



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH  
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

TRABAJO DE FINAL DE GRADO

**Grado en Ingeniería Mecánica**

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE UN  
CONJUNTO DE VIVIENDAS DENTRO DEL ÁREA  
METROPOLITANA DE BARCELONA A PARTIR DE UN  
ANÁLISIS UNIVARIABLE**



**Memoria y Anexos**

**Autor/a:** Santiago Valencia Arroyo  
**Director/a:** Alfredo Guardo Zabaleta  
**Co-Director/a:** Luis Eduardo Mujica Delgado  
**Convocatoria:** Junio 2023



## Resumen

El siguiente trabajo trata sobre un proyecto de investigación con el objetivo de analizar el comportamiento térmico de un conjunto de viviendas.

Para ello se han realizado diferentes mediciones en cada una de las viviendas estudiadas a partir de diferentes sensores de temperatura, humedad y CO<sub>2</sub>. Utilizando estos datos medidos, se han calculado una serie de variables más que serán relevantes para el comportamiento térmico.

Una vez se ha terminado este proceso inicial, se realizará la limpieza de datos para posteriormente a partir del software Rstudio unir cada una de las variables de una vivienda en una misma matriz.

Posteriormente, a partir de un estudio univariable se analizará la correlación entre las diferentes variables y el consumo energético de cada una de las viviendas enfrente la vivienda de Parellada. De esta forma se podrá ver y entender el comportamiento térmico de cada una de las viviendas .

## Resum

El següent treball tracta sobre un projecte de recerca amb l'objectiu d'analitzar el comportament tèrmic d'un conjunt d'habitatges.

Per a això, s'han realitzat diferents mesuraments en cadascuna dels habitatges estudiats a partir de diferents sensors de temperatura, humitat i CO<sub>2</sub>. Utilitzant aquestes dades mesurades, s'han calculat una sèrie de variables més que seran rellevants pel comportament tèrmic.

Una vegada s'ha acabat aquest procés inicial, es realitzarà la neteja de dades per a posteriorment a partir del programari Rstudio unir cadascuna de les variables d'un habitatge en una mateixa matriu.

Posteriorment, a partir d'un estudi univariable s'analitzarà la correlació entre les diferents variables i el consum energètic de cadascun dels habitatges enfront l'habitatge de Parellada. D'aquesta manera es podrà veure i entendre el comportament tèrmic de cadascun dels habitatges .

## **Abstract**

The following work is on a research project with the aim of analysing the thermal behaviour of a set of homes.

To this end, different measurements have been made in each of the homes studied from different sensors of temperature, humidity and CO<sub>2</sub>. Using these measured data, a number of other variables have been calculated that will be relevant to thermal behaviour.

Once this initial process is completed, the data cleanup will be done later from the Rstudio software to join each of the variables of a house into a single array.

Subsequently, a single-variable study will analyse the correlation between the different variables and the energy consumption of each household versus the living place of Parellada. In this way the thermal behaviour of each dwelling can be seen and understood.

## Agradecimientos

Agradecer a los profesores Alfredo Guardo Zabaleta y Luis Eduardo Mujica Delgado por haberme ayudado tanto en la parte teórica, entendiendo los conceptos que se tendrían que aplicar dentro de este proyecto como en la parte práctica, dándome consejos de cómo realizar los diferentes scripts en Rstudio.

Agradecer también a aquellos alumnos que al igual que yo, realizaron pasos previos a este proyecto, con el fin de completar entre todos el proyecto REEHABILITANT.

También, agradecer a las personas que forman parte de la asociación Oasiurbà por dejarme involucrar en la medida de lo posible en el proyecto REEHABILITANT y, poder aportar mi granito de arena en este proyecto, el cual su fin principal es la ayuda a los más necesitados.

Por último, agradecer a todas aquellas personas que me han dejado sus viviendas para poder realizar las diferentes mediciones. En especial a mis padres y mi hermana, mis yayos y mi pareja.

# Índice

Resumen.....	i
Resum.....	ii
Abstract .....	iii
Agradecimientos .....	iv
<b>1 Prefacio .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Origen del trabajo.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Motivación .....</b>	<b>2</b>
<b>1.3 Requerimientos previos .....</b>	<b>3</b>
<b>2 Introducción .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 Objetivos del trabajo .....</b>	<b>5</b>
<b>2.2 Alcance del trabajo .....</b>	<b>6</b>
<b>3 Marco teórico.....</b>	<b>7</b>
<b>3.1 Consumo energético.....</b>	<b>7</b>
3.1.1 Climatología en el área metropolitana de Barcelona. ....	8
3.1.2 Orientación y estructura de la vivienda .....	11
3.1.3 Residentes.....	13
<b>3.2 Evolución normativa en viviendas.....</b>	<b>15</b>
<b>4 Metodología.....</b>	<b>16</b>
<b>4.1 Viviendas estudiadas.....</b>	<b>16</b>
<b>4.2 Variables medidas en las viviendas estudiadas .....</b>	<b>18</b>
4.2.1 Condiciones climáticas interiores .....	18
4.2.2 Temperaturas superficiales en fachada .....	20
4.2.3 Calidad de aire.....	21
4.2.4 Condiciones climáticas exteriores.....	24
4.2.5 Consumo energético .....	24
<b>4.3 Variables calculadas .....</b>	<b>25</b>
4.3.1 Sensación térmica.....	25
4.3.2 Diferencia de Temperatura.....	27
4.3.3 Consumo Energético .....	27
4.3.4 Consumo normalizado .....	30

4.3.5	Temperatura media y varianza .....	30
<b>4.4</b>	<b>Estructura y procesado de los datos.....</b>	<b>31</b>
4.4.1	Sensor termohigrómetro (Elitech RC-4HC).....	31
4.4.2	Sensor temperatura superficial (Extech SD700).....	32
4.4.3	Sensor Calidad de aire .....	34
4.4.4	Red XEMA .....	37
4.4.5	Consumo energético .....	39
<b>5</b>	<b>Tratamiento de datos.....</b>	<b>40</b>
<b>5.1</b>	<b>Estadística descriptiva .....</b>	<b>40</b>
5.1.1	Medidas de tendencia central.....	40
5.1.2	Medidas de dispersión .....	41
5.1.3	Gráficas estadísticas .....	41
5.1.4	Matrices .....	42
<b>5.2</b>	<b>P-valor .....</b>	<b>42</b>
<b>5.3</b>	<b>Programación en Rstudio .....</b>	<b>44</b>
<b>5.4</b>	<b>Metodología de programación.....</b>	<b>45</b>
5.4.1	Metodología de programación matriz de datos .....	45
5.4.2	Metodología de programación estudio univariable .....	51
<b>6</b>	<b>Resultados.....</b>	<b>52</b>
<b>6.1</b>	<b>Comportamiento energético viviendas .....</b>	<b>52</b>
<b>6.2</b>	<b>Correlaciones variables vs consumo energético.....</b>	<b>57</b>
<b>7</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>63</b>
<b>8</b>	<b>Bibliografía.....</b>	<b>65</b>
	<b>Anexo 1 Hoja técnica sensor Elitech RC-4HC .....</b>	<b>68</b>
	<b>Anexo 2 Hoja técnica Sensor Extech SD700.....</b>	<b>69</b>
	<b>Anexo 3 Hoja técnica sensor RSPRO .....</b>	<b>70</b>
	<b>Anexo 4 Certificado energético .....</b>	<b>72</b>
	<b>Anexo 5 R-script matriz .....</b>	<b>74</b>
	<b>Anexo 6 Matriz de datos .....</b>	<b>90</b>
	<b>Anexo 7 R-script método univariable .....</b>	<b>91</b>



## Índice figuras

Figura 1	Distribución típica del consumo energético de una vivienda [4] .....	7
Figura 2	Registro de temperatura área metropolitana de Barcelona [6] .....	8
Figura 3	Registro nubosidad área metropolitana de Barcelona [6] .....	10
Figura 4	Registro hora luz solar área metropolitana de Barcelona [6] .....	10
Figura 5	Registro humedad área metropolitana de Barcelona [6] .....	11
Figura 6	Condensación Ventana [9].....	13
Figura 7	Mapa Viviendas Estudiadas .....	16
Figura 8	Sensor Elitech RC-4HC .....	19
Figura 9	Sensor Extech SD700.....	21
Figura 10	Sensor calidad de aire RSPRO. ....	22
Figura 11	Sensación térmica en función de la temperatura y humedad relativa [17] .....	26
Figura 12	Tabla permeabilidad al aire de huecos [18] .....	29
Figura 13	Excel exportado de sensor Elitech RC-4HC.....	31
Figura 14	Excel estructurado de sensor Elitech RC-4HC .....	32
Figura 15	Excel exportado de sensor superficial (Extech SD700).....	33
Figura 16	Excel estructurado de sensor superficial .....	34
Figura 17	Excel exportado de sensor calidad de aire (RSPRO) .....	35
Figura 18	Excel estructurado del sensor calidad de aire (RS-PRO) .....	36
Figura 19	Matriz red XEMA [21] .....	37
Figura 20	Excel estructurado de red XEMA .....	38
Figura 21	Excel estructurado de consumo energético .....	39
Figura 22	Contraste de hipótesis basado en el P-valor [2].....	43
Figura 23	Software Rstudio .....	44
Figura 24	Descarga y lectura archivos Google Drive .....	46
Figura 25	Cálculo variable calculada (sensación térmica).....	47
Figura 26	Manipulación fecha y día (CO2).....	47
Figura 27	Manipulación horaria (red XEMA).....	48

Figura 28	Creación secuencia de tiempo.....	48
Figura 29	Interpolación datos temperatura media (red XEMA).....	48
Figura 30	Plot temperatura red XEMA en función tiempo.....	48
Figura 31	Creación matriz (vivienda Sant Boi de Llobregat).....	49
Figura 32	Descarga matriz en Excel.....	49
Figura 33	Estadística p-valor en Rstudio.....	51
Figura 34	Resultado p-valor en Rstudio.....	51
Figura 35	Consumo energético viviendas bloque 2 vs Parellada.....	52
Figura 36	Gradiente temperatura viviendas bloque 2 vs Parellada.....	53
Figura 37	Bienestar térmico viviendas bloque 2 vs Parellada.....	54
Figura 38	Consumo energético viviendas bloque 3 vs Parellada.....	55
Figura 39	Gradiente temperatura viviendas bloque 3 vs Parellada.....	56
Figura 40	Bienestar térmico viviendas bloque 3 vs Parellada.....	57
Figura 41	Hoja técnica Elitech RC-4HC[13].....	68
Figura 42	Hoja técnica Elitech RC-4HC[13].....	68
Figura 43	Hoja técnica Extech SD700 [14].....	69
Figura 44	Hoja técnica sonda calidad aire [RSPRO] [15].....	70
Figura 45	Hoja técnica sonda calidad aire [RSPRO] [15].....	71
Figura 46	Certificado Energético vivienda general manso [29].....	72
Figura 47	Certificado Energético vivienda Hospitalet de Llobregat [29].....	73

## Índice tablas

Tabla 1 Evolución Normativa vivienda	15
Tabla 2 Sensores utilizados en cada una de las viviendas	17
Tabla 3 Matriz de dato	50
Tabla 4 Correlación variables medidas vs consumo energético	58
Tabla 5 Correlación variables calculadas vs consumo energética	61

## Índice ecuaciones

Ecuación 1 Sensación térmica	26
Ecuación 2 Coeficiente global de transferencia de calor	27
Ecuación 3 Densidad del aire	28
Ecuación 4 Temperatura interior media	28
Ecuación 5 Potencia consumida	28
Ecuación 6 Consumo energético	29
Ecuación 7 Consumo energético normalizado	30
Ecuación 8 Varianza absoluta	30
Ecuación 9 Desviación máxima	30
Ecuación 10 p-valor	42



# 1 Prefacio

## 1.1 Origen del trabajo

El origen de este trabajo empezó en una de las clases que impartía el profesor Alfredo Guardo Zabaleta, de Ingeniería Térmica, donde propuso al grupo la posibilidad de realizar diferentes trabajos finales de Grado (TFG) relacionado con aspectos vistos anteriormente en la asignatura.

Una vez escuché, junto a mis compañeros, las diferentes propuestas, consulté vía mail a Alfredo la posibilidad de realizar una reunión dónde me explicará de forma más amplia los diferentes proyectos y la finalidad de cada uno de ellos.

Uno de ellos era el proyecto REEHABILITANT el cual nació hace varios años y en el que se lleva tiempo estudiando. La finalidad de este proyecto es ayudar a las personas más desfavorecidas juntamente con diferentes ONG, con el fin de poder mejorar la calidad de vida. De esta forma y a partir de este proyecto, se intentará dar ayudas a estas viviendas en temas relacionados con el acondicionamiento de la vivienda o proporcionando ayudas en cuanto al consumo energético de estas.

## 1.2 Motivación

Han sido varias las motivaciones que me han surgido para la elección de este proyecto a diferencia de otros.

En primer lugar, la realización de este proyecto me permitía poder ampliar los conocimientos sobre una de las partes de la ingeniería que a lo largo de estos últimos 4 años no he llegado a conocer, como es la parte de eficiencia de una vivienda, donde se relacionan los conceptos de aislamiento térmico, el uso de los calentadores, entre otros.

En segundo lugar, al realizar las prácticas académicas en el departamento Building Products (BP) en Siemens.S.A, muchos de los productos con los cuales trabajo son aparatos de medida de CO<sub>2</sub>, humedad relativa, temperatura,..., de esta forma creía que era una buena idea realizar este proyecto dado que me sería útil tanto para poder aplicar los conocimientos que he ido adquiriendo en estos últimos meses dentro de la empresa, así como nuevos conocimientos que este trabajo me ha proporcionado y poder aplicarlos en mi área en el día a día, como por ejemplo, el uso de aparatos de medición,etc.

Por último, pero no menos importante, la posibilidad que me daba este proyecto de poder realizar mediciones en las diferentes viviendas de mis familiares ha hecho que escoja definitivamente este proyecto, ya que poder involucrarlos a ellos en cierta forma es una gran ilusión dada la importancia que tienen en mi vida, así como la ha tenido el trabajo.

### **1.3 Requerimientos previos**

Para poder llevar a cabo este proyecto, se han debido tener en cuenta ciertos requerimientos previos, que a continuación serán explicados.

