical Expenditure Model has a value of 3031.67 kWh per year. The following table shows the consumption according to household size and broken down for the different household appliances, taking into account their penetration.

Table 5: Annual electricity consumption (kWh/year) domestic (CELT), according to the number of occupants and for the average household, following the simplified theoretical expenditure model.

SIMPLIFIED MODEL						
Nº occupants	1	2	3	4	More than 4	Average
Stove	227.86	394.95	417.74	474.70	558.25	<b>380.05</b>
Oven	37.75	65.43	69.20	78.64	92.48	<b>62.96</b>
Washing machine	209.83	262.29	332.23	384.69	437.14	<b>294.70</b>
Dryer	57.63	72.04	91.26	105.66	120.07	<b>80.95</b>
Refrigerator	748.80	748.80	748.80	748.80	748.80	<b>748.80</b>
Freezer	148.56	148.56	148.56	148.56	148.56	<b>148.56</b>
Lighting	167.02	334.05	501.07	668.09	835.12	<b>412.80</b>
TV	198.29	341.17	297.43	314.93	358.67	<b>291.85</b>
Computer	59.65	132.34	253.50	342.96	322.46	<b>186.43</b>
Dishwasher	117.80	139.22	160.64	192.77	203.48	<b>151.19</b>
Others	59.94	70.11	80.27	90.44	103.31	<b>75.05</b>
Stand-by	142.32	189.63	217.05	248.52	274.98	<b>198.33</b>
<b>Total</b>	<b>2175.45</b>	<b>2898.58</b>	<b>3317.75</b>	<b>3798.77</b>	<b>4203.33</b>	<b>3031.67</b>

In the comparison with the SECH-SPAHOUSEC [9] and Escobar et al. [10] reference models, the model has been adapted to the 2011 references [9], obtaining an overestimation of 10% and an underestimation of 1% respectively. While in comparison with current models such as “Informe Sintético de Indicadores de Eficiencia Energética (IEE) en España” [11], Informe anual de indicadores energéticos [12] and Informe anual de consumos energéticos [13] the average consumption is 5%, 11% and 11% below (underestimation). Therefore, this model is within a range of [-11%, 10%] with respect to the references, which shows a good estimation of the average household, although this deviation varies according to the different appliances.

### 3.2. Advanced Theoretical Expenditure Model

The Advanced Theoretical Expenditure Model allows a study of the appliances associated with the activities carried out by the respondents in the Time Use Survey [8] (kitchen, washing machine, dryer, dishwasher, television and computer) since it not only calculates their consumption, but also the average load curves throughout the day, as shown in the following figure that of the kitchen.

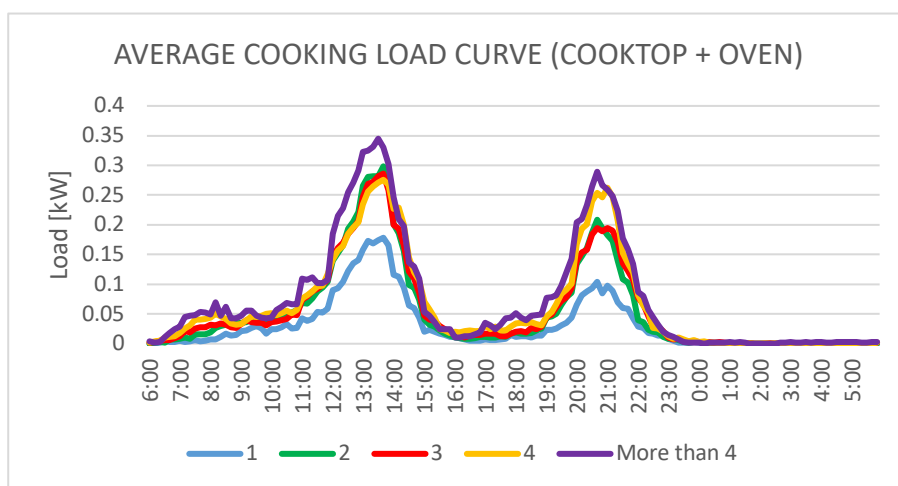


Figure 1: Average load curves throughout the day due to the use of the stove and oven, depending on the number of household members.

The average theoretical electricity consumption obtained from such model has a value of 3030.32 kWh per year, practically the same as the Simplified Theoretical Expenditure Model since they use the same power and frequency of use assumptions; and the simplified one uses the EET as a source to calculate some usage factors. The following table shows consumption by household size and broken down for the different household appliances, taking into account their ownership rate. The consumption of appliances not associated with the EET tasks are taken from the Simplified Model.

Table 6: Annual domestic electricity consumption (kWh/year), according to the number of occupants and for the average household, following the Advanced Model.

ADVANCED MODEL						
Nº occupants	1	2	3	4	Mas de 4	Media
Kitchen	266.58	458.97	485.03	552.08	650.55	442.21
Washing machine	209.83	262.29	332.23	384.69	437.17	294.70
Dryer	57.56	72.04	91.22	105.58	120.04	80.90
Refrigerator	748.80	748.80	748.80	748.80	748.80	748.80
Freezer	148.56	148.56	148.56	148.56	148.56	148.56
Lighting	167.02	334.05	501.07	668.09	835.12	412.80
TV	197.27	341.69	296.73	314.38	359.95	291.57
Computer	59.57	131.87	253.29	343.57	321.81	186.29
Dishwasher	117.80	139.22	160.64	192.77	203.48	151.19
Others	59.94	70.11	80.27	90.44	103.31	75.05
Stand-by	142.31	189.53	216.85	248.43	275.02	198.25
<b>Total</b>	<b>2175.24</b>	<b>2897.12</b>	<b>3314.70</b>	<b>3797.39</b>	<b>4203.81</b>	<b>3030.32</b>

The comparison of this model with the reference models SECH-SPAHOUSEC [9], Escobar et al. [10] and Informe Sintético de Indicadores de Eficiencia Energética (IEE) en España [11], has been carried out only for the appliances associated with the tasks associated with the EET, mentioned above, obtaining an overestimation with respect to the first two of 8% and 7% respectively and an underestimation of 1% with respect to the last one.

### 3.3. Advanced Theoretical Expenditure Model 2.0

Finally, the Advanced Theoretical Expenditure Model 2.0 calculates the theoretical electricity consumption also taking into account the occupation of the household members. For this purpose, adjustment factors associated with the possible occupations have been obtained, which will be added or subtracted to the average consumption value of each household size to obtain the average theoretical consumption. These factors are shown below:

Table 7: Factors calculated according to household size and occupancy type [kWh/year].

		Factores				
		1	2	3	4	Mas de 4
	Average consumption	2175.77	2897.54	3315.03	3797.93	4204.45
fxA1	F. With 1 employed	-159.48	-100.12	101.47	31.20	134.25
fxA2	F. With 2 employed	-	-242.16	-136.29	-125.21	-128.49
fxA3	F. With 3 or more employed	-	-	-82.71	317.90	173.63
fxB1	F. With 1 unemployed	263.53	26.17	128.69	112.44	-69.98
fxB2	F. With 2 or more unemployed	-	88.31	179.65	363.74	188.13
fxC1	F. With 1 student	-266.71	-68.23	-2.39	41.97	-143.42
fxC2	F. With 2 or more students	-	-438.96	-183.48	-95.06	2.12
fxD1	F. With 1 retired	-54.94	93.55	176.89	376.06	54.59
fxD2	F. With 2 or more retired	-	123.12	116.36	204.04	165.43
fxE1	F. With pensioner 1	83.52	21.23	173.91	364.98	416.19
fxF1	F. With pensioners 2	9.29	95.24	104.52	206.31	273.04
fxG1	F. With homeworkers	224.34	170.61	219.65	230.74	218.35
fxH1	F. With Others	-138.47	-278.65	-370.61	-430.56	40.46

Also such a model is able to obtain the average load curves throughout the day according to appliance type and occupancy type. An example of such a washing machine curve for two-person households with two employed, one unemployed, two retired and one student is shown below.

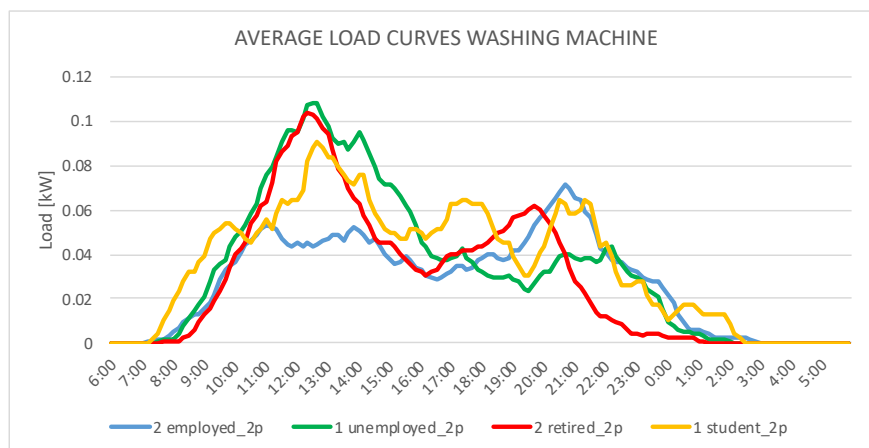


Figure 2: Average load curves throughout the day due to washing machine use for different household types with 2-person size.

The total consumptions by household type and size obtained in the Advanced Theoretical Expenditure Model 2.0 are shown in the following table and in the following figure:

Table 8: Total consumption by household type as a function of size Advanced Theoretical Expenditure Model 2.0.

	Total consumption by type of household				
	1	2	3	4	More than 4
Average consumption	2175.77	2897.54	3315.03	3797.93	4204.45
With 1 employed	2016.29	2797.42	3416.50	3829.12	4338.70
With 2 employed		2655.38	3178.75	3672.71	4075.96
With 3 or more employed			3232.32	4115.83	4378.08
With 1 unemployed	2439.30	2923.71	3443.72	3910.37	4134.47
With 2 or more unemployed		2985.85	3494.68	4161.66	4392.58
With 1 student	1909.07	2829.31	3312.64	3839.90	4061.03
With 2 or more students		2458.58	3131.55	3702.87	4206.57
With 1 retired	2120.84	2991.09	3491.92	4173.98	4259.03
With 2 or more retired		3020.67	3431.39	4001.96	4369.88
With 1 pensioner	2259.30	2918.77	3488.94	4162.90	4620.64
With pensioners 2	2322.48	2843.76	3403.48	3792.62	4359.63
With homeworkers	2400.12	3068.15	3534.68	4028.67	4422.80
With another situation of inactivity	2037.31	2618.90	2944.43	3367.36	4244.91

### 3.4. Simulator

The simulator made in both R and Excel includes a series of questions to the users to know the characteristics of the household through a drop-down menu, to calculate the electricity consumption of households according to their size and the occupation of the members. The Excel view of the simulator is shown below.

Number of household members	4	Theoretical annual consumption [kWh/year]	4425.63
Household size (m2)	121 to 140	Theoretical annual cost (PVPC 2.0A) [€/year]	815.94
<b>Occupations</b>		Annual theoretical cost (PVPC 2.0DHA) [€/year]	697.73
Employed	1		
Unemployed	1		
Student	1		
Retired or early retired	1		
Receiving a permanent disability or invalidity pension	0		
Receiving a widow's, widower's or orphan's pension	0		
Performing household chores	0		
Other situation of inactivity	0		
<b>Equipment</b>			
Electric stove (stove)	Yes		
Electric oven	Yes		
Washing machine	Yes		
Dryer	No		
Refrigerator	Yes		
Freezer	No		
TV	Yes		
Computer	Yes		
Dishwasher	Don't know		
Mobile	Yes		
Tablet	Yes		
Microwave	Don't know		

Figure 3: Excel simulator view. User interface.

### 3.5. Application of the Advanced Model 2.0 to the "Not a Household without Energy" project database.

The Advanced Theoretical Expenditure Model 2.0 has been contrasted with the database of the "Not a Household without Energy" program using the two indicators mentioned above CELR/CELT and CELR<CELT.

The actual electricity consumption of the households collected in the database was lower than the theoretical one, 2148 kWh per year versus 2575.96 kWh per year. The first indicator (CELR/CELT) indicates a model fit to actual consumption of 0.83, while the second indicator (CELR<CELT) indicates that 64% of the households have a lower actual consumption than the theoretical one and that they are potential vulnerable households.

A breakdown of household consumption by size shows that the median actual consumption in one-person households is slightly higher than theoretical consumption, but as the number of

household members increases, while actual consumption grows slightly, the increase is much greater in theoretical consumption.

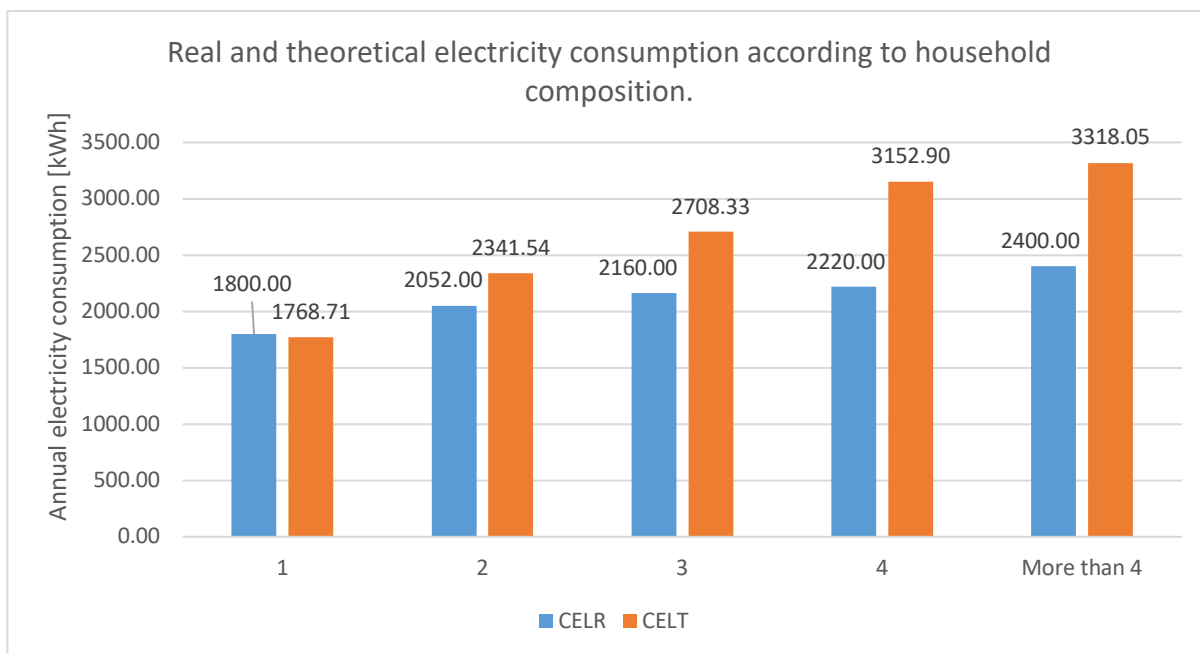


Figure 4: Medians of actual and theoretical electricity consumption [kWh/year] by household size.

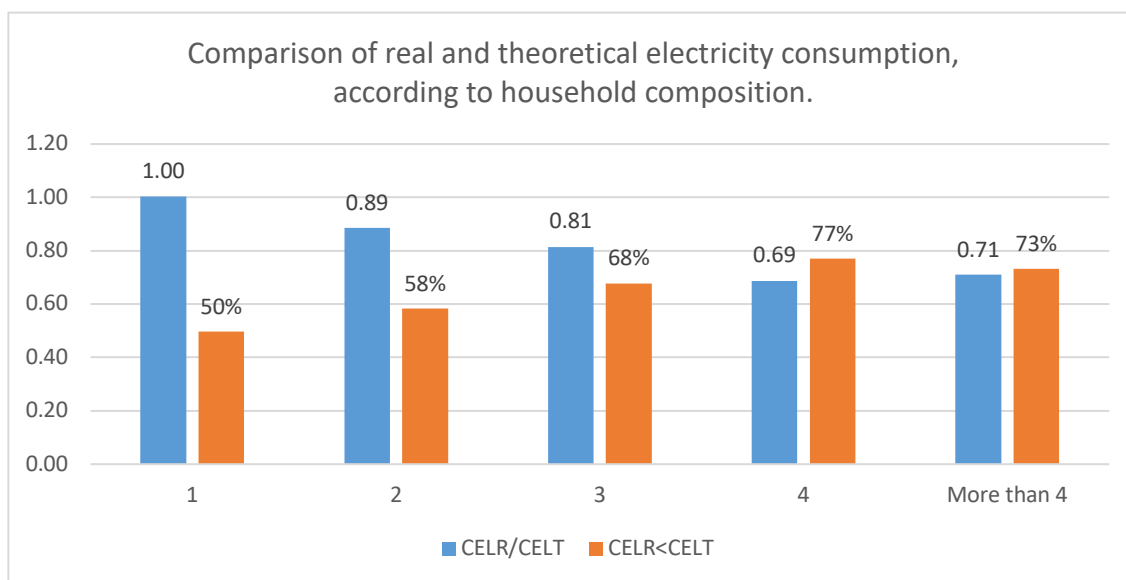


Figure 5: Comparison between median theoretical electricity consumption for the average household (CELT) and actual consumption (CELR), by household size.

Estos valores se deben principalmente a que la base de datos contiene los valores de hogares vulnerables, los cuales tienen presumiblemente un consumo eléctrico menor al teórico.



### 3.6. Obtaining the electricity cost from consumption

Finally, the electricity expenditure that a household must reach to satisfy its energy needs related to electricity (theoretical electricity expenditure, GELT), under the PVPC (before the change in the bill in June 2021), 2.0A and 2.0DHA (time discrimination) tariffs, has been calculated. The expense associated with electricity consumption under the Advanced Model is shown in the following table:

*Table 9: Average Theoretical Electric Expense under the Advanced Model as a function of the number of members and for the average household.*

Advanced Model						
Nº occupants	1	2	3	4	More than 4	Average
Annual consumption (kWh/year)	2175.24	2897.12	3314.70	3797.39	4203.81	3030.32
Contracted power (kW)	2.79	3.72	4.26	4.88	5.40	3.89
Annual cost PVPC 2.0A (€/year)	466.66	617.62	704.95	805.89	890.88	645.47
Annual cost PVPC 2.0DHA (€/year)	409.85	541.96	618.39	706.72	781.10	566.34

The electricity expenditure for an average household (2.5 members) estimated by the two models is about 646€ per year with tariff 2.0A and 567€ per year with tariff 2.0DHA. This value is between 467€ and 891 € per year for 1 and more than 4 members, respectively, under a tariff without time discrimination 2.0A, and 410 and 781 for 1 and more than 4 members respectively, with a tariff with time discrimination 2.0DHA. Therefore, it is estimated that they save 79€ per year by contracting the tariff with hourly discrimination.

## 4. Conclusions

The main conclusions that can be drawn from the work carried out are summarized in the following points:

- The annual theoretical electricity consumption estimated by the Simplified and Advanced models are 3031.67 kWh and 3030.32 kWh respectively. These values do not deviate more than 11% above or below the different references used.
- Although the Simplified and Advanced Theoretical Expenditure Models employ a different methodology to find the electricity consumption of both models, they obtain quite similar consumption because they use the same power assumptions, frequency of appliance use and household usage factor for their development.

- The analysis of the Advanced Theoretical Expenditure Model 2.0 reflects that households with employed, students and those in other idle status in general consume less electricity. While households with unemployed, retired, pensioners for permanent disability or invalidity, widows' or orphans' pensioners and those who perform household chores in general consume more energy.
- The application of the Advanced Theoretical Expenditure Model 2.0 to the ECODES "Not a Household Without Energy" program database shows that the model reproduces real household consumption relatively well, especially in single-person households; however, as the number of members increases, this adjustment decreases, mainly in four-member households. This may be mainly due to the fact that this database is mostly made up of vulnerable households.
- Therefore, the above comparison shows how the model can detect greater vulnerability in households as the number of members increases.
- The electricity expenditure for an average household (2.5 members) is estimated at around 646€ per year with a tariff without time discrimination, while those who opt for a tariff with time discrimination will spend approximately 79€ less, 567€, following the tariff scheme in force until June 2021.

## **5. References**

- [1] H. Thomson y S. Bouzarovski, «Addressing Energy Poverty in the European Union: State of Play and Action,» EU Energy Poverty Observatory , 2018.
- [2] N. DellaValle, «People's decisions matter: understanding and addressing Energy Poverty with Behavioral Economics,» Energy and Buildings, 2019.
- [3] N. DellaValle y S. Sareen, «Nudging and boosting for equity? Towards a behavioural economics of energy justice,» Energy Research & Social Science, 2020.
- [4] Arenas Pinilla, Eva; Barrella, Roberto; Lineares, Jose Ignacio; Romero Mora, Jose Carlos, «Caracterización del comportamiento energético en una muestra de hogares españoles,» 2019.
- [5] ECODES, «Ni un hogar sin energía,» [En línea]. Available: <https://niunhogarsinenergia.org/>.

- [6] E. Arenas Pinilla, R. Barrella, Á. Cosín López-Medel, J. I. Linares Hurtado, J. C. Romero Mora, C. Foronda Díez y L. Díez Alzueta, «Desarrollo de un modelo de cálculo de gasto eléctrico teórico en los hogares españoles,» ECODES, Madrid, 2020.
- [7] R. Barrella, A. Cosin, E. Arenas, J.I. Linares, J.C. Romero, E. Centeno, Modeling and analysis of electricity consumption in Spanish vulnerable households, 2021 IEEE Madrid PowerTech, PowerTech 2021 - Conf. Proc. (2021). <https://doi.org/10.1109/PowerTech46648.2021.9494785>.
- [8] «Encuesta de Empleo de tiempo,» INE, 2010. [En línea]. Available: [https://www.ine.es/prensa/eet\\_prensa.htm](https://www.ine.es/prensa/eet_prensa.htm).
- [9] Secretaría General. Departamento de Planificación y Estudios. , «Proyecto Sech - Spahousec. Análisis del consumo energético del sector residencial en España,» IDAE , 2011.
- [10] P. Escobar, E. Martínez, J. Saenz-Díez, E. Jiménez y J. Blancoa, «Modeling and analysis of the electricity consumption profile of the residential sector in Spain,» Energy & Buildings, 2020.
- [11] Departamento de Planificación y Estudios. IDAE, «Informe sintético de indicadores de eficiencia energética en España. Año 2018,» IDAE, vol. 4ª Edición, 2020.
- [12] IDAE, «Informe anual de indicadores energéticos. Año 2018.,» Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, IDAE.
- [13] IDAE, «Informe anual de consumos energético. Evolución 2010-2018.,» Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, IDAE, vol. 11, 2020.
- [14] «Objetivos de Desarrollo Sostenible,» [En línea]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>.
- [15] Ministerio para la Transición Ecológica, «Estrategia Nacional Contra la Pobreza Energética 2019-2014,» [En línea]. Available: [https://www.miteco.gob.es/es/prensa/estrategianacionalcontralapobrezaenergetica2019-2024\\_tcm30-496282.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/prensa/estrategianacionalcontralapobrezaenergetica2019-2024_tcm30-496282.pdf).

- [16] S. Bouzarovski y S. Petrova, «A global perspective on domestic energy deprivation: Overcoming the energy poverty–fuel poverty binary,» *Energy Research & Social Science*, 2015.
- [17] S. Pye y A. Dobbins, «Energy poverty and vulnerable consumers in the energy sector across the EU: analysis of policies and measures,» *Insightenergy*, 2015.
- [18] A. Boeri, V. Gianfrate, S. O. Murielle Boulanger y M. Massari, «Future Design Approaches for Energy Poverty: Users Profiling and Services for No-Vulnerable Condition,» *Energies*, 2020.
- [19] Ministerio de Fomento, «Código Técnico de Edificación,» Ministerio de Fomento, 2019.
- [20] Departamento de Planificación y Estudios - IDAE, «Estudio SPAHOUSEC II. Análisis estadístico del consumo de gas natural en las viviendas principales con calefacción individual.,» IDAE, Madrid, 2019.

## ÍNDICE

<b><u>1. INTRODUCCIÓN.....</u></b>	<b><u>2</u></b>
1.1. ESTADO DEL ARTE .....	4
1.2. MOTIVACIÓN.....	10
1.3. OBJETIVOS DEL PROYECTO .....	10
1.4. ALINEACIÓN CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE .....	1
1.5. METODOLOGÍA DE TRABAJO .....	12
1.6. RECURSOS A EMPLEAR .....	13
<b><u>2. MODELIZACIÓN Y ANÁLISIS DEL CONSUMO ELÉCTRICO EN LOS HOGARES .....</u></b>	<b><u>14</u></b>
2.1. MODELOS UTILIZADOS POR LA LITERATURA. ....	14
2.2. FUENTES DE CONSUMO DE LOS HOGARES .....	18
2.3. FACTORES QUE AFECTAN AL CONSUMO ELÉCTRICO EN LOS HOGARES.....	19
<b><u>3. MODELO DE GASTO TEÓRICO SIMPLIFICADO.....</u></b>	<b><u>21</u></b>
3.1. DESCRIPCIÓN DEL MODELO.....	21
3.1.1. COCINA (PLACA DE COCINA Y HORNO) .....	23
3.1.2. LAVADORA .....	26
3.1.3. SECADORA .....	27
3.1.4. FRIGORÍFICO .....	28
3.1.5. CONGELADOR .....	28
3.1.6. ILUMINACIÓN .....	29
3.1.7. LAVAVAJILLAS .....	32
3.1.8. TELEVISIÓN .....	33
3.1.9. ORDENADOR .....	34
3.1.10. OTROS .....	35
3.1.11. STAND-BY .....	37
3.2. CONSUMO MEDIO POR HOGAR ESTIMADO POR EL MODELO TEÓRICO SIMPLIFICADO.....	37
3.3. COMPARACIÓN CON OTROS MODELOS/DATOS .....	40

3.3.1.	COMPARACIÓN DEL MODELO TEÓRICO SIMPLIFICADO CON SECH-SPAHOUSEC .....	40
3.3.2.	COMPARACIÓN DEL MODELO TEÓRICO CON EL MODELO DE ESCOBAR ET AL. ....	42
3.3.3.	COMPARACIÓN DEL MODELO DE GASTO TEÓRICO SIMPLIFICADO CON DATOS ESTADÍSTICOS OFICIALES	
	44	
<b>4.</b>	<b><u>MODELO DE GASTO TEÓRICO AVANZADO .....</u></b>	<b>46</b>
4.1.	DESCRIPCIÓN DEL MODELO .....	47
4.1.1.	COCINA (PLACA DE COCINA + HORNO) .....	48
4.1.2.	LAVAVAJILLAS .....	49
4.1.3.	LAVADORA .....	50
4.1.4.	SECADORA .....	52
4.1.5.	TELEVISIÓN .....	53
4.1.6.	ORDENADOR .....	55
4.2.	CONSUMO MEDIO POR HOGAR ESTIMADO POR EL MODELO AVANZADO .....	56
4.3.	COMPARACIÓN CON OTROS MODELOS/DATOS .....	57
4.4.	COMPARACIÓN SEGÚN EL NÚMERO DE MIEMBROS DEL HOGAR .....	58
4.4.1.	COCINA Y HORNO .....	58
4.4.2.	LAVAVAJILLAS .....	58
4.4.3.	LAVADORA .....	59
4.4.4.	SECADORA .....	59
4.4.5.	TELEVISIÓN .....	59
4.4.6.	ORDENADOR .....	60
4.5.	COMPARACIÓN DEL MODELO AVANZADO CON SECH-SPAHOUSEC.....	60
4.6.	COMPARACIÓN DEL MODELO AVANZADO CON EL MODELO DE ESCOBAR ET AL. ....	61
4.7.	COMPARACIÓN DEL MODELO AVANZADO CON LOS DATOS DEL IEE.....	62
4.8.	COMPARACIÓN DEL MODELO AVANZADO CON EL MODELO SIMPLIFICADO.....	63
<b>5.</b>	<b><u>MODELO DE GASTO TEÓRICO AVANZADO 2.0 .....</u></b>	<b>64</b>
5.1.	DESCRIPCIÓN DEL MODELO .....	66
5.2.	CONSUMO TOTAL SEGÚN LA OCUPACIÓN DE LOS MIEMBROS DE LOS HOGARES.....	70
5.2.1.	OCUPACIÓN – OCUPADO/A .....	70

5.2.2.	OCUPACIÓN – PARADO/A .....	72
5.2.3.	OCUPACIÓN – ESTUDIANTES .....	74
5.2.4.	OCUPACIÓN – JUBILADOS.....	75
5.2.5.	OCUPACIÓN – COBRANDO UNA PENSIÓN DE INCAPACIDAD PERMANENTE O INVALIDEZ.....	77
5.2.6.	OCUPACIÓN – COBRANDO UNA PENSIÓN DE VIUDEDAD U ORFANDAD .....	79
5.2.7.	OCUPACIÓN – REALIZANDO TAREAS DEL HOGAR .....	80
5.2.8.	OCUPACIÓN – OTRA SITUACIÓN DE INACTIVIDAD .....	82
5.3.	FACTORES DEL MODELO AVANZADO 2.0. ....	84
5.4.	CURVAS DE CARGA DE MEDIA POR TIPO DE HOGAR .....	86
5.5.	CONSUMOS TOTALES POR TIPO DE HOGAR.....	87
5.6.	SIMULADOR DEL CONSUMO ELÉCTRICO .....	89
<b>6.</b>	<b><u>APLICACIÓN DEL MODELO AVANZADO 2.0 A LA BASE DE DATOS DEL PROYECTO “NI UN HOGAR SIN ENERGÍA” .....</u></b>	<b><u>91</u></b>
6.1.	DESCRIPCIÓN DE LA BASE DE DATOS .....	91
6.2.	RESULTADOS OBTENIDOS .....	93
6.3.	COMPARACIÓN POR TIPO DE HOGAR .....	96
6.4.	CONCLUSIONES DE LA APLICACIÓN DEL MODELO AVANZADO 2.0 A LA BASE DE DATOS DEL PROYECTO “NI UN HOGAR SIN ENERGÍA” .....	99
<b>7.</b>	<b><u>OBTENCIÓN DEL GASTO ELÉCTRICO A PARTIR DEL CONSUMO .....</u></b>	<b><u>101</u></b>
7.1.	GASTO ELÉCTRICO TEÓRICO MEDIO ESTIMADO POR EL MODELO SIMPLIFICADO .....	102
7.2.	GASTO ELÉCTRICO TEÓRICO MEDIO ESTIMADO POR EL MODELO AVANZADO .....	103
<b>8.</b>	<b><u>CONCLUSIONES.....</u></b>	<b><u>104</u></b>
8.1.	TRABAJO FUTURO .....	106
<b>9.</b>	<b><u>BIBLIOGRAFÍA .....</u></b>	<b><u>107</u></b>
	<b><u>ANEXO I .....</u></b>	<b><u>1</u></b>

## **Tabla de figuras**

<b>Figura 1: Curvas de carga media a lo largo del día debidas al uso de la cocina y el horno, en función del número de miembros del hogar.</b>	<b>49</b>
<b>Figura 2: Curvas de carga media a lo largo del día debidas al uso del lavavajillas, en función del número de miembros del hogar.</b>	<b>50</b>
<b>Figura 3: Curvas de carga media a lo largo del día debidas al uso de la lavadora, en función del número de miembros del hogar.</b>	<b>51</b>
<b>Figura 4: Curvas de carga media a lo largo del día debidas al uso de la secadora, en función del número de miembros del hogar.</b>	<b>53</b>
<b>Figura 5: Curvas de carga media a lo largo del día debidas al uso de la televisión, en función del número de miembros del hogar.</b>	<b>54</b>
<b>Figura 6: Curvas de carga media a lo largo del día debidas al uso del ordenador, en función del número de miembros del hogar.</b>	<b>55</b>
<b>Figura 7: Consumos totales por tamaño de hogar [kWh/año], según el tipo de ocupación Ocupado/a</b>	<b>71</b>
<b>Figura 8: Diferencias de consumo con respecto al hogar medio, según el tamaño del hogar y el tipo de ocupación Ocupado/a.</b>	<b>71</b>
<b>Figura 9: Consumos totales por tamaño de hogar [kWh/año], según el tipo de ocupación "Parado/a"</b>	<b>73</b>
<b>Figura 10: Diferencias de consumo con respecto al hogar medio, según el tipo de ocupación "Parado/a".</b>	<b>73</b>
<b>Figura 11: Consumos totales por tamaño de hogar [kWh/año], según el tipo de ocupación "Estudiantes".</b>	<b>74</b>
<b>Figura 12: Diferencias de consumo con respecto al hogar medio, según el tipo de ocupación Estudiantes.</b>	<b>75</b>
<b>Figura 13: Consumos totales por tipo de hogar [kWh/año], según el tipo de ocupación Jubilados.</b>	<b>76</b>
<b>Figura 14: Diferencias de consumo con respecto al hogar medio, según el tipo de ocupación Jubilados.</b>	<b>77</b>
<b>Figura 15: Consumos totales por tamaño de hogar [kWh/año], según el tipo de ocupación "pensionistas de incapacidad permanente o invalidez".</b>	<b>78</b>
<b>Figura 16: Diferencias de consumo con respecto al hogar medio, según el tipo de ocupación pensionistas de incapacidad permanente o invalidez.</b>	<b>78</b>
<b>Figura 17: Consumos totales por tipo de hogar [kWh/año], según el tipo de ocupación pensionistas por viudedad u orfandad.</b>	<b>79</b>
<b>Figura 18: Diferencias de consumo con respecto al hogar medio, según el tipo de ocupación pensionistas por viudedad u orfandad.</b>	<b>80</b>



<b>Figura 19: Consumos totales por tamaño de hogar [kWh/año], según el tipo de ocupación de personas que realizan tareas del hogar.</b>	<b>81</b>
<b>Figura 20: Diferencias de consumo con respecto al hogar medio, según el tipo de ocupación de personas que realizan tareas del hogar.</b>	<b>81</b>
<b>Figura 21: Consumos totales por tamaño de hogar [kWh/año], según el tipo de ocupación de personas que se encuentran en otra situación de inactividad.</b>	<b>83</b>
<b>Figura 22: Diferencias de consumo con respecto al hogar medio, según el tipo de ocupación de personas que se encuentran en otra situación de inactividad.</b>	<b>83</b>
<b>Figura 23: Curvas de carga media a lo largo del día debidas al uso de la cocina (placa de cocina + horno) para diferentes tipos de hogares con tamaño de 2 personas.</b>	<b>86</b>
<b>Figura 24: Curvas de carga media a lo largo del día debidas al uso de la lavadora para diferentes tipos de hogares con tamaño de 2 personas.</b>	<b>87</b>
<b>Figura 25: Consumos totales por tipo de hogar en función del tamaño.</b>	<b>88</b>
<b>Figura 26: Vista simulador Excel. Interfaz usuario.</b>	<b>90</b>
<b>Figura 27: Medianas de consumo eléctrico teórico (CELT) y del consumo real (CELR).</b>	<b>94</b>
<b>Figura 28: Comparación entre las medianas de consumo eléctrico teórico para el hogar medio (CELT) y del consumo real (CELR).</b>	<b>94</b>
<b>Figura 29: Medianas de consumo eléctrico real y teórico [kWh/año] según el tamaño de los hogares.</b>	<b>95</b>
<b>Figura 30: Comparación entre las medianas de consumo eléctrico teórico para el hogar medio (CELT) y del consumo real (CELR), según el tamaño de los hogares.</b>	<b>96</b>
<b>Figura 31: Medianas de consumo eléctrico teórico (CELT) y del consumo real (CELR). Hogares con un parado. Hogares con un parado.</b>	<b>97</b>
<b>Figura 32: Comparación entre las medianas de consumo eléctrico teórico para el hogar medio (CELT) y del consumo real (CELR). Hogares con un parado.</b>	<b>97</b>
<b>Figura 33: Medianas de consumo eléctrico real y teórico [kWh/año] según el tamaño de los hogares. Hogares con un parado.</b>	<b>98</b>
<b>Figura 34: Comparación entre las medianas de consumo eléctrico teórico para el hogar medio (CELT) y del consumo real (CELR), según el tamaño de los hogares.</b>	<b>99</b>

## **Índice de tablas**

<b>Tabla 1: Resumen de los datos de la Encuesta continua de hogares 2019 [32] (izquierda). Agrupación realizada para este estudio (derecha).</b>	<b>23</b>
<b>Tabla 2: Factor de uso extraído de la EET para la placa de cocina y horno.</b>	<b>24</b>
<b>Tabla 3: Consumo anual (kWh/año) de las cocinas según tecnología, con las hipótesis consideradas.</b>	<b>25</b>

