



# MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

## INCLUSIÓN DE HÁBITOS DE CONSUMO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN UNA HERRAMIENTA DE CÁLCULO DEL GASTO ELÉCTRICO TEÓRICO EN LOS HOGARES

Autor: Carlos Soutelo Rivera

Director: Eva María Arenas Pinilla

Codirector: Roberto Barrella

Madrid



Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título

*Inclusión de hábitos de consumo y eficiencia energética en una herramienta*

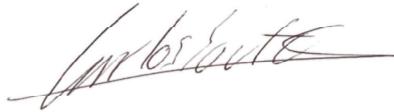
*de cálculo del gasto eléctrico teórico en los hogares,*

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el curso académico 2023/24 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.: Carlos Soutelo Rivera

Fecha: 28/ 08/ 2024



Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Eva Arenas Pinilla

Fecha:

**Eva  
Arenas  
Pinilla**

Firmado  
digitalmente por  
Eva Arenas Pinilla  
Fecha: 2024.08.28  
15:23:11 +02'00'

Fdo.: Roberto Barrella

Fecha:

Firmado por \*\*\*\*2135\* ROBERTO  
BARRELLA el día 29/08/2024 con un  
certificado emitido por AC CAMERFIRMA  
FOR NATURAL PERSONS - 2016





# MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

## INCLUSIÓN DE HÁBITOS DE CONSUMO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN UNA HERRAMIENTA DE CÁLCULO DEL GASTO ELÉCTRICO TEÓRICO EN LOS HOGARES

Autor: Carlos Soutelo Rivera

Director: Eva María Arenas Pinilla

Codirector: Roberto Barrella

Madrid

# **Agradecimientos**

Quiero dedicar este Trabajo de Fin de Máster a mi familia, por haberme brindado la oportunidad de estudiar esta ingeniería, y por haberme guiado a lo largo de todo este proceso. También, quiero hacer mención a mis dos grandes amigos Olava y Fueyo, por haber hecho de este exigente camino uno de mis mejores recuerdos. Y, por último, a Anna, por ser una infinita fuente de apoyo.



# **INCLUSIÓN DE HÁBITOS DE CONSUMO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN UNA HERRAMIENTA DE CÁLCULO DEL GASTO ELÉCTRICO TEÓRICO EN LOS HOGARES**

**Autor: Soutelo Rivera, Carlos.**

Director: Arenas Pinilla, Eva María

Codirector: Roberto, Barrella

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

## **RESUMEN DEL PROYECTO**

Este proyecto de fin de máster se centra en la lucha contra la pobreza energética mediante el desarrollo y la unificación de modelos que estiman el consumo eléctrico teórico en hogares españoles. Utilizando variables como el tamaño de la vivienda, el número de residentes y la eficiencia energética de los electrodomésticos, se busca proporcionar una herramienta que permita a los usuarios identificar y optimizar su gasto eléctrico.

**Palabras clave:** Modelo predictivo, Pobreza energética, Consumo eléctrico, Electrodomésticos, Frigorífico, Vivienda, Energía

## **1. Introducción**

Este proyecto se centra en abordar la pobreza energética, que afecta a 54 millones de personas en la Unión Europea. Desde la Cátedra de Energía y Pobreza de la Universidad Pontificia Comillas, se han creado modelos para estimar el gasto energético en viviendas.

Este trabajo se enfoca en el consumo eléctrico, unificando y mejorando estudios previos en una herramienta que identifica hogares en riesgo al predecir su consumo. Además, introduce nuevas metodologías, incluido un nuevo modelo para el consumo del frigorífico.

## **2. Definición del modelo**

Este trabajo integra y amplía los resultados de 3 investigaciones previas realizadas en la escuela ICAI de la Universidad Pontificia Comillas. Los trabajos unificados son:

1. “Desarrollo de un modelo teórico para la determinación del gasto eléctrico en un hogar español”, de Álvaro Cosín [1]

2. “Estudio de la influencia de la eficiencia energética de los diferentes electrodomésticos de un hogar español en su gasto eléctrico”, de Gonzalo Borque [2]
3. “Desarrollo de un modelo de cálculo del consumo eléctrico por iluminación en un hogar español”, de Mario Fernández [3]

Se ha utilizado el modelo creado en Excel en [2], y se han agregado los cambios necesarios para crear una herramienta más completa y adecuada a los nuevas metodologías o procesos de cálculo utilizados.

En la Ilustración 1 se muestra un ejemplo con todas las entradas de inputs disponibles y con un valor posible seleccionado para cada uno de ellos.

Número de miembros del hogar	4		
Tamaño de la vivienda (m2)	81 a 100		
Antigüedad	Entre 1981 y 2006		
<b>Ocupaciones</b>			
Ocupado/a	2		
Parado/a	0		
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	Etiqueta antigua	A++
Lavadora	Si	Etiqueta nueva	B
Secadora	Si	Antigüedad	Nuevo (5 años)
Frigorífico	Si	Etiqueta nueva	B
Congelador	Si	Etiqueta antigua	D
TV (Con HDR)	Si	Etiqueta antigua	C
TV (Sin HDR)	Si	Etiqueta antigua	C
Ordenador	No		
Lavavajillas	Si	Etiqueta antigua	C
Movil	Si		
Tablet	No		
Microondas	Si		
<b>Iluminación</b>			
Zona	A Coruña		

*Ilustración 1. Ejemplo de selección de inputs del modelo*

En cuanto a las metodologías utilizadas se pueden resumir en:

- Iluminación: metodología y cálculo de consumo desarrollados en [3].
- Electrodomésticos con etiquetado de eficiencia energética antiguo: metodología y cálculo de consumo desarrollados en [1] y [2].

- Electrodomésticos con etiquetado de eficiencia energética nuevo: metodología específica de este proyecto. Se basa en mediciones directas obtenidas de la base de datos de la página EPREL [4] que contiene un amplio catálogo de electrodomésticos comercializados y que se hayan dejado de comercializar.
- Electrodomésticos por años de antigüedad: actualizada con los consumos de valor actuales e históricos, permite estimar el consumo de los electrodomésticos a partir de su antigüedad.
- Frigorífico: se ha creado un modelo específico más detallado para este aparato. Utiliza como base de consumo la misma creada en este trabajo para el etiquetado de eficiencia energética nuevo, y se aplican tres correcciones en función de las tres variables más determinantes en el consumo de este elemento: corrección por temperatura ambiente, corrección por número de aperturas y corrección por carga térmica introducida.

### 3. Resultados

Se realizarán simulaciones para analizar y validar los cambios implementados en el modelo, como nuevas metodologías, incorporación de variables y correcciones, con el fin de asegurar su precisión y coherencia. Para esto, se han definido varios escenarios:

- Escenario 1: vivienda de 60-80 m<sup>2</sup> en Madrid. Ocupada por dos adultos con empleo. Se estudiarán distintas configuraciones de eficiencia energética en los electrodomésticos. También se explorarán combinaciones donde faltan ciertos electrodomésticos.
- Escenario 2: vivienda de de 100-120 m<sup>2</sup>, ubicada en Santa Cruz de Tenerife, habitada por cuatro personas (dos adultos con empleo y dos estudiantes). Similar al primer escenario, se evaluarán las mismas distintas configuraciones con el fin de comparar sus resultados.

Se han analizado los consumos en kWh y % de cada uno de los electrodomésticos y el total de la vivienda en cada uno de los subescenarios de los escenarios 1 y 2, respectivamente. Se observa que los electrodomésticos sin etiquetado (fogones, móvil, tablet, iluminación, ordenador y microondas) tienen un gasto eléctrico constante y solo aumentan cuando lo hace el número de personas, o el tamaño de la vivienda para el caso de la iluminación.

Existe un notable aumento del consumo a medida que empeora la eficiencia energética de los electrodomésticos que sí están dotados de etiquetado. El consumo total de todos los elementos del estudio llega a ser hasta 3 veces mayor si comparamos el primer subescenario (máxima eficiencia de etiquetado nuevo A) con el quinto subescenario (mínima eficiencia de etiquetado antiguo G). También se puede observar la similitud entre los consumos del segundo y tercer escenario, de etiquetado nuevo D y de etiquetado antiguo A++, respectivamente.

Por otro lado, si nos fijamos en el peso relativo del consumo de cada elemento, se puede observar, a medida que la eficiencia energética empeora, los electrodomésticos con etiquetado ganan peso respecto a los que no lo tienen, ya que muestran un valor constante con la metodología seguida en el modelo.

También, se puede destacar como algunos elementos se ven mayormente afectados con el cambio de escenario que otros. En el caso de la iluminación, el aumento de personas y el aumento del tamaño de la vivienda provoca un aumento del 211% en su gasto, el más grande entre todos ellos. En los demás aparatos, aunque el tamaño de la vivienda no afecta a su consumo, el número de habitantes sí lo hace. Se pueden encontrar al móvil (100%) o al ordenador (161%) entre los líderes en este aumento de consumo, o al congelador (0%), o el microondas (20%) entre los que menos lo experimentan.

Por último, se observa que el consumo del hogar en el escenario 2 no es el doble que en el escenario 1 como podría esperarse, si no que existe un ahorro energético nominal al aumentar el número de habitantes. Este ahorro nominal se hace más notable cuanto peor sea la eficiencia de los electrodomésticos.

Como segunda gran parte en el apartado de resultados, se realizó un estudio del nuevo modelo para predecir el consumo energético del frigorífico en varios escenarios con distintas configuraciones de vivienda:

- Escenario 1: 1 persona. Tres subescenarios según la ubicación (La Coruña, Islas Baleares, Córdoba) y eficiencia energética del frigorífico (A, D, G), en viviendas construidas antes de 1981.

- Escenario 2: 2 personas, también con fogones y horno. Incluye los tres mismos subescenarios, pero en viviendas construidas entre 1981 y 2006.
- Escenario 3: 3 personas, con fogones y horno . Viviendas construidas después de 2006.
- Escenario 4: 4 personas, con fogones y horno. Alterna entre distintas antigüedades de vivienda.

Del análisis de los cuatro escenarios se concluye que la etiqueta de eficiencia energética y el tamaño del frigorífico son las dos características predominantes en el consumo del frigorífico. Después, las tres siguientes variables que más afectarán a su consumo son la temperatura ambiente, el número de veces que se abre el electrodoméstico, y la carga térmica de alimento y bebida a la que se le somete.

Aun así, se observa que el consumo energético general de la vivienda tiende a aumentar porcentualmente con el número de personas en mayor medida que en específico el frigorífico.

#### **4. Conclusiones**

Este trabajo ha logrado integrar tres estudios distintos en un modelo unificado y coherente. Se identificaron varias conclusiones y áreas de mejora en relación con la nueva metodología de etiquetado energético:

- Existe un desarrollo desigual en la tecnología de los electrodomésticos, y algunas categorías con alta eficiencia energética tienen pocos productos en la base de datos, lo que requiere más tiempo para obtener muestras representativas.
- Se sugiere utilizar técnicas de web scraping o buscar estudios que midan el consumo en viviendas reales para mejorar el catálogo de datos.

Respecto al modelo general de predicción del consumo energético:

- La eficiencia energética de los electrodomésticos es fundamental, ya que el consumo puede ser hasta tres veces mayor en hogares con 2 a 4 personas si los electrodomésticos son menos eficientes.
- Es necesario desarrollar métodos para clasificar electrodomésticos sin etiquetado, ya que su consumo constante puede distorsionar los resultados del modelo.

- Los electrodomésticos como iluminación y dispositivos personales ven su consumo más afectado por el aumento del número de habitantes, mientras que los de cocina y refrigeración muestran un mayor ahorro energético con más personas.
- Aunque el ahorro energético por persona es mayor con electrodomésticos menos eficientes, su consumo total sigue siendo más alto, lo que incrementa los costos eléctricos.
- A mayor número de habitantes, mayor es el ahorro energético por persona.

En cuanto al modelo del frigorífico:

- El frigorífico ya no es el mayor consumidor energético en muchos escenarios.
- Factores como la temperatura ambiente, la frecuencia de apertura, y la cantidad y temperatura de los alimentos influyen significativamente en su consumo.
- Las correcciones basadas en estas variables tienen más impacto en frigoríficos con menor eficiencia energética, reflejando un mayor ahorro porcentual en modelos menos eficientes.

## 5. Referencias

- [1] Á. C. López-Medel, «Desarrollo de un Modelo Teórico para la Determinación del Gasto Eléctrico en un Hogar Español,» 2022.
- [2] G. B. Angulo, «Estudio de la influencia de la eficiencia energética de los diferentes electrodomésticos de un hogar español en su gasto eléctrico,» 2022.
- [3] M. F. Pedraz, «Desarrollo de un modelo de cálculo del consumo eléctrico por iluminación en un hogar español,» 2022.
- [4] E. Comission, «EPREL (Registro europeo de productos para el etiquetado energético),» 2024. [En línea]. Available: <https://eprel.ec.europa.eu/screen/home>.

# **INCLUSION OF CONSUMPTION HABITS AND ENERGY EFFICIENCY IN A TOOL FOR CALCULATING THEORETICAL ELECTRICITY EXPENDITURE IN HOUSEHOLDS**

**Author: Soutelo Rivera, Carlos.**

Supervisor: Arenas Pinilla, Eva María.

Co-supervisor: Barrella, Roberto

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

## **PROJECT SUMMARY**

This master's thesis focuses on combating energy poverty through the development and unification of models that estimate the theoretical electricity consumption in Spanish households. By using variables such as the size of the dwelling, the number of residents, and the energy efficiency of appliances, the project aims to provide a tool that enables users to identify and optimize their electricity expenditure.

**Keywords:** Predictive model, Energy poverty, Electricity consumption, Appliances, Refrigerator, Housing, Energy

### **1. Introduction**

This project focuses on addressing energy poverty, which affects 54 million people in the European Union. From the Chair of Energy and Poverty at Pontifical Comillas University, models have been developed to estimate energy expenditure in households.

This work concentrates on electricity consumption, unifying and improving previous studies into a tool that identifies at-risk households by predicting their consumption. Additionally, it introduces new methodologies, including a new model for refrigerator consumption.

### **2. Model definition**

This work integrates and expands the results of three previous research projects conducted at ICAI School of Engineering, Universidad Pontificia Comillas. The unified studies are:

1. “Desarrollo de un modelo teórico para la determinación del gasto eléctrico en un hogar español”, by Álvaro Cosín [1]

2. “Estudio de la influencia de la eficiencia energética de los diferentes electrodomésticos de un hogar español en su gasto eléctrico”, by G. Borque [2]
3. “Desarrollo de un modelo de cálculo del consumo eléctrico por iluminación en un hogar español”, by Mario Fernández [3]

The model created in Excel in [2] has been used, and the necessary changes have been made to create a more comprehensive tool that is suited to the new methodologies or calculation processes used.

Illustration 1 shows an example with all available input entries and a possible value selected for each of them.

Número de miembros del hogar	4		
Tamaño de la vivienda (m2)	81 a 100		
Antigüedad	Entre 1981 y 2006		
<b>Ocupaciones</b>			
Ocupado/a	2		
Parado/a	0		
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	Etiqueta antigua	A++
Lavadora	Si	Etiqueta nueva	B
Secadora	Si	Antigüedad	Nuevo (5 años)
Frigorífico	Si	Etiqueta nueva	B
Congelador	Si	Etiqueta antigua	D
TV (Con HDR)	Si	Etiqueta antigua	C
TV (Sin HDR)	Si	Etiqueta antigua	C
Ordenador	No		
Lavavajillas	Si	Etiqueta antigua	C
Movil	Si		
Tablet	No		
Microondas	Si		
<b>Iluminación</b>			
Zona	A Coruña		

*Illustration 1. Example of Model Input Selection*

#### Methodologies Used:

- Lighting: Methodology and consumption calculation developed in [3].
- Appliances with old energy efficiency labels: Methodology and consumption calculation developed in [1] and [2].

- Appliances with new energy efficiency labels: Specific methodology of this project. It is based on direct measurements obtained from the EPREL website database [4], which contains a comprehensive catalog of marketed and discontinued appliances.
- Appliances by years of age: Updated with current and historical consumption values, allowing estimation of appliance consumption based on their age.

Refrigerator: A more detailed specific model has been created for this appliance. It uses the same consumption baseline developed in this project for the new energy efficiency labeling and applies three corrections based on the most significant variables affecting its consumption: ambient temperature correction, number of openings correction, and thermal load correction.

#### 4. Results

Simulations will be conducted to analyze and validate the changes implemented in the model, such as new methodologies, the inclusion of variables, and corrections, to ensure its accuracy and consistency. Several scenarios have been defined for this purpose:

- Scenario 1: A 60-80 m<sup>2</sup> dwelling in Madrid, occupied by two working adults. Different energy efficiency configurations of appliances will be studied. Combinations with missing appliances will also be explored.
- Scenario 2: A 100-120 m<sup>2</sup> dwelling in Santa Cruz de Tenerife, inhabited by four people (two working adults and two students). Similar to the first scenario, the same different configurations will be evaluated to compare their results.

Consumption in kWh and percentage for each appliance and the total household in each sub-scenario of Scenarios 1 and 2 has been analyzed. It is observed that appliances without labeling (stove, mobile phone, tablet, lighting, computer, and microwave) have a constant electrical consumption, which only increases with the number of people or the size of the dwelling for lighting.

There is a significant increase in consumption as the energy efficiency of labeled appliances decreases. The total consumption of all elements in the study can be up to three times higher when comparing the first sub-scenario (new labeling efficiency A) with the fifth sub-scenario (old labeling efficiency G). Similar consumption levels are observed between the second and third scenarios, with new labeling D and old labeling A++, respectively.

On the other hand, examining the relative weight of each element's consumption, as energy efficiency worsens, labeled appliances gain more weight compared to those without labeling, as they show a constant value according to the model's methodology.

It is also notable that some elements are more affected by changes in the scenario than others. For example, in the case of lighting, an increase in the number of people and the size of the dwelling causes a 211% increase in consumption, the largest among all appliances. For other devices, although the size of the dwelling does not affect consumption, the number of inhabitants does. The mobile phone (100%) and the computer (161%) are among the leaders in this increase in consumption, while the freezer (0%) and the microwave (20%) experience the least increase.

Finally, it is observed that the household consumption in Scenario 2 is not double that of Scenario 1, as might be expected. Instead, there is a nominal energy saving as the number of inhabitants increases. This nominal saving becomes more noticeable as the efficiency of the appliances worsens.

As a second major part in the results section, a study of the new model to predict refrigerator energy consumption in various scenarios with different housing configurations was conducted:

- *Scenario 1*: 1 person. Three sub-scenarios based on location (La Coruña, Balearic Islands, Córdoba) and refrigerator energy efficiency (A, D, G) in dwellings built before 1981.
- *Scenario 2*: 2 people, also with stove and oven. Includes the same three sub-scenarios, but in dwellings built between 1981 and 2006.
- *Scenario 3*: 3 people, with stove and oven. Dwellings built after 2006.
- *Scenario 4*: 4 people, with stove and oven. Alternates between different dwelling ages.

From the analysis of the four scenarios, it is concluded that the energy efficiency label and the size of the refrigerator are the two predominant characteristics affecting refrigerator consumption. The next three variables that most impact its consumption are

ambient temperature, the frequency of opening the appliance, and the thermal load of food and drink it is subjected to.

However, it is observed that the general energy consumption of the household tends to increase proportionally with the number of people more than the specific consumption of the refrigerator.

## **5. Conclusions**

This work has successfully integrated three distinct studies into a unified and coherent model. Several conclusions and areas for improvement were identified regarding the new energy labeling methodology:

- There is uneven development in appliance technology, and some high-efficiency categories have few products in the database, which requires more time to obtain representative samples.
- It is suggested to use web scraping techniques or seek studies that measure consumption in real households to improve the data catalog.

Regarding the general energy consumption prediction model:

- The energy efficiency of appliances is crucial, as consumption can be up to three times higher in households with 2 to 4 people if the appliances are less efficient.
- Methods need to be developed to classify appliances without labeling, as their constant consumption can distort the model's results.
- Appliances such as lighting and personal devices see their consumption more affected by an increase in the number of inhabitants, while kitchen and refrigeration appliances show greater energy savings with more people.
- Although the energy savings per person is greater with less efficient appliances, their total consumption remains higher, increasing electricity costs.
- With a higher number of inhabitants, the energy savings per person increases.

Regarding the refrigerator model:

- The refrigerator is no longer the largest energy consumer in many scenarios.
- Factors such as ambient temperature, frequency of opening, and the quantity and temperature of food significantly influence its consumption.
- Corrections based on these variables have a greater impact on refrigerators with lower energy efficiency, reflecting a higher percentage of savings in less efficient models.

## 6. References

- [1] Á. C. López-Medel, «Desarrollo de un Modelo Teórico para la Determinación del Gasto Eléctrico en un Hogar Español,» 2022.
- [2] G. B. Angulo, «Estudio de la influencia de la eficiencia energética de los diferentes electrodomésticos de un hogar español en su gasto eléctrico,» 2022.
- [3] M. F. Pedraz, «Desarrollo de un modelo de cálculo del consumo eléctrico por iluminación en un hogar español,» 2022.
- [4] E. Comission, «EPREL (Registro europeo de productos para el etiquetado energético),» 2024. [En línea]. Available: <https://eprel.ec.europa.eu/screen/home>.

## *Índice de la memoria*

<b>Capítulo 1. Introducción .....</b>	<b>7</b>
1.1 Motivación del proyecto.....	8
<b>Capítulo 2. Estado de la Cuestión .....</b>	<b>10</b>
<b>Capítulo 3. Definición del Trabajo .....</b>	<b>22</b>
3.1 Justificación.....	22
3.2 Objetivos .....	23
3.3 Entorno de trabajo .....	25
<b>Capítulo 4. Modelo Desarrollado.....</b>	<b>26</b>
4.1 Precedentes.....	26
4.2 Unificación y creación del modelo final .....	29
4.2.1 Inputs .....	29
4.2.2 Metodología.....	32
4.3 Análisis específico y modelización de consumo eléctrico del frigorífico .....	35
4.3.1 Justificación.....	35
4.3.2 Metodología.....	35
4.4 Conclusión del modelo.....	46
<b>Capítulo 5. Simulaciones.....</b>	<b>47</b>
5.1 Escenarios escogidos para el estudio de la eficiencia de los electrodomésticos .....	48
5.1.1 Escenario 1.....	51
5.1.2 Escenario 2.....	66
5.1.3 Resumen de los escenarios 1 y 2 .....	81
5.2 Escenarios escogidos para el estudio del modelo específico del frigorífico .....	87
5.2.1 Escenario 1.....	89
5.2.2 Escenario 2.....	91
5.2.3 Escenario 3.....	93
5.2.4 Escenario 4.....	95
<b>Capítulo 6. Conclusiones y Trabajos Futuros.....</b>	<b>97</b>

*Capítulo 7. Bibliografía..... 102*

*Anexo. Alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)..... 108*

## *Índice de gráficos*

GRÁFICO 1. EVOLUCIÓN DEL PRECIO MEDIO DE LA TARIFA ELÉCTRICA EN ESPAÑA.....	13
GRÁFICO 2. DEMANDA DE ELECTRICIDAD EN ESPAÑA [11] .....	14
GRÁFICO 3. REPARTO PORCENTUAL POR ELECTRODOMÉSTICO EN EL CONSUMO EN EL SUBESCENARIO 1.1 .....	52
GRÁFICO 4. REPARTO PORCENTUAL POR ELECTRODOMÉSTICO EN EL CONSUMO EN EL SUBESCENARIO 1.2 .....	55
GRÁFICO 5. REPARTO PORCENTUAL POR ELECTRODOMÉSTICO EN EL CONSUMO EN EL SUBESCENARIO 1.3 .....	57
GRÁFICO 6. REPARTO PORCENTUAL POR ELECTRODOMÉSTICO EN EL CONSUMO EN EL SUBESCENARIO 1.4 .....	59
GRÁFICO 7. REPARTO PORCENTUAL POR ELECTRODOMÉSTICO EN EL CONSUMO EN EL SUBESCENARIO 1.5 .....	61
GRÁFICO 8. REPARTO PORCENTUAL POR ELECTRODOMÉSTICO EN EL CONSUMO EN EL SUBESCENARIO 1.6 .....	63
GRÁFICO 9. REPARTO PORCENTUAL POR ELECTRODOMÉSTICO EN EL CONSUMO EN EL SUBESCENARIO 1.7 .....	65
GRÁFICO 10. REPARTO PORCENTUAL POR ELECTRODOMÉSTICO EN EL CONSUMO EN EL SUBESCENARIO 2.1 .....	67
GRÁFICO 11. REPARTO PORCENTUAL POR ELECTRODOMÉSTICO EN EL CONSUMO EN EL SUBESCENARIO 2.2 .....	69
GRÁFICO 12. REPARTO PORCENTUAL POR ELECTRODOMÉSTICO EN EL CONSUMO EN EL SUBESCENARIO 2.3 .....	71
GRÁFICO 13. REPARTO PORCENTUAL POR ELECTRODOMÉSTICO EN EL CONSUMO EN EL SUBESCENARIO 2.4 .....	73
GRÁFICO 14. REPARTO PORCENTUAL POR ELECTRODOMÉSTICO EN EL CONSUMO EN EL SUBESCENARIO 2.5 .....	75
GRÁFICO 15. REPARTO PORCENTUAL POR ELECTRODOMÉSTICO EN EL CONSUMO EN EL SUBESCENARIO 2.6 .....	77
GRÁFICO 16. REPARTO PORCENTUAL POR ELECTRODOMÉSTICO EN EL CONSUMO EN EL SUBESCENARIO 2.7 .....	79