En primer lugar, dado que se trata de un proyecto relacionado con la asignatura de Ingeniería Térmica, es importante tener en cuenta y recordar aspectos relacionados con los diferentes temas impartidos en dicha asignatura, así como la eficiencia energética de las viviendas o el aislamiento térmico de dichas. De esta manera, me permitirá poder entender el proyecto de una forma más amplia y clarificadora.

En segundo lugar, será útil tener conceptos básicos en torno al Software Excel, ya que se le dará un gran uso, dado que los valores de temperatura, humedad relativa y CO<sub>2</sub>, que se han ido obteniendo a lo largo de estos meses mediante los aparatos de medición se han extrapolado a Excel.

En tercer lugar, será importante refrescar conocimientos en torno a la teoría impartidas en relación con la estadística, ya que a la hora de manejar el código R, se deberán de utilizar métodos de integración como el método del trapecio, interpolaciones....

Por último, será importante tener buenos conocimientos en cuanto a la programación a partir del software matemático llamado Rstudio, donde se realizará todo el estudio del proyecto una vez los datos se hayan obtenido de las distintas mediciones.





## 2 Introducción

En el marco actual, donde hay un auge en el interés por la sostenibilidad y en la eficiencia energética en las viviendas, este proyecto tiene como objetivo analizar el comportamiento térmico de diferentes viviendas que se encuentran situadas dentro del área metropolitana de Barcelona. Para ello, se ha realizado un estudio comparativo entre estas viviendas y una vivienda de referencia, Parellada, con certificado energético A y, equipada con domótica inteligente.

El estudio se ha basado en las mediciones que se han obtenido en cada una de las viviendas a partir de diferentes sensores (temperatura, humedad relativa y CO<sub>2</sub>), permitiendo obtener tanto el comportamiento térmico como el consumo energético consumido por cada una. Es importante destacar que dentro de este estudio hay una gran diversidad arquitectónica entre cada una de las viviendas, ya que estas han sido construidas en épocas distintas, desde el siglo XIX hasta el siglo XXI.

El objetivo básico de este proyecto es aportar una visión completa sobre cómo se han de rehabilitar viviendas con diferentes características. A través del estudio comparativo se intentará identificar las ventajas y desventajas que presenta cada una de las viviendas en términos de consumo energético y confort térmico.

### 2.1 Objetivos del trabajo

El principal objetivo de este proyecto es estudiar y comparar el comportamiento térmico de cada una de las viviendas con respecto a la vivienda de referencia, Parellada, a partir de un análisis univariable. A través de este análisis, se pretende entender las necesidades específicas en cuanto a aislamiento térmico y consumo de cada una, con el fin de saber desarrollar estrategias de cómo encarar un proyecto de rehabilitación de viviendas según las particularidades constructivas y las características de cada una de las viviendas.

En cuanto a los objetivos más específicos de este proyecto, estos son los siguientes:

- Realizar mediciones en las diferentes viviendas de forma correcta, con el fin de obtener las condiciones climáticas interiores y consumos energéticos de cada una de las viviendas.
- Crear una serie de variables a partir de los datos medidos en cada vivienda.

- Realizar limpieza de datos y creación de datasets para el estudio estadístico posterior.
- Generar un script que permita obtener los resultados para cada una de las viviendas a partir de la estadística del p-valor.
- Identificar correlación entre las diferentes variables y la variable de consumo energético, y encontrar patrones de comportamiento.

## 2.2 Alcance del trabajo

El alcance de este proyecto rige en la comparación del comportamiento térmico entre distintas viviendas. Este proyecto abarca un total de 12 viviendas las cuales están dentro del área metropolitana de Barcelona, comúnmente en el barrio del Raval y la corona metropolitana de Barcelona. Resaltar que, de las 12 viviendas estudiadas, dentro de este proyecto se han estudiado tres viviendas (General Manso, Hospitalet de Llobregat y Sant Boi de Llobregat) entre el día 15-02-2023 y el 25-03-2023. Las viviendas restantes fueron medidas por Marc López Gallego [1] y Sergi Gracia Peris [2].

## 3 Marco teórico

### 3.1 Consumo energético

El Consumo energético es la base de este proyecto, se define como el gasto total de energía el cual se mide en kWh. Además, se destaca por ser directamente proporcional a la eficiencia energética; a mayor consumo menor eficiencia energética [3].

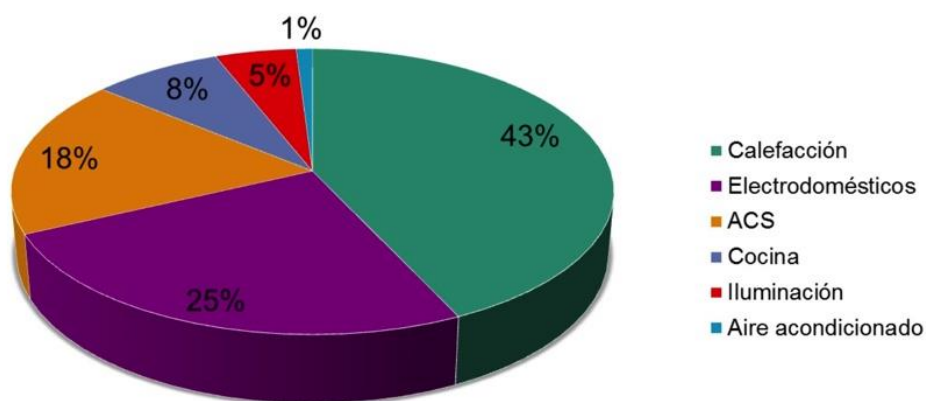


Figura 1 Distribución típica del consumo energético de una vivienda [4]

Como se puede apreciar en la **Figura 1**, el gasto energético producido por la calefacción es prácticamente la suma de todos los gastos restantes (Cocina + ACS + ...).

En este proyecto se tendrá en cuenta solo el consumo energético producido por la calefacción, es decir, el consumo energético normalizado del cual se hablará en el apartado **4.3.4**.

Tal y como se ha comentado anteriormente, la calefacción es el gasto energético más importante dentro de una vivienda. Existen varios factores que influyen directamente en el consumo energético de la vivienda, tales como:

- Climatología en el área metropolitana de Barcelona.
- Orientación y estructura de la vivienda.
- Residentes.

### 3.1.1 Climatología en el área metropolitana de Barcelona.

Uno de los aspectos que tiene mucha importancia en cómo debe ser la orientación de una vivienda o como se debe diseñar el aislamiento térmico para una mayor eficiencia es la climatología que hay en esa zona. Dada la importancia que destaca en este proyecto, a continuación, se explicarán las características climáticas de la zona donde se encuentran todas las viviendas estudiadas.

El área metropolitana de Barcelona se encuentra formada por 36 municipios, los cuales comprenden un territorio con los ámbitos agrícolas del delta de Llobregat, la zona urbanizada del centro de Barcelona, etc. Todas ellas, forman el área de metropolitana de Barcelona la cual se caracteriza por tener la siguiente climatología [5]:

**Temperatura** [6]: La temperatura del área metropolitana de Barcelona se puede definir como suave en invierno, donde generalmente la temperatura mínima se encuentra por encima de los 5 °C y cálida en verano donde las temperaturas medias son de hasta los 28 °C. En la siguiente **Figura 2**, se puede observar que la diferencia de temperatura en cada uno de los meses es mínima.

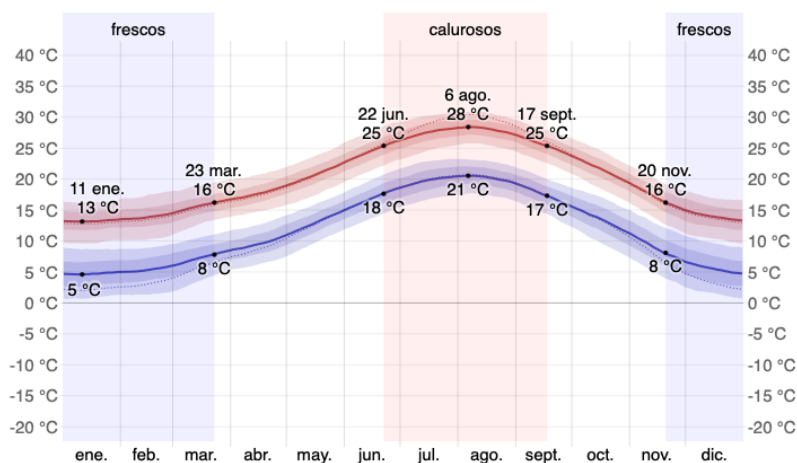


Figura 2 Registro de temperatura área metropolitana de Barcelona [6]

Tal y como se puede ver en la **figura 2** que relaciona la temperatura máxima y mínima en cada uno de los meses, se puede observar que la diferencia entre máximos y mínimos es muy pequeña, ya que se producen diferentes efectos como:

- **El efecto del mar Mediterráneo:** el mar actúa como regulador de la temperatura, es decir, el agua del mar se calienta durante las horas del sol y libera este calor a través de la humedad lentamente, haciendo que la temperatura de variación entre el pico máximo y mínimo sea mucho menor que en zonas de montaña, donde la variación entre la temperatura del día y la noche es mayor.

- **La isla de calor:** Se considera que el área metropolitana de Barcelona se trata de una isla de calor. Esto es producido por la alta acumulación de hormigón, entre otros materiales, que tiene la zona urbana. Esta situación provoca la dificultad a la hora de disipar el calor durante la noche y hace que las temperaturas sean más cálidas que en zonas con una población menos densa.

- **Nubosidad** [6]: En cuanto a la nubosidad, el área metropolitana de Barcelona tiene un clima donde la presencia promedio de las nubes, es decir, la relación promedio entre tener un día de cielo abierto o no, varía de manera considerable a lo largo del año. A partir de la **figura 3**, se puede ver como los meses donde se tiene un mayor cielo cubierto se encuentran entre los meses de junio y septiembre y, por otra parte, se puede apreciar como en los 8 meses posteriores el cielo se encuentra con una mayor nubosidad, sobre todo en el mes de octubre.

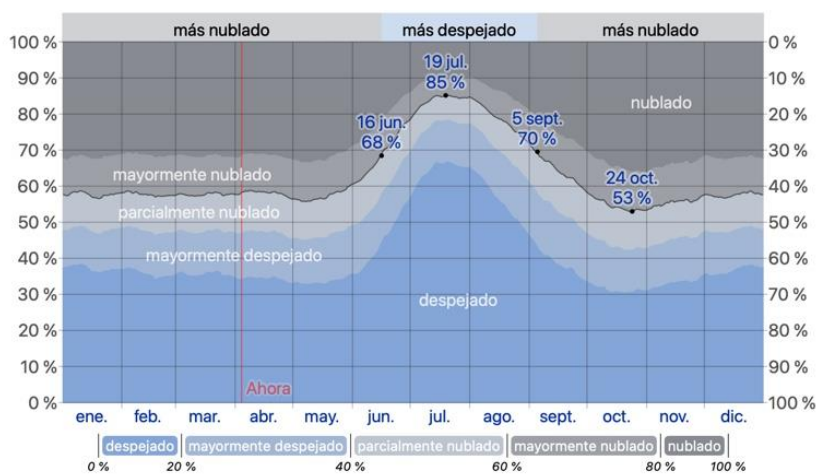


Figura 3 Registro nubosidad área metropolitana de Barcelona [6]

En relación con el proyecto, las nubes son un factor determinante, ya que la presencia de nubosidad en el clima hace que la incidencia del sol sobre las viviendas disminuya y, por ende, que las temperaturas del ambiente sean menores, haciendo que en los meses donde tengamos una nubosidad más elevada, meses de invierno, el uso de la calefacción sea mayor.

- **Horas de luz solar** [6]: Las horas de luz solar que se tienen en el área metropolitana de Barcelona son considerables. Según la **figura 4**, se observa que, en los meses de verano, el tiempo máximo de luz solar recibida es en el mes de junio con un total aproximadamente de 15 h y 10 min, mientras que el tiempo de mínima luz solar recibida se produce en el mes de diciembre. Esto se produce por la translación que sufre el planeta tierra.

En relación al comportamiento térmico de la vivienda, una mayor presencia de luz solar comportará que la radiación solar que reciban las viviendas sea mayor y en consecuencia la temperatura interior de la misma se verá incrementada. De otro modo, en invierno pasará todo lo contrario, la vivienda se verá afectada por el no calentamiento de forma natural de la vivienda y eso provocará el uso de la calefacción.



Figura 4 Registro hora luz solar área metropolitana de Barcelona [6]

- **Humedad** [6]: Finalmente, se tendrá en cuenta la humedad. Tal y como se ha comentado anteriormente, el área metropolitana de Barcelona al tratarse de una zona costera, la humedad es mucho mayor que en zonas que se encuentra en el interior del país. Esta humedad viene dada por el efecto del mar Mediterráneo comentado anteriormente, donde el mar actúa como un gran regulador, liberando el calor recibido a lo largo de las horas de luz solar en forma de humedad.

A partir de la **figura 5** se observa que los meses de verano es cuando la humedad dentro del área metropolitana de Barcelona es mayor.

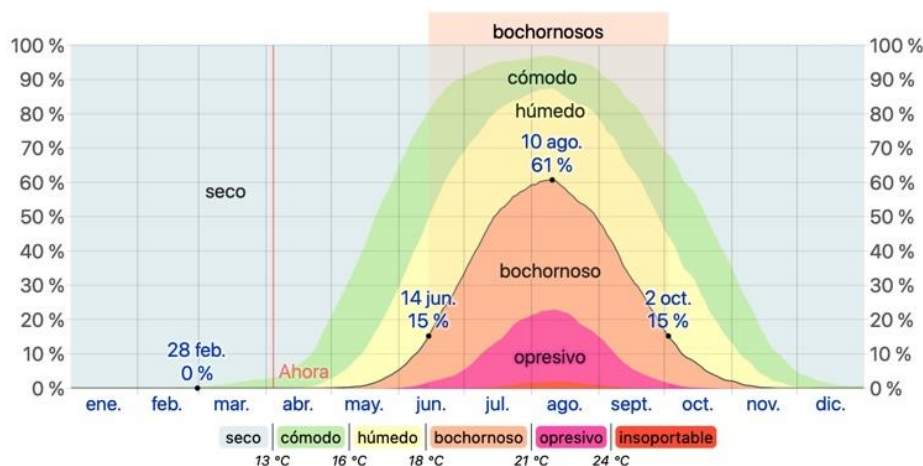


Figura 5 Registro humedad área metropolitana de Barcelona [6]

### 3.1.2 Orientación y estructura de la vivienda

La ubicación de las viviendas y la estructura de esta son factores importantes a la hora de poder evaluar el porqué del consumo energético de cada una de las viviendas. A continuación, se detallarán los factores relacionados con estos aspectos: orientación y localización ventanas y, aislamiento térmico.

