



# MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

## DESARROLLO DE UN MODELO DE CÁLCULO DEL CONSUMO ELÉCTRICO POR ILUMINACIÓN EN UN HOGAR ESPAÑOL.

Autor: Mario Fernández Pedraz

Director: Eva María Arenas Pinilla

Co-Director: Roberto Barrella

Madrid

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título  
**DESARROLLO DE UN MODELO DE CÁLCULO DEL CONSUMO ELÉCTRICO POR  
ILUMINACIÓN EN UN HOGAR ESPAÑOL.**


en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el

curso académico 2021/22 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.: Mario Fernández Pedraz  Fecha: 17/07/2022

Autorizada la entrega del proyecto

**EL DIRECTOR DEL PROYECTO**

 Firmado digitalmente por  
Eva Arenas  
Fecha:  
2022.07.18  
14:59:40 +02'00'

Fdo.: Eva María Arenas Pinilla Fecha: 18/ 07/2022

Firmado por Y6622135N  
ROBERTO BARRELLA el día  
18/07/2022 con un  
certificado emitido por AC  
CAMERFIRMA FOR NATURAL  
PERSONS - 2016

Fdo.: Roberto Barrella Fecha: 18/ 07/2022





# MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

## DESARROLLO DE UN MODELO DE CÁLCULO DEL CONSUMO ELÉCTRICO POR ILUMINACIÓN EN UN HOGAR ESPAÑOL.

Autor: Mario Fernández Pedraz

Director: Eva María Arenas Pinilla

Co-Director: Roberto Barrella

Madrid

# **Agradecimientos**

Quiero expresar mi agradecimiento:

A los profesores Eva María Arenas Pinilla y Roberto Barrella, directores de este trabajo, por su continuo apoyo y dedicación.

A mi familia, que ha estado siempre a mi lado ofreciéndome apoyo y consejo.

A Alejandra, por su apoyo incondicional a lo largo de este año.



# **DESARROLLO DE UN MODELO DE CÁLCULO DEL CONSUMO ELÉCTRICO POR ILUMINACIÓN EN UN HOGAR ESPAÑOL.**

**Autor: Fernández Pedraz, Mario.**

Directores: Arenas Pinilla, Eva María; Barrella, Roberto

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

## **RESUMEN DEL PROYECTO**

Ante los retos provocados por la situación geopolítica actual y por los efectos del cambio climático, la situación energética se ha convertido en algo clave a nivel social. Para poder hacer frente a los retos en el sector energético y paliar la pobreza vinculada a la energía es necesario conocer los gastos energéticos de los hogares. Este trabajo consiste en la creación de un modelo que permita calcular el consumo eléctrico por iluminación en un hogar español en base a datos objetivos, obtenidos a través de la Encuesta de Empleo de Tiempo del Instituto Nacional de Estadística.

**Palabras clave:** Iluminación, modelo de consumo energético.

### **1. Introducción**

Para poder desarrollar un modelo que calcule el consumo eléctrico por iluminación es necesario definir aquellos factores que afectarán en mayor medida al mismo.

Se han detectado varios factores clave:

- Actividades realizadas en el hogar: el uso de aparatos de iluminación está directamente relacionada con la actividad que se realiza dentro del hogar, ya que estos aparatos solo se utilizan cuando las personas realizan actividades dentro de su vivienda.
- Luz natural exterior: el uso de iluminación artificial se usa en los momentos en los que la luz natural no es suficiente para cubrir las necesidades lumínicas de las personas. Hay dos factores externos que afectan a la luz natural que llega a la vivienda. El primero de ellos es la localización geográfica de la vivienda, ya que el número de horas de sol cambia dependiendo de la latitud donde se encuentre situada la vivienda. La época del año también afecta a la luz natural disponible, siendo los días invernales más cortos que los de verano.
- Tamaño del hogar: dependiendo del número de personas que vivan en un mismo hogar y su situación social la energía consumida en la realización de las tareas será distinta..
- Tipo de luminaria usada: en el mercado existen diversos tipos de tecnologías de iluminación disponibles. Cada una de ellas tiene un consumo y una eficiencia

energética distinta. Conocer el tipo de tecnología usada es clave para poder calcular la energía consumida en el hogar.

## 2. Desarrollo del modelo

Para poder conocer los hábitos de la población se ha recurrido a la Encuesta de Empleo de Tiempo, desarrollada por el Instituto Nacional de Estadística. Esta encuesta contiene las actividades realizadas por los miembros de múltiples hogares repartidos por toda la geografía española. Analizando estos datos se pueden crear curvas que reproduzcan los hábitos de consumo en cada uno de los hogares. La encuesta proporciona además información detallada sobre cada uno de los hogares, por lo que es posible dividir los distintos hogares según las características que se han considerado más importantes.

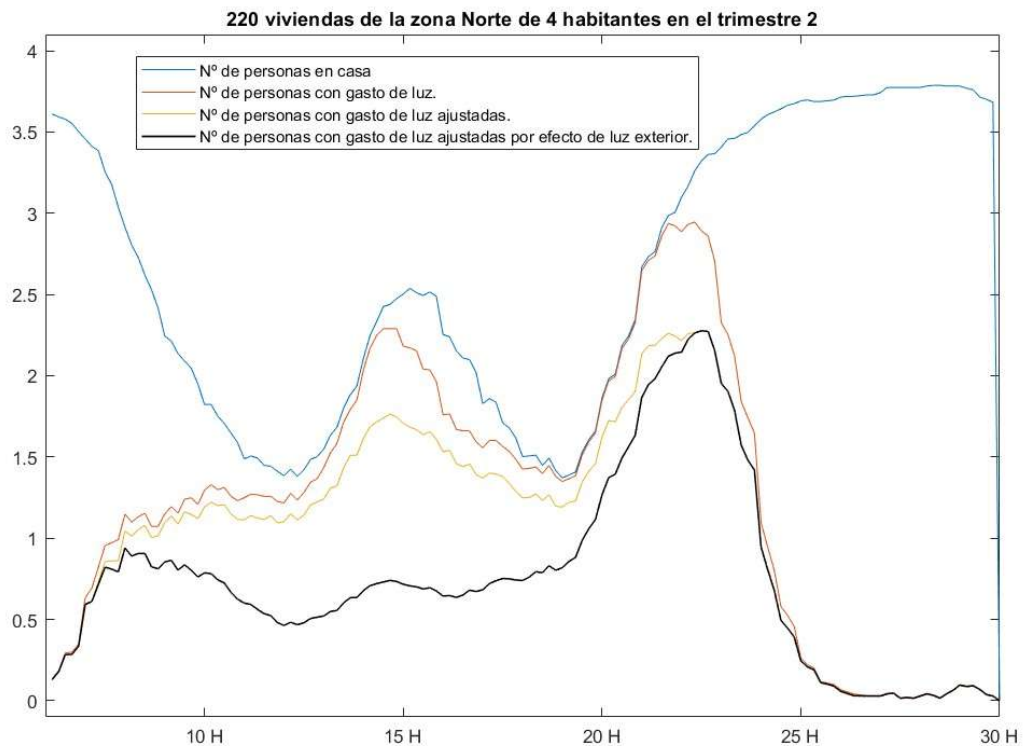


Ilustración 1. Ejemplo de curvas de uso de luz.

El parque de aparatos de iluminación existente en los hogares españoles es muy variado, existiendo una gran variedad de tecnologías de iluminación, desde las bombillas de filamento incandescente tradicionales a las lámparas LED mucho más eficientes. Además, hay que tener en cuenta que para distintas actividades se requieren distintos niveles de



iluminación y que, para iluminar superficies más amplias se requiere mayor potencia y, por tanto, mayor consumo.

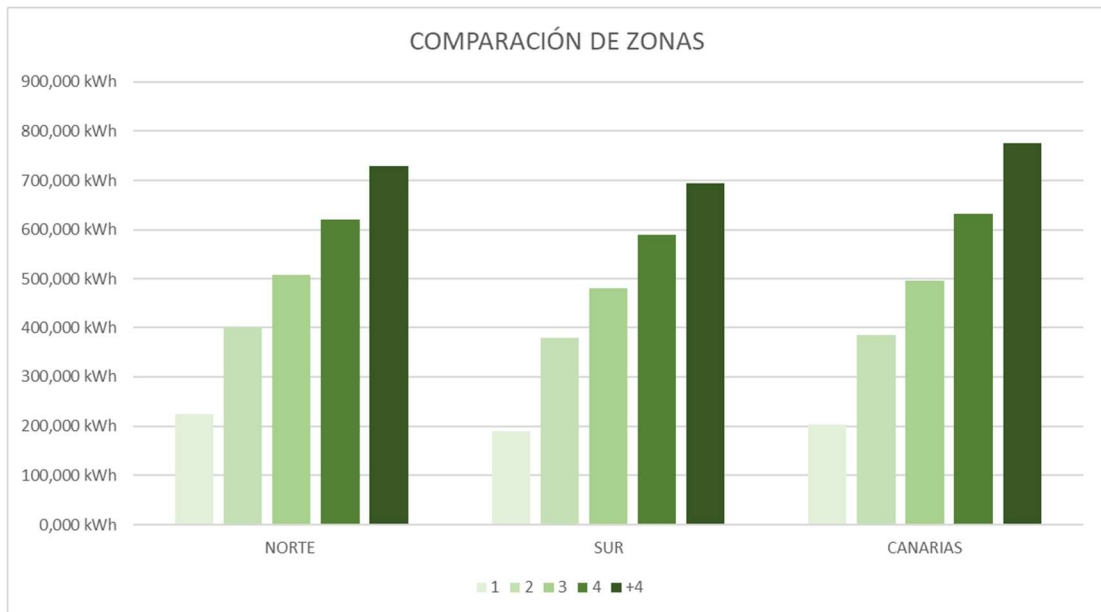
Una vez que se sabe el tiempo durante el que es necesario utilizar iluminación artificial y la potencia empleada, se pueden combinar para obtener la energía consumida.



*Ilustración 2. Curva de la potencia empleada durante un día.*

Con las curvas de consumo de potencia instantánea, la energía consumida por día se puede calcular fácilmente como el área debajo de la curva potencia-tiempo. Para conseguir la energía de todo un periodo de tiempo hay que multiplicar la energía consumida en un día por la duración de ese periodo de tiempo.

### **3. Resultados y conclusiones**



*Ilustración 3. Consumos de energía anuales según la zona geográfica y el número de integrantes del hogar.*

Con los resultados obtenidos del modelo se puede estudiar si los factores que inicialmente se supusieron como importantes verdaderamente lo son.

Las actividades realizadas en el hogar ha sido el factor que más influencia ha tenido en el gasto total. Esto se debe a que solo se consume energía eléctrica para iluminación cuando las personas están en el hogar. De igual manera, el número de integrantes del hogar es un factor clave a la hora de determinar el consumo. La importancia de este factor radica en que cuantas más personas formen parte del hogar, más energía por iluminación se gastará. En este apartado es importante tener en cuenta que cuando dos personas del mismo hogar están realizando la misma actividad de manera conjunta, el consumo de energía se debe repartir entre las dos personas para conseguir un modelo más cercano a la realidad.

La luz exterior disponible ha aparecido como el factor que menos ha influido en los consumos, devolviendo el modelo consumos muy similares para hogares de iguales características, pero con distinto acceso a luz natural. Este poco impacto se puede deber a que dentro de España las diferencias de disponibilidad de luz exterior no son significativas entre las distintas latitudes.

#### 4. Referencias

1. INE, “Encuesta de Empleo del Tiempo”, 2010. [https://www.ine.es/prensa/eet\\_prensa.htm](https://www.ine.es/prensa/eet_prensa.htm).
2. E. Arenas, R. Barrella, A. Cosín, J. Linares “Desarrollo de un modelo de cálculo de gasto eléctrico teórico en los hogares españoles” ECODES, Noviembre 2020
3. I. Richardson, M. Thomson, D. Infield, A. Delahunty “Domestic lighting: A high-resolution energy demand model” Energy & Buildings, Febrero 2009

# **CREATION OF A MODEL TO CALCULATE THE COMSUPTION OF ENERGY DUE TO THE USE OF LIGHTING IN A SPANISH HOME.**

**Author: Fernández Pedraz, Mario.**

Supervisors: Arenas Pinilla, Eva María; Barrella, Roberto

Collaborating Entity ICAI – Universidad Pontificia Comillas

## **ABSTRACT**

Faced with the challenges posed by the current geopolitical situation and the effects of climate change, the energy situation has become a key social issue. In order to meet the challenges in the energy sector and alleviate energy-related poverty, it is necessary to know the energy expenditures of households. This work consists in the creation of a model to calculate the electricity consumption by lighting in a Spanish home based on objective data, obtained through the Time Use Survey of the National Statistics Institute

**.Keywords:** Bluetooth, Mobile, Indoor

## **1. Introduction**

To develop a model that calculates the electricity consumption by lighting it is necessary to define those factors that will affect it to a greater extent.

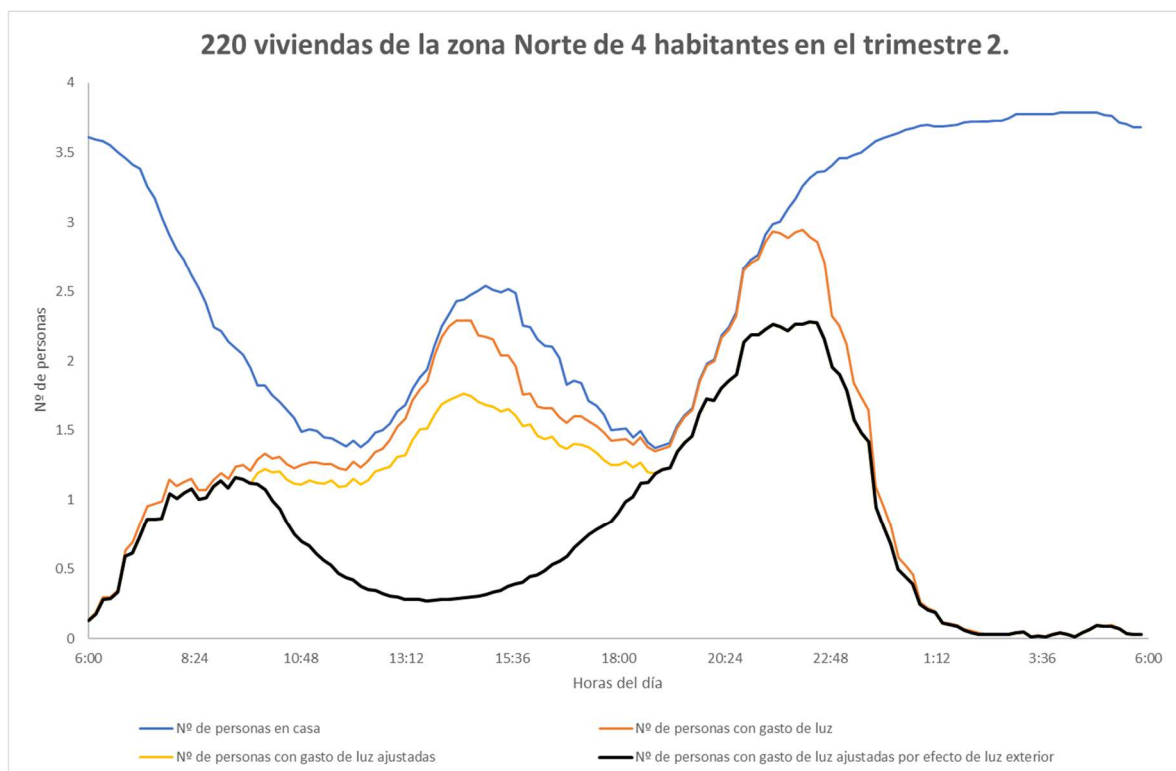
Several key factors have been identified:

- Activities carried out in the home: the use of lighting devices is directly related to the activity carried out inside the home, since these devices are only used when people perform activities inside their home.
- Outdoor natural light: The use of artificial lighting is used at times when natural light is not enough to meet people's light needs. There are two external factors that affect the natural light that reaches the house. The first of these is the geographical location of the house, since the number of hours of sun changes depending on the latitude where the house is located. The time of year also affects the available natural light, being the winter days shorter than those of summer.
- Household size: depending on the number of people living in the same household and their social situation the energy consumed in carrying out the tasks will be different.