## *Índice de tablas*

TABLA 1. PORCENTAJE DE HOGARES ESPAÑOLES EN SITUACIÓN DE POBREZA ENERGÉTICA [7].....	11
TABLA 2. EVOLUCIÓN DEL PRECIO MEDIO DE LA TARIFA ELÉCTRICA EN ESPAÑA .....	12
TABLA 3. NUEVOS VOLÚMENES DE LOS FRIGORÍFICOS EN EL MODELO SEGÚN EL NÚMERO DE RESIDENTES EN LA VIVIENDA .....	36
TABLA 4. RANGOS DE TEMPERATURA PARA LA ESTIMACIÓN DE LA TEMPERATURA DE LA COCINA SEGÚN LA PROVINCIA .....	38
TABLA 5. FACTOR DE CORRECCIÓN SEGÚN LA ETIQUETA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA LA CORRECCIÓN POR TEMPERATURA AMBIENTE .....	43
TABLA 6. FACTOR DE CORRECCIÓN SEGÚN LA ETIQUETA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA LA CORRECCIÓN POR NÚMERO DE APERTURAS.....	44
TABLA 7. RESUMEN DE LOS ESCENARIOS ESCOGIDOS DE SIMULACIÓN DEL MODELO .....	50
TABLA 8. CONSUMO DE LOS ELECTRODOMÉSTICOS DEL SUBESCENARIO 1.1 .....	51
TABLA 9. CONSUMO DE LOS ELECTRODOMÉSTICOS DEL SUBESCENARIO 1.2 .....	54
TABLA 10. CONSUMO DE LOS ELECTRODOMÉSTICOS DEL SUBESCENARIO 1.3 .....	56
TABLA 11. CONSUMO DE LOS ELECTRODOMÉSTICOS DEL SUBESCENARIO 1.4 .....	58
TABLA 12. CONSUMO DE LOS ELECTRODOMÉSTICOS DEL SUBESCENARIO 1.5 .....	60
TABLA 13. CONSUMO DE LOS ELECTRODOMÉSTICOS DEL SUBESCENARIO 1.6 .....	62
TABLA 14. CONSUMO DE LOS ELECTRODOMÉSTICOS DEL SUBESCENARIO 1.7 .....	64
TABLA 15. CONSUMO DE LOS ELECTRODOMÉSTICOS DEL SUBESCENARIO 2.1 .....	66
TABLA 16. CONSUMO DE LOS ELECTRODOMÉSTICOS DEL SUBESCENARIO 2.2 .....	69
TABLA 17. CONSUMO DE LOS ELECTRODOMÉSTICOS DEL SUBESCENARIO 2.3 .....	70
TABLA 18. CONSUMO DE LOS ELECTRODOMÉSTICOS DEL SUBESCENARIO 2.4 .....	72
TABLA 19. CONSUMO DE LOS ELECTRODOMÉSTICOS DEL SUBESCENARIO 2.5 .....	74
TABLA 20. CONSUMO DE LOS ELECTRODOMÉSTICOS DEL SUBESCENARIO 2.6 .....	76
TABLA 21. CONSUMO DE LOS ELECTRODOMÉSTICOS DEL SUBESCENARIO 2.7 .....	78
TABLA 22. TABLA RESUMEN COMPARATIVA DE LOS CONSUMOS ABSOLUTOS POR ELECTRODOMÉSTICOS DE LOS DISTINTOS SUBESCENARIOS DEL ESCENARIO 1 .....	81

---

TABLA 23. TABLA RESUMEN COMPARATIVA DE LOS CONSUMOS ABSOLUTOS POR ELECTRODOMÉSTICOS DE LOS DISTINTOS SUBESCENARIOS DEL ESCENARIO 2 .....	82
TABLA 24. TABLA RESUMEN COMPARATIVA DE LOS CONSUMOS RELATIVOS POR ELECTRODOMÉSTICOS DE LOS DISTINTOS SUBESCENARIOS DEL ESCENARIO 1 .....	84
TABLA 25. TABLA RESUMEN COMPARATIVA DE LOS CONSUMOS RELATIVOS POR ELECTRODOMÉSTICOS DE LOS DISTINTOS SUBESCENARIOS DEL ESCENARIO 2 .....	85
TABLA 26. VALORES DE LOS PARÁMETROS DE LA SIMULACIÓN DE LOS DISTINTOS SUBESCENARIOS DEL ESCENARIO 1 EN EL ESTUDIO DE LA PREDICCIÓN DE CONSUMO DEL MODELO DEL FRIGORÍFICO .....	89
TABLA 27. VALORES DE LOS PARÁMETROS DE LA SIMULACIÓN DE LOS DISTINTOS SUBESCENARIOS DEL ESCENARIO 2 EN EL ESTUDIO DE LA PREDICCIÓN DE CONSUMO DEL MODELO DEL FRIGORÍFICO .....	91
TABLA 28. VALORES DE LOS PARÁMETROS DE LA SIMULACIÓN DE LOS DISTINTOS SUBESCENARIOS DEL ESCENARIO 3 EN EL ESTUDIO DE LA PREDICCIÓN DE CONSUMO DEL MODELO DEL FRIGORÍFICO .....	93
TABLA 29. VALORES DE LOS PARÁMETROS DE LA SIMULACIÓN DE LOS DISTINTOS SUBESCENARIOS DEL ESCENARIO 4 EN EL ESTUDIO DE LA PREDICCIÓN DE CONSUMO DEL MODELO DEL FRIGORÍFICO .....	95

## *Índice de ilustraciones*

ILUSTRACIÓN 1. CONTRIBUCIÓN DE LOS DISTINTOS PAÍSES EN LA ELABORACIÓN DE EET [13].....	16
ILUSTRACIÓN 2. DIFERENTES TÉCNICAS RECOGIDAS EN [27] BAJO LOS ENFOQUES TOP-DOWN Y BOTTOM-UP .....	19
ILUSTRACIÓN 3. EJEMPLO DE SELECCIÓN DE INPUTS DEL MODELO FINAL.....	31

## Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

Este proyecto de fin de máster tiene como objetivo contribuir a la lucha contra la pobreza energética, que afecta aproximadamente a 54 millones de personas en la Unión Europea [1]. Para ello, desde la Cátedra de Energía y Pobreza de la Universidad Pontificia de Comillas se han desarrollado modelos que permiten la estimación tanto del gasto térmico teórico como del eléctrico en una vivienda.

Estos modelos son una herramienta muy útil para hacer frente a la pobreza energética. Van a permitir identificar los hogares en riesgo de sufrir esta situación. Una vez identificados, se pueden poner en práctica medidas para reducir su gasto energético, como evaluar y mejorar la eficiencia energética de los electrodomésticos o la de su iluminación.

En este trabajo se profundizará en la parte eléctrica de este modelo. Hasta ahora y previo a este proyecto, se ha desarrollado un modelo de cálculo de la demanda térmica basado en un estudio de la Cátedra de Energía y Pobreza que luego se amplió para incluir uno del gasto eléctrico teórico [2]. Adicionalmente, se realizó un segundo estudio sobre el consumo energético de electrodomésticos y su eficiencia energética [3], y un tercer estudio sobre el consumo energético de la iluminación [4]. Todos ellos tienen como objetivo la inclusión de hábitos de consumo y eficiencia energética en la herramienta de cálculo creada para el gasto eléctrico teórico en los hogares de España.

Los principales factores que se tienen en cuenta a la hora de realizar la estimación del consumo en la vivienda a través de este modelo son:

- Número de personas habitando la vivienda y su perfil de ocupación.
- Tamaño de la vivienda.
- Ubicación de la vivienda (que determinan, entre otras cosas, las horas de luz natural).

- Presencia/ausencia de los principales aparatos y electrodomésticos consumidores de energía.
- Etiqueta de eficiencia energética de los aparatos y electrodomésticos y/o años de antigüedad.

El objetivo de este proyecto de fin de máster será la unificación de todos los estudios anteriores bajo una misma herramienta y profundizar en el modelo eléctrico de manera que se obtenga un modelo más complejo. Se estudiará la posibilidad de aumentar, perfeccionar y extender los estudios realizados hasta ahora (electrodomésticos e iluminación), y/o comenzar el estudio y el análisis de un nuevo factor que afecte directamente a la característica del consumo eléctrico en los hogares.

El entorno de trabajo que se va a utilizar para realizar el modelo es Excel. Se utilizará para unificar los proyectos anteriores y para introducir los nuevos factores. Se utilizará tanto para analizar y recopilar los datos necesarios para el modelo, como para la obtención y representación de resultados.

Todos los cambios se implementarán en un futuro en la versión local de la herramienta DIAGNÓSTICO para que los resultados del proyecto sean aprovechables y trasladables a una herramienta web para la población.

## ***1.1 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO***

Este Proyecto de Fin de Máster representa una oportunidad única para aplicar los conocimientos que se adquieren en ingeniería industrial en una aplicación con un impacto social significativo.

La pobreza energética, que afecta a un considerable número de personas en España y la Unión Europea [1], se ha convertido en un reto que demanda soluciones innovadoras y accesibles. La elección de este tema no surge únicamente del interés técnico en la rama eléctrica de la ingeniería industrial, sino también por la oportunidad de poder unir tecnología e ingeniería para desempeñar un papel beneficioso en la mejora de las condiciones de vida de las personas, más aún cuando se trata de gente económicamente en apuros.

En el contexto actual, los costes de la electricidad han alcanzado niveles preocupantes y la carga económica que puede suponer a muchas familias vulnerables también se ha visto incrementada [5]. Participar en el desarrollo de esta herramienta puede beneficiar a estimar el gasto eléctrico teórico en los hogares y convertirse en una vía relativamente sencilla para mejorar la eficiencia energética y reducir los costes provenientes de la factura eléctrica si se ofrecen recomendaciones específicas

Además, la posibilidad de apreciar cómo esta herramienta funciona a través de DIAGNÓSTICO es algo que incentiva el emprendimiento de este proyecto. Se espera que este modelo termine estando completamente enfocado y alineado a obtener resultados, y termine convirtiéndose en una herramienta precisa, relevante y necesaria.

La motivación se nutre de la posibilidad de unificar estudios realizados bajo el mismo techo. También lo promueve desarrollar el modelo aportando un nuevo enfoque específico en algún factor clave para estimar el gasto eléctrico en los hogares.

Por último, la decisión de emprender este proyecto de fin de máster se fundamenta en un gran compromiso y responsabilidad social, además de la creencia de que esta tecnología puede ser accesible y una fuerza positiva para el cambio. Este trabajo representa una aplicación práctica del estudio energético y una contribución significativa a la mejora de las condiciones de vida de quienes se enfrentan a la pobreza energética.

## **Capítulo 2. ESTADO DE LA CUESTIÓN**

El desarrollo de modelos predictivos del consumo energético teórico en los hogares supone la creación de una herramienta de especial utilidad para identificar cuáles son las distintas fuentes de consumo en estos espacios. Además, fomentan la eficiencia y el ahorro energético, con especial importancia para los hogares que se encuentran en situación de pobreza energética, los cuales se detectarán con mayor facilidad gracias al uso de esta tecnología.

El concepto de pobreza energética ha sido definido por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico como “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.” [6]

Actualmente, esta situación de vulnerabilidad afecta a aproximadamente 54 millones de personas en la Unión Europea [1]. Para valorar la situación española y según se muestra en la Tabla 1, se han utilizado 4 indicadores oficiales del Observatorio Europeo contra la Pobreza Energética (EPOV) [7].

<i>Indicador primario</i>	<i>2018</i>	<i>2019</i>	<i>2020</i>	<i>2021</i>
Gasto desproporcionado 2M <sup>1</sup> (% hogares)	16,9	16,7	16,8	16,4
Pobreza energética escondida HEP <sup>2</sup> (% hogares)	11,0	10,6	10,3	9,3
Temperatura inadecuada en invierno <sup>3</sup> (% población)	9,1	7,6	10,9	14,3
Retraso en pago de facturas de suministros <sup>4</sup> (% población)	7,2	6,6	9,6	9,5

*Tabla 1. Porcentaje de hogares españoles en situación de pobreza energética [7]*

A pesar de las mejoras observadas en los primeros dos indicadores, "Gasto desproporcionado 2M" y "Pobreza energética escondida HEP", todavía queda mucho trabajo por delante. En 2018, el porcentaje de hogares con un gasto desproporcionado fue del 16,9%, y aunque ha disminuido a 16,4% en 2021, esta cifra sigue siendo significativa. De manera similar, la pobreza energética escondida ha mostrado una disminución del 11,0% en 2018 al 9,3% en 2021. Sin embargo, los indicadores de "Temperatura inadecuada en invierno" y "Retraso en pago de facturas de suministros" han empeorado. La proporción de la población que experimenta temperaturas inadecuadas en invierno aumentó de 9,1% en 2018 a 14,3% en 2021. Además, el porcentaje de personas que sufren retrasos en el pago de facturas de suministros ha incrementado de 7,2% en 2018 a 9,5% en 2021.

1 2M: Porcentaje de hogares cuyo gasto energético sobre los ingresos es superior al doble de la mediana nacional.

2 HEP: porcentaje de hogares cuyo gasto energético por unidad de consumo es inferior a la mitad de la mediana nacional.

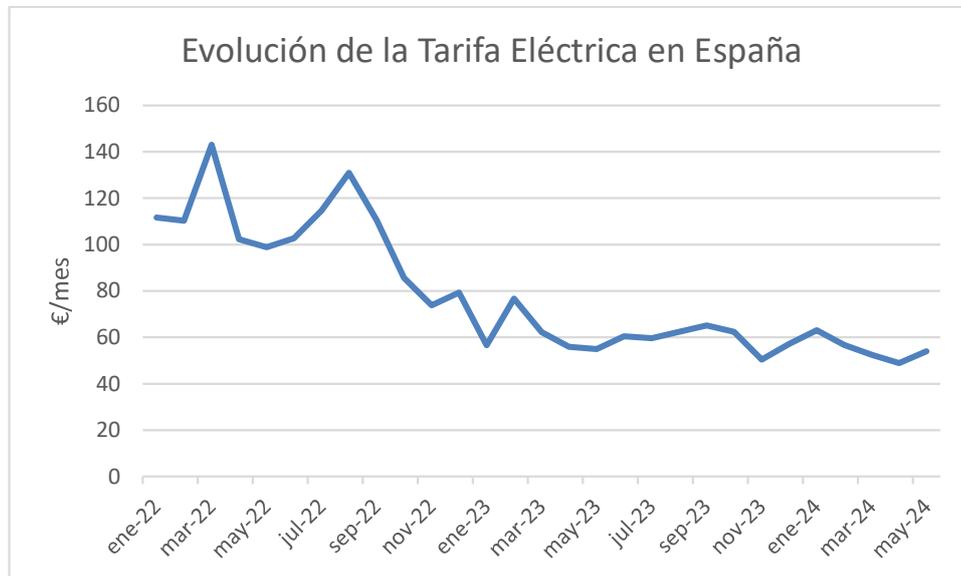
3 Porcentaje de la población que no puede mantener su vivienda a una temperatura adecuada durante el invierno.

4 Porcentaje de la población que tiene retrasos en el pago de facturas de los suministros de la vivienda.

Por otro lado, uno de los factores más determinantes en el agravamiento de la insuficiencia energética en los hogares ha sido el elevado precio de la electricidad. La evolución de la tarifa eléctrica de los hogares españoles en los últimos meses se muestra en la Tabla 2 y el Gráfico 1 [8].

2022		2023		2024	
Mes	Precio (€/mes)	Mes	Precio (€/mes)	Mes	Precio (€/mes)
Enero	111,64	Enero	56,63	Enero	63,10
Febrero	110,27	Febrero	76,72	Febrero	56,81
Marzo	143,03	Marzo	62,22	Marzo	52,46
Abril	102,34	Abril	55,97	Abril	48,85
Mayo	98,8	Mayo	54,97	Mayo	54,00
Junio	102,65	Junio	60,50		
Julio	114,63	Julio	59,64		
Agosto	130,99	Agosto	62,33		
Septiembre	110,55	Septiembre	65,19		
Octubre	85,63	Octubre	62,45		
Noviembre	73,85	Noviembre	50,39		
Diciembre	79,35	Diciembre	57,10		

Tabla 2. Evolución del precio medio de la tarifa eléctrica en España



*Gráfico 1. Evolución del precio medio de la tarifa eléctrica en España*

El precio medio de la electricidad disminuyó mucho en 2023 respecto al ejercicio anterior. Esto se debe al incremento extraordinario producido en el precio de la luz en 2022 causado principalmente por el conflicto bélico entre Rusia y Ucrania; y al paquete de medidas antiinflacionarias tomadas durante 2023, como la rebaja del IVA en la factura eléctrica al 5% o la rebaja del Impuesto de la Electricidad al 0,5% [8].

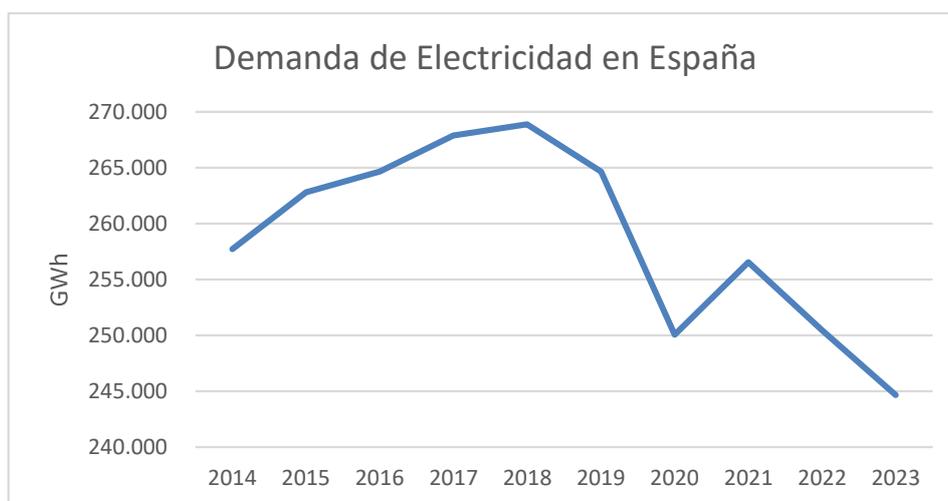
En 2024, el gobierno español decidió prorrogar algunas de estas medidas para mitigar el impacto de los precios de la electricidad y hacer frente la inflación persistente [9]:

- Prórroga de la reducción en la parte regulada de la factura de la electricidad hasta el 31 de diciembre de 2024.
- El Impuesto Especial sobre la Electricidad se ha reducido en dos fases: primero del 5,1% al 2,5% en las facturas emitidas desde el 1 de enero de 2024 hasta el 31 de marzo de 2024, y luego del 5,1% al 3,8% desde el 1 de abril de 2024 hasta el 30 de junio de 2024.

- Se ha mantenido la reducción del IVA del 21% al 10% para los suministros con potencia menor o igual a 10 kW, siempre que el precio medio mensual del mercado mayorista sea superior a 45 €/MWh.

Actualmente, el apoyo del gobierno para mitigar el impacto de los precios de la electricidad es considerable, lo que ha permitido a los consumidores enfrentar mejor las fluctuaciones en los costes energéticos. Sin embargo, es fundamental seguir vigilando estos valores en el futuro, ya que las condiciones del mercado energético pueden cambiar.

Por otro lado, el uso de energía eléctrica en el sector doméstico ha aumentado también en los últimos años. A pesar de la mejora en la eficiencia energética de electrodomésticos, iluminación y otros elementos, el consumo de electricidad en la UE ha experimentado un crecimiento del 2% anual durante la década de 2010 [10]. Este aumento se atribuye al aumento de tecnologías e instalaciones consumidoras de energía eléctrica y al incremento del número de viviendas residenciales. Un aspecto positivo es que la demanda eléctrica en España ha comenzado a disminuir, tal como se muestra en el Gráfico 2 [11].



*Gráfico 2. Demanda de Electricidad en España [11]*

Ante este panorama de demanda creciente y fluctuaciones en el precio de la electricidad, surge la necesidad de elaborar planes y estrategias para combatir la pobreza energética. Facilitar el acceso a tecnologías más asequibles y ofrecer ayudas financieras puntuales a los hogares vulnerables son medidas esenciales. Con el mismo objetivo, a lo largo de este proyecto se profundizará en la parte eléctrica de un modelo base predictivo de consumo energético en los hogares.

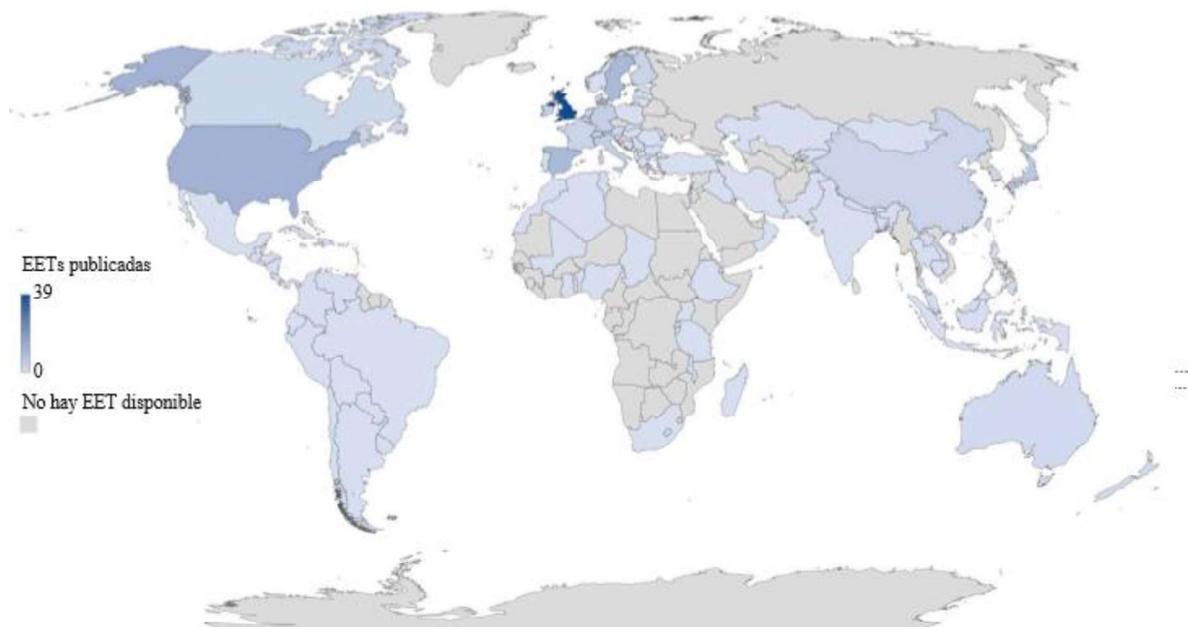
Previo a este trabajo, se ha desarrollado un modelo de cálculo de la demanda térmica basado en un estudio realizado por la Cátedra de Energía y Pobreza, que posteriormente fue ampliado para incluir un modelo del gasto eléctrico teórico [2]. Adicionalmente, se realizaron dos estudios: uno sobre el consumo energético de electrodomésticos y su eficiencia energética [3], y un segundo sobre el consumo energético de la iluminación [4]. Todos ellos tienen como objetivo la inclusión de hábitos de consumo y eficiencia energética en la herramienta de cálculo creada para el gasto eléctrico teórico en los hogares de España, y servirán como un modelo base unificado para este proyecto.

El mencionado modelo base parte de una serie de hipótesis de potencia y frecuencias de uso de los hogares basadas en estadísticas de estudios nacionales para estimar el consumo de los hogares según el número de ocupantes y el tamaño del establecimiento. Además, utiliza una Encuesta de Empleo de Tiempo (EET) para el cálculo de factores no determinados por la literatura previamente [3]. Estas encuestas se centran en cómo las personas asignan su tiempo, abarcando el tipo, duración y ubicación de las actividades, así como información sobre otras personas y factores sociodemográficos del hogar [12]. Sin embargo, ésta no es la única alternativa posible a la hora de desarrollar un modelo eléctrico, y las fuentes de datos seleccionadas variarán en función de la aplicación, objetivo a estudiar, metodología y funcionamiento del modelo.

Uno de los factores clave a la hora de modelar el consumo de energía de un establecimiento ocupado es la selección de una fuente de datos enriquecida y fiable. Para esta premisa, los investigadores han propuesto varios modelos estocásticos y deterministas

que utilizan probabilidades estadísticas a partir de datos reales para la estimación [13]. El uso de EET se presenta como una solución prometedora para la obtención de estos datos y otras cuestiones de modelización y se han utilizado para investigar la ocupación y los patrones de comportamientos de los ocupantes en edificios residenciales, además de ser la metodología escogida por nuestro modelo base.

El creciente interés por proponer nuevos modelos energéticos para una gran variedad de aplicaciones ha provocado un enorme aumento en el número de publicaciones que se sirven de EET y que más de 100 países hayan desarrollado una EET para registrar las actividades de sus habitantes [13].



*Ilustración 1. Contribución de los distintos países en la elaboración de EET [13]*

Debido a las numerosas encuestas existentes y a la amplia gama de campos que abarcan, un buen modelo energético ha de estudiar y seleccionar adecuadamente los datos a utilizar para el objeto de estudio objetivo. En primer lugar, se podrá realizar un filtro con palabras clave para obtener una preselección de fuentes a utilizar. Posteriormente, se podrá

revisar esta preselección manualmente para eliminar cualquier artículo no relacionado con nuestro estudio. Se ha de comprobar la fiabilidad de las fuentes y confirmar que las poblaciones y las muestras encuestadas sean representativas para el modelo.

Además, se han de tener en cuenta las características en las que se ha realizado y representado cada encuesta: resolución de los datos, días de la semana en los que se realizan, ubicación de las actividades, rango de edad, tamaño de la muestra, período de la encuestas, número de ocupantes, simultaneidad de actividades... Por ejemplo, la mayoría de los países europeos tienden a adoptar la metodología Harmonised European Time Use Surveys (HETUS) [14], la cual lleva a cabo la EET en dos días para contener información tanto de días laborables como de fines de semana. Sin embargo, las EET de Estados Unidos y Canadá registra las actividades realizadas en un solo día [15].

No obstante, según se explica en [12], a pesar de la importancia de estas encuestas para este método de modelización, hay una carencia de estudios en la literatura actual que confirme adecuadamente su eficacia y sus limitaciones en la investigación de la interacción entre ocupantes y edificio. Aunque algunos estudios han revisado su aplicación, existe una falta de investigaciones exhaustivas y comparativas sobre la precisión de los modelos. Se señala la necesidad de realizar análisis adicionales para avanzar en la correcta comprensión de este crucial componente en la investigación de la modelización de energía en edificios, y así poder mejorar la utilidad de futuros estudios y modelos.

En el caso del modelo utilizado en este proyecto, los estudios utilizados como fuentes fueron SPAHOUSEC I [16], II IDEA [17], y la EET elaborada por el INE en 2010 [18]. También, se utilizó la base de datos del programa “Ni un hogar sin energía” de ECODES [19]. Este informe recoge la información sobre las características y uso de energía de una muestra de hogares españoles, y sirvió como referencia para constatar la veracidad del modelo y de sus fuentes de datos de partida.