#### 3.1.2.1 Orientación y localización ventanas

Este factor es un condicionante muy importante para el consumo energético de una vivienda, ya que puede suponer un ahorro de hasta el 70% en el consumo de climatización de nuestra vivienda, así mismo un hogar que recibe una mayor luz solar proporciona una mejor calidad de vida y bienestar. En zonas donde tengamos un clima frío, se intenta buscar una mayor presencia solar a lo largo de las 24 h del día, con el fin de poder obtener un ahorro energético. En cuanto al área metropolitana de Barcelona, lugar donde se han llevado a cabo los diferentes estudios a lo largo de estos últimos meses, lo que se intenta es buscar un equilibrio en base a la orientación de las viviendas, ya que se tiene un clima cálido, por eso la mejor opción de orientación en Barcelona es la sudeste, debido a que en invierno el sol incidirá por la mañana a través de las ventanas a lo largo de todo el día, de esta forma el uso de la calefacción será menor. Por otro lado, en verano el sol se pondrá de forma progresiva a lo largo de las horas de la tarde, esto permitirá las bajas de la temperatura de la vivienda [7].

### 3.1.2.2 Aislamiento térmico

Es un factor al igual que la orientación de la vivienda muy importante para el consumo energético de una vivienda. Se define como el conjunto de materiales y técnicas de instalación que se aplican para separar los espacios climatizados con el exterior, con el fin de reducir la transmisión de calor entre ellos. Básicamente, el aislamiento térmico de una casa se basa en la envolvente del edificio, la cual contine todos los espacios interiores habitables, está la separa del exterior; se compone de los siguientes elementos [8]:

- **Cerramientos en contacto con el exterior** (muros, suelo y cubiertas): Parte de la envolvente térmica más estructural, dónde se separa el exterior del interior de la vivienda.
- **Puentes térmicos** (fachada, tejado, marco ventanas, etc.): Parte de la envolvente térmica donde se transmite más fácilmente el calor que en otras zonas. Esto se suele deber a que es un elemento que se mantiene en contacto con el exterior y el interior de la vivienda o también puede deberse a que estén hechos de un material más conductor, es decir, muy poco aislante. Por ejemplo, en los marcos de las ventanas, muchos de ellos están hechos de aluminio (metal) y por lo tanto es bien sabida su alta conectividad, eso hará que el frío exterior entre en contacto con la temperatura interior y se produzcan esas típicas gotas de agua que se reflejan en la ventana, motivo de la condensación.





Figura 6 Condensación Ventana [9]

- **Huecos** (vidrios y marcos): Partes de las viviendas donde se produce una mayor pérdida de calor, eso repercutirá directamente en un mayor gasto energético.

En función de la vivienda y el tipo de aislamiento, los ahorros pueden ser incluso superiores al 50% del gasto total de energía en climatización.

### 3.1.3 Residentes

Otro de los factores importante a la hora de valorar el consumo energético de una vivienda son las personas que residen en la misma, ya que depende del tipo de persona que resida en cada una de las viviendas, el gasto será uno u otro. A continuación, se explicarán estos factores.

#### 3.1.3.1 Nivel económico

Es bien sabido que el nivel económico es un factor clave en el gasto de consumo energético al igual que en el gasto de otras cosas en la vida cotidiana. Una vivienda donde residan gente con un nivel económico medio se podrá permitir encender la calefacción a lo largo de los meses de invierno en aquellos días donde las necesite, en cambio en viviendas donde el nivel económico es extremadamente bajo, las personas intentan utilizar la calefacción el menor tiempo posible, ya que la calefacción como se ha podido ver en la **figura 1**, es la actividad que mayor compromete al gasto energético de una vivienda.

### 3.1.3.2 Género

Estudios realizados por “*Christopher Minson, experto en la regulación de temperatura de la Universidad de Oregon*”, indican que los hombres y las mujeres tienen una temperatura corporal muy similar, cercana a los 37 °C, esto indicaría que la sensación térmica sería la misma para los dos géneros. Pero eso no es así, ya que el tamaño muscular femenino es normalmente menor al masculino y eso provoca que la sensación térmica de la misma sea menor. De esta forma, se puede ver que el género es un factor clave también a la hora del gasto energético, ya que las personas femeninas tienen una sensación de más frío que las personas masculinas y eso puede llevar a que estas mismas, realicen un uso mayor de la calefacción en los meses invierno con el fin de poder atemperar su sensación térmica [10].

### 3.1.3.3 Edad

La edad es un factor muy importante en la sensación térmica de la persona, ya que la temperatura corporal de las personas disminuye a medida que la edad aumenta con motivo del deterioro que afecta de forma directa a la capacidad termorreguladora del organismo. De esta misma forma, la edad de los residentes de una vivienda será un factor importante en el consumo energético de la vivienda [11].

### 3.2 Evolución normativa en viviendas

A partir de la **tabla 1** se puede ver la evolución normativa que han sufrido las viviendas a través de los años. Es importante conocer en que época se construyó cada una de las viviendas con el fin de entender el porqué de los resultados que posteriormente se obtendrán [12].

Año	Legislación	Viviendas
Pre-1955	No existe ninguna normativa.	Sant Erasme Peu de la Creu Junta de Comerç Carretes
1955	Aprobación ordenanzas técnicas y normas constructivas (aislamiento térmico viviendas).	Hospitalet de Llobregat
1964	Ordenanza más exigente para la regulación del aislamiento térmico de las viviendas.	Pompeu Fabra
1975	Real Decreto establece ciertas medidas para una reducción en el consumo energético (establecer valor máximo de coeficiente global de transferencia de calor, exigencias en el espesor mínimo de las tuberías de calefacción, etc).	
1979	Aprobación de la primera Norma Básica de la Edificación sobre condiciones térmicas en los edificios.	
1980	Aprobación del reglamento de las instalaciones de calefacción, climatización y ACS.	Montigala
1995	Superposición de la Directiva 92/42/CEE sobre requisitos para calderas nuevas.	
1998	Aprobación del Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios (RITE).	General Manso
2002	Aprobación de la directiva sobre eficiencia energética de los edificios	
2006	Incorporación Código Técnico Edificación (CTE) que incorpora requisitos mínimos de eficiencia energética (limitación consumo energético, condiciones instalaciones térmicas, etc)	Sant Boi de Llobregat Pitàgores Carrer del Nil
2010	Mejora de la eficiencia energética de los edificios Unión Europea teniendo en cuenta las condiciones climáticas y, establecer requisitos mínimos y un marco común para el cálculo de la eficiencia energética	
2018	Aplicación del sistema de certificación energético en las viviendas, introducción de programas de inspección de instalaciones (calderas), edificaciones de obra nueva deberán lograr un consumo de energía prácticamente nulo, etc.	Parellada
2022	Actualización de exigencias de la anterior directiva, se busca reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y fomentar el uso de energía renovable en los edificios, ...	

Tabla 1 Evolución Normativa vivienda

## 4 Metodología

### 4.1 Viviendas estudiadas

A partir de la **figura 7**, se puede observar las diferentes viviendas estudiadas. Como se puede ver, estas tienen diferentes colores, los cuales se interpretan de la siguiente manera:



Figura 7 Mapa Viviendas Estudiadas

- Color Amarillo = Viviendas medidas por Sergi Gracia Peris [2].
- Color Azul= Viviendas medidas por Santiago Valencia Arroyo.
- Color Lila= Viviendas medidas por Marc López Gallego [1].

A partir de la **tabla 2** , se pueden ver los distintos sensores que se han utilizado para cada una de las viviendas.

	Termohigrómetro 1	Termohigrómetro 2	Termohigrómetro 3	Sensor superficial	Sensor calidad de air	Red XEWA	Consumo
Barcelona, Junta de Comerç, 14	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí
Barcelona, Parellada, 9	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí
Barcelona, Peu de la Creu, 32	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí
Barcelona, Sant Erasme, 7	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí
Sant Feliu Llobregat, General Manso, 55	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Sant Boi Llobregat, Francesc Pi i Margall, 79	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí
Hospitalet, Severo Ochoa, 61	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Badalona, Montigala, 7	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí
Badalona, Pompeu Fabra, 110	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí
Barcelona, Pitàgores, 17	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí
Barcelona, Carer Del Nil, 22	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí

Tabla 2 Sensores utilizados en cada una de las viviendas

Como se puede ver en la **tabla 2**, en cada una de las viviendas se ha dispuesto un número de sensores que han permitido llevar a cabo las distintas mediciones. A partir de estas, se han obtenido las variables medidas, estas se encuentran explicadas en el **apartado 4.2**.

## 4.2 Variables medidas en las viviendas estudiadas

A lo largo de estos últimos meses, se han ido obteniendo diferentes variables medidas (temperatura, humedad relativa, CO<sub>2</sub> y consumo eléctrico) a partir de diversos aparatos de medición.

A continuación, se detallará de forma precisa, qué variables se han obtenido, además de saber para qué se requieren cada una de estas.

### 4.2.1 Condiciones climáticas interiores

En el siguiente apartado se hablará sobre las variables relacionadas con las condiciones climáticas internas, es decir, las condiciones relacionadas con el interior de la vivienda. Estas, son las siguientes:

- **Temperatura interior:** En este proyecto una de las variables que se han obtenido es la temperatura interior, la cual su unidad de medición han sido los grados Celsius. El motivo del estudio de esta variable reside en la importancia de saber la temperatura interior en cada una de las habitaciones de las viviendas, ya que de esta forma se podrá determinar a partir de la humedad interior, la sensación térmica en cada una de las habitaciones estudiadas, además de entender el comportamiento térmico de la vivienda a través del delta de temperatura entre el exterior y el interior de cada una de las habitaciones, ya que con la temperatura superficial únicamente se podrían obtener las pérdidas que se producen en las paredes, pero como se ha comentado en el **apartado 3.2.2**, la transferencia de calor entre el exterior y el interior de una vivienda se puede producir por varios motivos.
- **Humedad relativa interior:** Otras de las variables obtenidas en este proyecto es la humedad relativa interior, la cual se medirá en %. Esta, es una variable que además de indicarnos la humedad en cada una de las habitaciones, también nos proporcionará junto a la temperatura interior los valores de sensación térmica en cada una de las habitaciones.

Estas dos variables se han medido a través de los distintos sensores Elitech RC-4HC, los cuales estaban repartidos por cada una de las habitaciones principales de la vivienda.

Las características principales de este sensor Elitech RC-4HC son [13]:



Figura 8 Sensor Elitech RC-4HC

- Rango de mediciones de temperatura: -30 a 60 grados
- Precisión de temperatura: +- 0.5 (-20 a 40 grados): +-1 (otros rangos)
- Resolución de la temperatura: 0.1grados
- Rango de medición humedad relativa: 10%-99%
- Precisión de humedad relativa: +-3%HR (25 grados, 20%HR a 90%HR)
- Resolución de humedad relativa: 0.1%HR
- Capacidad máxima registro: 16000 datos

Mas características sobre el sensor Elitech RC-4HC se encuentran en el **Anexo 1**.

En cuanto al proceso de medición del sensor Elitech RC-4HC, en primer lugar, se tiene que descargar el software (ElitechLog V4.4.0) que permita poder entrar dentro de la configuración previa del sensor. Dentro de esta configuración, se podrán cambiar los valores que venían establecidos por aquellos valores que deseamos obtener, ya sea: el intervalo de tiempo de medida, las unidades de la temperatura, etc. Tener en cuenta que el ordenador dónde se encuentra el software ha de estar conectado vía USB al sensor.

En segundo lugar, una vez se han insertado las características que se desean para la recogida de datos, se desconecta el sensor del ordenador.

En tercer lugar, antes de empezar la medición, se tendrá que situar el sensor en un lugar donde pueda medir de forma correcta tanto la temperatura como la humedad, además de situarlo en un lugar donde no ocasione molestia a las personas residentes, ya que mejor que no sean manipulados porque podrían borrarse todos los datos medidos.

Finalmente, se comenzará la medición una vez se presione el botón central alrededor de 2 segundos. Ya acabada la medición, se conectará mediante el cable USB al ordenador y se exportarán los datos a Excel.

#### 4.2.2 Temperaturas superficiales en fachada

A continuación, se hablará sobre las variables relacionadas con las temperaturas superficiales de la fachada, es decir, las condiciones relacionadas con la fachada principal de la vivienda. Al igual que las anteriores temperaturas éstas también se medirán en grados Celsius. A partir de esta variable se ha podido determinar los valores de temperatura superficiales interior y exterior de la pared principal, indicando de esta forma, el comportamiento térmico de la fachada de la vivienda; se podrá ver que cuando la diferencia de temperatura es alta, se puede ver que la fachada funciona como un buen aislante térmico, ya que no permite la transferencia de calor entre el exterior e interior.

Las características de este sensor Extech SD700 son [14]:





Figura 9 Sensor Extech SD700

- Rango de mediciones de temperatura: -100 a 1300 grados
- Precisión de temperatura: +- (0,5% + 0.5 grados)
- Resolución de la temperatura: 0.1grados
- Utiliza 6 baterías (pilas) AAA
- Almacena datos en tarjeta SD 2GB
- 3 entradas para termopares
- Peso: 282g

Mas características sobre el sensor Extech SD700 se encuentran en el **Anexo 2**.

En referencia a su proceso de medición, en primer lugar, a diferencia del anterior sensor, no se necesita ningún software para realizar su configuración, a través de las diferentes botoneras que se disponen en la parte delantera se realizan las diferentes configuraciones (hora, día, etc).

En segundo lugar, una vez realizado el anterior paso, se colocan las sondas en los termopares que se encuentran en la parte inferior del sensor, solo se utilizarán 2 de los 3 canales, ya que se utilizará única y exclusivamente para el control de la temperatura interna y externa de la fachada.

Por último, los datos serán guardados en una tarjeta SD que posteriormente, se tendrá que inserir dentro del PC y extraer los datos obtenidos en cada una de las viviendas medidas.

#### **4.2.3 Calidad de aire**

Otra de las variables que se ha obtenido es la concentración de CO<sub>2</sub>. Esta se ha medido en el salón principal de cada una de las viviendas, ya que es la zona dónde mayor ocupación suele haber en una vivienda. La medición del CO<sub>2</sub> se ha realizado en unidades de ppm.