- Type of luminaire used: Various types of lighting technologies are available on the market. Each of them has a different energy consumption and efficiency. Knowing the type of technology used is key to be able to calculate the energy consumed in the home.

## 2. Model development

The Time Use Survey, developed by the National Statistics Institute, has been used to ascertain the habits of the population. This survey contains the activities carried out by members of multiple households throughout Spain. Analysing these data can create curves that reproduce consumption habits in each of the households. The survey also provides detailed information on each household, so it is possible to divide the different households according to the characteristics that have been considered most important.

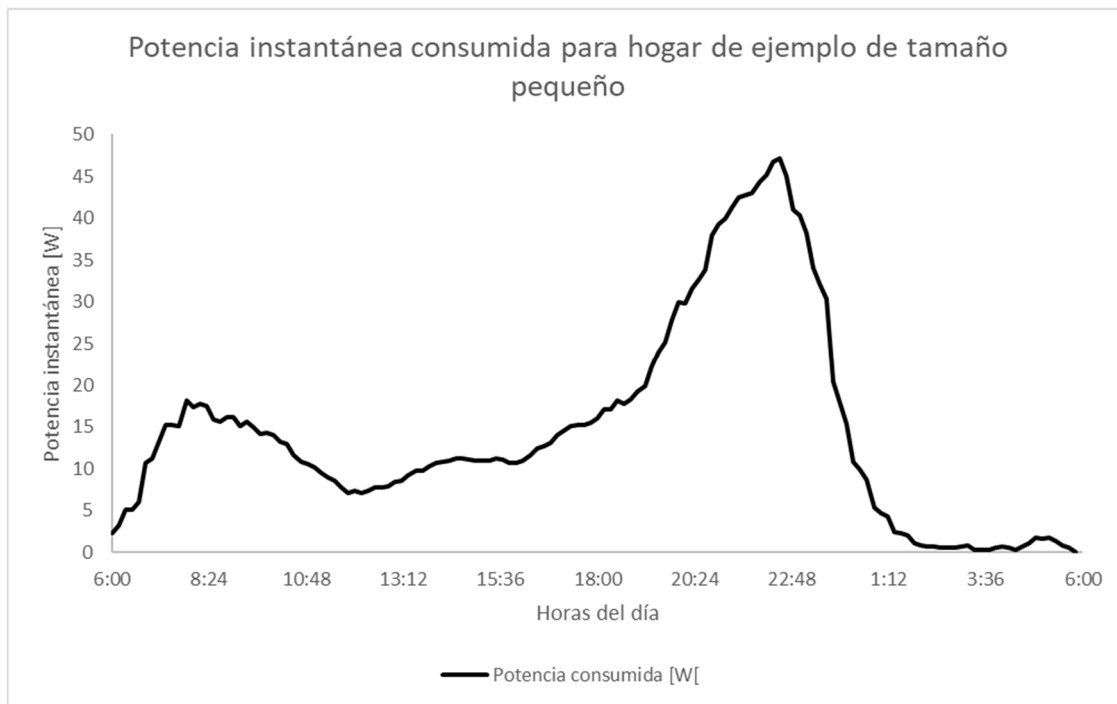


*Illustration 1. Example of lighting use curves.*

The park of lighting devices in Spanish homes is very varied, there is a wide variety of lighting technologies, from traditional incandescent filament bulbs to LED lamps much more

efficient. In addition, it should be considered that different levels of lighting are required for different activities and that, to illuminate larger surfaces, more power is required and, therefore, more consumption.

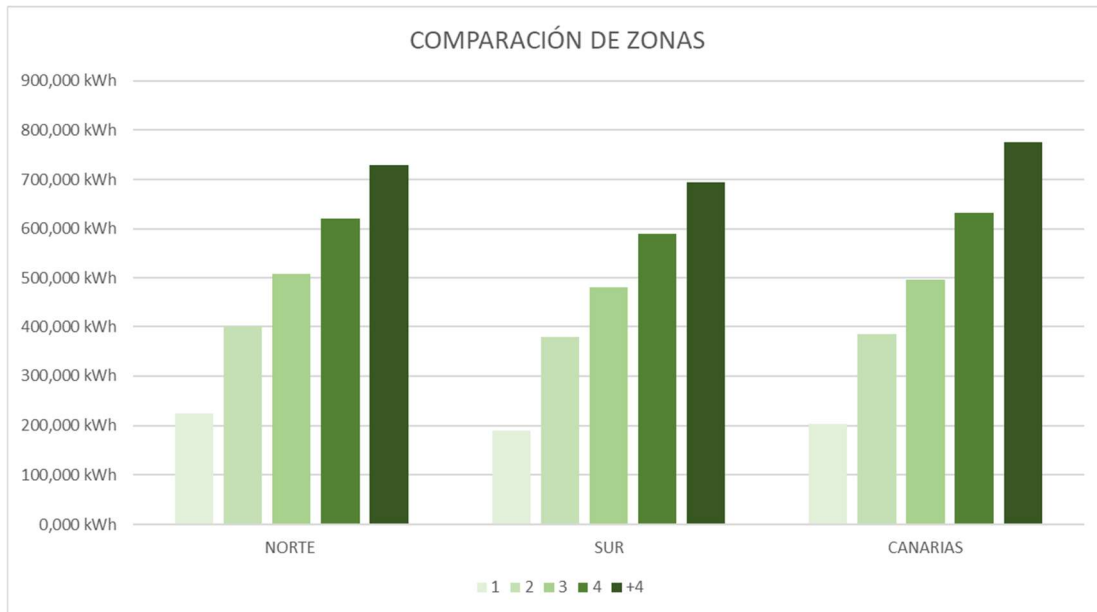
Once you know the time during which you need to use artificial lighting and the power used, you can combine them to get the energy consumed.



*Illustration 2. Curve showing the power used by a home during a single day.*

With the instantaneous power consumption curves, the energy consumed per day can be easily calculated as the area below the power-time curve. To get the energy of a whole period you have to multiply the energy consumed in a day by the duration of that period of time.

### 3. Results and conclusions



*Illustration 3. Annual energy consumption according to geographical area and number of household members.*

With the results obtained from the model it can be studied if the factors that were initially assumed to be important are important.

Household activities have been the most influential factor in total spending. This is because electricity is only consumed for lighting when people are at home. Similarly, the number of household members is a key factor in determining consumption. The importance of this factor is that the more people in the household, the more energy for lighting will be spent. In this section it is important to keep in mind that when two people from the same household are doing the same activity together, the energy consumption must be distributed between the two people to get a model closer to reality.

The available outdoor light has appeared as the factor that has had the least influence on consumption, returning the model very similar consumption for homes of the same characteristics, but with different access to natural light. This little impact may be due to the fact that within Spain the differences in the availability of external light are not significant between the different latitudes.

#### 4. References

1. INE, “Encuesta de Empleo del Tiempo”, 2010. [https://www.ine.es/prensa/eet\\_prensa.htm](https://www.ine.es/prensa/eet_prensa.htm).
2. E. Arenas, R. Barrella, A. Cosín, J. Linares “Desarrollo de un modelo de cálculo de gasto eléctrico teórico en los hogares españoles” ECODES, Noviembre 2020
3. I. Richardson, M. Thomson, D. Infield, A. Delahunty “Domestic lighting: A high-resolution energy demand model” Energy & Buildings, Febrero 2009



## *Índice de la memoria*

<b>Capítulo 1. Introducción al proyecto.</b>	<b>6</b>
1.1 Objetivos	6
<b>Capítulo 2. Estado de la Cuestión y estrategia</b>	<b>8</b>
2.1 ¿Qué estudios parecidos existen en la actualidad?	8
2.2 Métodos para realizar este tipo de estudios.	8
2.3 Estrategia en este proyecto.	9
2.3.1 Factores que influyen en el consumo de energía.	9
<b>Capítulo 3. Creación del modelo.</b>	<b>11</b>
3.1 Descripción del modelo	11
3.1.1 Ventajas de este modelo.	11
3.2 Fuentes utilizadas	11
3.2.1 Encuesta de empleo de tiempo.	12
<b>Capítulo 4. Curvas de empleo de tiempo.</b>	<b>15</b>
4.1 Hipótesis iniciales.	15
4.2 Desarrollo	16
4.3 Correcciones al modelo base	16
4.3.1 Factor de uso simultáneo.	17
4.3.2 Factor de luz solar y división temporal y geográfica.	17
4.4 Construcción de las curvas de empleo de tiempo.	22
4.4.1 Confianza en los resultados.	27
<b>Capítulo 5. Potencia eléctrica consumida</b>	<b>31</b>
5.1 Factores que influyen en la potencia consumida.	31
5.1.1 Actividad realizada.	31
5.1.2 Tipo de luminaria.	31
5.1.3 Tamaño de la vivienda.	34
5.2 Cálculo de potencia consumida.	34
<b>Capítulo 6. Modelo final, comparación y comentarios.</b>	<b>36</b>
6.1 Modelo final.	36

6.1.1 Lectura de la tabla de resultados.....	37
6.1.2 Resultados globales.....	37
6.1.3 Desarrollo de los resultados.....	37
6.1.4 Análisis de los resultados obtenidos.....	43
6.2 Comparación del modelo obtenido con otros existentes.....	44
6.3 Futuras líneas de investigación.....	45
<b>Capítulo 7. Relación del proyecto con los ODS.....</b>	<b>47</b>
<b>Capítulo 8. Bibliografía.....</b>	<b>49</b>
<b>ANEXO I. Código MATLAB.....</b>	<b>51</b>

## *Índice de figuras*

Imagen 1. Descripción del fichero de datos de uso de tiempo. Datos tomados de la Encuesta de Empleo de Tiempo. [1] .....	12
Imagen 2. Ejemplo de gráfica de nubosidad de la ciudad de Valladolid, perteneciente a la zona Norte. Información obtenida de la aplicación meteorológica WeatherSpark. [15] ....	19
Imagen 3. Coeficiente reductor del uso de iluminación en la zona Norte. Elaborada a partir de datos proporcionados por el Instituto Geográfico Nacional [14] y la aplicación de observación meteorológica Weather Spark [15]. .....	20
Imagen 4. Coeficiente reductor del uso de iluminación en la zona Sur. Elaborada a partir de datos proporcionados por el Instituto Geográfico Nacional [14] y la aplicación de observación meteorológica Weather Spark [15]. .....	21
Imagen 5. Coeficiente reductor del uso de iluminación en la zona Canarias. Elaborada a partir de datos proporcionados por el Instituto Geográfico Nacional [14] y la aplicación de observación meteorológica Weather Spark [15]. .....	22
Imagen 6. Curva de empleo de tiempo de una sola persona. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos con el modelo desarrollado. ....	23
Imagen 7. Curva de uso de tiempo de un hogar al completo. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos con el modelo desarrollado. ....	24
Imagen 8. Curva de uso de tiempo de un hogar al completo mostrando la corrección por actividad simultánea. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos con el modelo desarrollado. ....	25
Imagen 9. Curva de empleo de tiempo de todos los hogares con las mismas características (zona geográfica Norte, 4 habitantes, segundo trimestre). Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos con el modelo desarrollado. ....	26
Imagen 10. Curva de empleo de tiempo de todos los hogares con las mismas características (zona geográfica Norte, 4 habitantes, segundo trimestre) incluyendo corrección por luz	

---

exterior. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos con el modelo desarrollado. .....	27
Imagen 11. Curva de potencia instantánea consumida un hogar. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos con el modelo desarrollado. ....	35
Imagen 12. Consumos totales por trimestre y anuales previstos por el modelo según.....	36
Imagen 13. Comparación del consumo anual por zonas para hogares de tamaño mediano. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos con el modelo desarrollado.....	38
Imagen 14. Resultados detallados de la zona Norte. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos con el modelo desarrollado. ....	39
Imagen 15. Resultados detallados de la zona Sur. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos con el modelo desarrollado. ....	40
Imagen 16. Resultados detallados de la zona Canarias. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos con el modelo desarrollado. ....	41
Imagen 17. Consumo anual según cada trimestre para hogares de 2 miembros. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos con el modelo desarrollado. ....	42
Imagen 18. Consumo anual según cada trimestre para hogares de 4 miembros. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos con el modelo desarrollado. ....	43

## *Índice de tablas*

Tabla 1. Distribución de los hogares según zona geográfica, número de habitantes y trimestre.....	29
Tabla 2. Comparativa de las distintas tecnologías de iluminación. Elaboración propia a partir de fichas técnicas de los principales fabricantes. [10][11][12][13].....	32
Tabla 3. Distribución de las tecnologías de iluminación en España. Elaborado a partir de los datos del estudio SPAHOUSEC. [2] .....	33
Tabla 4. Potencias supuestas de los elementos de iluminación según requerimientos de la actividad. Elaboración propia a partir de los datos de la tabla 1 y tabla 2. ....	33
Tabla 5. Consumo del hogar medio según tamaño.....	37
Tabla 6. Comparativa entre el modelo propuesto y el estudio SECH-SPAHOUSEC [2]...	45

## **Capítulo 1. INTRODUCCIÓN AL PROYECTO.**

En los últimos años la cuestión energética ha ido aumentando en importancia [9], tanto en el ámbito social, como en el político o en el científico, llegando incluso a ser mencionado como uno de los puntos clave de la estrategia para organizaciones como la OTAN [5], que, tradicionalmente, no han estado asociadas a estos ámbitos. El cambio climático, el encarecimiento de la energía y la dependencia que se tiene sobre las fuentes de energía tradicionales y los países que las controlan han hecho del tema energético uno de los más discutidos en todos los ámbitos de la sociedad [5][4].

Ante tal preocupación es imprescindible poder medir y cuantificar de la forma más precisa posible el consumo energético del país.

En este contexto, la Cátedra de Energía y Pobreza de la Universidad Pontificia Comillas ha propuesto un modelo con el fin de calcular el consumo energético requerido en los hogares españoles [26]. Este proyecto se encuadra dentro de esa línea de investigación y se centrará en el cálculo del consumo energético requerido por las necesidades de iluminación en un hogar español.

### ***1.1 OBJETIVOS***

El objetivo de este proyecto es la creación de un modelo que calcule la energía consumida en un hogar debido al uso de dispositivos de iluminación. Para lograrlo se estudiarán los factores que tengan una mayor influencia en este gasto y se definirá una metodología que permita a este trabajo englobarse en el proyecto general de la Cátedra contribuyendo así a crear un modelo robusto que permita calcular el consumo energético en los hogares españoles.



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

### ***2.1 ¿QUÉ ESTUDIOS PARECIDOS EXISTEN EN LA ACTUALIDAD?***

En la actualidad no existe un gran número de estudios con el alcance y características del que se quiere desarrollar. La mayoría de los estudios que se realizan con alcance de carácter local, normalmente a nivel de comunidad autónoma. Esto se debe principalmente a la gran dificultad que entraña realizar un estudio de estas características con un alcance de nivel nacional. [18]

Existe un estudio que si cumple con las características indicadas y ha sido realizado a nivel nacional. Se trata del estudio SECH-SPAHOUSEC [2], un estudio que intenta estimar el consumo energético total de los hogares españoles. El SECH-SPAHOUSEC contempla consumos tanto eléctricos como de otras fuentes de energía como el gas que se usa para la calefacción o para conseguir agua caliente en las viviendas. Se trata, por tanto, de un estudio muy completo y que servirá de referencia y como punto comparativo de este modelo que se quiere desarrollar.

### ***2.2 MÉTODOS PARA REALIZAR ESTE TIPO DE ESTUDIOS.***

En los ámbitos académicos se han desarrollado dos tipos de metodologías principales para crear estos estudios.