<b>Tabla 4: Porcentaje de cocinas que funcionan con electricidad según tecnología sobre el absoluto en España y sobre el total de placa de cocinas eléctricas [21].</b>	<b>25</b>
<b>Tabla 5: Obtención del consumo anual de las placas de cocina (kWh/año) en función del tamaño según el modelo de gasto simplificado.</b>	<b>25</b>
<b>Tabla 6: Obtención del consumo anual del horno (kWh/año), en función del tamaño y para el hogar medio, según el modelo de gasto teórico simplificado.</b>	<b>26</b>
<b>Tabla 7: Obtención del consumo anual de la cocina (kWh/año), en función del tamaño y para el hogar medio.</b>	<b>26</b>
<b>Tabla 8: Obtención del consumo anual de la lavadora (kWh/año) en función del tamaño según el modelo de gasto teórico simplificado.</b>	<b>27</b>
<b>Tabla 9: Obtención del consumo anual de la secadora (kWh/año), en función del tamaño, según el modelo de gasto teórico simplificado.</b>	<b>27</b>
<b>Tabla 10: Obtención del consumo anual del frigorífico (kWh/año), según el modelo de gasto teórico simplificado.</b>	<b>28</b>
<b>Tabla 11: Obtención del consumo anual del congelador (kWh/año), según el modelo de gasto teórico simplificado.</b>	<b>29</b>
<b>Tabla 12: Número medio de bombillas [21] y su hipótesis de potencia de cada tipo.</b>	<b>30</b>
<b>Tabla 13: Horas de luz en verano e invierno por bombilla.</b>	<b>30</b>
<b>Tabla 14: Consumo eléctrico anual (kWh) producido por bombillas estándar, según el tamaño y para el hogar medio.</b>	<b>30</b>
<b>Tabla 15: Consumo eléctrico anual (kWh) producido por bombillas halógenas, según el tamaño y para el hogar medio.</b>	<b>31</b>
<b>Tabla 16: Consumo eléctrico anual (kWh) producido por bombillas de bajo consumo, según el tamaño y para el hogar medio.</b>	<b>31</b>
<b>Tabla 17: Consumo eléctrico anual (kWh) producido por bombillas fluorescentes, según el tamaño y para el hogar medio.</b>	<b>31</b>
<b>Tabla 18: Consumo eléctrico anual (kWh) producido por bombillas LED, según el tamaño y para el hogar medio.</b>	<b>32</b>
<b>Tabla 19: Consumo eléctrico anual (kWh) producido por el total de iluminación, según el tamaño y para el hogar medio.</b>	<b>32</b>
<b>Tabla 20: Consumo eléctrico anual (kWh) producido por el lavavajillas, según el tamaño y para el hogar medio según el modelo de gasto teórico simplificado.</b>	<b>33</b>
<b>Tabla 21: Factor de uso extraído de la EET para la televisión.</b>	<b>34</b>
<b>Tabla 22: Consumo eléctrico anual (kWh) producido por la televisión, según el tamaño y para el hogar medio, según el modelo de gasto teórico simplificado.</b>	<b>34</b>
<b>Tabla 23: Factor de uso extraído de la EET para el ordenador.</b>	<b>35</b>

<b>Tabla 24: Consumo eléctrico anual (kWh) producido por el ordenador, según el tamaño y para el hogar medio según el modelo de gasto teórico simplificado.</b>	<b>35</b>
<b>Tabla 25: Consumo eléctrico anual (kWh) producido por recarga de móviles, según el tamaño y para el hogar medio según el modelo de gasto teórico simplificado.</b>	<b>36</b>
<b>Tabla 26: Consumo eléctrico anual (kWh) producido por la recarga de tablets, según el tamaño y para el hogar medio según el modelo de gasto teórico simplificado.</b>	<b>36</b>
<b>Tabla 27: Consumo eléctrico anual (kWh) producido por el microondas, según el tamaño y para el hogar medio según el modelo de gasto teórico simplificado.</b>	<b>37</b>
<b>Tabla 28: Consumo eléctrico anual (kWh) considerado en el apartado “Otros”, según el tamaño y para el hogar medio según el modelo de gasto teórico simplificado.</b>	<b>37</b>
<b>Tabla 29: Hipótesis de potencia y frecuencia de uso de los aparatos.</b>	<b>38</b>
<b>Tabla 30: Hipótesis de factores de uso (FU) de los aparatos en función del tamaño del hogar.</b>	<b>38</b>
<b>Tabla 31: Penetración de los diferentes dispositivos y fuentes utilizadas.</b>	<b>39</b>
<b>Tabla 32: Consumo eléctrico anual (kWh/año) doméstico (CELT), según el número de ocupantes y para el hogar medio, siguiendo el modelo de gasto teórico simplificado.</b>	<b>40</b>
<b>Tabla 33: Penetración en 2011 de los diferentes dispositivos y fuente utilizada.</b>	<b>41</b>
<b>Tabla 34: Numero de miembros (tamaño) de los hogares españoles en 2011 según SECH-SPAHOUSEC [16].</b>	<b>41</b>
<b>Tabla 35: Consumo eléctrico anual (kWh/año) doméstico en 2011, según el número de ocupantes y para el hogar medio, siguiendo el modelo de gasto teórico simplificado.</b>	<b>41</b>
<b>Tabla 36: Resultados del modelo de gasto teórico simplificado comparado con los del informe SECH-SPAHOUSEC [16], desglosados para cada dispositivo y total para un hogar medio (2.7 ocupantes y 102.4 m<sup>2</sup>)</b>	<b>42</b>
<b>Tabla 37: Resultados del modelo de gasto teórico simplificado comparado con los obtenidos por Escobar et al. [17], desglosados para cada dispositivo y total para un hogar medio 2.7 ocupantes y 102.4 m<sup>2</sup>).</b>	<b>43</b>
<b>Tabla 38: Resultados del modelo de gasto teórico simplificado comparado con las diferentes fuentes estadísticas desglosados para cada dispositivo y total para un hogar medio (2.5 personas y 103.7 m<sup>2</sup>).</b>	<b>45</b>
<b>Tabla 39: Tamaño de los hogares en la EET 2010 [15].</b>	<b>46</b>
<b>Tabla 40: Consumo eléctrico anual (kWh) producido por el uso de la cocina y el horno, en función del número de miembros del hogar.</b>	<b>48</b>
<b>Tabla 41: Frecuencia de uso de lavavajillas, en función del numero de miembros del hogar.</b>	<b>49</b>
<b>Tabla 42: Consumo eléctrico anual (kWh) producido por el uso de lavavajillas, en función del número de miembros del hogar.</b>	<b>50</b>
<b>Tabla 43: Frecuencia de uso de la lavadora, en función del número de miembros del hogar.</b>	<b>51</b>

<b>Tabla 44: Consumo eléctrico anual (kWh) producido por el uso de la lavadora, en función del número de miembros del hogar.</b>	<b>51</b>
<b>Tabla 45: Frecuencia de uso de la secadora, en función del número de miembros del hogar.</b>	<b>52</b>
<b>Tabla 46: Frecuencia de uso de la televisión, en función del número de miembros del hogar.</b>	<b>54</b>
<b>Tabla 47: Frecuencia de uso del ordenador, en función del número de miembros del hogar.</b>	<b>55</b>
<b>Tabla 48: Hipótesis de potencia y tiempo de ciclo del Modelo Avanzado.</b>	<b>56</b>
<b>Tabla 49: Consumo eléctrico anual (kWh/año) doméstico, según el número de ocupantes y para el hogar medio, siguiendo el Modelo Avanzado.</b>	<b>57</b>
<b>Tabla 50: Consumo eléctrico anual (kWh) producido por el uso de la cocina y el horno según el modelo de Escobar [17] y el Avanzado, en función del tamaño.</b>	<b>58</b>
<b>Tabla 51: Consumo eléctrico anual (kWh) producido por el uso del lavavajillas según el modelo de Escobar [17] y el Avanzado, en función del tamaño.</b>	<b>58</b>
<b>Tabla 52: Consumo eléctrico anual (kWh) producido por el uso de la lavadora según el modelo de Escobar [17] y el Avanzado, en función del tamaño.</b>	<b>59</b>
<b>Tabla 53: Consumo eléctrico anual (kWh) producido por el uso de la televisión según los modelos Escobar [17] y Avanzado, en función del tamaño.</b>	<b>59</b>
<b>Tabla 54: Consumo eléctrico anual (kWh) producido por el uso del ordenador según los modelos Escobar [17] y Avanzado, en función del tamaño.</b>	<b>60</b>
<b>Tabla 55: Consumo eléctrico anual (kWh/año) doméstico en 2011, según el número de ocupantes y para el hogar medio, siguiendo el modelo de gasto teórico Avanzado.</b>	<b>61</b>
<b>Tabla 56: Resultados del Modelo Avanzado comparado con los incluidos en el informe SECH-SPAHOUSEC [16], desglosados para cada dispositivo.</b>	<b>61</b>
<b>Tabla 57: Resultados del Modelo Avanzado comparado con el Modelo de Escobar et al. [13], desglosados para cada dispositivo.</b>	<b>62</b>
<b>Tabla 58: Resultados del Modelo Avanzado comparado con los datos recogidos en el IEE 2018 [18], desglosados para cada dispositivo.</b>	<b>63</b>
<b>Tabla 59: Resultados del Modelo Avanzado comparado con el Modelo Simplificado, desglosados para cada dispositivo.</b>	<b>63</b>
<b>Tabla 60: Hogares según la ocupación de los miembros.</b>	<b>65</b>
<b>Tabla 61: Número de hogares según su tamaño y ocupación.</b>	<b>65</b>
<b>Tabla 62: Cálculo del número mínimo de hogares para calcular su consumo según las ocupaciones de sus miembros.</b>	<b>67</b>
<b>Tabla 63: Tablas de tipo de ocupación.</b>	<b>68</b>
<b>Tabla 64: Consumo eléctrico anual [kWh/año]de aparatos o electrodomésticos que no dependen de la ocupación.</b>	<b>85</b>
<b>Tabla 65: Factores calculados según la tamaño de los hogares y el tipo de ocupación [kWh/año]</b>	<b>85</b>

<b>Tabla 66: Consumo total por tipo de hogar en función del tamaño.</b>	<b>88</b>
<b>Tabla 67: Respuestas de los desplegables.</b>	<b>89</b>
<b>Tabla 68: Datos para el cálculo del gasto eléctrico a partir del consumo y de la potencia contratada.</b>	<b>102</b>
<b>Tabla 69: Gasto Eléctrico Teórico medio según el Modelo Simplificado en función del tamaño.</b>	<b>102</b>
<b>Tabla 70: Gasto Eléctrico Teórico medio según el Modelo Avanzado en función del número de miembros y para el hogar medio.</b>	<b>103</b>

## **Nomenclatura**

CELT	Consumo eléctrico teórico según Modelo Simplificado
CELTa	Consumo eléctrico teórico según Modelo Avanzado
CTE	Código Técnico de la Edificación
EET	Encuesta de Empleo de Tiempo
EN	Estrategia Nacional contra la Pobreza Energética 2019-2024
GELT	Gasto eléctrico teórico
GTR	Gasto térmico requerido (para una vivienda, suministro e instalaciones estándar). Definido en la Estrategia Nacional contra la Pobreza Energética 2019-2024.
GTT	Gasto térmico teórico (adaptado a las características reales de la vivienda)

## **1. Introducción**

La pobreza energética doméstica, es decir la falta de asequibilidad de la energía necesaria a los hogares para cubrir sus necesidades básicas, es un problema presente en España y en la Unión Europea, donde se estima que cerca de 50 millones de personas están en dicha situación [1]. Otro problema presente en el panorama europeo y mundial es el cambio climático, por lo que el uso eficiente de la energía es fundamental para hacer frente a ambas situaciones.

Este proyecto se centra en el primero de los problemas, la pobreza energética, concretamente en España, donde precisamente el artículo 47 de la Constitución recoge el derecho a gozar de una vivienda digna y adecuada y el artículo 43.1 el derecho a la protección de la salud. Para poder salvaguardar esos derechos, es fundamental garantizar un nivel de suministro de energía adecuado, asequible y limpio, fin que se encuentra alineado con el ODS 7 definido en la Agenda 2030 de las Naciones Unidas como “Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna” [2].

Ante el panorama en el que nos encontramos surge la necesidad de elaborar estrategias y planes que permitan tanto garantizar esos derechos como afrontar la pobreza energética y el cambio climático. Para ello es necesario, tal y como indica la Estrategia Nacional contra la Pobreza Energética (EN) [3], profundizar en el conocimiento del consumo energético requerido por los hogares españoles atendiendo a variables como la tipología de vivienda, las características constructivas, el equipamiento para climatización, iluminación y agua caliente sanitaria, los aparatos electrodomésticos, la zona climática, las características socioeconómicas: número de ocupantes, edad, renta, ocupación, etc.

Para poder diseñar e implantar unas estrategias de forma efectiva para luchar contra ambos problemas, es prioritario realizar una caracterización energética de los hogares españoles y el desarrollo de modelos de predicción del gasto energético en sus viviendas, objetivo de este proyecto. Con ese objetivo, ECODES y la Cátedra de Energía y Pobreza de la Universidad Pontificia Comillas realizaron en 2019 el estudio denominado “Caracterización del comportamiento energético en una muestra de hogares españoles” [4].

En ese trabajo se desarrolló un modelo de demanda térmica que permite calcular el gasto térmico teórico (GTT), así como el requerido definido según la Estrategia Nacional (GTR). Este proyecto surge como continuación de este último ya que se considera necesario realizar un modelo que permita obtener el gasto eléctrico teórico (GELT) que, sumándolo al anterior, lleve a disponer del gasto energético teórico, que permitirá tener una referencia del gasto en el que debería incurrir un hogar para poder tener sus necesidades energéticas cubiertas.

Por lo que este proyecto se centrará en la realización de un modelo de gasto eléctrico teórico en función de la superficie de la vivienda y otros parámetros de la composición del hogar como el número de miembros o su ocupación. Para la validación de dicho modelo se utilizará la base de datos del programa «Ni un hogar sin energía» de ECODES [5], que recoge información sobre las características y usos de la energía de una muestra de hogares españoles. Este modelo servirá de referencia para poder identificar y elaborar medidas de prevención de la pobreza energética.

El desarrollo de este proyecto en colaboración con la Cátedra de Energía y Pobreza de la Universidad Pontificia Comillas ha servido de base para la elaboración un informe para ECODES que recoge el gasto eléctrico teórico de los hogares [6] así como un artículo de modelización y análisis de la electricidad consumida por los hogares españoles [7].

Además, para remediar la situación de vulnerabilidad energética en la que se encuentran atrapados un porcentaje significativo de los hogares españoles (entre un 6.6% y un 16.7% en 2019, según los diferentes indicadores), la Estrategia Nacional contra la Pobreza energética plantea otras líneas de actuación. Concretamente, la línea 4 versa sobre la mejora de los mecanismos de subsidio existentes. Estos subsidios se dividen en la actualidad en dos: (1) un bono social eléctrico, que consiste en un descuento en la factura eléctrica en función del nivel de vulnerabilidad (25% para consumidores vulnerables y 40% para vulnerables severos) y que se aplica a un determinado nivel de consumo en función de la tipología de unidad familiar; y (2) un bono social térmico que, en este caso, se vehicula como una transferencia directa por una cuantía que depende de la zona climática.

El presente estudio se puede enmarcar también dentro de esta línea de actuación número 4, y más concretamente en la mejora del bono social eléctrico. Confiamos en que el



análisis que aquí se desarrolla ayude a afinar el diseño de esta herramienta paliativa, reconvirtiéndola quizás en una garantía de suministro mínimo vital definida sobre la base del consumo teórico de los hogares.

Este trabajo por un lado hará referencia a la literatura en la que se enmarca este proyecto sobre la pobreza energética en el capítulo 1, posteriormente en el capítulo 2 se hará referencia a los diferentes modelos desarrollados por la literatura, así como las fuentes de consumo de energía y los factores para tener en cuenta a la hora de desarrollar los modelos. En el capítulo 3, 4 y 5 se describen los modelos Simplificado, Avanzado y Avanzado 2.0 respectivamente, describiéndose las hipótesis adoptadas y el consumo eléctrico medio según la composición de los hogares. En el capítulo 6 se realiza una comparación de los resultados obtenidos en el Modelo Avanzado 2.0 con la base de datos del programa "Ni un hogar sin energía" desarrollado por ECODES. Posteriormente en el capítulo 7 se calcula el gasto de los hogares bajo unas tarifas con y sin discriminación horaria. En el capítulo 8 se resumen las conclusiones más notables del proyecto. Por último, en el capítulo 9 se recogen las referencias.

### **1.1. Estado del arte**

El acceso insuficiente a servicios energéticos asequibles, seguros y fiables impide a las personas llevar una vida satisfactoria. Este problema se encuentra cada vez más presente en la sociedad y afecta principalmente a hogares con bajos ingresos que no son capaces de hacer frente a los costes energéticos, lo que puede llevar a desigualdad social [8] [9].

El término de pobreza energética se ha utilizado tradicionalmente para explicar los problemas de acceso a la energía en los países en vías de desarrollo, lo que implica una serie de preocupaciones de infraestructura, equidad social, educación y salud [10]. Estos estudios se centran en la necesidad de ampliar la cobertura de redes eléctricas a zonas rurales para hacer frente a los obstáculos económicos, sociales y técnicos para el acceso a la energía moderna por falta de infraestructuras.

Actualmente no hay una definición consensuada de pobreza energética en los diferentes países y organismos, aunque sus definiciones si concuerdan que se trata de hogares que no pueden calentar y disponer de la energía eléctrica suficiente para cubrir sus

necesidades, ya sea por falta de acceso a estos servicios o falta de recursos económicos.

Algunas de las definiciones recogidas en la literatura son:

- “La pobreza energética es la situación en la que se encuentra un hogar en el que no pueden ser satisfechas las necesidades básicas de suministros de energía, como consecuencia de un nivel de ingresos insuficiente y que, en su caso, puede verse agravada por disponer de una vivienda ineficiente en energía” (definición oficial en España [3]).
- “La falta de acceso a instalaciones adecuadas para la cocina, la iluminación y los aparatos eléctricos, pero también otros servicios como la refrigeración y la calefacción del espacio” [10].
- “Situación en la que los individuos o los hogares no pueden calentar adecuadamente o proporcionar otros servicios energéticos necesarios en sus hogares a un coste asequible” [11].
- “Situación en la que una persona tiene dificultades para obtener la energía necesaria en su hogar para satisfacer sus necesidades básicas debido a la insuficiencia de recursos o de condiciones de vida” según la ley francesa "Grenelle II".

El número limitado de definiciones oficiales de pobreza energética se debe al hecho que los países europeos no tienen obligación legal a definir este problema social. Sin embargo, sí que tienen la obligación de definir y proteger a los consumidores vulnerables, diferenciándose cuatro categorías principales [1]:

- Asequibilidad de la energía: los hogares con un elevado gasto energético y/o con dificultades de afrontar el coste de la energía utilizada.
- Recepción de la asistencia social: hogares que reciben una asistencia social cualificadas.
- Discapacidad/salud: las características de la salud definen la vulnerabilidad.
- Grupos socioeconómicos: los hogares que según sus ingresos, edades o estado de salud se definen como vulnerables.

Por tanto, la pobreza energética doméstica se puede definir como “situación en la que un hogar es incapaz de pagar una cantidad de energía suficiente para la satisfacción de sus necesidades domésticas y/o cuando se ve obligado a destinar una parte excesiva de sus ingresos a pagar la factura energética de su vivienda” [12].

Se estima que en la Unión Europea hay más de 50 millones de hogares en situación de pobreza energética, con un acceso limitado a energía para cubrir sus necesidades de calor, refrigeración o iluminación, entre otros [1] [13]. Se trata de hogares que tienen bajos ingresos, tienen costes energéticos elevados y tienen ineficiencias energéticas. En concreto, según datos del Observatorio Europeo de Pobreza Energética (EPOV) se estima que [13]:

- 57 millones de personas no son capaces de calentar su vivienda en invierno.
- 104 millones de personas no tienen acceso a un mínimo nivel de confort en verano.
- 52 millones de personas tienen retrasos en el pago de las facturas de la energía.

Además, vivir en condiciones de pobreza energética puede llevar a tener consecuencias negativas no solo para la salud física, al incrementarse el riesgo de contraer o incluso agravar enfermedades respiratorias o cardíacas, sino también para la salud mental ya que la imposibilidad de permitirse el coste energético que cubra sus necesidades puede llevar a situaciones de ansiedad. Por esta razón, la pobreza energética se ha tenido muy en cuenta en diversos ámbitos y agendas políticas (sociales, económicas, medioambientales, sanitarias, climáticas...) [13] [10].

Para combatir contra la pobreza energética se debe facilitar a los hogares el acceso a tecnologías más baratas y ofrecer ayudas financieras. Para que estas sean efectivas se debe comprender cual es el mecanismo de toma de decisiones de las personas, ya que, en momentos de escasez, como pueden estar los hogares en pobreza energética, las personas pueden tender a tomar decisiones más susceptibles a los sesgos cognitivos [8]. Como por ejemplo decantarse por una recompensa menor a corto plazo que por una mayor a largo plazo. Lo óptimo sería que las familias vulnerables no solo pudieran tener acceso a fuentes de energía eléctrica más baratas sino también más limpias con el medio ambiente.

Los países de la Unión Europea han abordado diferentes medidas para hacer frente a la pobreza energética y proteger a los consumidores vulnerables; los principales tipos de medidas adoptadas son los siguientes:

- Intervenciones financieras.
- Medidas de protección al consumidor.
- Medidas de eficiencia energética.

- Medidas de suministro de información.

Además, la Comisión Europea ha elaborado un paquete legislativo llamado “Clean Energy for All European Citizens”, que contienen medidas para reforzar la posición de los consumidores aportándoles flexibilidad y protección. Este organismo lleva tiempo comprometido con el problema, por ello creó en enero de 2018 el Observatorio de la Pobreza Energética de la Unión Europea (EPOV), que tiene como objetivo medir, supervisar y compartir conocimientos y buenas prácticas para gestionar la pobreza energética, así como las medidas e iniciativas adoptadas. También recogen en el “Covenant of Mayors for 2030” la importancia de tomar medidas para mitigar el cambio climático y el compromiso a proporcionar acceso a una energía segura, sostenible y asequible. El mismo Covenant of Mayors impulsó recientemente la creación del Energy Poverty Advisory Hub (EPAH) que continúa el trabajo del EPOV con un enfoque más local.

En el contexto de medidas a abordar para hacer frente a la pobreza energética, el estudio elaborado por DellaValle [8] está basado en la toma de decisiones de los individuos bajo condiciones de vulnerabilidad energética y que estas afectan al consumo energético; por ello propone las siguientes medidas que ayudarían a la toma de decisiones fomentando el ahorro económico y de energía:

- Inscripción automática a los programas de subvención existentes.
- Dispositivos de compromiso (pagar las facturas en un plazo determinado).
- Implantación de normas de comportamiento socialmente aceptadas que generen confianza a los consumidores.
- Ensayos de control aleatorios sobre hogares para medir el impacto de las medidas adoptadas.

Otro estudio elaborado Thomson y Bouzarovski [1] señala también una serie de recomendaciones para el diseño de políticas eficaces contra la pobreza energética:

- La definición de los hogares vulnerables desde el punto de vista energético adaptada a los contextos actuales en términos del clima, calidad de la vivienda y estructura de los costes energéticos.

- La ineficiencia energética es una de las causas de la pobreza energética, por ello la aplicación de planes de eficiencia energética puede tener un fuerte impacto en su reducción.
- Es necesaria la integración de la política energética con la planificación regional, así como el uso de Fondos Estructurales y de Inversión europeos para luchar de manera más efectiva contra la pobreza energética.
- Es necesario eliminar cualquier barrera que exista para recibir inversiones en materia de eficiencia energética para que estas estén al alcance de todos los hogares vulnerables.
- Medidas específicas para un grupo de hogares específico como por ejemplo viviendas sociales u hogares que utilizan calefacción de carbón o gasóleo.
- La prohibición de las desconexiones de suministro energético en Europa durante el invierno.
- Es importante la combinación de los mecanismos de política social y energética, ya que la pobreza energética no está completamente solapada con la pobreza económica, sino que pueden tener otras causas infraestructurales.

Mejorar la eficiencia energética de los hogares es una de las medidas más efectivas para hacer frente a la pobreza energética. A continuación, se detallan las soluciones propuestas por [13] para el aumento de la eficiencia energética de las viviendas:

- Normas y reglamentos: Normas de construcción obligatorias (materiales aislantes, ventanas), mecanismo para la instalación de sistemas de calefacción o instalaciones eléctricas por parte de los proveedores de servicios, cuyo coste sea reembolsado por los consumidores a largo plazo mediante el contrato del suministro.
- Medidas subsidiarias: mejoras de eficiencia energética de los hogares, principalmente en aquellos con rentas bajas y reducción de coste de inversión (reducción de los impuestos por parte de los gastos para mejorar la eficiencia).
- Educativas: Adopción de programas donde “tutores energéticos” asesoren a los hogares vulnerables para mejorar la eficiencia energética de su vivienda.
- Acciones especificadas: acciones para calificar la inversión realizada (emisión de certificados de eficiencia energética).
- Bienestar y política: tarifa social, nuevos servicios, auditoría energética.

Sin embargo, existen diferentes inconvenientes que afectan a la adopción de políticas comunes en la lucha contra la pobreza energética. Desde la diversidad geográfica, donde cada uno de los países requieren diferentes combinaciones de políticas y medidas al respecto, pasando por las diferentes escalas de políticas a nivel macro y medidas implementadas a nivel micro [13]. Finalmente, tal y como señalan varios autores [1] [13], la falta de una definición común sobre la pobreza energética es una de las principales trabas para el desarrollo y adopción de medidas efectivas que puedan llegar a todos los segmentos de la población afectados.

También existen una gran variedad de variables e indicadores utilizados para medir la pobreza energética y esta cantidad de variables o factores se deben a las diferentes interpretaciones que se le pueden dar a las diferentes definiciones de pobreza energética. Esto añade complejidad a la lucha contra la pobreza energética por lo que supone un reto la adopción de variables y factores universales para la identificación de dicho problema. Algunos de estos indicadores pueden ser ingresos, gasto energético, factores demográficos o las características de los edificios (tipo de calefacción utilizada, tipo de vivienda, metros cuadrados, eficiencia energética del edificio...) y estos se enmarcan en un contexto donde los factores más determinantes son el mercado energético, coste de la energía, el clima o el coste de vida [13].

En el artículo elaborado por [10] definen situaciones de pobreza energética de los hogares en una serie de situaciones:

- Calefacción de espacios: determinante principalmente para los hogares que se encuentran en zonas con climas fríos, que no pueden calentar sus hogares. Se encuentran dentro de estos hogares vulnerables aquellos que por razones económicas no se lo pueden permitir, así como aquellos hogares que son ineficientes energéticamente y por tanto necesitan gastar más energía para calentar el hogar.
- Calentamiento de agua: Presente principalmente en países desarrollados.
- Enfriamiento de espacios: Problema relacionado principalmente con aquellos hogares que se encuentran en climas calurosos sobre todo en verano.
- Iluminación: Un reto global relacionado con la privación de la energía doméstica. Investigado principalmente en países en desarrollo en relación con la falta de

electricidad. Aunque también se ha observado la falta de iluminación de partes de la vivienda por que no se lo pueden permitir.

- Cocina: La literatura relaciona la falta de este recurso con la falta de electricidad (o en general de energía limpia), lo que supone un obstáculo para el desarrollo económico y para el bienestar.
- Refrigeración de alimentos: Servicio directamente relacionado con la capacidad económica de los hogares y la disponibilidad de infraestructuras eléctricas.

Otro concepto para tener en cuenta es el de los clientes vulnerables (vulnerable customers), que, aunque su identificación depende de la interpretación que le de a este concepto cada país, se utilizan varios factores para identificarlos, como los niveles de la renta, gasto energético, eficiencia de los hogares o dependencia del uso de equipamiento eléctrico por razones de salud. La literatura incluye dentro de este concepto a familias de bajos ingresos con hijos, ancianos, viviendas alquiladas y personas con una situación laboral inestable [13].

## **1.2. Motivación**

Abordar el problema de la pobreza energética es uno de los retos más importantes y urgentes a los que nos enfrentamos tanto en España como el resto del mundo. Para la proposición y adopción de medidas efectivas para la lucha y progreso ante esta situación, es necesario definir un gasto energético requerido o teórico por parte de los hogares según su composición. Partiendo de esa base se podrán identificar las familias vulnerables y su déficit de energía, de esta manera se podrán evaluar y cuantificar el impacto de diferentes medidas para la erradicar la pobreza energética.

Este proyecto mediante el cálculo del consumo teórico de energía eléctrica tiene la motivación de ser una referencia para las autoridades en la adopción de medidas que reduzcan al máximo la pobreza energética de los hogares.

## **1.3. Objetivos del proyecto**

El objetivo general del proyecto es la obtención de un modelo que permita calcular el gasto teórico que debería tener un hogar español para poder cubrir sus necesidades energéticas de carácter eléctrico, en función de los parámetros más representativos del mismo.

El Código Técnico de la Edificación (CTE) [14] establece un estándar para definir la demanda térmica de una vivienda, sin embargo, la demanda eléctrica no se regula en el CTE. Por lo que, este proyecto propone un modelo de gasto eléctrico teórico de los hogares que podría servir de referencia para estudios posteriores.

Se entiende como gasto eléctrico teórico el gasto en electricidad necesario para poder satisfacer las necesidades de un hogar derivadas de todos aquellos aparatos que funcionan con energía eléctrica. Quedan excluidos del estudio los destinados a calefacción/refrigeración o producción de ACS, aunque sean eléctricos, porque ya se estudiaron en el modelo térmico realizado por la Cátedra de Energía y Pobreza de la Universidad Pontificia Comillas en colaboración con ECODES. Se estarían considerando, por tanto, aparatos como lavadora, secadora, lavavajillas, horno, frigorífico, congelador, cocina, televisores, ordenadores, etc.

Los objetivos específicos del proyecto se pueden resumir en:

- Definición de las principales fuentes de consumo eléctrico de los hogares, así como sus características de funcionamiento, como potencia media y frecuencia de uso.
- Formulación del modelo de gasto eléctrico teórico a partir de las conclusiones del objetivo anterior.
- Adaptación del modelo a las características de los hogares, como el tamaño de la vivienda, el número de miembros y su ocupación.
- Realizar un simulador que permita el cálculo teórico del consumo de energía eléctrica de los hogares y su coste.
- Obtener las curvas de potencia media a lo largo del día de los diferentes aparatos y electrodomésticos del hogar.
- Cálculo del gasto medio de los hogares según el número de miembros y la tarifa con y sin discriminación horaria.

Respecto al segundo objetivo, se ha trabajado en la formulación de tres modelos que se detallan en el punto de metodología de trabajo.



#### **1.4. Metodología de trabajo**

En primer lugar, se ha realizado un análisis del panorama español y europeo de la pobreza energética, así como una investigación de los modelos de consumo eléctrico presentes en la literatura y de los factores que se tenían en cuenta dentro de estos. Partiendo de estas referencias se definen las fuentes de consumo (aparatos y electrodomésticos), sus potencias medias y los factores que afectan a la frecuencia de uso de dichas fuentes de consumo.

A continuación, se lleva a cabo el diseño y desarrollo de tres modelos de cálculo de consumo eléctrico de los hogares según sus características siguiendo un esquema bottom-up: Modelo de Gasto Teórico Simplificado, Modelo de Gasto Teórico Avanzado y Modelo de Gasto Teórico Avanzado 2.0.

- El primer modelo de ellos parte de una serie de hipótesis de potencia y frecuencia de uso y factores de uso de los hogares basadas en estadísticas y estudios nacionales para obtener el consumo total de los hogares según su número de miembros y el tamaño del hogar. Además, dicho modelo utiliza la Encuesta de Empleo de Tiempo (EET) [15] para el cálculo de los factores de uso que no están determinadas por la literatura.
- El segundo modelo parte de la EET y calcula el consumo medio de los aparatos asociados a las actividades que realizan los encuestados dentro del hogar en función del número de miembros y del tamaño de la vivienda, utilizando las mismas hipótesis de potencia y frecuencia que el modelo anterior.
- El tercer modelo parte del modelo anterior, es decir, Modelo de Gasto Teórico Avanzado, pero haciendo una distinción no solo del número de miembros de los hogares, sino también de su ocupación.

De esta manera se obtienen tres modelos que se ajustan a las características del hogar en función del número de miembros, los metros cuadrados de la vivienda y su equipamiento. Además, el tercer modelo también se adapta a las ocupaciones de los miembros del hogar.

Los resultados obtenidos en los dos primeros modelos se contrastan con los otros modelos o referencias de la literatura actual para validar que el consumo calculado se encontraba entre dichas referencias, como [16], [17], [18], [19] y [20]. El tercer modelo ha sido

contrastado con la base de datos de ECODES del proyecto “Ni un hogar sin energía”, ya que, a diferencia de los informes y artículos mencionados anteriormente, este cuenta con datos referentes a la ocupación de los miembros de los hogares.

Una vez validado los modelos, se obtiene el gasto eléctrico del hogar medio a través del consumo medio calculado por los modelos Simplificado y Avanzado, aplicando la tarifa regulada de PVPC 2.0A y 2.0DHA, anteriores a la nueva regulación de junio de 2021, y realizando una serie de hipótesis para estimar la potencia contratada.

### **1.5. Recursos a emplear**

Los modelos más básicos fueron desarrollados en primer lugar en Microsoft Excel, pero a medida que la complejidad de los modelos fue aumentando se desarrollaron en R. Las bases de datos utilizada para extraer los factores de uso, las frecuencias de uso y penetraciones de los aparatos del hogar han sido los estudios SPAHOUSEC I [16] y II IDAE [21] así como la ya mencionada “Encuesta de empleo de tiempo” elaborada por el INE en 2010 [15]. También se ha utilizado la base de datos de ECODES del proyecto “Ni un hogar sin energía” para la validación del Modelo de Gasto Teórico Avanzado 2.0.

El informe técnico del proyecto está redactado en Microsoft Word. La información teórica se ha consultado a partir de varios libros, artículos y trabajos extraídos de Google Scholar y los proporcionados por los directores de este proyecto. Los recursos se detallan al final del proyecto.

## **2. Modelización y análisis del consumo eléctrico en los hogares**

Numerosos artículos radican sobre la necesidad de desarrollar modelos predictivos de consumo energético de los hogares. Son de especial utilidad ya que pueden utilizarse para identificar hogares vulnerables y para identificar cuales son las principales fuentes de consumo para fomentar el ahorro energético en los hogares, disminuyendo su consumo y promoviendo la eficiencia energética.

A pesar de la gran diversidad de métodos y modelos desarrollados por la literatura, estos están poco enfocados a la pobreza energética. Por ello, este proyecto trabaja en un modelo bottom-up para el cálculo del consumo teórico contrastado con una base de datos de hogares vulnerables recogida por ECODES en el proyecto “Ni un hogar sin energía”.

En el desarrollo de este modelo se tendrán en cuenta las principales fuentes de consumo eléctrico de los hogares (aparatos y electrodomésticos) que incorporan los diferentes modelos presentes en la literatura, además de aquellos factores que afectan a su consumo, como el número de miembros, su ocupación y los metros cuadrados de la vivienda.

Los siguientes puntos detallan más a fondo otros modelos desarrollados en la literatura, las fuentes de consumo eléctrico de los hogares y los factores que afectan a dicho consumo.

### **2.1. Modelos utilizados por la literatura.**

Conocer la demanda eléctrica de los hogares es fundamental en la lucha contra la pobreza energética, por ello este proyecto se centra en la realización de un modelo que permita caracterizar la cantidad de energía eléctrica que demandan los hogares y que sirva como medio para la identificación de los hogares que cuentan con dicha vulnerabilidad.

Cómo destaca [7], hasta ahora la mayoría de los estudios sobre la pobreza energética en España han ido enfocados al consumo térmico de los hogares [22] [23], por lo que surge la necesidad de realizar un estudio en este contexto sobre el consumo eléctrico ya que este representa más del 40% de la energía consumida por los hogares. Además, dicho consumo de electricidad supone el 25% del consumo total de energía tota consumida en España [17]. A pesar de que la mayor parte de los estudios en el marco de la pobreza energética han ido enfocados al consumo térmico, las ayudas presentadas hasta 2018 por

el gobierno con el Bono Social de la Electricidad iban enfocadas al campo de la energía eléctrica. Sin embargo, estas medidas adoptadas no han sido suficiente para paliar la pobreza energética [24], por lo que es un mayor reto aun la realización de este proyecto.

Además, el uso de energía eléctrica en el sector doméstico ha aumentado drásticamente en los últimos años. A pesar de los importantes avances en materia de electrodomésticos y eficiencia energética de la iluminación, el consumo de electricidad en los hogares de la Unión Europea ha crecido un 2% anual en los últimos diez años [17]. Este aumento se atribuye principalmente a la llegada de una gran cantidad de tecnologías de la información y la comunicación y de instalaciones, así como de aparatos electrónicos y al aumento del número de viviendas residenciales.

Debido al aumento del consumo de energía en el sector residencial, diversos enfoques de previsión del uso de la energía han cobrado importancia. Aunque este campo de estudio ha experimentado considerables avances en simulación y computación, encontrar métodos estables y óptimos para predecir el uso energético de los edificios residenciales sigue siendo un problema difícil [25].

Gracias a la creación de modelos se pueden evaluar y anticipar la evolución y el comportamiento del consumo de energía en este sector, así como sus usos finales. La información así recabada es muy valiosa para desarrollar estrategias de ahorro energético que permitan mejorar la eficiencia energética [26].

En el sector doméstico existen una gran variedad de consumidores en cuanto a su tamaño, tipo y ocupación, lo que hace difícil la tarea de predicción del consumo energético de los hogares. Otros sectores como el comercial e industrial, están mejor definidos, existe un mayor interés por disminuir el uso de la energía y hay más documentación accesible [17].

Para el modelado del consumo energético de los hogares existen dos técnicas diferentes, bottom-up y top-down. Los usos finales individuales no se tienen en cuenta en la estrategia top-down, que considera el sector residencial como un receptor de energía. Esta estrategia hace una regresión del consumo energético del parque de viviendas en función de variables de alto nivel, como los indicadores macroeconómicos (inflación, producto interior bruto o desempleo), el precio de la energía y el entorno general, utilizando los valores energéticos agregados del pasado. Mientras que la técnica bottom-up extrapola el

consumo energético estimado de cada hogar o de los aparatos de uso final a nivel regional o nacional [27].

Otra opción podría ser instalar equipos de mediciones en los hogares para determinar el consumo energético, sin embargo, esta sería más costosa [17], por lo que el modelo bottom-up se presenta como la opción más viable y por ello ha sido escogida por este proyecto. Además, modelos bottom-up pueden no solo obtener resultados precisos con una alta resolución temporal, sino también pueden evaluar el impacto de las medidas de ahorro energético, como la modificación de las horas de funcionamiento de los electrodomésticos o la sustitución de aparatos o electrodomésticos por otros más eficientes.

A nivel nacional se han elaborado estudios que estudian el consumo eléctrico de los hogares como es el caso del proyecto SECH-SPAHOUSEC [16] que realizó una encuesta con entrevistas telefónicas y presenciales para evaluar el equipamiento, el consumo y el comportamiento energético en el sector residencial español. Dicho proyecto elaboró un modelo bottom-up sobre las diferentes fuentes de consumo energético de los hogares diferenciándolos por macrozona climática y tipo de vivienda. Su estimación de consumo fue que el hogar español medio consume unos 10,500 kWh al año, unos 0.85 tep anuales.