Es una variable que nos indica la ventilación que necesita cada una de las viviendas, se considera que por encima de los 800 ppm una vivienda no tiene una buena ventilación. Hay diferentes factores que comportan una alta concentración de CO<sub>2</sub>:

- **Número de personas dentro de la vivienda:** las personas somos seres vivos que emitimos CO<sub>2</sub> de forma diaria, eso hace que el número de personas influya en el valor de concentración de CO<sub>2</sub> en una vivienda.

- **Personas fumadoras dentro de la vivienda:** el tabaco por sus propiedades es un factor que hace aumentar la concentración de CO<sub>2</sub> dentro de una vivienda.
- **Plantas dentro de la vivienda:** las plantas durante la noche liberan CO<sub>2</sub> para obtener oxígeno, eso hace que por la noche la concentración de CO<sub>2</sub> en ppm aumente.

Estas variables se han medido a través del sensor que se muestra en la **figura 10**. Resaltar que este sensor no solo mide CO<sub>2</sub>, sino que también medirá valores de temperatura y humedad interior del salón para cada instante de tiempo [15].

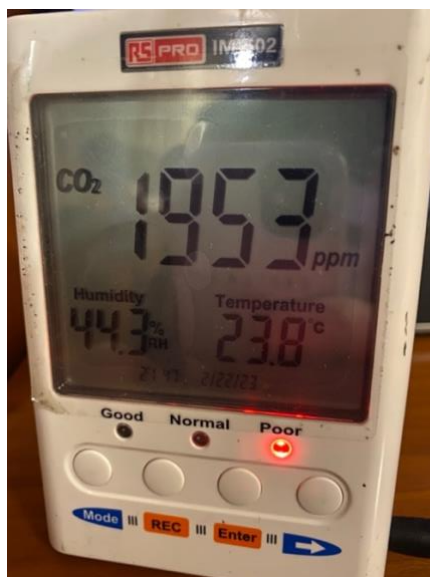


Figura 10 Sensor calidad de aire RSPRO.

Las características principales del sensor de calidad de aire son:

- Sensor temperatura: termistor
- Rango de mediciones de temperatura: 0 a 50 grados
- Precisión de temperatura: +- 1 grado
- Resolución de la temperatura: 0.1grados
- Sensor dióxido de carbono: infrarrojos no dispersivos
- Rango de medición dióxido de carbono: 0 a 9.999 ppm
- Precisión de dióxido de carbono: +-5% de valor de lectura o +-75 ppm (0-2000 ppm)
- Resolución de dióxido de carbono: +-1 ppm

- Sensor humedad relativa: capacitivo
- Rango de medición de humedad relativa: 5-95%
- Precisión de humedad relativa:  $\pm 3\%$  de humedad relativa (20-80%);  $\pm 5\%$  de humedad relativa ( $< 20\%$ ,  $< 80\%$ );
- Resolución humedad relativa: 0,1%
- Peso: 190g

Más características sobre el sensor de calidad de aire (RSPRO) se encuentran en el **Anexo 3**.

En cuanto al proceso de medición del sensor de calidad de aire, en primer lugar, al igual que el sensor Elitech RC-4HC, se ha de instalar un software (IndoorAirQualityDataLogger.exe) en el cual se realizará la configuración del dispositivo donde se indicará la unidad de temperatura, la sincronización del tiempo, el intervalo de medición, etc. Tener en cuenta que el sensor ha de estar conectado al ordenador donde se encuentra el software instalado. El sensor debe estar en todo momento alimentado a la red a través de un transformador de 12 V.

En segundo lugar, una vez se han impuesto las características deseadas dentro del software utilizado se retira el cable de USB.

En tercer lugar, antes de empezar la medición, se tendrá que situar el sensor en una zona segura, además de ser una zona donde sea capaz de medir correctamente los valores de humedad relativa, temperatura y CO<sub>2</sub>. Una vez se ha situado en un lugar seguro, para iniciar la medición se mantendrá pulsado el botón REC que se encuentra en la botonera de la parte frontal del sensor. A partir de las otras botoneras, se podrán pasar las diferentes pantallas a través del display para poder ver diferente información de forma visual.

Por último, se cargarán los datos al ordenador a través del software comentado anteriormente, siempre con el sensor alimentado, ya que si se desconecta en algún momento de la red se perderán todos los datos que se han recogido a partir de la fecha inicial de medición.

#### 4.2.4 Condiciones climáticas exteriores

En el siguiente apartado se hablará sobre las variables relacionadas con las condiciones climáticas exteriores, es decir, las condiciones relacionadas con el exterior de la vivienda. Estas, son las siguientes:

- **Temperatura exterior:** La temperatura exterior es una variable que se ha obtenido a partir de la red XEMA, la cual se trata de un conjunto de estaciones meteorológicas (186 estaciones) automáticas que se encuentran repartidas a lo largo de todo el territorio de Cataluña. Para obtener los valores de esta variable se utilizaron los datos de la estación meteorológica más próxima para cada una de las viviendas .
- **Humedad relativa exterior:** La humedad relativa exterior, se ha obtenido de la misma forma que la temperatura exterior, es decir, a partir de los datos proporcionados de la estación meteorológica automática más cercana a cada una de las viviendas, a través de la red XEMA. Al igual que anteriormente en la temperatura exterior, la humedad relativa exterior se utilizará para ver el comportamiento en el exterior de la vivienda.

#### 4.2.5 Consumo energético

La última variable medida será el consumo energético. Esta variable es la más importante de este proyecto, ya que a partir de ella se obtendrán los valores de correlación y, por ende, se podrá ver el comportamiento térmico de cada una de las viviendas estudiadas.

Su medición se ha realizado de distinta forma en función del tipo de climatización. Para las viviendas con climatización eléctrica se ha obtenido el consumo energético en cada instante de tiempo a partir de las compañías eléctricas de cada una de estas.

En cambio, para las viviendas con caldera de gas, en estas se ha calculado el consumo energético tal y como se explica en el **apartado 4.3.3**.

## 4.3 Variables calculadas

Tal y como se ha explicado en apartados anteriores, a lo largo de estos últimos meses se han ido obtenido diferentes variables (variables medidas), a partir de los aparatos de medición, pero estas no son las únicas que se han utilizado para el estudio, ya que aunque la mayoría de las variables han sido obtenidas a partir de los sensores, hay algunas que se han obtenido a partir de la combinación de dos o más variables. A continuación, se expondrán las variables calculadas, además del cálculo que se ha realizado para obtenerlas.

### 4.3.1 Sensación térmica

Una de las variables calculadas es la sensación térmica, la cual se define como la reacción que tiene el cuerpo humano ante el conjunto de condiciones que determinan el ambiente desde un punto de vista térmico, es decir, la sensación de frío o calor que siente una persona.

Para valorar la sensación térmica es importante tener en cuenta los valores de temperatura y humedad relativa, ya que nos determinará la sensación térmica en el interior de cada una de las habitaciones medidas dentro de la vivienda.

Una temperatura alta, junto a un valor de humedad elevado, hará que el valor de sensación térmica sea superior a la temperatura del aire, ya que es motivo de que a elevados porcentajes (%) de humedad relativa el cuerpo encuentra dificultades para realizar el proceso de transpiración corporal, es decir, el proceso de sudoración, el cual es una función esencial que ayuda al cuerpo a permanecer fresco. Por el contrario, si la humedad relativa es baja, el cuerpo tendrá más facilidad de poder desprenderse con más facilidad el calor y eso comportará que la sensación térmica sea menor.[16]

A partir de la **figura 11** se puede ver de una manera clarificadora lo que se ha comentado anteriormente.

T (°C)	Humedad relativa (%)																				
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
50	42	44	47	51	54	59	64														
45	38	40	42	45	47	50	54	55													
44	38	39	41	44	45	49	52	55													
43	37	39	41	42	44	47	51	54	58	62											
42	36	37	39	41	42	45	47	50	52	55											
41	35	36	38	39	41	43	45	48	51	54	57										
40	35	36	37	39	40	43	43	47	49	53	55										
39	34	35	36	37	38	41	41	44	46	50	50	55									
38	33	34	35	36	37	38	40	42	43	46	49	52	56	59							
37	32	33	34	35	36	38	38	41	41	44	46	49	51	55							
36	32	33	33	34	35	36	37	39	39	42	43	46	49	50	54	55					
35	31	31	32	33	34	34	36	37	38	40	42	43	46	48	51	54	58				
34	30	30	31	31	32	34	34	35	36	37	38	41	42	44	47	48	50	52	55		
33	29	29	30	30	31	33	33	34	34	35	36	38	39	42	43	45	49	49	53	54	55
32	28	29	29	30	31	31	32	33	34	35	36	37	38	39	41	43	45	47	50	51	55
31	28	28	29	29	29	29	30	31	31	31	33	34	35	36	37	39	40	41	45	45	50
30	27	27	28	28	28	28	29	29	30	30	31	32	33	34	35	36	37	39	40	41	45
29	26	26	27	27	28	28	29	29	30	31	31	32	32	33	34	35	36	37	39	41	42
28	26	26	26	26	27	27	27	28	28	29	29	29	30	31	32	32	33	34	34	34	36
27	25	25	25	25	26	26	26	27	27	27	27	28	28	29	29	30	30	31	31	31	33
26	24	24	24	24	25	25	25	26	26	26	26	27	27	27	27	28	28	29	29	29	30
25	22	23	23	23	24	24	24	24	24	24	24	25	25	25	26	26	27	27	27	28	28

Figura 11 Sensación térmica en función de la temperatura y humedad relativa [17]

Para el cálculo de la variable sensación térmica, se ha utilizado la **ecuación 1** :

$$ST = T + 0.348 \cdot \left(\frac{Hr}{100}\right) \cdot 6.105 \cdot e^{\left(\frac{17.27 \cdot T}{237.7 \cdot T}\right)} - 4.25$$

Ecuación 1 Sensación térmica

Donde:

- ST= Sensación térmica (º C)
- T= Temperatura (º C)
- Hr= Humedad relativa (%)

### 4.3.2 Diferencia de Temperatura

Otra de las distintas variables calculadas son las diferencias de temperatura, estas nos indicarán los gradientes térmicos entre el exterior y el interior de la vivienda. En este proyecto han sido calculadas dos tipos de variable:

- Diferencia de temperatura entre el interior de las habitaciones con exterior.
- Diferencia temperatura entre pared (fachada) exterior e interior.

Estos dos tipos, permitirán poder ver el comportamiento a nivel de aislamiento térmico de las viviendas estudiadas, ya que una diferencia de temperatura alta significará que la vivienda está bien asilada y que las pérdidas de calor que hay son mínimas. En cambio, si la diferencia de temperatura es baja, significará en cierta forma que el aislamiento térmico de dicha vivienda no es óptimo y por lo tanto las pedidas serán mayores. Además, a partir de estas, también se podrá ver el consumo energético que se ha utilizado en cada una de las viviendas.

### 4.3.3 Consumo Energético

Tal y como se ha comentado en el **apartado 4.2.4**, en el caso de las calderas de gas se calculará el consumo energético para cada una de las viviendas.

En primer lugar, se ha tenido que calcular el coeficiente global de transferencia de calor (fachada y ventana). Para ello se ha utilizado la siguiente ecuación:

$$U_{cerramientos} \left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right] = \left( \frac{\sum_{i=1}^N U_{f_i} \cdot A_{f_i} + \sum_{j=1}^N U_{v_j} \cdot A_{v_j}}{\sum_{i=1}^N A_{f_i} + \sum_{j=1}^N A_{v_j}} \right)$$

Ecuación 2 Coeficiente global de transferencia de calor

Donde:

- $U_{f,v}$  = Coeficiente global de transferencia de calor (fachada y ventana)  $\left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$ . Estos valores se han obtenido a partir del certificado de eficiencia energética de cada una de las viviendas. Estos, se encuentran en el **Anexo 4**.
- $A_{f,v}$  = Área (fachada y ventana)  $[m^2]$ .

En segundo lugar, se ha cálculo la densidad del aire para cada una de las viviendas a partir de la ley de gases ideales:

$$\rho \left[ \frac{Kg}{m^3} \right] = \frac{P}{R' \cdot T}$$

Ecuación 3 Densidad del aire

Donde:

- $P$  = Presión del aire [KPa].
- $R'$  = Constante gases ideal  $\left[ \frac{KJ}{Kg \cdot K} \right]$ .
- $T$  = Temperatura red XEMA [K].

En tercer lugar, se ha calculado la temperatura interior media.

$$T_{int(media)} = \frac{\sum_{i=1}^N T_{int_i}}{N}$$

Ecuación 4 Temperatura interior media

Donde:

- $N$  = Numero de medidas
- $T_{int}$  = Temperatura interior [°C]

Por último, a partir de la **ecuación 5**, se calculará la potencia eléctrica en cada instante de tiempo.

$$P_U [W] = U_{cerramientos} \cdot A_{Tot} \cdot |T_{int(media)} - T_e| + 2 \cdot U_{pared} \cdot A_{catastro} \cdot |T_{i(media)} - 22^\circ C| + \rho \cdot V \cdot cp_{aire} \cdot A_v \cdot |T_{i(media)} - T_e|$$

Ecuación 5 Potencia consumida

Donde:

- $U_{cerramiento}$  = Coeficiente global de transferencia de calor (fachada y ventana)  $\left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$ .
- $A_{Tot}$  = Área total (fachada y ventana) [ $m^2$ ].
- $A_{catastro}$  = Área vivienda según catastro [ $m^2$ ].
- $T_{int(media)}$  = Temperatura interior vivienda [°C].



- $T_e$  = Temperatura exterior [°C].
- $\rho$  = Densidad  $\left[\frac{Kg}{m^3}\right]$ .
- $V$  = Permeabilidad al aire (valor límite de aire que pasa a través de un hueco).

Destacar que este valor se ha definido a partir de la **figura 12**.