El primer método, y el más extendido, consiste en crear un modelo de consumo energético a partir de estudios previamente realizados sobre patrones de comportamiento en la sociedad, ya sean datos técnicos sobre los aparatos usados en los hogares o datos sobre los hábitos y



comportamientos de la población. Estos datos se obtienen normalmente a partir de encuestas, ya sean realizadas por el organismo que va a realizar el modelo o aprovechando otras encuestas ya realizadas que pueden contener datos relevantes para el modelo que se quiere desarrollar. [20]

Una de las limitaciones de esta estrategia es la dependencia de una encuesta de alcance tan amplio como el del modelo que se quiere desarrollar. Otra limitación es que este tipo de encuestas requieren una gran cantidad de tiempo y recursos para poder realizarse y, por tanto, los datos de los que se dispone suelen ser antiguos.

La otra estrategia utilizada consiste en la creación de hipótesis sobre el comportamiento de la población y mediante simulaciones por ordenador crear un modelo que simule el consumo de la misma. Una vez realizado el modelo computacional es necesario compararlo con resultados reales e iterar sobre las hipótesis iniciales hasta tener un modelo robusto que simule con precisión el gasto energético de la sociedad que se está estudiando. [17]

## **2.3 ESTRATEGIA EN ESTE PROYECTO.**

En este proyecto se va a usar la primera estrategia, concretamente se va a usar la Encuesta de Empleo de Tiempo [1] llevada a cabo por el Instituto Nacional de Estadística como base de datos que se usará para estudiar el comportamiento de la población. Una vez que se conocen las actividades que realiza la población se pueden relacionar con gastos energéticos, en este proyecto, gasto relacionado con el uso de aparatos de iluminación.

### **2.3.1 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL CONSUMO DE ENERGÍA.**

Para realizar este estudio se van a fijar unos factores que se presuponen que tendrán un efecto muy marcado en el consumo energético. Estos factores son:

- Actividades realizadas en el hogar: el uso de aparatos de iluminación está directamente relacionada con la actividad que se realiza dentro del hogar, ya que

estos aparatos solo se utilizan cuando las personas realizan actividades dentro de su vivienda.

- Luz natural exterior: el uso de iluminación artificial se usa en los momentos en los que la luz natural no es suficiente para cubrir las necesidades lumínicas de las personas. Hay dos componentes que afectan a la luz natural que llega a la vivienda. El primero de ellos es la localización geográfica de la vivienda, ya que el número de horas de sol cambia dependiendo de la latitud donde se encuentre situada la vivienda. La época del año también afecta a la luz natural disponible, siendo los días invernales más cortos que los de verano. Se espera, por tanto, que estos dos factores afecten al consumo de energía.
- Tamaño del hogar: dependiendo del número de personas que vivan en un mismo hogar y su situación social las actividades que se realicen son distintas. Es de esperar que los hogares con mayor número de integrantes presenten mayor gasto energético.
- Tipo de luminaria usada: en el mercado existen diversos tipos de tecnologías de iluminación disponibles. Cada una de ellas tiene un consumo y una eficiencia energética distinta. Conocer el tipo de tecnología usada es clave para poder calcular la energía consumida en el hogar.

Al obtener los resultados del modelo será necesario analizar si estos factores considerados como importantes tienen de verdad la importancia que se presupone [24].

## **Capítulo 3. CREACIÓN DEL MODELO.**

### ***3.1 DESCRIPCIÓN DEL MODELO***

Para la obtención de la energía consumida por iluminación en un hogar español se puede partir de la definición de esta para conseguir un modelo que describa cómo es el consumo en los hogares españoles.

Sabiendo que **las unidades** de la energía **es** potencia multiplicada por tiempo, se puede obtener el consumo energético como la multiplicación de la potencia usada en iluminación por el tiempo de uso.

Primero hay que describir los hábitos de consumo de electricidad, lo que se ha llamado curvas de empleo de tiempo. El objetivo de estas curvas es describir los hábitos de consumo de las personas. Una vez que se conoce el tiempo que se está haciendo uso de la luz, se puede multiplicar por la potencia usada para poder obtener el consumo de energía total.

#### **3.1.1 VENTAJAS DE ESTE MODELO.**

Usar esta estrategia va a permitir describir el consumo de energía a lo largo del día, permitiendo conocer de forma más exacta los hábitos de consumo en los hogares y, de forma indirecta, puede permitir conocer el gasto económico que conlleva esos hábitos.

### ***3.2 FUENTES UTILIZADAS***

Para poder llevar a cabo esta estrategia es necesario conocer los hábitos de los hogares españoles a lo largo del día y con una calidad suficiente como para poder realizar un análisis más detallado del consumo.

### 3.2.1 ENCUESTA DE EMPLEO DE TIEMPO.

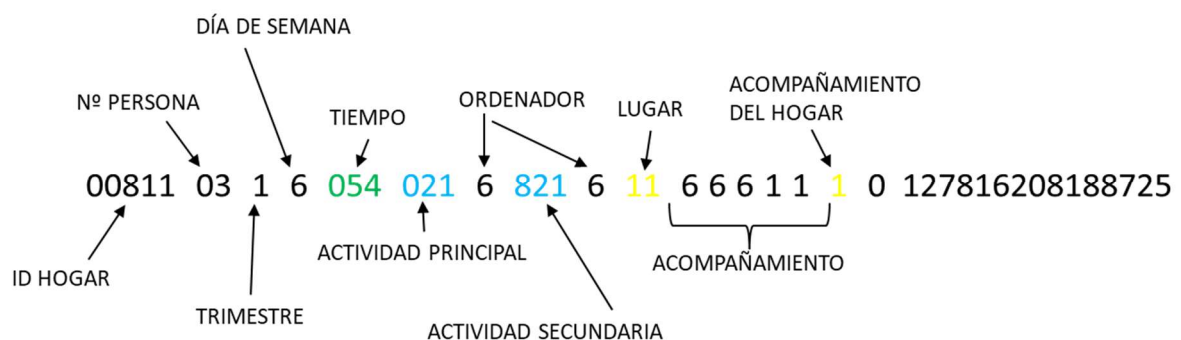
Para conocer las actividades de los hogares, las cuales marcan cómo es el consumo de energía, se ha recurrido a la Encuesta de Empleo de Tiempo (EET) [1]. Esta es una encuesta realizada por el Instituto Nacional de Estadística en el año 2010 en la que se ha encuestado distintos hogares españoles sobre las actividades que realizan a lo largo del día.

Esta encuesta se realiza a nivel nacional y contiene una gran cantidad de variables sobre los distintos hogares que permiten dividirlos por distintas categorías. A continuación, se va a describir qué datos se han usado, así como la manera en la que se presentan.

#### 3.2.1.1 Presentación de los datos.

Se han utilizado dos bases de datos distintas, aunque relacionadas. La primera de las utilizadas es la que describe los hogares encuestados. En total hay 9571 hogares distintos encuestados.

La segunda base de datos es la que describe las actividades que cada persona realiza durante el día. Los datos están disponibles en formato de fichero de texto de forma codificada. En la siguiente imagen se describe una de las líneas de este fichero.



*Imagen 1. Descripción del fichero de datos de uso de tiempo. Datos tomados de la Encuesta de Empleo de Tiempo. [1]*

Los elementos son los siguientes:

- ID hogar: representa el número de hogar en la que esta persona habita.
- N° de persona: permite distinguir entre las diferentes personas que forman el hogar.
- Trimestre: indica el trimestre en el que se rellenó la encuesta.
- Tiempo: es el instante de tiempo al que se refiere la línea.
- Actividad principal: Es la actividad que se está realizando en el momento de tiempo indicado.
- Actividad secundaria: Es la actividad que se realiza de forma paralela a la actividad principal.
- Ordenador: indica si se utiliza el ordenador para la actividad principal o secundaria.
- Lugar: indica donde se está realizando la actividad.
- Acompañamiento: indica con qué personas está el miembro que rellena la encuesta en el momento de la actividad.
- Acompañamiento hogar: indica si hay alguna persona del hogar acompañando al realizador de la encuesta.

En general cada línea representa a una determinada persona, en un hogar en concreto, que ha rellenado la encuesta en un momento temporal concreto y que ha realizado ciertas actividades en un tiempo determinado del día.

El archivo tiene un total de 2.778.480 filas, que representan a las 19.295 personas que han realizado la encuesta a lo largo de los 144 periodos temporales en los que está dividido el día (se registra las actividades realizadas cada 10 minutos).

Con esta información es posible ver los hábitos en los hogares españoles y de estos su consumo eléctrico por iluminación.

De la segunda base de datos se pueden obtener las curvas de comportamiento, ya que ahí están los datos sobre los hábitos de los encuestados. La primera base de datos contiene la información sobre los hogares, lo que permite clasificarlos según los varios factores disponibles.

### ***3.2.1.2 Resolución del modelo.***

Una de las limitaciones del modelo es la resolución diaria. En la Encuesta de Empleo de Tiempo el día se divide en 144 intervalos de 10 minutos de duración, y dentro de cada uno de ellos solo se puede realizar una actividad. Esto implica que usos de iluminación muy cortos o realizados en la transición entre periodos de tiempo no estarán contabilizados. Por ejemplo, dar la luz para bajar las escaleras será un gasto que el modelo no es capaz de contabilizar debido a las limitaciones que vienen impuestas por la Encuesta de Empleo de Tiempo.

## **Capítulo 4. CURVAS DE EMPLEO DE TIEMPO.**

En este capítulo se va a detallar cómo se han obtenido las curvas de uso de iluminación que se emplean para el modelo final.

Lo que se pretende conseguir con estas gráficas es calcular durante cuánto tiempo se utilizan los dispositivos de iluminación en el hogar. Además, se quiere saber cuántas luces se encuentran encendidas en cada momento, en función de las actividades que declara cada persona entrevistada.

### **4.1 HIPÓTESIS INICIALES**

Para poder determinar los momentos en los que se produce un consumo de energía en iluminación a partir de la información disponible son necesarias varias hipótesis para poder realizar un modelo que se asemeje lo más posible a la realidad

- Primera hipótesis: solo se van a usar dispositivos de iluminación mientras se está en el hogar. Esta hipótesis implica que los descuidos y las veces que se dejan las luces encendidas por diversos motivos no se tendrán en cuenta. Esta hipótesis también elimina el uso de la iluminación decorativa, ya que no se tiene ningún tipo de información sobre este uso.
- Segunda hipótesis: solo se van a utilizar dispositivos de iluminación mientras se está realizando algún tipo de actividad diferente al descanso profundo o dormir. Esto se puede conseguir ya que la encuesta diferencia entre descansar y dormir.
- Tercera hipótesis: siempre que se esté realizando una actividad en el hogar y no se disponga de luz natural se considerará que se está usando algún dispositivo de iluminación. Esta hipótesis hará que el modelo dé un consumo más elevado del real, por lo que será necesario realizar distintas correcciones para acercarlo a la realidad.

De esta manera se puede obtener un modelo inicial de cuándo se está en el hogar y, por tanto, se consume energía por iluminación.

## **4.2 DESARROLLO**

Para desarrollar las curvas del modelo dividiendo los hogares en grupos de interés, se usan tres niveles distintos.

En primer nivel es el nivel individual, donde se tienen en cuenta los hábitos de una persona en concreto. El segundo nivel corresponde a un hogar individual. Las curvas de cada hogar se obtienen sumando las curvas de los distintos miembros de un hogar en concreto. Por ejemplo, si en un momento dado hay dos personas que se considera que están usando la luz, la curva marcará dos para ese hogar en ese momento determinado. El último nivel es el nivel de población o grupo. Las curvas de este nivel se consiguen realizando la media de todos los hogares que cumplen unas características determinadas, como número de habitantes o situación geográfica.

Estas curvas representan un modelo simplificado y permiten, en una primera instancia, conseguir una idea cualitativa de las tendencias de consumo, pero para poder conseguir un resultado más detallado es necesario corregir el modelo teniendo en cuenta más factores que pueden influir en el uso de aparatos de iluminación en el hogar y que se detallan a continuación.

## **4.3 CORRECCIONES AL MODELO BASE**

Para conseguir una mayor definición en el modelo se aplican dos correcciones al modelo primitivo. Estas correcciones se realizan en forma de factores que corrigen el consumo propuesto por el primer modelo.



### **4.3.1 FACTOR DE USO SIMULTÁNEO.**

Este factor pretende corregir el hecho de que dos personas que están realizando la misma actividad, por ejemplo, cenar, de manera simultánea contarían para el modelo como dos personas usando luces distintas, aunque, en la realidad, las dos estarían usando la misma luz.

De la base que define las actividades realizadas, se puede obtener si la persona está realizando la actividad con otra persona en el hogar o no. Si la persona está haciendo un uso de la luz compartido se le aplica un coeficiente reductor.

#### ***4.3.1.1 Ejemplo de uso del factor de uso simultáneo.***

Siguiendo con el ejemplo de la pareja cenando, el modelo original daría un consumo de dos personas. Esto no se acerca a la realidad ya que las dos personas estarían compartiendo estancia y, por tanto, usando las mismas luminarias. Aplicando un factor de corrección se puede hacer una distribución entre las dos personas de la luz empleada. Aplicando un coeficiente de 0,6 se obtendría que entre ambas personas están consumiendo lo mismo que 1,2 personas individuales. Este resultado de 1,2 tiene en cuenta que, aunque dos personas estén compartiendo actividad, no consumen lo mismo que 2 personas separadas, van a consumir más que una persona sola, ya que los elementos de iluminación deberán ser más grandes o tener más número de ellos.

### **4.3.2 FACTOR DE LUZ SOLAR Y DIVISIÓN TEMPORAL Y GEOGRÁFICA.**

Otro factor clave en el empleo de iluminación artificial en los hogares es la cantidad de luz solar externa que entra, ya que el uso de iluminación disminuye cuanto más luz solar haya.

Hay dos factores que influyen en la cantidad de luz solar disponible. El primero es el momento del día. En las horas centrales hay mayor intensidad luminosa. En segundo lugar, es importante el número de horas de luz solar disponibles a lo largo del día, siendo esta cantidad menor en invierno y en las zonas norte y mayor en verano y zonas más al sur.

Estos factores, junto a los datos disponibles en la encuesta de tiempo, hace posible la división de los hogares en la dimensión temporal, así como en la geográfica.

La división geográfica se ha supuesto con tres zonas distintas, la zona norte, que incluye las comunidades autónomas de Galicia, Asturias, Cantabria, País Vasco, Navarra, La Rioja, Cataluña, Aragón, Castilla y León. La zona sur está formada por el resto de las comunidades autónomas exceptuando las Islas Canarias, que representan su zona propia debido a su lejanía a la península.

#### ***4.3.2.1 Justificación de la división territorial.***

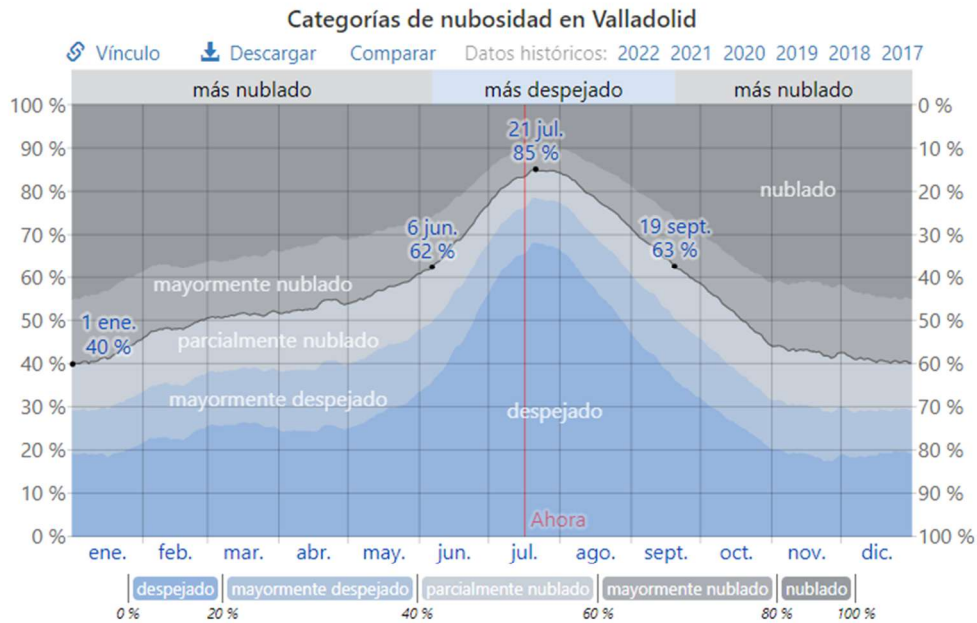
A diferencia de otros estudios similares a este, la división territorial realizada en este trabajo no tiene ningún tipo de relación con las zonas climáticas en España. Esto es así porque se ha considerado que el uso de luz artificial es independiente del clima y guarda mucha más relación con la luz natural.