Otro de los artículos que ha servido de base para la elaboración de nuestros modelos es el elaborado por Escobar et al. [17], el cual utiliza la encuesta de empleo de tiempo elaborada por el INE [15] para determinar el consumo de cada uno de los hogares y elaborar una curva de potencia de estos a lo largo del día. Se trata de un algoritmo bottom-up que permite estimar el perfil medio del consumo eléctrico habitual en España en función del número de miembros de la vivienda y del día de la semana. Es similar al que se ha llevado a cabo dentro del proyecto, ya que se ha utilizado la misma encuesta para recoger la información referente a la frecuencia de uso del equipamiento de los hogares.

La organización sin ánimo de lucro ECODES creó un programa llamado «Ni un hogar sin energía» en el que estudian el consumo energético de los hogares vulnerables y los asesoran para lograr un ahorro en la factura. También han creado una herramienta en el marco del proyecto Reluce para el cálculo de la demanda mínima para la gestión de ayudas para el suministro de energía eléctrica en hogares vulnerables. En esta herramienta se calcula el consumo de diferentes aparatos o electrodomésticos en función del número

de miembros de los hogares a partir de unas hipótesis de potencia, frecuencia de uso y factores de uso [28].

El artículo de Jadraque Gago et al. [29] describe el diseño, el desarrollo y la aplicación de un modelo capaz de estimar el uso de energía para la iluminación en el sector de la vivienda residencial. Dicho modelo fue contrastado por encuestas distribuidas a una muestra de hogares. Finalmente, este modelo energético se aplicó en Andalucía lo que permitió llevar a cabo las reducciones en el uso de electricidad para la iluminación suponiendo un ahorro de energía en los hogares.

A nivel internacional se han desarrollado también modelos como el elaborado por Chiou et al, que consiste en un modelo geográfico de alta resolución que se basa en datos de la encuesta de empleo de tiempo de Estados Unidos [26]. El modelo se construyó sobre un marco teórico que describía las propiedades físicas de una vivienda, la naturaleza de los hábitos de consumo energético y las interacciones entre la vivienda y sus residentes. Para probar las características del modelo, se realizaron experimentos en viviendas de 3 a 5 individuos. Los resultados muestran que los perfiles de carga de las viviendas con la misma composición tienen un pequeño rango de variación y se acercan mucho a los datos medidos.

El artículo elaborado por Herdenson y Hart en el BRE [30] que comparten la metodología de cálculo para estimar el consumo energético de los hogares en función de sus características, está enfocado tanto al consumo eléctrico referido a la iluminación, electrodomésticos y la cocina, como al consumo térmico.

El estudio presentado por Ramokone et al. [25] utiliza una red neuronal artificial para predecir los patrones de uso de la energía doméstica en función de características importantes como las actividades del hogar, el nivel de ingresos y el número de miembros del hogar. La adición de estas variables añade una nueva capa al proceso de modelización existente, permitiendo una estimación y predicción energética más precisa.

Otro método popular para evaluar las variaciones en el consumo de energía a lo largo del tiempo en las principales industrias consumidoras de energía, el análisis de descomposición de índices (ADI). Permite descomponer dichos cambios en contribuciones asociadas a tres efectos separados, los efectos de actividad, estructura e

intensidad. Sin embargo, los estudios de ADI sobre el sector residencial, a diferencia de los de la industria y el transporte, indican amplias diferencias en los indicadores de actividad que impulsan el consumo de energía en la literatura. Tales cambios tienen un impacto significativo en los resultados de descomposición obtenidos y en la información captada por estos resultados. En Xu et Ang [31], utilizando datos de Singapur, desarrollan un modelo híbrido que puede descomponer mejor las variaciones en el consumo energético de los hogares.

La literatura muestra como existen diferentes métodos para el cálculo del consumo energético en los hogares, pero, sin embargo, faltan estudio enfocados a la pobreza energética. Por ello, este estudio se basa en el desarrollo de un modelo de consumo eléctrico teórico que permitirá entre otras cosas identificar aquellos hogares vulnerables o que sufren pobreza energética. Consiste en un modelo bottom-up que depende del tamaño de los hogares (número de miembros), su ocupación y la superficie de la vivienda.

## **2.2. Fuentes de consumo de los hogares**

Existen diversas fuentes de consumo energético en los hogares; en este estudio solo se tienen en cuenta aquellas que utilizan como la electricidad como fuente de energía, pero quedando excluidas todas aquellas destinadas a un uso térmico como termos para ACS o equipos de climatización y radiadores.

Las fuentes de consumo eléctrico que se han considerado en este proyecto son las contempladas en otros como [17], [26], [16] y [18]. Son las siguientes:

- Fogones de la cocina eléctricos
- Horno eléctrico
- Lavadora
- Secadora
- Frigorífico
- Congelador
- Televisión
- Ordenador
- Lavavajillas
- Móvil

- Tablet
- Microondas
- Standby

### **2.3. Factores que afectan al consumo eléctrico en los hogares**

La modelización del consumo de energía eléctrica depende de numerosos factores y estos se han tenido en cuenta en este proyecto a la hora de la realización de sus modelos. Estos se pueden dividir en dos grandes grupos, el primero los factores que determinan el consumo de los electrodomésticos y el segundo los factores ligados a las características de los hogares.

Dentro del primer grupo se distinguen los siguientes tipos de factores:

- La potencia de los aparatos o electrodomésticos es fundamental para determinar su consumo. Sin embargo, es muy complejo conocer la potencia de estos en cada uno de los hogares ya que existen una infinidad de tamaños y modelos de los aparatos o electrodomésticos que cuentan los hogares además de su antigüedad. Ante dicha complejidad, en la modelización se utiliza una potencia media para determinar su consumo.
- Frecuencia de uso de los aparatos o electrodomésticos, que refleja el tiempo de uso de cada uno de ellos para un cierto espacio de tiempo. Este depende de las características del hogar, como su tamaño, superficie, ocupación de sus miembros, etc.

Dentro del segundo grupo se distinguen los siguientes tipos de factores:

- El número de miembros de los hogares (tamaño del hogar) es un factor determinante en el cálculo de consumo del equipamiento de los hogares e incide directamente en la frecuencia de uso de la mayoría de los aparatos o electrodomésticos, la que se intensifica con el aumento del número de miembros. Sin embargo, es difícil de determinar la incidencia sobre la frecuencia de uso de estos, por lo que se hace uso de estudios que lo hayan estudiado como [21] o se extraen de encuestas como la EET [15].



- La ocupación de los miembros de los hogares también repercute sobre la frecuencia de uso del equipamiento en el hogar, ya que personas con ciertas ocupaciones como parados o jubilados se encuentran más tiempo en el hogar que otras como ocupados o estudiantes, lo que le lleva a tener un consumo mayor.
- El equipamiento de los hogares es fundamental para el cálculo óptimo de su consumo.
- La superficie de la vivienda puede influir en el gasto eléctrico, principalmente en el gasto de iluminación y en el gasto térmico para climatizar la vivienda, este último sin embargo no es objeto de estudio de este proyecto.

### 3. Modelo de Gasto Teórico simplificado

En este capítulo se comienza por un modelo inicial, que ha sido el punto de partida y que se ha denominado Modelo de Gasto Teórico simplificado. Está basado en el estudio del proyecto Reluce de ECODES-Endesa al que se le han añadido más fuentes de consumo para acercarnos de forma más precisa al consumo medio de los hogares, ya que Reluce tan solo tiene en cuenta las principales fuentes de consumo de energía eléctrica en los hogares como la cocina, la lavadora, el frigorífico, el horno o la iluminación.

Se han utilizado datos estadísticos oficiales recientes, como el estudio SPAHOUSEC II del IDAE [21] o la Encuesta Continua de Hogares del INE [32]. Este modelo tiene como variables de entrada el número de ocupantes y la superficie de la vivienda.

#### 3.1. Descripción del Modelo

Se trata de un modelo *bottom-up*, que parte de la potencia de cada uno de los principales aparatos que consumen energía eléctrica. A partir de ahí se realizan una serie de hipótesis sobre el número de horas que se utilizan al día, semana o mes, y se utilizan factores de uso para reflejar el hecho de que el consumo aumenta cuando crece el número de ocupantes de un hogar. En el estudio de la iluminación, el modelo no solo tiene en cuenta los ocupantes de los hogares mediante el factor de uso, sino también los metros cuadrados de los hogares.

Para el cálculo de la energía eléctrica consumida anualmente, se han separado los meses del año en dos grupos: meses de verano y meses de invierno. Esta división trata de reflejar las diferencias de temperatura y luz solar, al igual que el cambio de rutinas o de uso de aparatos que se producen durante ambos periodos del año. Se ha tenido en cuenta cuatro meses de verano, de junio a septiembre, y ocho meses de invierno, de octubre a mayo, según establece el CTE [14].

Como se ha mencionado anteriormente, antes de realizar el cálculo del gasto, se formula un modelo de cálculo del consumo de energía eléctrica. Se utiliza la siguiente ecuación para el cálculo del consumo eléctrico anual por cada electrodoméstico  $i$  ( $C_{i,anual}$  [kWh]).

$$C_{i,anual} = C_{i,verano} \cdot 4 + C_{i,invierno} \cdot 8 \quad (3.1)$$

donde  $C_{i,verano}$  es el consumo eléctrico durante cada mes de verano en kWh y  $C_{i,invierno}$  durante cada mes de invierno (kWh), que se calculan de la siguiente manera:

$$C_{i,verano} = P_i \cdot f_{i,verano} \cdot FU_i(TH) \quad (3.2)$$

$$C_{i,invierno} = P_i \cdot f_{i,invierno} \cdot FU_i(TH) \quad (3.3)$$

donde  $P_i$  es la potencia del aparato o electrodoméstico  $i$  en kW,  $f_{i,verano}$  y  $f_{i,invierno}$  representan la frecuencia de uso del aparato o electrodoméstico  $i$  durante un mes de verano e invierno, respectivamente, en horas de uso al mes, y  $FU_i(TH)$  es el factor de uso asociado a cada aparato o electrodoméstico  $i$ , que depende del tamaño del hogar (TH, medido por el número de miembros).

Los factores de uso utilizados en este modelo dependen del número de ocupantes de los hogares y del dispositivo que se esté estudiando, ya que cada uno de ellos tiene un comportamiento diferente en función de los ocupantes del hogar. Estos se obtienen siguiendo un orden preferente según su disponibilidad en las fuentes:

1. A partir de las referencias de SPAHOUSEC [21] y [16].
2. Extrayéndolos de la encuesta de empleo de tiempo del INE [15].
3. Realizando hipótesis sobre ellos.

Para calcular el consumo en un hogar medio, se hace la media ponderada del consumo de los hogares según su número de miembros teniendo en cuenta el porcentaje de hogares que existen con cada número de miembros, según la información extraída de la “Encuesta continua de hogares” del INE 2019 [32]. En este modelo se distinguen cinco tipos diferentes de hogares según su tamaño: 1, 2, 3, 4 y más de 4 personas.

En la Tabla 1 se resume la información correspondiente a la Encuesta. En la izquierda se recogen las categorías de la Encuesta y en la derecha la agrupación realizada para este estudio. El hogar medio tiene 2.5 ocupantes en 2019 (media según la “Encuesta continua de hogares” del INE en 2019 [32]).

Tabla 1: Resumen de los datos de la Encuesta continua de hogares 2019 [32] (izquierda).  
Agrupación realizada para este estudio (derecha).

Nº Personas Hogar	Nº Hogares (miles)	%
1	4771.4	25.68%
2	5651.5	30.42%
3	3848.7	20.71%
4	3241.3	17.45%
5	735.8	3.96%
6	216.7	1.17%
7	69.1	0.37%
8 o más	45.6	0.25%
<b>Total</b>	<b>18580.1</b>	<b>100%</b>

Nº Personas Hogar	Nº Hogares (miles)	%
1	4771.4	25.68%
2	5651.5	30.42%
3	3848.7	20.71%
4	3241.3	17.45%
<b>Más de 4</b>	<b>1067.2</b>	<b>5.74%</b>
<b>Total</b>	<b>18580.1</b>	<b>100%</b>

A continuación, se describen los aparatos y dispositivos que incluye el modelo con sus hipótesis y los resultados de sus consumos.

### 3.1.1. Cocina (Placa de cocina y horno)

Este modelo ha tenido en cuenta para el cálculo del consumo de la cocina los electrodomésticos que los hogares utilizan para la preparación de la comida, las placas de cocina y los hornos. Se ha tenido en cuenta que todos los hogares utilizan placas de cocina eléctricas<sup>1</sup>, ya sean vitro, inducción o eléctricas, mientras que en el caso del horno se ha tenido en cuenta su penetración.

Las hipótesis que se han asumido para estimar el consumo eléctrico de la placa de cocina son las siguientes:

- Los hogares utilizan placas de cocina eléctricas.
- Tres tipos de placa: vitro, inducción y eléctrica.
- Potencia de la vitrocerámica: 1 kW el fogón pequeño y 1.2 kW el fogón grande.
- Potencia de la cocina de inducción: 1 kW el fogón pequeño y 1.2 kW el fogón grande.

<sup>1</sup> Un 62,4% de los hogares tienen cocina eléctrica según [21]

- Potencia de la cocina eléctrica: 1 kW el fogón pequeño y 1.3 kW el fogón grande.
- Factor de potencia de 0.8: refleja el hecho de que los fogones no funcionan a su potencia nominal en todo el tiempo de uso. Se ha supuesto que, en promedio, funcionan al 80%.
- Tiempo de uso en verano: 0.1 horas de fogón pequeño y 0.7 horas de fogón grande.
- Tiempo de uso en invierno: 0.3 horas de fogón pequeño y 1 hora de fogón grande.

Las hipótesis consideradas en el cálculo del consumo del horno son:

- Potencia del horno: 1.02 kW. En la tabla de potencia de Lucera [33] aparece un rango de potencias superior (1.2 kW – 2.2 kW), pero el horno no se suele utilizar a su potencia nominal ya que no siempre se calienta a la temperatura máxima y una vez alcanza la temperatura seleccionada el horno simplemente aplica el calor para mantener la temperatura constante. Por tanto, se ha asumido un 0.6 como factor aplicado sobre la potencia media de la tabla de Lucera, que es de 1.7 kW, que lleva a una potencia final supuesta de 1.02 kW.
- Uso de 2 h cada dos semanas en verano, es decir, 4 horas al mes.
- Uso de 2 h a la semana en invierno, es decir, 8 horas al mes.
- Se aplican los mismos factores de uso para ambos electrodomésticos y son extraídos de la encuesta de empleo de tiempo del INE [15]. La actividad descrita en dicha encuesta es la número 311 que se describe como “Preparación de comidas y conservación de alimentos” es decir, engloba a la utilización de la cocina y el horno. Se considera que las hipótesis descritas anteriormente corresponden con los hábitos de consumo del hogar medio, de 2.5 miembros. Y cogiendo de referencia el hogar medio se obtienen los siguientes factores:

*Tabla 2: Factor de uso extraído de la EET para la placa de cocina y horno.*

Personas	Factor de uso
1	0.60
2	1.04
3	1.10
4	1.25
Más de 4	1.47
Media	1.00

Partiendo de las hipótesis de potencia y horas de uso se calcula el consumo de cada tipo de placa de cocina en el hogar medio y se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3: Consumo anual (kWh/año) de las cocinas según tecnología, con las hipótesis consideradas.

MODELO SIMPLIFICADO									
Placa de cocina	Pot. Fogon grande (kW)	Pot. Fogon pequeño (kW)	h/día grande ver.	h/día pequeño ver.	h/día grande inv.	h/día pequeño inv.	kWh / mes ver.	kWh / mes inv.	kWh / año
Vitro	0.96	0.8	0.7	0.1	1	0.3	22.56	36	<b>378.24</b>
Inducción	0.96	0.8	0.7	0.1	1	0.3	22.56	36	<b>378.24</b>
Eléctrica	1.04	0.8	0.7	0.1	1	0.3	24.24	38.4	<b>404.16</b>

Tabla 4: Porcentaje de cocinas que funcionan con electricidad según tecnología sobre el absoluto en España y sobre el total de placa de cocinas eléctricas [21].

Placa de cocina	%España	%Ponderado España
Vitro	48.70%	79.32%
Inducción	9.10%	14.82%
Eléctrica	3.60%	5.86%

Haciendo una media ponderada según la presencia de cada tipo de placa de cocina, utilizando para ello la Tabla 4 **Error! Reference source not found.**, se obtiene que la media del consumo anual de placa de cocina usando electricidad, que para el hogar medio sería de 380.05 kWh. Aplicando los factores de uso de la tabla, se obtiene la Tabla 5, en la que se recoge el consumo según el número de ocupantes y el consumo referido a un hogar medio (media ponderada de los valores anteriores, con el peso que supone cada tipo de hogar según los datos de la encuesta continua de hogares y mostrado anteriormente):

Tabla 5: Obtención del consumo anual de las placas de cocina (kWh/año) en función del tamaño según el modelo de gasto simplificado.

MODELO SIMPLIFICADO PLACA DE COCINA						
Personas	1	2	3	4	Mas de 4	Media
kWh / mes verano	22.66	22.66	22.66	22.66	22.66	22.66
kWh / mes invierno	36.14	36.14	36.14	36.14	36.14	36.14
Factor de uso	0.60	1.04	1.10	1.25	1.47	1.00
<b>kWh / año</b>	<b>227.86</b>	<b>394.95</b>	<b>417.74</b>	<b>474.70</b>	<b>558.25</b>	<b>380.05</b>

En la Tabla 6 se obtiene el consumo de energía del horno estimado según el número de miembros del hogar, así como para un hogar medio.

Tabla 6: Obtención del consumo anual del horno (kWh/año), en función del tamaño y para el hogar medio, según el modelo de gasto teórico simplificado.

MODELO SIMPLIFICADO HORNO						
Personas	1	2	3	4	Mas de 4	Media
Potencia horno kW	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
horas al mes verano	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
horas al mes invierno	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
Factor de uso	0.60	1.04	1.10	1.25	1.47	1.00
kWh / mes verano	2.45	4.24	4.49	5.10	6.00	4.08
kWh / mes invierno	4.90	8.49	8.98	10.20	12.00	8.17
kWh / año	<b>48.96</b>	<b>84.86</b>	<b>89.76</b>	<b>102.00</b>	<b>119.95</b>	<b>81.66</b>

La Tabla 7 muestra el consumo medio de la cocina, es decir, de la placa y el horno juntos, para aquellos hogares que cuentan con ambos electrodomésticos.

Tabla 7: Obtención del consumo anual de la cocina (kWh/año), en función del tamaño y para el hogar medio.

MODELO SIMPLIFICADO COCINA						
Personas	1	2	3	4	Mas de 4	Media
kWh / mes verano	16.04	27.81	29.41	33.42	39.31	26.76
kWh / mes invierno	26.58	46.07	48.73	55.38	65.12	44.33
kWh / año	<b>276.82</b>	<b>479.81</b>	<b>507.50</b>	<b>576.70</b>	<b>678.20</b>	<b>461.71</b>

### 3.1.2. Lavadora

Las hipótesis utilizadas para estimar el consumo de la lavadora son:

- Potencia media de la lavadora: 1.7 kW, que se encuentra dentro del intervalo de potencias nominales ofrecidas por Lucera [33]. En concreto se ha escogido la mínima del intervalo, considerando que, en promedio, la lavadora se utiliza por debajo de su potencia nominal.
- Tiempo de lavado medio: 2h.
- Se han utilizado factores de uso que representan la frecuencia de uso (nº de lavadoras/semana) en función del número de ocupantes del hogar, obtenido de SPAHOUSEC II [21].

En la **Error! Reference source not found.**, se muestran los resultados obtenidos para los diferentes hogares según su tamaño y para el hogar medio.

Tabla 8: Obtención del consumo anual de la lavadora (kWh/año) en función del tamaño según el modelo de gasto teórico simplificado.

MODELO SIMPLIFICADO						
Personas	1	2	3	4	Mas de 4	Media
Potencia Lavadora (kW)	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.70
Tiempo de lavado por ciclo (horas)	2	2	2	2	2	2
Factor de uso	1.2	1.5	1.9	2.2	2.5	1.69
kWh / mes verano	17.49	21.86	27.69	32.06	36.43	24.56
kWh / mes invierno	17.49	21.86	27.69	32.06	36.43	24.56
kWh / año	<b>209.83</b>	<b>262.29</b>	<b>332.23</b>	<b>384.69</b>	<b>437.14</b>	<b>294.70</b>

### 3.1.3. Secadora

Las hipótesis utilizadas para modelar el consumo de la secadora son:

- Potencia de la secadora: 2.2 kW, correspondiente a la potencia media de las secadoras de bomba de calor [34].
- Tiempo de secado medio: 1.5h.
- Los factores de uso representan la frecuencia de uso (nº de ciclos de secado/semana) de la lavadora, obtenidos en Spahousec II 2019 [21], ya que se considera que la lavadora y la secadora tienen la misma frecuencia de uso.

En la Tabla 9 muestran los consumos obtenidos para cada tipo de hogar y en un hogar medio.

Tabla 9: Obtención del consumo anual de la secadora (kWh/año), en función del tamaño, según el modelo de gasto teórico simplificado.

MODELO SIMPLIFICADO						
Personas	1	2	3	4	Mas de 4	Media
Potencia Secadora (kW)	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.20
Tiempo de secado por ciclo (horas)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.50
Factor de uso	1.2	1.5	1.9	2.2	2.5	1.69
kWh / mes verano	16.97	21.21	26.87	31.11	35.36	23.84
kWh / mes invierno	16.97	21.21	26.87	31.11	35.36	23.84
kWh / año	<b>203.66</b>	<b>254.57</b>	<b>322.46</b>	<b>373.37</b>	<b>424.29</b>	<b>286.03</b>



### 3.1.4. Frigorífico

Las hipótesis utilizadas para modelar el consumo del frigorífico son:

- Potencia media del frigorífico en funcionamiento: 0.1 kW en verano y 0.08 kW en invierno. Escobar et al. [17] toman de referencia una potencia de 0.09 kW de media anual, pero, dado que en invierno el frigorífico consume menos que en verano, suponemos que en invierno la potencia demandada va a ser un 20% menor. Esta potencia media supuesta también se encuentra en el orden de magnitud de la mencionada en Chiou et al. [26].
- Se considera un consumo constante durante las 24h del día, tal y como se hace en Escobar et al. [17], donde se hace referencia a que el consumo de los frigoríficos y congeladores es relativamente constante a lo largo del día, aunque presenta ciertos picos debido fundamentalmente a la apertura y cierre de las puertas. Por tanto, siguiendo ese razonamiento, en este modelo se ha optado por realizar una hipótesis de potencia media durante el funcionamiento a lo largo del día.
- No se tienen en cuenta factores de uso.

Tabla 10: Obtención del consumo anual del frigorífico (kWh/año), según el modelo de gasto teórico simplificado.

MODELO SIMPLIFICADO							
Frigorífico	Potencia Verano kW	Potencia Invierno kW	kWh / día verano	kWh / día invierno	kWh / mes verano	kWh / mes invierno	kWh / año
Consumo medio	0.1	0.08	2.4	1.92	72	57.6	<b>748.8</b>

### 3.1.5. Congelador

Algunas viviendas disponen de un congelador tipo arcón o vertical, como complemento al integrado normalmente en el frigorífico. Las hipótesis utilizadas para calcular su consumo son:

- Potencia media del congelador: se ha tomado un 80% de la potencia del frigorífico ya que, a pesar de que tengan que mantener una temperatura menor, estos suelen ser de menor tamaño.
- Se considera un consumo constante, igual que en el frigorífico, tal y como se menciona en Escobar et al. [17].

- No se tienen en cuenta factores de uso.

Tabla 11: Obtención del consumo anual del congelador (kWh/año), según el modelo de gasto teórico simplificado.

MODELO SIMPLIFICADO							
Congelador	Potencia Verano kW	Potencia Invierno kW	kWh / día verano	kWh / día invierno	kWh / mes verano	kWh / mes invierno	kWh / año
<b>Consumo medio</b>	0.08	0.064	1.92	1.536	57.6	46.08	<b>599.04</b>

### 3.1.6. Iluminación

Las hipótesis consideradas para el cálculo del consumo por iluminación son:

- En un hogar medio hay 18.9 bombillas (dato tomado de SPAHOUSEC II [21]). El desglose de ese número de bombillas según los diferentes tipos se recoge también en el citado informe y se han tomado como referencia.
- La potencia de las bombillas se ha supuesto de:
  - Bombillas incandescentes: 40W.
  - Bombillas halógenas: 36W.
  - Bombillas de bajo consumo: 16W.
  - Bombillas de tipo fluorescentes: 36W.
  - Bombillas LED: 10W.
- Se ha supuesto un uso de 4h al día en invierno.
- Se ha supuesto un uso de 3h al día en verano.
- Se asume un factor de simultaneidad de 0.7, reflejando que no todas las bombillas del hogar están encendidas a la vez.
- Se han definido unos factores de uso según los ocupantes de la vivienda. El hogar medio al que se refieren las 18.9 bombillas del estudio SPAHOUSEC II tiene 2.5 ocupantes. En función de este número se ha estimado un factor de uso proporcional al número de ocupantes de los hogares (factor de uso de 1 para 2.5 miembros, estimando 0.4 para 1 miembro, 0.8 para 2, 1.2 para 3, 1.6 para 4 y 2 para más de 4).
- Para relacionar la energía eléctrica media consumida por los hogares en iluminación en función de los metros cuadrados de la vivienda, se utilizarán como

base los 103.7 m<sup>2</sup> que de media tienen las viviendas en España según SPAHOUSEC II [21].

El número medio de bombillas de cada vivienda, extraída de SPAHOUSEC II [21], así como la hipótesis de potencia de cada una de ellas, se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12: Número medio de bombillas [21] y su hipótesis de potencia de cada tipo.

	2019	Potencia unitaria(W)
Estandar	4.16	40
Halógenas	3.31	36
Bajo consumo	5.23	16
Fluorescentes	0.80	36
LED	5.41	10
Total	18.9	

Tabla 13: Horas de luz en verano e invierno por bombilla.

Horas de luz cada bombilla de media	
Verano	2.10
Invierno	2.80

En las tablas siguientes se muestra el cálculo del consumo eléctrico para los diferentes tipos de bombillas, con las hipótesis de número, potencia, horas y factores de uso citados anteriormente, para el diferente tamaño de los hogares y para el hogar medio.

Tabla 14: Consumo eléctrico anual (kWh) producido por bombillas estándar, según el tamaño y para el hogar medio.

MODELO SIMPLIFICADO	BOMBILLAS ESTANDAR	1	2	3	4	Mas de 4	Media
Personas	2.5						
NÚMERO	4.16	4.16	4.16	4.16	4.16	4.16	4.16
kW	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
h / día Verano	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10
h / día Invierno	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80
Factor de uso	1.00	0.40	0.80	1.20	1.60	2.19	1.00
kWh / día verano	0.35	0.14	0.28	0.42	0.56	0.76	0.35
kWh / día invierno	0.47	0.19	0.37	0.56	0.75	1.02	0.47
kWh / mes verano	10.47	4.19	8.38	12.58	16.77	22.89	10.47
kWh / mes invierno	13.96	5.59	11.18	16.77	22.36	30.52	13.96
kWh / año	153.58	61.48	122.96	184.44	245.93	335.73	153.58

Tabla 15: Consumo eléctrico anual (kWh) producido por bombillas halógenas, según el tamaño y para el hogar medio.

MODELO SIMPLIFICADO	BOMBILLAS HALÓGENAS						
Personas	2.5	1	2	3	4	Mas de 4	Media
NÚMERO	3.31	3.31	3.31	3.31	3.31	3.31	3.31
kW	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
h / día Verano	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10
h / día Invierno	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80
Factor de uso	1.00	0.40	0.80	1.20	1.60	2.19	1.00
kWh / día verano	0.25	0.10	0.20	0.30	0.40	0.55	0.25
kWh / día invierno	0.33	0.13	0.27	0.40	0.53	0.73	0.33
kWh / mes verano	7.50	3.00	6.00	9.01	12.01	16.39	7.50
kWh / mes invierno	10.00	4.00	8.01	12.01	16.01	21.86	10.00
kWh / año	<b>109.98</b>	<b>44.03</b>	<b>88.06</b>	<b>132.09</b>	<b>176.11</b>	<b>240.43</b>	<b>109.98</b>

Tabla 16: Consumo eléctrico anual (kWh) producido por bombillas de bajo consumo, según el tamaño y para el hogar medio.

MODELO SIMPLIFICADO	BOMBILLAS BAJO CONSUMO						
Personas	2.5	1	2	3	4	Mas de 4	Media
NÚMERO	5.23	5.23	5.23	5.23	5.23	5.23	5.23
kW	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
h / día Verano	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10
h / día Invierno	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80
Factor de uso	1.00	0.40	0.80	1.20	1.60	2.19	1.00
kWh / día verano	0.18	0.07	0.14	0.21	0.28	0.38	0.18
kWh / día invierno	0.23	0.09	0.19	0.28	0.38	0.51	0.23
kWh / mes verano	5.27	2.11	4.22	6.33	8.44	11.52	5.27
kWh / mes invierno	7.03	2.81	5.63	8.44	11.25	15.36	7.03
kWh / año	<b>77.29</b>	<b>30.94</b>	<b>61.88</b>	<b>92.82</b>	<b>123.76</b>	<b>168.95</b>	<b>77.28</b>

Tabla 17: Consumo eléctrico anual (kWh) producido por bombillas fluorescentes, según el tamaño y para el hogar medio.

MODELO SIMPLIFICADO	BOMBILLAS FLUORESCENTES						
Personas	2.5	1	2	3	4	Mas de 4	Media
NÚMERO	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
kW	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
h / día Verano	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10
h / día Invierno	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80
Factor de uso	1.00	0.40	0.80	1.20	1.60	2.19	1.00
kWh / día verano	0.06	0.02	0.05	0.07	0.10	0.13	0.06
kWh / día invierno	0.08	0.03	0.06	0.10	0.13	0.18	0.08
kWh / mes verano	1.82	0.73	1.46	2.19	2.92	3.99	1.82
kWh / mes invierno	2.43	0.97	1.95	2.92	3.89	5.32	2.43
kWh / año	<b>26.75</b>	<b>10.71</b>	<b>21.42</b>	<b>32.13</b>	<b>42.84</b>	<b>58.48</b>	<b>26.75</b>

Tabla 18: Consumo eléctrico anual (kWh) producido por bombillas LED, según el tamaño y para el hogar medio.

MODELO SIMPLIFICADO	BOMBILLAS LED						
Personas	2.5	1	2	3	4	Mas de 4	Media
NÚMERO	5.41	5.41	5.41	5.41	5.41	5.41	5.41
kW	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
h / día Verano	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10
h / día Invierno	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80
Factor de uso	1.00	0.40	0.80	1.20	1.60	2.19	1.00
kWh / día verano	0.11	0.05	0.09	0.14	0.18	0.25	0.11
kWh / día invierno	0.15	0.06	0.12	0.18	0.24	0.33	0.15
kWh / mes verano	3.41	1.36	2.73	4.09	5.45	7.45	3.41
kWh / mes invierno	4.54	1.82	3.64	5.45	7.27	9.93	4.54
kWh / año	<b>49.95</b>	<b>20.00</b>	<b>40.00</b>	<b>59.99</b>	<b>79.99</b>	<b>109.20</b>	<b>49.95</b>

Una vez que se ha calculado el consumo de cada tipo de bombillas por separado, se suman todos ellos para obtener el consumo total, para cada número de ocupantes y para el hogar medio, obteniendo además el valor de consumo por m<sup>2</sup>. Los resultados se muestran en la Tabla 19:

Tabla 19: Consumo eléctrico anual (kWh) producido por el total de iluminación, según el tamaño y para el hogar medio.

MODELO SIMPLIFICADO	TOTAL					
Personas	1	2	3	4	Mas de 4	Media
NÚMERO	18.90	18.90	18.90	18.90	18.90	18.90
kWh / día verano	0.38	0.76	1.14	1.52	2.07	0.95
kWh / día invierno	0.51	1.01	1.52	2.03	2.77	1.27
kWh / mes verano	11.40	22.79	34.19	45.59	62.24	28.47
kWh / mes invierno	15.20	30.39	45.59	60.78	82.98	37.96
kWh / año	167.16	334.31	501.47	668.63	912.80	417.55
kWh / (año*m <sup>2</sup> )	<b>1.61</b>	<b>3.22</b>	<b>4.84</b>	<b>6.45</b>	<b>8.80</b>	<b>4.03</b>

### 3.1.7. Lavavajillas

Las hipótesis en las que se basa la estimación del consumo del lavavajillas son:

- Se ha supuesto una potencia de 1.9 kW, que se encuentra dentro del intervalo de potencias especificadas en Lucera [33], 1.5 kW a 2.2 kW. Se ha escogido una potencia intermedia ya que, aunque los lavavajillas funcionan cerca de su potencia

nominal, la potencia mínima del rango utilizado se supone que corresponde a lavavajillas de última generación con una alta eficiencia energética

- Se asume un tiempo de 2 h por cada ciclo de lavavajillas
- Los factores de uso se han basados en la frecuencia de uso (nº de veces/semana) tomados de SPAHOUSEC II [21].

El consumo medio de un lavavajillas, para las distintas composiciones de los hogares y para un hogar medio se muestra en la Tabla 20.

Tabla 20: Consumo eléctrico anual (kWh) producido por el lavavajillas, según el tamaño y para el hogar medio según el modelo de gasto teórico simplificado.

MODELO SIMPLIFICADO						
Personas	1	2	3	4	Mas de 4	Media
Potencia lavavajillas kW	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90
Horas de uso por ciclo	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Factor de uso	1.10	1.30	1.50	1.80	1.90	1.41
kWh / mes verano	17.91	21.17	24.43	29.31	30.94	22.99
kWh / mes invierno	17.91	21.17	24.43	29.31	30.94	22.99
kWh / año	<b>214.97</b>	<b>254.06</b>	<b>293.14</b>	<b>351.77</b>	<b>371.31</b>	<b>275.90</b>

### 3.1.8. Televisión

Las hipótesis en las que se basa la estimación del consumo de la televisión son:

- Se toma una potencia media de 0.15 kW por televisión, provenientes de la potencia mínima de la tabla de Lucera [33].
- Se considerará que los hogares tienen 1.7 televisiones de media según SPAHOUSEC II [21]. Cada una de ellas tiene una potencia de 0.15 kW, haciendo un total de 0.255 kW de potencia media instalada en los hogares.
- Se considera 5.4 h de uso de media tanto en verano como en invierno, según lo recogido en SPAHOUSEC II, pero como hay 1.7 televisiones de media, cada una se ve 3.18 h en promedio.
- Los factores de uso de la televisión en los diferentes tipos de hogares son extraídos de la encuesta de empleo de tiempo del INE [15]. Las actividades descritas en dicha encuesta son las 821, 822 y 829, que se describe como “Ver televisión”, “Ver DVD o videos” y “Ver televisión, DVD o videos, especificados o no” respectivamente, todas ellas llevan implícito el uso de la televisión. Se considera

que las hipótesis descritas anteriormente corresponden con los hábitos de consumo del hogar medio, de 2.5 miembros. Y cogiendo de referencia el hogar medio se obtienen los siguientes factores:

Tabla 21: Factor de uso extraído de la EET para la televisión.

Personas	1	2	3	4	Mas de 4	Media
Factor de uso	0.68	1.17	1.02	1.08	1.23	1.00

Tabla 22: Consumo eléctrico anual (kWh) producido por la televisión, según el tamaño y para el hogar medio, según el modelo de gasto teórico simplificado.

MODELO SIMPLIFICADO	1	2	3	4	Mas de 4	Media
Personas						
Potencia TV kW	0.26	0.255	0.255	0.255	0.255	0.255
Horas al día verano	3.18	3.18	3.18	3.18	3.18	3.18
Horas al día invierno	3.18	3.18	3.18	3.18	3.18	3.18
Factor de uso	0.68	1.17	1.02	1.08	1.23	1.00
kWh / mes verano	16.52	28.43	24.79	26.24	29.89	24.32
kWh / mes invierno	16.52	28.43	24.79	26.24	29.89	24.32
kWh / año	<b>198.29</b>	<b>341.17</b>	<b>297.43</b>	<b>314.93</b>	<b>358.67</b>	<b>291.85</b>

### 3.1.9. Ordenador

Para la estimación del consumo de un ordenador se hacen las siguientes hipótesis:

- Se ha supuesto una potencia media de los ordenadores de 0.2 kW [35]. En cada hogar hay de media 1.4 ordenadores, tomado de SPAHOUSEC II [21], por lo que la potencia media de los ordenadores en los hogares es de 0.28 kW.
- Se suponen 3.2 horas al día de uso de ordenadores tanto en verano como en invierno, tomado de SPAHOUSEC II, por lo que, dividido entre el número medio de ordenadores, que es 1.4 según el mismo informe, se obtienen el promedio de las horas diarias que se utiliza cada ordenador, 2.29 horas.
- Los factores de uso del ordenador en los diferentes tipos de hogares son extraídos de la encuesta de empleo de tiempo del INE [15]. Las actividades descritas en dicha encuesta son las 721, 722, 723 y 729, que se describe como “Programación informática”, “Búsqueda de información por ordenador”, “Comunicación por ordenador” y “Otras actividades informáticas, especificadas o no” respectivamente, todas ellas llevan implícito el uso del ordenador. Se considera

que las hipótesis descritas anteriormente corresponden con los hábitos de consumo del hogar medio, de 2.5 miembros. Y cogiendo de referencia el hogar medio se obtienen los siguientes factores:

Tabla 23: Factor de uso extraído de la EET para el ordenador.

Personas	1	2	3	4	Mas de 4	Media
Factor de uso	0.32	0.71	1.36	1.84	1.73	1.00

Tabla 24: Consumo eléctrico anual (kWh) producido por el ordenador, según el tamaño y para el hogar medio según el modelo de gasto teórico simplificado.