En cuanto a la actividades de los ocupantes y su consumo asociado, el estudio realizado en [12] explica que la necesidad de la integración de parámetros no energéticos en el proceso de modelado, principalmente tres tipos:

- Parámetros culturales y sociales
- Parámetros demográficos y económicos
- Parámetros de comportamiento humano

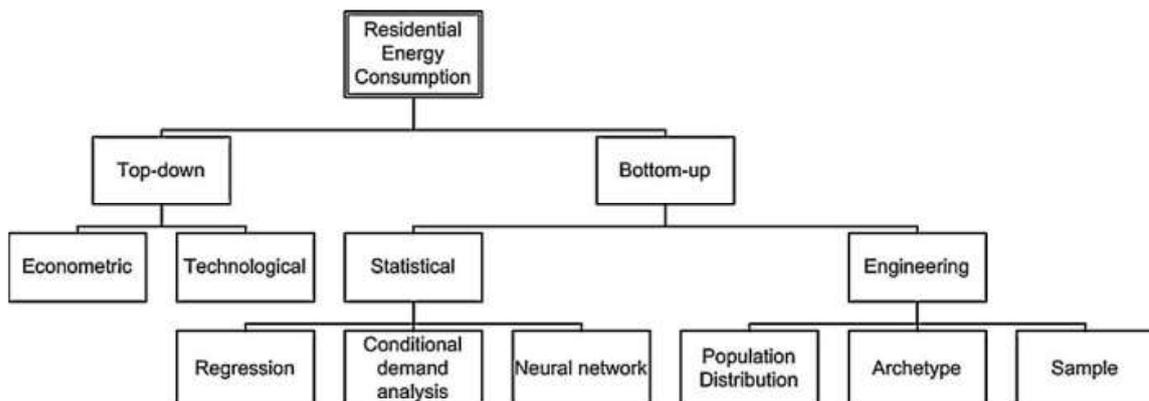
Los parámetros culturales y sociales serán obtenidos también a través de encuestas basadas en actividades: (EET, encuestas de viaje, encuestas de tiempo, etc) que permiten formar una base de datos ampliada del patrón de actividades diarias de cada individuo y estudiar el impacto de los cambios en el estilo de vida en consumo de energía, como se realiza en los informes [20] y [21].

Los parámetros económicos y demográficos se obtienen a partir de otros tipos de recopilaciones de datos (encuesta del censo, inventario de las viviendas, estadísticas de electrodomésticos, ingresos de los ocupantes, etc) con el objetivo de estudiar como estas condiciones afectan al consumo energético [22] [23]. Las características de los edificios como propiedades térmicas, área de piso y número de habitaciones solo justifican el 40-54% del consumo de las viviendas [24]. Por lo tanto, varios países realizaron encuestas de consumo de energía de alta resolución que, integradas a los datos de inventario, permiten desarrollar perfiles mucho más precisos y concretos de consumo de energía en el hogar, como es el caso realizado por Reino Unido en Household Electricity Survey [25].

Por último, los parámetros del comportamiento humano se obtienen a partir de encuestas psicológicas y estudios experimentales. Estos representan el modo con el que los individuos realizan las actividades registradas y su disposición para cambiar de hábitos de consumo, como el propuesto en [26].

Una vez obtenidos los datos de partida, se han de elaborar las técnicas con las que el modelo permita determinar la cantidad de energía eléctrica demandada en los hogares. En [27] se explica como existen principalmente dos conjuntos de técnicas diferentes: bottom-up y top-down.

La estrategia top-down considera el sector residencial como un receptor de energía y no distingue el consumo debido a usos individuales. Utiliza variables macroeconómicas, climáticas y de construcción para predecir el gasto en el sector residencial. Por otro lado, la estrategia bottom-up va a construir el consumo energético estimado en viviendas individuales o en grupos de casas y luego extrapolar estos resultados a nivel regional o nacional [27]. Además, es la técnica escogida para el modelo con el que se trabaja en este proyecto. También, para otros informes como el que sirvió de referencia y fuente al modelo base, el mencionado SECH-SPAHOUSEC [16], que realizó a nivel nacional encuestas presenciales y telefónicas para evaluar el equipamiento y el consumo energético del sector residencial español. Dicho modelo siguió una técnica bottom-up y diferenciaba los hogares por tipo de clima y de tipo de vivienda.



*Ilustración 2. Diferentes técnicas recogidas en [27] bajo los enfoques Top-down y Bottom-up*

Otra posibilidad en la técnica de estimación sería la instalación directa de equipos de medida en los hogares para determinar su consumo, pero es más costosa [10].

Además de las estrategias explicadas, existe una gran cantidad de métodos desarrollados por investigadores para modelar los horarios de ocupación y los patrones de actividad de los ocupantes en edificios. En [12], se agrupan estas técnicas en dos grandes grupos entre otros: métodos de aprendizaje automático y métodos estadísticos.

### **Métodos de aprendizaje automático**

Entre los métodos de aprendizaje automático destacan los de Agrupamiento (Clustering). Es un tipo de algoritmo de aprendizaje automático utilizado principalmente para el aprendizaje no supervisado. Consiste en descubrir nuevos conjuntos de categorías en el campo de interacción entre ocupantes y edificios para clasificarlos según datos sociodemográficos (edad, nivel de educación, ingresos, etc) , hora y día. En varios artículos se han utilizado distintos métodos de agrupamiento como Dynamic Time Warping en [28] o agrupamiento K-means en [29].

Se han utilizado también otros métodos de aprendizaje automático como Redes Neuronales Convolucionales en [30] o Bosques Aleatorios y Máquinas de Vectores de Soporte [31] para modelar horarios de ocupación de edificios basados en EET, aunque no son tan comunes.

Además, en esta categoría uno de los enfoques más comúnmente utilizado para modelar el comportamiento de los ocupados basado en EET es el método de la Cadena de Markov, un proceso estocástico discreto en el que la probabilidad de que ocurra un evento depende únicamente del evento inmediatamente anterior [32].

### **Métodos estadísticos**

Entre los métodos estadísticos destacan los que siguen la técnica de la Prueba t y los que utilizan la Regresión Lineal. El primero permite compararlas medias de dos grupos mediante pruebas de hipótesis, como se realiza en [33]. El segundo permite encontrar el nexo de la relación entre diferentes variables que permitan sacar conclusiones en el sector del consumo [34]. Se usa para predecir patrones y secuencias de actividades como en [35].

Otros métodos utilizados en esta categoría son la Verosimilitud Marginal Compuesta y el Valor Extremo Múltiple Discreto-Continuo para la recopilación de datos de EET, pero no se han utilizado tan frecuentemente [12].

## Capítulo 3. DEFINICIÓN DEL TRABAJO

### 3.1 JUSTIFICACIÓN

Existen numerosos estudios y modelos de predicción de consumo energético en la literatura actual. Sin embargo, la mayoría de estos métodos no están hechos para que las personas, las familias o las viviendas los utilicen. Los modelos actuales son demasiado complejos para que los usuarios comunes los implementen sin conocimientos técnicos avanzados. Esto limita su capacidad para reducir sus costes energéticos y contribuir de manera efectiva a la reducción del cambio climático asociado al derroche energético.

Este proyecto ofrece una oportunidad única para abordar estas deficiencias utilizando tres modelos académicos. Estos modelos, desarrollados en la escuela de ICAI, brindan una base sólida para la creación de un sistema unificado que integre una variedad de técnicas de estimación del consumo de energía. La combinación de estos modelos permitirá una aplicación más amplia, eficiente y práctica de la estimación del consumo eléctrico en los hogares.

Por otra parte, es necesario actualizar una de las tres partes que se unirán, el consumo de energía de los electrodomésticos en función de su etiqueta de eficiencia energética. La puesta en funcionamiento de nuevas legislaciones y el sistema de etiquetado de eficiencia energética requiere un estudio exhaustivo y una adaptación precisa del consumo. Este método ayudará a los usuarios a comprender mejor cómo varios electrodomésticos afectan a su consumo total y a tomar decisiones más inteligentes para maximizar su uso.

La mejora y ampliación del modelo que controla el uso del frigorífico será otra parte crucial del proyecto. Siendo uno de los electrodomésticos más demandantes de energía del

hogar, éste es un área importante para reducir el consumo. Se podrá proporcionar a los usuarios una herramienta más precisa que se ajuste a los diferentes inputs y patrones de uso específicos al desarrollar un modelo más detallado y adaptativo para el consumo del frigorífico.

Por último, la situación actual de creciente pobreza energética enfatiza la necesidad de crear soluciones efectivas y fácilmente ejecutables. Al brindar a las familias de bajos ingresos herramientas útiles para controlar su consumo de energía, se puede mejorar significativamente su calidad de vida y reducir el estrés financiero asociado con las facturas de energía elevadas.

### **3.2 OBJETIVOS**

La meta principal del proyecto es crear un modelo accesible y unificado que permita a los hogares controlar de manera eficiente su consumo de energía eléctrica. Se han establecido varios objetivos específicos que guiarán el desarrollo y la implementación del proyecto para alcanzar este objetivo principal.

#### **Unificación de herramientas**

Uno de los objetivos clave es unir los resultados y las técnicas de los tres estudios anteriores en un solo modelo. Aunque actualmente existen de manera fragmentada, estos estudios han proporcionado información útil sobre una variedad de métodos para estimar el consumo de energía. La unificación de estas herramientas tiene como fin proporcionar coherencia y accesibilidad, lo que permite un análisis completo de las situaciones teóricas del consumo eléctrico en los hogares. Este método no solo hará que el modelo sea más fácil de usar para el público en general, sino que también garantizará que todas las técnicas de

estimación funcionen juntas para brindar una visión completa y precisa del consumo energético.

### **Ampliación y profundización en el modelo eléctrico**

La mejora y sofisticación del modelo eléctrico actual es otra meta importante. Esto implica una mejora del modelo inicial y una revisión completa de los estudios anteriores sobre el consumo energético de electrodomésticos e iluminación. El objetivo es proporcionar una mayor especificación en la estimación del consumo eléctrico de los hogares y examinar posibles cambios. El modelo podrá proporcionar recomendaciones más efectivas para reducir el consumo y optimizar la eficiencia energética al incorporar datos más precisos y detallados sobre el comportamiento energético de varios dispositivos y sistemas.

### **Exploración de nuevos factores**

El tercer objetivo es comenzar a investigar y analizar nuevas variables que tienen un impacto en el uso de energía de los hogares. Para mejorar la capacidad predictiva y la precisión del modelo, se investigarán componentes que el modelo actual no tiene en cuenta. En particular, se ha seleccionado la modelización del consumo energético del frigorífico para un análisis más profundo y específico. El frigorífico es uno de los electrodomésticos que más energía eléctrica consume en el hogar. Esta modelización analizará patrones de uso y las variaciones estacionales en el consumo.

### **Validación del modelo**

Un objetivo adicional, aunque implícito, consistirá en una fase de validación del modelo. Durante esta fase, las predicciones del modelo se compararán con los resultados obtenidos de modelos anteriores y, si es posible, con datos de consumo reales. La validación

permitirá ajustar y calibrar el modelo según sea necesario, asegurando que las recomendaciones sean efectivas y pertinentes en situaciones reales. Este proceso asegurará que el modelo integre las técnicas anteriores y brinde una mejora significativa en la precisión y utilidad de las estimaciones de consumo de energía.

### **3.3 ENTORNO DE TRABAJO**

Microsoft Excel será la herramienta principal utilizada para desarrollar y ejecutar el modelo que se utilizará en este proyecto. Excel se utilizará para unificar los resultados y las metodologías de los proyectos anteriores, así como para incorporar los nuevos factores identificados e incorporados durante la investigación.

Además, se utilizará el Registro Europeo de Productos para el Etiquetado Energético (EPREL) para recopilar información importante sobre el consumo de energía [36]. Conforme a la legislación europea vigente, EPREL proporciona información detallada sobre las nuevas etiquetas de eficiencia energética de los electrodomésticos.

## Capítulo 4. MODELO DESARROLLADO

### 4.1 PRECEDENTES

Este trabajo integra y amplía los resultados de tres investigaciones previas realizadas en la escuela ICAI de la Universidad Pontificia Comillas. Los trabajos unificados son:

1. “Desarrollo de un modelo teórico para la determinación del gasto eléctrico en un hogar español”, de Álvaro Cosín [2]
2. “Estudio de la influencia de la eficiencia energética de los diferentes electrodomésticos de un hogar español en su gasto eléctrico”, de Gonzalo Borque [3]
3. “Desarrollo de un modelo de cálculo del consumo eléctrico por iluminación en un hogar español”, de Mario Fernández [4]

#### **Primer Trabajo Unificado**

Tiene como objetivo principal desarrollar un modelo que permita calcular el gasto eléctrico teórico de un hogar utilizando variables como su tamaño, el número de miembros y su ocupación.

El modelo se desarrolló utilizando una metodología de bottom-up que se basó en un análisis detallado de las fuentes de consumo de energía de los hogares, en el que se identificaron y clasificaron los principales electrodomésticos y aparatos. La metodología usada se divide en tres enfoque complementarios.

El primer enfoque, denominado Modelo de Gasto Teórico Simplificado, utiliza hipótesis sobre la potencia y la frecuencia de uso de los aparatos, basadas en estudios previos y estadísticas nacionales. También utiliza la Encuesta de Empleo de Tiempo (EET) para

encontrar factores de uso que no están cubiertos por la literatura existente. Según el número de miembros y el tamaño de la vivienda, este modelo proporciona una estimación inicial del consumo eléctrico total de un hogar.

El segundo enfoque, el Modelo de Gasto Teórico Avanzado, agrega datos detallados de EET al modelo simplificado y calcula el consumo medio de los aparatos asociado con las actividades diarias de los encuestados y crea curvas de carga media a lo largo del día para diferentes aparatos.

Por último, el Modelo de Gasto Teórico Avanzado 2.0 introduce la ocupación de los miembros del hogar a la configuración del consumo eléctrico teórico. Este método determina factores de ajuste específicos para una variedad de ocupaciones, como trabajadores, desempleados, estudiantes, jubilados, etc., y ofrece una estimación más precisa del consumo eléctrico al tener en cuenta las variaciones en los patrones de uso según la ocupación.

### **Segundo trabajo unificado**

El segundo estudio que se unifica en este proyecto se enfoca en analizar el impacto de la eficiencia energética de los electrodomésticos en el gasto eléctrico total de un hogar.

El estudio utiliza el reglamento del etiquetado energético del IDAE para recopilar información sobre el consumo de los electrodomésticos. Este reglamento proporciona detalles sobre la estructura del etiquetado y los índices de eficiencia energética, además de las fórmulas características utilizadas para estimar el consumo anual de cada electrodoméstico.

En el proyecto se evaluaron varios escenarios y subescenarios en los que todos los electrodomésticos tenían diferentes eficiencias energéticas para estudiar la realidad del gasto de un hogar español.

Para facilitar este análisis, se creó un simulador en una hoja de Excel (el cual ha servido de base para el proyecto explicado en este documento). En este simulador, el usuario ingresa el tamaño de la vivienda y el número de residentes que viven en ella. Luego, selecciona los electrodomésticos presentes en el hogar y su categoría de etiquetado energético. Se añade además el coste económico anual estimado en función de los precios de las tarifas eléctricas.

### **Tercer trabajo unificado**

El tercero y último estudio unificado bajo el mismo techo en este proyecto se centra en crear un modelo para calcular el consumo eléctrico asociado a la iluminación en los hogares.

Se identificaron varios factores clave que afectan a este consumo: actividades realizadas en el hogar, el tamaño del hogar, el tipo de luminarias utilizadas y la luz natural disponible, según la ubicación geográfica y la época del año.

Se utilizaron datos de la Encuesta de Empleo de Tiempo (EET) del Instituto Nacional de Estadística, que proporciona información detallada sobre las actividades que realizan los miembros de los hogares a lo largo del día. Se pudieron crear curvas que representan los hábitos de consumo de iluminación al analizar estos datos. Estas curvas se utilizan para estimar la cantidad de energía consumida y el tiempo requerido para utilizar iluminación artificial.

## **4.2 UNIFICACIÓN Y CREACIÓN DEL MODELO FINAL**

El proceso de unificación y creación del modelo final se detalla en este apartado. Este proceso se basa en la integración de los tres estudios previos y la implementación de una variedad de mejoras y ajustes para optimizar la precisión y funcionalidad del modelo. Se ha utilizado el modelo creado en Excel del TFM "Estudio de la influencia de la eficiencia energética de los diferentes electrodomésticos de un hogar español en su gasto eléctrico", y se han agregado los cambios necesarios para crear una herramienta más completa y precisa.

### **4.2.1 INPUTS**

El modelo inicial requiere que el usuario introduzca una serie de inputs específicos que permiten personalizar el cálculo del consumo eléctrico para cada hogar. Estos inputs son:

- Número de miembros del hogar
- Tamaño de la vivienda
- Ocupaciones de los miembros del hogar:
  - Ocupado/a
  - Parado/a
  - Estudiante
  - Jubilado/a, Prejubilado/a
  - Cobrando una pensión de incapacidad permanente o invalidez
  - Cobrando una pensión de viudedad u orfandad
  - Realizando tareas del hogar
  - Otra situación de inactividad
- Aparatos / Electrodomésticos:

- Cocina eléctrica (Fogones)
  - Horno eléctrico
  - Lavadora
  - Secadora
  - Frigorífico
  - Congelador
  - TV
  - Ordenador
  - Lavavajillas
  - Móvil
  - Tablet
  - Microondas.
- Cada electrodoméstico tiene tres inputs específicos:
- Presencia: El usuario debe indicar si el electrodoméstico está presente en el hogar (Sí / No / El usuario no lo sabe).
  - Tipo de etiqueta / Antigüedad: Se debe seleccionar si la etiqueta energética es del tipo Antigua o Nueva. No aplica para la cocina eléctrica, el ordenador, el móvil, la tablet ni el microondas.  
Si el usuario desconoce la etiqueta del electrodoméstico también puede indicar su antigüedad
  - Letra distintiva de la eficiencia energética de la etiqueta / Años de antigüedad (Nuevo: < 5 años / Medio: de 5 a 10 años / Antiguo: > 10 años)

Se han agregado nuevos inputs que permiten una personalización aún mayor del cálculo del consumo eléctrico. Éstos son:

- Distinción entre televisiones con o sin tecnología HDR, debido a una diferencia notable en su consumo y eficiencia.
- Opción de “Etiqueta nueva” y las distintas letras de eficiencia energética que llegan con la nueva regulación.

- Provincia española en la que se encuentra la vivienda. Este dato se utilizará para el cálculo del consumo de iluminación y para el nuevo modelo específico del frigorífico explicado en el punto 4.3.
- Antigüedad de la vivienda (Anterior a 1981 / Entre 1981 y 2006 / Posterior a 2006). Dato que se utilizará también en el punto 4.3.

En la Ilustración 3 se muestra un ejemplo con todas las entradas de inputs disponibles y con un valor posible seleccionado para cada uno de ellos.

Número de miembros del hogar	4		
Tamaño de la vivienda (m2)	81 a 100		
Antigüedad	Entre 1981 y 2006		
<b>Ocupaciones</b>			
Ocupado/a	2		
Parado/a	0		
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	Etiqueta antigua	A++
Lavadora	Si	Etiqueta nueva	B
Secadora	Si	Antigüedad	Nuevo (5 años)
Frigorífico	Si	Etiqueta nueva	B
Congelador	Si	Etiqueta antigua	D
TV (Con HDR)	Si	Etiqueta antigua	C
TV (Sin HDR)	Si	Etiqueta antigua	C
Ordenador	No		
Lavavajillas	Si	Etiqueta antigua	C
Movil	Si		
Tablet	No		
Microondas	Si		
<b>Iluminación</b>			
Zona	A Coruña		

*Ilustración 3. Ejemplo de selección de inputs del modelo final*

## **4.2.2 METODOLOGÍA**

Para mejorar la precisión y funcionalidad del modelo, se ha desarrollado una combinación de metodologías extraídas de los modelos fuente y nuevas técnicas desarrolladas específicamente para este proyecto. Esta integración permite una personalización aún mayor del cálculo del consumo eléctrico.

### ***4.2.2.1 Iluminación***

En el caso de la iluminación, se emplea la metodología y el cálculo de consumo desarrollados en [4]. Como el modelo de iluminación solo distingue entre Norte, Sur y Canarias, se han dividido las 50 provincias españolas en estas tres zonas, ya que es lo que introduce como input el usuario.

Las provincias del Norte son: A Coruña, Lugo, Ourense, Pontevedra, Cantabria, Asturias, Álava, Gipuzkoa, Bizkaia, Navarra, Barcelona, Girona, Lleida, Tarragona, Huesca, Teruel, Zaragoza, La Rioja, Ávila, Burgos, León, Palencia, Salamanca, Segovia, Soria, Valladolid y Zamora.

Las provincias del Sur son: Almería, Cádiz, Córdoba, Granada, Huelva, Jaén, Málaga, Sevilla, Murcia, Alicante, Castellón, Valencia, Madrid, Albacete, Ciudad Real, Cuenca, Guadalajara, Toledo, Badajoz, Cáceres e Islas Baleares.

Las provincias de Canarias son: Las Palmas y Santa Cruz de Tenerife.

### ***4.2.2.2 Electrodomésticos por etiquetado de eficiencia antiguo***

Para los electrodomésticos que tienen etiquetas de eficiencia energética, cuando se selecciona la opción de “Etiqueta antigua”, se utiliza la metodología y el consumo definidos

en [3]. Este estudio no se extiende a las etiquetas nuevas debido a la poca consolidación de estas en el momento de su realización.

#### ***4.2.2.3 Electrodomésticos por etiquetado de eficiencia nuevo***

Para los electrodomésticos con “Etiqueta nueva”, se ha desarrollado una metodología específica en este proyecto. Este cambio no afecta a la secadora ni al horno, ya que aún no cuentan con el nuevo etiquetado, aunque se espera que cambien antes de 2030 [37]. La nueva metodología se basa en mediciones directas obtenidas de la base de datos de la página EPREL [36], que contiene un amplio catálogo de electrodomésticos comercializados y electrodomésticos que se han dejado de comercializar.

El método consiste en obtener una muestra de al menos 30 productos del catálogo para cada letra de eficiencia energética de cada producto. Se considera su consumo anual por ciclo y su característica media (p.e. el volumen de almacenamiento en el caso de los frigoríficos). Si el consumo se mide por ciclos, se calcula el consumo anual basado en el número de ciclos estimados para una vivienda media de 2.5 habitantes, de la misma manera que en [3].

Una vez calculada la media del consumo de cada muestra, asegurando que la muestra incluye características medias de diversos tipos y en proporción a la cantidad de electrodomésticos que hay en el catálogo por cada rango de característica media, se atribuye como dato base al consumo de una vivienda de 2.5 habitantes [38]. El reglamento de la UE estima estas cifras considerando esta misma condición [36]. Posteriormente, se utilizan los factores de número de personas y tipo de ocupación calculados en [2] para ajustar el dato de consumo a todos los posibles inputs.

En el caso de las televisiones, la base de datos EPREL incluye la opción de filtrar por tecnología HDR. Para las TVs con HDR, se proporciona dos datos de consumo: uno para cuando el HDR está activo y otro para cuando no lo está. Se ha utilizado una ponderación del 15% del consumo con HDR y un 85% sin HDR, estimando que esta es la proporción

actual de contenido HDR en uso [39]. Para las TVs sin HDR, solo se proporciona un dato de consumo por lo que es el escogido para el estudio de la muestra.

#### ***4.2.2.4 Electrodomésticos por años de antigüedad***

Por otro lado, se ha añadido una opción en la que el usuario puede especificar la antigüedad del electrodoméstico de manera auxiliar si no conoce su etiquetado energético. Hay tres categorías de antigüedad: Nuevo (< 5 años), Medio (de 5 a 10 años) y Antiguo (> 10 años).

El método para calcular el consumo con base en la antigüedad del electrodoméstico consiste en ponderar los consumos de cada etiqueta energética en proporción a la distribución de la cantidad de electrodomésticos de cada letra de eficiencia energética.

Para los electrodomésticos clasificados como “Antiguo” (> 10 años), se ha utilizado el informe SPAHOUSEC [16], que proporciona datos sobre la distribución de etiquetas energéticas en ese momento. Para los electrodomésticos “Nuevos” (< 5 años), se ha utilizado la distribución actual del catálogo de la base de datos EPREL [36]. Para los electrodomésticos de antigüedad “Media” (de 5 a 10 años), se ha calculado una media aritmética entre ambas distribuciones debido a la falta de datos específicos para este rango de años.

Es importante señalar que, a medida que pasa el tiempo, los electrodomésticos con peor eficiencia energética tienden a ser reemplazados por otros con mejores eficiencias.

## ***4.3 ANÁLISIS ESPECÍFICO Y MODELIZACIÓN DE CONSUMO ELÉCTRICO DEL FRIGORÍFICO***

### **4.3.1 JUSTIFICACIÓN**

El frigorífico ha sido escogido como el nuevo elemento a desarrollar en este proyecto por tres razones clave:

- En primer lugar, el frigorífico es uno de los electrodomésticos con mayor consumo energético en los hogares.
- Además, el reglamento de la UE sobre la eficiencia energética y el consumo de electrodomésticos a menudo se basa en ensayos que pueden resultar demasiado optimistas o ideales en comparación con las condiciones reales de uso.
- Por último, el consumo calculado con el modelo base no variaba en función de inputs como el número de personas o la zona geográfica de la vivienda.

### **4.3.2 METODOLOGÍA**

Para abordar estas cuestiones, se ha desarrollado una metodología específica para mejorar la precisión del cálculo del consumo energético de los frigoríficos.

Para empezar, se han revisado y ajustado los volúmenes asignados a cada persona, ya que anteriormente solo se consideraban dos volúmenes distintos. Se ha asociado un volumen específico a cada número de personas, según se muestra en la tabla x, basada en la [40].

<i>Número de residentes en la vivienda</i>	<i>Volumen (l)</i>
Una	300
Dos	350
Tres	400
Cuatro	450
Más de cuatro	530

Tabla 3. Nuevos volúmenes de los frigoríficos en el modelo según el número de residentes en la vivienda

Por otra parte, el nuevo cálculo utiliza como valor base el consumo calculado con las muestras extraídas de la base de datos EPREL [36] utilizada en la metodología del punto 4.2.2.3. Las condiciones generales y específicas de los ensayos con las que se determinan estos consumos (y sobre los que posteriormente se aplicarán correcciones para una mayor semejanza con la realidad) según el reglamento de la UE de frigoríficos, congeladores y aparatos para conservación de vinos [41], son las siguientes:

- Se realiza un cálculo de potencia estacionaria por un lado y por otro un consumo de energía incremental de desescarche y recuperación, medido a 16°C y 32°C.
- Temperatura ambiente media del ensayo es de 24°C.
- Temperatura interior de referencia del frigorífico es de 4°C.
- No se especifica si el frigorífico se abre durante el ensayo, por lo que se asume un número de aperturas de cero.
- Se hacen algunas indicaciones sobre la carga ligera que se coloca en el frigorífico en kg, pero no se menciona su temperatura de entrada, ni tipo de material (calor específico) ni la duración del tiempo de enfriamiento.

Para reflejar mejor el consumo real, se implementarán las siguientes correcciones en el modelo:

- Corrección por temperatura ambiente: Se ajustará el consumo energético en función de la temperatura ambiente, utilizando el input de la provincia proporcionado por el usuario.
- Corrección por número de aperturas: Se tendrá en cuenta el número de personas en el hogar para estimar el número de aperturas del frigorífico.
- Corrección por carga térmica introducida: Se asumirá que el caso base de 2,5 personas tiene una corrección de 0 en este ámbito debido a la falta de información específica, además de servir como valor referencia.