Respecto a la temporal, se han distinguido cuatro divisiones, consistentes en los cuatro trimestres en los que se divide el año. Esta división coincide con la división realizada por la encuesta y con las estaciones del año: en este caso los trimestres 1 y 4 corresponden a la macro-estación “invierno” y los trimestres 2 y 3 a la de “verano”.

Se ha asumido que sólo se utiliza luz artificial cuando no haya luz natural exterior. Por lo tanto, se han elaborado varias curvas de coeficiente reductor de empleo de luz. En total, se han elaborado doce curvas distintas, que corresponden a una por cada trimestre en cada zona geográfica.

Para la creación de estas gráficas se han recogido los datos de salida y puesta de sol de las distintas capitales de provincia que forman parte de cada zona para cada cuatrimestre [14]. Todas las horas que estén fuera de ese intervalo se suponen como horas de oscuridad exterior y no se aplicará ningún tipo de reducción en esas horas. El máximo factor reductor se encuentra en las horas centrales del día.

Para calcular la reducción máxima se ha usado la nubosidad media cada caso concreto.



El porcentaje de tiempo pasado en cada banda de cobertura de nubes, categorizado según el porcentaje del cielo cubierto de nubes.

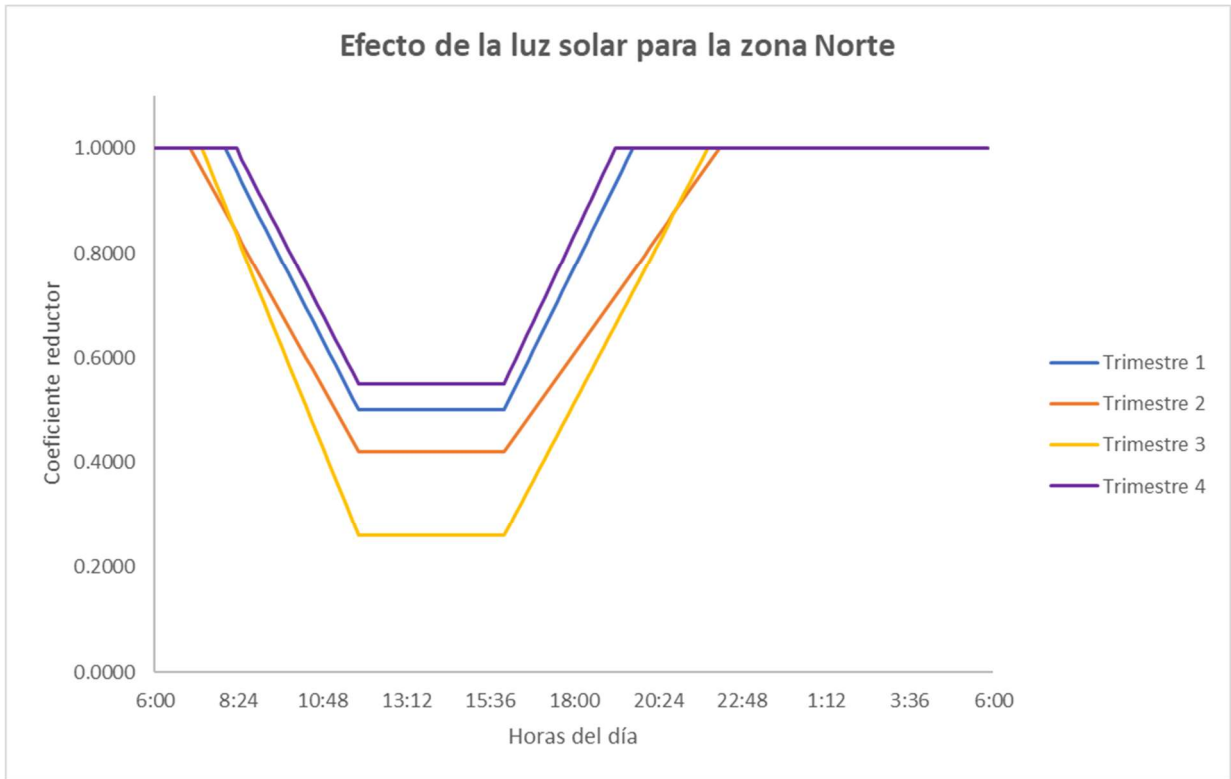
Fracción	ene.	feb.	mar.	abr.	may.	jun.	jul.	ago.	sept.	oct.	nov.	dic.
Más nublado	58 %	52 %	49 %	47 %	43 %	31 %	17 %	22 %	36 %	49 %	57 %	59 %
Más despejado	42 %	48 %	51 %	53 %	57 %	69 %	83 %	78 %	64 %	51 %	43 %	41 %

*Imagen 2. Ejemplo de gráfica de nubosidad de la ciudad de Valladolid, perteneciente a la zona Norte.*

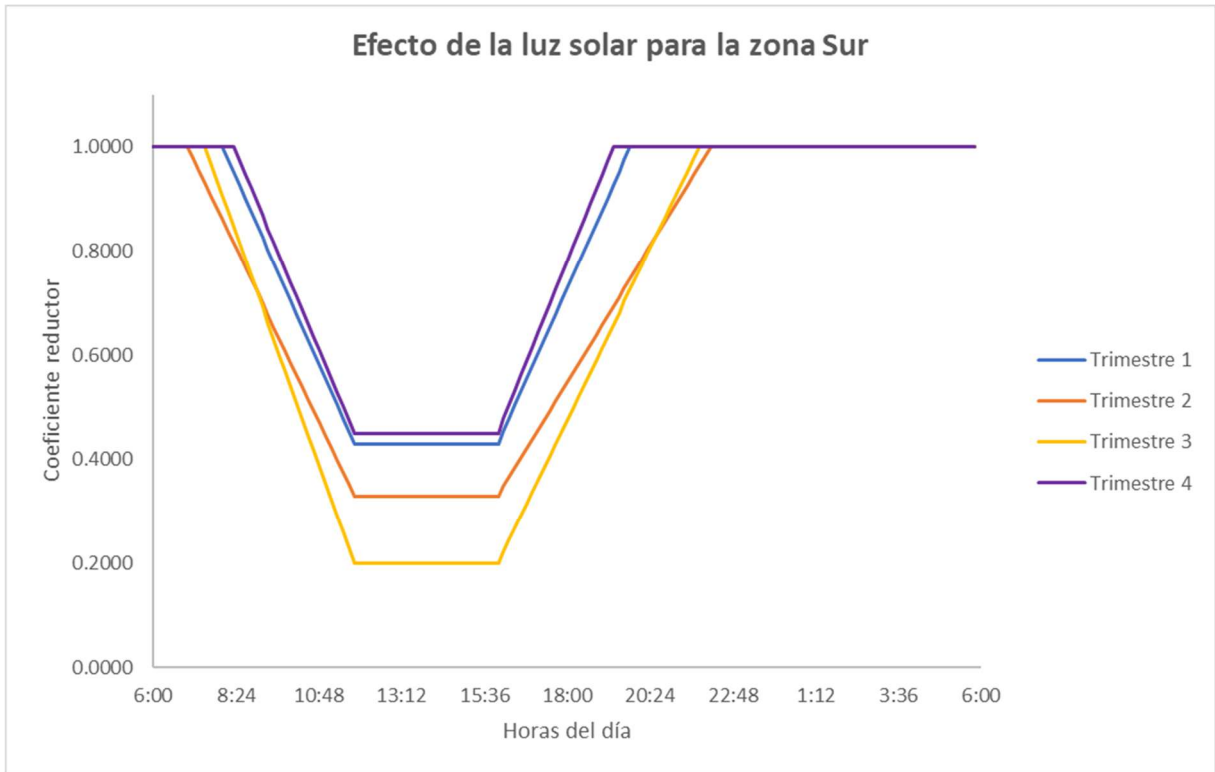
*Información obtenida de la aplicación meteorológica WeatherSpark. [15]*

En este ejemplo, de la ciudad de Valladolid, perteneciente a la zona Norte, en el primer trimestre, de media, el 47% de los días son despejados o de poca nubosidad. Se considera que para el primer trimestre será necesario usar iluminación artificial durante el 53% del tiempo. Haciendo la media de esta información para el resto de capitales de provincia que conforman la zona geográfica se obtienen las gráficas de reducción del uso de iluminación. Este proceso es análogo para el resto de las zonas geográficas.

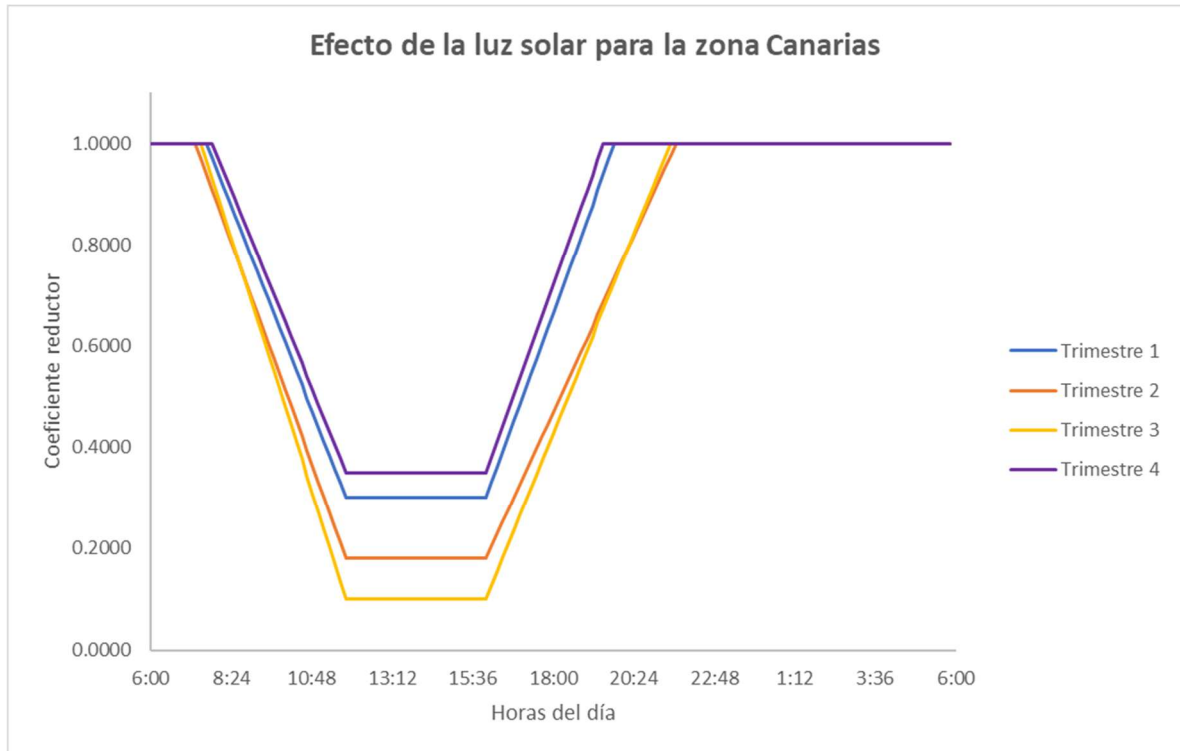
A continuación, se presentan las gráficas de reducción para las distintas zonas geográficas en los distintos trimestres del año.



*Imagen 3. Coeficiente reductor del uso de iluminación en la zona Norte. Elaborada a partir de datos proporcionados por el Instituto Geográfico Nacional [14] y la aplicación de observación meteorológica Weather Spark [15].*



*Imagen 4. Coeficiente reductor del uso de iluminación en la zona Sur. Elaborada a partir de datos proporcionados por el Instituto Geográfico Nacional [14] y la aplicación de observación meteorológica Weather Spark [15].*



*Imagen 5. Coeficiente reductor del uso de iluminación en la zona Canarias. Elaborada a partir de datos proporcionados por el Instituto Geográfico Nacional [14] y la aplicación de observación meteorológica Weather Spark [15].*

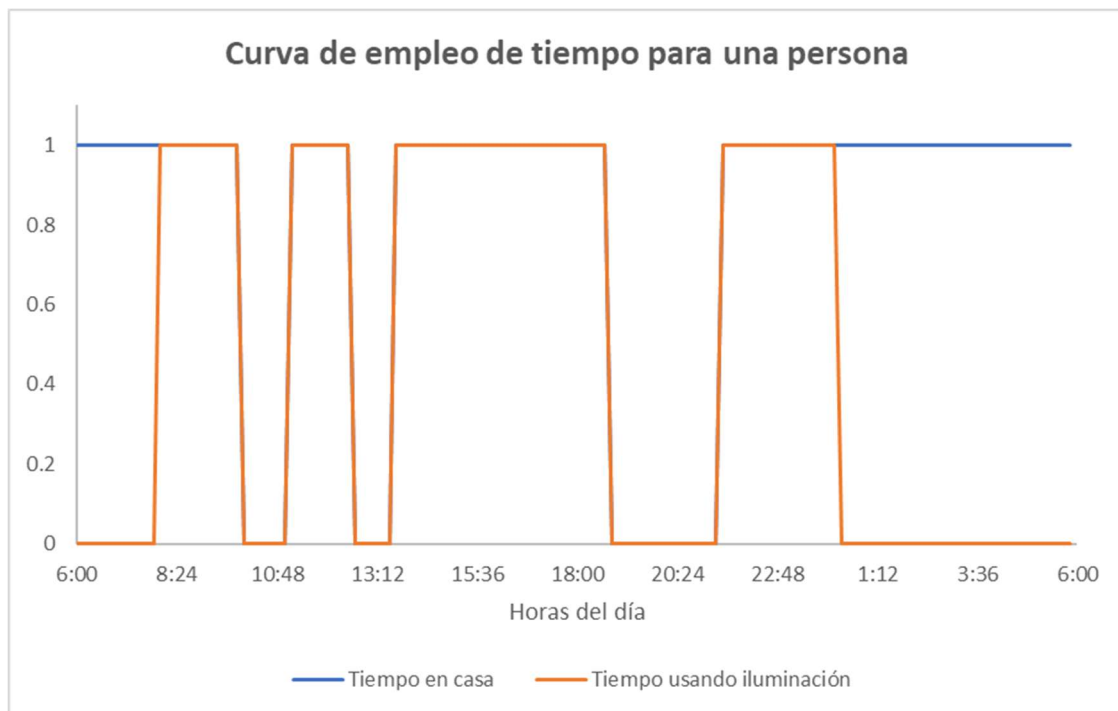
#### **4.4 CONSTRUCCIÓN DE LAS CURVAS DE EMPLEO DE TIEMPO.**

En este apartado se va a mostrar cómo se ha ido desarrollando el modelo, desde el estudio del empleo de tiempo de una persona particular, pasando por el estudio de un hogar hasta llegar a estudiar un conjunto de hogares que es la representación más cercana que tiene este modelo a la sociedad.