MODELO SIMPLIFICADO						
Personas	1	2	3	4	Mas de 4	Media
Potencia ordenadores kW	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
Horas al día verano	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29
Horas al día invierno	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29
Factor de uso	0.32	0.71	1.36	1.84	1.73	1.00
kWh / mes verano	6.14	13.63	26.11	35.33	33.22	19.20
kWh / mes invierno	6.14	13.63	26.11	35.33	33.22	19.20
kWh / año	<b>73.73</b>	<b>163.58</b>	<b>313.34</b>	<b>423.94</b>	<b>398.59</b>	<b>230.45</b>

### 3.1.10. Otros

Se han tenido en cuenta otros electrodomésticos que tienen un consumo inferior a los calculados anteriormente pero que también están presentes en el día a día de los hogares. Se han considerado dentro de este grupo los móviles, tabletas y microondas. Las hipótesis en las que se ha basado el cálculo del consumo son:

- Potencia de los cargadores de móviles: 5W
- Potencia de los cargadores de tabletas: 20W
- Potencia media de los microondas: 0.9 kW, que corresponde a un valor mínimo del rango de potencias (0.9 kW-1.5 kW) señaladas en la tabla de Lucera [33], ya que no siempre trabaja a su potencia nominal.
- Se suponen 2 horas de carga al día de los móviles.
- Se suponen 4 horas de carga a la semana de las tabletas.
- Se suponen 10 minutos al día de microondas tanto en verano como en invierno.
- Utilización de factores de uso con incrementos del 100% para móviles, ya que se supondrá que todos los ocupantes del hogar cuentan con móviles.



- Utilización de factores de uso con incrementos del 50% para tabletas. Partiendo de la hipótesis de que no todos los integrantes del hogar tienen una tableta aunque si la pueden compartir, de manera que estas se usarán más y por tanto se cargarán más, consumiendo mayor energía eléctrica.
- Se tienen en cuenta factores de uso con incrementos del 10% para los microondas por cada ocupante adicional del hogar.

Con esas hipótesis se obtienen las siguientes tablas de consumos de móviles, tabletas y microondas, para los diferentes ocupantes de un hogar y para el hogar medio.

Tabla 25: Consumo eléctrico anual (kWh) producido por recarga de móviles, según el tamaño y para el hogar medio según el modelo de gasto teórico simplificado.

MODELO SIMPLIFICADO						
Personas	1	2	3	4	Mas de 4	Media
Potencia Movil kW	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
Horas al día verano	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Horas al día invierno	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Factor de uso	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	3.09
kWh / mes verano	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	0.93
kWh / mes invierno	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	0.93
kWh / año	<b>3.60</b>	<b>7.20</b>	<b>10.80</b>	<b>14.40</b>	<b>18.00</b>	<b>11.11</b>

Tabla 26: Consumo eléctrico anual (kWh) producido por la recarga de tablets, según el tamaño y para el hogar medio según el modelo de gasto teórico simplificado.

MODELO SIMPLIFICADO						
Personas	1	2	3	4	Mas de 4	Media
Potencia Tablet kW	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Horas a la semana verano	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Horas a la semana invierno	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Factor de uso	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	1.74
kWh / mes verano	0.34	0.51	0.69	0.86	1.03	0.60
kWh / mes invierno	0.34	0.51	0.69	0.86	1.03	0.60
kWh / año	<b>4.11</b>	<b>6.17</b>	<b>8.23</b>	<b>10.29</b>	<b>12.34</b>	<b>7.14</b>

Tabla 27: Consumo eléctrico anual (kWh) producido por el microondas, según el tamaño y para el hogar medio según el modelo de gasto teórico simplificado.

MODELO SIMPLIFICADO						
Personas	1	2	3	4	Mas de 4	Media
Potencia Microondas kW	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
Horas al día verano	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
Horas al día invierno	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
Factor de uso	1.00	1.10	1.20	1.30	1.45	1.15
kWh / mes verano	4.50	4.95	5.40	5.85	6.53	5.18
kWh / mes invierno	4.50	4.95	5.40	5.85	6.53	5.18
kWh / año	<b>54.00</b>	<b>59.40</b>	<b>64.80</b>	<b>70.20</b>	<b>78.30</b>	<b>62.10</b>

Sumando todos esos consumos se obtiene el consumo total del apartado “otros”, que se recoge en la Tabla 28.

Tabla 28: Consumo eléctrico anual (kWh) considerado en el apartado “Otros”, según el tamaño y para el hogar medio según el modelo de gasto teórico simplificado.

MODELO SIMPLIFICADO	Sumatorio otros					
Personas	1	2	3	4	Mas de 4	Media
kWh / mes verano	5.14	6.06	6.99	7.91	9.05	6.51
kWh / mes invierno	5.14	6.06	6.99	7.91	9.05	6.51
kWh / año	<b>61.71</b>	<b>72.77</b>	<b>83.83</b>	<b>94.89</b>	<b>108.64</b>	<b>78.14</b>

### 3.1.11. Stand-by

Además del consumo de los dispositivos encuadrados en la categoría de “Otros”, se añade un último concepto que es el consumo en stand-by de determinados aparatos. Siguiendo lo observado en la bibliografía, se ha supuesto un consumo en stand-by del 7% del total de la demanda [17].

### 3.2. Consumo medio por hogar estimado por el Modelo Teórico simplificado.

Como resumen de lo expuesto en los apartados anteriores para cada dispositivo, se muestran en la **Error! Reference source not found.** las hipótesis de potencia ( $P_i$ ) y frecuencia de uso de invierno ( $f_{i,invierno}$ ) y verano ( $f_{i,verano}$ ) que se han utilizado en el Modelo Teórico Simplificado para el cálculo del consumo eléctrico anual (CELT) dado por las Ecuaciones 2.1-2-3. La frecuencia de uso se ha uniformizado en horas por mes (h/mes).

Tabla 29: Hipótesis de potencia y frecuencia de uso de los aparatos.

Aparato	P <sub>i</sub> [kW]	f <sub>i,invierno</sub> [h/mes]	f <sub>i,verano</sub> [h/mes]
<b>Cocina (Fogón grande/Fogón pequeño)</b>	0.96/0.8	30.0/9.0	21.0/3.0
Horno	1.02	8.6	4.0
Lavadora	1.70	8.6	8.6
Secadora	2.20	6.4	6.4
Frigorífico <sup>2</sup>	0.10/0.08	720.0	720.0
Congelador <sup>3</sup>	0.08/0.064	720.0	720.0
Iluminación <sup>4</sup>	0.024	1587.6	1190.7
Lavavajillas	1.90	8.6	8.6
Tvs	0.255	95.3	95.3
Ordenadores	0.280	68.6	68.6
Otros (Móviles/ Tabletas/ Microondas)	0.005/0.020/0.900	60.0/17.2/5.1	60.0/17.2/5.1

La Tabla 30 muestra los factores de uso (FU) que se han tenido en cuenta en el Modelo de Gasto Teórico simplificado en función del número de miembros de los hogares (tamaño del hogar, TH). Todos los factores son constantes, salvo los de la iluminación, que dependen de los metros cuadrados de la vivienda (en este caso se muestra en función de los metros cuadrados medios de los hogares en 2019, 103.7, según Spahousec II [21]), como se ha explicado en el apartado 3.1.6.

Tabla 30: Hipótesis de factores de uso (FU) de los aparatos en función del tamaño del hogar.

FU(TH)	1	2	3	4	Más de 4
Cocina	0.60	1.04	1.10	1.25	1.47
Horno	0.60	1.04	1.10	1.25	1.47
Lavadora	1.20	1.50	1.90	2.20	2.50
Secadora	1.20	1.50	1.90	2.20	2.50
Frigorífico	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Congelador	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Iluminación	0.40	0.80	1.20	1.60	2.00
Lavavajillas	1.10	1.30	1.50	1.80	1.90
Tvs	0.68	1.17	1.02	1.08	1.23
Ordenadores	0.32	0.71	1.36	1.84	1.73
Otros(Móviles/Tabletas/ Microondas)	1.00/1.00/ 1.00	2.00/1.50/ 1.10	3.00/2.00/ 1.20	4.00/2.50/ 1.30	5.00/3.00/ 1.45

<sup>2</sup> Se distinguen dos hipótesis de potencia media de los frigoríficos en invierno y verano respectivamente.

<sup>3</sup> Se distinguen dos hipótesis de potencia media de los congeladores en invierno y verano respectivamente.

<sup>4</sup> Las hipótesis de potencia media y las frecuencias de uso de invierno y de verano de la iluminación se obtienen de calcular la media ponderada de las mismas (SPAHOUSEC II).

Además, para la estimación del consumo medio de un hogar, se ha tenido en cuenta que hay dispositivos que no se encuentran en todos los hogares; en esos casos se ha multiplicado su consumo medio por la penetración obtenida según diversas fuentes y que se muestran en la Tabla 31 **Error! Reference source not found.** Para el resto de equipamiento, en el que la penetración es superior al 95%, se ha asumido que están presentes en todos los hogares.

Tabla 31: Penetración de los diferentes dispositivos y fuentes utilizadas.

Aparato	Penetración	Fuente
Secadora	28.30%	Spahousec 2011
Congelador	24.80%	Spahousec II 2019
Horno	77.10%	Spahousec 2011
Lavavajillas	54.80%	Spahousec II 2019
Ordenador	80.90%	España en cifras 2020
Tablet	54.50%	España en cifras 2020

Utilizando el modelo desarrollado, se realiza el sumatorio de las contribuciones de cada uno de los dispositivos considerados y de la iluminación, obteniéndose el Consumo Eléctrico Teórico (CELT) en kWh/año, según la Ecuación 3.4.

$$CELT = \sum_{i=1}^n C_{i,anual} \cdot p_i \quad (3.4)$$

Siendo  $p_i$  la penetración de los electrodomésticos. Toma, de forma general, un valor igual a 1 salvo para los definidos en la Tabla 31, en la que se muestra el valor utilizado.

En la Tabla 32 se muestra el consumo medio de energía eléctrica de los hogares según el número de ocupantes de estos. Como se corresponde con el consumo medio, se ha tenido en cuenta las penetraciones de los diferentes aparatos, señalados en la Tabla 31. Además, dicha tabla contiene el consumo medio de los electrodomésticos y el CELT, definido anteriormente, que tiene un valor de 3031.67 kWh al año.

Tabla 32: Consumo eléctrico anual (kWh/año) doméstico (CELT), según el número de ocupantes y para el hogar medio, siguiendo el modelo de gasto teórico simplificado.

MODELO SIMPLIFICADO						
Nº Ocupantes	1	2	3	4	Mas de 4	Media
Placa Cocina	227.86	394.95	417.74	474.70	558.25	<b>380.05</b>
Horno	37.75	65.43	69.20	78.64	92.48	<b>62.96</b>
Lavadora	209.83	262.29	332.23	384.69	437.14	<b>294.70</b>
Secadora	57.63	72.04	91.26	105.66	120.07	<b>80.95</b>
Frigorífico	748.80	748.80	748.80	748.80	748.80	<b>748.80</b>
Congelador	148.56	148.56	148.56	148.56	148.56	<b>148.56</b>
Iluminación	167.02	334.05	501.07	668.09	835.12	<b>412.80</b>
TV	198.29	341.17	297.43	314.93	358.67	<b>291.85</b>
Ordenador	59.65	132.34	253.50	342.96	322.46	<b>186.43</b>
Lavavajillas	117.80	139.22	160.64	192.77	203.48	<b>151.19</b>
Otros	59.94	70.11	80.27	90.44	103.31	<b>75.05</b>
Stand-by	142.32	189.63	217.05	248.52	274.98	<b>198.33</b>
<b>Total</b>	<b>2175.45</b>	<b>2898.58</b>	<b>3317.75</b>	<b>3798.77</b>	<b>4203.33</b>	<b>3031.67</b>

### 3.3. Comparación con otros modelos/datos

En este punto se ha comparado el consumo medio estimado por el modelo de gasto teórico simplificado con otros modelos de referencia. Como no todas las referencias se refieren al mismo año, se ha adaptado el modelo de gasto teórico al año de la referencia variando los porcentajes de penetración, el número de bombillas en la iluminación y el porcentaje de número de miembros de los hogares, utilizando los datos del año concreto al que se refiera.

#### 3.3.1. Comparación del Modelo Teórico simplificado con SECH-SPAHOUSEC

Para la comparación del Modelo Teórico con el estudio del informe SECH-SPAHOUSEC [16] del año 2011, se han utilizado como referencia los datos mencionados en ese informe como las penetraciones o el multiequipamiento, adaptando el modelo teórico a ese año. También se ha utilizado el porcentaje de personas en los hogares extraído del mismo informe, que es diferente al utilizado para 2019, así como el tamaño medio de hogar (para la iluminación). Es decir, para poder comparar los resultados del modelo, que se ha basado en datos de 2019, con el informe de 2011, se han adaptado las hipótesis realizadas en el modelo según los datos de 2011.

Los porcentajes de penetración usados para dicho modelo de 2011 se muestran en la **Error! Reference source not found..**

Tabla 33: Penetración en 2011 de los diferentes dispositivos y fuente utilizada.

Aparato	Penetración	Fuente
Secadora	28.30%	Spahousec 2011
Congelador	23.20%	Spahousec 2011
Horno	77.10%	Spahousec 2011
Lavavajillas	53.10%	Spahousec 2011
Ordenador	68.70%	España en cifras 2011

Tabla 34: Numero de miembros (tamaño) de los hogares españoles en 2011 según SECH-SPAHOUSEC [16].

Nº Personas Hogar	1	2	3	4	Mas de 4
%	22%	27%	22%	20%	9%

Los resultados obtenidos para el consumo eléctrico con esos datos referidos a 2011, para las distintas composiciones y el hogar medio en ese año (2.7 ocupantes y 102.4 m<sup>2</sup>) [16], se muestran la **Error! Reference source not found..**

Tabla 35: Consumo eléctrico anual (kWh/año) doméstico en 2011, según el número de ocupantes y para el hogar medio, siguiendo el modelo de gasto teórico simplificado.

MODELO SIMPLIFICADO 2011						
Nº Ocupantes	1	2	3	4	Mas de 4	Media 2011
Cocina	233.61	404.92	428.28	486.69	572.34	<b>403.79</b>
Lavadora	209.83	262.29	332.23	384.69	437.14	<b>306.35</b>
Secadora	57.63	72.04	91.26	105.66	120.07	<b>84.15</b>
Frigorífico	748.80	748.80	748.80	748.80	748.80	<b>748.80</b>
Congelador	138.98	138.98	138.98	138.98	138.98	<b>138.98</b>
Horno	37.75	65.43	69.20	78.64	92.48	<b>65.25</b>
Iluminación	189.77	379.53	569.30	759.06	948.83	<b>506.67</b>
TV	198.29	341.17	297.43	314.93	358.67	<b>296.44</b>
Ordenador	50.65	112.38	215.27	291.24	273.83	<b>171.74</b>
Lavavajillas	114.15	134.90	155.66	186.79	197.17	<b>150.89</b>
Otros	57.60	66.60	75.60	84.60	96.84	<b>72.92</b>
Stand-by	142.59	190.89	218.54	250.61	278.96	<b>206.22</b>
<b>Total</b>	<b>2179.65</b>	<b>2917.94</b>	<b>3340.54</b>	<b>3830.68</b>	<b>4264.11</b>	<b>3152.19</b>

En la Tabla 36, se compara el hogar medio de 2011 con los datos de SECH-SPAHOUSEC [16]. Se puede ver como el consumo total se desvía en torno al 10% (sobreestimándolo), si bien es cierto que algunos de los dispositivos se desvían algo más.

Es notable la diferencia que existe en la estimación del consumo del horno, pero la consulta de otras fuentes permite verificar que el consumo dado por SECH-SPAHOUSEC es excesivo ([17], [18]). También destaca la sobreestimación del consumo de los ordenadores, esto puede deberse a que en el año 2011 la frecuencia de uso era menor que la actual.

Tabla 36: Resultados del modelo de gasto teórico simplificado comparado con los del informe SECH-SPAHOUSEC [16], desglosados para cada dispositivo y total para un hogar medio (2.7 ocupantes y 102.4 m<sup>2</sup>)

	Modelo Teórico	Spahousec	Diferencia
	kWh/hogar total	kWh/hogar total	%
Cocina (eléctrica)	403.79	343.44	18%
Ilum+electrod	2748.40	2515.61	9%
Iluminación	506.67	410.00	24%
Electrodomésticos	2241.73	2105.61	6%
Frigoríficos	748.80	655	14%
Congeladores	138.98	129.46	7%
Lavadoras	306.35	254.00	21%
Lavavajillas	150.89	130.10	16%
Secadoras	84.15	72.17	17%
Horno	65.25	176.56	-63%
TV	296.44	261.80	13%
PCs	171.74	119.54	44%
Stand-by	206.22	231	-11%
Otros	72.92	76.00	-4%
<b>Total</b>	<b>3152.19</b>	<b>2859.05</b>	<b>10%</b>

### 3.3.2. Comparación del modelo teórico con el modelo de Escobar et al.

El trabajo presentado por Escobar et al. [17] está basado en los datos de SECH-SPAHOUSEC, aunque calcula los consumos a través de gráficas de perfil de uso de algunos de los dispositivos (curva de cargas), obtenidos a partir de la Encuesta de Empleo de Tiempo del INE. Se ha realizado una comparativa de los resultados del modelo teórico,

de nuevo ajustado a 2011, con los resultados obtenidos por el trabajo de Escobar, que se puede observar en la Tabla 37.

Tabla 37: Resultados del modelo de gasto teórico simplificado comparado con los obtenidos por Escobar et al. [17], desglosados para cada dispositivo y total para un hogar medio (2.7 ocupantes y 102.4 m<sup>2</sup>).

	Modelo Simplificado 2011	Modelo Escobar	Diferencia
	kWh/hogar total	kWh/hogar total	%
Cocina + Horno	469.04	495.00	-5%
Illum+electrod	2683.15	2692.41	0%
Iluminación	506.67	409.53	24%
Electrodomésticos	2176.48	2282.88	-5%
Frigoríficos + Congeladores	887.78	781.20	14%
Lavadoras	306.35	252.00	22%
Secadoras	84.15	73.20	15%
Lavavajillas	150.89	128.88	17%
TV	296.44	259.20	14%
PCs	171.74	157.68	9%
Stand-by	206.22	226.80	-9%
Otros	72.92	403.92	-82%
<b>Total</b>	<b>3152.19</b>	<b>3187.41</b>	<b>-1%</b>

Puesto que los datos del trabajo de Escobar se basan en SECH-SPAHOUSEC [16], hay electrodomésticos/aparatos que tienen un consumo de referencia similar y por ende una diferencia con el Modelo Simplificado similar, como es el caso de las lavadoras, secadoras o el lavavajillas. Sin embargo, hay otros electrodomésticos/aparatos en los que varía el consumo notablemente como en el caso de la cocina u otros aparatos, este último tiene un consumo mucho mayor que el Modelo Simplificado, que parece compensar la sobreestimación del resto de electrodomésticos/aparatos. Esto lleva a que haya una diferencia de tan solo un 1% (infraestimación) del Modelo Simplificado con el desarrollado por Escobar et al. [17].

Algunos dispositivos se ajustan mejor al cálculo según el modelo teórico, como los ordenadores y la suma de cocina y horno. La iluminación es el parámetro que más se desvía, sobreestimándose en un 24%, además de los otros aparatos.



Se puede observar que el consumo del horno se ha unido al de la cocina, porque la encuesta de empleo de tiempo no permite diferenciar entre ambos usos. Los consumos de frigoríficos y congeladores a diferencia de SPAHOUSEC se combinan, considerando un consumo constante a lo largo del día sin llevar asociado una curva de perfil de uso.

### **3.3.3. Comparación del modelo de gasto teórico simplificado con datos estadísticos oficiales**

Se han comparado también los resultados obtenidos del modelo teórico con los datos procedentes de varios informes del IDAE y otros organismos públicos con datos estadísticos de consumo de energía eléctrica. En concreto, se han utilizado:

- **Informe Sintético de Indicadores de Eficiencia Energética (IEE) en España. Año 2018.** [18] De donde, a partir de los datos de estructura del consumo eléctrico por tipo de equipamiento se pueden obtener los consumos medios para todos los equipos que consumen electricidad en un hogar.
- **Informe anual de indicadores energéticos. Año 2018.** [19] De este informe se puede obtener el dato agregado del consumo medio por hogar en iluminación y electrodomésticos.
- **Informe anual de consumos energéticos. Evolución 2010-2018.** [20] Ha sido utilizado para obtener una media por hogar del consumo eléctrico en cocina y, de forma agregada, en iluminación y electrodomésticos (este último valor coincide con el obtenido en la referencia anterior).

La comparación con todas esas referencias, por tanto, no puede realizarse con todos los campos. Se muestra en la Tabla 38 la comparación con los datos obtenidos de los informes anteriores, junto con las desviaciones en cada campo y en el total.

Tabla 38: Resultados del modelo de gasto teórico simplificado comparado con las diferentes fuentes estadísticas desglosados para cada dispositivo y total para un hogar medio (2.5 personas y 103.7 m<sup>2</sup>).

	Modelo Teórico	Síntesis IEE 2018	Diferencia	Indicadores detalle 2018	Diferencia	Eurostat 2018	Diferencia
	kWh/hogar total	kWh/hogar total	%	kWh/hogar total	%	kWh/hogar total	%
Cocina (eléctrica)	380.05	376	1%	-	-	<b>376</b>	<b>1%</b>
Ilum+electrod	2651.62	2827	-6%	<b>2976</b>	<b>-11%</b>	<b>2976</b>	<b>-11%</b>
Iluminación	412.80	473	-13%				
Electrodomésticos	2238.82	2354	-5%				
Frigoríficos	748.80	768	-2%				
Congeladores	148.56	150	-1%				
Lavadoras	294.70	295	0%				
Lavavajillas	151.19	150	1%				
Secadoras	80.95	85	-5%				
Horno	62.96	61	3%				
TV	291.85	303	-4%				
PCs	186.43	186	0%				
Stand-by	198.33	267	-26%				
Otros	75.05	89	-16%				
<b>Total</b>	<b>3031.67</b>	<b>3203</b>	<b>-5%</b>				

Se puede observar cómo, en la comparación con los datos del informe de síntesis de indicadores de eficiencia energética, en el que se dispone de todos los dispositivos desagregados, el modelo llega a resultados muy similares, con tan solo un 5% de desviación en el cómputo de consumo total, quedando la estimación del modelo por debajo (infraestimación).

El cálculo de la cocina parece bastante acertado, teniendo sólo un 1% de desviación. El resto de los electrodomésticos se ajustan también bastante bien, con desviaciones máximas (sin incluir el Stand-by) del 13% en el caso de la iluminación. La mayor desviación se produce en Stand-by, en donde se ha utilizado un valor porcentual constante con respecto al total del consumo, obtenido de [17].

#### 4. Modelo de gasto teórico Avanzado

Para realizar el Modelo de Gasto Teórico Avanzado se ha partido de la Encuesta de Empleo de Tiempo [15] realizada por el INE en el año 2010 donde se pueden extraer los hábitos de vida de los hogares en función del número de miembros. La Tabla 39 recoge el tamaño de los hogares encuestados en función del número de personas que habitan en ellos.

Tabla 39: Tamaño de los hogares en la EET 2010 [15].

Nº Personas Hogar	1	2	3	4	Mas de 4	Total
Nº Hogares	4771	5652	3849	3241	1067	<b>18580</b>
%	25.68%	30.42%	20.71%	17.45%	5.74%	<b>100%</b>

La encuesta recoge la información referente a cada uno de los 9541 hogares encuestados con datos como la comunidad autónoma a la que pertenecen, tamaño del municipio, tipo de hogar (hogar unipersonal, pareja sola, con hijos menores de 25, etc.), número total de miembros del hogar, etc... También contiene información sobre cada uno de los miembros de los hogares, siendo en total 25895, con datos como su sexo, mes y año de nacimiento u ocupación. Además, la encuesta recoge las actividades primarias y secundarias que realizan cada uno de los miembros mayores de 10 años en intervalos de diez minutos durante un día, junto con el lugar donde lo realiza, si está solo o acompañado por algún miembro del hogar, si está utilizando el ordenador en esa actividad y otros aspectos.

Para la elaboración del modelo se ha tomado la información referente a los siguientes factores:

- Número de personas que tiene cada hogar.
- Actividad principal y secundaria que está realizando en cada intervalo de diez minutos.
- Si la persona está realizando la actividad sola o acompañada, y si está acompañada por otro miembro del hogar.

Este modelo tiene como objeto la estimación de la energía eléctrica consumida en los hogares por aquellos electrodomésticos que tienen un consumo variable a lo largo del día, como la cocina, la lavadora, la secadora, el lavavajillas, la televisión y el ordenador. Se

asume que tanto la nevera como el congelador tienen un consumo constante a lo largo del día como en el Modelo de Gasto Teórico simplificado y en Escobar et al. [17].

#### 4.1. Descripción del modelo

Algunas de las actividades que lleva a cabo cada uno de los encuestados en el hogar durante cada intervalo de tiempo se puede asociar al uso de alguno de los electrodomésticos que se estudian en este modelo (cocina, lavadora, secadora, lavavajillas, televisión y ordenador). Para cada uno de ellos se ha realizado una hipótesis de potencia media y se han tenido en cuenta los factores de penetración descritos en la Tabla 30.

Para calcular el consumo de cada aparato, por un lado, se ha calculado la potencia media ( $P_{jkl}$ ) [kW] de cada aparato  $j$  en cada uno de los intervalos de tiempo  $k$  (intervalos de 10 minutos a lo largo de un día, por tanto,  $k=1 \dots 144$ ), para cada tipo de hogar  $l$  según el tamaño (1, 2, 3, 4 y más de 4). La unión de estos intervalos de tiempo dará lugar a curvas de potencia media a lo largo del día debidas al uso del aparato  $j$ , según la Ecuación 4.1.

$$P_{jkl} = \frac{(\sum_{i=1}^n FAP_{ij} + \sum_{i=1}^n FAS_{ij})}{N_l} \cdot P_j \text{ [kW]} \quad (4.1)$$

Siendo  $n$  el número de persona encuestada,  $FAP_{ij}$  y  $FAS_{ij}$  son factores que representan a las actividades primarias y secundarias respectivamente y que toman valor 1 si el encuestado  $i$  está utilizando el aparato  $j$  o 0 si no lo está utilizando,  $P_j$  potencia del aparato  $j$  [kW] y  $N_l$  el número de miembros del hogar.

Para cada tipo de hogar según el número de miembros ( $l$ ), el cálculo del consumo medio de los aparatos ( $C_{jl}$ ) se realiza multiplicando la potencia promedio obtenida según la Ecuación 4.1. en cada intervalo  $k$  por la duración de dicho intervalo de tiempo (10 minutos), pasando después a kWh y multiplicando por 360 días, como se muestra en la Ecuación 4.2. Se utilizan 360 días como hipótesis en vez de 365 ya que se considera que en general hay ciertos días durante el año en los que puede que no se encuentre nadie en el hogar.

$$C_{jl} = (\sum_{k=1}^{144} P_{jkl}) \cdot \left(\frac{10}{60}\right) \cdot 360 \text{ [kWh]} \quad (4.2)$$

#### 4.1.1. Cocina (placa de cocina + horno)

Se han recogido aquellas acciones que llevaban la acción número 311, recogida en la EET como “Preparación de comidas y conservación de alimentos”. El modelo cocina recoge el consumo de energía eléctrica derivado tanto de la placa de cocina (fogones) como de los hornos, teniendo en cuenta, además, que este último electrodoméstico se encuentra en el 77.10% de los hogares.

Ajustando el modelo se formulan las siguientes hipótesis:

- Potencia: 0.907 kW. Media ponderada de potencia de la placa de cocina y del horno tomadas de las hipótesis especificadas en el punto 3.1.1.
- Las cocinas son eléctricas o de vitrocerámica.
- Un 77.10% de los hogares cuentan con horno.
- El número de horas que utilizan de media los hogares utilizando la placa de cocina y el horno es de 1.36 horas, correspondiente a la media ponderada de ambos electrodomésticos según las hipótesis del apartado 3.1.1.

Se obtienen los resultados que se muestran en la Tabla 40 y en la **Error! Not a valid bookmark self-reference..**

*Tabla 40: Consumo eléctrico anual (kWh) producido por el uso de la cocina y el horno, en función del número de miembros del hogar.*

Cocina + Horno	1	2	3	4	Mas de 4	Media
Avanzado	266.58	458.97	485.03	552.08	650.55	<b>442.21</b>

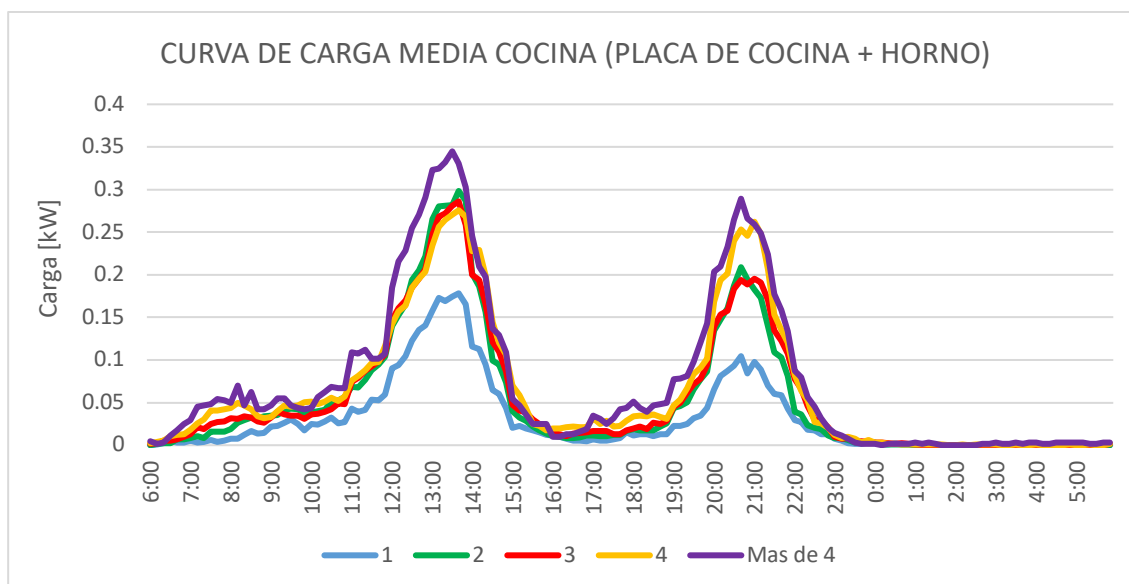


Figura 1: Curvas de carga media a lo largo del día debidas al uso de la cocina y el horno, en función del número de miembros del hogar.

La **Error! Not a valid bookmark self-reference.** muestra el perfil de la carga media en un hogar en España debido al uso de la cocina y el horno a lo largo del día y en función del número de miembros de los hogares. Se puede observar cómo el pico de la demanda se encuentra entre las 13:30 y las 14 horas, correspondiente al momento de preparación de la comida y con otro pico de menor magnitud entre las 20:30 y las 21 horas, correspondiente al momento de preparación de la cena.

#### 4.1.2. Lavavajillas

Se han recogido aquellas acciones que llevaban la acción número 312 recogida en la EET como “Fregar la vajilla”.

Para ajustar el modelo se formulan las siguientes hipótesis:

- Potencia de 1.5 kW (Potencia mínima de [33])
- Duración media del programa del lavavajillas 2 horas.
- Se ha tomado de referencia la frecuencia de uso (nº veces / semana) del lavavajillas de SPAHOUSEC II [21], que viene especificado en la Tabla 41.

Tabla 41: Frecuencia de uso de lavavajillas, en función del numero de miembros del hogar.

Personas	1	2	3	4	Mas de 4	Media
Frecuencia de uso	1.1	1.3	1.5	1.8	1.9	1.41

Se obtienen los resultados que se muestran en la Tabla 42 y la Figura 2.

Tabla 42: Consumo eléctrico anual (kWh) producido por el uso de lavavajillas, en función del número de miembros del hogar.

Lavavajillas	1	2	3	4	Mas de 4	Media
Avanzado	117.80	139.22	160.64	192.77	203.48	151.19

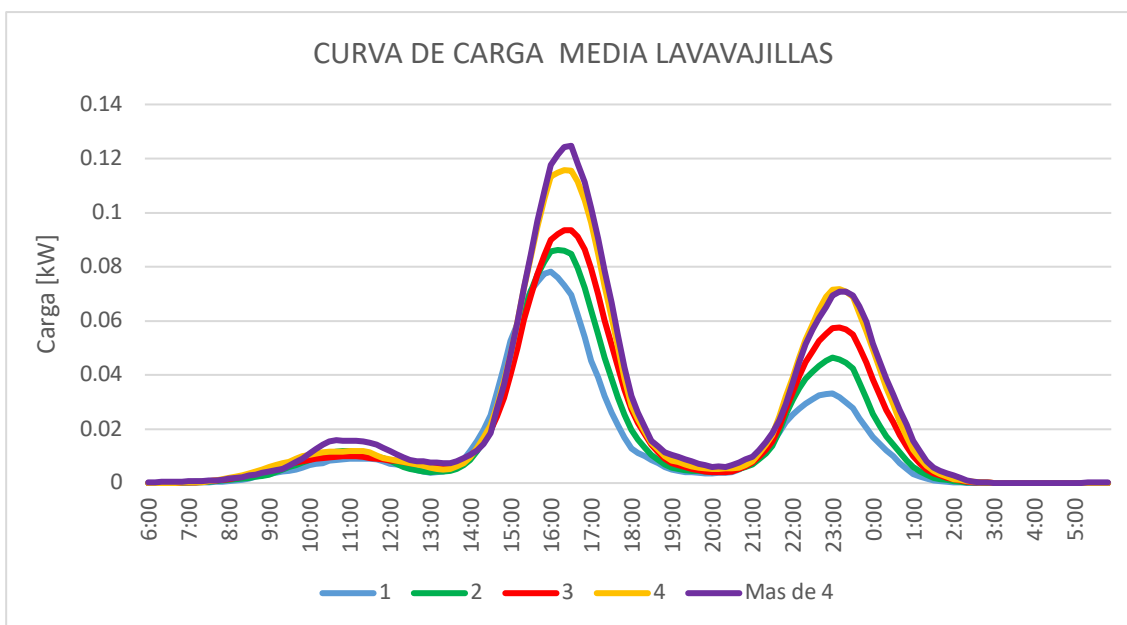


Figura 2: Curvas de carga media a lo largo del día debidas al uso del lavavajillas, en función del número de miembros del hogar.

La Figura 2 muestra el perfil de la carga media debido al uso del lavavajillas a lo largo del día y en función del número de miembros de los hogares. Se puede observar como el pico de la demanda se encuentra entre las 16 y las 16:50 horas, con otro pico de menor magnitud entre las 23 y las 23:30 horas, correspondientes a las horas en la que los hogares terminan de comer y cenar respectivamente. Además, se puede ver cómo el consumo de los hogares es escalonado según aumenta el número de miembros de los hogares, siendo similares el consumo de los hogares de 4 y más de 4 personas.

#### 4.1.3. Lavadora

Se han recogido aquellas acciones que llevaban la acción número 331 recogida en la EET como “Colada”.

Ajustando el modelo se formulan las siguientes hipótesis:

- Potencia de 1.5 kW (Potencia mínima de Lucera [33]).
- Duración media del programa de lavado 2 horas.
- Se ha tomado de referencia la frecuencia de uso (nº veces / semana) de la lavadora de SPAHOUSEC II [21], que viene especificada en la Tabla 43.

Tabla 43: Frecuencia de uso de la lavadora, en función del número de miembros del hogar.

Personas	1	2	3	4	Mas de 4	Media
Frecuencia de uso	1.2	1.5	1.9	2.2	2.5	1.69

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 44 y la Figura 3.

Tabla 44: Consumo eléctrico anual (kWh) producido por el uso de la lavadora, en función del número de miembros del hogar.

Lavadora	1	2	3	4	Mas de 4	Media
Avanzado	209.83	262.29	332.23	384.69	437.17	294.70

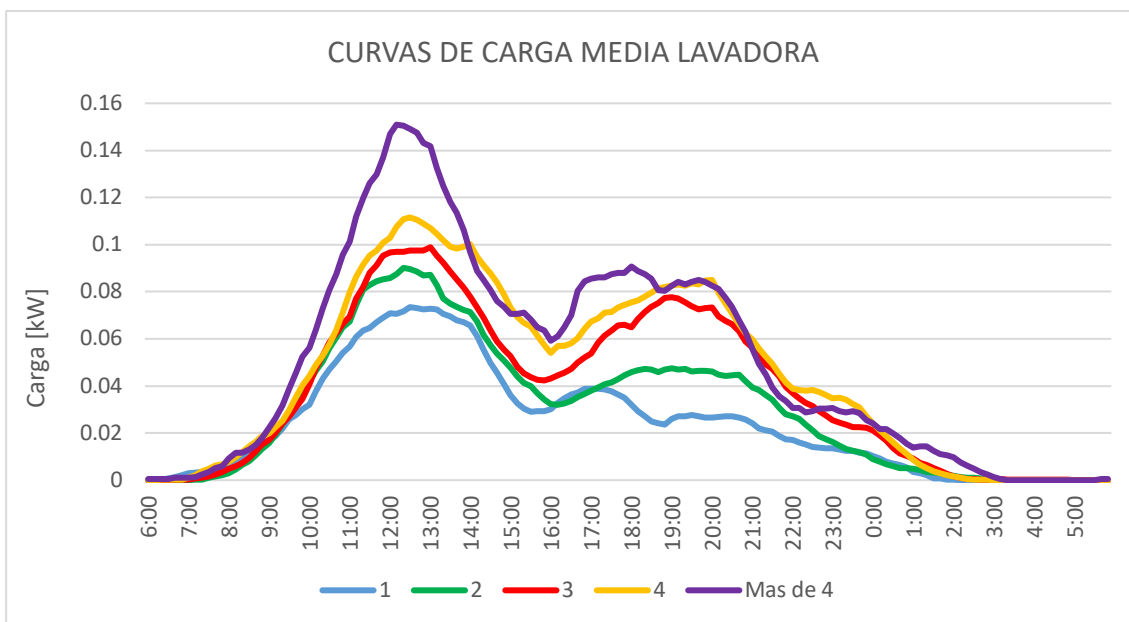


Figura 3: Curvas de carga media a lo largo del día debidas al uso de la lavadora, en función del número de miembros del hogar.