#### ***4.3.2.1 Corrección por temperatura ambiente***

Para esta primera corrección se necesitaría la temperatura del entorno del frigoríficos en las viviendas de cada provincia. Como no ha sido posible obtener esta información en la literatura disponible, se ha optado por estimar la temperatura ambiente del entorno del frigorífico a partir de la temperatura media de cada provincia para cada estación del año [42] junto a otras suposiciones.

Dado que no se conocen datos exactos tampoco sobre cómo puede variar esta temperatura con el uso de calefacción o aire acondicionado (y considerando que esto puede cambiar en cada vivienda según las preferencias y situaciones de sus habitantes), se han elegido rangos de temperatura para cada estación del año, teniendo en cuenta la antigüedad de la vivienda, y las temperaturas mínima y máxima de cada estación entre las 50 provincias.

Estos rangos se adaptarán al input que proporciona el usuario sobre la antigüedad de la vivienda, ya que el nivel de aislamiento varía, siendo el rango de temperaturas más estrecho cuanto más nueva (y mejor aislada) sea la casa. En la Tabla 4, se presentan los rangos de temperatura seleccionados para cada estación y para cada antigüedad de la vivienda:

<i>Estación \ Antigüedad</i>	<i>Anterior a 1981</i>	<i>Entre 1981 y 2006</i>	<i>Posterior a 2006</i>
<i>Primavera</i>	(10 , 19.7) °C	(13 , 19.7) °C	(16 , 19.7) °C
<i>Verano</i>	(18 , 26.7) °C	(18 , 25) °C	(18 , 24) °C
<i>Otoño</i>	(12 , 22.7) °C	(14.5 , 22.7) °C	(17 , 22.7) °C
<i>Invierno</i>	(7.5 , 18.3) °C	(11 , 18.3) °C	(14.5 , 18.3) °C

*Tabla 4. Rangos de temperatura para la estimación de la temperatura de la cocina según la provincia*

Estos rangos pueden no ser definitivos. Se ha incluido un ajuste que incrementa la temperatura, desplazando el rango hacia la derecha sin aumentar su amplitud. En caso de tener cocina (fogones), se aplicará un primer suplemento de temperatura, y en caso de tener horno, se aplicará un segundo suplemento de temperatura. Se han creado dos situaciones hipotéticas con varias suposiciones para estimar la magnitud de este suplemento, analizado para una persona.

### **Incremento de temperatura media por el uso del horno**

Se han estimado los siguientes datos:

- Número de veces que se usa el horno a la semana: 2 veces
- Tiempo promedio de encendido del horno por uso: 30 minutos
- Potencia del horno: 2,5 kW
- Eficiencia del horno: 60%
- Transferencia de calor del horno a la cocina: 80%
- Volumen de la cocina: 20 m<sup>3</sup>

- Densidad del aire: 1,2 kg/m<sup>3</sup>
- Calor específico del aire: 1 kJ/kg·°C

Se calcula la energía total generada por el horno en una semana

$$\begin{aligned} \text{Energía generada} &= \text{Potencia} \times \text{Tiempo promedio de uso} \times N^{\circ} \text{ de usos} \\ &= 2,5 \text{ kW} \times 0,5 \text{ h} \times 2 \text{ usos} = 2,5 \text{ kWh} \end{aligned}$$

De esta energía, únicamente el 60% es transformada en calor, y a su vez, únicamente el 60% es transferida a la cocina:

$$\begin{aligned} \text{Calor} &= \text{Energía generada} \times \text{Eficiencia} \times \text{Ratio de transferencia} \\ &= 2,5 \text{ kW} \times 0,6 \times 0,8 = 1,2 \text{ kWh} = 4320 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Por otro lado, se obtiene la masa de aire de la cocina

$$\text{Masa aire} = \text{Volumen} \times \text{Densidad} = 20 \text{ m}^3 \times 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 24 \text{ kg}$$

Después se obtiene el aumento de temperatura de aire debido al calor transferido:

$$\text{Aumento de temperatura} = \frac{\text{Calor}}{\text{Calor específico} \times \text{Masa}} = \frac{4320 \text{ kJ}}{1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \times ^{\circ}\text{C}} \times 24 \text{ kg}} = 180^{\circ}\text{C}$$

Por último, se calcula el promedio de aumento de temperatura final multiplicando por el número de horas activas del horno y dividiendo por el número de horas total:

$$\begin{aligned} \text{Aumento } ^\circ\text{C promedio} &= ^\circ\text{C semanales} \times \frac{\text{Horas activas del horno}}{\text{Horas en una semana}} \\ &= 180^\circ\text{C} \times \frac{1}{7 \times 24} = 1,07^\circ\text{C} \approx 1^\circ\text{C} \end{aligned}$$

### **Incremento de temperatura media por el uso de los fogones de la cocina**

Se han estimado los siguientes datos:

- Número de veces que se usa la cocina a la semana: 5 veces
- Tiempo promedio de uso de la cocinapor uso: 20 minutos
- Potencia de los fogones: 1,5 kW
- Eficiencia de los fogones: 70%
- Transferencia de calor de los fogones a la cocina: 50%
- Volumen de la cocina: 20 m<sup>3</sup>
- Densidad del aire: 1,2 kg/m<sup>3</sup>
- Calor específico del aire: 1 kJ/kg·K

Se calcula la energía total generada por el horno en una semana

$$\begin{aligned} \text{Energía generada} &= \text{Potencia} \times \text{Tiempo promedio de uso} \times N^\circ \text{ de usos} \\ &= 1,5 \text{ kW} \times 0,33 \text{ h} \times 5 \text{ usos} = 2,5 \text{ kWh} \end{aligned}$$

De esta energía, únicamente el 70% es transformada en calor, y a su vez, únicamente el 50% es transferida a la cocina:

$$\begin{aligned} \text{Calor} &= \text{Energía generada} \times \text{Eficiencia} \times \text{Ratio de transferencia} \\ &= 2,5 \text{ kW} \times 0,7 \times 0,5 = 0,875 \text{ kWh} = 3150 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Por otro lado, se obtiene la masa de aire de la cocina

$$\text{Masa aire} = \text{Volumen} \times \text{Densidad} = 20 \text{ m}^3 \times 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 24 \text{ kg}$$

Después se obtiene el aumento de temperatura de aire debido al calor transferido:

$$\text{Aumento de temperatura} = \frac{\text{Calor}}{\text{Calor específico} \times \text{Masa}} = \frac{3150 \text{ kJ}}{1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \times ^\circ\text{C}} \times 24 \text{ kg}} = 131 \text{ }^\circ\text{C}$$

Por último, se calcula el promedio de aumento de temperatura final multiplicando por el número de horas activas del horno y dividiendo por el número de horas total:

$$\begin{aligned} \text{Aumento } ^\circ\text{C} \text{ promedio} &= \text{ }^\circ\text{C} \text{ semanales} \times \frac{\text{Horas activas del horno}}{\text{Horas en una semana}} \\ &= 131 \text{ }^\circ\text{C} \times \frac{1,67}{7 \times 24} = 1,30 \text{ }^\circ\text{C} \approx 1 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Se concluye que tanto el suplemento debido al uso del horno como el de la cocina sería de 1°C para una persona. En el caso de haber más personas, se sumará 1°C multiplicado por un factor medio de 0.6, como explica el INE en la escala de equivalencia usada por la OCDE para adultos (0.7) y para niños (0.5) [43], debido a la relación y compartición de los hábitos de consumo. Si el input es "Más de 4" habitantes en la vivienda, el valor medio de habitantes en estas viviendas es de 5.5, según [44], por lo que se tomará este valor para el cálculo, así como en todas las demás correcciones de este modelo.

Con todo esto, se calculan los rangos de temperatura ambiente que se asignarán a cada provincia. La provincia con la temperatura máxima en una estación del año tendrá asignada la temperatura máxima del rango, y la provincia con la temperatura mínima tendrá asignada la temperatura mínima del rango. El resto de las provincias se distribuirán a lo largo del rango proporcionalmente a su temperatura media.

Una vez ya se tiene la temperatura ambiente media para cada estación, se calcula la media aritmética de las cuatro estaciones (un peso del 25% para cada una). Aunque el modelo actualmente solo calcula consumos anualizados y no dispone de estacionalidad, se reservan los datos estacionales para futuras investigaciones. Con la temperatura ambiente media del entorno del frigorífico, se procede a hacer la corrección comparando esta temperatura con la de referencia de los ensayos del reglamento, que es de 24 °C.

Como se explica en los informes [45], [46] y [47], se utilizará un ajuste de 40 Wh/día por cada grado Celsius que se desvíe de los 24°C. Esto supone un aumento del consumo si la temperatura es superior a 24°C y una disminución si es inferior. Además, dado que este valor es absoluto, se ha introducido un factor de corrección específico para cada etiqueta energética.

Para aplicar esta corrección, se utilizará la etiqueta D como referencia, asignándole un factor de 1 al ser la mediana entre las etiquetas. El resto de los factores de corrección se

calcularán en función de los valores medios del Índice de Eficiencia Energética (IEE) de cada etiqueta, como se muestra en Tabla 5. De esta manera, se asegura que la corrección por temperatura ambiente sea proporcional a la eficiencia energética de cada frigorífico, proporcionando una estimación más precisa del consumo energético real.

<i>Etiqueta</i>	<i>Índice de Eficiencia Energética (IEE) [37]</i>	<i>Factor de corrección</i>
A	$IEE \leq 41$	0,57
B	$41 < IEE \leq 51$	0,64
C	$51 < IEE \leq 64$	0,80
D	$64 < IEE \leq 80$	1,00
E	$80 < IEE \leq 100$	1,25
F	$100 < IEE \leq 125$	1,56
G	$IEE > 125$	1,94

*Tabla 5. Factor de corrección según la etiqueta de eficiencia energética para la corrección por temperatura ambiente*

#### **4.3.2.2 Corrección por número de aperturas**

La corrección por número de aperturas se realiza debido a que en los ensayos del reglamento no se mencionan aperturas de la puerta del frigorífico, asumiendo un número de aperturas igual a cero. Sin embargo, en una situación real en una vivienda, las aperturas de la puerta del frigorífico suponen un gasto energético adicional que debe ser considerado.

Según estima [48], el número medio de aperturas de una persona es de 22 veces al día. Este número de aperturas se aplicará a una persona, aplicando un factor de 0.6 a las 22 aperturas por cada persona adicional, como se explica en [43] y se hace en 4.3.2.1, asumiendo que existirán sinergias y compartición en el número de aperturas entre los miembros del hogar.

Una vez determinado el número de aperturas, se aplica un incremento en el consumo de 4 Wh por apertura. Este valor se basa en los resultados de [46], que estimaba este gasto en 12 Wh/día, pero debido a la antigüedad del estudio, se ha actualizado este consumo al valor actual, resultando ser tres veces menor [36].

De la misma manera que en el 4.3.2.1, se aplican los mismos factores de corrección a cada etiqueta, ya que se trata también de un valor de corrección absoluto.

<i>Etiqueta</i>	<i>Índice de Eficiencia Energética (IEE) [37]</i>	<i>Factor de corrección</i>
A	$IEE \leq 41$	0,57
B	$41 < IEE \leq 51$	0,64
C	$51 < IEE \leq 64$	0,80
D	$64 < IEE \leq 80$	1,00
E	$80 < IEE \leq 100$	1,25
F	$100 < IEE \leq 125$	1,56
G	$IEE > 125$	1,94

*Tabla 6. Factor de corrección según la etiqueta de eficiencia energética para la corrección por número de aperturas*

#### ***4.3.2.3 Corrección por carga térmica introducida***

La corrección por carga térmica introducida (cantidad de alimentos y bebidas introducida en el electrodoméstico) se realiza porque es otro factor determinante en el consumo energético de un frigorífico según la literatura. Las condiciones de los ensayos del reglamento de [37] no están claramente especificadas en este aspecto. Debido a que el reglamento intenta simular un hogar medio. Por lo tanto, supondremos una corrección de 0 para el caso base de 2,5 personas en este apartado, un incremento del consumo para una vivienda con más personas y un ahorro para una vivienda con menos personas.

Se ha realizado una estimación con varios cálculos para determinar el coste energético de enfriar la cantidad media de comida y bebida que una persona introduce en el frigorífico.

#### **Estimación de kilogramos introducidos en el frigorífico y su consumo**

Se han estimado u obtenido los siguientes datos:

- Cantidad de alimento ingerido al año por persona: 698,50 kg [49]
- Porcentaje de comida y bebida que se mete al año en el frigorífico: 70% (488.95 kg)
- Temperatura de entrada del alimento: temperatura ambiente obtenida en 4.3.2.1
- Temperatura final del alimento: 4 °C
- Calor específico medio del alimento: 3 kJ/kg·°C

Se calcula la energía de enfriamiento necesaria para llevar a la temperatura final de referencia todo el alimento que consume una persona al año como:

$$\text{Energía de enfriamiento} = \text{Calor específico} \times \text{Masa} \times \Delta\text{Temperatura}$$

Como explica [50], cada kJ adicional dedicado al enfriamiento de comida o bebida supone un aumento en el consumo energético del 0,035%. Dado que este es un valor porcentual, no es necesario aplicar las correcciones que se realizaban en los puntos 4.3.2.1 y 4.3.2.2.

#### **4.4 CONCLUSIÓN DEL MODELO**

Con todas las metodologías y cálculos necesarios para obtener una estimación precisa del consumo eléctrico de una vivienda ya explicados, se puede proceder al siguiente paso. Ahora se realizarán simulaciones para validar el modelo, comparar los resultados obtenidos y sacar conclusiones de ellos. Este proceso es esencial para confirmar la validez del modelo y demostrar su utilidad práctica en la lucha contra la pobreza energética, permitiendo así presentar resultados sólidos y fundamentados.

## Capítulo 5. SIMULACIONES

Las simulaciones que se presentan en este apartado se llevarán a cabo para analizar y validar todos los cambios implementados en el modelo a lo largo del proyecto. Estos cambios incluyen modificaciones en las metodologías, la incorporación de nuevas variables y la aplicación de diversas correcciones. El objetivo es asegurar que el modelo funcione de manera coherente y precisa bajo las nuevas condiciones establecidas.

### Exclusiones del Estudio

En estas simulaciones, no se realizará una comparación del consumo energético basada en el tamaño de la vivienda. El modelo asume que el uso de los electrodomésticos, excepto en el caso de la iluminación, no varía en función de este parámetro. Además, ya fue evaluado en [2], pero no se profundizará en esta ocasión bajo la premisa de *ceteris paribus*.

De igual manera, no se llevará a cabo una comparación utilizando el número de personas como única variable objetivo de estudio. Se mantendrán los mismos factores de uso a partir hogar promedio de 2,5 personas, como se detalló en [3] y donde se realizaron los estudios pertinentes de la veracidad de estos factores.

Tampoco se realizará una comparación basada exclusivamente en el tipo de ocupación ya que se comprobaron estos factores de corrección de la misma manera en [2].

Aunque estos enfoques no serán analizados de manera independiente en este trabajo, se ha llevado a cabo una validación interna exhaustiva de los resultados. Esta verificación fue necesaria para confirmar la consistencia del modelo, especialmente tras la reformulación en la herramienta de Excel.

## ***5.1 ESCENARIOS ESCOGIDOS PARA EL ESTUDIO DE LA EFICIENCIA DE LOS ELECTRODOMÉSTICOS***

El análisis de este apartado se centrará en la comparación del consumo energético de los electrodomésticos según su etiquetado de eficiencia energética, tanto el antiguo como el nuevo, en distintos escenarios. A continuación, se presentan los escenarios que se examinarán:

- Escenario 1: Una vivienda de 60-80 m<sup>2</sup> situada en Madrid con 2 personas adultas con empleo.
  - Subescenario 1.1: Casa con todos los electrodomésticos presentes y con etiqueta nueva A (excepto secadora y horno que tienen etiqueta antigua A+++ ya que siguen funcionando con esta clasificación).
  - Subescenario 1.2: Casa con todos los electrodomésticos presentes y con etiqueta nueva D (excepto secadora y horno que tienen etiqueta antigua A++)
  - Subescenario 1.3: Casa con todos los electrodomésticos presentes y con etiqueta antigua A++
  - Subescenario 1.4: Casa con todos los electrodomésticos presentes y con etiqueta antigua C.
  - Subescenario 1.5: Casa con solo electrodomésticos de baja eficiencia energética antigua G.
  - Subescenario 1.6: Casa sin secadora ni lavavajillas, pero con etiquetas energéticas mixtas para los demás electrodomésticos.
  - Subescenario 1.7: Casa sin horno ni congelador, pero con etiquetas energéticas mixtas para los demás electrodomésticos.

- Escenario 2: Una vivienda de 100-120 m<sup>2</sup> situada en Santa Cruz de Tenerife con 4 personas: 2 personas adultas con empleo y dos estudiantes.
  - Subescenario 2.1: Casa con todos los electrodomésticos presentes y con etiqueta nueva A (excepto secadora y horno que tienen etiqueta antigua A+++).
  - Subescenario 2.2: Casa con todos los electrodomésticos presentes y con etiqueta nueva D (excepto secadora y horno que tienen etiqueta antigua A++).
  - Subescenario 2.3: Casa con todos los electrodomésticos presentes y con etiqueta antigua A++
  - Subescenario 2.4: Casa con todos los electrodomésticos presentes y con etiqueta antigua C.
  - Subescenario 2.5: Casa con solo electrodomésticos de baja eficiencia energética antigua G.
  - Subescenario 2.6: Casa sin secadora ni lavavajillas, pero con etiquetas energéticas mixtas para los demás electrodomésticos.
  - Subescenario 2.7: Casa sin horno ni congelador, pero con etiquetas energéticas mixtas para los demás electrodomésticos.

<i>Escenario</i>	<i>Subescenario</i>	<i>Etiquetado</i>	<i>Categoría energética</i>	<i>Electrodomésticos ausentes</i>
1	1.1	Nuevo	A (y A+++)	-
1	1.2	Nuevo	D (y A++)	-
1	1.3	Antiguo	A++	-
1	1.4	Antiguo	C	-
1	1.5	Antiguo	F y G	-
1	1.6	Mixto	Mixto	Secadora y lavavajillas
1	1.7	Mixto	Mixto	Horno y congelador
2	2.1	Nuevo	A	-
2	2.2	Nuevo	D (y A++)	-
2	2.3	Antiguo	A++	-
2	2.4	Antiguo	C	-
2	2.5	Antiguo	G	-
2	2.6	Mixto	Mixto	Secadora y lavavajillas
2	2.7	Mixto	Mixto	Horno y congelador

*Tabla 7. Resumen de los escenarios escogidos de simulación del modelo*

## 5.1.1 ESCENARIO 1

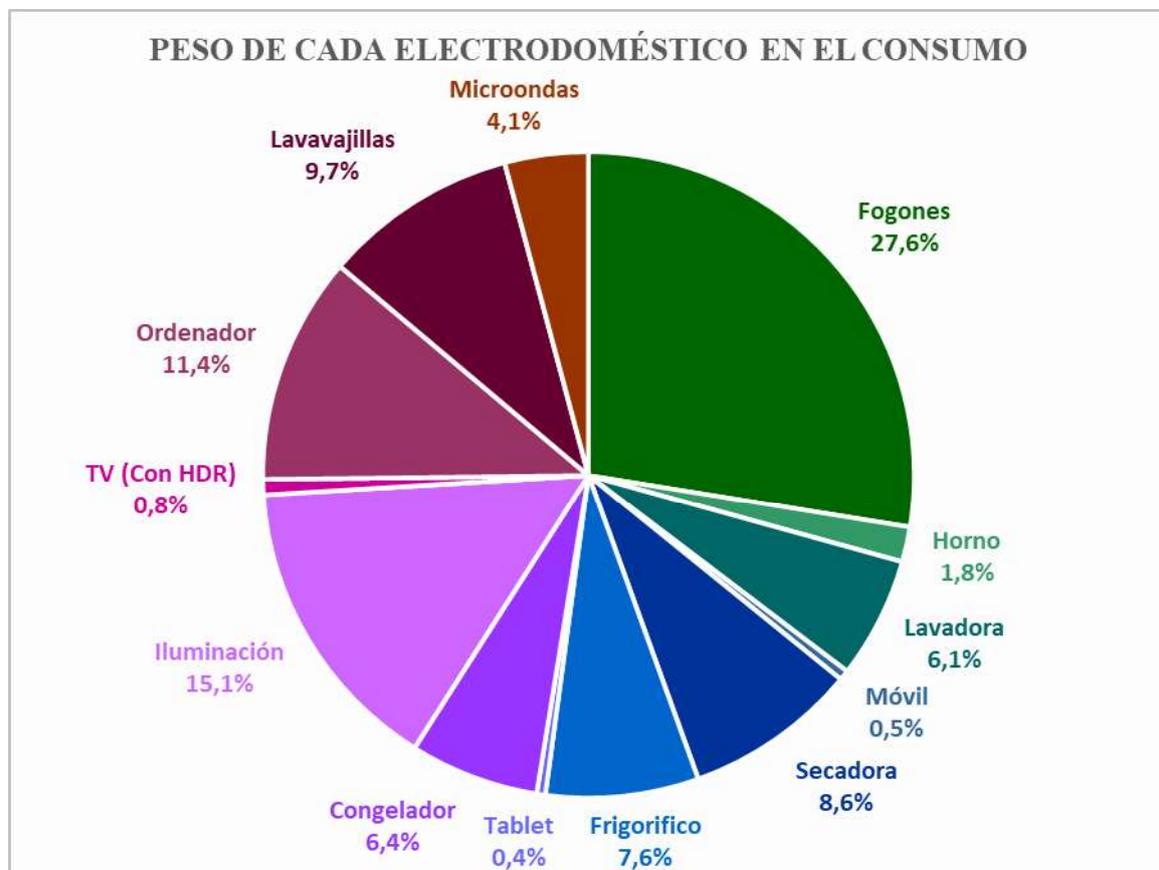
Las características de este escenario y comunes a todos sus subescenarios son: un tamaño de vivienda de 60 a 80 m<sup>2</sup>, situada en Madrid, con una antigüedad entre 1981 y 2006, y habitada por dos adultos empleados. Al estar habitada por dos personas, el volumen del frigorífico será de 350 l como se explica en el punto 4.3. Las TVs dispondrán de HDR.

### 5.1.1.1 Subescenario 1.1

<i>Electrodoméstico</i>	<i>Etiquetado</i>	<i>Categoría Energética</i>	<i>Consumo (kWh)</i>
Fogones	-	-	395,0
Horno	Antiguo	A+++	25,2
Lavadora	Nuevo	A	86,9
Móvil	-	-	123,5
Secadora	Antiguo	A+++	108,7
Frigorífico	Nuevo	A	92,0
Tablet	-	-	215,7
Congelador	Nuevo	A	11,0
Iluminación	-	-	163,0
TV (Con HDR)	Nuevo	A	138,5
Ordenador	-	-	7,2
Lavavajillas	Nuevo	A	6,2
Microondas	-	-	59,4

*Tabla 8. Consumo de los electrodomésticos del subescenario 1.1*

En este subescenario todos los electrodomésticos son de etiquetado nuevo con categoría de eficiencia energética A. En el caso de la secadora y el horno son de etiquetado antiguo A+++ ya que este tipo de aparatos no dispone todavía de la clasificación de eficiencia de la nueva regulación.



*Gráfico 3. Reparto porcentual por electrodoméstico en el consumo en el subescenario 1.1*

En el Gráfico 3 se puede observar que el mayor peso en el consumo con diferencia es el de los fogones de la cocina. Esto se debe a que, mientras que el modelo ofrece la opción de seleccionar una mayor o menor eficiencia energética para algunos electrodomésticos, en el caso de los fogones de la cocina se trata de un consumo medio estándar. No se tiene en

cuenta si esta parte de la cocina es más o menos antigua, o más o menos eficiente, sino que se escogió un valor medio para una vivienda media de 2,5 personas en [2] y se le aplican ciertos factores en función del número de personas y su ocupación.

Ocurre el mismo suceso para los dos siguientes aparatos con mayor peso en el consumo en este subescenario, la iluminación y el ordenador. Al no tener una opción más detallada en su consumo y eficiencia, el valor medio de consumo de estos tres electrodomésticos adquiere más peso frente a los electrodomésticos de este subescenario que tienen una categoría de eficiencia energética seleccionada muy alta.

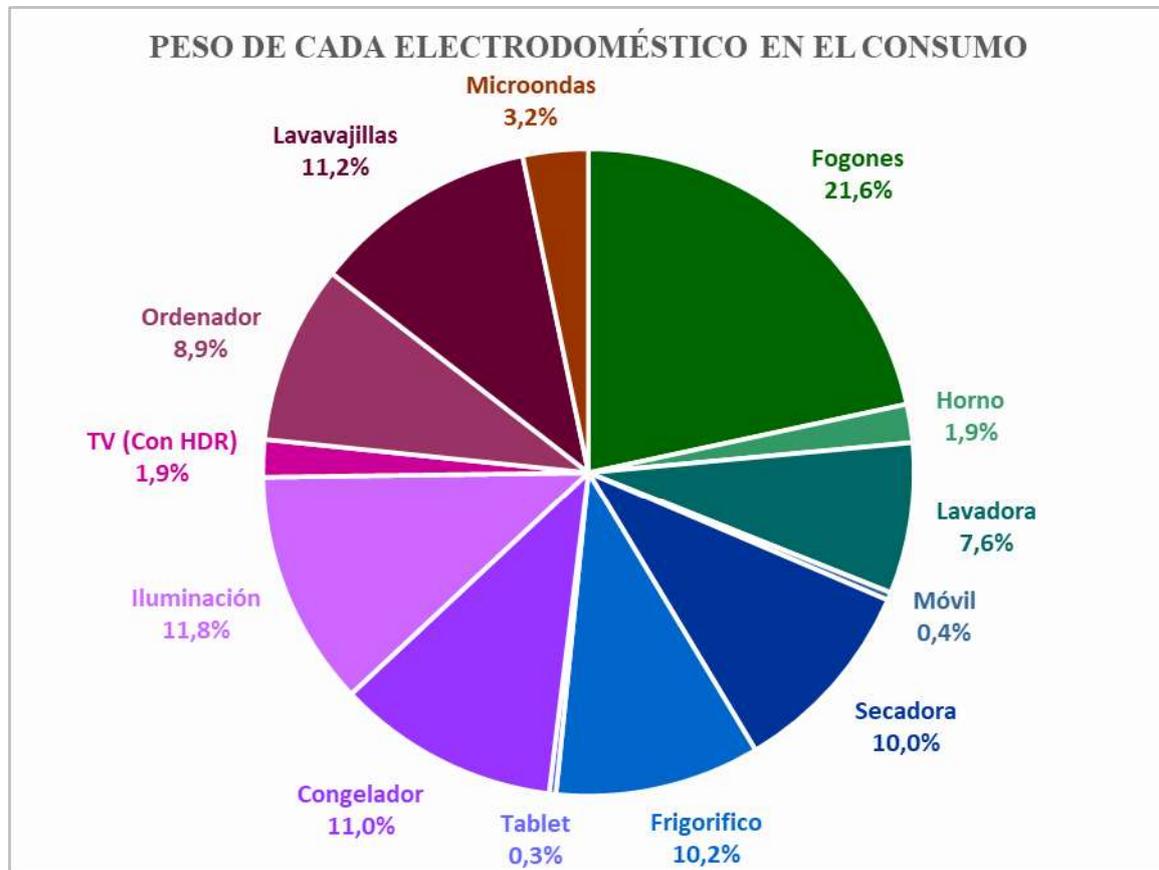
Por otra parte, las muestras que se han escogido para obtener el consumo de los electrodomésticos con etiqueta de eficiencia A son muy pequeñas para varios de los electrodomésticos. Esto se debe a que esta regulación pudiese dejar espacio para mejora y que la tecnología actual no haya llegado a estos niveles de desarrollo todavía. Por lo tanto, los consumos de este subescenario pueden no ser representativos.