Tabla 3.1.3.a-HE1 Valor límite de permeabilidad al aire de huecos de la envolvente térmica,  $Q_{100,lim}$  [ $m^3/h \cdot m^2$ ]

	Zona climática de invierno					
	$\alpha$	A	B	C	D	E
Permeabilidad al aire de huecos ( $Q_{100,lim}$ ) <sup>1</sup>	$\leq 27$	$\leq 27$	$\leq 27$	$\leq 9$	$\leq 9$	$\leq 9$

<sup>1</sup> La permeabilidad indicada es la medida con una sobrepresión de 100Pa,  $Q_{100}$ .  
 Los valores de permeabilidad establecidos se corresponden con los que definen la clase 2 ( $\leq 27 m^3/h \cdot m^2$ ) y clase 3 ( $\leq 9 m^3/h \cdot m^2$ ) de la UNE-EN 12207:2017.  
 La permeabilidad del hueco se obtendrá teniendo en cuenta, en su caso, el cajón de persiana.

Figura 12 Tabla permeabilidad al aire de huecos [18]

Al tratarse de viviendas que se encuentran dentro de la zona climática en invierno B [19], se ha utilizado el valor de  $27 \frac{m^3}{h \cdot m^2}$  como el valor de permeabilidad al aire de huecos en cada una de estas dos viviendas.

- $c_{p_{aire}}$  = Calor específico del aire  $\left[\frac{kJ}{kg \cdot K}\right]$ .

En segundo lugar, una vez obtenido los valores de potencia en función del tiempo, se calculará el área bajo el gráfico que generan los valores de potencia eléctrica en cada instante de tiempo, para ello se ha utilizado el método del trapecio para realizar la integración que permitirá obtener el consumo energético consumido en cada instante de tiempo.

La ecuación del método de trapecio se define de la siguiente forma:

$$C_{intervalo} = \int_a^b \frac{(f(a) + f(b))}{2} \cdot h$$

Ecuación 6 Consumo energético

Donde:

- $f(a)$  = Pot\_Consumida [i].
- $f(b)$  = Pot\_Consumida [i+1].

De esta forma, se obtendrá el valor de consumo en cada instante en unidades de W·h. Para obtener este resultado en unidades de KW·h, se dividirá el consumo obtenido entre 1000.

#### 4.3.4 Consumo normalizado

Otra de las variables calculadas es el consumo normalizado. Este es muy importante, ya que, en todas las viviendas, se tiene un valor de consumo energético base, este corresponde al consumo de todos los aparatos que se encuentran en la vivienda, es decir, tiene en cuenta el consumo de la nevera, lavadora, etc, aparatos indispensables para cada una de las viviendas. De esta forma, para calcular el consumo energético normalizado, es decir, el consumo energético consumido por los aparatos de calefacción en cada una de las viviendas se ha utilizado la **ecuación 7**.

$$Ec = Ec_{real} - \min (Ec_{real})$$

Ecuación 7 Consumo energético normalizado

#### 4.3.5 Temperatura media y varianza

Por último, se ha calculado la temperatura media y la varianza, estas son variables muy importantes, ya que nos dirá si las temperaturas son homogéneas o no, además de indicarnos el uso que hace el usuario de su sistema de calefacción.

En primer lugar, se tomará como varianza absoluta  $\Delta X$  la mayor entre, la incertidumbre que se debe a la precisión de los aparatos de medida ( $p = 0.01$ ) y, aquella que se debe a factores aleatorios, en este caso al encontrarse entre 2 y 10 muestras, la varianza será:

$$\Delta X = \max (p, D_m)$$

Ecuación 8 Varianza absoluta

Donde  $D_m$  será la desviación máxima, la cual se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$D_m = \frac{X_{max} - X_{min}}{2}$$

Ecuación 9 Desviación máxima

Donde:

- $X_{max}$ = Temperatura máxima en cada instante de tiempo entre todos aquellos sensores que han medido valores de temperatura.

- $X_{min}$  = Temperatura mínima en cada instante de tiempo entre todos aquellos sensores que han medido valores de temperatura.

En segundo lugar, para el cálculo de la temperatura media interior en cada una de las viviendas se utilizará la ecuación 4.

## 4.4 Estructura y procesado de los datos

Una vez realizadas las mediciones, a partir de los aparatos de medida se procedió a la recogida de estos datos para cada una de las viviendas. A continuación, se mostrará el formato con el cual se han recibido los datos a partir de cada uno de los sensores, además se indicará el proceso que se ha seguido en cada uno de ellos para permitir que el programa Rstudio pueda leer estos valores de forma correcta y poder llevar a cabo el estudio que se realiza en este TFG.

### 4.4.1 Sensor termohigrómetro (Elitech RC-4HC)

En el caso de los diferentes termohigrómetros, el formato que vendrá dado por el sensor será en .xlsx (formato Excel), el cual se presenta como se muestra en la figura 13:

Informe de datos					
Archivo creado el: 2023-02-15 14:30:49					
<b>Información del dispositivo</b>					
Modelo de dispositivo	RC-4HC	Intervalo de registro	10m	Hora de inicio	2023-02-08 13:57:04
Espesor total	10000	Presión al botón	Habilitar	Unidad de temperatura	°C
Modo de almacenamiento	N/A	Tasa de alarma	Habilitar		
Tasa de batería	Habilitar	Intervalo de registro activado en 1:00			
<b>Descripción del viaje</b>					
Número de serie	EF7188026479				
Descripción del viaje	RC-4HC Data Logger				
<b>Configuración de alarmas Estado de alarma</b>					
H1:60.0°C	Normal				
U:0m/s					
L1:100.0°C	Normal				
H:0m/s	Normal				
U:0m/s					
A:0m/s	Normal				
<b>Resumen</b>					
Punto de datos	1000	MET	21.2		
Primer lectura	2023-02-08 13:57:04	Última lectura	2023-02-15 14:27:04		
Máximo(Temperatura)	24.0°C	Mínimo(Temperatura)	19.8°C		
Primer alarm(Temperatura)	21.0°C	Tiempo de grabación	80 0h 30m 0s		
Máximo(Humedad)	58.0%	Mínimo(Humedad)	36.0%		
Primer alarm(Humedad)	43.0%				
Primer alarm(Humedad)	N/A				
No.	Tempo	Temperatura(°C)	Humedad(%)		
1	2023-02-08 13:57:04	20	54.0		
2	2023-02-08 14:07:04	22	41.2		
3	2023-02-08 14:17:04	20.0	40.0		
4	2023-02-08 14:27:04	19.8	40.4		
5	2023-02-08 14:37:04	19.7	40.4		
6	2023-02-08 14:47:04	19.7	40.4		
7	2023-02-08 14:57:04	19.7	40.0		
8	2023-02-08 15:07:04	19.7	40.0		
9	2023-02-08 15:17:04	19.7	41.0		
10	2023-02-08 15:27:04	19.7	41.0		
11	2023-02-08 15:37:04	19.7	42		
12	2023-02-08 15:47:04	19.8	41.0		
13	2023-02-08 15:57:04	19.8	40.0		
14	2023-02-08 16:07:04	19.7	40.0		
15	2023-02-08 16:17:04	19.7	40.0		
16	2023-02-08 16:27:04	19.7	41.0		
17	2023-02-08 16:37:04	19.7	41.0		
18	2023-02-08 16:47:04	19.8	41.0		
19	2023-02-08 16:57:04	19.8	41.0		
20	2023-02-08 17:07:04	19.8	41.0		
21	2023-02-08 17:17:04	19.8	41.0		
22	2023-02-08 17:27:04	19.8	41.0		
23	2023-02-08 17:37:04	19.8	41.0		
24	2023-02-08 17:47:04	19.8	41.0		
25	2023-02-08 17:57:04	19.8	41.0		
26	2023-02-08 18:07:04	19.9	41.0		

Figura 13 Excel exportado de sensor Elitech RC-4HC

En este caso, se ha realizado la limpieza de toda la información relacionada con la configuración del dispositivo y se ha dejado únicamente los valores que nos indican la fecha en la cual se ha realizado la medición juntamente con el valor de temperatura y de humedad.

De esta forma, la hoja de datos Excel relacionados con los termohigrómetros quedará como se muestra en la **figura 14**:

No.	Time	Temperature	Humidity
1	2023-02-15 15:52:56	23,20	50,20
2	2023-02-15 16:02:56	22,70	49,70
3	2023-02-15 16:12:56	22,30	50,60
4	2023-02-15 16:22:56	22,20	50,60
5	2023-02-15 16:32:56	22,20	51,10
6	2023-02-15 16:42:56	22,20	50,10
7	2023-02-15 16:52:56	22,10	51,10
8	2023-02-15 17:02:56	22,10	51,10
9	2023-02-15 17:12:56	22,10	48,00
10	2023-02-15 17:22:56	22,00	48,00
11	2023-02-15 17:32:56	21,80	48,00
12	2023-02-15 17:42:56	21,70	52,10
13	2023-02-15 17:52:56	21,60	52,10
14	2023-02-15 18:02:56	21,60	52,10
15	2023-02-15 18:12:56	21,70	51,10
16	2023-02-15 18:22:56	21,70	51,10
17	2023-02-15 18:32:56	21,80	50,60
18	2023-02-15 18:42:56	21,80	50,60
19	2023-02-15 18:52:56	21,90	50,60
20	2023-02-15 19:02:56	21,90	51,10
21	2023-02-15 19:12:56	21,90	51,10
22	2023-02-15 19:22:56	21,90	51,10
23	2023-02-15 19:32:56	21,90	51,10
24	2023-02-15 19:42:56	22,00	50,60
25	2023-02-15 19:52:56	22,10	50,10
26	2023-02-15 20:02:56	22,20	50,10

Figura 14 Excel estructurado de sensor Elitech RC-4HC

#### 4.4.2 Sensor temperatura superficial (Extech SD700)

En el caso del sensor superficial, el formato que vendrá dado por el sensor será en .xlsx (formato Excel), el cual se presenta como se muestra en la **figura 15**:

Position	Date	time	Ch1_Value	Ch1_Unit	Ch2_Value	Ch2_unit	Ch3_Value	Ch3_unit
3	2/18/2021	19:31:33	16,2	DEGREE C	99999999	DEGREE C	15,2	DEGREE C
4	2/18/2021	19:41:33	12	DEGREE C	99999999	DEGREE C	13,9	DEGREE C
5	2/18/2021	19:51:33	10,6	DEGREE C	99999999	DEGREE C	12,9	DEGREE C
6	2/18/2021	20:01:33	10,8	DEGREE C	99999999	DEGREE C	12,8	DEGREE C
7	2/18/2021	20:11:33	10,9	DEGREE C	99999999	DEGREE C	12,4	DEGREE C
8	2/18/2021	20:21:33	10,7	DEGREE C	99999999	DEGREE C	12,3	DEGREE C
9	2/18/2021	20:31:33	10,9	DEGREE C	99999999	DEGREE C	12	DEGREE C
10	2/18/2021	20:41:33	10,9	DEGREE C	99999999	DEGREE C	11,9	DEGREE C
11	2/18/2021	20:51:33	10,8	DEGREE C	99999999	DEGREE C	11,9	DEGREE C
12	2/18/2021	21:01:33	10,8	DEGREE C	99999999	DEGREE C	11,7	DEGREE C
13	2/18/2021	21:11:33	10,9	DEGREE C	99999999	DEGREE C	11,5	DEGREE C
14	2/18/2021	21:21:33	11,1	DEGREE C	99999999	DEGREE C	11,6	DEGREE C
15	2/18/2021	21:31:33	11	DEGREE C	99999999	DEGREE C	11,5	DEGREE C
16	2/18/2021	21:41:33	11	DEGREE C	99999999	DEGREE C	11,2	DEGREE C
17	2/18/2021	21:51:33	11	DEGREE C	99999999	DEGREE C	11,2	DEGREE C
18	2/18/2021	22:01:33	10,9	DEGREE C	99999999	DEGREE C	11	DEGREE C
19	2/18/2021	22:11:33	11,5	DEGREE C	99999999	DEGREE C	11,5	DEGREE C
20	2/18/2021	22:21:33	11,5	DEGREE C	99999999	DEGREE C	11,3	DEGREE C
21	2/18/2021	22:31:33	10,9	DEGREE C	99999999	DEGREE C	10,8	DEGREE C
22	2/18/2021	22:41:33	10,9	DEGREE C	99999999	DEGREE C	10,7	DEGREE C
23	2/18/2021	22:51:33	10,9	DEGREE C	99999999	DEGREE C	10,6	DEGREE C
24	2/18/2021	23:01:33	10,8	DEGREE C	99999999	DEGREE C	10,5	DEGREE C
25	2/18/2021	23:11:33	10,8	DEGREE C	99999999	DEGREE C	10,3	DEGREE C
26	2/18/2021	23:21:33	10,8	DEGREE C	99999999	DEGREE C	10,2	DEGREE C
27	2/18/2021	23:31:33	10,8	DEGREE C	99999999	DEGREE C	10,2	DEGREE C
28	2/18/2021	23:41:33	10,8	DEGREE C	99999999	DEGREE C	10,2	DEGREE C
29	2/18/2021	23:51:33	10,7	DEGREE C	99999999	DEGREE C	10	DEGREE C
30	2/19/2021	0:01:33	10,8	DEGREE C	99999999	DEGREE C	10	DEGREE C
31	2/19/2021	0:11:33	10,7	DEGREE C	99999999	DEGREE C	9,9	DEGREE C
32	2/19/2021	0:21:33	10,8	DEGREE C	99999999	DEGREE C	9,9	DEGREE C
33	2/19/2021	0:31:33	10,7	DEGREE C	99999999	DEGREE C	9,7	DEGREE C
34	2/19/2021	0:41:33	10,5	DEGREE C	99999999	DEGREE C	9,5	DEGREE C
35	2/19/2021	0:51:33	10,4	DEGREE C	99999999	DEGREE C	9,3	DEGREE C
36	2/19/2021	1:01:33	10,3	DEGREE C	99999999	DEGREE C	9,3	DEGREE C
37	2/19/2021	1:11:33	10,2	DEGREE C	99999999	DEGREE C	9,1	DEGREE C
38	2/19/2021	1:21:33	10,3	DEGREE C	99999999	DEGREE C	9,1	DEGREE C
39	2/19/2021	1:31:33	10,3	DEGREE C	99999999	DEGREE C	9,2	DEGREE C
40	2/19/2021	1:41:33	10	DEGREE C	99999999	DEGREE C	8,9	DEGREE C
41	2/19/2021	1:51:33	10	DEGREE C	99999999	DEGREE C	8,9	DEGREE C
42	2/19/2021	2:01:33	10	DEGREE C	99999999	DEGREE C	8,8	DEGREE C
43	2/19/2021	2:11:33	9,9	DEGREE C	99999999	DEGREE C	8,7	DEGREE C
44	2/19/2021	2:21:33	10	DEGREE C	99999999	DEGREE C	8,7	DEGREE C
45	2/19/2021	2:31:33	9,9	DEGREE C	99999999	DEGREE C	8,6	DEGREE C
46	2/19/2021	2:41:33	9,8	DEGREE C	99999999	DEGREE C	8,5	DEGREE C
47	2/19/2021	2:51:33	9,8	DEGREE C	99999999	DEGREE C	8,4	DEGREE C
48	2/19/2021	3:01:33	9,8	DEGREE C	99999999	DEGREE C	8,4	DEGREE C
49	2/19/2021	3:11:33	9,8	DEGREE C	99999999	DEGREE C	8,4	DEGREE C
50	2/19/2021	3:21:33	9,8	DEGREE C	99999999	DEGREE C	8,4	DEGREE C
51	2/19/2021	3:31:33	9,7	DEGREE C	99999999	DEGREE C	8,3	DEGREE C
52	2/19/2021	3:41:33	9,6	DEGREE C	99999999	DEGREE C	8,2	DEGREE C
53	2/19/2021	3:51:33	9,6	DEGREE C	99999999	DEGREE C	8,2	DEGREE C
54	2/19/2021	4:01:33	9,5	DEGREE C	99999999	DEGREE C	8,1	DEGREE C
55	2/19/2021	4:11:33	9,4	DEGREE C	99999999	DEGREE C	8	DEGREE C
56	2/19/2021	4:21:33	9,4	DEGREE C	99999999	DEGREE C	8	DEGREE C
57	2/19/2021	4:31:33	9,4	DEGREE C	99999999	DEGREE C	7,9	DEGREE C
58	2/19/2021	4:41:33	9,4	DEGREE C	99999999	DEGREE C	7,9	DEGREE C
59	2/19/2021	4:51:33	9,4	DEGREE C	99999999	DEGREE C	7,8	DEGREE C
60	2/19/2021	5:01:33	9,4	DEGREE C	99999999	DEGREE C	7,8	DEGREE C
61	2/19/2021	5:11:33	9,4	DEGREE C	99999999	DEGREE C	7,8	DEGREE C
62	2/19/2021	5:21:33	9,4	DEGREE C	99999999	DEGREE C	7,9	DEGREE C
63	2/19/2021	5:31:33	9,3	DEGREE C	99999999	DEGREE C	8	DEGREE C
64	2/19/2021	5:41:33	9,2	DEGREE C	99999999	DEGREE C	8,1	DEGREE C
65	2/19/2021	5:51:33	9,3	DEGREE C	99999999	DEGREE C	8,1	DEGREE C
66	2/19/2021	6:01:33	9,1	DEGREE C	99999999	DEGREE C	8,1	DEGREE C
67	2/19/2021	6:11:33	9,2	DEGREE C	99999999	DEGREE C	8,2	DEGREE C
68	2/19/2021	6:21:33	9,2	DEGREE C	99999999	DEGREE C	8,2	DEGREE C
69	2/19/2021	6:31:33	9,1	DEGREE C	99999999	DEGREE C	8,2	DEGREE C
70	2/19/2021	6:41:33	9,1	DEGREE C	99999999	DEGREE C	8,2	DEGREE C
71	2/19/2021	6:51:33	9,1	DEGREE C	99999999	DEGREE C	8,2	DEGREE C
72	2/19/2021	7:01:33	9,2	DEGREE C	99999999	DEGREE C	8,4	DEGREE C
73	2/19/2021	7:11:33	9,1	DEGREE C	99999999	DEGREE C	8,3	DEGREE C