Para este ejemplo se ha elegido el hogar número 63. Las características de este hogar son las siguientes:

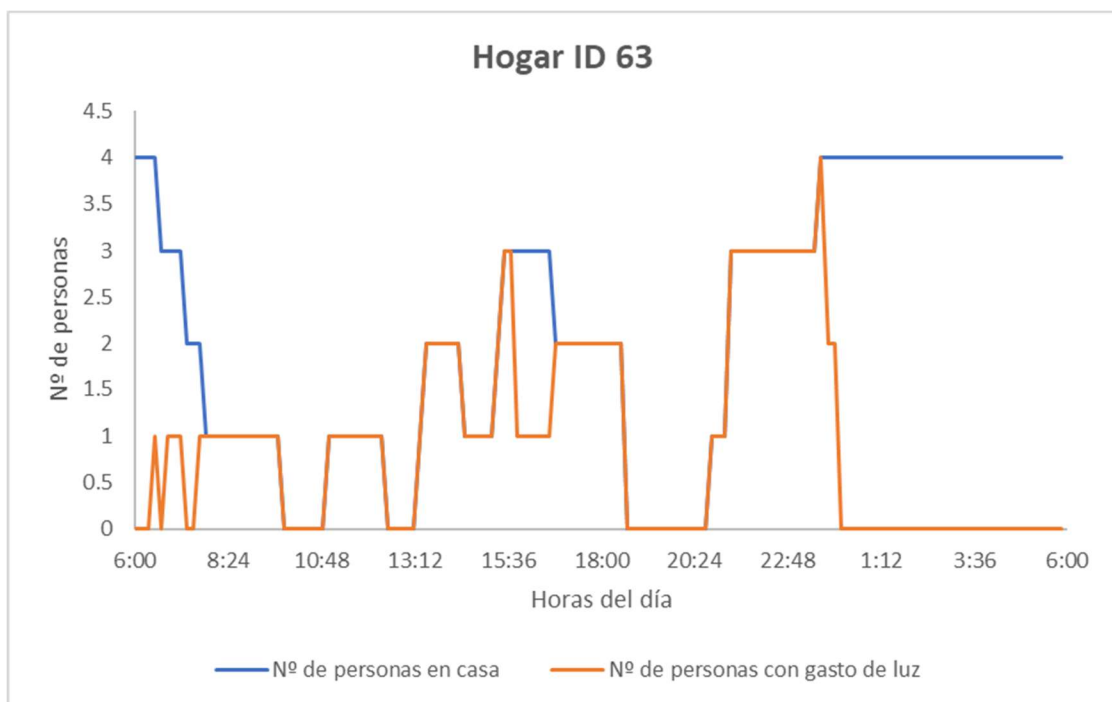
- Está formado por cuatro habitantes.
- Pertenece a la comunidad autónoma de Cataluña, por lo que está encuadrado en la zona Norte.
- Los datos fueron tomados en el segundo trimestre del año.

Como el consumo de luz en el hogar es la suma del consumo de sus miembros, lo primero es estudiar a cada persona de manera individual.



*Imagen 6. Curva de empleo de tiempo de una sola persona. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos con el modelo desarrollado.*

Esta curva, representa el tiempo que uno de los miembros del hogar estudiado está en el hogar con la línea azul, mientras que la línea roja representa el tiempo que esa persona está haciendo uso de la iluminación. En esta gráfica la línea azul y roja se superponen durante gran parte del día, ya que el único momento en el que la persona está en el hogar y no está haciendo actividades que requieren uso de iluminación artificial es en las horas de la noche cuando se encuentra durmiendo.

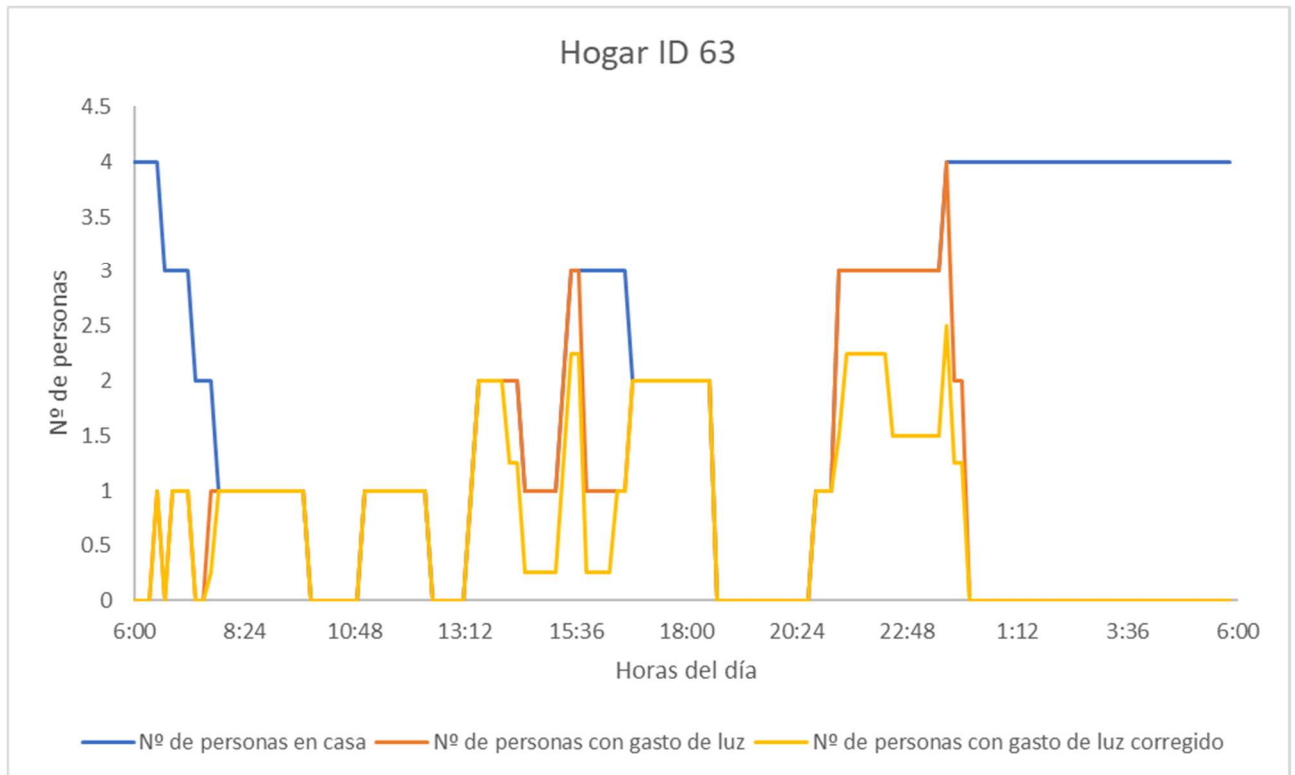


*Imagen 7. Curva de uso de tiempo de un hogar al completo. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos con el modelo desarrollado.*

En la imagen anterior se muestra el hogar completo al que pertenece la persona estudiada en la Imagen 6. En esta curva se pueden ver los patrones de comportamiento que se dan en el hogar completo, así como los momentos en los que más personas conviven y aquellos momentos en los que hay miembros que no están realizando actividades que impliquen gasto en iluminación.



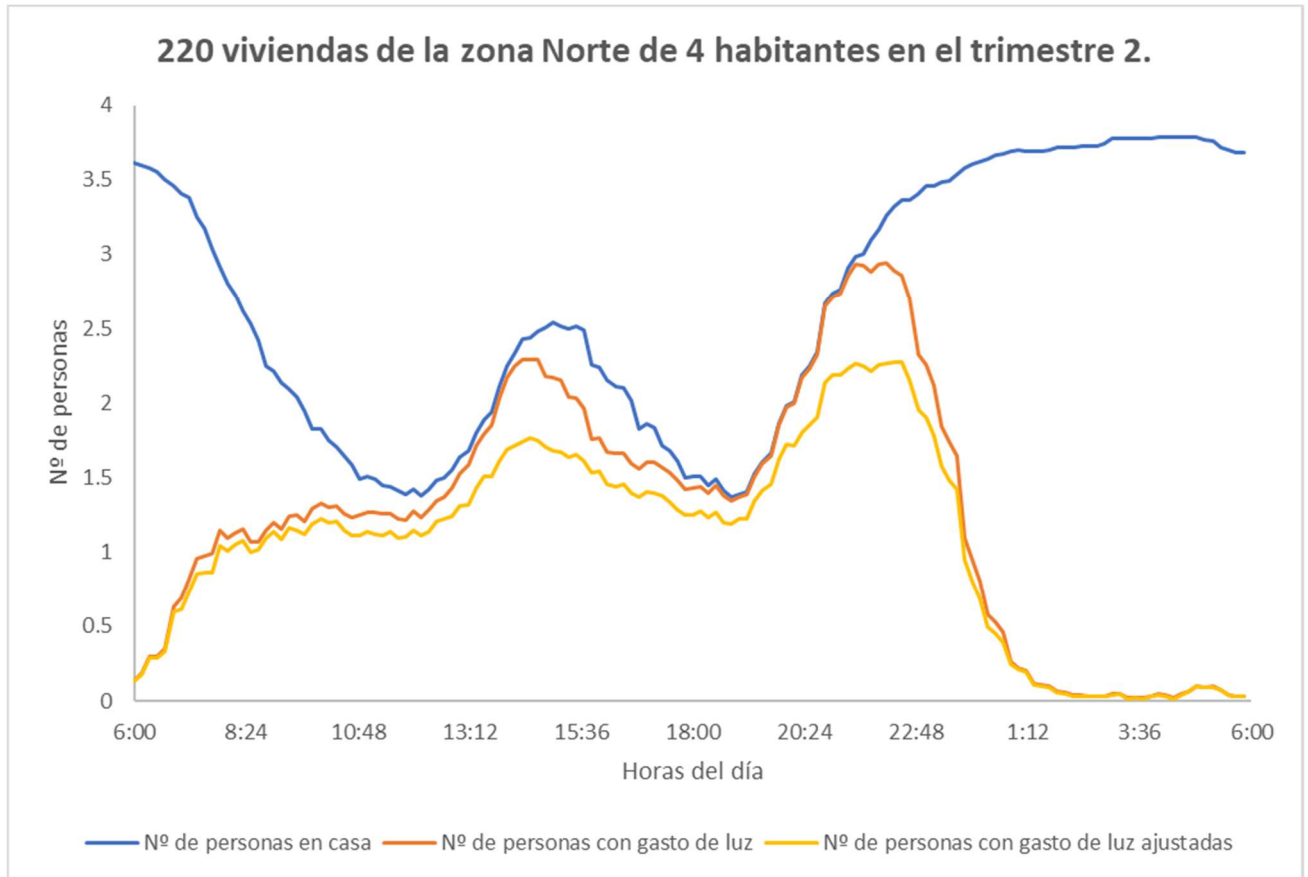
En este momento se pueden empezar a aplicar las correcciones al modelo que se mencionaron en el apartado 4.3. La primera que se va a mostrar es la corrección de uso simultáneo.



*Imagen 8. Curva de uso de tiempo de un hogar al completo mostrando la corrección por actividad simultánea. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos con el modelo desarrollado.*

En esta última imagen la curva amarilla muestra como varios miembros del hogar realizan múltiples actividades de forma conjunta.

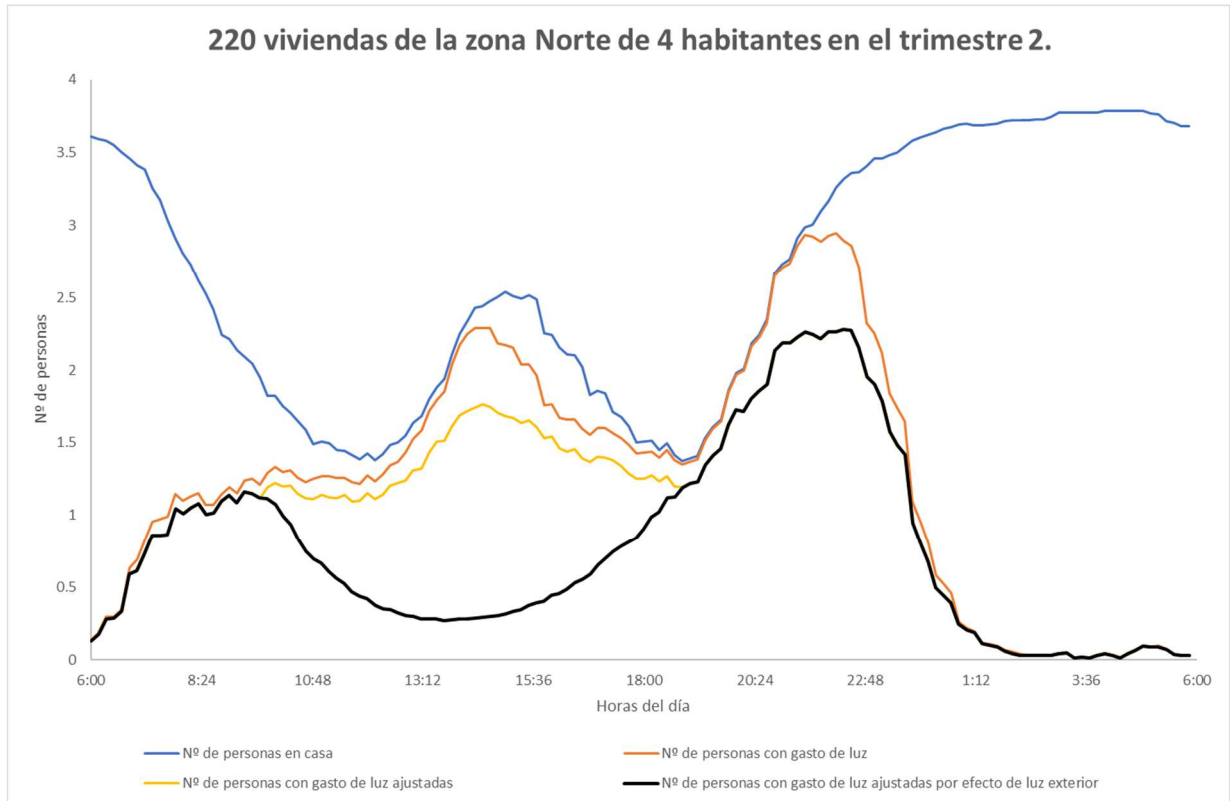
Como se ha mencionado al principio de este ejemplo, este hogar tiene una serie de características principales: número de personas que lo componen, localización geográfica y trimestre en que los datos fueron tomados. Usando estas características como filtro, se pueden obtener las curvas de empleo de tiempo para todos los hogares que compartan las características.



*Imagen 9. Curva de empleo de tiempo de todos los hogares con las mismas características (zona geográfica Norte, 4 habitantes, segundo trimestre). Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos con el modelo desarrollado.*

En esta última imagen se puede ver la media de todos los hogares que tienen las mismas características de número de miembros, situación geográfica y situación temporal.

Todavía queda por hacer una última corrección antes de poder empezar con el cálculo de la potencia eléctrica consumida. Es necesario realizar la corrección por luz exterior. Para poder realizar esta corrección es necesario usar la curva roja que se muestra en la Imagen 3.



*Imagen 10. Curva de empleo de tiempo de todos los hogares con las mismas características (zona geográfica Norte, 4 habitantes, segundo trimestre) incluyendo corrección por luz exterior. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos con el modelo desarrollado.*

La curva negra de la Imagen 10 indica el número de personas que están haciendo uso de iluminación artificial en cada momento del día para los hogares que cumplen las características indicadas.

#### **4.4.1 CONFIANZA EN LOS RESULTADOS.**

Es necesario analizar antes de continuar si el número de hogares analizados es significativo para el estudio que se quiere realizar. Uno de los objetivos de la Encuesta de Empleo de Tiempo, de donde se ha obtenido los datos para realizar las distintas curvas es que los resultados sean significativos a nivel de cada comunidad autónoma. Como las zonas

geográficas en las que se dividen los hogares abarcan varias comunidades autónomas, podemos asegurar que tenemos un número suficiente de hogares para realizar el estudio.