### 5.1.1.2 Subescenario 1.2

<i>Electrodoméstico</i>	<i>Etiquetado</i>	<i>Categoría Energética</i>	<i>Consumo (kWh)</i>
Fogones	-	-	395,0
Horno	Antiguo	A++	34,9
Lavadora	Nuevo	D	138,3
Móvil	-	-	7,2
Secadora	Antiguo	A++	182,1
Frigorífico	Nuevo	D	185,9
Tablet	-	-	6,2
Congelador	Nuevo	D	202,0
Iluminación	-	-	215,7
TV (Con HDR)	Nuevo	D	34,1
Ordenador	-	-	163,0
Lavavajillas	Nuevo	D	204,5
Microondas	-	-	59,4

*Tabla 9. Consumo de los electrodomésticos del subescenario 1.2*

En este subescenario todos los electrodomésticos son de etiquetado nuevo con categoría de eficiencia energética D. En el caso de la secadora y el horno son de etiquetado antiguo A++ ya que este tipo de aparatos no dispone todavía de la clasificación de eficiencia de la nueva regulación, y se busca que puedan ser equivalente y comparable la etiqueta nueva D con la antigua A++.



*Gráfico 4. Reparto porcentual por electrodoméstico en el consumo en el subescenario 1.2*

En el Gráfico 4 se puede observar que el mayor peso en el consumo sigue siendo el de los fogones de la cocina, pero esta vez es notablemente menor en comparación al resto de aparatos y al 5.1.1.1, los cuales han obtenido un mayor peso en el reparto de consumo debido a su empeoramiento en su eficiencia energética.

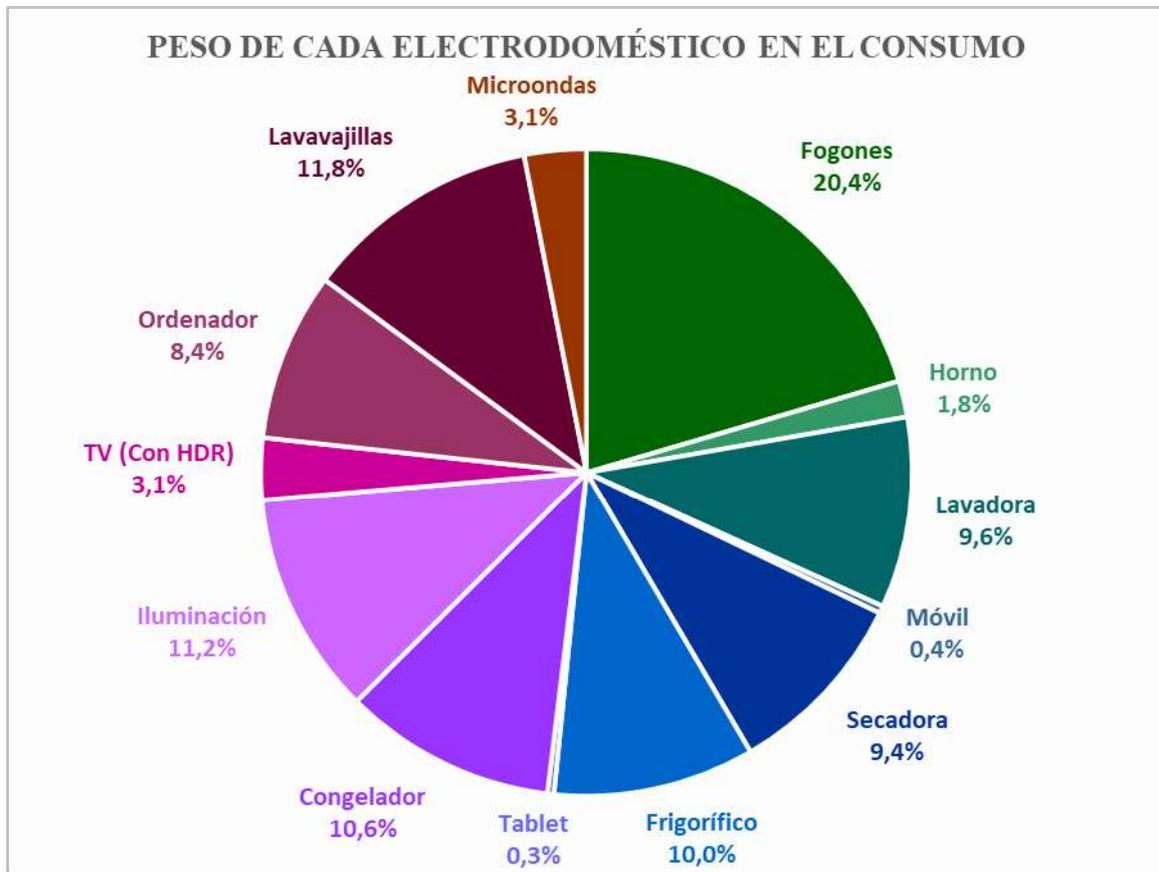
Los aparatos que representan un mayor consumo en orden decreciente son los fogones, la iluminación, el lavavajillas, el congelador, el frigorífico y la secadora; siendo el consumo de los cuatro últimos muy similares.

### 5.1.1.3 Subescenario 1.3

<i>Electrodoméstico</i>	<i>Etiquetado</i>	<i>Categoría Energética</i>	<i>Consumo (kWh)</i>
Fogones	-	-	395,0
Horno	Antiguo	A++	34,9
Lavadora	Antiguo	A++	184,9
Móvil	-	-	7,2
Secadora	Antiguo	A++	182,1
Frigorífico	Antiguo	A++	193,4
Tablet	-	-	6,2
Congelador	Antiguo	A++	204,0
Iluminación	-	-	215,7
TV (Con HDR)	Antiguo	A++	59,8
Ordenador	-	-	163,0
Lavavajillas	Antiguo	A++	227,4
Microondas	-	-	59,4

*Tabla 10. Consumo de los electrodomésticos del subescenario 1.3*

En este subescenario todos los electrodomésticos son de etiquetado antiguo con categoría de eficiencia energética A++. Los consumos de los electrodomésticos con etiquetado de este subescenario ya no se obtienen con la base de datos EPREL [36], como se realiza en 5.1.1.1 y 5.1.1.2, sino que se utiliza el procedimiento desarrollado en [2] y [3]. Será objeto de estudio de este proyecto la comparación de ambas metodologías.



*Gráfico 5. Reparto porcentual por electrodoméstico en el consumo en el subescenario 1.3*

En el Gráfico 5 se puede observar que el reparto del consumo es muy parecido al del 5.1.1.2. Esto es una buena señal ya que, aunque se traten de subescenarios con etiquetados distintos (nuevo y antiguo), la etiqueta nueva D y la etiqueta antigua A++ tiene un IEE muy similar.

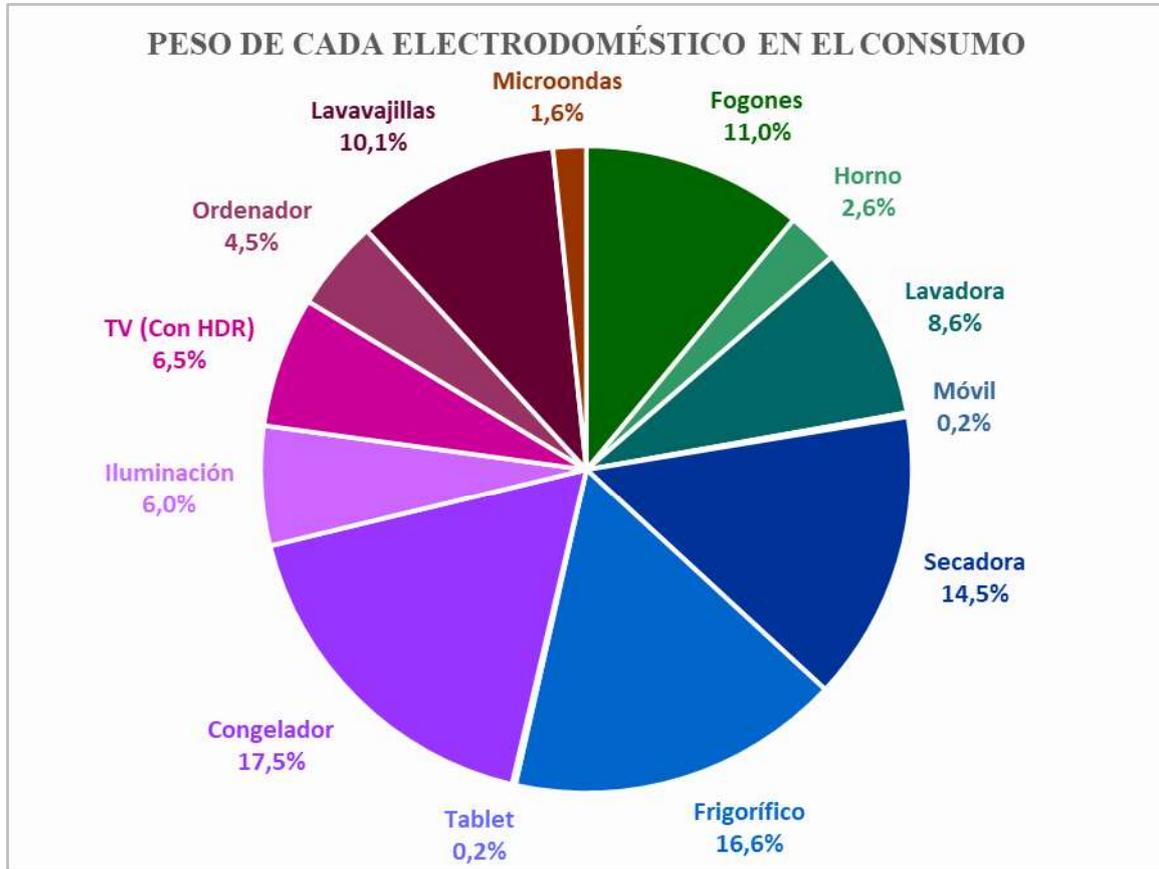
Por otra parte, se puede observar que los aparatos que representan un mayor consumo en orden decreciente son los fogones, el lavavajillas, la iluminación, el congelador, el frigorífico y la lavadora. Los únicos cambios vistos respecto al 5.1.1.3. son el cambio de puesto en la clasificación entre lavavajillas e iluminación y la entrada de la lavadora en el ranking por la secadora. Aun así, el consumo de estos elementos sigue siendo muy parecido.

#### 5.1.1.4 Subescenario 1.4

<i>Electrodoméstico</i>	<i>Etiquetado</i>	<i>Categoría Energética</i>	<i>Consumo (kWh)</i>
Fogones	-	-	395,0
Horno	Antiguo	C	94,1
Lavadora	Antiguo	C	309,5
Móvil	-	-	7,2
Secadora	Antiguo	C	523,5
Frigorífico	Antiguo	C	597,7
Tablet	-	-	6,2
Congelador	Antiguo	C	630,6
Iluminación	-	-	215,7
TV (Con HDR)	Antiguo	C	234,6
Ordenador	-	-	163,0
Lavavajillas	Antiguo	C	364,7
Microondas	-	-	59,4

*Tabla 11. Consumo de los electrodomésticos del subescenario 1.4*

En este subescenario todos los electrodomésticos son de etiquetado antiguo con categoría de eficiencia energética C.



*Gráfico 6. Reparto porcentual por electrodoméstico en el consumo en el subescenario 1.4*

En el Gráfico 6 se puede observar un reparto en el gasto de cada elemento consumidor claramente distinto al de los subescenarios anteriores. Esto se sigue debiendo a que, mientras que el modelo ofrece la opción de seleccionar una mayor o menor eficiencia energética para algunos electrodomésticos, para el resto de aparatos se utiliza un consumo medio estándar. Al no tener una opción más detallada en su consumo y eficiencia, el valor medio de consumo de estos tres electrodomésticos pierde peso frente a los electrodomésticos de este subescenario que tienen una categoría de eficiencia energética mucho más baja.

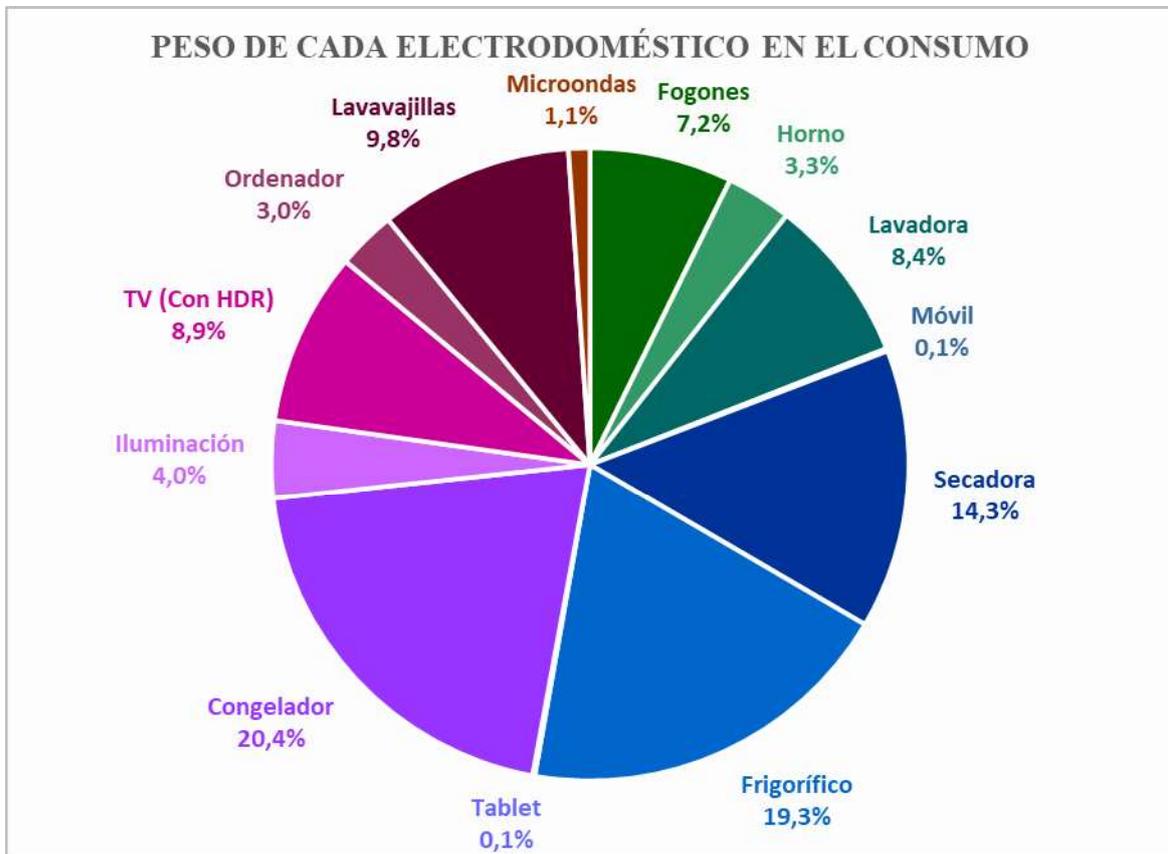
Se puede observar que los electrodomésticos de refrigeración y la secadora son los que más consumo suponen frente al resto.

### 5.1.1.5 Subescenario 1.5

<i>Electrodoméstico</i>	<i>Etiquetado</i>	<i>Categoría Energética</i>	<i>Consumo (kWh)</i>
Fogones	-	-	395,0
Horno	Antiguo	G	182,4
Lavadora	Antiguo	G	460,4
Móvil	-	-	7,2
Secadora	Antiguo	G	780,3
Frigorífico	Antiguo	G	1054,7
Tablet	-	-	6,2
Congelador	Antiguo	G	1112,9
Iluminación	-	-	215,7
TV (Con HDR)	Antiguo	G	483,0
Ordenador	-	-	163,0
Lavavajillas	Antiguo	G	536,3
Microondas	-	-	59,4

*Tabla 12. Consumo de los electrodomésticos del subescenario 1.5*

En este subescenario todos los electrodomésticos son de etiquetado antiguo con categoría de eficiencia energética G, la más baja posible.



*Gráfico 7. Reparto porcentual por electrodoméstico en el consumo en el subescenario 1.5*

En el Gráfico 7 se puede observar el mismo suceso que en el apartado 5.1.1.4 anterior de manera aún más acentuada, en el que el peso de los electrodomésticos con etiquetado obtiene una clara mayor porción que en apartados anteriores debido a su menos eficiente selección. Esto se debe a que, mientras que el modelo ofrece la opción de seleccionar una mayor o menor eficiencia energética para algunos electrodomésticos, en el caso de los fogones de la cocina se trata de un consumo medio estándar.

Se puede observar que los electrodomésticos de refrigeración y la secadora siguen siendo los que más consumo suponen frente al resto.

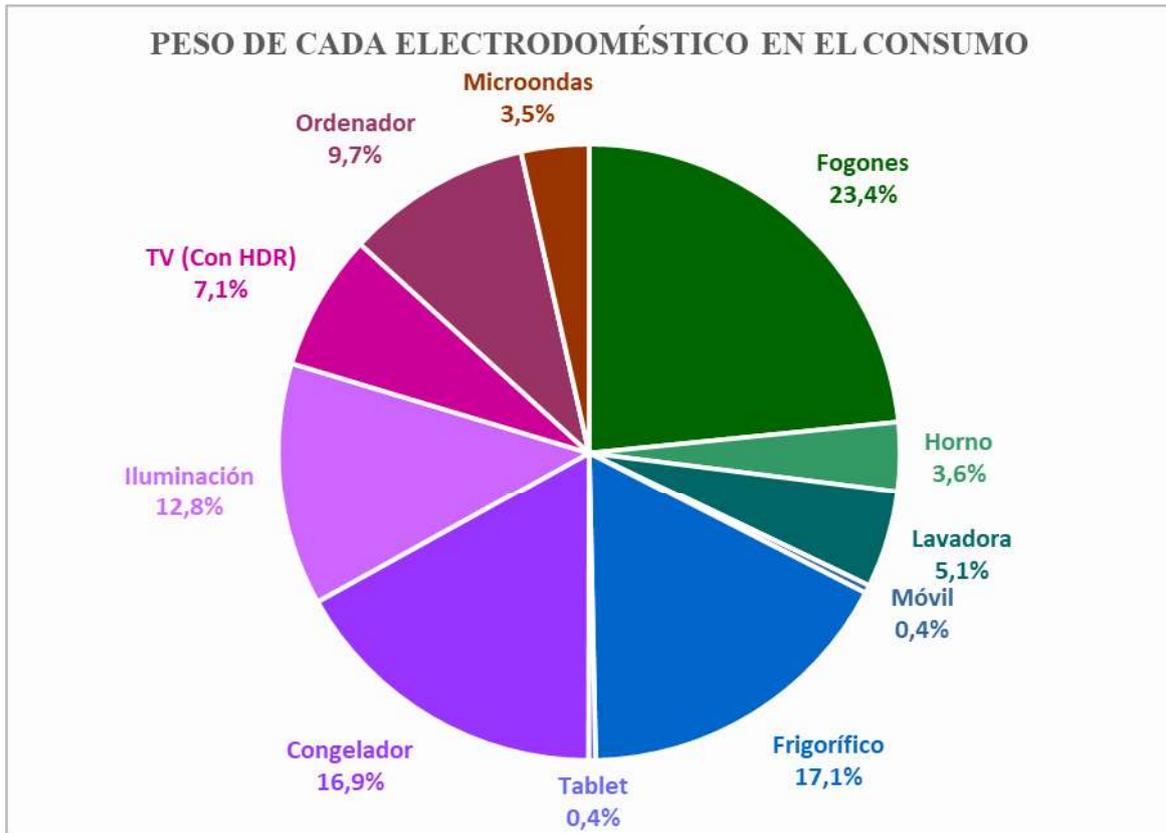
### 5.1.1.6 Subescenario 1.6

<i>Electrodoméstico</i>	<i>Etiquetado</i>	<i>Categoría Energética</i>	<i>Consumo (kWh)</i>
Fogones	-	-	395,0
Horno	Antiguo	A	61,1
Lavadora	Nuevo	A	86,9
Móvil	-	-	7,2
Secadora			0,0
Frigorífico	Nuevo	F	288,5
Tablet	-	-	6,2
Congelador	Nuevo	F	285,0
Iluminación	-	-	215,7
TV (Con HDR)	Nuevo	G	120,6
Ordenador	-	-	163,0
Lavavajillas			0,0
Microondas	-	-	59,4

Tabla 13. Consumo de los electrodomésticos del subescenario 1.6

En este subescenario se ha realizado una simulación más realista de lo que podría ser una vivienda en situación de pobreza energética en España. Las etiquetas de todos los electrodomésticos se han seleccionado en función de la categoría predominante en la base de datos EPREL [36]. Es decir, si la lavadora tiene una eficiencia energética de etiquetado nuevo A, significa que en la Unión Europea la cantidad de electrodomésticos que se han comercializado de esta categoría A es mayor que cualquiera de las otras etiquetas.

Por otro lado, la vivienda no dispone de secadora ni lavavajillas ya que se trata de una situación común entre las personas con bajos ingresos económicos.



*Gráfico 8. Reparto porcentual por electrodoméstico en el consumo en el subescenario 1.6*

En el Gráfico 8 se puede observar que, en una situación hipotética sobre una vivienda común en España con las características descritas en este subescenario, el mayor peso en el consumo es responsabilidad de los fogones, el frigorífico y el congelador en un primer nivel, seguidos de la iluminación en un segundo nivel, y del ordenador y la televisión en un tercer nivel. La lavadora únicamente supone un 5,1% del gasto energético eléctrico, debido al gran desarrollo y el alcance de una alta eficiencia energética en estos aparatos disponibles en el mercado.

Por otra parte, el consumo del lavavajillas y de la secadora se ha repartido de manera proporcional entre el resto de los electrodomésticos frente a los apartados anteriores.

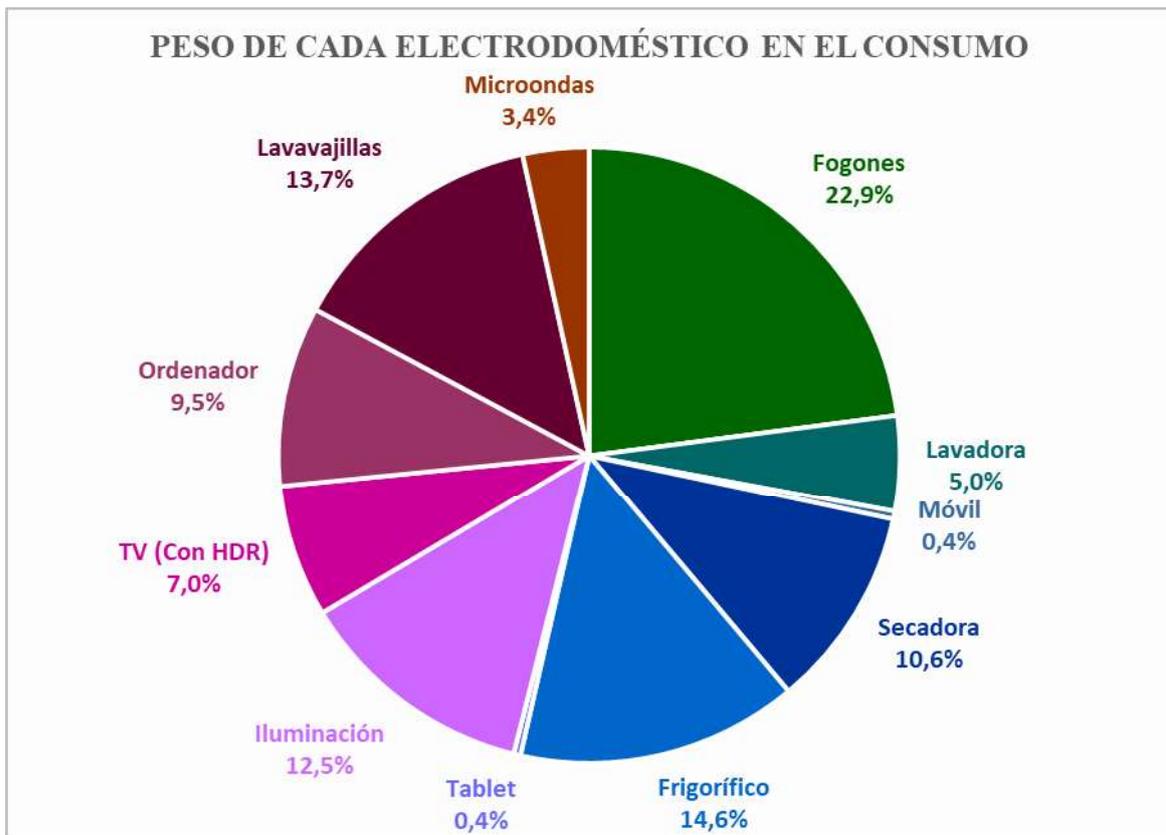
### 5.1.1.7 Subescenario 1.7

<i>Electrodoméstico</i>	<i>Etiquetado</i>	<i>Categoría Energética</i>	<i>Consumo (kWh)</i>
Fogones	-	-	395,0
Horno	<del>-</del>	<del>-</del>	0,0
Lavadora	Nuevo	A	86,9
Móvil	-	-	7,2
Secadora	Antiguo	A++	182,1
Frigorífico	Nuevo	F	252,4
Tablet	-	-	6,2
Congelador	<del>-</del>	<del>-</del>	0,0
Iluminación	-	-	215,7
TV (Con HDR)	Nuevo	G	120,6
Ordenador	-	-	163,0
Lavavajillas	Nuevo	E	236,1
Microondas	-	-	59,4

Tabla 14. Consumo de los electrodomésticos del subescenario 1.7

En este subescenario también se ha realizado una simulación más realista de lo que podría ser una vivienda en situación de pobreza energética en España, al igual que en el 5.1.1.6.