Figura 15 Excel exportado de sensor superficial (Extech SD700)

En este caso, lo que se realizará es una limpieza de las columnas que no se vayan a utilizar, es decir, en este proyecto al solo tener que medir dos temperaturas habrá una de las salidas del termopar que no se utilizará, en el caso de la **figura 15**, la salida que no se utiliza es la segunda (Ch2\_value).

Además, también se eliminarán las columnas relacionadas con la unidad de temperatura, es decir, las columnas llamadas Ch(1,2,3)\_unit. De esta forma, la hoja de datos Excel relacionados con el sensor superficial quedará como se puede observar en la **figura 16**:

Position	Date	Time	Ch1_Value	Ch2_Value
1	2/15/2023	9:53:37 p. m.	22.4	15.7
2	2/15/2023	9:54:37 p. m.	22.1	13.4
3	2/15/2023	9:55:37 p. m.	22	13.1
4	2/15/2023	9:56:37 p. m.	22	13.1
5	2/15/2023	9:57:37 p. m.	21.8	12.9
6	2/15/2023	9:58:37 p. m.	21.9	12.8
7	2/15/2023	9:59:37 p. m.	21.9	12.8
8	2/15/2023	10:00:37 p. m.	21.8	12.8
9	2/15/2023	10:01:37 p. m.	21.8	12.8
10	2/15/2023	10:02:37 p. m.	21.8	12.8
11	2/15/2023	10:03:37 p. m.	21.8	12.8
12	2/15/2023	10:04:37 p. m.	21.8	12.8
13	2/15/2023	10:05:37 p. m.	21.8	12.8
14	2/15/2023	10:06:37 p. m.	21.8	12.8
15	2/15/2023	10:07:37 p. m.	21.8	12.8
16	2/15/2023	10:08:37 p. m.	21.8	12.7
17	2/15/2023	10:09:37 p. m.	21.8	12.8
18	2/15/2023	10:10:37 p. m.	21.8	12.7
19	2/15/2023	10:11:37 p. m.	21.8	12.7
20	2/15/2023	10:12:37 p. m.	21.8	12.7
21	2/15/2023	10:13:37 p. m.	21.7	12.6
22	2/15/2023	10:14:37 p. m.	21.7	12.7
23	2/15/2023	10:15:37 p. m.	21.8	12.7
24	2/15/2023	10:16:37 p. m.	21.8	12.7
25	2/15/2023	10:17:37 p. m.	21.7	12.7
26	2/15/2023	10:18:37 p. m.	21.8	12.7
27	2/15/2023	10:19:37 p. m.	21.7	12.6
28	2/15/2023	10:20:37 p. m.	21.8	12.7
29	2/15/2023	10:21:37 p. m.	21.7	12.6
30	2/15/2023	10:22:37 p. m.	21.8	12.7
31	2/15/2023	10:23:37 p. m.	21.7	12.6
32	2/15/2023	10:24:37 p. m.	21.8	12.6
33	2/15/2023	10:25:37 p. m.	21.8	12.6

Figura 16 Excel estructurado de sensor superficial

#### 4.4.3 Sensor Calidad de aire

En el caso del sensor de calidad de aire, el formato que vendrá dado por el sensor será en .csv, el cual se presenta como se puede ver en la **figura 17**:

Product Name:		Indoor Air Quality Data Logger
Description:		Indoor Data Logger
Start Date&Time:	12:10:27PM,01/01/2011	
End Date&Time:		00:20:27AM,01/10/2011
Interval:		600 seconds
Record Count:		1226
CO2 Alarm High:		1000 PPM
CO2 Alarm Low:		250 PPM
Temp Alarm High:	70 °C	
Temp Alarm Low:		20 °C
Humi Alarm High:	90 %	
Humi Alarm Low:		20 %
no,time,date,temp,talarm,humi,hatalarm,co2,calarm		
1,12:10:27PM,01/01/2011,21.9,	,32.5,	,1008,High
2,12:20:27PM,01/01/2011,22.2,	,32.5,	,1094,High
3,12:30:27PM,01/01/2011,22.3,	,32.4,	,1161,High
4,12:40:27PM,01/01/2011,22.5,	,32.3,	,1197,High
5,12:50:27PM,01/01/2011,22.5,	,31.9,	,1219,High
6,01:00:27PM,01/01/2011,22.6,	,32.0,	,1241,High
7,01:10:27PM,01/01/2011,22.7,	,32.2,	,1273,High
8,01:20:27PM,01/01/2011,22.9,	,31.7,	,1343,High
9,01:30:27PM,01/01/2011,23.0,	,31.8,	,1325,High
10,01:40:27PM,01/01/2011,23.0,	,29.3,	,1279,High
11,01:50:27PM,01/01/2011,23.1,	,32.1,	,1366,High
12,02:00:27PM,01/01/2011,23.2,	,32.1,	,1411,High
13,02:10:27PM,01/01/2011,23.3,	,32.0,	,1394,High
14,02:20:27PM,01/01/2011,23.5,	,32.3,	,1503,High
15,02:30:27PM,01/01/2011,23.5,	,32.1,	,1530,High
16,02:40:27PM,01/01/2011,23.5,	,32.1,	,1593,High
17,02:50:27PM,01/01/2011,23.6,	,31.8,	,1567,High
18,03:00:27PM,01/01/2011,23.7,	,31.8,	,1587,High
19,03:10:27PM,01/01/2011,23.8,	,31.6,	,1613,High
20,03:20:27PM,01/01/2011,23.8,	,31.5,	,1624,High
21,03:30:27PM,01/01/2011,23.8,	,31.2,	,1616,High
22,03:40:27PM,01/01/2011,23.8,	,31.0,	,1621,High
23,03:50:27PM,01/01/2011,23.7,	,31.0,	,1622,High
24,04:00:27PM,01/01/2011,23.8,	,30.9,	,1621,High
25,04:10:27PM,01/01/2011,23.8,	,31.0,	,1638,High
26,04:20:27PM,01/01/2011,23.9,	,30.9,	,1643,High
27,04:30:27PM,01/01/2011,23.7,	,29.8,	,1484,High
28,04:40:27PM,01/01/2011,23.8,	,30.2,	,1557,High
29,04:50:27PM,01/01/2011,23.8,	,30.2,	,1559,High
30,05:00:27PM,01/01/2011,23.7,	,30.3,	,1532,High
31,05:10:27PM,01/01/2011,23.7,	,30.3,	,1517,High
32,05:20:27PM,01/01/2011,23.7,	,30.5,	,1523,High
33,05:30:27PM,01/01/2011,23.8,	,30.4,	,1546,High
34,05:40:27PM,01/01/2011,23.8,	,30.3,	,1546,High
35,05:50:27PM,01/01/2011,23.9,	,30.4,	,1570,High
36,06:00:27PM,01/01/2011,23.9,	,30.3,	,1594,High
37,06:10:27PM,01/01/2011,23.9,	,30.4,	,1591,High
38,06:20:27PM,01/01/2011,23.9,	,30.4,	,1611,High
39,06:30:27PM,01/01/2011,23.9,	,30.5,	,1632,High
40,06:40:27PM,01/01/2011,23.9,	,30.4,	,1642,High
41,06:50:27PM,01/01/2011,24.0,	,30.3,	,1643,High
42,07:00:27PM,01/01/2011,23.9,	,30.0,	,1628,High
43,07:10:27PM,01/01/2011,23.9,	,30.0,	,1581,High
44,07:20:27PM,01/01/2011,23.9,	,29.7,	,1572,High
45,07:30:27PM,01/01/2011,24.0,	,29.3,	,1534,High
46,07:40:27PM,01/01/2011,24.0,	,29.4,	,1477,High
47,07:50:27PM,01/01/2011,24.0,	,29.5,	,1493,High
48,08:00:27PM,01/01/2011,24.0,	,29.4,	,1481,High
49,08:10:27PM,01/01/2011,24.0,	,29.5,	,1484,High

Figura 17 Excel exportado de sensor calidad de aire (RSPRO)

En este caso, lo primero que se hará es eliminar la información innecesaria en cuanto a la configuración del sensor, posteriormente se dividirá la información que se encuentra dentro de la columna A en diferentes columnas. Una vez realizado las dos acciones anteriores, se eliminarán las columnas con la información que no se necesita. Por último, se convertirá el formato .csv en .xlsx.



De esta forma, la hoja de datos Excel relacionados con el sensor de calidad de aire quedarán como se puede ver en la **figura 18**:

No	Time	Date	Temperature	Humidity	CO2
1	05:39:45PM	02/15/2023	22.0	33.0	577
2	05:49:45PM	02/15/2023	22.4	32.4	596
3	05:59:45PM	02/15/2023	22.6	32.2	578
4	06:09:45PM	02/15/2023	22.7	32.2	584
5	06:19:45PM	02/15/2023	22.7	32.2	584
6	06:29:45PM	02/15/2023	22.9	32.4	642
7	06:39:45PM	02/15/2023	23.3	32.1	713
8	06:49:45PM	02/15/2023	23.4	32.0	780
9	06:59:45PM	02/15/2023	23.7	32.0	863
10	07:09:45PM	02/15/2023	23.7	32.1	929
11	07:19:45PM	02/15/2023	23.8	32.3	1002
12	07:29:45PM	02/15/2023	23.8	32.6	1094
13	07:39:45PM	02/15/2023	23.9	32.7	1155
14	07:49:45PM	02/15/2023	24.0	32.8	1211
15	07:59:45PM	02/15/2023	24.0	32.8	1252
16	08:09:45PM	02/15/2023	24.0	33.0	1308
17	08:19:45PM	02/15/2023	24.0	33.1	1354
18	08:29:45PM	02/15/2023	24.0	33.2	1391
19	08:39:45PM	02/15/2023	24.1	33.4	1428
20	08:49:45PM	02/15/2023	24.0	33.4	1449
21	08:59:45PM	02/15/2023	24.0	34.3	1461
22	09:09:45PM	02/15/2023	24.1	34.3	1532
23	09:19:45PM	02/15/2023	24.2	36.8	1660
24	09:29:45PM	02/15/2023	24.3	39.1	1788
25	09:39:45PM	02/15/2023	24.4	39.1	1839
26	09:49:45PM	02/15/2023	23.9	38.4	1708
27	09:59:45PM	02/15/2023	24.2	38.0	1670
28	10:09:45PM	02/15/2023	24.3	38.0	1833
29	10:19:45PM	02/15/2023	22.9	36.2	1083
30	10:29:45PM	02/15/2023	23.8	36.7	1508
31	10:39:45PM	02/15/2023	24.0	36.7	1602
32	10:49:45PM	02/15/2023	24.0	36.5	1614
33	10:59:45PM	02/15/2023	24.1	36.4	1624

Figura 18 Excel estructurado del sensor calidad de aire (RS-PRO)



#### 4.4.4 Red XEMA

En este caso, la información fue recibida a partir de las estaciones meteorológicas que se encuentran repartidas en Barcelona, en función de la distancia a cada una de las viviendas se ha seleccionado una u otra. En este caso, los datos se han obtenido a partir de la página web de la red XEMA los cuales se han copiado y pegado en una hoja Excel.