	Nº habitantes por hogar	Trimestre 1	Trimestre 2	Trimestre 3	Trimestre 4
NORTE	1	225	210	229	219
	2	376	400	373	324
	3	307	295	257	282
	4	223	220	223	198
	4+	54	50	55	53
SUR	1	164	191	215	186
	2	345	341	343	316
	3	279	270	259	208
	4	257	279	253	225
	4+	51	49	58	54
CANARIAS	1	21	13	24	17
	2	26	35	35	17
	3	33	27	24	18
	4	22	20	22	22
	4+	14	18	21	15

*Tabla 1. Distribución de los hogares según zona geográfica, número de habitantes y trimestre.*



## **Capítulo 5. POTENCIA ELÉCTRICA CONSUMIDA**

Una vez que se han realizado las curvas de empleo de tiempo es necesario conocer la potencia que se va a emplear.

### ***5.1 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA POTENCIA CONSUMIDA.***

Se han detectado tres factores principales que influyen en la potencia de las luminarias usadas en la iluminación de los hogares.

#### **5.1.1 ACTIVIDAD REALIZADA.**

La actividad que se va a realizar afecta a la potencia necesaria para iluminar la habitación, ya que distintas actividades tienen distintos requerimientos lumínicos. No existe ningún tipo de normativa que regule los niveles de iluminación en los hogares, sin embargo, los requisitos de iluminación para lugares de trabajo sí que están recogidos en la norma UNE-EN 12464. Por lo tanto, se han dividido las actividades realizadas en el hogar en dos grupos. El primero es de actividades de alto requerimiento luminoso, que incluye actividades como trabajar, estudiar, cocinar o leer. Para estas actividades se va a suponer unos requerimientos de iluminación similares a los que se pueden encontrar en una oficina. Por otro lado, las actividades de bajo requerimiento luminoso, que engloba el resto de las actividades, que se pueden considerar de ocio o descanso, se van a usar niveles de iluminación inferiores.

#### **5.1.2 TIPO DE LUMINARIA.**

En la actualidad existen distintas tecnologías disponibles para iluminar un hogar, y cada una de estas tecnologías presenta características distintas en cuanto a la potencia lumínica que son capaces de proporcionar y la potencia eléctrica que consumen cuando se encuentran en uso. Las tecnologías más extendidas actualmente son:

- Convencional o de filamento incandescente.
- Halógena.
- Fluorescente.
- Bajo consumo.
- LED.

En la siguiente tabla se realiza una comparativa de las distintas tecnologías.

Tecnología	Potencia de la luminaria [W]	Eficiencia luminosa [lm/W]	Potencia equivalente en bombilla tradicional [W]
LED	20	130	110
Bajo Consumo	20	60	85
Fluorescente	20	55	60
Halógena	20	15	25

*Tabla 2. Comparativa de las distintas tecnologías de iluminación. Elaboración propia a partir de fichas técnicas de los principales fabricantes. [10][11][12][13]*

El tipo de luminaria usada en cada hogar es distinto, sin embargo, se han realizado distintos estudios que crean una idea general de cómo es la distribución de las diferentes tecnologías



en los hogares españoles. La distribución de las tecnologías es la siguiente:

Tecnología	Porcentaje [%]
Convencional/Incandescente	22
Halógena	17
Fluorescente	4
Bajo Consumo	28
LED	29

*Tabla 3. Distribución de las tecnologías de iluminación en España. Elaborado a partir de los datos del estudio SPAHOUSEC. [2]*

Conociendo cómo se distribuyen las tecnologías y los diferentes gastos de cada una de ellas, se han creado dos bombillas tipo, que representan el conjunto del parque de luminarias en los hogares españoles.

Exigencia de iluminación	Potencia requerida [W]
Alta	60,46
Baja	35,27

*Tabla 4. Potencias supuestas de los elementos de iluminación según requerimientos de la actividad. Elaboración propia a partir de los datos de la tabla 1 y tabla 2.*

### **5.1.3 TAMAÑO DE LA VIVIENDA.**

El número de luminarias necesarias para iluminar correctamente cualquier estancia es directamente proporcional a su superficie.

Para tener esto en cuenta se han creado tres tipos de hogares, de distintos tamaños, y, por tanto, de distintas necesidades de iluminación.

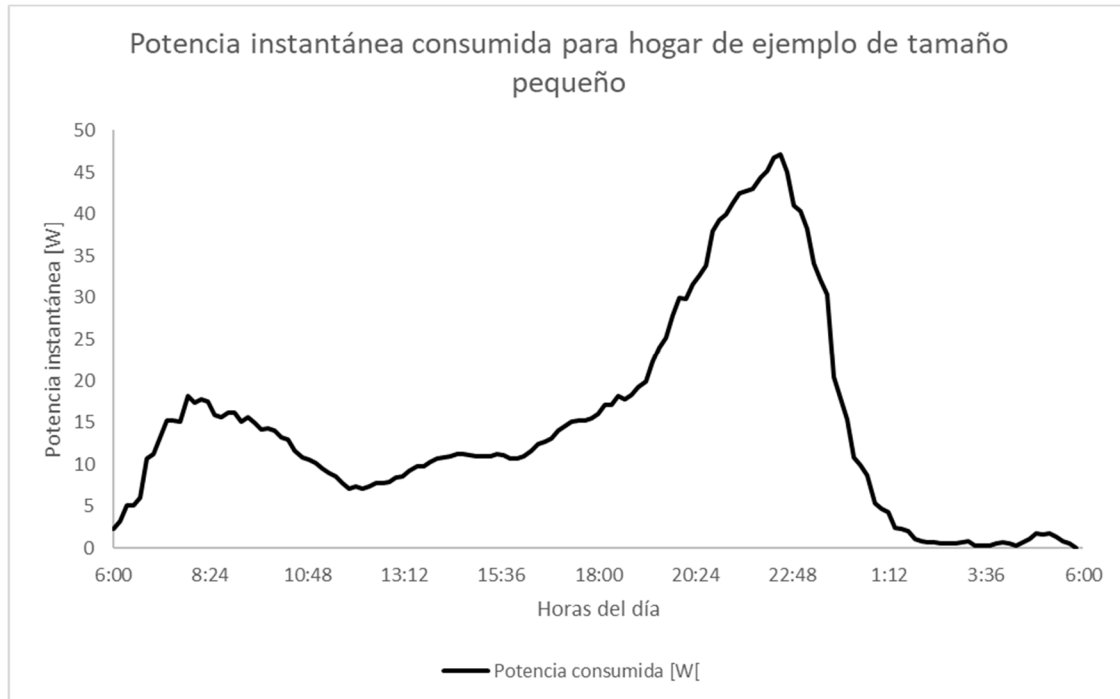
Se han considerado:

- Hogares pequeños: Superficie  $<70\text{m}^2$
- Hogares medianos: Superficie entre  $70\text{m}^2$  y  $110\text{m}^2$
- Hogares grandes: Superficie  $> 110\text{m}^2$

Con esta división se puede ajustar el modelo al tipo de vivienda concreto, consiguiendo mayor fidelidad con la realidad. [7]

## **5.2 CÁLCULO DE POTENCIA CONSUMIDA.**

Juntando las curvas de empleo de tiempo con la potencia que consumen los elementos de iluminación se pueden calcular las curvas de potencia instantánea consumida.



*Imagen 11. Curva de potencia instantánea consumida un hogar. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos con el modelo desarrollado.*

La Imagen 11 muestra la curva de potencia instantánea consumida para los hogares del ejemplo del apartado 4.4.

Una vez que se ha obtenido la curva, el consumo eléctrico en iluminación en el día es el área debajo de la curva. Para calcular el consumo total del trimestre hay que multiplicar el día tipo por la duración del trimestre. Estos resultados finales se muestran en el Capítulo 6.

## Capítulo 6. MODELO FINAL, COMPARACIÓN Y COMENTARIOS.

### 6.1 MODELO FINAL.

A continuación, se muestran, en forma de tabla, los consumos por iluminación obtenidos por el modelo.

Unidades: kWh

		NORTE			SUR			CANARIAS		
		S	M	L	S	M	L	S	M	L
1er TRIMESTRE	1	47,9262	56,7135	65,5007	45,7664	54,1577	62,5489	45,5789	53,9358	62,2927
	2	93,7261	110,9108	128,0955	89,7689	106,2280	122,6872	86,0893	101,8738	117,6582
	3	115,6589	136,8650	158,0710	110,8139	131,1316	151,4494	120,6517	142,7732	164,8947
	4	140,3598	166,0948	191,8297	134,4809	159,1380	183,7950	144,3688	170,8388	197,3088
	4+	165,6597	196,0334	231,9761	159,3222	188,5339	223,1016	172,9214	204,6265	242,1448
2º TRIMESTRE	1	60,1995	71,2371	82,2747	37,2511	44,0811	50,9111	44,1574	52,2537	60,3499
	2	79,9603	94,6210	109,2817	74,3864	88,0251	101,6639	71,1096	84,1475	97,1855
	3	98,1909	116,1942	134,1975	91,7258	108,5437	125,3617	101,0078	119,5276	138,0474
	4	126,5408	149,7421	172,9433	118,1484	139,8109	161,4734	130,4446	154,3616	178,2786
	4+	149,3512	176,7347	209,1391	139,5945	165,1892	195,4766	161,2574	190,8239	225,8115
3er TRIMESTRE	1	34,5649	40,9024	47,2398	32,8241	38,8424	44,8607	39,0802	46,2456	53,4109
	2	67,3705	79,7229	92,0753	64,0830	75,8326	87,5822	65,9290	78,0171	90,1052
	3	88,1294	104,2879	120,4465	84,1736	99,6068	115,0401	85,0224	100,6113	116,2001
	4	107,5224	127,2366	146,9509	102,5439	121,3453	140,1467	125,7870	148,8500	171,9131
	4+	125,5144	148,5275	175,7600	122,0589	144,4384	170,9212	151,2654	178,9999	211,8195
4º TRIMESTRE	1	47,6370	56,3712	65,1055	44,8212	53,0392	61,2571	43,3797	51,3334	59,2870
	2	96,7749	114,5186	132,2623	91,3594	108,1101	124,8609	102,0612	120,7741	139,4870
	3	127,3963	150,7544	174,1125	120,6725	142,7978	164,9231	113,0215	133,7440	154,4665
	4	150,3964	177,9716	205,5468	142,6461	168,8003	194,9544	134,1712	158,7715	183,3718
	4+	176,3221	208,6508	246,9069	166,2776	196,7646	232,8414	169,3297	200,3763	237,1153
ANUAL	1	190,3276	225,2242	260,1207	160,6628	190,1203	219,5778	172,1962	203,7684	235,3405
	2	337,8318	399,7733	461,7147	319,5977	378,1959	436,7942	325,1891	384,8125	444,4359
	3	429,3755	508,1015	586,8275	407,3858	482,0800	556,7742	419,7034	496,6560	573,6086
	4	524,8194	621,0450	717,2707	497,8193	589,0945	680,3696	534,7716	632,8220	730,8723
	4+	616,8474	729,9464	863,7820	587,2532	694,9261	822,3408	654,7739	774,8267	916,8912
AGREGADO		364,8544	431,7505	498,6465	355,9632	421,2291	486,4949	451,5678	534,3628	617,1577

Imagen 12. Consumos totales por trimestre y anuales previstos por el modelo según....

### 6.1.1 LECTURA DE LA TABLA DE RESULTADOS.

Las casillas grises son el desglose del gasto por trimestre, zona geográfica, número de habitantes del hogar y tamaño de la casa.

Para leer cada número, en el sentido horizontal se lee el trimestre y el número de habitantes. El vertical se lee la zona geográfica y el tamaño de la casa, pequeño, mediano o grande.

Las casillas blancas contienen el gasto anual de cada tipo de hogar. Se lee de igual manera que las casillas grises.

Las casillas naranjas tienen el gasto medio de cada zona, separado por tamaño de casa.

### 6.1.2 RESULTADOS GLOBALES.

Además de esta información, es útil obtener el consumo del hogar medio español. Este resultado es la media del consumo de todos los hogares de los que se dispone información.

---

Consumo medio según el tamaño del hogar. [kWh]

---

Pequeño	Mediano	Grande
407,3467	481,9895	556,6323

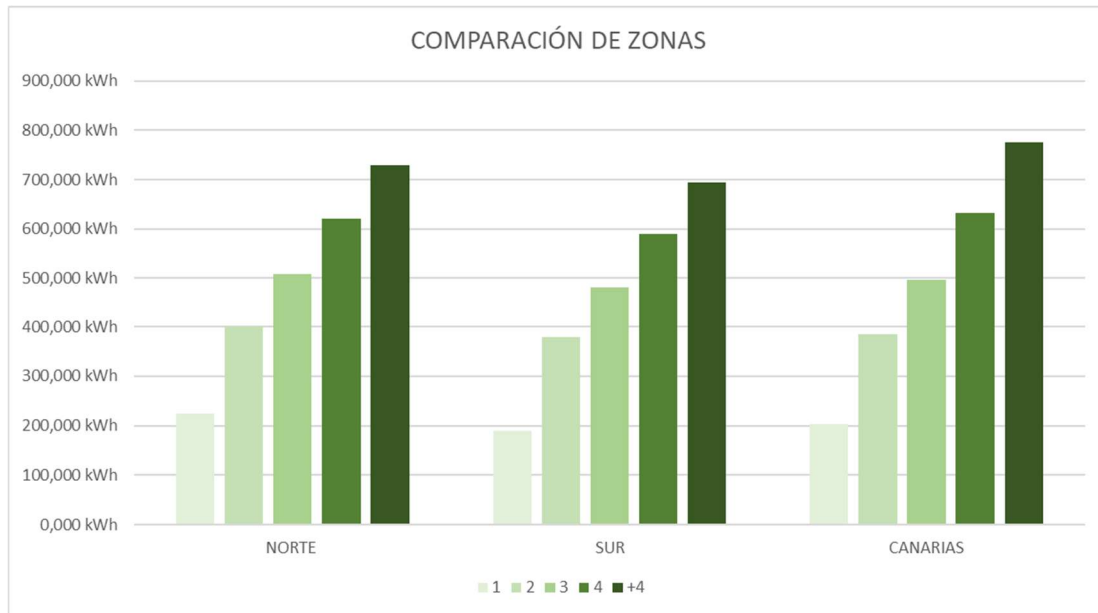
---

*Tabla 5. Consumo del hogar medio según tamaño.*

### 6.1.3 DESARROLLO DE LOS RESULTADOS.

A continuación, se presenta una visión más detallada de los resultados arrojados por el modelo que la que puede ofrecer ver los resultados de forma bruta en la tabla.

### 6.1.3.1 Comparación por zonas.



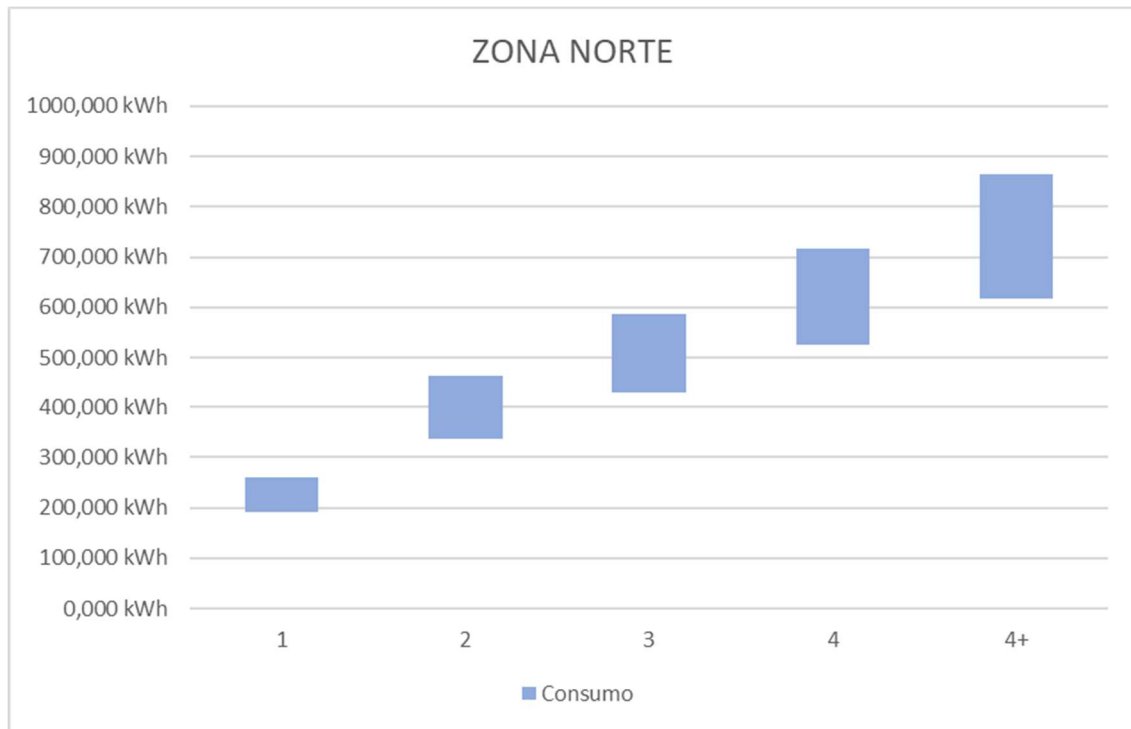
*Imagen 13. Comparación del consumo anual por zonas para hogares de tamaño mediano. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos con el modelo desarrollado.*

En esta imagen se observa una comparación del consumo anual para viviendas de tamaño mediano. De esta primera imagen se pueden extraer dos primeras conclusiones importantes.