En este caso, la vivienda no dispone de horno ni congelador ya que se trata de otra situación entre personas con bajos ingresos económicos y viviendas con ausencia de algunos de los electrodomésticos.



*Gráfico 9. Reparto porcentual por electrodoméstico en el consumo en el subescenario 1.7*

En el Gráfico 9 se puede observar que el mayor peso en el consumo es responsabilidad de los fogones en un primer nivel, el frigorífico, el lavavajillas y la iluminación en un segundo nivel, y de la secadora y el ordenador en un tercer nivel.

De igual manera, el consumo del congelador y del horno se ha repartido de manera proporcional entre el resto de los electrodomésticos frente a los apartados anteriores, aunque el consumo y el peso asociado del segundo es muy bajo en comparación a otros aparatos.

## 5.1.2 ESCENARIO 2

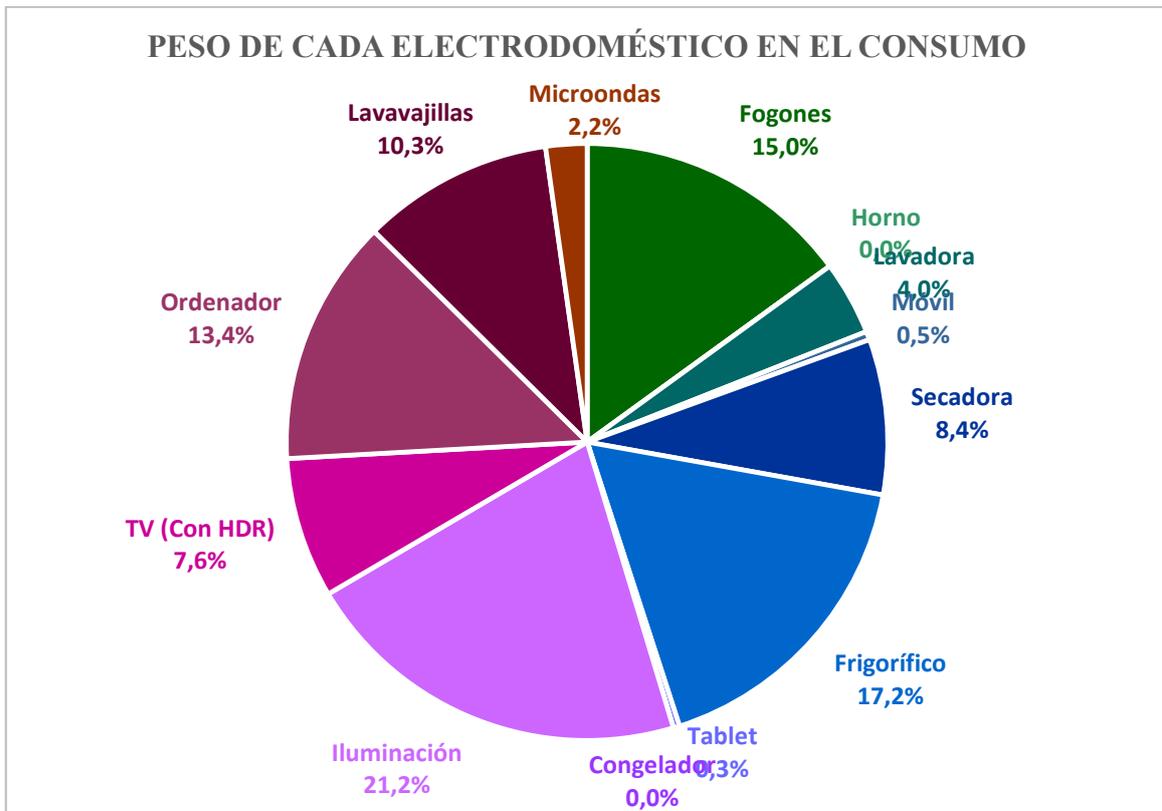
Las características de este escenario y comunes a todos los subescenarios que lo conforman son: un tamaño de vivienda de 100 a 120 m<sup>2</sup>, situada en Santa Cruz de Tenerife, con una antigüedad entre 1981 y 2006, y habitada por cuatro personas: dos adultos empleados y dos estudiantes. Al estar habitada por cuatro personas, el volumen del frigorífico será de 450 l como se explica en el punto 4.3. Las TVs dispondrán de HDR.

### 5.1.2.1 Subescenario 2.1

<i>Electrodoméstico</i>	<i>Etiquetado</i>	<i>Categoría Energética</i>	<i>Consumo (kWh)</i>
Fogones	-	-	474,7
Horno	Antiguo	A+++	30,4
Lavadora	Nuevo	A	127,4
Móvil	-	-	14,4
Secadora	Antiguo	A+++	181,1
Frigorífico	Nuevo	A	228,0
Tablet	-	-	10,3
Congelador	Nuevo	A	92,0
Iluminación	-	-	671,3
TV (Con HDR)	Nuevo	A	22,1
Ordenador	-	-	424,7
Lavavajillas	Nuevo	A	191,8
Microondas	-	-	70,2

*Tabla 15. Consumo de los electrodomésticos del subescenario 2.1*

En este subescenario todos los electrodomésticos son de etiquetado nuevo con categoría de eficiencia energética A. En el caso de la secadora y el horno son de etiquetado antiguo A+++ ya que este tipo de aparatos no dispone todavía de la clasificación de eficiencia de la nueva regulación.



*Gráfico 10. Reparto porcentual por electrodoméstico en el consumo en el subescenario 2.1*

En el Gráfico 10 se puede observar que el mayor peso en el consumo ya no se trata de los fogones de la cocina como sucedía en varios de los subescenarios con 4 personas, y pasa al segundo puesto. La mayor fuente de consumo en este subescenario se trata de la iluminación, la cual ha obtenido un mayor protagonismo debido al aumento de número de metros cuadrados.

Por otro lado, se ha observado que hay varios electrodomésticos que han aumentado su peso derivado del aumento del tamaño de la vivienda y del número de habitantes. Se tratan del móvil, la tablet, el ordenador y el frigorífico. Este suceso es coherente debido a que los tres primeros van a ser menos compartidos entre los ocupantes del hogar y van a tener menos sinergia de uso que otros aparatos. Dicho de otra manera, será más normal que cada habitante disponga de un móvil o un ordenador y no hagan uso compartido de este, que la compartición que puede existir en un congelador o en unos fogones, por ejemplo. En el caso del frigorífico, se obtiene un mayor peso en el consumo debido al nuevo modelo específico para este electrodoméstico desarrollado en este trabajo, el cual se estudiará y simulará más en detalle más adelante.

### **5.1.2.2 Subescenario 2.2**

<i>Electrodoméstico</i>	<i>Etiquetado</i>	<i>Categoría Energética</i>	<i>Consumo (kWh)</i>
Fogones	-	-	474,7
Horno	Antiguo	A++	42,1
Lavadora	Nuevo	D	202,8
Móvil	-	-	14,4
Secadora	Antiguo	A++	266,9
Frigorífico	Nuevo	D	393,5
Tablet	-	-	10,3
Congelador	Nuevo	D	202,0
Iluminación	-	-	671,3
TV (Con HDR)	Nuevo	D	68,2
Ordenador	-	-	424,7
Lavavajillas	Nuevo	D	283,2

Microondas	-	-	70,2
------------	---	---	------

Tabla 16. Consumo de los electrodomésticos del subescenario 2.2

En este subescenario todos los electrodomésticos son de etiquetado nuevo con categoría de eficiencia energética D. En el caso de la secadora y el horno son de etiquetado antiguo A++ ya que este tipo de aparatos no dispone todavía de la clasificación de eficiencia de la nueva regulación, y se busca que pueda ser equivalente y comparable la etiqueta nueva D con la antigua A++.

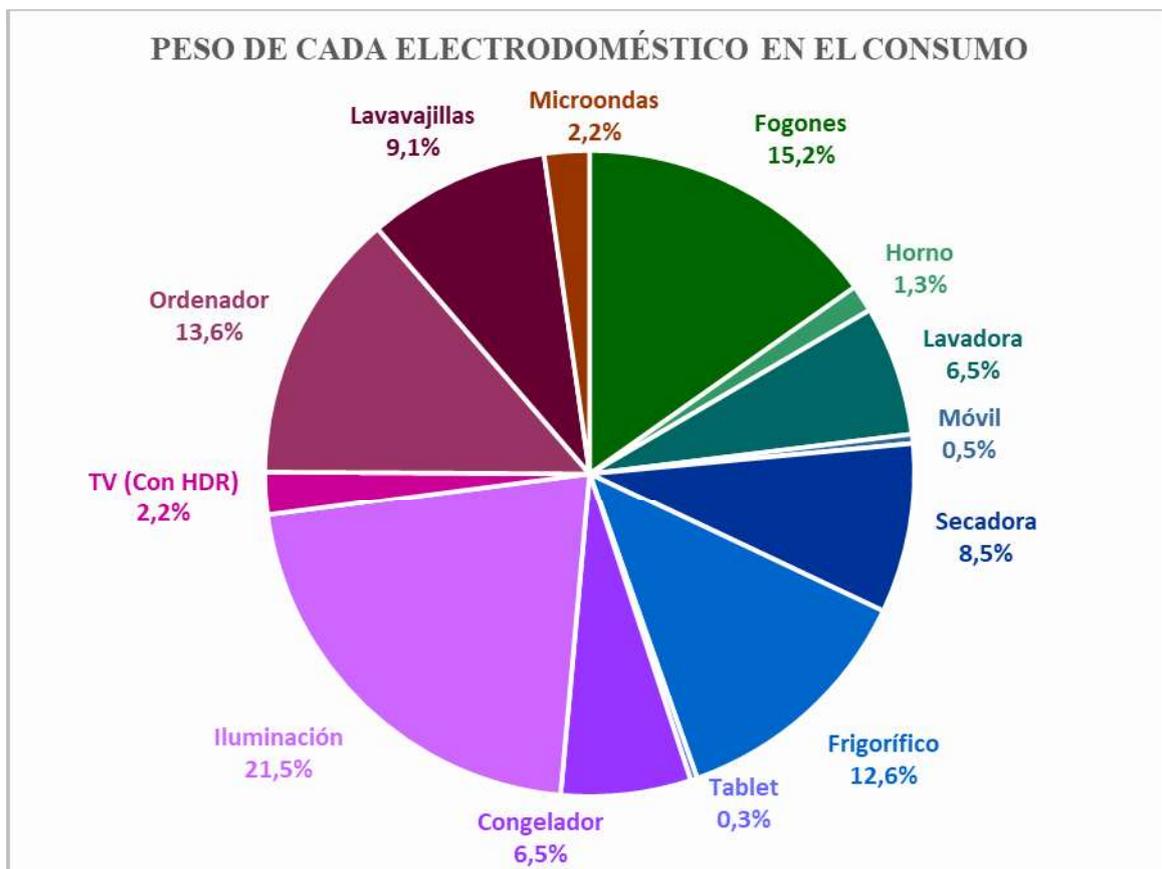


Gráfico 11. Reparto porcentual por electrodoméstico en el consumo en el subescenario 2.2

En el Gráfico 11 se puede observar que el mayor peso en el consumo sigue siendo el de la iluminación seguido de la cocina, pero esta vez es notablemente menor en comparación al resto de aparatos y al 5.1.2.1, los cuales han obtenido un mayor peso en el reparto de consumo debido a su empeoramiento en su eficiencia energética.

Los aparatos que representan un mayor consumo en orden decreciente son la iluminación, los fogones, el ordenador, el lavavajillas y la secadora. Destaca la aparición del ordenador entre las máximas fuentes de gasto eléctrico respecto al 5.1.1.

### 5.1.2.3 Subescenario 2.3

<i>Electrodoméstico</i>	<i>Etiquetado</i>	<i>Categoría Energética</i>	<i>Consumo (kWh)</i>
Fogones	-	-	474,7
Horno	Antiguo	A++	42,1
Lavadora	Antiguo	A++	271,2
Móvil	-	-	14,4
Secadora	Antiguo	A++	266,9
Frigorífico	Antiguo	A++	220,9
Tablet	-	-	10,3
Congelador	Antiguo	A++	204,0
Iluminación	-	-	671,3
TV (Con HDR)	Antiguo	A++	119,6
Ordenador	-	-	424,7
Lavavajillas	Antiguo	A++	314,8
Microondas	-	-	70,2

Tabla 17. Consumo de los electrodomésticos del subescenario 2.3

En este subescenario todos los electrodomésticos son de etiquetado antiguo con categoría de eficiencia energética A++. Los consumos de los electrodomésticos con etiquetado de este subescenario ya no se obtienen con la base de datos EPREL [36], como se realiza en 5.1.2.1 y 5.1.2.2, sino que se utiliza el procedimiento desarrollado en [2] y [3]. Será objeto de estudio de este proyecto la comparación de ambas metodologías.

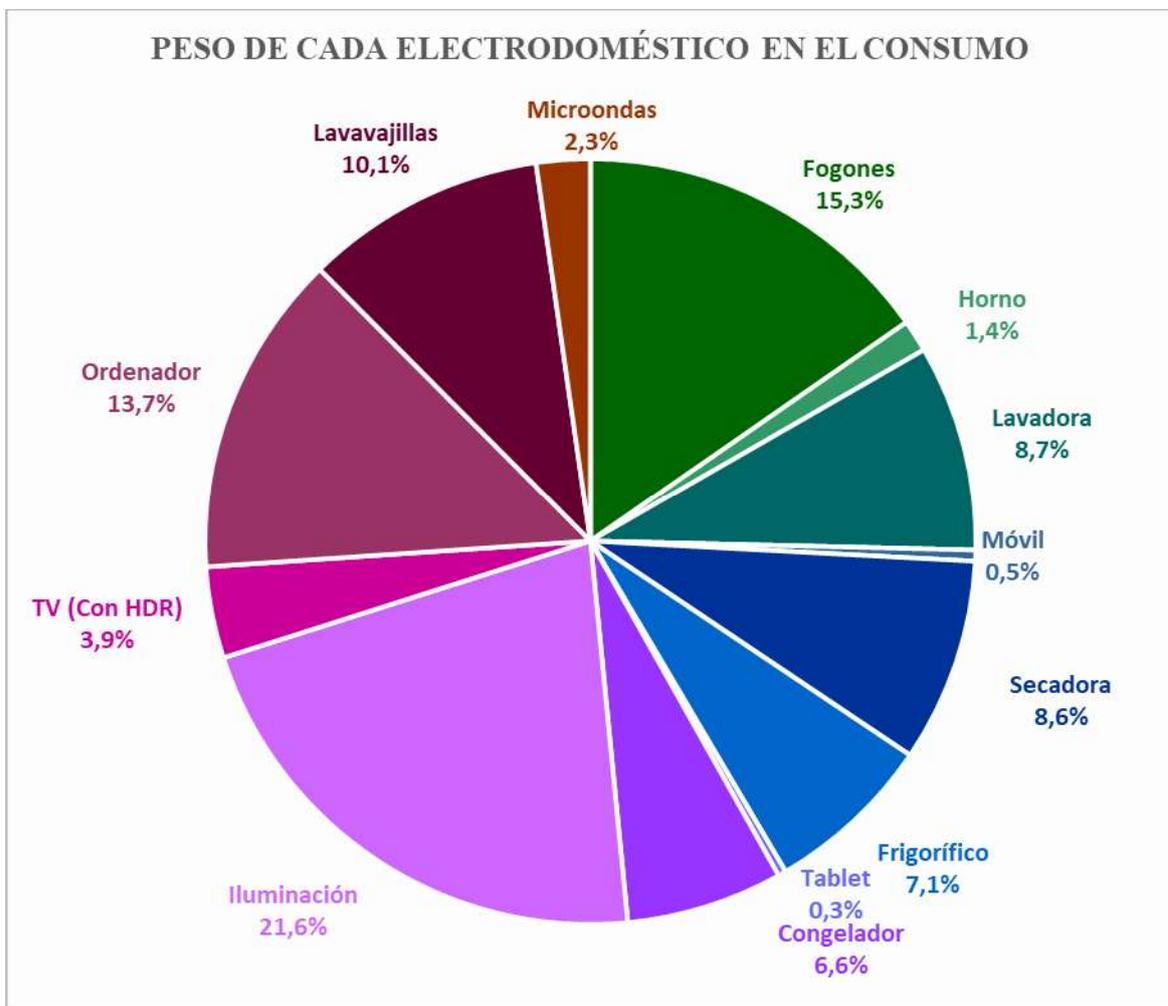


Gráfico 12. Reparto porcentual por electrodoméstico en el consumo en el subescenario 2.3

En el Gráfico 12 se puede observar que el reparto del consumo es muy parecido al del 5.1.2.2. Aunque se traten de subescenarios con etiquetados distintos (nuevo y antiguo), la etiqueta nueva D y la etiqueta antigua A++ tiene un IEE muy similar. No es el caso para el frigorífico ni la televisión. Para el caso del frigorífico tiene un menor peso ya que la metodología antigua no tiene en cuenta y correcciones realizadas en el nuevo modelo. Para el caso de la TV también tiene coherencia, ya que la metodología antigua no distinguía entre la presencia/ausencia de la tecnología HDR y el valor promedio va a tener un peso menor.

#### 5.1.2.4 Subescenario 2.4

<i>Electrodoméstico</i>	<i>Etiquetado</i>	<i>Categoría Energética</i>	<i>Consumo (kWh)</i>
Fogones	-	-	474,7
Horno	Antiguo	C	113,5
Lavadora	Antiguo	C	453,9
Móvil	-	-	14,4
Secadora	Antiguo	C	767,3
Frigorífico	Antiguo	C	682,7
Tablet	-	-	10,3
Congelador	Antiguo	C	630,6
Iluminación	-	-	671,3
TV (Con HDR)	Antiguo	C	469,2
Ordenador	-	-	424,7
Lavavajillas	Antiguo	C	504,9
Microondas	-	-	70,2

Tabla 18. Consumo de los electrodomésticos del subescenario 2.4

En este subescenario todos los electrodomésticos son de etiquetado antiguo con categoría de eficiencia energética C.

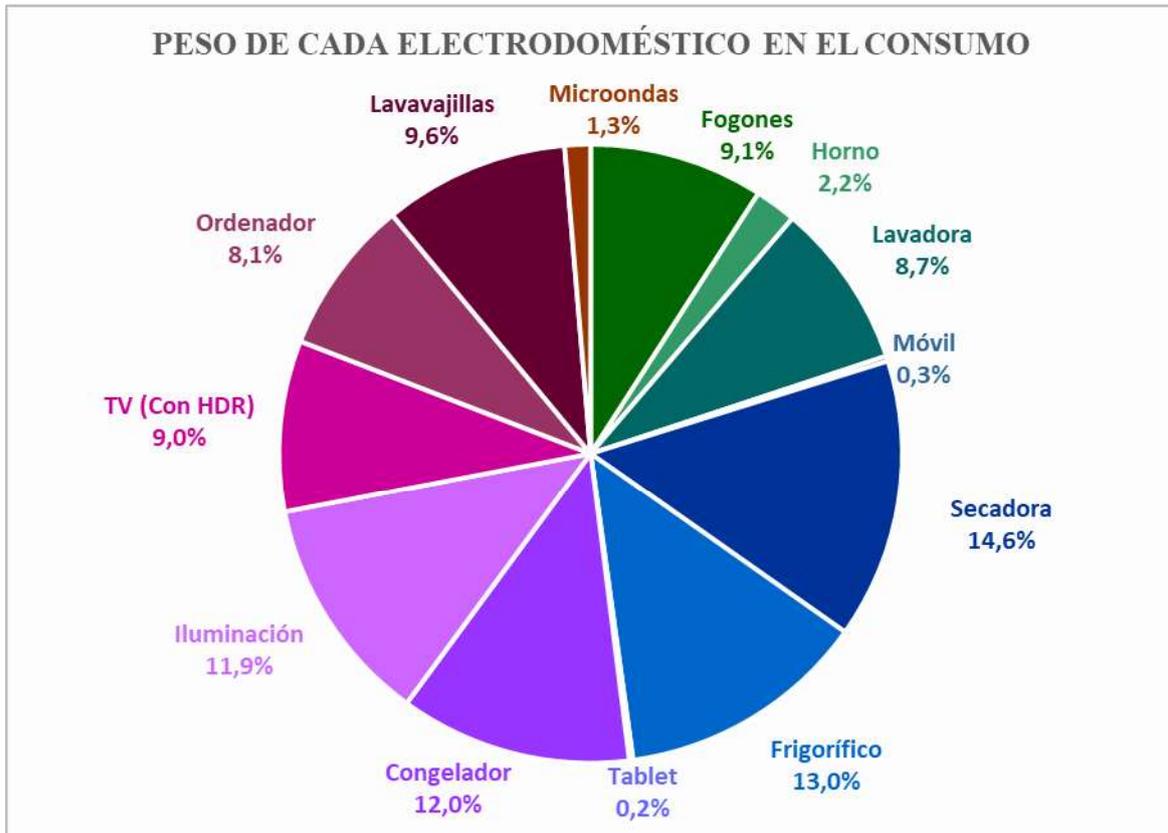


Gráfico 13. Reparto porcentual por electrodoméstico en el consumo en el subescenario 2.4

En el Gráfico 13 se puede observar un mayor peso de los elementos con etiquetado de eficiencia energética. Esto se debe a que, y como en apartados anteriores, mientras que el modelo ofrece la opción de seleccionar una mayor o menor eficiencia energética para algunos electrodomésticos, para el resto de aparatos se utiliza un consumo medio estándar. Al no tener una opción más detallada en su consumo y eficiencia, el valor medio de consumo de estos electrodomésticos pierde peso frente a los electrodomésticos de este subescenario que tienen una categoría de eficiencia energética mucho más baja.

Por otro lado, se observa el mismo descenso del consumo respecto al escenario de 2 personas que en los demás casos de este escenario, debido a un mayor protagonismo del ordenador y la iluminación principalmente. El descenso especialmente notable en el frigorífico y en la televisión se debe a las mismas razones que en el subescenario anterior 5.1.2.3 y los nuevos cambios introducidos en las metodologías de este proyecto.

### 5.1.2.5 Subescenario 2.5

<i>Electrodoméstico</i>	<i>Etiquetado</i>	<i>Categoría Energética</i>	<i>Consumo (kWh)</i>
Fogones	-	-	474,7
Horno	Antiguo	G	220,0
Lavadora	Antiguo	G	675,3
Móvil	-	-	14,4
Secadora	Antiguo	G	1143,9
Frigorífico	Antiguo	G	1204,8
Tablet	-	-	10,3
Congelador	Antiguo	G	1112,9
Iluminación	-	-	671,3
TV (Con HDR)	Antiguo	G	966,1
Ordenador	-	-	424,7
Lavavajillas	Antiguo	G	742,5
Microondas	-	-	70,2

Tabla 19. Consumo de los electrodomésticos del subescenario 2.5

En este subescenario todos los electrodomésticos son de etiquetado antiguo con categoría de eficiencia energética G, la más baja posible.

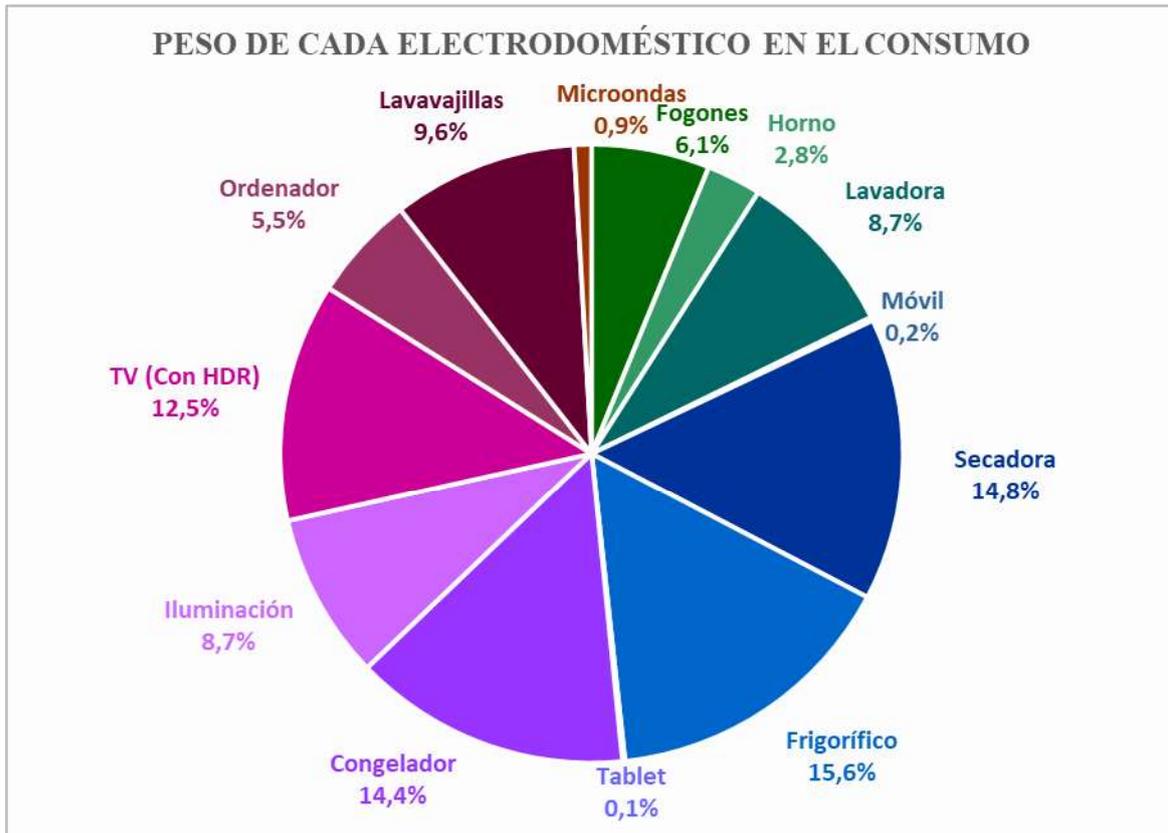


Gráfico 14. Reparto porcentual por electrodoméstico en el consumo en el subescenario 2.5

En el Gráfico 14 se puede observar el mismo suceso que en el apartado 5.1.2.4 anterior de manera aún más acentuada, en el que el peso de los electrodomésticos con etiquetado antiguo obtiene una clara mayor porción que en apartados anteriores debido a su menos eficiente selección, y al efecto de sinergias y cambios del uso compartido respecto a una vivienda de dos personas

Aun así, se puede observar que los electrodomésticos de refrigeración y la secadora siguen siendo los que más consumo suponen frente al resto, al igual que en una vivienda de dos personas; pero con un peso más repartido.