Los datos proporcionados por la red XEMA ofrecen numerosas variables, pero en este caso, solo se han recogido los datos de tres variables en concreto: temperatura, humedad relativa y presión.

En la **figura 19** se muestra la tabla proporcionada por la red XEMA.

▼ Període TU	TM °C	TX °C	TN °C	HRM %	PPT mm	VVM (10 m) km/h	DVM (10 m) graus	VVX (10 m) km/h	PM hPa	RS W/m <sup>2</sup>
00:00 - 00:30	15.8	16.0	15.7	84	0.0	6.1	75	14.4	1012.9	0
00:30 - 01:00	15.9	16.0	15.9	86	0.0	9.4	79	20.5	1012.7	0
01:00 - 01:30	15.7	15.9	15.4	87	0.0	11.2	73	22.0	1012.9	0
01:30 - 02:00	15.3	15.4	15.3	89	0.0	12.2	80	22.7	1012.8	0
02:00 - 02:30	15.4	15.4	15.3	85	0.0	9.4	75	20.9	1012.9	0
02:30 - 03:00	15.5	15.6	15.5	83	0.0	6.8	65	15.8	1013.0	0
03:00 - 03:30	15.7	15.7	15.6	82	0.0	4.7	46	11.2	1013.1	0
03:30 - 04:00	15.8	15.8	15.7	81	0.0	3.2	69	9.0	1013.1	0
04:00 - 04:30	15.8	15.8	15.8	83	0.0	5.4	118	9.7	1013.1	0
04:30 - 05:00	15.8	15.8	15.8	80	0.0	4.7	132	10.4	1013.2	0
05:00 - 05:30	15.8	15.8	15.8	82	0.0	2.5	150	6.8	1013.2	9
05:30 - 06:00	15.9	16.1	15.8	82	0.0	2.2	163	7.2	1013.3	46
06:00 - 06:30	16.3	16.5	16.1	80	0.0	3.6	258	9.4	1013.3	78
06:30 - 07:00	16.8	17.5	16.4	76	0.0	6.1	281	12.6	1013.4	182
07:00 - 07:30	17.2	17.4	16.9	73	0.0	6.1	284	11.9	1013.5	203
07:30 - 08:00	17.7	18.3	17.2	70	0.0	6.8	280	14.4	1013.4	343
08:00 - 08:30	18.6	19.1	17.7	67	0.0	7.2	268	14.8	1013.4	469
08:30 - 09:00	18.8	19.3	18.4	67	0.0	8.3	225	16.2	1013.3	515
09:00 - 09:30	19.1	19.7	18.5	66	0.0	9.7	206	22.3	1013.2	513
09:30 - 10:00	19.4	19.7	18.9	64	0.0	12.2	215	23.0	1013.1	598
10:00 - 10:30	20.0	20.5	19.4	62	0.0	14.4	200	29.2	1013.2	823
10:30 - 11:00	20.3	21.4	19.8	63	0.0	13.7	199	27.4	1013.1	779
11:00 - 11:30	20.3	20.7	19.9	65	0.0	12.6	215	27.4	1012.9	842
11:30 - 12:00	20.6	21.3	19.9	66	0.0	13.7	202	29.9	1012.6	912
12:00 - 12:30	20.0	20.7	19.8	69	0.0	15.8	224	30.6	1012.2	560
12:30 - 13:00	20.2	21.3	19.4	68	0.0	15.8	219	31.0	1011.9	600
13:00 - 13:30	21.0	21.9	20.2	63	0.0	15.8	220	28.1	1011.5	811
13:30 - 14:00	20.9	21.8	20.2	61	0.0	14.0	210	25.9	1011.5	698
14:00 - 14:30	20.9	21.5	20.5	61	0.0	13.7	197	29.2	1011.3	706
14:30 - 15:00	21.5	22.2	20.8	58	0.0	14.0	194	34.2	1010.9	662
15:00 - 15:30	21.6	22.2	21.3	57	0.0	15.1	211	30.6	1010.6	598
15:30 - 16:00	21.8	22.1	21.6	56	0.0	13.7	213	26.3	1010.4	504
16:00 - 16:30	21.5	22.0	21.0	55	0.0	13.0	220	24.5	1010.5	400
16:30 - 17:00	22.1	22.6	21.4	50	0.0	9.7	234	20.9	1010.4	214

Figura 19 Matriz red XEMA [21]

De esta forma, la hoja de datos Excel relacionados con la red XEMA quedarán de la siguiente forma:

Dia	Periodo	TempMedia	HumRel	Presion_Media
2/15/2023	13:30-14:00	14,6	53	1028,8
2/15/2023	14:00-14:30	15,1	50	1028,6
2/15/2023	14:30-15:00	14,6	53	1028,8
2/15/2023	15:00 - 15:30	13,7	57	1028,7
2/15/2023	15:30 - 16:00	13	60	1028,8
2/15/2023	16:00 - 16:30	12,5	63	1028,9
2/15/2023	16:30 - 17:00	11,8	66	1029,1
2/15/2023	17:00 - 17:30	11,2	69	1029,2
2/15/2023	17:30 - 18:00	10,7	74	1029,4
2/15/2023	18:00 - 18:30	10,2	78	1029,6
2/15/2023	18:30 - 19:00	10	79	1029,7
2/15/2023	19:00 - 19:30	9,8	80	1029,8
2/15/2023	19:30 - 20:00	10	78	1030
2/15/2023	20:00 - 20:30	9,6	80	1030,1
2/15/2023	20:30 - 21:00	9,9	79	1030,2
2/15/2023	21:00 - 21:30	9,6	80	1030,3
2/15/2023	21:30 - 22:00	9,3	82	1030,5
2/15/2023	22:00 - 22:30	9	84	1030,6
2/15/2023	22:30 - 23:00	8,6	85	1030,7
2/15/2023	23:00 - 23:30	8,5	85	1030,6
2/15/2023	23:30 - 00:00	8,2	87	1030,4
2/16/2023	00:00 - 00:30	8,1	88	1030,3
2/16/2023	00:30 - 01:00	8,1	88	1030,2
2/16/2023	01:00 - 01:30	7,8	90	1030
2/16/2023	01:30 - 02:00	7,5	90	1029,9
2/16/2023	02:00 - 02:30	7,5	90	1029,8
2/16/2023	02:30 - 03:00	7,4	89	1029,7
2/16/2023	03:00 - 03:30	7,3	93	1029,6
2/16/2023	03:30 - 04:00	7,2	94	1029,6
2/16/2023	04:00 - 04:30	6,8	96	1029,6
2/16/2023	04:30 - 05:00	6,7	98	1029,6
2/16/2023	05:00 - 05:30	6,7	97	1029,7
2/16/2023	05:30 - 06:00	6,5	94	1029,8
2/16/2023	06:00 - 06:30	6,4	93	1030

Figura 20 Excel estructurado de red XEMA

#### 4.4.5 Consumo energético

En este caso, los valores de consumo han sido proporcionados por la compañía de cada una de las viviendas que albergaban calefacción eléctrica. Estos datos proporcionados venían en intervalos de 1 hora.

De esta forma, la hoja de datos Excel relacionados con la red XEMA como se puede ver en la **figura 21**.

Fecha	Hora	Consumo
14/02/2023	00:00-01:00	0,17
14/02/2023	01:00-02:00	0,06
14/02/2023	02:00-03:00	0,13
14/02/2023	03:00-04:00	0,05
14/02/2023	04:00-05:00	0,05
14/02/2023	05:00-06:00	0,29
14/02/2023	06:00-07:00	0,18
14/02/2023	07:00-08:00	0,34
14/02/2023	08:00-09:00	0,24
14/02/2023	09:00-10:00	0,97
14/02/2023	10:00-11:00	0,2
14/02/2023	11:00-12:00	0,07
14/02/2023	12:00-13:00	0,14
14/02/2023	13:00-14:00	0,44
14/02/2023	14:00-15:00	0,61
14/02/2023	15:00-16:00	0,69
14/02/2023	16:00-17:00	0,63
14/02/2023	17:00-18:00	0,66
14/02/2023	18:00-19:00	1,32
14/02/2023	19:00-20:00	1,32
14/02/2023	20:00-21:00	2,34
14/02/2023	21:00-22:00	0,75
14/02/2023	22:00-23:00	0,46
14/02/2023	23:00-00:00	0,07
15/02/2023	00:00-01:00	0,39
15/02/2023	01:00-02:00	0,36
15/02/2023	02:00-03:00	0,1
15/02/2023	03:00-04:00	0,12
15/02/2023	04:00-05:00	0,05
15/02/2023	05:00-06:00	0,48
15/02/2023	06:00-07:00	1
15/02/2023	07:00-08:00	0,17
15/02/2023	08:00-09:00	0,04
15/02/2023	09:00-10:00	0,14
15/02/2023	10:00-11:00	1,32

Figura 21 Excel estructurado de consumo energético

## 5 Tratamiento de datos

Antes de procesar los datos con el programa Rstudio, se tendrán que recordar conceptos de estadística utilizados. A continuación, se hará una breve descripción de las diferentes herramientas que se han utilizado de la estadística a lo largo de este proyecto.

### 5.1 Estadística descriptiva

La estadística descriptiva es, entre otras, una de las dos grandes ramas de la estadística. Esta, trata de describir algo de manera cuantitativa, es decir, en el caso de este proyecto, describir variables medidas en forma cuantitativa de temperatura, humedad relativa y CO<sub>2</sub>, a partir de los cuales se puedan intuir muchas incógnitas, como por ejemplo la ocupación de una vivienda con el CO<sub>2</sub>, la proximidad al mar a partir de la humedad relativa exterior, etc.

Esta es la idea con la cual la estadística descriptiva nació, y esta es la manera la cual se ha utilizado en este proyecto.

He de destacar que, dentro de la estadística descriptiva, hay dos tipos de variables, es decir, dos formas de definir las [22]:

- **Variables cualitativas:** Hace referencia a algo no numérico.
- **Variable cuantitativa:** Hace referencia a un valor numérico.

En el caso de este proyecto, se han utilizado variables cuantitativas medidas, a partir de las cuales se podrá obtener una conclusión adherente a este proyecto.

Además, se han utilizado otras herramientas en base a la estadística descriptiva con el fin de poder ver el comportamiento térmico de cada una de las viviendas, estas son las siguientes:

#### 5.1.1 Medidas de tendencia central

Las medidas de tendencia central permiten describir la ubicación central o típica de un conjunto de datos, es decir, proporcionan un valor central de la distribución de los valores de una serie de mediciones. Dentro de este proyecto se han utilizado las siguientes medidas de tendencia central [23]:

- **Media aritmética:** es el valor que se obtiene de la suma de todos los datos obtenidos entre el número de sumadores. En el caso de este proyecto, se ha utilizado para el cálculo de la temperatura media tal y como se muestra en la **ecuación 4**.
- **Media aritmética ponderada:** se trata de una variante a la media aritmética, ya que tiene en cuenta los pesos que se han asignado a cada uno de los elementos del conjunto. En el caso de este proyecto, se ha utilizado para el cálculo del coeficiente de transferencia de calor tal y como se muestra en la **ecuación 2**.

### 5.1.2 Medidas de dispersión

Son aquellas que se utilizan para ver el grado de dispersión de un conjunto de datos. Los resultados de estas indicarán la dispersión de los valores alrededor de una medida de tendencia central. Dentro de este proyecto se han utilizado las siguientes medidas de dispersión [24]:

- **Varianza:** es una medida de dispersión que permite representar la dispersión de una serie de medidas con respecto a su media. En este proyecto se ha utilizado para ver la variabilidad de las temperaturas interiores de la vivienda tal y como se muestra en la **ecuación 8**.
- **Desviación máxima:** es una medida de dispersión que permite representar la variabilidad máxima entre las distintas tomas de datos. Dentro de este proyecto se puede ver representada en la **ecuación 9**.

### 5.1.3 Gráficas estadísticas

Las gráficas estadísticas son aquellas que representan una serie de datos estadísticos de diferente origen y tipo, con el fin de mostrar de forma visual la evolución de una o más variables. Dentro de este proyecto, las gráficas estadísticas que se han utilizado son las siguientes [25]:

- **Gráfico de líneas:** Este ha sido el gráfico utilizado para mostrar comportamiento energético de cada una de las viviendas enfrente la vivienda de Parellada, tal y como se puede ver en la **figura 37**. He de destacar que para graficar estos datos en cada una de las gráficas se ha utilizado la

media móvil, con el objetivo de suavizar las fluctuaciones y resaltar las tendencias generales en cuanto al comportamiento de cada una de las viviendas.

#### 5.1.4 Matrices

Las matrices son una herramienta que forman parte de la estadística descriptiva, ya que se basan en resumir la relación entre dos variables de un grupo de datos. Dentro de este proyecto se han utilizado dos tipos de matrices:

- **Matriz de datos:** Este tipo de matriz se ha utilizado para reunir todas las variables de cada una de las viviendas en una misma matriz. A partir de la **figura 33**, se puede ver cómo es la matriz de datos creada para este proyecto.
- **Matriz de correlación:** Este tipo de matriz se utiliza para describir la relación entre variables cuantitativas [26]. En este proyecto se ha utilizado para resumir la correlación entre la variable de consumo energético y las demás variables tal y como se muestra en la **tabla 2**.

## 5.2 P-valor

Para el análisis univariable de este proyecto se ha utilizado también la estadística que ofrece el p-valor. Esta se define como el valor que nos indica la fiabilidad del estudio y la importancia clínica de los resultados obtenidos.

Considerando el p-valor como:

$$\gamma = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot X_2 + \dots$$

Ecuación 10 p-valor

Donde:

- $\gamma$  = variable consumo energético.
- $X_i$  = cada una de las demás variables (medidas y calculadas)

De esta forma, para determinar la correlación entre la variable  $X_i$  y la variable  $\gamma$ , se utilizará el método estadístico p-valor aplicando una técnica estadística utilizada comúnmente para la toma de decisiones sobre una afirmación o una suposición. El proceso de contraste de hipótesis que se ha seguido es el siguiente, se establecerán dos hipótesis, una hipótesis nula ( $H_0$ ) donde  $\beta_i = 0$  y, otra hipótesis que será la alternativa ( $H_1$ ) donde  $\beta_1 \neq 0$  [27].