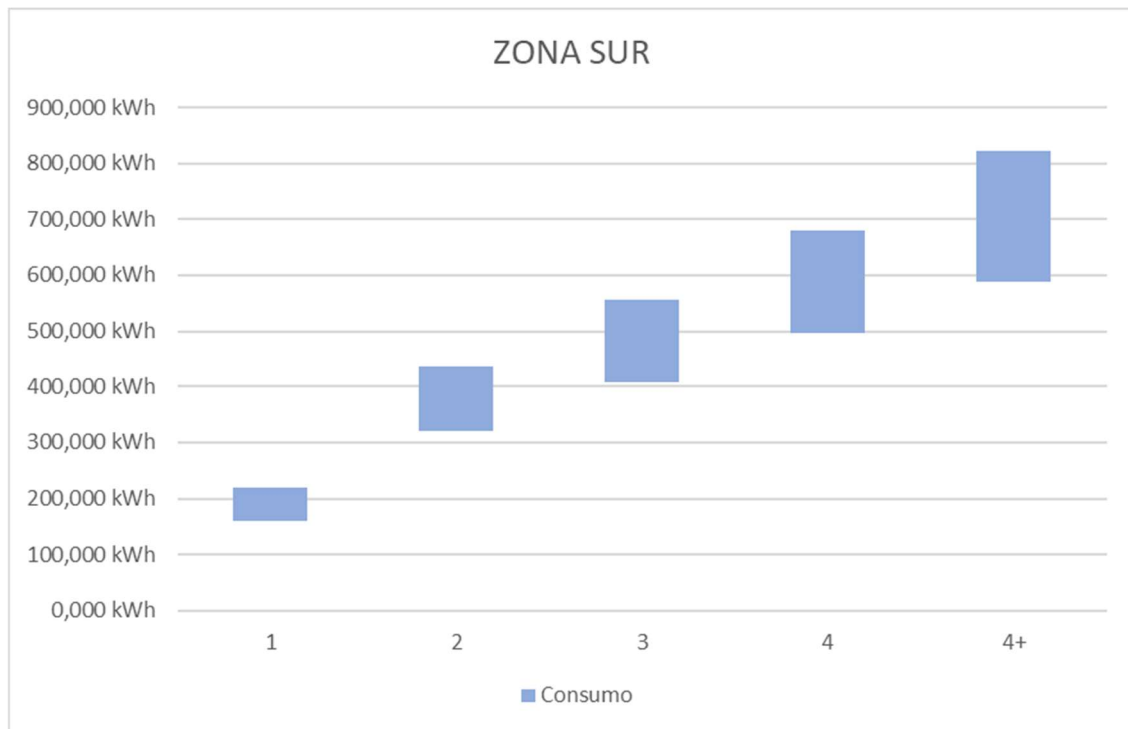
La primera de ellas es que cuantos más miembros tenga un hogar, mayor consumo de energía necesitará. Este resultado es coherente con lo esperado inicialmente y corrobora la decisión inicial de considerar el número de habitantes de un hogar como uno de los parámetros clave en el consumo de energía por el uso de medio de iluminación.

Otra conclusión que se puede extraer es que el efecto de la luz exterior tiene un impacto relativamente pequeño pero observable a simple vista en el consumo final. Se puede concluir que la situación geográfica afecta también al consumo energético por iluminación.

### 6.1.3.2 Resultados detallados por zona.

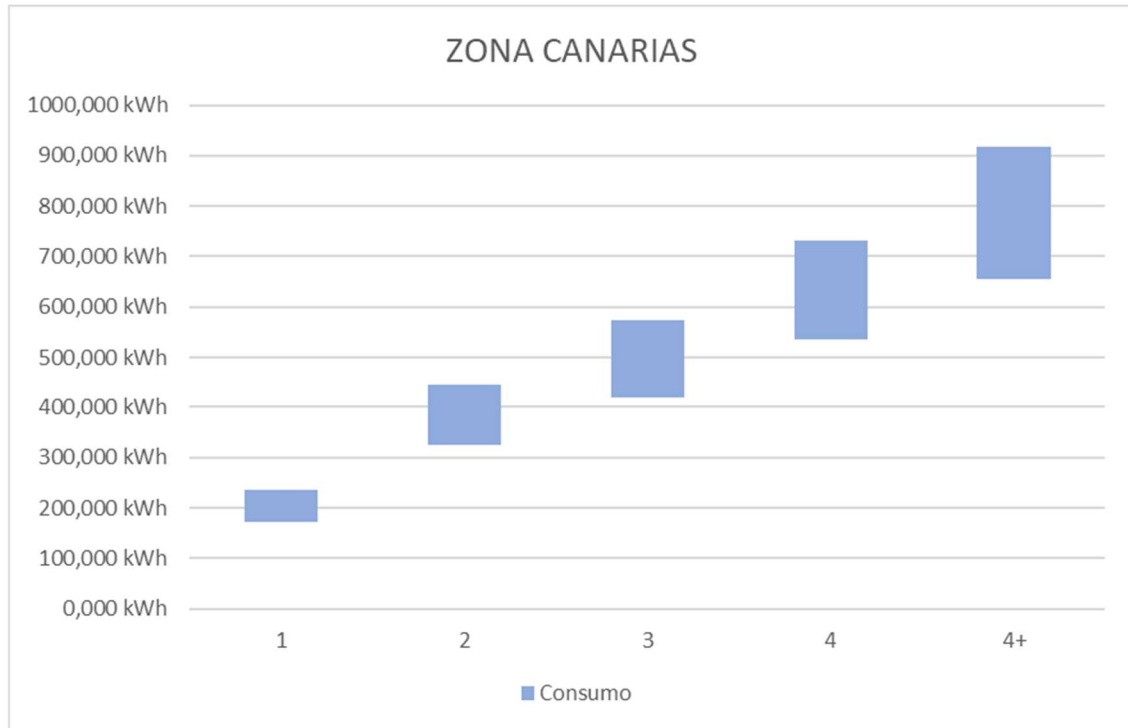


*Imagen 14. Resultados detallados de la zona Norte. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos con el modelo desarrollado.*



*Imagen 15. Resultados detallados de la zona Sur. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos con el modelo desarrollado.*





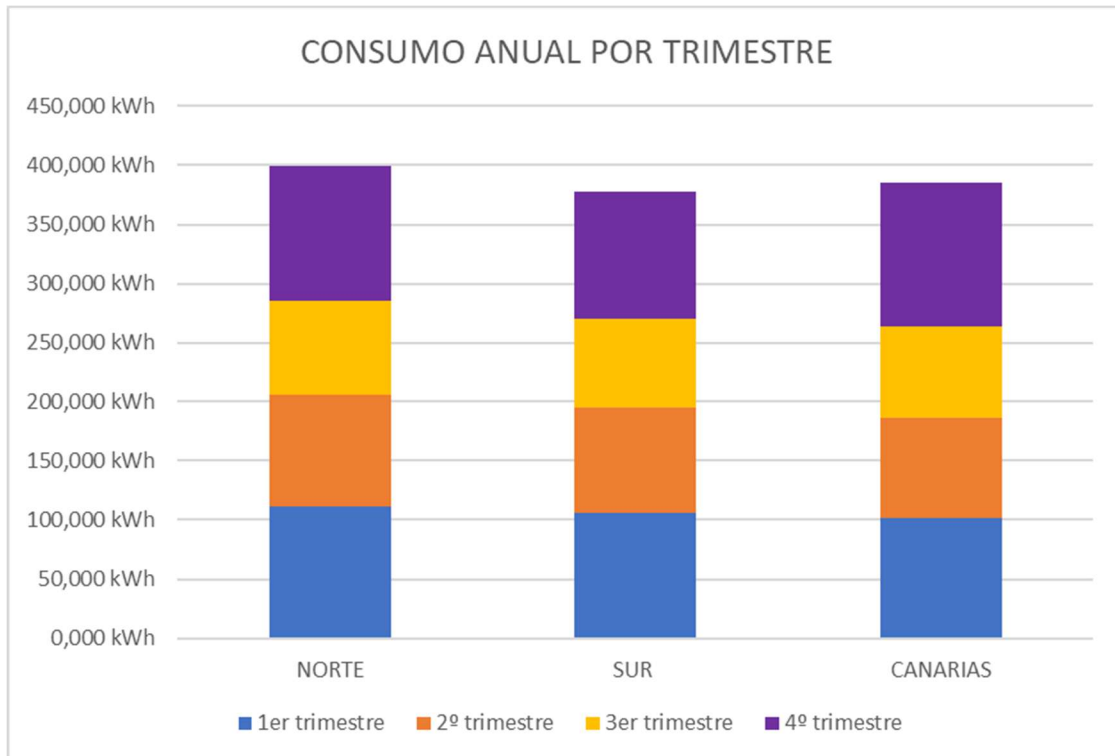
*Imagen 16. Resultados detallados de la zona Canarias. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos con el modelo desarrollado.*

En estas imágenes se ve, por cada zona geográfica, los consumos de los hogares según el número de miembros que tiene. El área coloreada representa el intervalo en el que se sitúa el consumo, siendo el límite inferior el valor para las viviendas de extensión pequeña y el límite superior el valor para las viviendas de extensión grande.

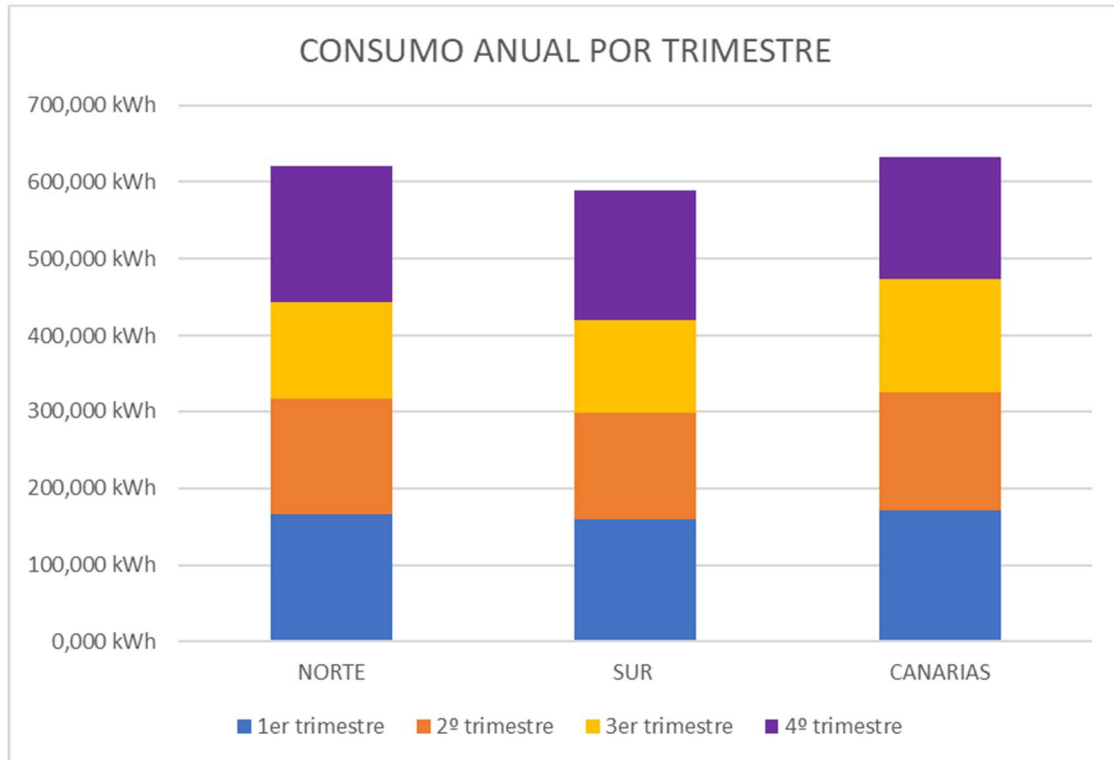
En estas gráficas se puede observar con claridad como el efecto de que haya más miembros aumenta el consumo en el hogar, pero no de manera proporcional, ya que en numerosas ocasiones varios miembros de este se encuentran realizando las mismas actividades.

### 6.1.3.3 Consumo según el trimestre

Con los datos obtenidos también se puede comparar en qué épocas del año se produce un mayor consumo en iluminación.



*Imagen 17. Consumo anual según cada trimestre para hogares de 2 miembros. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos con el modelo desarrollado.*



*Imagen 18. Consumo anual según cada trimestre para hogares de 4 miembros. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos con el modelo desarrollado.*

En estas gráficas se puede ver como el consumo cambia de un trimestre a otro. Se puede ver una tendencia en que, en los trimestres segundo y tercero, los que corresponden con primavera y verano, el gasto es menor que en los trimestres primero y cuarto. Esto se explica con la diferencia en las horas de luz disponible en cada momento del año. Al disponer de menos horas de Sol en invierno es necesario aumentar el tiempo que se usa la luz artificial. Además, la mayor cantidad de días nublados en los trimestres invernales hace que la diferencia sea todavía mayor.

#### **6.1.4 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.**

Los resultados arrojados por el modelo son concordantes con las hipótesis iniciales y muestran como el consumo por el uso de medios de iluminación está relacionado con los parámetros que se marcaron al inicio del proyecto.

Ha quedado demostrado que el número de integrantes del hogar es el factor que más influye a la hora de calcular el consumo de energía. También se ha visto cómo la cantidad de luz natural externa disponible afecta al consumo, siendo las épocas de invierno cuando más gasto se produce. Otro factor que es importante a la hora de calcular el consumo por iluminación es el tamaño del hogar ya que cuanto más superficie haya que iluminar de forma artificial más energía será necesaria para lograrlo. El último factor que se ha detectado como importante es la tecnología que se usa para iluminar. Cada tecnología tiene un consumo y una eficiencia energética distinta. Pudiendo lograrse un ahorro de energía si se usan tecnologías más eficientes como la tecnología LED.

## ***6.2 COMPARACIÓN DEL MODELO OBTENIDO CON OTROS EXISTENTES.***

En la actualidad sólo existe un estudio sobre el gasto energético que abarque el mismo espacio que este proyecto. Se trata del estudio SECH-SPAHOUSEC, que intenta analizar los gastos energéticos totales de los hogares españoles. Este estudio, que es mucho más completo que este trabajo ya que incluye gastos energéticos debidos a calefacción, refrigeración, producción de agua caliente y consumos de todos los tipos de electrodomésticos, tiene un apartado que se centra en estudiar el consumo por iluminación. Por lo tanto, se va a comparar este modelo con los resultados propuestos por el estudio SECH-SPAHOUSEC. [2]

Hay que tener en cuenta que el SECH-SPAHOUSEC no tiene una división del tipo de hogares igual a la propuesta por este proyecto, por lo que solo se pueden comparar los resultados globales, es decir, el gasto del hogar medio español.