### 5.1.2.6 Subescenario 2.6

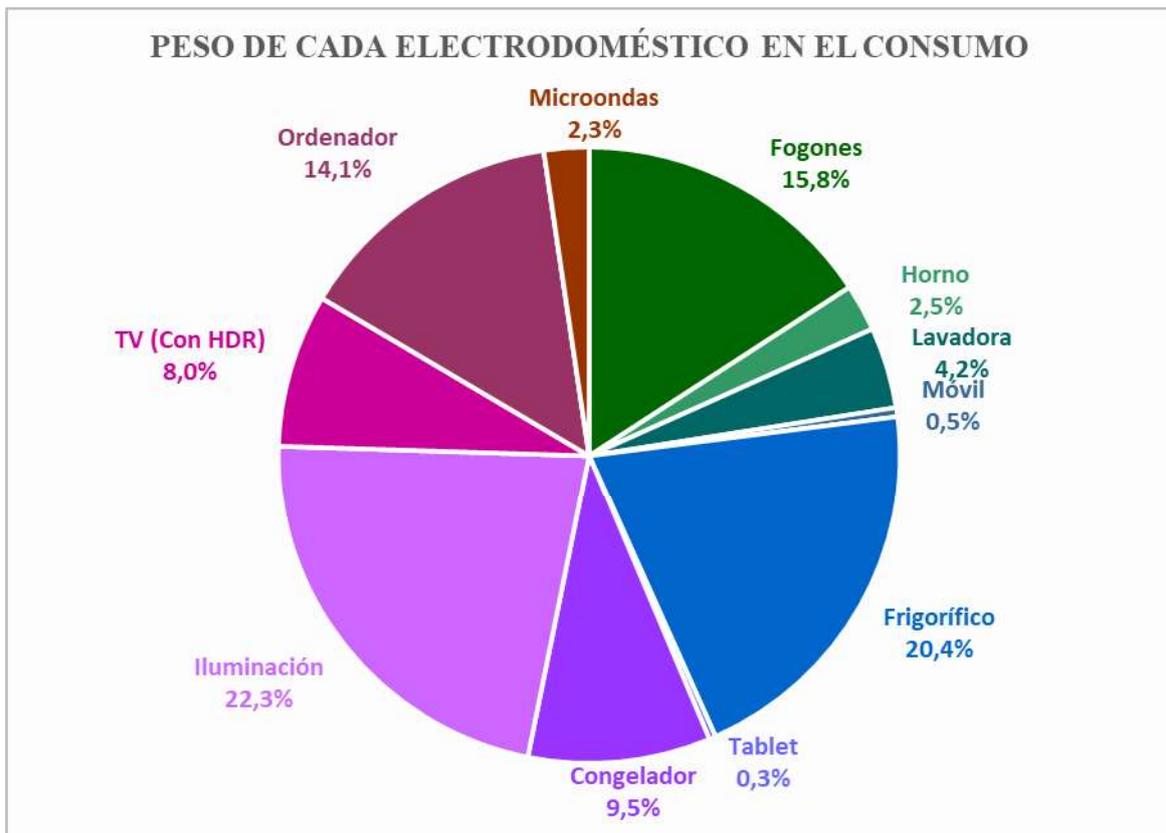
<i>Electrodoméstico</i>	<i>Etiquetado</i>	<i>Categoría Energética</i>	<i>Consumo (kWh)</i>
Fogones	-	-	474,7
Horno	Antiguo	A	73,7
Lavadora	Nuevo	A	127,4
Móvil	-	-	14,4
Secadora			0,0
Frigorífico	Nuevo	F	611,9
Tablet	-	-	10,3
Congelador	Nuevo	F	285,0
Iluminación	-	-	671,3
TV (Con HDR)	Nuevo	G	241,2
Ordenador	-	-	424,7
Lavavajillas			0,0
Microondas	-	-	70,2

Tabla 20. Consumo de los electrodomésticos del subescenario 2.6

En este subescenario se ha realizado una simulación más realista de lo que podría ser una vivienda en situación de pobreza energética en España. Las etiquetas de todos los electrodomésticos se han seleccionado en función de la categoría predominante en la base

de datos EPREL [36], como se explica y de la misma manera que en 5.1.1.6, pero en una vivienda con 4 personas y con mayor superficie.

También, se han seleccionado la secadora y el lavavajillas como ausentes para este subescenario.



*Gráfico 15. Reparto porcentual por electrodoméstico en el consumo en el subescenario 2.6*

En el Gráfico 15 se puede observar que, en una situación hipotética sobre una vivienda común en España con las características descritas en este escenario, el mayor peso en el consumo es responsabilidad de la iluminación, y el frigorífico en primer nivel, seguidos de los fogones y del ordenador en un segundo nivel, y del congelador y la televisión en un tercer nivel. La lavadora únicamente supone un 4,2% del gasto energético eléctrico, debido

al gran desarrollo y el alcance de una alta eficiencia energética en estos aparatos disponibles en el mercado.

Aun así, el peso de los electrodomésticos con cuatro personas y un mayor tamaño de vivienda es diferente a la vivienda de dos personas por las razones explicadas a lo largo de este escenario 5.1.2.

### 5.1.2.7 Subescenario 2.7

<i>Electrodoméstico</i>	<i>Etiquetado</i>	<i>Categoría Energética</i>	<i>Consumo (kWh)</i>
Fogones	-	-	474,7
Horno			0,0
Lavadora	Nuevo	A	127,4
Móvil	-	-	14,4
Secadora	Antiguo	A++	1143,9
Frigorífico	Nuevo	F	545,9
Tablet	-	-	10,3
Congelador			0,0
Iluminación	-	-	671,3
TV (Con HDR)	Nuevo	G	241,2
Ordenador	-	-	424,7
Lavavajillas	Nuevo	E	290,7
Microondas	-	-	70,2

Tabla 21. Consumo de los electrodomésticos del subescenario 2.7

En este subescenario también se ha realizado una simulación más realista de lo que podría ser una vivienda en situación de pobreza energética en España, al igual que en el 5.1.2.6

En este caso, la vivienda no dispone de horno ni congelador ya que se trata de otra situación entre personas con bajos ingresos económicos y viviendas con ausencia de algunos de los electrodomésticos, al igual que en 5.1.1.7.

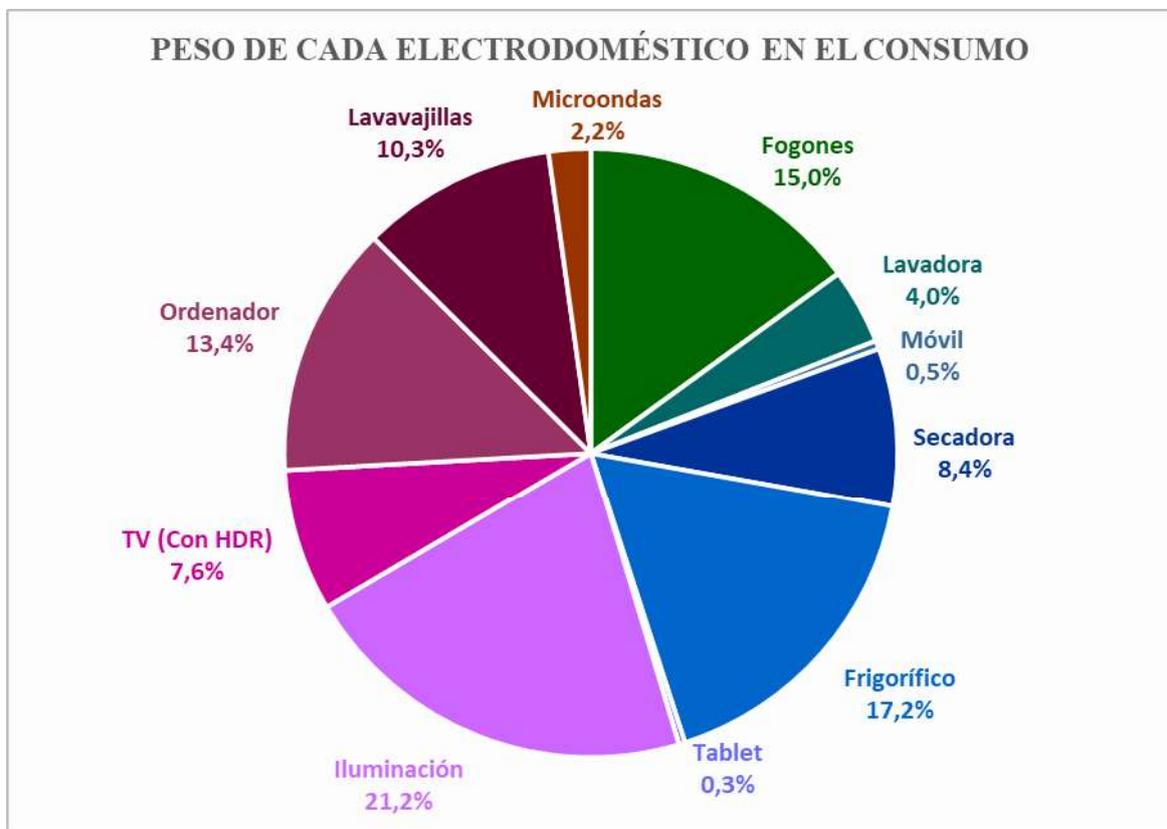


Gráfico 16. Reparto porcentual por electrodoméstico en el consumo en el subescenario 2.7

En el Gráfico 16 se puede observar que el mayor peso en el consumo es responsabilidad de los iluminación en un primer nivel, el frigorífico y el ordenador en un segundo nivel, y de la secadora y el lavavajillas en un tercer nivel.

De igual manera, el consumo del congelador y del horno se ha repartido de manera proporcional entre el resto de los electrodomésticos frente a los apartados anteriores, aunque el peso de los electrodomésticos con cuatro personas y un mayor tamaño de vivienda es diferente a la vivienda de dos personas por las razones explicadas a lo largo de este escenario

5.1.2

### 5.1.3 RESUMEN DE LOS ESCENARIOS 1 Y 2

<i>Escenario 1 – Consumo absoluto (kWh)</i>							
	<i>Subescenarios</i>						
<i>Electrodomésticos</i>	<i>1.1</i>	<i>1.2</i>	<i>1.3</i>	<i>1.4</i>	<i>1.5</i>	<i>1.6</i>	<i>1.7</i>
Fogones	395,0	395,0	395,0	395,0	395,0	395,0	395,0
Horno	25,2	34,9	34,9	94,1	182,4	61,1	0,0
Lavadora	86,9	138,3	184,9	309,5	460,4	86,9	86,9
Móvil	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2
Secadora	123,5	182,1	182,1	523,5	780,3	0,0	182,1
Frigorífico	108,7	185,9	193,4	597,7	1054,7	288,5	252,4
Tablet	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2
Congelador	92,0	202,0	204,0	630,6	1112,9	285,0	0,0
Iluminación	215,7	215,7	215,7	215,7	215,7	215,7	215,7
TV (Con HDR)	11,0	34,1	59,8	234,6	483,0	120,6	120,6
Ordenador	163,0	163,0	163,0	163,0	163,0	163,0	163,0
Lavavajillas	138,5	204,5	227,4	364,7	536,3	0,0	236,1
Microondas	59,4	59,4	59,4	59,4	59,4	59,4	59,4
<b>TOTAL*</b>	1432,3	1828,2	1932,9	3601,0	5456,4	1688,6	1724,5

*Tabla 22. Tabla resumen comparativa de los consumos absolutos por electrodomésticos de los distintos subescenarios del escenario 1*

\*No incluye el consumo por *stand-by* ni el factor de corrección por tipo de ocupación

<b>Escenario 2 – Consumo absoluto (kWh)</b>							
	<b>Subescenarios</b>						
<b>Electrodomésticos</b>	<b>2.1</b>	<b>2.2</b>	<b>2.3</b>	<b>2.4</b>	<b>2.5</b>	<b>2.6</b>	<b>2.7</b>
Fogones	474,7	474,7	474,7	474,7	474,7	474,7	474,7
Horno	30,4	42,1	42,1	113,5	220,0	73,7	0,0
Lavadora	127,4	202,8	271,2	453,9	675,3	127,4	127,4
Móvil	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4
Secadora	181,1	266,9	266,9	767,3	1143,9	0,0	266,9
Frigorífico	228,0	393,5	220,9	682,7	1204,8	611,9	545,9
Tablet	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3
Congelador	92,0	202,0	204,0	630,6	1112,9	285,0	0,0
Iluminación	671,3	671,3	671,3	671,3	671,3	671,3	671,3
TV (Con HDR)	22,1	68,2	119,6	469,2	966,1	241,2	241,2
Ordenador	424,7	424,7	424,7	424,7	424,7	424,7	424,7
Lavavajillas	191,8	283,2	314,8	504,9	742,5	0,0	326,9
Microondas	70,2	70,2	70,2	70,2	70,2	70,2	70,2
<b>TOTAL*</b>	<b>2538,3</b>	<b>3124,2</b>	<b>3077,6</b>	<b>5202,7</b>	<b>7580,8</b>	<b>3004,9</b>	<b>3173,8</b>

Tabla 23. Tabla resumen comparativa de los consumos absolutos por electrodomésticos de los distintos subescenarios del escenario 2

En la Tabla 22 y la Tabla 23 se muestran los consumos en kWh de cada uno de los electrodomésticos y el total de la vivienda en cada uno de los subescenarios de los escenarios 1 y 2, respectivamente. Se puede observar como los electrodomésticos sin etiquetado (fogones, móvil, tablet, iluminación, ordenador y microondas) tienen un gasto eléctrico

\*No incluye el consumo por *stand-by* ni el factor de corrección por tipo de ocupación

constante y solo aumentan cuando lo hace el número de personas, o el tamaño de la vivienda para el caso de la iluminación.

En los 5 primeros subescenarios se puede observar el notable aumento del consumo a medida que empeora la eficiencia energética de los electrodomésticos que sí están dotados de etiquetado (horno, lavadora, secadora, frigorífico, congelador, TV y lavavajillas). El consumo total de todos los elementos del estudio llega a ser hasta 3 veces mayor si comparamos el primer subescenario (máxima eficiencia de etiquetado nuevo A) con el quinto subescenario (mínima eficiencia de etiquetado antiguo G). También se puede observar la similitud entre los consumos del segundo y tercer escenario, de etiquetado nuevo D y de etiquetado antiguo A++, respectivamente. Los únicos electrodomésticos que difieren en más de un 10% son: la lavadora, en un 25%, lo cual no supone una diferencia preocupante por no tratarse de la misma etiqueta y seguir dos metodologías distintas de predicción; la televisión, en un 43%, ya que una de ellas tiene HDR y la otra es la media general y es coherente que obtenga un gasto mayor, y el frigorífico, el cual será analizado en profundidad más adelante.

Por otro lado, los dos últimos escenarios que intentan simular dos situaciones más reales sobre posibles viviendas en España, con la ausencia de algunos electrodomésticos muestra que prescindir de secadora y lavavajillas supone un ahorro energético, aunque algo mayor, muy similar a prescindir de congelador y horno. El consumo de una vivienda común en este contexto se aproxima a:

- Unos 1700 kWh anuales en el primer escenario con dos personas, al cual habría que sumarle unos 400 kWh en el caso de presentar los dos electrodomésticos ausentes
- Unos 3100 kWh anuales en el segundo escenario con cuatro personas, al cual habría que sumarle unos 600 kWh en el caso de presentar los dos electrodomésticos ausentes. Esto representa alrededor de un 80% más que en un escenario con la mitad de personas.

---

\*No incluye el consumo por *stand-by* ni el factor de corrección por tipo de ocupación

<b>Escenario 1 – Consumo relativo (%)</b>							
	<b>Subescenarios</b>						
<b>Electrodomésticos</b>	<b>1.1</b>	<b>1.2</b>	<b>1.3</b>	<b>1.4</b>	<b>1.5</b>	<b>1.6</b>	<b>1.7</b>
Fogones	27,6%	21,6%	20,4%	11,0%	7,2%	23,4%	22,9%
Horno	1,8%	1,9%	1,8%	2,6%	3,3%	3,6%	0,0%
Lavadora	6,1%	7,6%	9,6%	8,6%	8,4%	5,1%	5,0%
Móvil	0,5%	0,4%	0,4%	0,2%	0,1%	0,4%	0,4%
Secadora	8,6%	10,0%	9,4%	14,5%	14,3%	0,0%	10,6%
Frigorífico	7,6%	10,2%	10,0%	16,6%	19,3%	17,1%	14,6%
Tablet	0,4%	0,3%	0,3%	0,2%	0,1%	0,4%	0,4%
Congelador	6,4%	11,0%	10,6%	17,5%	20,4%	16,9%	0,0%
Iluminación	15,1%	11,8%	11,2%	6,0%	4,0%	12,8%	12,5%
TV (Con HDR)	0,8%	1,9%	3,1%	6,5%	8,9%	7,1%	7,0%
Ordenador	11,4%	8,9%	8,4%	4,5%	3,0%	9,7%	9,5%
Lavavajillas	9,7%	11,2%	11,8%	10,1%	9,8%	0,0%	13,7%
Microondas	4,1%	3,2%	3,1%	1,6%	1,1%	3,5%	3,4%
<b>TOTAL*</b>	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Tabla 24. Tabla resumen comparativa de los consumos relativos por electrodomésticos de los distintos subescenarios del escenario 1

\*No incluye el consumo por *stand-by* ni el factor de corrección por tipo de ocupación

<b>Escenario 2 – Consumo absoluto (%)</b>							
	<b>Subescenarios</b>						
<b>Electrodomésticos</b>	<b>2.1</b>	<b>2.2</b>	<b>2.3</b>	<b>2.4</b>	<b>2.5</b>	<b>2.6</b>	<b>2.7</b>
Fogones	18,7%	15,2%	15,3%	9,0%	6,1%	15,8%	15,0%
Horno	1,2%	1,3%	1,4%	2,1%	2,8%	2,5%	0,0%
Lavadora	5,0%	6,5%	8,7%	8,6%	8,7%	4,2%	4,0%
Móvil	0,6%	0,5%	0,5%	0,3%	0,2%	0,5%	0,5%
Secadora	7,1%	8,5%	8,6%	14,5%	14,8%	0,0%	8,4%
Frigorífico	9,0%	12,6%	7,1%	12,9%	15,6%	20,4%	17,2%
Tablet	0,4%	0,3%	0,3%	0,2%	0,1%	0,3%	0,3%
Congelador	3,6%	6,5%	6,6%	11,9%	14,4%	9,5%	0,0%
Iluminación	26,4%	21,5%	21,6%	12,7%	8,7%	22,3%	21,2%
TV (Con HDR)	0,9%	2,2%	3,9%	8,9%	12,5%	8,0%	7,6%
Ordenador	16,7%	13,6%	13,7%	8,0%	5,5%	14,1%	13,4%
Lavavajillas	7,6%	9,1%	10,1%	9,5%	9,6%	0,0%	10,3%
Microondas	2,8%	2,2%	2,3%	1,3%	0,9%	2,3%	2,2%
<b>TOTAL*</b>	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Tabla 25. Tabla resumen comparativa de los consumos relativos por electrodomésticos de los distintos subescenarios del escenario 2

\*No incluye el consumo por *stand-by* ni el factor de corrección por tipo de ocupación

En la Tabla 24 y la Tabla 25 se muestran los consumos relativos en porcentaje de cada uno de los electrodomésticos respecto al total de la vivienda en cada uno de los subescenarios de los escenarios 1 y 2, respectivamente.

Se puede observar de la misma manera que, a medida que la eficiencia energética empeora, los electrodomésticos con etiquetado ganan peso respecto a los que no lo tienen, ya que muestran un valor constante con la metodología seguida en el modelo.

También, se puede destacar como algunos elementos se ven mayormente afectados con el cambio de escenario que otros. En el caso de la iluminación, el aumento de personas y el aumento del tamaño de la vivienda provoca un aumento del 211% en su gasto, el más grande entre todos ellos. En los demás aparatos, aunque el tamaño de la vivienda no afecta a su consumo, el número de habitantes sí lo hace. Se pueden encontrar al móvil (100%) o al ordenador (161%) entre los líderes en este aumento de consumo, o al congelador (0%), o el microondas (20%) entre los que menos lo experimentan.

Por último, se observa que el consumo del hogar en el escenario 2 no es el doble que en el escenario 1 como podría esperarse, si no que existe un ahorro energético nominal al aumentar el número de habitantes. El aumento del consumo total de los 7 subescenarios entre el escenario 1 y 2 han sido: 77%, 71%, 59%, 44%, 39% 78% y 84%. Por lo tanto, este ahorro nominal se hace más notable cuanto peor sea la eficiencia de los electrodomésticos.

---

\*No incluye el consumo por *stand-by* ni el factor de corrección por tipo de ocupación

## ***5.2 ESCENARIOS ESCOGIDOS PARA EL ESTUDIO DEL MODELO ESPECÍFICO DEL FRIGORÍFICO***

El análisis de este apartado se centrará en el estudio del nuevo modelo desarrollado en este proyecto para la predicción del consumo energético del frigorífico y explicado en el apartado 4.3. Para ello, se simularán los siguientes escenarios:

- Escenario 1: Una vivienda con 1 persona, fogones y horno presentes:
  - Subescenario 1.1: situada en La Coruña. Anterior a 1981. Eficiencia energética del frigorífico: A
  - Subescenario 1.2: situada en las Islas Baleares. Anterior a 1981. Eficiencia energética del frigorífico: D
  - Subescenario 1.3: situada en Córdoba. Anterior a 1981. Eficiencia energética del frigorífico: G
  
- Escenario 2: Una vivienda con 2 personas, fogones y horno presentes:
  - Subescenario 2.1: situada en La Coruña. Antigüedad entre 1981 y 2006. Eficiencia energética del frigorífico: A
  - Subescenario 2.2: situada en las Islas Baleares. Antigüedad entre 1981 y 2006. Eficiencia energética del frigorífico: D
  - Subescenario 2.3: situada en Córdoba. Antigüedad entre 1981 y 2006. Eficiencia energética del frigorífico: G
  
- Escenario 3: Una vivienda con 3 personas, fogones y horno presentes:
  - Subescenario 3.1: situada en La Coruña. Posterior a 2006. Eficiencia energética del frigorífico: A
  - Subescenario 3.2: situada en las Islas Baleares. Posterior a 2006. Eficiencia energética del frigorífico: D

- Subescenario 3.3: situada en Córdoba. Posterior a 2006. Eficiencia energética del frigorífico: G
  
- Escenario 4: Una vivienda con 4 personas, fogones y horno presentes:
  - Subescenario 4.1: situada en La Coruña. Antigüedad entre 1981 y 2006. Eficiencia energética del frigorífico: A
  - Subescenario 4.2: situada en las Islas Baleares. Posterior a 2006. Eficiencia energética del frigorífico: D
  - Subescenario 4.3: situada en Córdoba. Anterior a 1981. Eficiencia energética del frigorífico: G

### 5.2.1 ESCENARIO 1

<i>Escenario 1</i>	<i>Subescenarios</i>		
<i>Parámetros</i>	<i>1.1</i>	<i>1.2</i>	<i>1.3</i>
Provincia	La Coruña	Baleares	Córdoba
Antigüedad vivienda	Previa a 1981	Previa a 1981	Previa a 1981
Temp. Amb. Media	17,7 °C	19,7 °C	20,4 °C
Volumen frigorífico (l)	300	300	300
Etiqueta frigorífico	A	D	G
Consumo Base (kWh)	97,4	166,7	367,6
Correc. Temp. Amb. (kWh)	-26,4	-31,3	-50,4
Correc. Aperturas (kWh)	13,7	24,1	46,7
Correc. Carga Térmica (kWh)	-2,8	-5,5	-12,7
Total Correcciones (kWh)	-15,5	-12,8	-16,4
<b>Consumo Final (kWh)</b>	<b>81,9</b>	<b>153,9</b>	<b>351,2</b>

*Tabla 26. Valores de los parámetros de la simulación de los distintos subescenarios del escenario 1 en el estudio de la predicción de consumo del modelo del frigorífico*

En la Tabla 26 se puede apreciar como el volumen arbitrario del frigorífico de este escenario es de 300 l, valor que se ha asociado al tamaño adecuado para el uso de 1 persona.

Se han simulado 3 subescenarios con localizaciones distintas en la que la temperatura media cambia, aunque los 3 se encuentran por debajo de la temperatura ambiente de

referencia de 24 °C. Esta diferencia se ve incrementada por la falta de aislamiento que se representa con la antigüedad, siendo los 3 subescenarios una simulación de una vivienda anterior a 1981. Debido a esto, la corrección por temperatura de todos los casos se traduce en un ahorro energético, mayor cuanto más por debajo está la temperatura media de la simulación. Por otra parte, podemos observar como los 3 tipos de correcciones del modelo (por temperatura ambiente, por número de aperturas y por carga térmica introducida) se ven acentuadas cuanto peor es la eficiencia energética. Esto es coherente, ya que, si el consumo base teórico experimenta un aumento notable, así lo hacen también las correcciones variables que le afectan.

Por ejemplo, para el caso de las correcciones por número de aperturas y por carga térmica introducida, todos los subescenarios tienen en consideración el mismo número de aperturas y de kilogramos de alimento introducidos. Sin embargo, como el segundo subescenario tiene etiqueta D, va a experimentar una mayor corrección respecto al primero que tiene etiqueta A, y a su vez, el tercero va a experimentar una corrección aún mayor al presentar una etiqueta G.

En este escenario en concreto, la corrección con mayor peso se trata de la de temperatura ambiente. Como en este caso la temperatura de todos los subescenarios está notablemente por debajo de la temperatura de referencia de 24 °C, se ha traducido en un ahorro energético final respecto a los valores base. Además, la corrección por carga térmica también supone una reducción del consumo por simular el uso de 1 persona cuando la referencia cero es de 2,5 personas.

## 5.2.2 ESCENARIO 2

<i>Escenario 2</i>	<i>Subescenarios</i>		
<i>Parámetros</i>	<i>2.1</i>	<i>2.2</i>	<i>2.3</i>
Provincia	La Coruña	Baleares	Córdoba
Antigüedad vivienda	Entre 1981 y 2006	Entre 1981 y 2006	Entre 1981 y 2006
Temp. Amb. Media	20 °C	21,6 °C	22,2 °C
Volumen frigorífico (l)	350	350	350
Etiqueta frigorífico	A	D	G
Consumo Base (kWh)	113,6	194,4	428,9
Correc. Temp. Amb. (kWh)	-16,5	-17,3	-25,2
Correc. Aperturas (kWh)	27,5	48,2	93,5
Correc. Carga Térmica (kWh)	-1,3	-2,4	-5,5
Total Correcciones (kWh)	9,7	28,5	62,7
<b>Consumo Final (kWh)</b>	123,3	222,9	491,7

*Tabla 27. Valores de los parámetros de la simulación de los distintos subescenarios del escenario 2 en el estudio de la predicción de consumo del modelo del frigorífico*

En la Tabla 27 se puede apreciar como el volumen arbitrario del frigorífico de este escenario es de 350 l, valor que se ha asociado al tamaño adecuado para el uso de 2 personas. Esto supone un 17% de aumento en el consumo base aproximadamente respecto al primer escenario con 300 l de frigorífico.