La Figura 3 muestra el perfil de la carga media debido al uso de la lavadora a lo largo del día y en función del número de miembros de los hogares. Se puede observar como el pico de la demanda se encuentra entre las 12 y las 13 horas, con otro pico de menor magnitud entre las 19 y las 20 horas. Además, se puede ver cómo el consumo de los hogares es



escalonado según aumenta el número de miembros de los hogares, habiendo más diferencia durante el pico de demanda.

#### 4.1.4. Secadora

Al igual que para la lavadora se ha recogido aquellas acciones que llevaban la acción número 331 recogida en la EET como “Colada”, al formar parte de ésta.

Ajustando el modelo se formulan las siguientes hipótesis:

- Potencia de 2 kW.
- Duración media del programa de secado: 1.5 horas.
- Se aplica el factor de penetración de 28.30% [21].
- La secadora empieza tras las dos horas del ciclo de lavado.
- Se ha tomado de referencia la frecuencia de uso (nº veces / semana) de la lavadora de SPAHOUSEC II [21], que vienen especificados en la Tabla 43, ya que se considera que ambos electrodomésticos se ponen con la misma frecuencia.

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 45 y la Figura 4.

Tabla 45: Frecuencia de uso de la secadora, en función del número de miembros del hogar.

Secadora	1	2	3	4	Mas de 4	Media
Avanzado	57.56	72.04	91.22	105.58	120.04	<b>80.90</b>

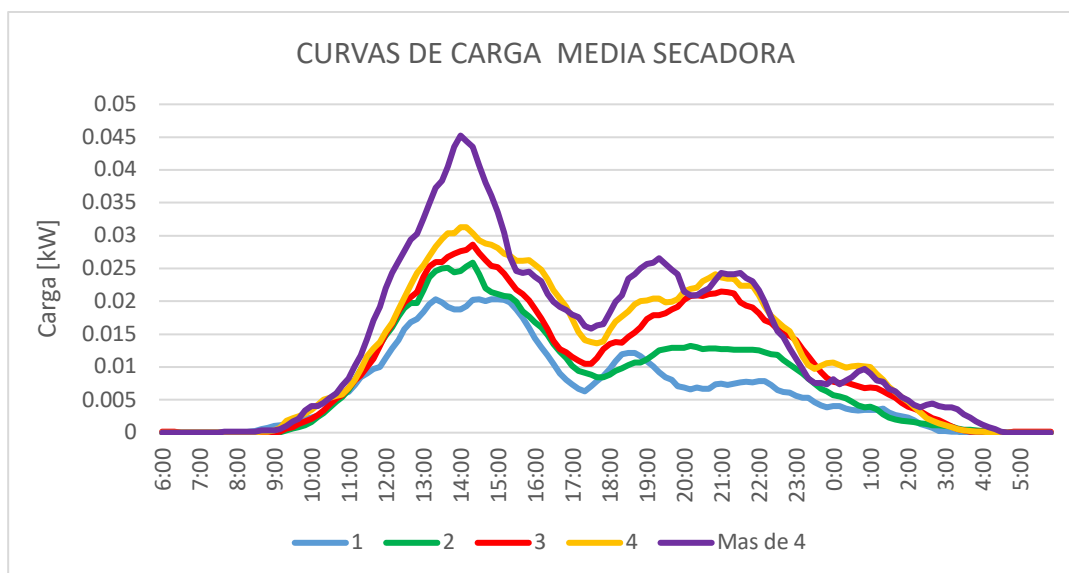


Figura 4: Curvas de carga media a lo largo del día debidas al uso de la secadora, en función del número de miembros del hogar.

La Figura 4 muestra el perfil de la carga media en España debido al uso de la secadora a lo largo del día y en función del número de miembros de los hogares. Se trata de unas curvas muy similares a las de la lavadora, ya que su cálculo se basa en la misma actividad de la encuesta, “Colada”. La única diferencia es que los picos se encuentran desplazados dos horas más en el día, observándose el pico de la demanda se encuentra entre las 14 y las 15 horas, con otro pico de menor magnitud entre las 21 y las 22 horas.

#### 4.1.5. Televisión

Se han recogido aquellas acciones que llevaban las acciones número 821, 822 y 829 recogidas en la EET como “Ver televisión”, “Ver DVD o videos” y “Ver televisión, DVD o videos, especificados o no” respectivamente. Estas tres acciones llevan implícito el uso de una televisión.

Ajustando el modelo se formulan la siguiente hipótesis:

- Se toma una potencia media de 0.15 kW por televisión, proveniente de la potencia mínima de la tabla de Lucera [33].
- Las personas que estén realizando alguna de estas actividades en solitario consumirán esa potencia media; en cambio, cuando lo hagan en compañía de algún miembro del hogar se contabilizará que está consumiendo la mitad de

potencia, es decir, 0.075 kW. De esta forma se tratará de evitar que se duplique la contabilización de la actividad.

- Se ha tomado de referencia la frecuencia de uso (nº horas / día) de la televisión de SPAHOUSEC II [21], que son 4.5 horas.

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 46 y la Figura 5.

Tabla 46: Frecuencia de uso de la televisión, en función del número de miembros del hogar.

Televisión	1	2	3	4	Mas de 4	Media
Avanzado	197.27	341.69	296.73	314.38	359.95	<b>291.57</b>

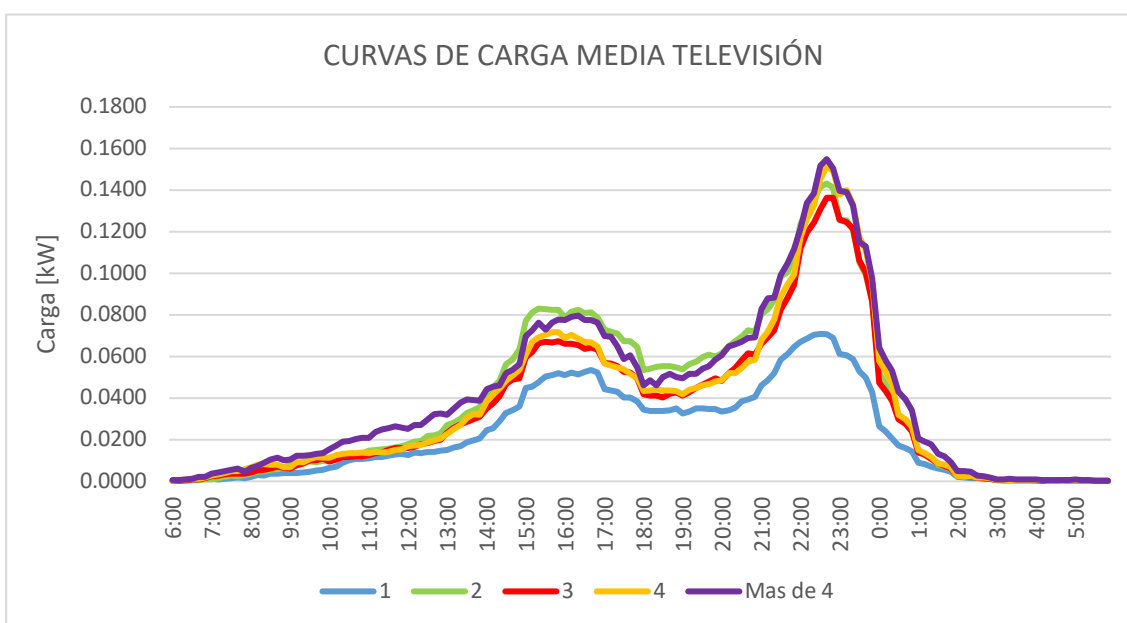


Figura 5: Curvas de carga media a lo largo del día debidas al uso de la televisión, en función del número de miembros del hogar.

La Figura 5 muestra el perfil de la carga media en España debido al uso de la televisión a lo largo del día y en función del número de miembros de los hogares. Se puede observar cómo el pico de la demanda se encuentra en torno a las 23 horas y otro pico de menor magnitud entre las 15 y las 17 horas. Cabe destacar el consumo de los hogares de dos miembros, que es superior a los hogares de 3 y 4. Además se puede observar cómo el consumo de los hogares unipersonales es significativamente inferior al resto.

#### 4.1.6. Ordenador

Se han recogido aquellas acciones que llevaban las acciones número 721, 722, 723 y 729 recogidas en la EET como “Programación informática”, “Búsqueda de información por ordenador”, “Comunicación por ordenador” y “Otras actividades informáticas, especificadas o no” respectivamente. Estas tres acciones llevan implícito el uso del ordenador.

Ajustando el modelo se formula la siguiente hipótesis:

- Se ha supuesto una potencia media de los ordenadores de 0.2 kW [35].
- Se ha tomado de referencia la frecuencia de uso (nº horas / día) de la televisión de SPAHOUSEC II [21], que son 3.2 horas. Al tener una penetración de 80.9% [36], se tomará una frecuencia de uso de 2.59 horas.

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 47 y la Figura 6.

Tabla 47: Frecuencia de uso del ordenador, en función del número de miembros del hogar.

Ordenador	1	2	3	4	Mas de 4	Media
Avanzado	59.57	131.87	253.29	343.57	321.81	<b>186.29</b>

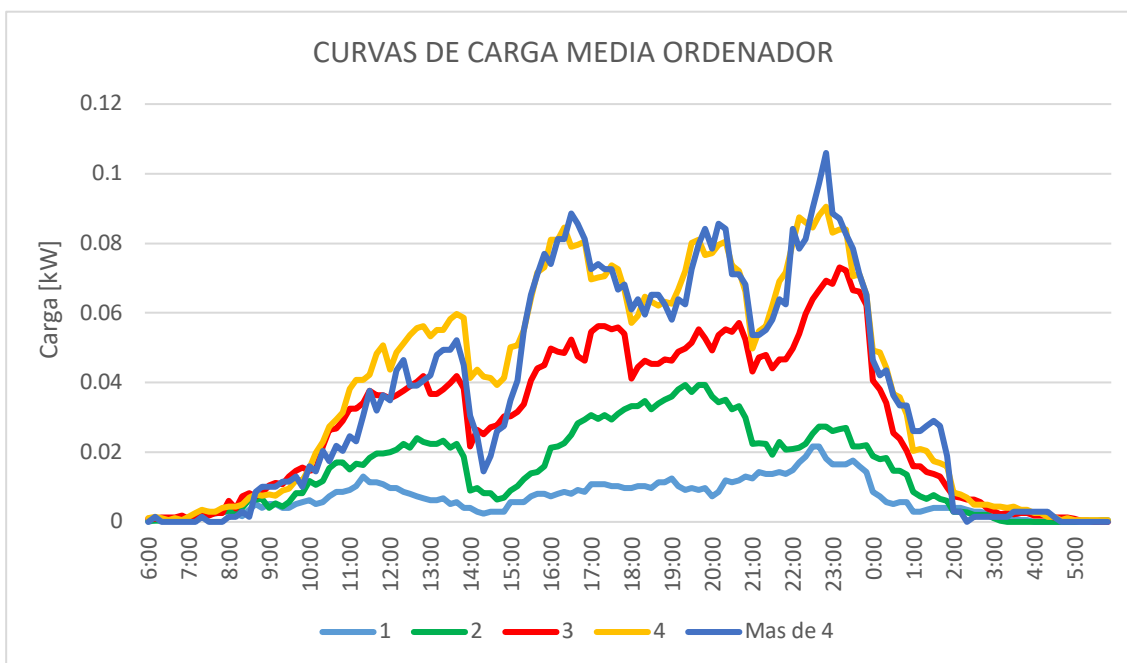


Figura 6: Curvas de carga media a lo largo del día debidas al uso del ordenador, en función del número de miembros del hogar.

La Figura 6 muestra el perfil de la carga media en España debido al uso del ordenador a lo largo del día y en función del número de miembros de los hogares. Se puede observar como el pico de la demanda se encuentra en torno a las 23 horas y otros picos de menor magnitud entre las 16 y las 16:30 horas, y entre las 20 y 20:30. Se trata del aparato/electrodoméstico que más varían la forma de las curvas según el número miembros. Cabe destacar que el consumo de los hogares de 4 miembros es superior a los hogares de más de 4. Además, se puede observar como el consumo de los hogares unipersonales es significativamente inferior al resto.

#### 4.2. Consumo medio por hogar estimado por el Modelo Avanzado

La Tabla 48 **Error! Reference source not found.** muestra las hipótesis de potencia ( $P_i$ ) que se han tenido en cuenta en el Modelo Avanzado y que se han explicado en los puntos anteriores. También se muestra el tiempo medio por ciclo de la lavadora, secadora y lavavajillas, así como el tiempo total de uso de la cocina, televisión y ordenador a lo largo del día.

Tabla 48: Hipótesis de potencia y tiempo de ciclo del Modelo Avanzado.

Aparato	$P_i$ [kW]	$t_{\text{ciclo}}$ [h]
Cocina (Placa de cocina + Horno)	0.967	1.36
Lavadora	1.5	2
Secadora	2	1.5
Lavavajillas	1.5	1.5
TV	0.221	4.5
Ordenador	0.84	2.59

Combinando el consumo estimado para los electrodomésticos anteriores con el consumo de aquellos que no pueden ser modelados a través de la EET y para los que se mantienen las estimaciones del Modelo Simplificado, se obtiene el Modelo Avanzado. En la Tabla 49 **Error! Reference source not found.** se puede observar el consumo medio de los hogares españoles según el número de ocupantes.

Tabla 49: Consumo eléctrico anual (kWh/año) doméstico, según el número de ocupantes y para el hogar medio, siguiendo el Modelo Avanzado.

Modelo Avanzado						
Nº Ocupantes	1	2	3	4	Mas de 4	Media
Cocina	266.58	458.97	485.03	552.08	650.55	<b>442.21</b>
Lavadora	209.83	262.29	332.23	384.69	437.17	<b>294.70</b>
Secadora	57.56	72.04	91.22	105.58	120.04	<b>80.90</b>
Frigorífico	748.80	748.80	748.80	748.80	748.80	<b>748.80</b>
Congelador	148.56	148.56	148.56	148.56	148.56	<b>148.56</b>
Iluminación	167.02	334.05	501.07	668.09	835.12	<b>412.80</b>
TV	197.27	341.69	296.73	314.38	359.95	<b>291.57</b>
Ordenador	59.57	131.87	253.29	343.57	321.81	<b>186.29</b>
Lavavajillas	117.80	139.22	160.64	192.77	203.48	<b>151.19</b>
Otros	59.94	70.11	80.27	90.44	103.31	<b>75.05</b>
Stand-by	142.31	189.53	216.85	248.43	275.02	<b>198.25</b>
<b>Total</b>	<b>2175.24</b>	<b>2897.12</b>	<b>3314.70</b>	<b>3797.39</b>	<b>4203.81</b>	<b>3030.32</b>

### 4.3. Comparación con otros modelos/datos

En este apartado se comparan los resultados obtenidos en el Modelo Avanzado con los modelos o estadísticas de referencia que se utilizaron en la comparativa del apartado 3.3. En primer lugar, se llevará a cabo una comparación del consumo de los electrodomésticos desarrollados a través de las curvas obtenidas de la EET con el Modelo de Escobar, en función del número de miembros de los hogares. Y a continuación se realizará una comparación del consumo medio del Modelo Avanzado con el resto de modelos o referencias. En el caso de la comparación con Escobar et al. [17] se ha calculado el consumo del Modelo Avanzado en función del miembros de los hogares correspondiente a 2011 (Tabla 55), que es el año en el que realizan su estudio, al igual que se hizo en el punto **Error! Reference source not found.** No se ha comparado con el modelo de gasto teórico simplificado contemplado en los apartados **Error! Reference source not found.**, ya que como se han adoptado las mismas hipótesis de potencia en ambos modelos, y que algunos de los factores de uso del Modelo Simplificado son extraídos de la misma

encuesta utilizada por el Modelo Avanzado, llegan a unos consumos prácticamente iguales.

#### 4.4. Comparación según el número de miembros del hogar

##### 4.4.1. Cocina y horno

En la Tabla 50 se puede observar la comparación del consumo eléctrico medio del conjunto de la cocina conformado por la placa de cocina y el horno estimado por el modelo de Escobar [17] y Avanzado.

Tabla 50: Consumo eléctrico anual (kWh) producido por el uso de la cocina y el horno según el modelo de Escobar [17] y el Avanzado, en función del tamaño.

Cocina	1	2	3	4	Media
Escobar	283.68	498.60	521.28	587.88	<b>495.00</b>
Avanzado	266.58	458.97	485.03	552.08	<b>458.24</b>
Diferencia	<b>-6%</b>	<b>-8%</b>	<b>-7%</b>	<b>-6%</b>	<b>-7%</b>

Se observa pequeña diferencia entre ambos modelos, que se encuentra entre 6% y 8%, que principalmente se debe al uso de diferentes hipótesis de potencia.

##### 4.4.2. Lavavajillas

En la Tabla 51 se comparan los consumos del lavavajillas según los modelos de Escobar [17] y Avanzado.

Tabla 51: Consumo eléctrico anual (kWh) producido por el uso del lavavajillas según el modelo de Escobar [17] y el Avanzado, en función del tamaño.

Lavavajillas	1	2	3	4	Media
Escobar	71.91	133.23	135.42	157.32	<b>130.67</b>
Avanzado 2011	114.15	134.90	155.66	186.79	<b>150.89</b>
Diferencia	<b>37%</b>	<b>1%</b>	<b>13%</b>	<b>16%</b>	<b>13%</b>

La diferencia entre ambos modelos se debe a que tienen diferentes hipótesis de potencia del lavavajillas y de frecuencia de uso. Destaca la gran diferencia de consumo en los hogares de un miembro, donde el Modelo Avanzado ha hecho una sobreestimación del 37%.

#### 4.4.3. Lavadora

En la Tabla 52 se comparan los consumos de la lavadora según los modelos de Escobar [17] y Avanzado.

Tabla 52: Consumo eléctrico anual (kWh) producido por el uso de la lavadora según el modelo de Escobar [17] y el Avanzado, en función del tamaño.

Lavadora	1	2	3	4	Media
Escobar	131.76	220.68	292.32	322.20	<b>252.00</b>
Avanzado	209.83	262.29	332.23	384.69	<b>306.35</b>
Diferencia	<b>59%</b>	<b>19%</b>	<b>14%</b>	<b>19%</b>	<b>22%</b>

La diferencia de consumo medio de ambos modelos es del 22% de sobreestimación del Modelo Avanzado y los diferentes hogares se mueven en una diferencia entre el 14% y el 59%. Esta se debe a que tienen diferentes hipótesis de potencia y de frecuencia de uso, al igual que pasaba con el lavavajillas. Destaca la gran diferencia de consumo en los hogares de un miembro, donde el Modelo Avanzado ha hecho una sobreestimación del 59%.

#### 4.4.4. Secadora

No se realiza la comparación con los resultados de Escobar et al, porque en su estudio no dan los valores de consumo de la secadora en función del número de ocupantes de los hogares.

#### 4.4.5. Televisión

En la Tabla 53 se comparan los consumos de la televisión según los modelos de Escobar [17] y Avanzado.

Tabla 53: Consumo eléctrico anual (kWh) producido por el uso de la televisión según los modelos Escobar [17] y Avanzado, en función del tamaño.

TV	1	2	3	4	Media
Escobar	209.15	283.61	251.85	267.18	<b>262.80</b>
Avanzado 2011	197.27	341.69	296.73	314.38	<b>296.21</b>
Diferencia	<b>-6%</b>	<b>17%</b>	<b>15%</b>	<b>15%</b>	<b>11%</b>



La diferencia de consumo medio de la televisión en ambos modelos es del 11% de sobreestimación del Modelo Avanzado, en este caso las diferencias entre los hogares son más pequeñas. Destaca cómo en ambos modelos los hogares de 2 ocupantes tienen un consumo mayor que los de 1, 3 y 4.

#### 4.4.6. Ordenador

En la Tabla 54 se comparan los consumos de la televisión según los modelos de Escobar [17] y Avanzado.

Tabla 54: Consumo eléctrico anual (kWh) producido por el uso del ordenador según los modelos Escobar [17] y Avanzado, en función del tamaño.

Ordenador	1	2	3	4	Media
Escobar	46.72	100.38	177.76	280.69	<b>159.87</b>
Avanzado	50.59	111.98	215.10	291.76	<b>171.63</b>
Diferencia	<b>8%</b>	<b>12%</b>	<b>21%</b>	<b>4%</b>	<b>7%</b>

La diferencia entre ambos modelos se debe principalmente a la diferente potencia utilizada para el cálculo del consumo del ordenador, así como en menor medida las hipótesis de uso de este aparato. Destaca la diferencia en los hogares de 3 ocupantes donde hay una sobreestimación del 21%, mientras que en el resto de hogares la diferencia es menor.

#### 4.5. Comparación del Modelo Avanzado con SECH-SPAHOUSEC

Para la comparación del Modelo Avanzado con el estudio del informe SECH-SPAHOUSEC [16], se han comparado los hogares en función del número de miembros del informe, que corresponde a la de 2011, y que es diferente a la utilizada para la formulación del modelo (2019). Es decir, para poder comparar los resultados del modelo, que se ha basado en datos de 2019, con el informe de 2011 se han adaptado todos los datos posibles a los existentes en 2011. Además, se han tenido en cuenta las diferentes penetraciones de los electrodomésticos, que en el caso de los lavavajillas y ordenadores.

Tabla 55: Consumo eléctrico anual (kWh/año) doméstico en 2011, según el número de ocupantes y para el hogar medio, siguiendo el modelo de gasto teórico Avanzado.

Modelo Avanzado 2011						
Nº Ocupantes	1	2	3	4	Mas de 4	Media
Cocina	266.58	458.97	485.03	552.08	650.55	<b>458.24</b>
Lavadora	209.83	262.29	332.23	384.69	437.17	<b>306.35</b>
Secadora	57.56	72.04	91.22	105.58	120.04	<b>84.10</b>
Frigorífico	748.80	748.80	748.80	748.80	748.80	<b>748.80</b>
Congelador	138.98	138.98	138.98	138.98	138.98	<b>138.98</b>
Iluminación	189.77	379.53	569.30	759.06	948.83	<b>506.67</b>
TV	197.27	341.69	296.73	314.38	359.95	<b>296.21</b>
Ordenador	50.59	111.98	215.10	291.76	273.28	<b>171.63</b>
Lavavajillas	114.15	134.90	155.66	186.79	197.17	<b>150.89</b>
Otros	57.60	66.60	75.60	84.60	96.84	<b>72.92</b>
Stand-by	142.18	190.10	217.60	249.67	278.01	<b>205.44</b>
<b>Total</b>	<b>2173.29</b>	<b>2905.89</b>	<b>3326.24</b>	<b>3816.38</b>	<b>4249.62</b>	<b>3140.23</b>

En la Tabla 56 se compara el consumo de los seis electrodomésticos que se han podido analizar con la EET con los datos de SECH-SPAHOUSEC [16]. Se puede ver como el consumo total de los electrodomésticos se desvía un 8%, sobreestimándolo. Se desvían especialmente los ordenadores (PCs).

Tabla 56: Resultados del Modelo Avanzado comparado con los incluidos en el informe SECH-SPAHOUSEC [16], desglosados para cada dispositivo.

	Modelo Avanzado 2011	Spahousec	Diferencia
	kWh/hogar total	kWh/hogar total	%
Cocina + Horno	458.24	520.00	-12%
Lavadoras	306.35	254.00	21%
Secadoras	84.10	72.17	17%
Lavavajillas	150.89	130.10	16%
TV	296.21	261.80	13%
PCs	171.63	119.54	44%
<b>Total</b>	<b>1467.42</b>	<b>1357.60</b>	<b>8%</b>

#### 4.6. Comparación del Modelo Avanzado con el modelo de Escobar et al.

Para la comparación del Modelo Avanzado con el estudio del informe Escobar et al. [17] cuyas referencias son del año 2011, se ha utilizado el porcentaje de hogares con las diferentes composiciones extraído de SECH-SPAHOUSEC del año 2011, al igual que en el apartado anterior.

En la Tabla 57 se compara el consumo de los seis electrodomésticos analizados mediante la EET con los resultados del modelo de Escobar et al. [17]. Se puede ver cómo el consumo total de los electrodomésticos se desvía un 7% por encima. En este caso las diferencias entre los diferentes electrodomésticos son menos significativas, siendo la mayor la lavadora.

Tabla 57: Resultados del Modelo Avanzado comparado con el Modelo de Escobar et al. [13], desglosados para cada dispositivo.

	Modelo Avanzado 2011	Escobar	Diferencia
	kWh/hogar total	kWh/hogar total	%
Cocina + Horno	458.24	495.00	-7%
Lavadoras	306.35	252.00	22%
Secadoras	84.10	73.20	15%
Lavavajillas	150.89	128.88	17%
TV	296.21	259.20	14%
PCs	171.63	157.68	9%
<b>Total</b>	<b>1467.42</b>	<b>1366</b>	<b>7%</b>

#### 4.7. Comparación del Modelo Avanzado con los datos del IEE

Se han comparado también los resultados obtenidos del Modelo Avanzado con los datos procedentes del Informe Sintético de Indicadores de Eficiencia Energética (IEE) del año 2018 [18]. Como la referencia es más actual no se ha realizado ninguna adaptación de los datos estimados.

En la Tabla 58 se puede observar la comparación del consumo de los seis electrodomésticos estimado por el Modelo Avanzado con los datos recogidos en el IEE 2018. Se puede ver como el consumo total de los electrodomésticos se desvía tan solo un 1% por debajo. En este caso las diferencias de consumo son escasas, siendo los consumos medios de las secadoras y la televisión los más diferentes.

Tabla 58: Resultados del Modelo Avanzado comparado con los datos recogidos en el IEE 2018 [18], desglosados para cada dispositivo.

	Modelo Avanzado	Síntesis IEE 2018	Diferencia
	kWh/hogar total	kWh/hogar total	%
Cocina + Horno	442.21	437	1%
Lavadoras	294.70	295	0%
Secadoras	80.90	85	-5%
Lavavajillas	151.19	150	1%
TV	291.57	303	-4%
PCs	186.29	186	0%
Total	1446.86	1456	-1%

#### 4.8. Comparación del Modelo Avanzado con el Modelo Simplificado

Se han comparado también los resultados de este Modelo Avanzado con los resultados del Modelo Simplificado detallados en el apartado **Error! Reference source not found.** La comparativa muestra que el consumo total de los electrodomésticos es prácticamente igual, como ya se ha visto comprobado en el 3.

Tabla 59: Resultados del Modelo Avanzado comparado con el Modelo Simplificado, desglosados para cada dispositivo.

	Modelo Avanzado	Modelo Simplificado	Diferencia
	kWh/hogar total	kWh/hogar total	%
Cocina + Horno	442.21	443.01	0%
Lavadoras	294.70	294.70	0%
Secadoras	80.90	80.95	0%
Lavavajillas	151.19	151.19	0%
TV	291.57	291.85	0%
PCs	186.29	186.43	0%
Total	1446.86	1448	0%

## **5. Modelo de Gasto Teórico Avanzado 2.0**

El Modelo de Gasto Teórico Avanzado 2.0 se trata de una versión del Modelo de Gasto Teórico Avanzado descrito en el apartado 4, en el que no solo se tiene en cuenta el tamaño del hogar y los metros cuadrados del mismo, sino también la ocupación de sus miembros. Este modelo ha tenido como referencia la Encuesta de Empleo de Tiempo [15] realizada por el INE en 2010, al igual que en el Modelo de Gasto Teórico Avanzado, donde se han extraído los hábitos de vida de los hogares en función de su tamaño y su ocupación. Dicha encuesta se realizó a 9541 hogares, cuyo tamaño viene recogido en la Tabla 39.

Como ya se ha mencionado anteriormente en el apartado 4, la encuesta recoge la información referente a cada uno de los 9541 hogares encuestados con datos como la comunidad autónoma a la que pertenecen, tamaño del municipio, composición de hogar (hogar unipersonal, pareja sin hijos, con hijos menores de 25, etc.), número total de miembros del hogar etc... También contiene información sobre cada uno de los miembros de los hogares, siendo en total 25895, con datos como su sexo, mes y año de nacimiento u ocupación. Este modelo se va a centrar principalmente en esta última característica de los entrevistados, la ocupación, ya que se considera que el consumo de energía eléctrica de los hogares varía según el número de miembros de los hogares.

Por lo tanto, para la elaboración del modelo se ha tomado la información referente a los siguientes factores:

- Número de personas que tiene cada hogar.
- Actividad principal y secundaria que está realizando en cada intervalo de diez minutos.
- Si la persona está realizando la actividad sola o acompañada, y si está acompañada por otro miembro del hogar.
- Ocupación de los miembros.

La encuesta contempla las siguientes ocupaciones para cada uno de los miembros de los hogares que participaron en ella:

- Ocupado/a.
- Parado/a.
- Estudiante.

- Jubilado/a, prejubilado/a.
- Cobrando una pensión de incapacidad permanente o invalidez (Pensionistas 1).
- Cobrando una pensión de viudedad u orfandad (Pensionistas 2).
- Realizando tareas de voluntariado social.
- Realizando tareas del hogar.
- Otra situación de inactividad.

El número de hogares que contienen o no miembros con las diferentes ocupaciones se recogen en la Tabla 60:

Tabla 60: Hogares según la ocupación de los miembros.

Ocupación/Hogares	Sin	Con
Ocupados	3360	6181
Parados	7516	2025
Estudiantes	6153	3388
Jubilados	6683	2858
Pensionistas 1	9036	505
Pensionistas 2	8647	894
Voluntarios	9536	5
Tareas hogar	7059	2482
Otros	8701	840

El número de hogares según su tamaño que tiene algún miembro con las diferentes ocupaciones se recogen en la Tabla 61:

Tabla 61: Número de hogares según su tamaño y ocupación.

Ocupación/Hogares	1	2	3	4 o más	Total
Ocupados	3166	2608	346	61	<b>6181</b>
Parados	1616	331	62	16	<b>2025</b>
Estudiantes	1806	1319	228	35	<b>3388</b>
Jubilados	2239	600	19	0	<b>2858</b>
Pensionistas 1	467	37	1	0	<b>505</b>
Pensionistas 2	883	11	0	0	<b>894</b>
Voluntarios	5	0	0	0	<b>5</b>
Tareas hogar	2457	24	1	0	<b>2482</b>
Otros	737	95	7	1	<b>840</b>

En este modelo se combinará la estimación del consumo de aquellos electrodomésticos que tienen un consumo variable a lo largo del día (cocina, la lavadora, la secadora, el lavavajillas, la televisión y el ordenador) con el consumo del resto de

aparatos/electrodomésticos estimados en el Modelo de Gasto Teórico Simplificado se elaborado en el apartado 0, obteniendo el consumo total de los hogares en función del tamaño y ocupación de sus miembros.

### **5.1. Descripción del modelo**

En primer lugar, se estima el consumo de aquellos electrodomésticos que se pueden asociar a alguna de las actividades contempladas en la Encuesta de Empleo de Tiempo [15], al igual que en el Modelo de Gasto Teórico Avanzado, pero a diferencia de este modelo también se tiene en cuenta la ocupación de los miembros de los hogares. Para cada uno de ellos se ha realizado una hipótesis de potencia media y se han tenido en cuenta los factores de penetración descritos en la Tabla 31.

Posteriormente, se hará uso de las estimaciones de consumo eléctrico de los aparatos/electrodomésticos contemplados en el Modelo Simplificado no presentes en el cálculo de los consumos a partir de la EET; estos partirán de la hipótesis de que su consumo no varía según la ocupación de sus miembros.

Para el cálculo del consumo teórico de los hogares según su ocupación se necesita suficiente evidencia estadística, por lo que se ha calculado el número de la muestra mínima de los hogares en la Encuesta de Empleo de Tiempo [15] necesarios para calcular el consumo de los aparatos. Se ha utilizado la fórmula del cálculo del tamaño de la muestra ( $n$ ) conociendo el tamaño de la población, tomando como esta los 9541 hogares.

$$n = \frac{N \cdot Z_a^2 \cdot p \cdot q}{d^2 \cdot (N-1) + Z_a^2 \cdot p \cdot q} \quad (5.1)$$

Donde  $N$  es el tamaño de la población (los 9541 hogares),  $Z_a$  el nivel de confianza,  $p$  la probabilidad de éxito,  $q$  la probabilidad de fracaso y  $d$  la precisión (error máximo admisible en términos de proporción) [37] [38].

Aplicando esa ecuación al caso de los hogares de la EET, para obtener el número de hogares mínimo necesarios para cada tipo de ocupación, se ha tomado un nivel de confianza del 95% al que le corresponde una  $Z_a = 1.96$ ,  $p$  es la proporción de hogares con algún miembro que se dedica a una ocupación determinada,  $q$  proporción de hogares en los que ningún miembro que se dedica a esa ocupación y la precisión  $d$  se ha tomado del

5%. En la Tabla 62 se muestran los valores de  $n$  obtenidos para cada tipo de ocupación. Si el número de hogares disponibles para una categoría es inferior a  $n$ , la muestra no sería válida.

Tabla 62: Cálculo del número mínimo de hogares para calcular su consumo según las ocupaciones de sus miembros.

	N	Z	p	q	e	n
Ocupados	9541.00	1.96	0.65	0.35	0.05	<b>338.19</b>
Parados	9541.00	1.96	0.21	0.79	0.05	<b>250.21</b>
Estudiantes	9541.00	1.96	0.36	0.64	0.05	<b>339.41</b>
Jubilados	9541.00	1.96	0.30	0.70	0.05	<b>311.91</b>
Pensionistas 1	9541.00	1.96	0.05	0.95	0.05	<b>76.42</b>
Pensionistas 2	9541.00	1.96	0.09	0.91	0.05	<b>128.75</b>
Voluntarios	9541.00	1.96	0.00	1.00	0.05	<b>0.80</b>
Tareas hogar	9541.00	1.96	0.26	0.74	0.05	<b>286.89</b>
Otros	9541.00	1.96	0.09	0.91	0.05	<b>121.81</b>

Comparando los resultados del número mínimo de hogares obtenidos en la Tabla 62 con los datos procedentes de la EET presentes en la Tabla 61, para que el modelo tenga suficiente evidencia estadística para representar a los hogares con diferente distribución. Se obtienen las siguientes combinaciones de hogares según su ocupación:

- **Ocupados:** 1, 2, 3 o más.
- **Parados:** 1, 2 o más.
- **Estudiantes:** 1, 2 o más.
- **Jubilados:** 1, 2 o más.
- **Pensiones por incapacidad permanente o invalidez (Pensionistas 1):** 1 o más.
- **Pensiones de viudedad u orfandad (Pensionistas 2):** 1 o más.
- **Voluntario social:** no hay suficientes.
- **Personas que realizan tareas del hogar (Tareas hogar):** 1 o más.
- **Otros:** 1 o más.

Los hogares con voluntarios al haber un número muy bajo encuestado por la EET, se considera que no tiene suficiente evidencia estadística.

Para la formulación se ha llamado  $r$  a la ocupación y  $s$  a la distinción que se ha hecho anteriormente en cuanto al tipo o composición de hogar según la ocupación de sus miembros; por tanto, se consideran los siguientes tipos de hogares:



Tabla 63: Tablas de tipo de ocupación.

Ocupación (r)	Distinción (s)	Tipo de hogar (rs)
Ocupados (A)	1 ocupado (1)	A1
	2 ocupados (2)	A2
	3 o más ocupados (3)	A3
Parados (B)	1 parado (1)	B1
	2 parados o más (2)	B2
Estudiantes (C)	1 estudiante (1)	C1
	2 estudiantes o más (2)	C2
Jubilados (D)	1 jubilado (1)	D1
	2 jubilados o más (2)	D2
Pensionistas 1 (E)	1 o más (1)	E1
Pensionistas 2 (F)	1 o más (1)	F1
Tareas hogar (G)	1 o más (1)	G1
Otros (H)	1 o más (1)	H1

Para calcular el consumo de cada aparato, por un lado, se ha calculado la potencia media ( $P_{jklrs}$ ) [kW] de cada aparato  $j$  en cada uno de los intervalos de tiempo  $k$  (intervalos de 10 minutos a lo largo de un día, por tanto,  $k=1 \dots 144$ ), para cada tipo de hogar  $l$  según el tamaño (1, 2, 3, 4 y más de 4) y según la ocupación  $rs$ . La unión de estos intervalos de tiempo dará lugar a curvas de potencia media a lo largo del día debidas al uso del aparato  $j$ , según la siguiente ecuación.

$$P_{jklrs} = \frac{(\sum_{i=1}^n FAP_{ijrs} + \sum_{i=1}^n FAS_{ijrs})}{N_{lrs}} \cdot P_j \text{ [kW]} \quad (5.2)$$

Siendo  $n$  el número de personas encuestadas,  $FAP_{ijrs}$  y  $FAS_{ijrs}$  son factores que representan a las actividades primarias y secundarias respectivamente y que toman valor 1 si el encuestado  $irs$  está utilizando el aparato  $j$  o 0 si no lo está utilizando,  $P_j$  potencia del aparato  $j$  [kW] y  $N_{lrs}$  el número de hogares de  $l$  número de miembros y de ocupación  $rs$ .

Para cada tipo de hogar según el número de miembros  $l$  y el tipo ocupación  $rs$ , el cálculo del consumo medio de los aparatos  $j$  ( $C_{jlr}$ ) se realiza multiplicando la potencia promedio obtenida según la Ecuación 4.1. en cada intervalo  $k$  por la duración de dicho intervalo de tiempo (10 minutos), pasando después a kWh y multiplicando por 360 días que hemos supuesto al año, como se muestra en la Ecuación 4.2.

$$C_{jlr} = (\sum_{k=1}^{n=144} P_{jkl}) \cdot \left(\frac{10}{60}\right) \cdot 360 \text{ [kWh]} \quad (5.3)$$

Para el cálculo de la media de consumo de los diferentes aparatos en función del tipo de ocupación  $rs$ , se determina una media ponderada en función de la proporción de número de miembros y ocupación de los hogares, referida a los hogares encuestados en [15]. En cuanto al hogar medio, se tendrá en cuenta la proporción de hogares de la Encuesta continua de hogares elaborada por el INE en 2019 [32], presente en la Tabla 1.

$$C_{medio,jrs} = \sum_{l=1}^{n=5} C_{jlrs} \cdot p_{lrs} \quad (5.4)$$

Siendo  $p_{lrs}$  la proporción del tipo de hogares con  $l$  miembros y de tipo de ocupación  $rs$ .