Los resultados medios del modelo desarrollado se recogen en la Tabla 5.

Vivienda Pequeña	Vivienda Mediana	Vivienda Grande	SECH-SPAHOUSEC
407,3467 kWh	481,9895 kWh	556,6323 kWh	410 kWh

*Tabla 6. Comparativa entre el modelo propuesto y el estudio SECH-SPAHOUSEC [2].*

Los resultados obtenidos por nuestro modelo son bastante cercanos a los obtenidos por el estudio SECH-SPAHOUSEC, especialmente para los hogares pequeños y medianos, que forman la mayoría de los hogares españoles. [7]

Se puede ver que el modelo tiende a dar valores más altos a los del estudio con el que se está comparando, pero están lo suficientemente cerca como para considerar que este modelo da unos resultados comparables a los del estudio más aceptado en la actualidad en este ámbito.

### **6.3 FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.**

Dentro de este estudio ha habido un factor que no se ha estudiado en profundidad debido al aumento en la complejidad que habría tenido incluirlo en este trabajo. Este factor es la realidad socioeconómica de cada hogar. Esto incluye si en el hogar hay menores o personas dependientes, la capacidad económica de las personas integrantes del hogar o si las personas en edad laboral se encuentran trabajando, estudiando o están desempleadas. Estos factores socioeconómicos pueden afectar a los hábitos de las personas e influir en la cantidad de actividades que se realizan en la vivienda y, por tanto, afectar al uso que se da a los aparatos de iluminación.

Esta continuación del proyecto puede tener especial relevancia si se demuestra que estar en una situación socialmente desfavorable o que implique una mayor ocupación de la vivienda (p.e. personas en situación de desempleo o jubiladas) implica un mayor gasto energético

requerido, tal y cómo se ha demostrado para otros tipos de consumos en proyectos anteriores [20].

Otra línea de investigación que puede salir de este trabajo es el estudio económico de la conversión de los elementos de iluminación antiguos y poco eficientes por otros más modernos y de menor consumo, como pueden ser los aparatos LED. Este estudio puede ayudar a dar prioridades a los proyectos de mejora de la eficiencia energética en viviendas.

## **Capítulo 7. RELACIÓN DEL PROYECTO CON LOS ODS.**

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) son una serie de objetivos marcados por la Organización de Naciones Unidas (ONU) que deben servir como guía de actuación para que las organizaciones se desarrollen de forma sostenible, combinando los aspectos sociales, económicos y medioambientales. [6]

De los distintos 17 objetivos distintos, este trabajo está especialmente relacionado con el número 7 “Conseguir energía asequible y no contaminante”, dentro de este objetivo la meta 7.b resuena de manera especialmente fuerte con este trabajo ya que gracias a la información que se ha obtenido se pueden realizar actuaciones y proponer estrategias que impliquen una reducción en el consumo energético y una mejora en la eficiencia de los hogares. Esta última idea está muy relacionada con el objetivo número 11 “Lograr ciudades más sostenibles”. Con el aprendizaje que se puede obtener de este modelo se puede poner el foco en aquellas situaciones donde se pueda mejorar la eficiencia energética.

Estos dos objetivos mencionados son aquellos a los que este trabajo más ayuda, pero en menor medida también está relacionado con otros objetivos, como el número 9 que invita a construir infraestructuras más sostenibles. De igual manera este modelo puede contribuir al objetivo número 1, erradicar la pobreza, ya que entendiendo los hábitos de las personas se pueden proponer soluciones energéticamente más eficientes que incluyan la creación de infraestructura más sostenible y que en el largo plazo suponga un ahorro económico para los hogares. [6]





## Capítulo 8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] INE, “Encuesta de Empleo del Tiempo”, 2010. [https://www.ine.es/prensa/eet\\_prensa.htm](https://www.ine.es/prensa/eet_prensa.htm).
- [2] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), “Proyecto SECH-SPAHOUSEC 2011: Análisis del consumo energético del sector residencial en España”, 2011.  
[http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_Informe\\_SPAHOUSEC\\_ACC\\_f68291a3.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Informe_SPAHOUSEC_ACC_f68291a3.pdf)
- [3] Ministerio de Fomento, Código Técnico de la Edificación, 2019
- [4] Organización de Consumidores y Usuarios, “Evolución del precio de la electricidad 2022”.  
<https://www.ocu.org/vivienda-y-energia/gas-luz/informe/precio-luz>
- [5] Organización del tratado del Atlántico Norte, “NATO 2022 Strategic Concept”.  
[https://www.nato.int/nato\\_static\\_fl2014/assets/pdf/2022/6/pdf/290622-strategic-concept.pdf](https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/2022/6/pdf/290622-strategic-concept.pdf)
- [6] Organización de las Naciones Unidas, “17 objetivos para transformar nuestro mundo”.  
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>
- [7] INE, “Encuesta Continua de Hogares”, 2020. [https://www.ine.es/prensa/ech\\_2020.pdf](https://www.ine.es/prensa/ech_2020.pdf)
- [8] AENOR, UNE-EN 12464-1:2012 “Iluminación de los lugares de trabajo. Parte 1: Lugares de trabajo en interiores”. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0048898>
- [9] Ministerio para la Transición Ecológica, Estrategia Nacional Contra la Pobreza Energética 2019-2014.  
[https://www.miteco.gob.es/es/prensa/estrategianacionalcontralapobrezaenergetica2019-2024\\_tcm30-496282.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/prensa/estrategianacionalcontralapobrezaenergetica2019-2024_tcm30-496282.pdf)
- [10] Philips Iluminación, Catálogo de bombillas para consumidores.  
<https://www.lighting.philips.es/consumer/elige-una-bombilla>
- [11] LEDVANCE, Soluciones de Iluminación. <https://www.ledvance.es/profesional/soluciones-de-iluminacion>
- [12] OSRAM, Productos de OSRAM. <https://www.osram.es/cb/productos/index.jsp>
- [13] Grupo Lledó- Productos y soluciones. <https://lledogrup.com/productos/>

- [14] Instituto Geográfico Nacional, Astronomía y Aplicaciones Espaciales, Hora, salida y puesta de Sol. <https://astronomia.ign.es/hora-salidas-y-puestas-de-sol>
- [15] Weather Spark. <https://es.weatherspark.com/>
- [16] J. Henderson, J. Hart, BREDEM 2021, “A technical description of the BRE Domestic Energy Model” Version 1.1
- [17] N. Hafezparast, T. Olsson, G. Fischl, “Smart versus conventional lighting in apartments – Electric lighting energy consumption simulation for three different households” Energy & Buildings April 2021.
- [18] E. Gago, J. Ordoñez, A. Espín “Development of an energy model for the residential sector: Electricity consumption in Andalusia, Spain” Energy & Buildings, Enero 2011
- [19] R. Fouquet, P. Perarson “The long tun demand for lighting: elasticities and rebound effects in different phases of economic development” Economics of Energy and Environmental Policy, Enero 2012
- [20] E. Arenas, R. Barella, A. Cosín, J. Linares “Desarrollo de un modelo de cálculo de gasto eléctrico teórico en los hogares españoles” ECODES, Noviembre 2020
- [21] I. Richardson, M. Thomson, D. Infield, A. Delahunty “Domestic lighting: A high-resolution energy demand model” Energy & Buildings, Febrero 2009
- [22] M. Stokes, M. Rylatt, K. Lomas “A simple model of domestic lighting demand” Energy & Buildings, Octubre 2003
- [23] R.Barrella, J.C. Romero, J.I. Linares, E. Arenas, M. Asín, E. Centeno, The dark side of energy poverty: Who is underconsuming in Spain and why?, Energy Res. Soc. Sci. 86(2022) 102428. <https://doi.org/10.1016/J.ERSS.2021.102428>

## ANEXO I. CÓDIGO MATLAB

```
lista = zeros(size(H,1),1);
N = zeros(size(T,1),1);
ACT = zeros(size(T,1),1);

N_gasto = zeros(size(T,1),1);
N_consumo = zeros(size(T,1),1);

%Vector estar en casa
for i = 1:size(T,1)

    if ((T(i,15) == 11) || (T(i,10) == 11) || (T(i,10) == 0))

        N(i) = 1;

    end

end

%vector actividades coincidentes
for i = 1:size(T,1)

    if ((T(i,15) == 1))

        ACT(i) = 0.25;

    else

        ACT(i) = 1;

    end

end

%Vector gastar estando en casa
for p = 1:size(T,1)

    N_gasto(p) = N(p);

    if (T(p,6) == 11) | (T(p,6) == 1)

        N_gasto(p) = 0;

    end

end

for e = 1:size(T,1)
```

```

N_consumo(e) = N_gasto(e);

if (N_gasto(e) == 1)
    if int64(T(e,6)/100)==1 | int64(T(e,6)/100)==2
        N_consumo(e) = 60.46;
    else
        N_consumo(e) = 35.27;
    end
end

end
%}

%Crear una columna extra para tener el cuatrimestre en el que se han tomado
%los datos de cada hogar
cuatri = zeros(9541,1);
cc=1;
for buscar = 1:9541

    while T(cc,1) ~= buscar

        cc = cc + 1;

    end

    cuatri(buscar) = T(cc,3);

end
HH = [H cuatri]

%UNA SOLA PERSONA%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%19295
per = 98;

X = zeros(144:1);
Y = zeros(144:1);
for i=1:144

    X(i) = 6+i*24/144;
    Y(i) = N(per*144+i);
    YY(i) = N_gasto(per*144+i);

end
%{
figure
plot(X,Y)
hold on
plot(X,YY)
xlim([6 30])
ylim([-0.1 1.1])
xtickformat('%g H')
```

```

title('Curva de empleo de tiempo para una persona')
legend('Tiempo en casa','Tiempo usando iluminación')
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%}
%EN UN HOGAR%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%9541
hog = 63;
Z = zeros(144:100);
Z2 = zeros(144:100);
Z3 = zeros(144:100);
j=1;
m=1;
while T(j,1)~=hog

    j = j + 1;

end

j_ini = j;

for k=1:H(hog,5)
    perhog = j_ini/144;
    for i=1:144

        X(i) = 6 + i*24/144;
        Z(i,k) = N(j_ini+i);
        Z2(i,k) = N_gasto(j_ini+i);
        Z3(i,k) = N_gasto(j_ini+i)*ACT(j_ini+i);
    end
    j_ini = j_ini + 144;
end
%{
figure
plot(X,sum(Z'))
hold on
plot(X,sum(Z2'))
hold on
plot(X,sum(Z3'))
xlim([6 30])
ylim([-0.1 4.1])
xtickformat('%g H')
%datetick('x','HH:MM')
legend('N° de personas en casa.','N° de personas con gasto de luz.','N° de
personas con gasto de luz corregido.')
title(['Vivienda ID ',num2str(hog),'.'])
%}
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%5%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%Lista de hogares con una condición

l = 1;
n_per = 4;
cuatrimestre = 2;
zona = 'Norte'; %norte, sur, canarias

```

```

%NORTE% && ((HH(i,2)==2) | (HH(i,2)==03) | (HH(i,2)==6) | (HH(i,2)==7) |
(HH(i,2)==9) | (HH(i,2)==12) | (HH(i,2)==15) | (HH(i,2)==16) | (HH(i,2)==17))
%SUR% &&
((HH(i,2)==1) | (HH(i,2)==4) | (HH(i,2)==8) | (HH(i,2)==10) | (HH(i,2)==11) | (HH(i,2)==13)
| (HH(i,2)==14) | (HH(i,2)==18))
%CANARIAS% && ((HH(i,2)==5))
%CUATRI% && (HH(i,15) == cuatrimestre)

for i = 1:size(lista)

    if ( HH(i,5)==4 && HH(i,15) == cuatrimestre && ((HH(i,2)==2) | (HH(i,2)==03) |
(HH(i,2)==6) | (HH(i,2)==7) | (HH(i,2)==9) | (HH(i,2)==12) | (HH(i,2)==15) |
(HH(i,2)==16) | (HH(i,2)==17)))

        lista(l) = H(i,1);

        l = l + 1;
    end

end

A = 20
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
m = 1;
Z = zeros(144,10,(l-1));
Z_uso = zeros(144,10,(l-1));
Z_uso_ajus = zeros(144,10,(l-1));
Z_uso_ajus_luz = zeros(144,10,(l-1));
Z_consumo = zeros(144,10,(l-1));

while lista(m) ~= 0

    hog = lista(m);
    j=1;

    while T(j,1)~=hog
        j = j + 1;
    end

    j_ini = j;

    for k=1:H(hog,5)
        perhog = j_ini/144;
        for i=1:143

            Z(i,k,m) = N(j_ini+i);
            Z_uso(i,k,m) = N_gasto(j_ini+i);
            Z_uso_ajus(i,k,m) = N_gasto(j_ini+i)*ACT(j_ini+i);
            Z_uso_ajus_luz(i,k,m) = N_gasto(j_ini+i)*ACT(j_ini+i);
            Z_consumo(i,k,m) = N_consumo(j_ini+i)*ACT(j_ini+i);

        end
        j_ini = j_ini + 144;
    end
end

```

```

A = m;

m = m + 1;
end

%Calcular la media de todos los hogares seleccionados

S2 = sum(Z,[2 3]);
S3 = sum(Z_uso,[2 3]);
S4 = sum(Z_uso_ajus,[2 3]);
S5 = sum(Z_uso_ajus_luz,[2 3]);
S6 = sum(Z_consumo,[2 3]);
S2_media = S2 / l;
S3_media = S3 / l;
S4_media = S4 / l;
S5_media = S5 / l;
S5_media = S5_media.*COEF(:,3);
S6_media = S6 / l;
S6_potencia = S6_media/2;
S6_potencia_cor = S6_potencia.*grafsolar(13,:);
S6_potencia_aux = S6_media/3;
S6_potencia_cor_aux = S6_potencia_aux.*grafsolar(13,:);
S7 = S4_media.*grafsolar(2,:);
%{
figure
plot(X,S2_media)
hold on
plot(X,S3_media)
hold on
plot(X,S4_media)
hold on
plot(X,S7,'k','LineWidth',1)
%hold on
%plot(X,S5_media)
xlim([6 30])
ylim([-0.1 4.1])
xtickformat('%g H')
%datetick('x','HH:MM')
legend('N° de personas en casa','N° de personas con gasto de luz.','N° de
personas con gasto de luz ajustadas.','N° de personas con gasto de luz ajustadas
por efecto de luz exterior.')
title([num2str(l-1),' viviendas de la zona ',num2str(zona),' de
',num2str(n_per),' habitantes en el trimestre ',num2str(cuatrimestre)])
%}
S66 = S6_potencia_cor*2;
S666 = S6_potencia_cor*0.5;
figure

plot(X,S6_potencia_cor,'k','LineWidth',1)
xlim([6 30])
xtickformat('%g H')
ytickformat('%g W')

```

```

title('Potencia instantánea consumida para hogar de ejemplo de tamaño pequeño')
legend('Potencia consumida [W]')
%}
%figure
%plot(X,grafsolar(13,:))

consumo_anual = sum(S6_potencia_cor)*365/1000
consumo_anual_aux = sum(S6_potencia_cor_aux)*365/1000

%{
figure
plot(X,COEF(:,2))
hold on
plot(X,COEF(:,3))
hold on
plot(X,COEF(:,4))
hold on
plot(X,COEF(:,5))
xlim([6 30])
ylim([-0.1 1.1])
legend('Zona Norte Verano','Zona Norte Invierno','Zona Canarias Verano','Zona
Canarias Invierno')
%Ejemplo de los factores en el consumo.
%}
%19295
per = 15865;

X1 = zeros(144:1);
Y1 = zeros(144:1);
Y2 = zeros(144:1);
Y3 = zeros(144:1);
for i=1:144

    X1(i) = i;
    Y1(i) = N(per*144+i);
    Y2(i) = N_gasto(per*144+i);
    Y3(i) = N_gasto(per*144+i)*COEF(i,2);

end

```