En este escenario, aunque las localizaciones son iguales respecto al primer escenario, se experimenta un aumento en la temperatura media asociado a dos razones. La primera es la mejora en el aislamiento de la vivienda debido a su menor antigüedad, ahora entre 1981 y 2006, lo cual se traduce en un acercamiento a la temperatura de referencia de 24 °C. La segunda razón, es un mayor uso de los fogones y del horno por el aumento del número de personas, lo cual aumenta en cierta medida la temperatura media de la cocina. Aun así, las temperaturas de los 3 subescenarios siguen estando por debajo de la temperatura de referencia de 24°C, lo cual se traduce en un ahorro energético, menor en este caso por una menor diferencia con la temperatura base. La corrección por carga térmica sigue suponiendo un ahorro energético por ser el número de habitantes menor al de referencia (2,5 personas), aunque en este caso más cercano al cero que en el escenario anterior. Y por último, se observa un aumento en la corrección por número de aperturas debido a un incremento de esta variable con el número de personas.

En este caso en concreto, el total de correcciones sí que ha resultado ser positivo, por lo que se ha aumentado el consumo base teórico. El porcentaje de aumento en el consumo final respecto al primer escenario teniendo en cuenta todo lo explicado en este escenario ha sido del: 50%, 45% y 40% para los subescenarios 1, 2 y 3 respectivamente. Se puede concluir por lo tanto que el ahorro nominal por persona, en términos porcentuales, se ve mayormente beneficiado al aumentar el número de personas cuanto peor es la eficiencia energética, de la misma manera que se concluyó para el resto de los electrodomésticos en el apartado 5.1.3.

### 5.2.3 ESCENARIO 3

<i>Escenario 3</i>	<i>Subescenarios</i>		
<i>Parámetros</i>	<i>3.1</i>	<i>3.2</i>	<i>3.3</i>
Provincia	La Coruña	Baleares	Córdoba
Antigüedad vivienda	Posterior a 2006	Posterior a 2006	Posterior a 2006
Temp. Amb. Media	22,4 °C	23,7 °C	24,2 °C
Volumen frigorífico (l)	400	400	400
Etiqueta frigorífico	A	D	G
Consumo Base (kWh)	129,8	222,2	490,2
Correc. Temp. Amb. (kWh)	-6,6	-2,3	2,4
Correc. Aperturas (kWh)	41,2	72,3	140,2
Correc. Carga Térmica (kWh)	1,7	3,1	7,0
Total Correcciones (kWh)	36,3	73,0	149,6
<b>Consumo Final (kWh)</b>	<b>166,1</b>	<b>295,2</b>	<b>639,8</b>

*Tabla 28. Valores de los parámetros de la simulación de los distintos subescenarios del escenario 3 en el estudio de la predicción de consumo del modelo del frigorífico*

En la Tabla 28 se puede apreciar como el volumen arbitrario del frigorífico de este escenario es de 400 l, valor que se ha asociado al tamaño adecuado para el uso de 3 personas. Esto supone un 33% de aumento en el consumo base aproximadamente respecto al primer escenario con 300 l de frigorífico, y del 14% respecto al segundo escenario con 350 l. Esta disminución en el incremento porcentual del consumo base representa los factores de uso seleccionados en una de las metodologías base de [3].

En este escenario, las temperaturas medias son aún mayores debido a las dos mismas razones que en el segundo escenario. Se ha mejorado el aislamiento de la vivienda al tratarse de una vivienda posterior a 2006, lo cual se traduce en un acercamiento a la temperatura de referencia de 24 °C. Además, se experimenta otro aumento en el uso de los fogones y del horno por el aumento del número de personas, lo cual aumenta en cierta medida la temperatura media de la cocina. Se puede apreciar como el ahorro energético es menor al ser las temperaturas medias más cercanas a la temperatura de referencia de 24°C, incluso convirtiéndose en un mayor consumo en el tercer subescenario al superar esta temperatura con 24,2 °C. Por otra parte, la corrección por carga térmica también pasa a suponer un incremento correctivo del gasto energético por ser el número de habitantes mayor al de referencia (2,5 personas). Por último, se observa un aumento en la corrección por número de aperturas debido a un incremento de esta variable con el número de personas, al igual que en el escenario anterior y acentuado de la misma manera cuanto peor es la eficiencia energética del frigorífico.

El total de correcciones ha resultado ser más positivo aún, por lo que se ha añadido un factor aún más diferencial en el consumo base teórico. El porcentaje de aumento en el consumo final ha sido para el primer, segundo y tercer subescenario: del 103%, 92% y 82% respecto a los 3 subescenarios del primer escenario, y del 35%, 32% y 30% respecto a los 3 subescenarios del segundo escenario. Se puede concluir por lo tanto la misma observación que previamente: el ahorro nominal por persona, en términos porcentuales, se ve mayormente beneficiado al aumentar el número de personas cuanto peor es la eficiencia energética. Además, se concluye también que este ahorro nominal es mayor cuantas más personas habiten en el hogar. Dicho de otra manera, supone un mayor incremento porcentual en el gasto incorporar a un segundo huésped que a un tercer huésped en la vivienda, por ejemplo.

#### 5.2.4 ESCENARIO 4

<i>Escenario 4</i>	<i>Subescenarios</i>		
<i>Parámetros</i>	<i>4.1</i>	<i>4.2</i>	<i>4.3</i>
Provincia	La Coruña	Baleares	Córdoba
Antigüedad vivienda	Entre 1981 y 2006	Posterior a 2006	Previa a 1981
Temp. Amb. Media	22,4 °C	24,9 °C	24 °C
Volumen frigorífico (l)	450	450	450
Etiqueta frigorífico	A	D	G
Consumo Base (kWh)	146,1	250,0	551,5
Correc. Temp. Amb. (kWh)	-6,5	6,4	0,6
Correc. Aperturas (kWh)	54,9	96,4	186,9
Correc. Carga Térmica (kWh)	5,7	11,0	23,3
Total Correcciones (kWh)	54,1	113,8	210,8
<b>Consumo Final (kWh)</b>	<b>200,1</b>	<b>363,8</b>	<b>762,2</b>

*Tabla 29. Valores de los parámetros de la simulación de los distintos subescenarios del escenario 4 en el estudio de la predicción de consumo del modelo del frigorífico*

En la Tabla 29 se puede apreciar como el volumen arbitrario del frigorífico de este escenario es de 450 l, valor que se ha asociado al tamaño adecuado para el uso de 3 personas. Esto supone un 50% de aumento en el consumo base aproximadamente respecto al primer escenario con 300 l de frigorífico, del 29% respecto al segundo escenario con 350 l, y del 13% respecto al segundo escenario respecto al segundo escenario con 400 l. Esta

disminución en el incremento porcentual del consumo base vuelve a representar los factores de uso seleccionados en una de las metodologías base de [3].

En este escenario, se mezclan distintas antigüedades en los 3 subescenarios. La temperatura media es mayor e igual que la temperatura de referencia de 24 °C en los dos últimos subescenarios, lo que se traduce en un gasto y una contribución nula en sus correspondientes correcciones por temperatura ambiente. Por otra parte, la corrección por carga térmica vuelve a suponer un incremento correctivo del gasto energético por ser el número de habitantes mayor al de referencia (2,5 personas). Por último, se observa un aumento en la corrección por número de aperturas debido a un incremento de esta variable con el número de personas, al igual que en escenarios anteriores y acentuado de misma manera cuanto peor es la eficiencia energética del frigorífico.

El total de correcciones ha resultado ser el más positivo de todos los escenarios. Sin embargo, el porcentaje de aumento en el consumo respecto a los demás escenarios ha seguido cayendo por las dos conclusiones explicadas en el 5.2.3: del 144%, 136% y 117% respecto a los 3 subescenarios del primer escenario, del 62%, 63% y 55% respecto a los 3 subescenarios del segundo escenario, y del 20%, 23% y 19% respecto a los 3 subescenarios del tercer escenario.

## Capítulo 6. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Este trabajo ha logrado cumplir con el objetivo principal propuesto, que consistía en la integración de tres estudios distintos y la unificación de sus metodologías bajo un mismo enfoque coherente y consolidado.

Además, se han alcanzado otros objetivos secundarios importantes, como la actualización de estas metodologías mediante la incorporación y desarrollo de nuevas técnicas que permiten una predicción más precisa y flexible del gasto energético.

En cuanto a la nueva metodología seguida para el etiquetado nuevo de eficiencia energética, basada en medidas directas de la base de datos EPREL [36] como consumos base y la aplicación de los mismos factores de uso y ocupación que en la metodología anterior, se obtienen las siguientes conclusiones y puntos de mejora:

- Se observa un desarrollo desigual en la tecnología de los diferentes electrodomésticos; por ejemplo, las secadoras y los hornos aún se rigen por el etiquetado antiguo. Este fenómeno se debe a que, al diseñar las nuevas etiquetas, se dejó espacio para futuras mejoras tecnológicas, permitiendo que, con el tiempo, el avance en la eficiencia energética (IEE) de los electrodomésticos fuese ocupando posiciones más altas en las categorías de etiquetas.
- Existe una necesidad de tiempo de espera para obtener mejores muestras de la base de datos de electrodomésticos para algunas de las etiquetas de mayor eficiencia energética. Actualmente, muchas de estas categorías cuentan con un número limitado de productos, debido a que la tecnología en este ámbito aún no se ha desarrollado suficientemente, lo que podría comprometer la representatividad de los datos obtenidos.

- Como solución y complemento a este problema, se propone para futuros trabajos, el uso de técnicas de *web scraping* empleando lenguajes de programación como Python. Esto facilitaría la obtención de un catálogo completo de la base de datos, evitando la recolección manual de datos, un proceso complicado por la gran variedad de modelos de cada electrodoméstico disponible. Además, se podrían plantear introducir este input del modelo dentro del catálogo en el caso de su conocimiento por parte del usuario.
- Otra alternativa sería investigar si en la literatura nueva surgen estudios que realicen mediciones directas en viviendas reales, y que puedan ser clasificados según los parámetros que utiliza este modelo. Esto podría contribuir a perfeccionar los valores base de consumo empleados en la nueva metodología (e incluso en otras metodologías anteriores), servir como punto de comparación, y ayudar a recalibrar factores como el de uso y de ocupación. Además, se ha obtenido información, a través de la Universidad de ICAI y los directores de este proyecto, de que los autores de SPAHOUSEC I y II están en proceso de desarrollar una tercera versión, la cual probablemente contendrá datos de gran valor para este propósito.

En cuanto al modelo general, la predicción del consumo y los resultados obtenidos en este proyecto se han extraído varias conclusiones y se proponen posibles puntos de mejora futura:

- Se subraya la importancia de la eficiencia energética en los electrodomésticos, ya que, en los escenarios simulados, el consumo puede ser hasta tres veces mayor dependiendo del nivel de eficiencia en hogares de 2 y 4 personas.
- Es crucial desarrollar métodos para clasificar los electrodomésticos que no están actualmente etiquetados en este modelo. Esto es vital, ya que su consumo permanece constante bajo las mismas condiciones, y su impacto en el modelo deja de ser

comparable si varía significativamente la eficiencia de los aparatos que sí tienen etiquetado. En ausencia de clasificación según el IEE, se propone filtrarlos en función de su antigüedad, tipo de tecnología utilizada, o buscar los estudios ya mencionados que realicen mediciones directas en función de diferentes parámetros.

- El aumento o disminución de la superficie de la vivienda solo afecta al consumo relacionado con la iluminación. Esto es lógico, ya que los patrones de uso de otros electrodomésticos no cambian si el número de dispositivos permanece constante.
- Los elementos cuyo consumo se ve más afectado por el aumento del número de personas son la iluminación y los dispositivos de uso personal, como ordenadores, móviles o tabletas. Por otro lado, los elementos que presentan una mayor sinergia de uso y un mayor ahorro energético al aumentar el número de personas son los aparatos de cocina y refrigeración. No obstante, en los resultados obtenidos, el frigorífico no ha mostrado un ahorro tan significativo como otros electrodomésticos mencionados. Esto se debe a que el nuevo modelo asume un aumento en el volumen necesario en litros del frigorífico con el número de habitantes, lo que incrementa su consumo en comparación con otros dispositivos.
- Al duplicar el número de habitantes en un hogar de dos a cuatro personas en los escenarios realizados en el proyecto, se observa que el aumento en el consumo no es proporcional, sino que se sitúa en valores del 77%, 71%, 59%, 44%, 39%, 78% y 84% según los escenarios simulados. Esto sugiere que, en términos porcentuales, el ahorro energético nominal por persona es mayor cuanto menor es la eficiencia energética de los electrodomésticos. Sin embargo, es importante aclarar que esto no debe interpretarse como una ventaja para los electrodomésticos menos eficientes, ya que su consumo absoluto es significativamente mayor, lo que supondrá un aumento en la factura eléctrica. Además, es crucial considerar el análisis del coste inicial fijo y anual variable de estos electrodomésticos para calcular su periodo de amortización. Un mayor Índice de Eficiencia Energética (IEE) no solo implica un ahorro

económico, sino también un beneficio ambiental al reducir el consumo energético global.

- Similar a la conclusión anterior, se ha observado que el ahorro energético por persona es mayor cuanto mayor es el número de habitantes en el hogar. Es decir, añadir un segundo huésped a una vivienda de una persona representa un mayor coste porcentual que añadir un tercer huésped a una vivienda con dos habitantes.
- Es necesario actualizar el precio por kWh para poder calcular con precisión la magnitud económica del consumo predicho. Actualmente, ha entrado en vigor una nueva tarifa, la 2.0 TD, y se espera un cambio en la regulación que podría llevar a una internalización del mercado eléctrico en Europa. Se recomienda la actualización de estas variables a medida que se consoliden estos cambios regulatorios.
- Actualmente, tanto la corrección por *stand-by* como los factores de ocupación se aplican al consumo final de todos los electrodomésticos. Sería beneficioso analizar cómo estas dos variables afectan a cada electrodoméstico individualmente, e incluso personalizarlas de manera más específica según el tipo de dispositivo.

Por último, en cuanto al modelo desarrollado específicamente para el consumo del frigorífico, se pueden extraer las siguientes conclusiones y propuestas para futuras mejoras:

- El frigorífico ha dejado de ser el electrodoméstico que representa el mayor consumo energético en muchos de los escenarios analizados.
- Además de su característica media (volumen) y la etiqueta de eficiencia energética, las variables que más afectan al consumo del frigorífico son: la temperatura ambiente

- de su entorno, la frecuencia de aperturas a lo largo del día, y la cantidad y temperatura de los alimentos y bebidas introducidos.
- Las correcciones que realiza el modelo en base a estas variables tienen un mayor impacto cuanto menor es el IEE del frigorífico, dado que se calculan como un porcentaje de su consumo total. No obstante, como misma conclusión que en el modelo general, el ahorro energético porcentual por persona es mayor cuanto peor sea la eficiencia energética del electrodoméstico.
  - Con base en la información recogida, se realizan las siguientes recomendaciones para reducir el consumo del frigorífico:
    - Mantener el frigorífico alejado de fuentes de calor como el horno, los fogones, o cualquier otro elemento que emita calor, para minimizar el esfuerzo necesario para mantener su temperatura interna.
    - Reducir la frecuencia de aperturas del frigorífico tanto como sea posible. Nuevas tecnologías, como las puertas con ventanas que permiten ver el contenido sin necesidad de abrirlo, pueden ser especialmente beneficiosas para este fin.
    - Disminuir la carga térmica a la que se somete al frigorífico. Por ejemplo, enfriar el agua del grifo antes de guardarla en el refrigerador o evitar dejar que los alimentos se calienten innecesariamente antes de almacenarlos tras la compra.
    - Organizar adecuadamente el contenido del frigorífico para facilitar el acceso rápido a los alimentos, lo que reduce el tiempo de apertura de la puerta.
    - Asegurarse de que las puertas sellan correctamente, puede mejorar significativamente la eficiencia energética del aparato.
  - Por último, se han realizado varias suposiciones durante el desarrollo de este modelo específico. Sería altamente beneficioso continuar investigando sobre informes que aborden los parámetros utilizados en este proyecto o llevar a cabo experimentos que analicen cómo estas tres variables de corrección se comportan y que efecto tienen en relación con los diferentes inputs del modelo general.

## Capítulo 7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] C. E. d. I. Regiones, « Es hora de erradicar la pobreza energética en Europa,» 27 Junio 2019. [En línea]. Available: <https://cor.europa.eu/es/news/Pages/time-to-eradicate-energy-poverty-in-europe.aspx>.
- [2] Á. C. López-Medel, «Desarrollo de un Modelo Teórico para la Determinación del Gasto Eléctrico en un Hogar Español,» 2022.
- [3] G. B. Angulo, «Estudio de la influencia de la eficiencia energética de los diferentes electrodomésticos de un hogar español en su gasto eléctrico,» 2022.
- [4] M. F. Pedraz, «Desarrollo de un modelo de cálculo del consumo eléctrico por iluminación en un hogar español,» 2022.
- [5] R. Barrella, «Household's energy burden during the 2022 crisis: a policy impact assessment in a Southern European country,» Aceptado para su publicación, 2024.
- [6] M. p. I. T. E. y. e. R. Demográfico, «Pobreza Energética, Estrategia Nacional contra la Pobreza Energética 2019-2024,» [En línea]. Available: <https://www.miteco.gob.es/es/ministerio/planes-estrategias/estrategia-pobreza-energetica.html>.
- [7] M. p. I. T. E. y. e. R. Demográfico, «Pobreza Energética, Estrategia Nacional contra la Pobreza Energética 2019-2024,» [En línea]. Available: <https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/ministerio/planes-estrategias/estrategia->

pobrezaenergetica/actualizaciondelosindicadoresdelaestrategianacionalcontralapobrezaenergetica-2022\_tcm30-549718.pdf.

- [8] OCU, Noviembre 2023. [En línea]. Available: <https://www.ocu.org/vivienda-y-energia/gas-luz/informe/precio-luz>.
- [9] TotalEnergies, «Qué medidas ha aprobado el gobierno para contener el precio de la energía 2024,» 2024. [En línea]. Available: <https://www.totalenergies.es/es/hogares/blog/energia-actualidad/nuevas-medidas-gobierno-marzo-2022-contener-precio-luz>.
- [10] E. M. J. S.-D. E. J. y. J. B. P. Escobar, «Modeling and analysis of the electricity consumption profile of the residential sector in Spain,» Energy & Buildings, 2020.
- [11] «Demanda 2023,» Red Eléctrica, 2023. [En línea]. Available: <https://www.sistemaelectrico-ree.es/informe-del-sistema-electrico/demanda/evolucion-demanda>.
- [12] A. J. Y. Z. Sorena Vosoughkhosravi, «Application of American time use survey (ATUS) in modelling energy-related occupant-building interactions: A comprehensive review,» Energy & Buildings, 2022.
- [13] M. Osman, «A comprehensive review of time use surveys in modelling occupant presence and behavior: Data, methods, and applications,» Building and Environment, 2021.
- [14] Eurostat, «HARMONISED EUROPEAN TIME USE SURVEYS (HETUS),» [En línea]. Available: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/time-use-surveys/database>.
- [15] U. B. o. L. Statistics, «American Time Use Survey,» [En línea]. Available: <https://www.bls.gov/tus/methods-overview.htm>.

- [16] S. G. D. d. P. y. Estudios, «Proyecto Sech-Spahousec. Análisis del consumo energético del sector residencial en España,» IDAE, 2011.
- [17] D. d. P. y. Estudios, «Estudio SPAHOUSEC II. Análisis estadístico del consumo de gas natural en las viviendas principales con calefacción individual,» IDAE, 2019.
- [18] INE, «Encuesta de Empleo de Tiempo,» 2010. [En línea]. Available: [https://www.ine.es/prensa/eet\\_prensa.htm](https://www.ine.es/prensa/eet_prensa.htm).
- [19] ECODES, «Ni un hogar sin energía,» [En línea]. Available: <https://niunhogarsinenergia.org/>.
- [20] E. W. R. C. A. Sekar, «Changes in time use and their effect on energy,» 2018.
- [21] F. G. J.-M. C. S. De Lauretis, «Energy consumption and activity patterns: an analysis extended to total time and energy use for French households,» 2017.
- [22] J. M. I. G. I. W. F. D. D. Aerts, «A method for the,» Buildings and Environment, 2014.
- [23] «Household budget survey (HBS),» StatBel, 2020. [En línea]. Available: <https://statbel.fgov.be/en/themes/households/household-budget-survey-hbs#documents>.
- [24] X. W. K. S. J. Chen, «A statistical analysis of a residential energy consumption survey study in Hangzhou, China,» Energy and Buildings, 2013.
- [25] «Household Electricity Survey-UK,» Gob.UK, [En línea]. Available: <https://www.gov.uk/government/collections/household-electricity-survey>.

- [26] e. a. Y. Yamaguchi, «An integrated approach of estimating demand response flexibility of domestic laundry appliances based on household heterogeneity and activities,» *Energy Pol*, 2020.
- [27] V. I. U. L. G. Swan, «Modeling of end-use energy consumption in the residential sector: A review of modeling techniques,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013.
- [28] Y. Y. C. K. C. C. F. C. D. Mitra, «Characteristics of Residential Occupancy Profiles for Different Income Groups in the United States,» de *ASHRAE TRANSACTIONS Vol- 127*, 2021.
- [29] Y. C. K. C. D. Mitra, «Cluster analysis of occupancy schedules in residential buildings in the United States,» *Energy and Buildings*, 2021.
- [30] J. C. X. J. a. Z. N. J. Y. Park, «Investigating occupancy profiles using convolutional neural networks,» 2019.
- [31] C. Wang, «Cost effective and non-intrusive occupancy detection in residential building through machine learning algorithm,» Santa Clara University, 2020.
- [32] U. d. Granada, «Cadenas de Markov».
- [33] R. Bevans, «Compare the means of two groups,» 2022.
- [34] E. W. R. C. A. Sekar, «Changes in time use and their effect on energy consumption in the United States,» 2018.
- [35] F. H. V. T.-F. U. P. D.M. Koupaei, «A technique for developing high-resolution residential occupancy schedules for urban energy models,» 2019.

- [36] E. Comisión, «EPREL (Registro europeo de productos para el etiquetado energético),» 2024. [En línea]. Available: <https://eprel.ec.europa.eu/screen/home>.
- [37] O. J. o. t. E. Unión, «COMMISSION DELEGATED REGULATION (EU) 2023/2534,» 13 July 2023.
- [38] INE, «Hogares en casa,» [En línea]. Available: [https://www.ine.es/ss/Satellite?L=es\\_ES&c=INECifrasINE\\_C&cid=1259952645332&p=1254735116567&pagename=ProductosYServicios%2FINECifrasINE\\_C%2FPYSDetalleCifrasINE#:~:text=Clasificados%20seg%C3%BAAn%20su%20tama%C3%B1o%2C%20los,en%20hogares%20de%20cuatro%20miemb](https://www.ine.es/ss/Satellite?L=es_ES&c=INECifrasINE_C&cid=1259952645332&p=1254735116567&pagename=ProductosYServicios%2FINECifrasINE_C%2FPYSDetalleCifrasINE#:~:text=Clasificados%20seg%C3%BAAn%20su%20tama%C3%B1o%2C%20los,en%20hogares%20de%20cuatro%20miemb).
- [39] ViewSonic, «¿Qué es el HDR? Comparación de HDR frente a SDR,» [En línea]. Available: <https://viewsonic.com/library/es/fotografia-es/que-es-el-hdr-comparacion-de-hdr-frente-a-sdr/>.
- [40] OCU, «Electrodomésticos: Frigoríficos y neveras,» 2024. [En línea]. Available: <https://www.ocu.org/electrodomesticos/frigorificos>.
- [41] C. D. R. (EU), «2019/2016,» *Official Journal of the European Union*.
- [42] W. Spark, «El tiempo durante todo el año en cualquier lugar del mundo,» 2024. [En línea]. Available: <https://es.weatherspark.com/>.
- [43] INE, «Métodos y proyectos - Glosario de Conceptos - Escalas de Equivalencia,» 2024. [En línea]. Available: <https://www.ine.es/DEFIne/es/concepto.htm?c=5228>.
- [44] INE, «Cifras INE - Hogares en casa,» 2024. [En línea]. Available: [https://www.ine.es/ss/Satellite?L=es\\_ES&c=INECifrasINE\\_C&cid=1259952645332&p=1254735116567&pagename=ProductosYServicios%2FINECifrasINE\\_C%2F](https://www.ine.es/ss/Satellite?L=es_ES&c=INECifrasINE_C&cid=1259952645332&p=1254735116567&pagename=ProductosYServicios%2FINECifrasINE_C%2F)



## ANEXO. ALINEACIÓN CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS)

Este proyecto se alinea con varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por las Naciones Unidas. A continuación, se enumeran los objetivos específicos a los que este proyecto puede ayudar a acercarse y conseguir a través de su propósito y resultado:

### Objetivo 1 - Fin de la Pobreza

La herramienta DIAGNÓSTICO, mediante su capacidad para estimar y analizar el gasto energético en hogares vulnerables, contribuye directamente a la reducción de la pobreza vinculada a la energía al poder mejorar información sobre el gasto energético de estas familias y potencialmente optimizar su factura eléctrica.

### Objetivo 3 - Salud y Bienestar

La mejora de las condiciones energéticas en los hogares impacta positivamente en la salud y el bienestar de las personas. La reducción de la pobreza energética resulta en ambientes domésticos más seguros y saludables, al garantizar un acceso adecuado a la energía para calefacción, refrigeración y necesidades básicas.

### Objetivo 7 - Energía Moderna. Asequible y No Contaminante

Al centrarse en la estimación del gasto eléctrico y la eficiencia energética, este proyecto aborda directamente el séptimo objetivo, trabajando hacia un acceso sostenible a servicios de energía asequibles y promoviendo prácticas más limpias y eficientes.

### Objetivo 11 - Ciudades y Comunidades Sostenibles

La implementación de modelos más precisos y complejos para la estimación del consumo energético en hogares favorece la construcción de comunidades más sostenibles, al promover un uso responsable de los recursos energéticos y una planificación urbana y local más eficiente.

### Objetivo 13 - Acción por el Clima

El énfasis en la eficiencia energética y la reducción de la pobreza energética contribuye directamente a la mitigación del cambio climático, apoyando la transición hacia un consumo de energía más sostenible y menos perjudicial para el medio ambiente.