Una vez calculado el consumo de los diferentes electrodomésticos en función del número de miembros y la ocupación, se calcula el consumo total de los 6 aparatos  $j$  (cocina, lavadora, secadora, lavavajillas, televisión y ordenador), según los tipos de hogares  $rs$  y de su ocupación  $l$ .

$$C_{Total\ 6\ aparatos,lrs} = \sum_{j=1}^{n=6} C_{jlrs} \quad (5.5)$$

Se definen unos factores de ajuste del consumo eléctrico de esos electrodomésticos ( $f_{lrs}$ ), que de la composición de los hogares, y que se determinan como la diferencia entre el consumo total de los 6 aparatos de cada tipo de hogar según su tamaño  $l$  y ocupación  $rs$ ,  $C_{Total\ 6\ aparatos,lrs}$ , y el consumo total de los 6 aparatos del hogar medio  $C_{Total\ 6\ aparatos,l}$ , calculado en el Modelo Avanzado.

$$f_{lrs} = C_{Total\ 6\ aparatos,lrs} - C_{Total\ 6\ aparatos,l} \quad (5.6)$$

Por último, para el cálculo del consumo total de energía eléctrica de los hogares según su composición (tamaño y la ocupación de sus miembros). Para ello, se realiza un sumatorio de la energía consumida por los aparatos teniendo en cuenta su penetración y ajustando el consumo a las ocupaciones de los miembros mediante el factor de ajuste explicado anteriormente ( $f_{lrs}$ ).

$$C_{Total\ hogar} = \sum_{j=1}^{10} C_{jlrs} \cdot \beta_j + \sum_{r=1}^8 \sum_{s=1} f_{lrs} \cdot \alpha_{lrs} \quad (5.7)$$

Siendo  $\beta$  un factor que toma valor 1 si el hogar cuenta con el aparato/electrodoméstico  $j$  y 0 si el hogar no cuenta con dicho electrodoméstico. Y  $\alpha$  un factor que toma valor 1 si el hogar corresponde al tipo  $rs$  y 0 si no corresponde. De esta manera se podrán combinar

diferentes hogares con diferentes tipos de ocupación, como, por ejemplo, un hogar con 2 estudiantes, 1 parado y 2 ocupados.

## **5.2. Consumo total según la ocupación de los miembros de los hogares.**

Partiendo de las mismas hipótesis adoptadas en el apartado 4.1.1 para cada uno de los electrodomésticos o aparatos asociados a las actividades de la Encuesta de Empleo de tiempo elaborada por el INE [15], se ha calculado el gasto de energía eléctrica consumida por los hogares ligados a las ocupaciones de cada uno de sus miembros. Y posteriormente para el cálculo del consumo eléctrico total anual de los hogares se ha sumado el consumo del resto de electrodomésticos o aparatos que no dependen de la ocupación de los miembros, calculados en el modelo de gasto teórico simplificado recogido en el punto 0.

El consumo del hogar medio corresponde con el gasto eléctrico calculado en el Modelo Avanzado sin tener en cuenta la ocupación de los miembros.

### **5.2.1. Ocupación – Ocupado/a**

Se ha calculado el gasto de energía eléctrica consumida por los hogares ligados a la ocupación “ocupado/a”, diferenciado los siguientes tipos de hogares que se enumeran a continuación.

- Hogar medio
- Hogar sin ocupados
- Hogar con ocupados
- Hogar con 1 ocupado
- Hogar con 2 ocupados
- Hogar con 3 o más ocupados

Los siguientes gráficos muestran el consumo total de los diferentes tipos de hogares y la diferencia de estos hogares con respecto al hogar medio. En el eje x se muestran los tipos de hogares según su tamaño y número de ocupados, mientras que en el eje y se muestra el consumo total en [kWh/año] (Figura XX) y la diferencia con respecto al hogar medio de dichos hogares (Figura XX).

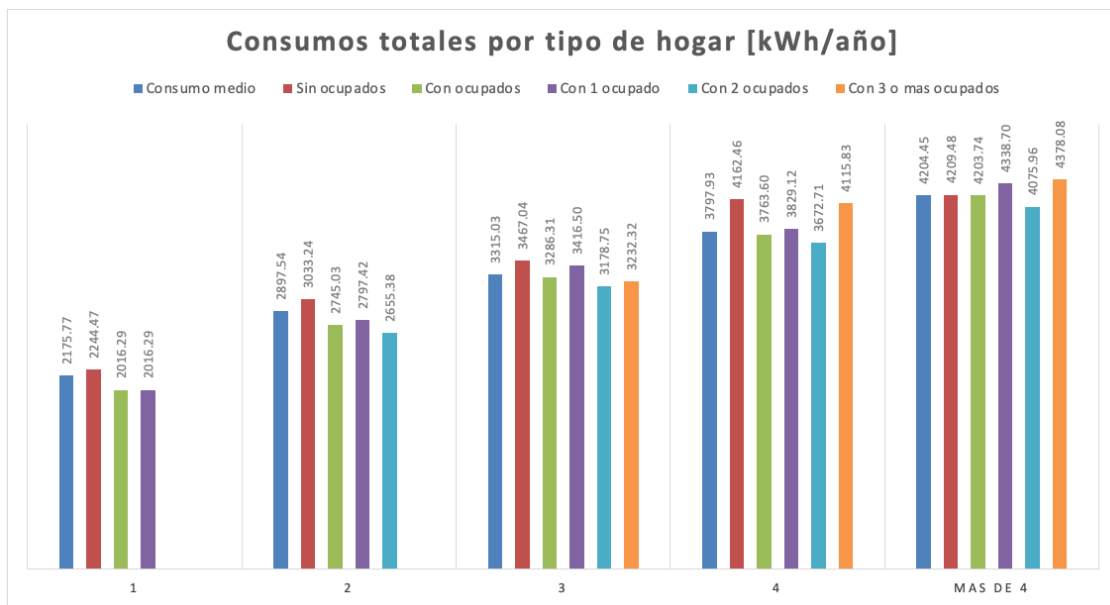


Figura 7: Consumos totales por tamaño de hogar [kWh/año], según el tipo de ocupación Ocupado/a

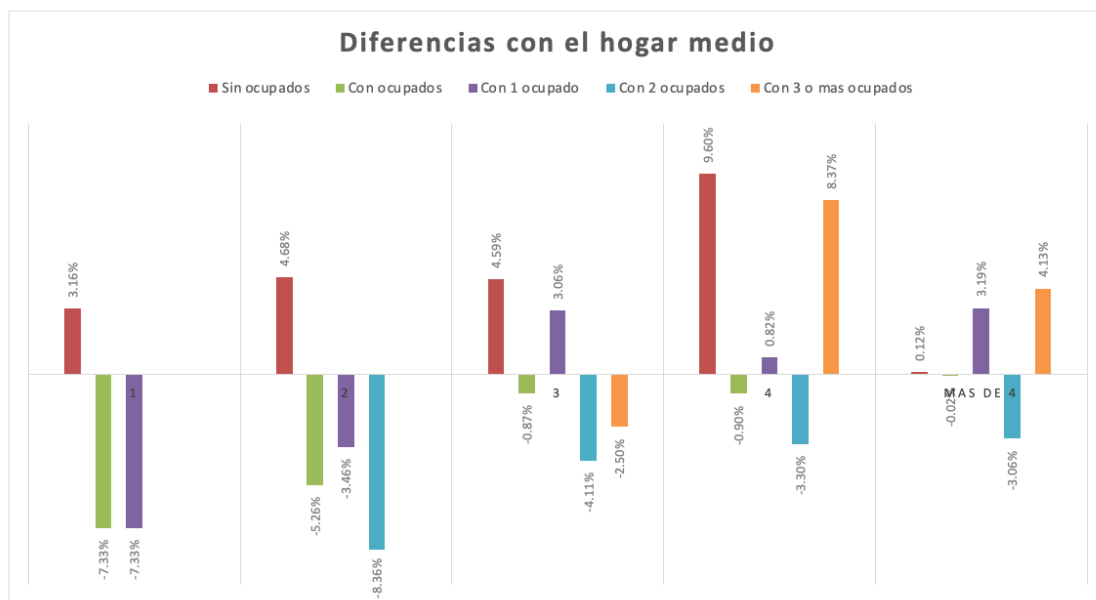


Figura 8: Diferencias de consumo con respecto al hogar medio, según el tamaño del hogar y el tipo de ocupación Ocupado/a.

De las gráficas anteriores se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Los hogares con ocupados por lo general tienen un consumo menor de energía eléctrica que la media. Y por el contrario los hogares sin ocupados tienen un consumo mayor.
- Los hogares donde todos los miembros del hogar están ocupados, tienen un consumo menor que la media, como se puede observar en los hogares de 1 persona con 1 ocupado, de 2 personas con 2 ocupados y de 3 personas con 3 o más ocupados. Sin embargo, los hogares de 4 y más de 4 miembros que contienen 3 o más ocupantes tienen un consumo por encima de la media, un 8.37% y un 4.13% respectivamente.
- Los hogares que cuentan con dos ocupados tienen un consumo menor que el resto de hogares para el mismo número de miembros en el hogar.

### **5.2.2. Ocupación – Parado/a**

Se ha calculado el gasto de energía eléctrica consumida por los hogares ligados al número de parados/as, diferenciando los siguientes tipos de hogares:

- Hogar medio
- Hogar sin parados
- Hogar con parados
- Hogar con 1 parado
- Hogar con 2 o más parados

Los siguientes gráficos muestran el consumo total de los diferentes tipos de hogares y la diferencia de estos hogares con respecto al hogar medio. En el eje x se muestran los tipos de hogares según su tamaño y el número de parados, mientras que en el eje y se muestra el consumo total en [kWh/año] (Figura XX) y la diferencia con respecto al hogar medio de dichos hogares (Figura XX).

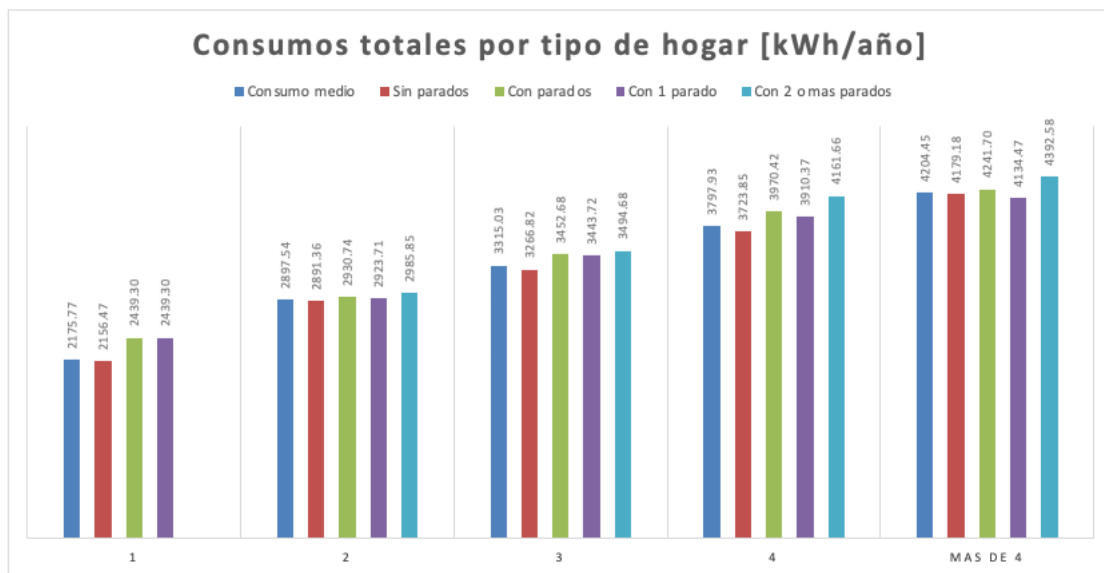


Figura 9: Consumos totales por tamaño de hogar [kWh/año], según el tipo de ocupación “Parado/a”

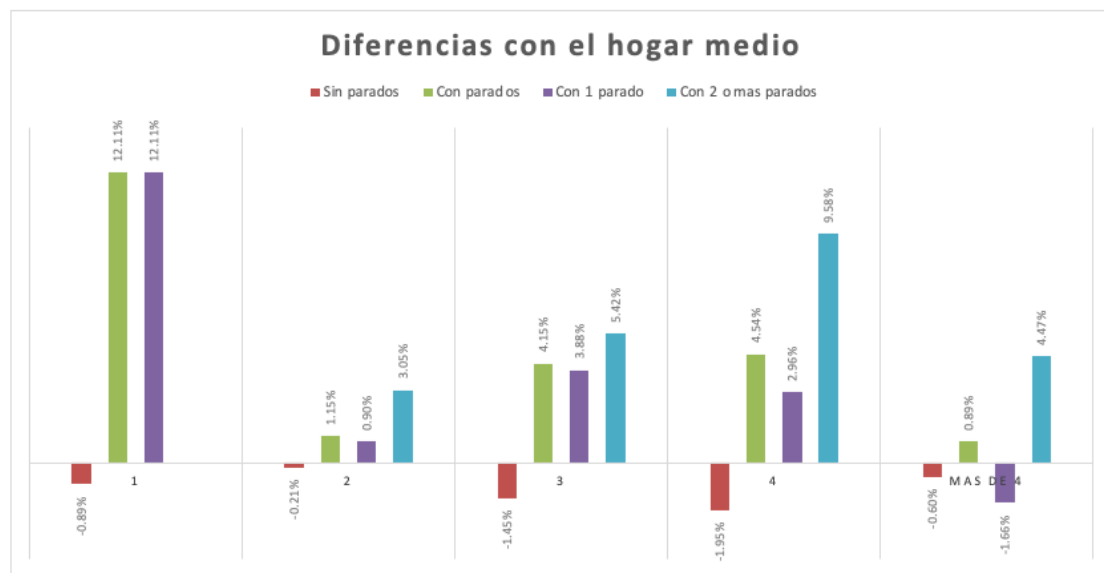


Figura 10: Diferencias de consumo con respecto al hogar medio, según el tipo de ocupación “Parado/a”.

De las gráficas anteriores se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Por lo general los hogares con parados consumen más que la media. En el caso de los hogares de más de cuatro personas.
- Cuantos más parados tenga el hogar más consumo de energía eléctrica.

### 5.2.3. Ocupación – Estudiantes

Se ha calculado el gasto de energía eléctrica consumida por los hogares ligados a la ocupación “estudiantes”. Se han diferenciado los siguientes tipos de hogares:

- Hogar medio
- Hogar sin estudiantes
- Hogar con estudiantes
- Hogar con 1 estudiante
- Hogar con 2 o más estudiantes

Los siguientes gráficos muestran el consumo total de los diferentes tipos de hogares y la diferencia de estos con respecto al hogar medio. En el eje x se muestran los tipos de hogares según su tamaño y el número de estudiantes, mientras que en el eje y se muestra el consumo total en [kWh/año] (Figura XX) y la diferencia con respecto al hogar medio de dichos hogares (Figura XX).

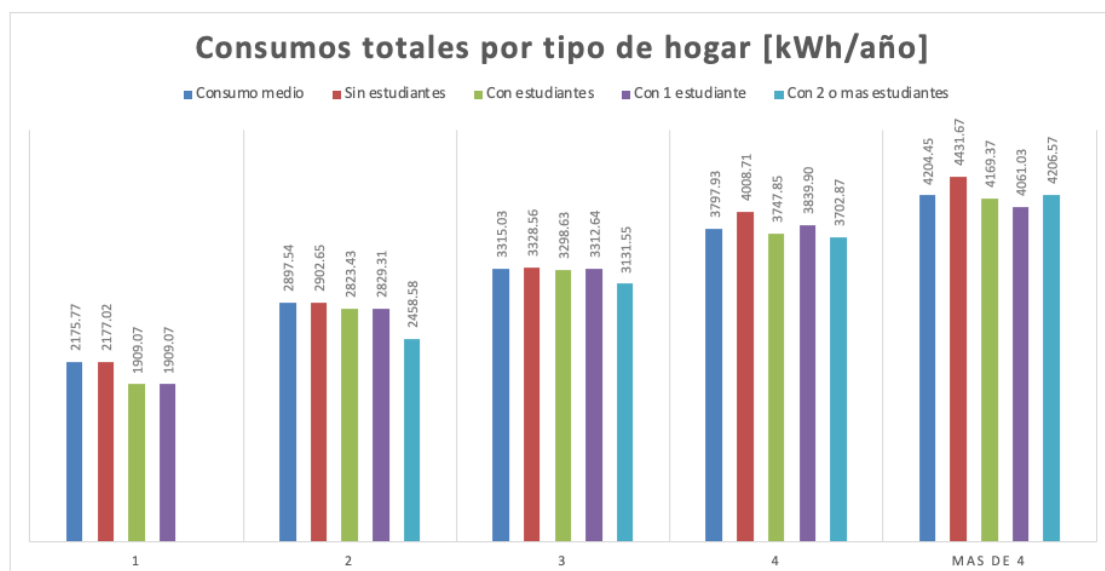


Figura 11: Consumos totales por tamaño de hogar [kWh/año], según el tipo de ocupación “Estudiantes”.

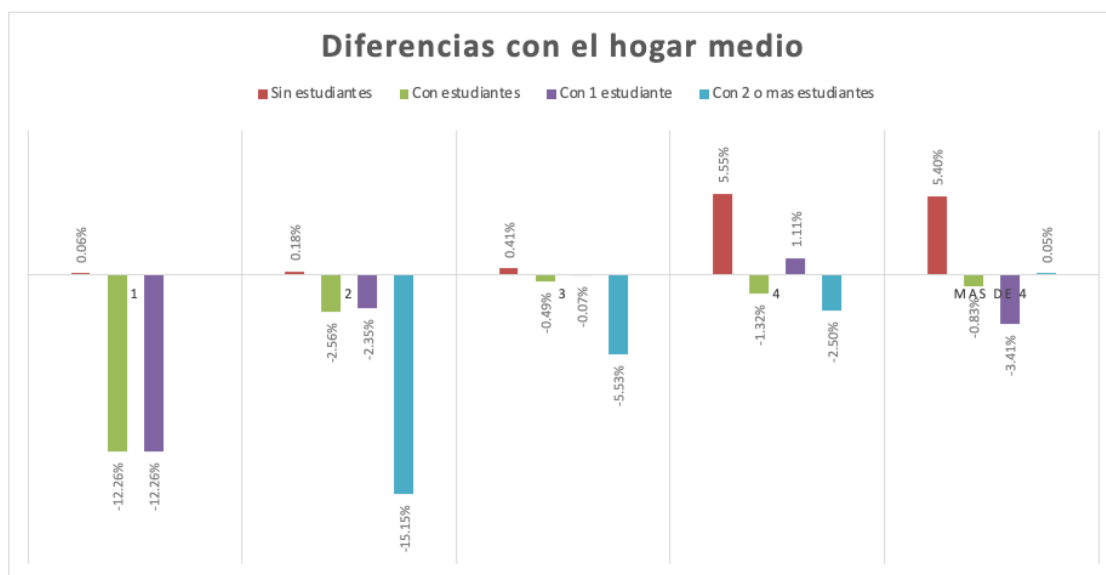


Figura 12: Diferencias de consumo con respecto al hogar medio, según el tipo de ocupación Estudiantes.

De las gráficas anteriores se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Por lo general los hogares con estudiantes consumen menos que la media. Esto se puede deber a que los estudiantes pasan menos tiempo en la vivienda.
- Cuantos más estudiantes tiene el hogar menos consume éste, como pasa en los hogares de 1, 2, 3 y 4 personas, algo que no pasa en los hogares de más de 4 personas.
- El efecto de que los hogares con estudiantes consumen menos energía es más significativo en los hogares de 1 y 2 personas con un -12.26% y -15.15% menos consumo que la media. Y a medida que aumenta el número de miembros de los hogares este efecto disminuye.

#### 5.2.4. Ocupación – Jubilados

Se ha calculado el gasto de energía eléctrica consumida por los hogares ligados a la ocupación “jubilados”, diferenciando los siguientes tipos de hogares:

- Hogar medio
- Hogar sin jubilados
- Hogar con jubilados
- Hogar con 1 jubilado



- Hogar con 2 o más jubilados

Los siguientes gráficos muestran el consumo total de los diferentes tipos de hogares y la diferencia de estos hogares con respecto al hogar medio. En el eje x se muestran los tipos de hogares según su tamaño y el número de jubilados, mientras que en el eje y se muestra el consumo total en [kWh/año] (Figura XX) y la diferencia con respecto al hogar medio de dichos hogares (Figura XX).

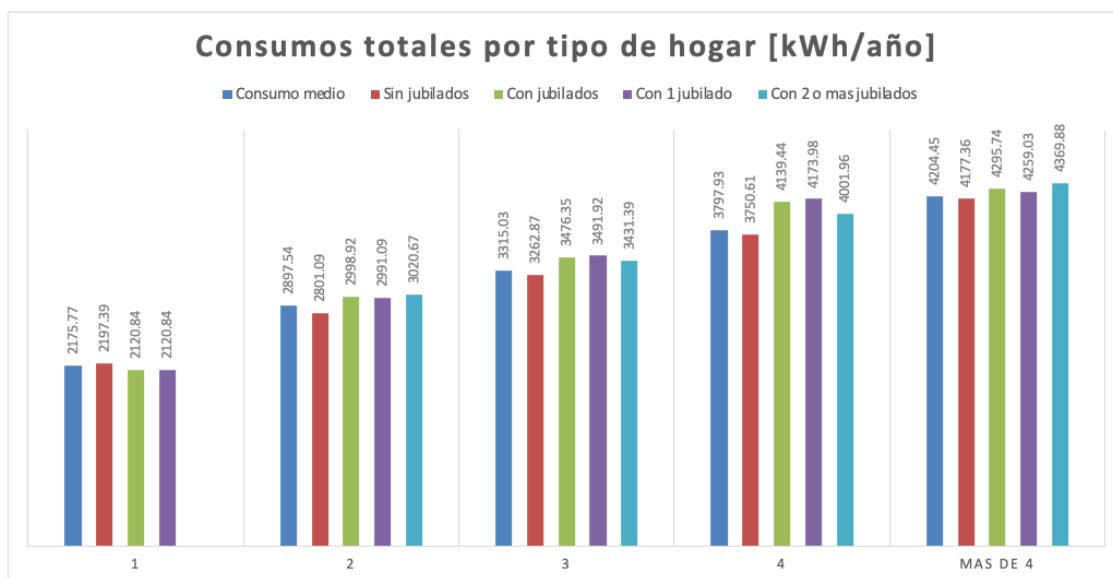
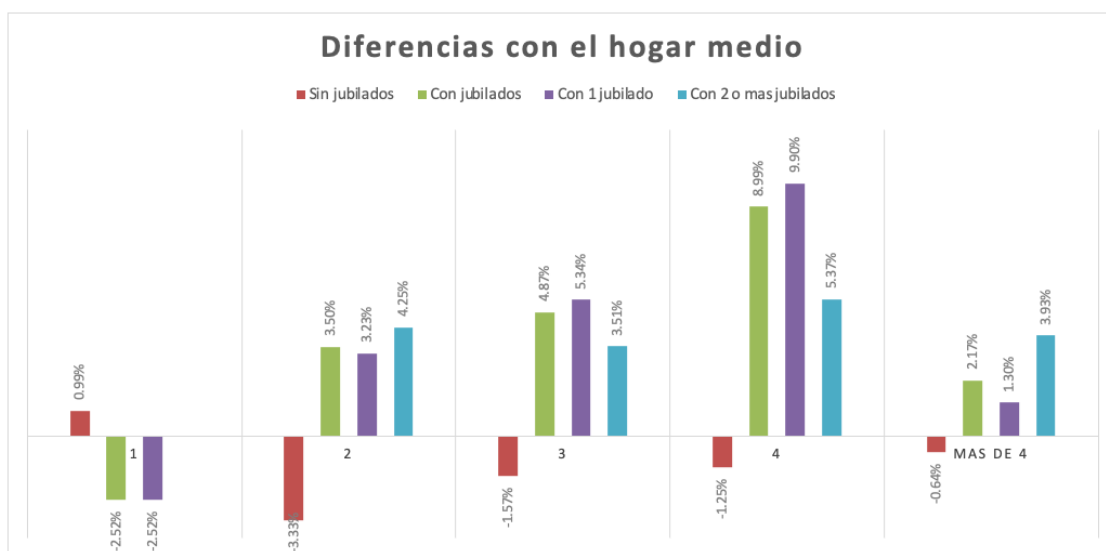


Figura 13: Consumos totales por tipo de hogar [kWh/año], según el tipo de ocupación Jubilados.



*Figura 14: Diferencias de consumo con respecto al hogar medio, según el tipo de ocupación Jubilados.*

De las gráficas anteriores se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Por lo general los hogares con jubilados consumen más que la media, salvo en los hogares de 1 persona jubilada.
- En los hogares con jubilados aumenta su diferencia de consumo con respecto al hogar medio a medida que aumenta el número de personas de los hogares, algo que no se cumple en los hogares de más de 4 personas donde dicho efecto disminuye aunque el consumo se mantiene por encima de la media.
- Se puede observar como los hogares sin jubilados con dos o más personas por hogar consumen menos que la media y a medida que aumenta el número de personas de los hogares este efecto disminuye.
- No hay una tendencia clara con respecto al número de jubilados en el hogar, en los de 2 y más de 4 consumen más aquellos que tienen más de 2 jubilados. Por el contrario, los de 3 y 4 personas consumen más aquellos con 1 jubilado.

#### **5.2.5. Ocupación – Cobrando una pensión de incapacidad permanente o invalidez**

Se ha calculado el gasto de energía eléctrica consumida por los hogares ligados a la ocupación “pensionistas de incapacidad permanente o invalidez” (pensionistas tipo 1), diferenciando los siguientes tipos de hogares:

- Hogar medio
- Hogar sin pensionistas tipo 1
- Hogar con pensionistas tipo 1

Los siguientes gráficos muestran el consumo total de los diferentes tamaños de hogares y la diferencia de estos hogares con respecto al hogar medio. En el eje x se muestra los tamaños de hogar según su tamaño y el número de pensionistas de incapacidad permanente o invalidez, mientras que en el eje y se muestra el consumo total en [kWh/año] (Figura XX) y la diferencia con respecto al hogar medio de dichos hogares (Figura XX).

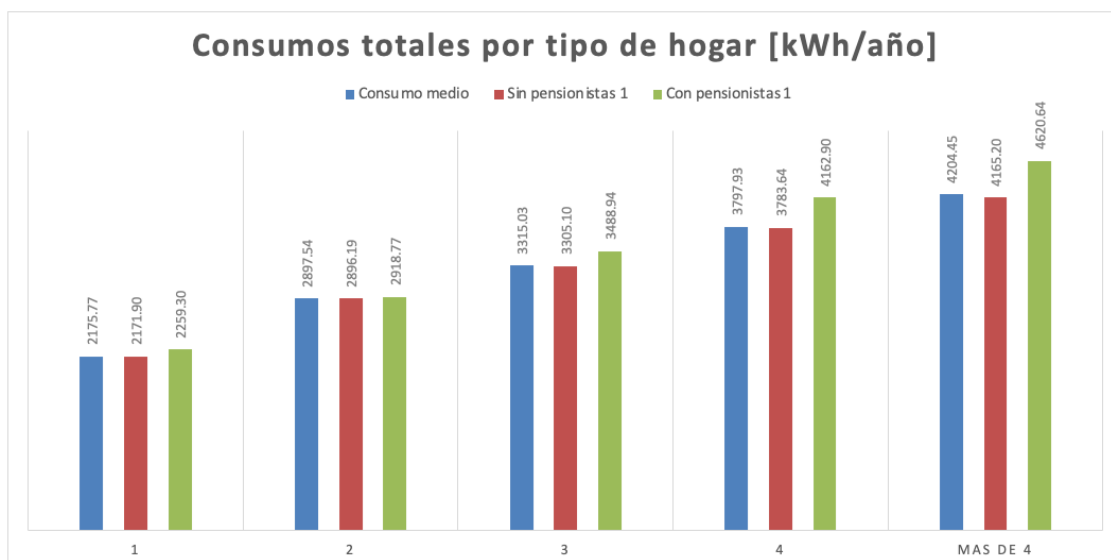


Figura 15: Consumos totales por tamaño de hogar [kWh/año], según el tipo de ocupación “pensionistas de incapacidad permanente o invalidez”.

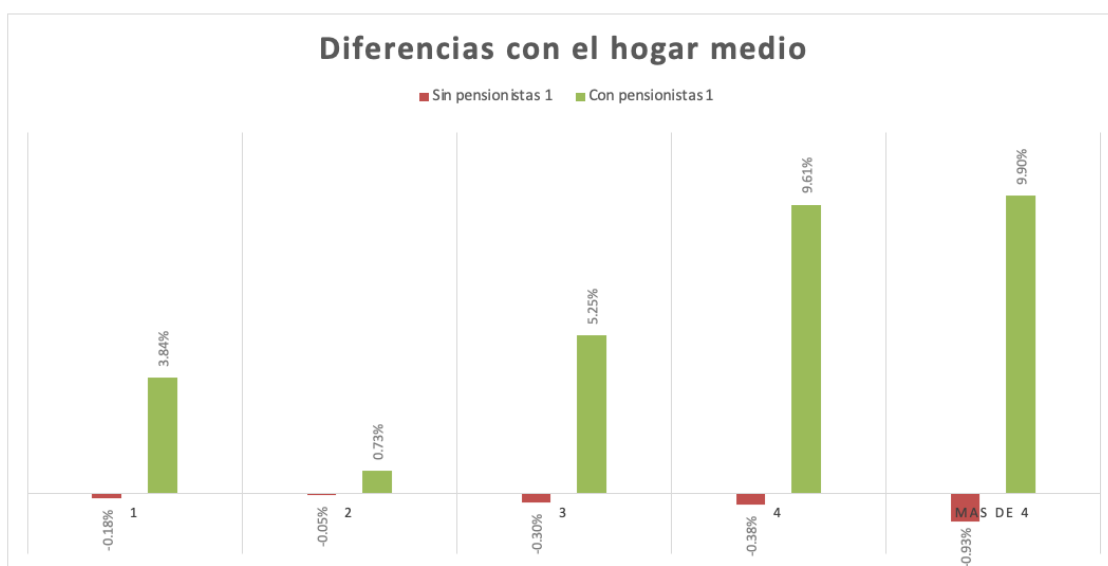


Figura 16: Diferencias de consumo con respecto al hogar medio, según el tipo de ocupación pensionistas de incapacidad permanente o invalidez.

De las gráficas anteriores se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Los hogares que cuentan con miembros que cuentan con una pensión de incapacidad permanente o invalidez, tienen un mayor consumo de energía eléctrica. Esto se debe presumiblemente a que estas personas pasan más tiempo en el hogar y por tanto consumen más energía eléctrica.

- Se puede observar también una tendencia clara para los hogares de 3 personas o más donde la presencia de este tipo de pensionista aumenta el consumo de energía eléctrica. Llama la atención que los hogares de 2 personas con al menos una con este tipo de pensionistas el consumo es solo levemente mayor que el hogar medio, un 0.73%.

### 5.2.6. Ocupación – Cobrando una pensión de viudedad u orfandad

Se ha calculado el gasto de energía eléctrica consumida por los hogares ligados a la ocupación pensionistas por viudedad u orfandad (pensionista tipo 2), diferenciando los siguientes tipos de hogares:

- Hogar medio
- Hogar sin pensionistas tipo 2
- Hogar con pensionistas tipo 2

Los siguientes gráficos muestran el consumo total de los diferentes tipos de hogares y la diferencia de estos hogares con respecto al hogar medio. En el eje x se muestra los tamaños de hogares según su tamaño y el número de pensionistas por viudedad u orfandad, mientras que en el eje y se muestra el consumo total en [kWh/año] (Figura XX) y la diferencia con respecto al hogar medio de dichos hogares (Figura XX).

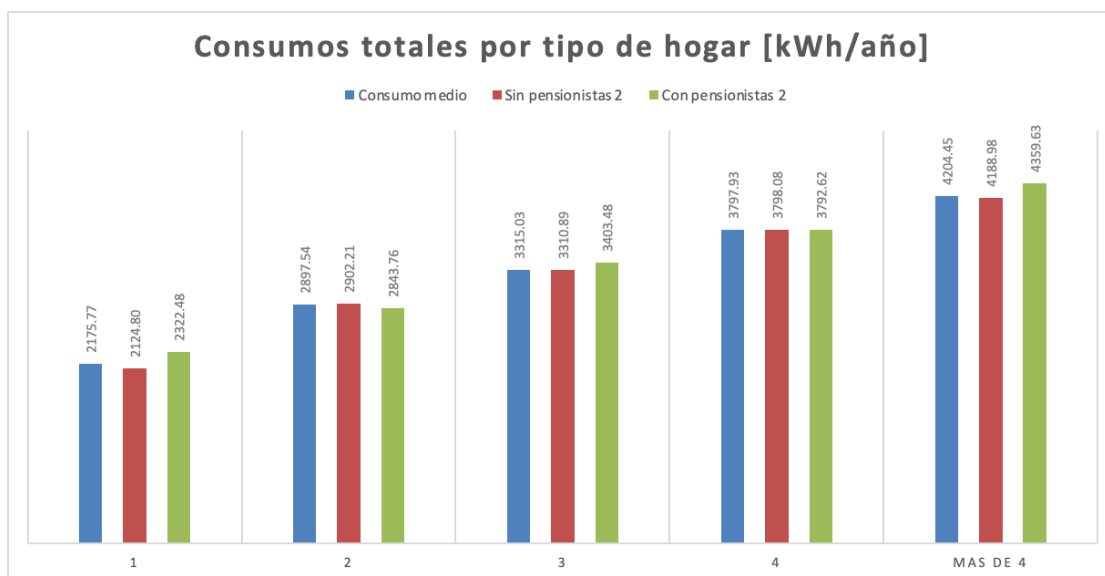


Figura 17: Consumos totales por tipo de hogar [kWh/año], según el tipo de ocupación pensionistas por viudedad u orfandad.

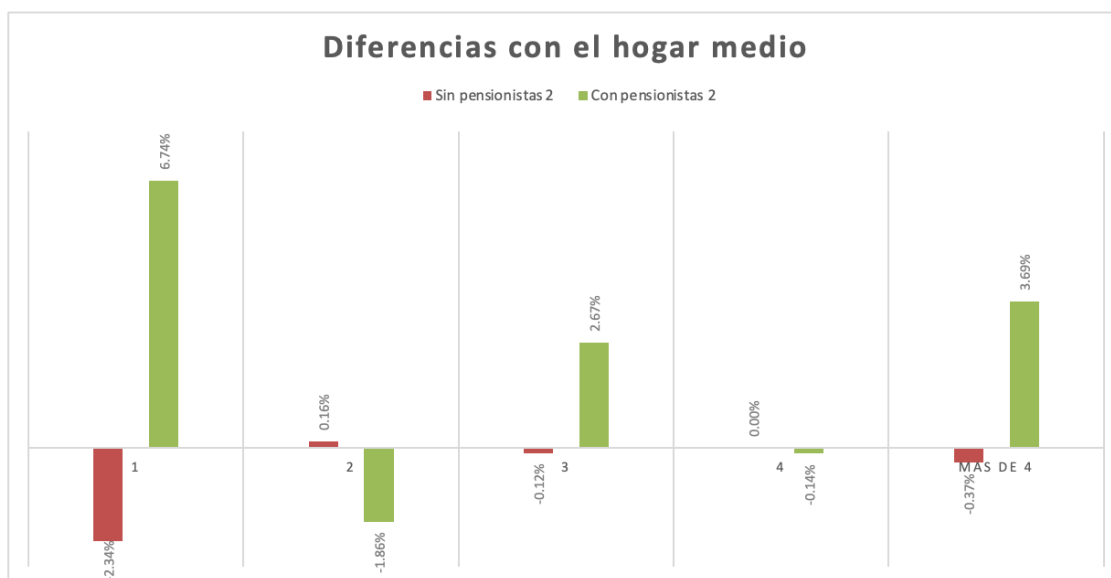


Figura 18: Diferencias de consumo con respecto al hogar medio, según el tipo de ocupación pensionistas por viudedad u orfandad.

De las gráficas anteriores se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Los hogares que cuentan con miembros que cuentan con una pensión por viudedad u orfandad no tienen una tendencia clara. Esto se puede deber a que la pensión por viudedad y orfandad por lo general lo perciben personas de características diferentes.
- Destaca que los hogares de una persona que perciben dicha pensión consumen un 6.74% más de energía eléctrica al año que el hogar medio. Los hogares con 3 y más de 4 personas también tienen un consumo mayor que el hogar medio con un 2.67% y 3.69% respectivamente. Mientras que los hogares de 2 y 4 personas lo hacen por debajo del consumo del hogar medio con un 1.86% y un 0.14% respectivamente.

### 5.2.7. Ocupación – Realizando tareas del hogar

Se ha calculado el gasto de energía eléctrica consumida por los hogares ligados a la ocupación de personas que realizan tareas del hogar, diferenciado los siguientes tipos de hogares:

- Hogar medio
- Hogar sin realizadores de las tareas del hogar

- Hogar con realizadores de las tareas del hogar

Los siguientes gráficos muestran el consumo total de los diferentes tamaños de hogares y la diferencia de estos hogares con respecto al hogar medio. En el eje x se muestra los tipos de hogares según su tamaño y el número de personas cuya ocupación es realizar tareas del hogar, mientras que en el eje y se muestra el consumo total en [kWh/año] (Figura XX) y la diferencia con respecto al hogar medio de dichos hogares (Figura XX).

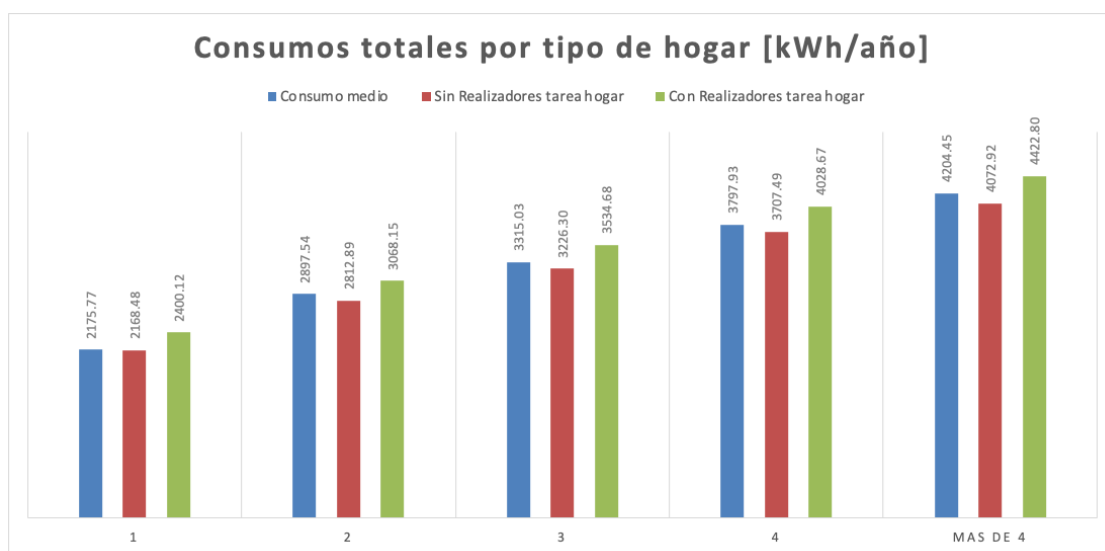


Figura 19: Consumos totales por tamaño de hogar [kWh/año], según el tipo de ocupación de personas que realizan tareas del hogar.

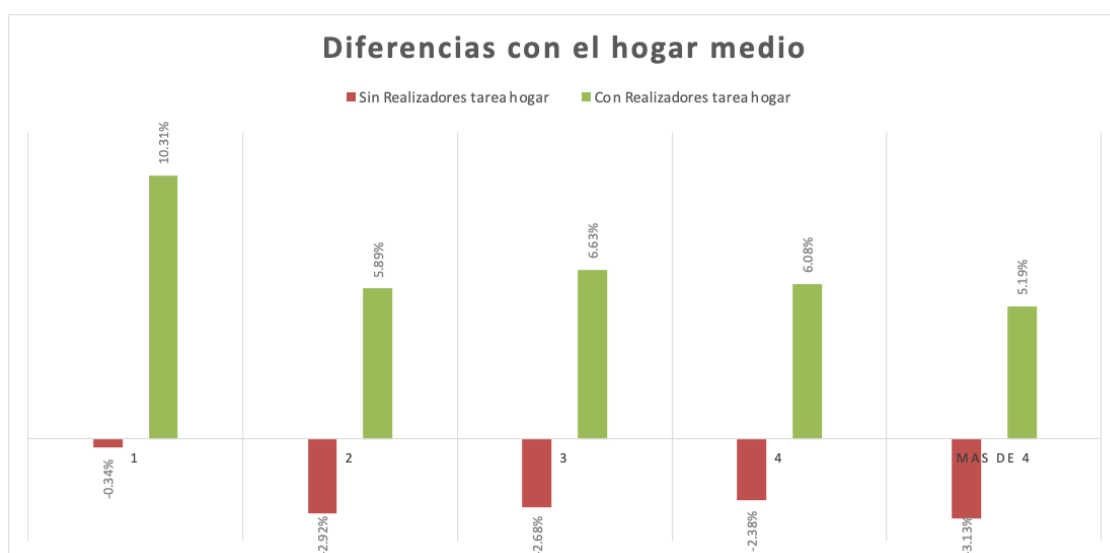


Figura 20: Diferencias de consumo con respecto al hogar medio, según el tipo de ocupación de personas que realizan tareas del hogar.

De las gráficas anteriores se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Los hogares que cuentan con miembros cuya ocupación es realizar tareas del hogar consumen mayor energía eléctrica que el hogar medio, por encima del 5%.
- Destaca los hogares unipersonales en los que la ocupación de la persona es realizar tareas del hogar ya que su consumo está por encima del 10.13% del hogar medio.
- Aquellos hogares que no cuentan con personas cuya ocupación es realizar tareas del hogar consumen menor energía eléctrica que el hogar medio.

#### **5.2.8. Ocupación – Otra situación de inactividad**

Se ha calculado el gasto de energía eléctrica consumida por los hogares ligados a la ocupación con personas que se encuentran en “otra situación de inactividad”, diferenciado los siguientes tipos de hogares:

- Hogar medio
- Hogar sin personas en otra situación de inactividad
- Hogar con personas en otra situación de inactividad

Los siguientes gráficos muestran el consumo total de los diferentes tipos de hogares y la diferencia de estos hogares con respecto al hogar medio. En el eje x se muestran los tipos de hogares según su tamaño y el número de personas cuya ocupación se encuentra en otra situación de inactividad, mientras que en el eje y se muestra el consumo total en [kWh/año] (Figura 21) y la diferencia con respecto al hogar medio de dichos hogares (Figura 22).

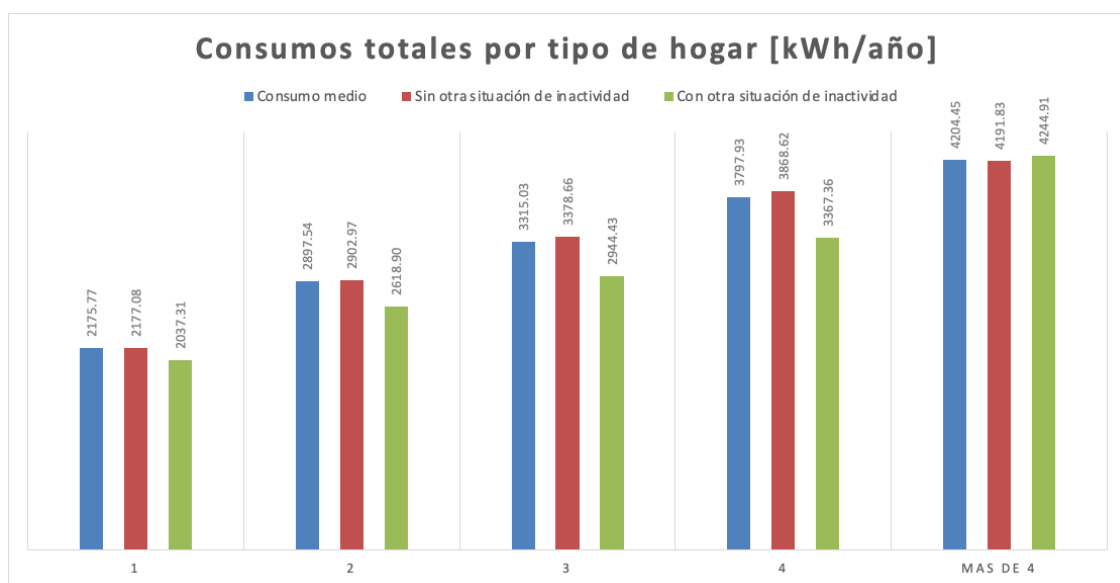


Figura 21: Consumos totales por tamaño de hogar [kWh/año], según el tipo de ocupación de personas que se encuentran en otra situación de inactividad.

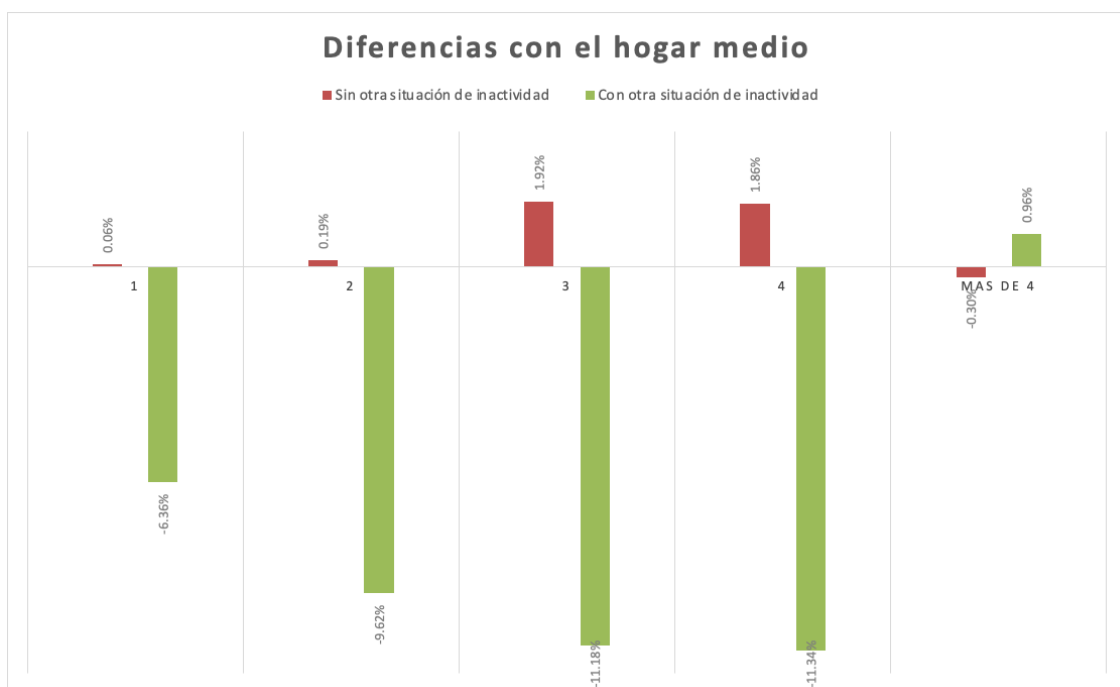


Figura 22: Diferencias de consumo con respecto al hogar medio, según el tipo de ocupación de personas que se encuentran en otra situación de inactividad.



De las gráficas anteriores se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- El consumo de estos hogares es significativamente menor que el hogar medio y su diferencia aumenta cuando crece el número de miembros, siendo un 6.36%, 9.52%, 11.18% y 11.34% menores en los hogares de 1, 2, 3 y 4 personas respectivamente. Sin embargo, esta tendencia se rompe con los hogares de más de 4 personas, donde su consumo es un 0.96 superior.

### 5.3. Factores del Modelo Avanzado 2.0.

Una vez calculado el consumo de los diferentes tipos de hogares según su tamaño y la ocupación de sus miembros se han calculado los factores de ajuste por ocupación  $f_{irs}$  como la diferencia entre el consumo total de los 6 aparatos de cada tipo de hogar y el consumo total de los 6 aparatos del hogar medio, calculados en el Modelo de Gasto Teórico Avanzado recogido en el apartado 4.

Este modelo lleva implícito las siguientes hipótesis:

- Los aparatos o electrodomésticos que varían según la ocupación de los miembros y que por tanto se utilizarán para el cálculo de los factores de ajuste por ocupación, son los siguientes:
  - Cocina (Fogones + horno)
  - Lavadora
  - Secadora
  - Televisión
  - Ordenador
  - Lavavajillas
- Los siguientes aparatos o electrodomésticos se consideran que no dependen de la ocupación de los miembros o cuyo perfil de uso no se pueda extrapolar de la EET, a los que hay que sumar el standby que, aunque no es un aparato, es otra fuente de consumo eléctrico:
  - Frigorífico

- Congelador
- Iluminación
- Móvil
- Tablet
- Microondas

La siguiente tabla muestra el consumo de los aparatos o electrodomésticos que se considera que no dependen de la ocupación de los miembros o cuyo perfil de uso no se pueda extrapolar de la EET.

Tabla 64: Consumo eléctrico anual [kWh/año] de aparatos o electrodomésticos que no dependen de la ocupación.

Modelo Avanzado (Aparatos o electrodomésticos que no dependen de la ocupación)					
Nº Ocupantes	1	2	3	4	Mas de 4
Frigorífico	748.80	748.80	748.80	748.80	748.80
Congelador	148.56	148.56	148.56	148.56	148.56
Iluminación	167.02	334.05	501.07	668.09	835.12
Otros	59.78	69.87	79.96	90.05	102.84
Stand-by	142.34	189.56	216.87	248.46	275.06
<b>Total</b>	<b>1266.51</b>	<b>1490.84</b>	<b>1695.26</b>	<b>1903.97</b>	<b>2110.38</b>

La siguiente tabla muestra los factores calculados según el tamaño de los hogares y el tipo de ocupación:

Tabla 65: Factores calculados según el tamaño de los hogares y el tipo de ocupación [kWh/año]

		Factores				
		1	2	3	4	Mas de 4
f IA1	F. Con 1 ocupado	-159.48	-100.12	101.47	31.20	134.25
f IA2	F. Con 2 ocupados	-	-242.16	-136.29	-125.21	-128.49
f IA3	F. Con 3 o mas ocupados	-	-	-82.71	317.90	173.63
f IB1	F. Con 1 parado	263.53	26.17	128.69	112.44	-69.98
f IB2	F. Con 2 o mas parados	-	88.31	179.65	363.74	188.13
f IC1	F. Con 1 estudiante	-266.71	-68.23	-2.39	41.97	-143.42
f IC2	F. Con 2 o mas estudiantes	-	-438.96	-183.48	-95.06	2.12
f ID1	F. Con 1 jubilado	-54.94	93.55	176.89	376.06	54.59
f ID2	F. Con 2 o mas jubilados	-	123.12	116.36	204.04	165.43
f IE1	F. Con pensionistas 1	83.52	21.23	173.91	364.98	416.19
f IF1	F. Con pensionistas 2	9.29	95.24	104.52	206.31	273.04
f IG1	F. Con Realizadores tarea hogar	224.34	170.61	219.65	230.74	218.35
f IH1	F.Con Otros	-138.47	-278.65	-370.61	-430.56	40.46

#### 5.4. Curvas de carga de media por tipo de hogar

Este modelo también es capaz de elaborar las curvas de carga media de los aparatos/electrodomésticos asociados a las actividades en los hogares recogida por la EET [15] (cocina, lavadora, secadora, lavavajillas, televisión y ordenador), al igual que se ha realizado en el Modelo Avanzado, detallado en el punto 3.1.

A continuación se muestra un ejemplo de las curvas de carga media de la cocina y la lavadora para hogares de dos personas con los siguientes tipos de hogar:

- 2 ocupados
- 1 parado (y otro miembro con cualquier ocupación)
- 2 jubilados
- 1 estudiante (y otro miembro con cualquier ocupación)

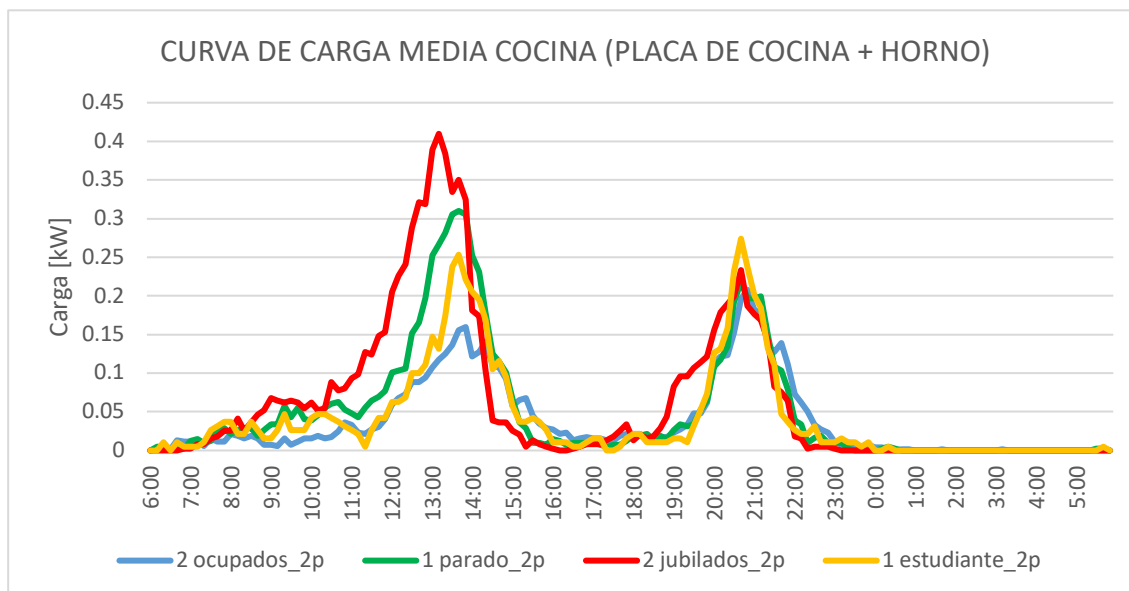


Figura 23: Curvas de carga media a lo largo del día debidas al uso de la cocina (placa de cocina + horno) para diferentes tipos de hogares con tamaño de 2 personas.

Las curvas de carga de la cocina muestran como los hogares con dos ocupados o un estudiante utilizan menos la cocina en las horas de la comida, mientras que hogares con un parado o dos jubilados lo hacen más, mientras que los hogares a la hora de la cena tienen una carga similar. Puede deberse a que parte de los ocupados o los estudiantes coman en los lugares de trabajo/estudio.

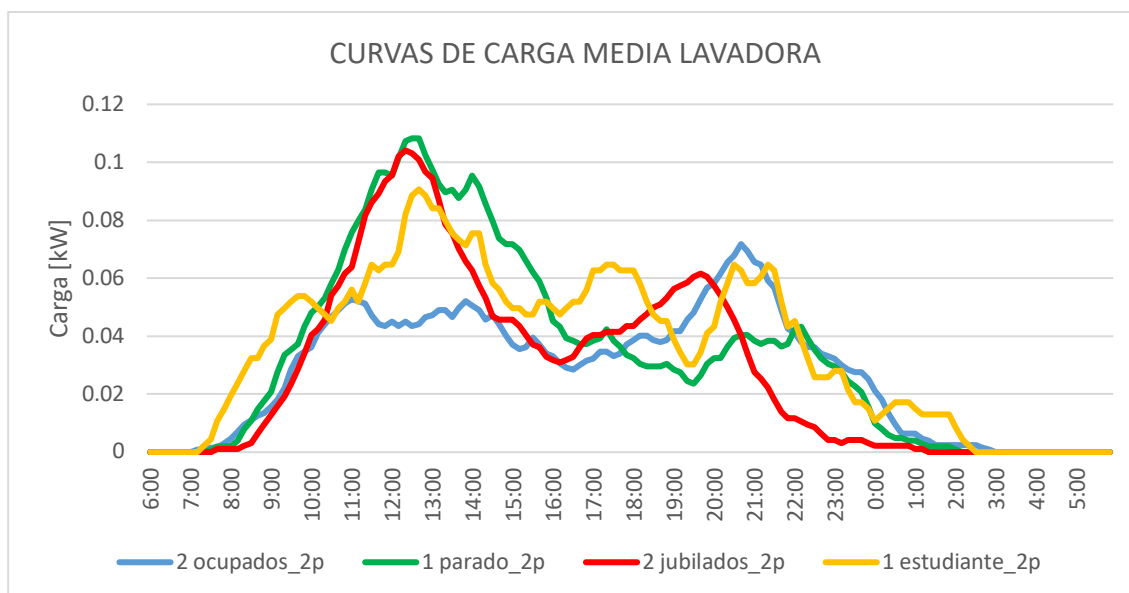


Figura 24: Curvas de carga media a lo largo del día debidas al uso de la lavadora para diferentes tipos de hogares con tamaño de 2 personas.

Las curvas de carga de la lavadora muestran como los hogares con ocupados tienen una carga inferior de la lavadora durante la mañana y la tarde, pero mayor durante la noche en comparación con el resto de tipos de hogares.

### 5.5. Consumos totales por tipo de hogar

El consumo total de los diferentes tipos de hogares se recoge y se representan en la Tabla 66 y Figura 25.

Tal y como se puede observar, los hogares con ocupados, estudiantes y los que se encuentran en otra situación de inactividad, en general, consumen menos energía eléctrica. Por el contrario, los hogares con parados, jubilados, pensionistas por incapacidad permanente o invalidez, pensionistas por viudedad u orfandad y los que realizan tareas del hogar en general consumen mayor energía.

Tabla 66: Consumo total por tipo de hogar en función del tamaño.

	Consumos totales por tipo de hogar				
	1	2	3	4	Mas de 4
Consumo medio	2175.77	2897.54	3315.03	3797.93	4204.45
Con 1 ocupado	2016.29	2797.42	3416.50	3829.12	4338.70
Con 2 ocupados	-	2655.38	3178.75	3672.71	4075.96
Con 3 o mas ocupados	-	-	3232.32	4115.83	4378.08
Con 1 parado	2439.30	2923.71	3443.72	3910.37	4134.47
Con 2 o mas parados	-	2985.85	3494.68	4161.66	4392.58
Con 1 estudiante	1909.07	2829.31	3312.64	3839.90	4061.03
Con 2 o mas estudiantes	-	2458.58	3131.55	3702.87	4206.57
Con 1 jubilado	2120.84	2991.09	3491.92	4173.98	4259.03
Con 2 o mas jubilados	-	3020.67	3431.39	4001.96	4369.88
Con pensionistas 1	2259.30	2918.77	3488.94	4162.90	4620.64
Con pensionistas 2	2322.48	2843.76	3403.48	3792.62	4359.63
Con Realizadores tarea hogar	2400.12	3068.15	3534.68	4028.67	4422.80
Con otra situación de inactividad	2037.31	2618.90	2944.43	3367.36	4244.91

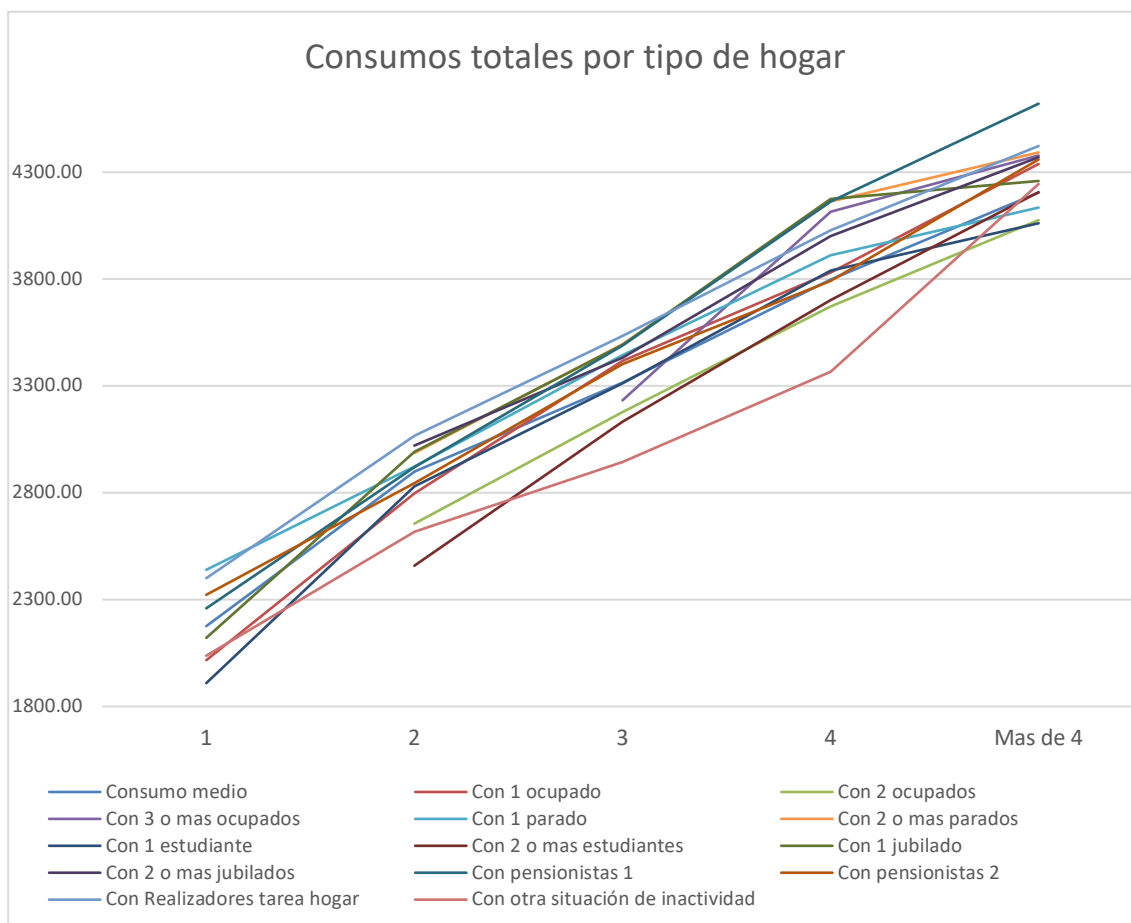


Figura 25: Consumos totales por tipo de hogar en función del tamaño.

## 5.6. Simulador del consumo eléctrico

Se ha realizado un simulador tanto en R como en Excel para el cálculo del consumo eléctrico de los hogares según el tamaño de los hogares y la ocupación de los miembros. Este realizará una serie de preguntas para conocer las características del hogar mediante un menú desplegable. Las preguntas y respuestas contempladas en el simulador se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 67: Respuestas de los desplegables.

Número de miembros del hogar	Respuestas				
	1	2	3	4	Mas de 4
Tamaño de la vivienda (m2)	40 a 60	61 a 80	81 a 100	101 a 120	121 a 140
	141 a 160	161 a 180	181 a 200	201 a 250	251 a 300
	301 a 350	351 a 400	Mas de 400	No se	

Ocupaciones	Respuestas			
Ocupado/a	0	1	2	3 o mas
Parado/a	0	1	2 o mas	
Estudiante	0	1	2 o mas	
Jubilado/a, prejubilado/a	0	1	2 o mas	
Cobrando una pensión de incapacidad permanente o invalidez	0	1 o mas		
Cobrando una pensión de viudedad u orfandad	0	1 o mas		
Realizando tareas del hogar	0	1 o mas		
Otra situación de inactividad	0	1 o mas		

Aparatos / Electrodomésticos			
Cocina electrica (fogones)	Si	No	No se
Horno eléctrico	Si	No	No se
Lavadora	Si	No	No se
Secadora	Si	No	No se
Frigorifico	Si	No	No se
Congelador	Si	No	No se
Iluminación	Si	No	No se
TV	Si	No	No se
Ordenador	Si	No	No se
Lavavajillas	Si	No	No se
Movil	Si	No	No se
Tablet	Si	No	No se
Microondas	Si	No	No se

El simulador tiene en cuenta el multiequipamiento de aparatos como televisores, ordenadores, tablets o móviles, no preguntándose directamente a los usuarios, sino que viene implícito en el modelo, tal y como se detalla en los apartados 3.1.8, 3.1.9, 3.1.10, 4.1.5 y 4.1.6.

Número de miembros del hogar	4	Consumo teórico anual [kWh/año]	4425.63
Tamaño de la vivienda (m2)	121 a 140	Gasto teórico anual (PVPC 2.0A) [€/año]	815.94
<b>Ocupaciones</b>		Gasto teórico anual (PVPC 2.0DHA) [€/año]	697.73
Ocupado/a	1		
Parado/a	1		
Estudiante	1		
Jubilado/a, prejubilado/a	1		
Cobrando una pensión de incapacidad permanente o invalidez	0		
Cobrando una pensión de viudedad u orfandad	0		
Realizando tareas del hogar	0		
Otra situación de inactividad	0		
<b>Aparatos / Electrodomésticos</b>			
Cocina eléctrica (Fogones)	Si		
Horno eléctrico	Si		
Lavadora	Si		
Secadora	No		
Frigorífico	Si		
Congelador	No		
TV	Si		
Ordenador	Si		
Lavavajillas	No se		
Movil	Si		
Tablet	Si		
Microondas	No se		

Figura 26: Vista simulador Excel. Interfaz usuario.

## **6. Aplicación del Modelo Avanzado 2.0 a la base de datos del proyecto “Ni un hogar sin energía”**

Desde 2013 ECODES promueve el programa "Ni un hogar sin energía" para la lucha contra la pobreza energética y la mejora de la eficiencia energética en los hogares españoles. En estos años ha ayudado a más de 7.000 familias de 50 provincias españolas a reducir sus facturas de energía y mejorar el confort de sus hogares a través de auditorías energéticas y consejos personalizados. En un informe previo [4] se caracterizó la situación y el comportamiento energético de esta muestra de hogares (cuya información, anonimizada, se recoge en una base de datos que se describe en el siguiente apartado), aplicando dos tipos de modelos: un modelo de gasto térmico teórico (GTT), y un modelo estadístico de gasto eléctrico real (GELR). En ese informe se concluye que la muestra de hogares de ECODES presenta un nivel de vulnerabilidad muy alto. En particular, destaca que existe una proporción muy significativa de hogares (alrededor del 50%) cuyo gasto energético absoluto es inferior a la mitad de la suma de GTT y GELR o, en otras palabras, muy inferior a su gasto energético teórico. Este hecho puede interpretarse de dos maneras diferentes: o bien el grupo sufre un problema de pobreza energética escondida (entendida como un gasto insuficiente), o bien se están sobreestimando las necesidades energéticas teóricas.

El presente apartado describe la metodología y los resultados de la aplicación del Modelo de Avanzado 2.0 descrito en 5.1, contrastado con la base de datos del programa "Ni un hogar sin energía", y se destacan las principales conclusiones sobre la situación energética de los hogares acogidos por el programa.

### **6.1. Descripción de la base de datos**

El diagnóstico energético del programa se ha realizado recogiendo datos sobre las siguientes características de los hogares: (1) situación socioeconómica, (2) estado de eficiencia energética y equipamiento de la vivienda, (3) hábitos de los hogares y (4) información sobre el consumo energético y los contratos de suministro. Además, esta base de datos tiene dos fuentes de información diferentes:

- **Fuente1:** Datos recopilados durante las visitas a los hogares vulnerables (entrevistas presenciales).



- **Fuente2:** Datos recogidos por una herramienta de la web ("autodiagnósticos online").

Una descripción detallada de los campos de la base de datos se realiza en [4]. Aunque el programa tiene datos desde antes, fue en 2017 cuando las preguntas del cuestionario de diagnóstico energético empezaron a incluir el consumo medio mensual en electricidad, que es el parámetro clave para poder aplicar el modelo presentado en este informe. Por tanto, para la aplicación del Modelo de Avanzado 2.0 se usará la base de datos desde octubre de 2017. Se tienen datos hasta junio de 2021, contando con los datos correspondientes a 6748 hogares.

Para llevar a cabo el análisis de la base de datos y su comparación con el Modelo Avanzado 2.0, se ha llevado a cabo una filtración de la base de datos para que se ajuste de la mejor manera al modelo.

En primer lugar, se han descartado aquellos que se considera que tienen algún error en el proceso de toma de datos como, por ejemplo, aquellos que tienen un consumo eléctrico anual nulo o aquellos que tienen una ocupación nula.

Posteriormente, con el objetivo de filtrar los datos atípicos (outliers), se ha calculado el percentil del 5% y del 95% del consumo real anual de los hogares encuestados, que son 672.6 kWh y 7920 kWh respectivamente y se han filtrado de la muestra.

Finalmente, se han descartado del estudio todos los hogares que utilizan electricidad para calefacción y para ACS, así como los que tienen aire acondicionado, ya que esos consumos están excluidos del modelo propuesto.

Con el filtrado realizado se han obtenido 1650 datos que son los que finalmente se han utilizado para validar el modelo y obtener unos indicadores de vulnerabilidad energética de la muestra.

Los campos que se han considerado para dicho análisis son los siguientes: tamaño de la vivienda (m<sup>2</sup>), tamaño del hogar (TH, medido por el nº de miembros), consumo medio mensual en electricidad (kWh/mes), aparatos o electrodomésticos contemplados en la base de datos (fogones de cocina, horno, lavavajillas, secadora y congelador) y ocupación de los miembros de los hogares. Este último parámetro tan solo se han podido diferenciar

4 tipos de ocupaciones dentro de la base de datos, ocupado/a, parado/a, estudiante y jubilado/a.

## **6.2. Resultados obtenidos**

Primero, se ha calculado el consumo real anual en electricidad (CELR) de cada uno de los 1650 hogares analizados a partir del dato de consumo medio mensual declarado en la base de datos. En una segunda fase se ha estimado el consumo eléctrico teórico (CELT) de estos mismos hogares, utilizando el Modelo Avanzado 2.0, a partir de la información sobre el tamaño de la vivienda, el número de miembros y su ocupación.

Por último, para poder analizar los resultados obtenidos, estos dos valores se han dividido entre sí para calcular el cociente entre el consumo eléctrico real declarado en la base de datos y el teórico calculado con el modelo (CELR/CELT) para cada hogar de la muestra. A partir de los resultados obtenidos, se ha procedido a analizar los siguientes indicadores:

- (1) Mediana muestral del cociente CELR/CELT;
- (2) Proporción de hogares cuyo CELR es inferior al correspondiente CELT.

El primero estima el ajuste del modelo al consumo real de los hogares (se ha elegido la mediana porque elimina los casos extremos que podrían distorsionar el resultado de la estimación), mientras que el segundo calcula el porcentaje de hogares que tienen un consumo menor del teórico calculado con el modelo, es decir, un consumo insuficiente para cubrir sus necesidades eléctricas, y que, por tanto, podrían estar potencialmente en situación de pobreza energética escondida.

En la Figura 27 se puede observar como el consumo eléctrico real de los hogares recogidos en la base de datos es inferior al teórico, 2148 kWh al año frente a 2575.96 kWh al año.

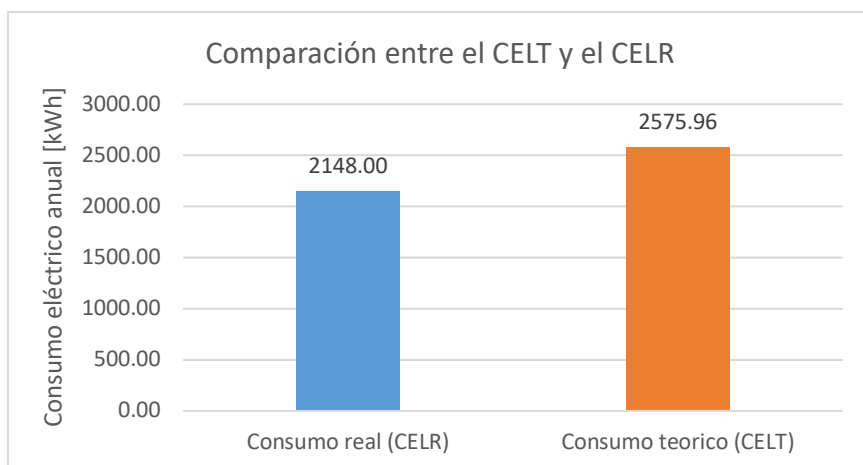


Figura 27: Medianas de consumo eléctrico teórico (CELT) y del consumo real (CELR).

En la Figura 28 se muestran los indicadores de los hogares recogidos en la base de datos; el primero de ellos (CELR/CELT) señala un ajuste del modelo al consumo real de 0.83, mientras que el segundo indicador (CELR<CELT) señala que un 64% de los hogares tienen un consumo real menor que el teórico y que son potenciales hogares vulnerables.

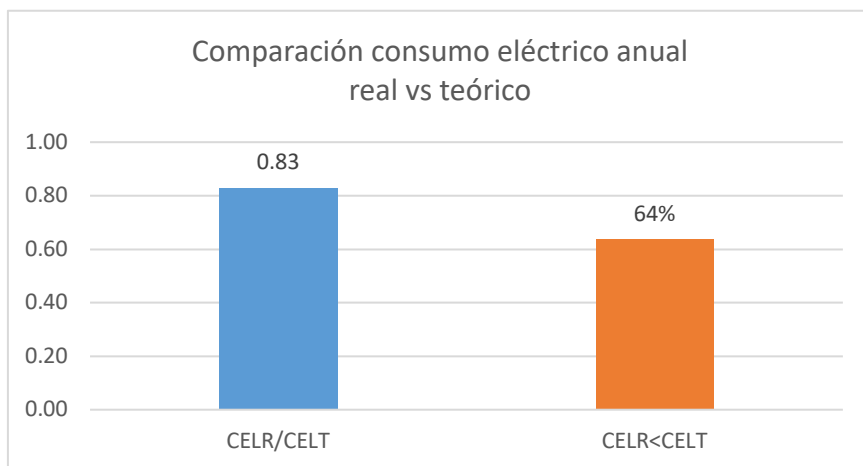


Figura 28: Comparación entre las medianas de consumo eléctrico teórico para el hogar medio (CELT) y del consumo real (CELR).

Estos valores se deben principalmente a que la base de datos contiene los valores de hogares vulnerables, los cuales tienen un consumo eléctrico menor, aunque también puede deberse a una sobreestimación del consumo eléctrico de los hogares.

Haciendo un desglose del consumo de los hogares según su tamaño, se puede observar en la Figura 29 que la mediana del consumo real en hogares de una persona es levemente superior al teórico, pero a medida que aumentan en número de miembros de los hogares,

mientras el consumo real crece levemente, el aumento es mucho mayor en el consumo teórico.

Este hecho se puede observar también en la Figura 30, donde la mediana de los indicadores CELR/CELT y CELR<CELT son 1 y 50% respectivamente, lo que refleja el buen comportamiento del modelo para los hogares unipersonales. Sin embargo, con el aumento del número de miembros del hogar, el primer indicador (CELR/CELT) decrece y el segundo indicador crece (CELR<CELT), lo que muestra un menor ajuste del modelo al consumo real, así como una mayor desproporcionalidad entre los hogares con menor consumo real que teórico.

Esto se puede interpretar como que la vulnerabilidad de los hogares aumenta con el número de miembros de los hogares. También puede indicar una sobre estimación del modelo teórico.

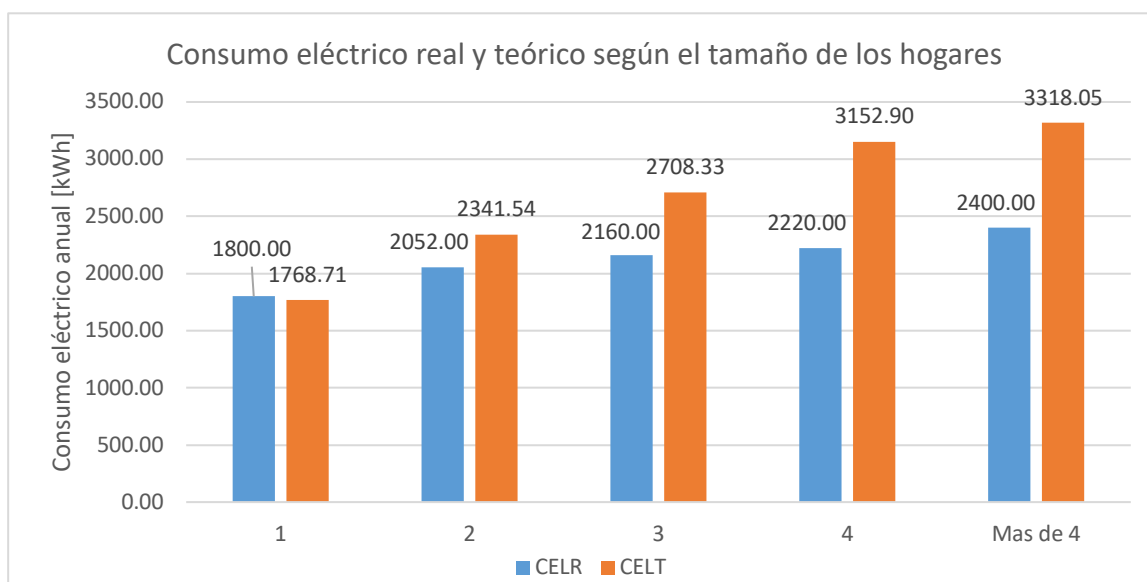


Figura 29: Medianas de consumo eléctrico real y teórico [kWh/año] según el tamaño de los hogares.

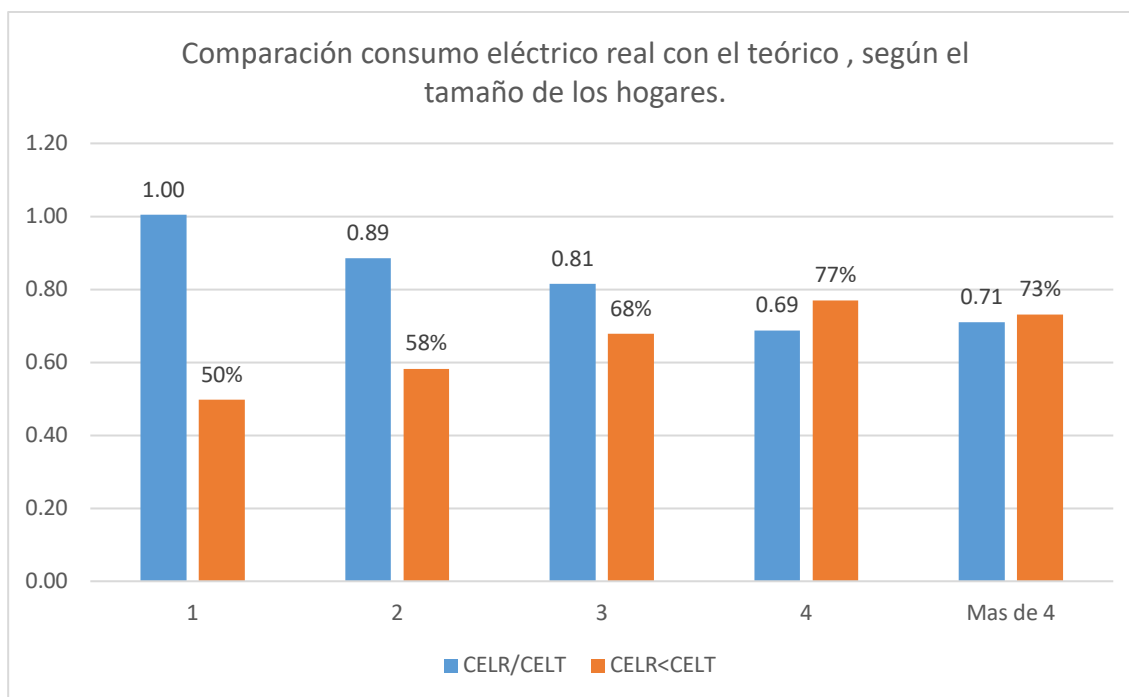


Figura 30: Comparación entre las medianas de consumo eléctrico teórico para el hogar medio (CELT) y del consumo real (CELR), según el tamaño de los hogares.

### 6.3. Comparación por tipo de hogar

También se ha realizado una comparación por tipo de hogar, al haber numerosas combinaciones, se ha comparado uno de los tipos de hogar más típicos y que a la vez resulta importante estudiar ya que puede tratarse de un potencial hogar vulnerable y son los hogares con un parado.

Siguiendo la tendencia del análisis anterior, la mediana del consumo eléctrico teórico tiene es mayor que el real, 2494.38 kWh frente a 2124.00 kWh respectivamente.

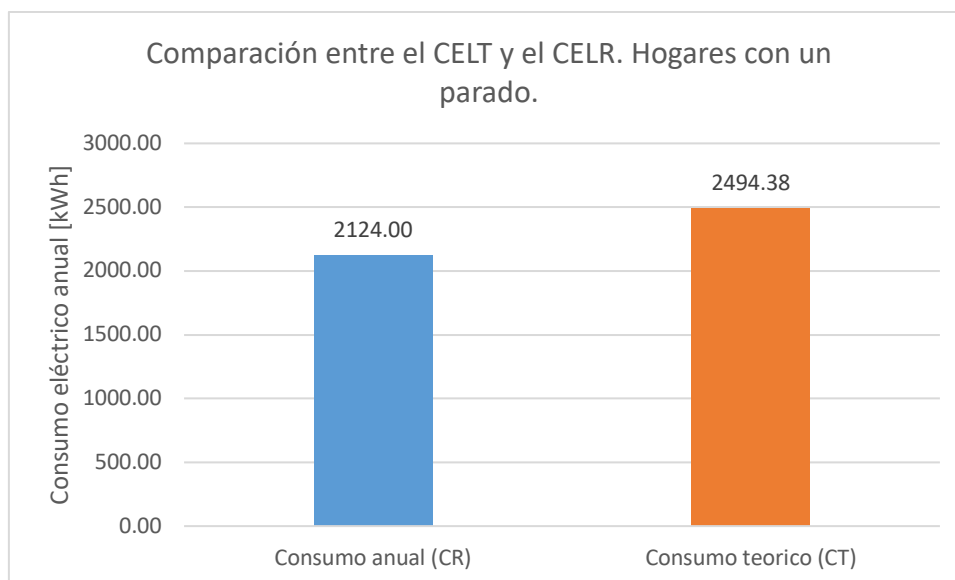


Figura 31: Medianas de consumo eléctrico teórico (CELT) y del consumo real (CELR).  
Hogares con un parado. Hogares con un parado.

También muestra unos indicadores de los hogares recogidos en la base de datos muy similares, con el primer indicador (CELR/CELT) que señala un ajuste del modelo al consumo real de 0.81 y el segundo indicador (CELR<CELT) señala que un 65% de los hogares tienen un consumo real menor que el teórico y que son potenciales hogares vulnerables.

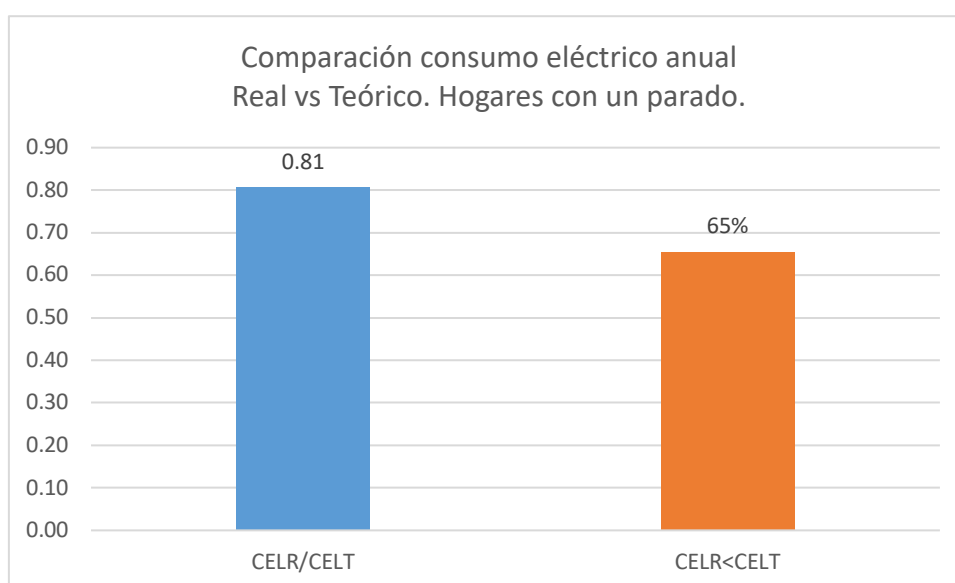


Figura 32: Comparación entre las medianas de consumo eléctrico teórico para el hogar medio (CELT) y del consumo real (CELR). Hogares con un parado.

Haciendo un desglose del consumo de los hogares según su tamaño, se puede observar en la Figura 33 que hay una pequeña diferencia de consumo entre el consumo real y teórico en los hogares de una persona. Pero a medida que aumentan el tamaño del hogar la diferencia entre el consumo teórico y real aumenta, tal y como pasaba en el análisis hecho en el punto Resultados obtenidos.

Esto puede deberse por dos razones comentadas anteriormente, como que la vulnerabilidad de los hogares aumenta con el tamaño del hogar o que hay una sobre estimación del modelo teórico.

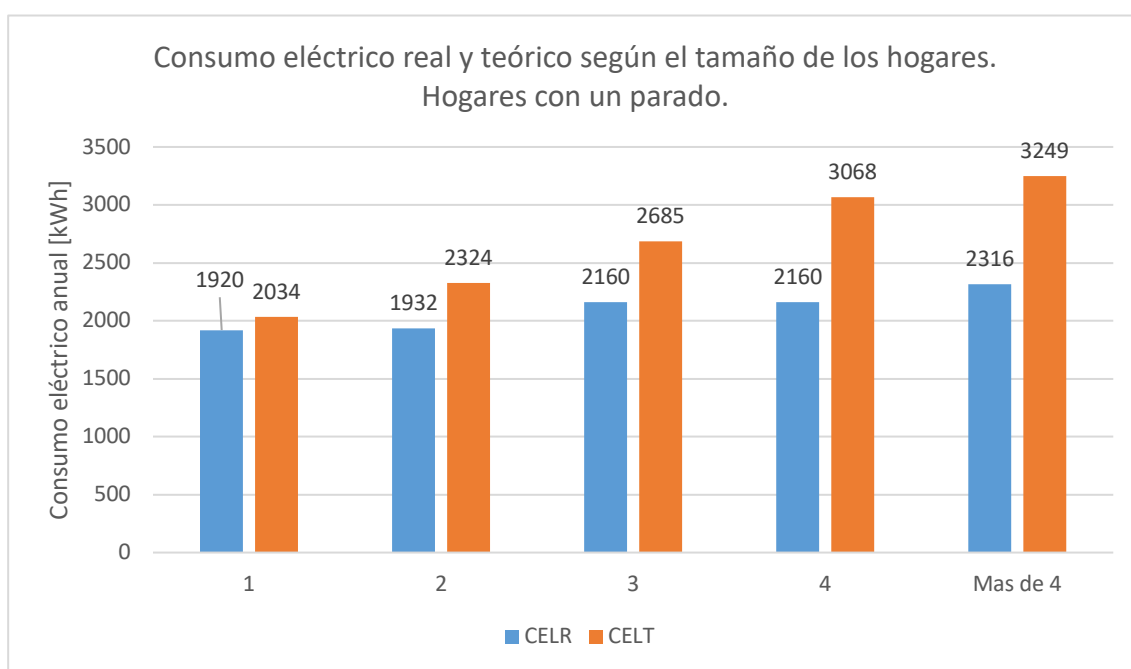


Figura 33: Medianas de consumo eléctrico real y teórico [kWh/año] según el tamaño de los hogares. Hogares con un parado.

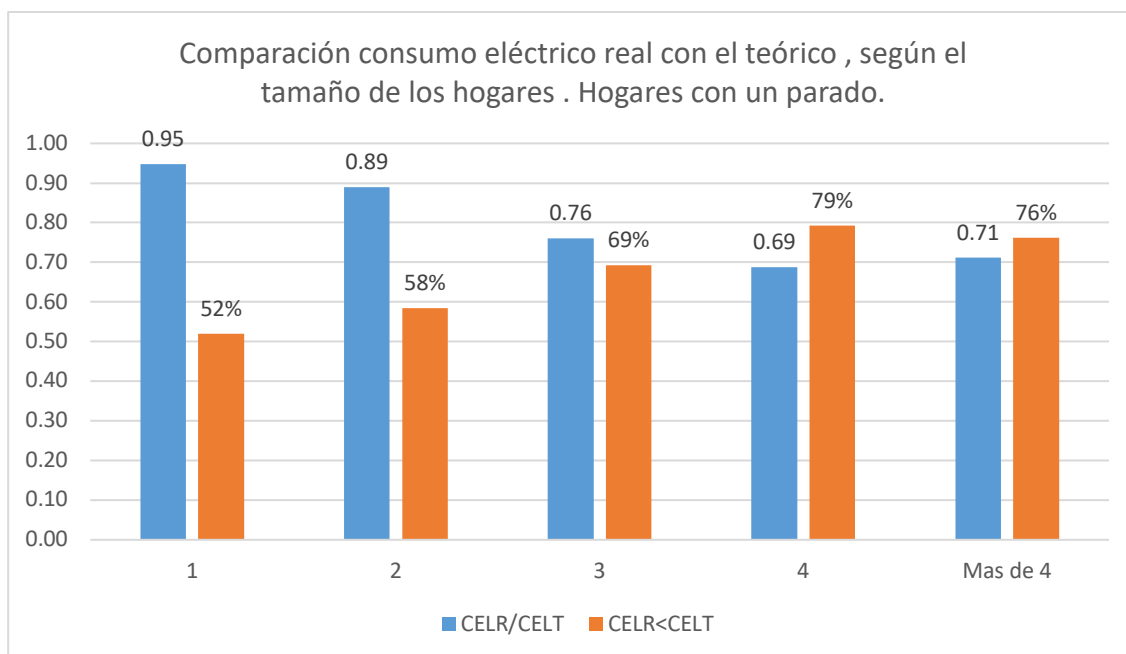


Figura 34: Comparación entre las medianas de consumo eléctrico teórico para el hogar medio (CELT) y del consumo real (CELR), según el tamaño de los hogares.

#### 6.4. Conclusiones de la aplicación del Modelo Avanzado 2.0 a la base de datos del proyecto “Ni un hogar sin energía”

El modelo CELT ha sido contrastado comparando los consumos estimados por el propio modelo con los reales de la base de datos de hogares de ECODES. En promedio, el consumo real de electricidad de estas familias es moderadamente inferior al consumo teórico modelado (un 17% menor que el CELT).

El modelo se ajusta relativamente bien al consumo real de los hogares, especialmente en los hogares unipersonales, sin embargo, a medida que aumenta el número de miembros este ajuste va disminuyendo, principalmente en los hogares de cuatro miembros. Esto puede ir ligado a que la diferencia aumenta con el aumento del tamaño de los hogares, ya que el consumo real crece en menor proporción que el consumo teórico, aumentando la desproporcionalidad entre los hogares con menor consumo real. En otras palabras, los hogares de ECODES tienden a moderar el consumo al aumentar del número de miembros, hecho que puede estar relacionado con el “miedo a la factura”.

El Modelo Avanzado 2.0 mediante los factores obtenidos a partir de los perfiles reales de uso de los electrodomésticos en los hogares españoles (derivados de la Encuesta de Empleo de Tiempo) determina una tendencia clara de los indicadores del Modelo



Avanzado (Tabla 5.3), y por lo tanto permite detectar de manera más eficaz el fenómeno mencionado en el párrafo anterior.

Por un lado, como se ha señalado en un estudio anterior sobre esta muestra, las familias de la base de datos de ECODES son en su mayoría hogares vulnerables, por lo que tienden a consumir menos que las familias con recursos mayores por “miedo a la factura”. Por otro lado, la diferencia en el consumo no es muy alta porque suelen poseer aparatos ineficientes de mayor potencia, por lo que consumen más.

El análisis presentado en este capítulo sugiere que las medidas de lucha contra la pobreza energética se deben diseñar en función de las características de los hogares, prestando especial atención a la variación de las necesidades energéticas (en particular las vinculadas al uso de la electricidad). Se propone reformar el bono social eléctrico y vincularlo al número de miembros del hogar, características de la vivienda (en particular su tamaño) y ocupación de los miembros, para que se ajuste mejor a sus necesidades, tomando como referencia la propuesta de la Cátedra de Energía y Pobreza para la reforma del bono térmico [39]. También se proponen medidas para la mejora de la eficiencia energética de los aparatos eléctricos en los hogares ya que reduciría el consumo teórico.

## **7. Obtención del gasto eléctrico a partir del consumo**

Como se ha mencionado anteriormente, el modelo persigue obtener el gasto eléctrico que un hogar debe alcanzar para satisfacer sus necesidades energéticas relacionadas con electricidad (gasto eléctrico teórico, GELT). Sin embargo, la parte más importante en la obtención del modelo es la determinación del consumo eléctrico, que ha sido el objetivo de los puntos anteriores.

En este apartado se señala como se obtendrá el GELT a partir del consumo, aplicando el PVPC y ha formado parte del informe elaborado por Arenas Pinilla et al. [40].

La ecuación se aplica al consumo eléctrico mensual (CM) determinado con los modelos anteriores, y es la siguiente:

$$\text{Gasto eléctrico teórico/mes} = \{[PC \cdot CPC + (CPA + CE) \cdot CM] \cdot (1 + IE) + AE\} \cdot (1 + IVA)$$

Donde PC es la potencia contratada (kW), CPC el coste de potencia contratada (€/KW-mes), CPA es el coste del peaje de acceso (€/kWh), CE es el coste de la energía (€/kWh), CM el consumo mensual (kWh/mes)), IE es el impuesto sobre electricidad y AE es alquiler de equipo (€/mes).

Todos los valores necesarios para realizar este cálculo (coste de peaje de acceso y de energía, coste potencia contratada, impuesto sobre la electricidad, ...) para las dos posibles tarifas del PVPC (antes del cambio en la factura de junio 2021), 2.0A y 2.0DHA (discriminación horaria), se resumen en la Tabla 68. En la tarifa con discriminación horaria se ha hecho la hipótesis de reparto del consumo de 42% en periodo punta y 58% en periodo valle (como aparece en la herramienta LUMIOS). Para las dos componentes del coste de la energía facturada se ha tomado el valor medio en 2019.

Tabla 68: Datos para el cálculo del gasto eléctrico a partir del consumo y de la potencia contratada.

Partida	Valor	Unidad	Referencia
Alquiler equipos	0.81	€/mes	<a href="https://www.boe.es/boe/dias/2007/12/29/pdfs/A53781-53805.pdf">https://www.boe.es/boe/dias/2007/12/29/pdfs/A53781-53805.pdf</a>
Impuesto electricidad	5.11267	%	<a href="https://www.boe.es/boe/dias/2014/11/28/pdfs/BOE-A-2014-12329.pdf">https://www.boe.es/boe/dias/2014/11/28/pdfs/BOE-A-2014-12329.pdf</a>
Coste energía facturada			<a href="https://www.boe.es/boe/dias/2014/03/29/pdfs/BOE-A-2014-3376.pdf">https://www.boe.es/boe/dias/2014/03/29/pdfs/BOE-A-2014-3376.pdf</a>
Peaje acceso energía	2.OA = 0.044	€/kWh	<a href="https://www.boe.es/boe/dias/2014/02/01/pdfs/BOE-A-2014-1052.pdf">https://www.boe.es/boe/dias/2014/02/01/pdfs/BOE-A-2014-1052.pdf</a>
	2.0DHA = 0.027		
Coste energía	2.OA = 0.067	€/kWh	Herramienta LUMIOS
	2.0DHA = 0.063		
Coste potencia contratada	3.429	€/kW mes	
Peaje acceso potencia	0.104	€/kW día	<a href="https://www.boe.es/boe/dias/2014/02/01/pdfs/BOE-A-2014-1052.pdf">https://www.boe.es/boe/dias/2014/02/01/pdfs/BOE-A-2014-1052.pdf</a>
Comercialización	0.008	€/kW día	<a href="https://www.boe.es/boe/dias/2014/03/29/pdfs/BOE-A-2014-3376.pdf">https://www.boe.es/boe/dias/2014/03/29/pdfs/BOE-A-2014-3376.pdf</a>
IVA	0.21	%	<a href="https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1992-28740&amp;tn=1&amp;p=20200205">https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1992-28740&amp;tn=1&amp;p=20200205</a>

### 7.1. Gasto eléctrico teórico medio estimado por el Modelo Simplificado

La hipótesis que se ha formulado para estimar la potencia contratada es la siguiente. Para un ocupante se ha supuesto que se podría producir simultaneidad de cocina (fogón grande), lavadora, frigorífico y 1/5 de la iluminación. La potencia del resto de composiciones se incrementa proporcionalmente al aumento del consumo teórico respecto al caso de 1 ocupante (es un “factor de uso global”). Así, se han calculado los costes asociados a los consumos estimados por el Modelo Simplificado, que se muestran en la Tabla 65. Hay que recalcar que esa estimación de la potencia es una mera hipótesis para poder realizar el cálculo del gasto eléctrico y que en ningún caso supone una recomendación de potencia contratada para los hogares.

Tabla 69: Gasto Eléctrico Teórico medio según el Modelo Simplificado en función del tamaño.

Modelo Simplificado						
Nº Ocupantes	1	2	3	4	Mas de 4	Media
Consumo anual (kWh/año)	2175.45	2898.58	3317.75	3798.77	4203.33	3031.67
Potencia contratada (kW)	2.79	3.72	4.26	4.88	5.40	3.89
Gasto anual PVPC 2.OA (€/año)	<b>466.69</b>	<b>617.91</b>	<b>705.56</b>	<b>806.15</b>	<b>890.75</b>	<b>645.74</b>
Gasto anual PVPC 2.0DHA (€/año)	<b>409.88</b>	<b>542.21</b>	<b>618.92</b>	<b>706.95</b>	<b>780.99</b>	<b>566.57</b>

## 7.2. Gasto eléctrico teórico medio estimado por el Modelo Avanzado

Con la misma hipótesis de potencia contratada utilizada en el Modelo Simplificado para un ocupante, pero adaptada al Modelo Avanzado, se han calculado los costes asociados a los consumos estimados, que se muestran en la Tabla 70.

Tabla 70: Gasto Eléctrico Teórico medio según el Modelo Avanzado en función del número de miembros y para el hogar medio.

Modelo Avanzado						
Nº Ocupantes	1	2	3	4	Mas de 4	Media
Consumo anual (kWh/año)	2175.24	2897.12	3314.70	3797.39	4203.81	3030.32
Potencia contratada (kW)	2.79	3.72	4.26	4.88	5.40	3.89
Gasto anual PVPC 2.0A (€/año)	<b>466.66</b>	<b>617.62</b>	<b>704.95</b>	<b>805.89</b>	<b>890.88</b>	<b>645.47</b>
Gasto anual PVPC 2.0DHA (€/año)	<b>409.85</b>	<b>541.96</b>	<b>618.39</b>	<b>706.72</b>	<b>781.10</b>	<b>566.34</b>

El gasto eléctrico para un hogar medio (2.5 miembros) se estimado por los dos modelos es de unos 646€ al año con tarifa 2.0A y 566€ al año con tarifa 2.0DHA. Este valor se encuentra entre los 467€ y los 891 € al año para 1 y más de 4 miembros, respectivamente, bajo una tarifa sin discriminación horaria 2.0A, y los 410 y los 781 para 1 y más de 4 miembros respectivamente, con una tarifa con discriminación horaria 2.0DHA. Por lo que se estima que se ahorran 79€ anuales por contratar la tarifa con discriminación horaria.

## **8. Conclusiones**

Las principales conclusiones que se pueden obtener del trabajo realizado se resumen en los siguientes puntos:

- Se han realizado tres modelos de cálculo de consumo eléctrico de los hogares según sus características siguiendo un esquema bottom-up: Modelo de Gasto Teórico Simplificado, Modelo de Gasto Teórico Avanzado y Modelo de Gasto Teórico Avanzado 2.0.
- El Modelo de Gasto Teórico Simplificado recoge el gasto eléctrico de las principales fuentes de consumo de los hogares (aparatos y electrodomésticos) siguiendo unas hipótesis de potencia y uso por cada uno de ellos, extraídos de la literatura y de la EET [15]. El consumo depende del tamaño de la vivienda, su equipamiento, el número de miembros.
- El Modelo de Gasto Teórico Avanzado parte de los hábitos de consumo recogidos en la EET [15], a los que se asocia el uso de aparatos o electrodomésticos. Este modelo a su vez es combinado con el Modelo de Gasto Teórico Simplificado para incorporar aquellas fuentes de consumo no contemplados por la encuesta. Dicho modelo también incorpora las curvas de potencia media a lo largo del día de los aparatos y electrodomésticos. El consumo también depende del tamaño de la vivienda, su equipamiento, el número de miembros.
- El consumo eléctrico teórico medio anual estimado por los modelos Avanzado y Simplificado es de 3031.67 kWh y 3030.32 kWh respectivamente. Estos no se desvía más de un 11% por encima o por abajo de las diferentes referencias utilizadas.
- Aunque los Modelos de Gasto Teórico Simplificado y Avanzado emplean una metodología diferente para hallar el consumo eléctrico de ambos modelos, obtienen un consumo bastante similar debido a que utilizan las mismas hipótesis de potencia, la frecuencia de uso de los electrodomésticos y el factor de uso de los hogares para su desarrollo.
- El análisis del Modelo de Gasto Teórico Avanzado 2.0 refleja que los hogares con ocupados, estudiantes y los que se encuentran en otra situación de inactividad en general consumen menos energía eléctrica. Mientras que los hogares con parados, jubilados, pensionistas por incapacidad permanente o invalidez, pensionistas por

viudedad u orfandad y los que realizan tareas del hogar en general consumen mayor energía.

- Se ha elaborado un simulador del Modelo de Gasto Teórico Avanzado 2.0 en Excel y en R para que los usuarios puedan comprobar si su consumo está por encima o por debajo del gasto teórico e identificar los hogares que se encuentran pobreza energética escondida [39].
- Se han aplicado el Modelo de Gasto Teórico Avanzado 2.0 a la base de datos del programa Ni un hogar sin energía, con el objetivo de comparar el consumo teórico del modelo con el consumo real declarado por cada hogar.
- En la aplicación del Modelo de Gasto Teórico Avanzado 2.0 a la base de datos del programa “Ni un hogar sin energía” de ECODES se obtiene que el modelo reproduce relativamente bien al consumo real de los hogares, especialmente en los hogares unipersonales; sin embargo, a medida que aumenta el número de miembros este ajuste va disminuyendo, principalmente en los hogares de cuatro miembros. Esto se puede deber principalmente a que dicha base de datos está formada por hogares vulnerables en su mayoría.
- Por tanto, mediante la comparación anterior queda reflejado como a través del modelo se puede interpretar que la diferencia de consumo los hogares aumenta con el número de miembros de los hogares.
- El gasto eléctrico para un hogar medio (2.5 miembros) se estimado por los dos modelos es de unos 646€ al año con tarifa 2.0A y 567€ al año con tarifa 2.0DHA. Este valor se encuentra entre los 467€ y los 891 € al año para 1 y más de 4 miembros, respectivamente, bajo una tarifa sin discriminación horaria 2.0A, y los 410€ y los 781€ para 1 y más de 4 miembros respectivamente, con una tarifa con discriminación horaria 2.0DHA. Por lo que se estima que se ahorran 79€ anuales por contratar la tarifa con discriminación horaria.

Estas conclusiones sugieren dos medidas para la lucha contra la pobreza energética:

- La primera reformar bono social eléctrico para que dependa de las características de la vivienda, el tamaño y la ocupación de los miembros. De esta manera las ayudas aportadas a los hogares estarán más personalizadas y serán más efectivas en la lucha contra la vulnerabilidad de estos hogares.

- Medidas para la mejora de la eficiencia energética de los hogares mediante la sustitución de aparatos eléctricos que tengan un sobreconsumo ya sea por su antigüedad o porque estén dañados.

### **8.1. Trabajo futuro**

A lo largo del trabajo desarrollado se ha visto la posibilidad de profundizar en la mejora de los modelos y del análisis realizado. En concreto se podrían abordar las siguientes tareas:

- Incorporación al modelo de la eficiencia energética de los electrodomésticos, con la posibilidad de hacer un análisis cuantitativo del peso de ésta en el gasto teórico total.
- Estudio de la optimización del uso de los diferentes electrodomésticos con la nueva estructura de la tarifa en vigor a partir del pasado 1 de junio de 2021.
- Mejora en el modelado de algunos de los electrodomésticos, como por ejemplo el frigorífico, que se ha modelado con consumo constante, o la iluminación que puede variar según la posición geográfica.

## 9. Bibliografía

- [1] H. Thomson y S. Bouzarovski, «Addressing Energy Poverty in the European Union: State of Play and Action,» *EU Energy Poverty Observatory*, 2018.
- [2] «Objetivos de Desarrollo Sostenible,» [En línea]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>.
- [3] Ministerio para la Transición Ecológica, «Estrategia Nacional Contra la Pobreza Energética 2019-2024,» [En línea]. Available: [https://www.miteco.gob.es/es/prensa/estrategianacionalcontralapobrezaenergetica2019-2024\\_tcm30-496282.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/prensa/estrategianacionalcontralapobrezaenergetica2019-2024_tcm30-496282.pdf).
- [4] Arenas Pinilla, Eva; Barrella, Roberto; Lineares, Jose Ignacio; Romero Mora, Jose Carlos, «Caracterización del comportamiento energético en una muestra de hogares españoles,» 2019.
- [5] ECODES, «Ni un hogar sin energía,» [En línea]. Available: <https://niunhogarsinenergia.org/>.
- [6] E. Arenas Pinilla, R. Barrella, Á. Cosín López-Medel, J. I. Linares Hurtado, J. C. Romero Mora, C. Foronda Díez y L. Díez Alzueta, «Desarrollo de un modelo de cálculo de gasto eléctrico teórico en los hogares españoles,» ECODES, Madrid, 2020.
- [7] R. Barrella, A. Cosin, E. Arenas, J.I. Linares, J.C. Romero, E. Centeno, «Modeling and analysis of electricity consumption in Spanish vulnerable households,» IEEE 2021 Madrid PowerTech, PowerTech 2021 - Conf. Proc. (2021). <https://doi.org/10.1109/PowerTech46648.2021.9494785>.
- [8] N. DellaValle, «People's decisions matter: understanding and addressing Energy Poverty with Behavioral Economics,» *Energy and Buildings*, 2019.
- [9] N. DellaValle y S. Sareen, «Nudging and boosting for equity? Towards a behavioural economics of energy justice,» *Energy Research & Social Science*, 2020.



- [10] S. Bouzarovski y S. Petrova, «A global perspective on domestic energy deprivation: Overcoming the energy poverty–fuel poverty binary,» *Energy Research & Social Science*, 2015.
- [11] S. Pye y A. Dobbins, «Energy poverty and vulnerable consumers in the energy sector across the EU: analysis of policies and measures,» *Insightenergy*, 2015.
- [12] Asociación de Ciencias Ambientales, «cienciasambientales.org,» [En línea]. Available: <https://www.cienciasambientales.org.es/index.php/ique-es-la-pobreza-energetica>.
- [13] A. Boeri, V. Gianfrate, S. O. Murielle Boulanger y M. Massari, «Future Design Approaches for Energy Poverty: Users Profiling and Services for No-Vulnerable Condition,» *Energies*, 2020.
- [14] Ministerio de Fomento, «Código Técnico de Edificación,» Ministerio de Fomento, 2019.
- [15] «Encuesta de Empleo de tiempo,» INE, 2010. [En línea]. Available: [https://www.ine.es/prensa/eet\\_prensa.htm](https://www.ine.es/prensa/eet_prensa.htm).
- [16] Secretaría General. Departamento de Planificación y Estudios. , «Proyecto Sech - Spahousec. Análisis del consumo energético del sector residencial en España,» *IDAE*, 2011.
- [17] P. Escobar, E. Martínez, J. Saenz-Díez, E. Jiménez y J. Blanco, «Modeling and analysis of the electricity consumption profile of the residential sector in Spain,» *Energy & Buildings*, 2020.
- [18] Departamento de Planificación y Estudios. IDAE, «Informe sintético de indicadores de eficiencia energética en España. Año 2018,» *IDAE*, vol. 4ª Edición, 2020.
- [19] IDAE, «Informe anual de indicadores energéticos. Año 2018.,» *Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, IDAE*.

- [20] IDAE, «Informe anual de consumos energético. Evolución 2010-2018.» *Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, IDAE*, vol. 11, 2020.
- [21] Departamento de Planificación y Estudios - IDAE, «Estudio SPAHOUSEC II. Análisis estadístico del consumo de gas natural en las viviendas principales con calefacción individual.» IDAE, Madrid, 2019.
- [22] C. Sánchez-Guevara Sánchez, A. Mavrogianni y J. Neila, «On the minimal thermal habitability conditions in low income dwellings in Spain for a new definition of fuel poverty,» *Building and Environment*, 2016.
- [23] A. Chucí, J. Arcas-Abella y A. Pagès-Ramon, «Estudio de la distribución del consumo energético residencial para calefacción en España,» *Ministerio de Fomento*, 2017.
- [24] G. García Alvarez y R. S.J. Tol, «The Impact of the Bono Social de Electricidad on Energy Poverty in Spain,» *Department of Economics, University of Sussex Business School*, 2020.
- [25] A. Ramokone, O. Popoola y A. Awelewa, «An intelligent approach for assessing occupancy and occupant-related activities impact on residential electric load profiles,» *IEEE*, 2020.
- [26] Y.-S. Chiou, K. M. Carley, C. I. Davidson y M. P. Johnson, «A high spatial resolution residential energy model based on American Time Use Survey data and the bootstrap sampling method,» *Energy and Buildings*, 2011.
- [27] L. G. Swan y V. I. Ugursal, «Modeling of end-use energy consumption in the residential sector: A review of modeling techniques,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 13, 2013.
- [28] ECODES, «Reluce. Herramienta de cálculo de la demanda óptima para la gestión de ayudas para el suministro de energía eléctrica en hogares vulnerables.»
- [29] E. Jadraque Gago, J. Ordóñez García y A. Espín Estrella, «Development of an energy model for the residential sector: Electricity consumption in Andalusia, Spain,» *Energy and Buildings*, 2011.

- [30] J. Henderson y J. Hart, «BREDEM 2012. A technical description of the BRE DOmestic Energy Model.,» *BRE*, 2012.
- [31] X. Xu y B. W. Ang, «Analysing residential energy consumption using index decomposition analysis,» *Applied Energy*, vol. 113, 2014.
- [32] INE, «Encuesta continua de hogares 2019».
- [33] Lucera, «lucera.es,» [En línea]. Available: <https://lucera.es/blog/cuanto-consumen-electrodomesticos>.
- [34] Secadoras Online, «secadorasonline.com,» [En línea]. Available: <https://secadorasonline.com/cual-es-el-consumo-de-una-secadora-de-ropa/>.
- [35] CH Energía, «chenergia.es,» [En línea]. Available: <https://www.chcenergia.es/es/blog/blog-chc-energia/cuanto-consume-un-ordenador-o-pc/#:~:text=Cuanta%20electricidad%20consume%20un%20ordenador,-El%20nivel%20de&text=La%20media%20se%20sit%C3%BAa%20en,en%208%20horas%20de%20trabajo>.
- [36] INE, «España en cifras 2020,» INE, 2020.
- [37] «PSYMA,» 2015. [En línea]. Available: <https://www.psyma.com/company/news/message/como-determinar-el-tamano-de-una-muestra>.
- [38] «QuestionPro,» [En línea]. Available: <https://www.questionpro.com/es/tama%C3%B1o-de-la-muestra.html>.
- [39] R. Barrella, J. I. Linares, J. C. Romero, E. Arenas Pinilla y E. Centeno, «Does cash money solve energy poverty? Assessing the impact of household heating allowances in Spain,» *Energy Research & Social Science*, vol. 80, pp. 102216-1 - 102216-18, 2021.

- [40] E. Arenas Pinilla, R. Barrella, A. Cosin Lopez-Medel, J. I. Linares y J. C. Romero Mora, «Desarrollo de un modelo de cálculo de gasto eléctrico teórico en los hogares españoles,» *ECODES*, 2020.

## **Anexo I - Alineación con los objetivos de desarrollo sostenible**

En la Agenda 2030 elaborada por Naciones Unidas, donde se recogen los objetivos de desarrollo sostenible, cuenta con un ODS alineado con este proyecto, el número 7 definido como “Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna” [2]. Para conseguir dicho objetivo debe existir un marco de referencia de consumo de los hogares para que se puedan tomar las medidas más efectivas al respecto. Por ello, en este se va a elaborar un modelo de gasto eléctrico teórico.

Otras de las metas presentes en los ODS que amparan acción en este ámbito son las siguientes:

- Meta 1.3: Implantación de sistemas de protección social.
- Meta 1.4: Garantía de acceso a servicios básicos y recursos financieros.
- Meta 9.a: Apoyo a infraestructuras sostenibles y resilientes.
- Meta 10.4: Adopción de políticas fiscales, salariales y de protección social.
- Meta 12.1: Aplicación marco de consumo y producción responsable.