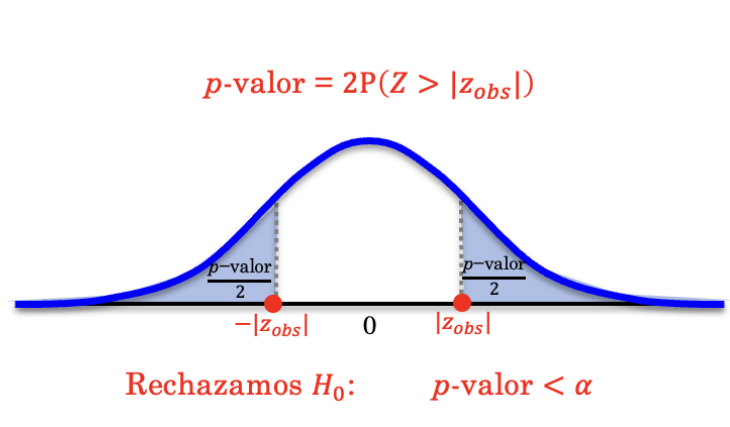


Figura 22 Contraste de hipótesis basado en el P-valor [2]

De esta manera, a partir de la **figura 22** se puede ver que, si p-valor es inferior o menor al error alfa ( $\alpha = 0.05$ ) se rechaza la hipótesis nula siendo aceptada la hipótesis alternativa, es decir, en este caso la variable  $\gamma$  dependerá de la variable  $X_i$ . En cambio, si el p-valor es superior al error alfa, la hipótesis nula no será rechazada, mientras que la hipótesis alternativa ni se rechazará ni se aceptará, de esta forma será probable que la variable  $\gamma$  no dependa de la variable  $X_i$ .

En el caso del software Rstudio, los valores de p-valor se interpretarán de la siguiente forma:

- Si el p-valor es inferior a 0.001, es decir, máxima correlación, el resultado se dará de la siguiente forma: '\*\*\*\*\*'.
- Si el p-valor se encuentra entre 0.001 y 0.01, el resultado se dará de la siguiente forma: '\*\*\*\*'.
- Si el p-valor se encuentra entre 0.01 y 0.05, el resultado se dará de la siguiente forma: '\*\*\*'.
- Si el p-valor se encuentra entre 0.05 y 0.1 el resultado se dará de la siguiente forma: '\*\*'.
- Si el p-valor es mayor a 0.1, indicará que la variable  $X_i$  está poco relacionado con la variable  $\gamma$ . De esta forma, el resultado se dará de la siguiente forma: '\*'.

## 5.3 Programación en Rstudio

El software utilizado para llevar a cabo este proyecto es Rstudio. Este, se trata de un software matemático, principalmente dedicado a la estadística y gráficos. El lenguaje utilizado dentro del software es el lenguaje de programación R, el cual nació como un cambio de software libre del lenguaje S.

Una vez se inicia el software Rstudio en cada uno de los ordenadores, se aparecerán 4 pantallas como las de la **figura 23**.

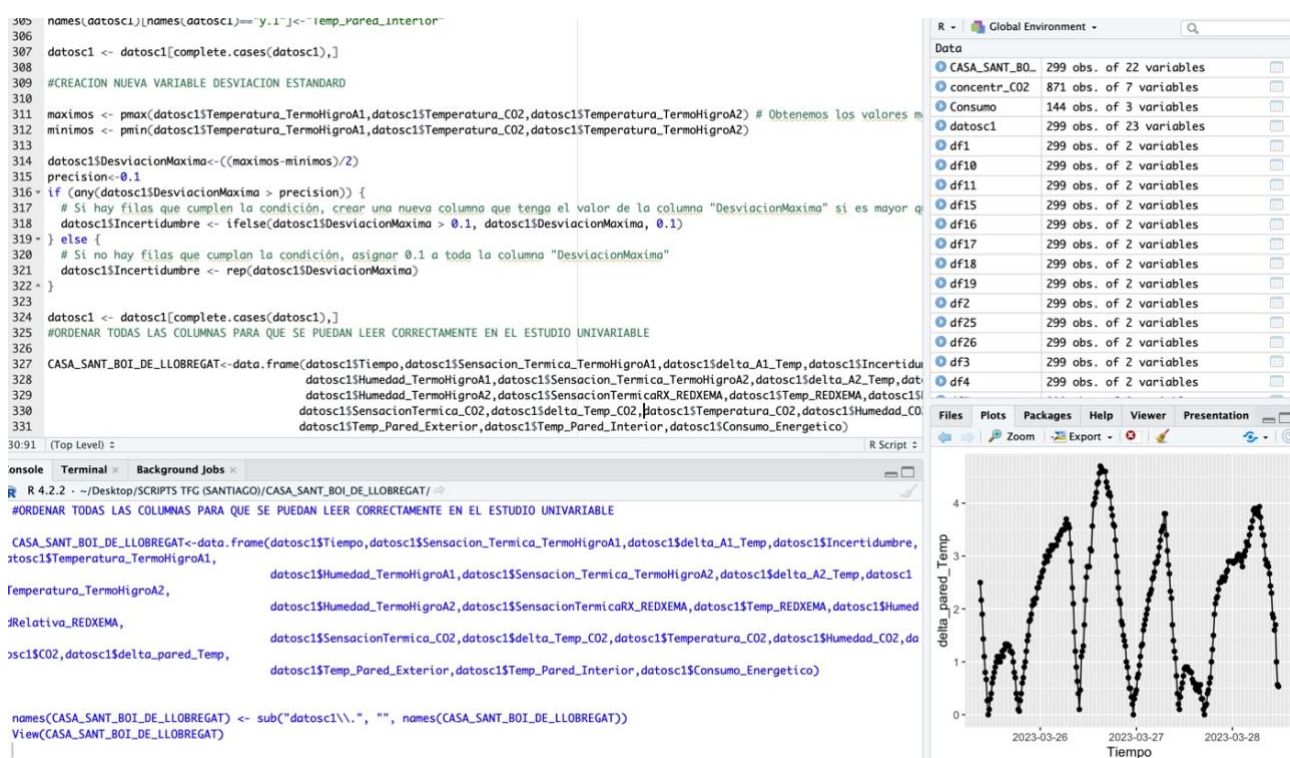


Figura 23 Software Rstudio

A continuación, se explicará cada una de las interfaces de Rstudio [28] :

- 1. La consola:** Se encuentra en la esquina inferior izquierda, en esta se realizan los cálculos y operaciones que pertenecen al proyecto.
- 2. El entorno variable:** Se encuentra en la esquina superior derecha, en este residen todas las variables, funciones, matrices, vectores, que han sido creados.



- 3. El editor en la interfaz:** Se encuentra en la esquina superior izquierda, en esta reside el código en R que posteriormente se ejecutará en la consola.
- 4. Las utilidades:** Se encuentra en la esquina inferior derecha, esta se utiliza mayoritariamente en este proyecto para plotear las gráficas deseadas.

## 5.4 Metodología de programación

A continuación, se analizará la metodología de programación utilizada en este proyecto, destacar que se han realizados dos scripts.

En el primer script, se recogerán los datos de cada uno de los sensores que se han ido obteniendo en cada una de las mediciones, de esta forma se creará una matriz limpia de datos para cada una de las viviendas. Hay que destacar que, para este primer script, se han realizado dos versiones, una primera versión que se utilizará para el estudio univariable y la segunda versión se utilizará para el estudio multivariable. Esto es dado que para cada una de las viviendas el número de termohigrómetros utilizados es diferente, ya que el número de habitaciones principales no son las mismas. De esta forma, para el estudio multivariable se requería tener el mismo número de variables en cada una de las viviendas, es por ello por lo que se realizó un mismo script con una versión alternativa.

En el segundo script, se realizará el análisis univariable de este proyecto, el cual se analizará la correlación entre el consumo energético y otras variables, es decir, si el consumo energético depende de la variable  $X_i$  o no.

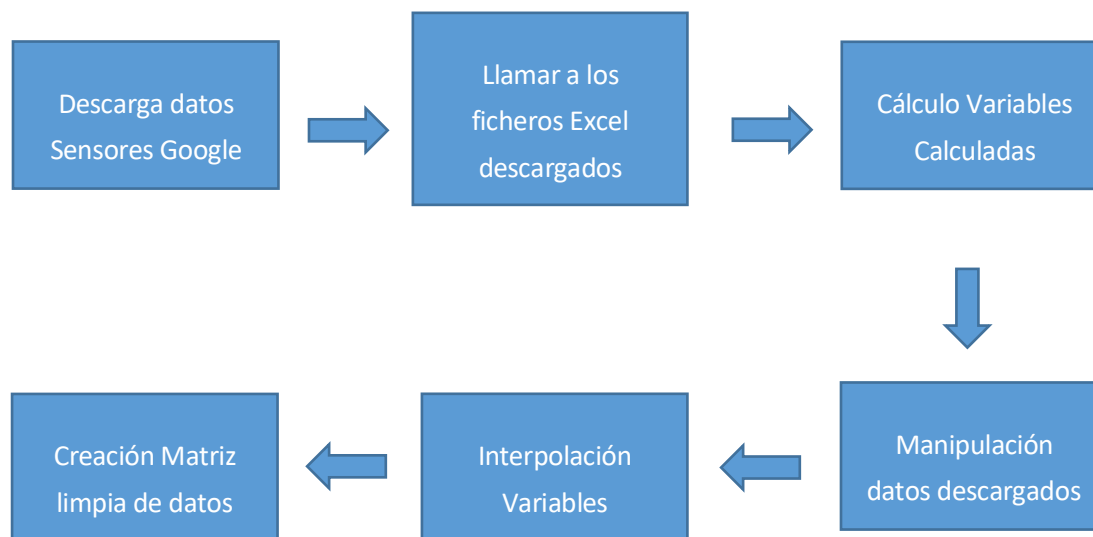
### 5.4.1 Metodología de programación matriz de datos

Primeramente, se han obtenido los datos (variables medidas), a través de los distintos sensores (Elitech RC-4HC, Extech SD700, ...).

A continuación, tal y como se indica en el apartado **4.4**, se ha realizado la estructuración de los ficheros Excel, ya que el software Rstudio ha de ser capaz de poder leerlos. Posteriormente, estos ficheros se han transferido a la nube de Google drive para facilitar su posterior uso mediante el software Rstudio.

Una vez se han realizado los pasos anteriores, se explicarán los pasos que se han seguido para extraer en primer lugar, la matriz limpia de datos junto con todas sus variables.

Para poder realizar una explicación más amena y clarificadora, se ha realizado un esquema de flujo dónde se detallan los pasos principales a seguir en la creación del script:



En primer lugar, se descargarán los datos medidos y limpiados en formato Excel de la nube de Google drive. En segundo lugar, una vez descargados, a estos, se les llamará utilizando el comando:

```
#DESCARGAR ARCHIVOS DEL GOOGLE DRIVE AL CUAL SE LE HA DADO ACCESO
#LEER EL EXCEL AL QUE ESTAMOS LLAMANDO, ESTAS SON LAS VARIABLES OBTENIDAS

drive_download("TermoHigro1_Carla.xlsx",overwrite = TRUE)
TermoHigroA1<- read_excel(path = "TermoHigro1_Carla.xlsx")
```

Figura 24 Descarga y lectura archivos Google Drive

En tercer lugar, se han creado las variables calculadas, estas, están explicadas en el **apartado 4.3**. A continuación, a partir de la **figura 25** se muestra como se ha calculado una de las variables. En este caso, se adjuntará el código de como se ha obtenido la variable de sensación térmica para el Termohigrómetro 1 (**ecuación 1**).

```
SensacionTermica1<- TermoHigroA1$Temperature+0.348*(TermoHigroA1$Humidity/100)*6.105*exp((17.27*TermoHigroA1$Temperature)/(237.7+TermoHigroA1$Temperature))-4.25
TermoHigroA1 <- cbind(TermoHigroA1,SensacionTermica1)
```

Figura 25 Cálculo variable calculada (sensación térmica)

En cuarto lugar, se realizarán manipulaciones en los datos, ya que el software Rstudio ha de reconocer las fechas como fechas, los valores numéricos como valores numéricos, etc. Para ello, dependiendo como haya sido el formato en el cual se ha descargado y la limpieza que se ha realizado, se tendrán que hacer un mayor o menor número de manipulaciones. Mediante la **figura 26**, se muestra la manipulación que se le ha realizado a los datos que se han obtenido a partir del sensor de CO2:

```
#UTILIZAMOS LA FUNCION myd(...) PARA QUE RECONOZCA COMO VIENE LA FECHA DADA EN EL EXCEL DE CONCENTR_CO2
#CON LA FUNCION gsub(...) SE INTENTA BUSCAR DOS 00 CONSECUTIVOS AL INICIO Y REEMPLAZAR POR 12 DENTRO DE LA COLUMNA Time 1 EN EL DATAFRAME concentr_CO2,
#YA QUE LAS 00:00 AM NO EXISTE, YA QUE SERIAN LAS 12 AM, ESTE ES UNPROBELMAS DENTRO DE LA EXPORTACION DE DATOS QUE SE HA TENIDO QUE SOLUCIONAR A PARTIR DE
#SE UTILIZA LA FUNCION as.POSIXct(...) PARA CONVENIR LA COLUMNA Time DEL DATAFRAME concentr_CO2 EN FECHA Y HORA, ADEMAS A APTIR DE LA FUNCION format(...)
# %I=HORAS EN AM/PM (HORARIO DE 12 HORAS) : %M =MINUTOS : %S= SEGUNDOS %p= AM/PM

concentr_CO2$Date<-lubridate::mdy(concentr_CO2$Date)
concentr_CO2$Time<-gsub("^00", "12", concentr_CO2$Time)
concentr_CO2$Time<-as.POSIXct(concentr_CO2$Time, format="%I:%M:%S %p")
concentr_CO2$Time<-format(concentr_CO2$Time, "%H:%M:%S")
concentr_CO2$Time<-paste(concentr_CO2$Date, concentr_CO2$Time)
concentr_CO2$Time<-lubridate::ymd_hms(concentr_CO2$Time)
```

Figura 26 Manipulación fecha y día (CO2)

Otra manipulación de datos que se ha realizado ha sido en los datos que se han recogido de la red XEMA, ya que estos se encuentran en horario UT, es decir, basados en la hora central europea pero no la española, de esa forma se ha tenido que sumar 1 hora a la hora de recogida de datos establecida por la red XEMA.

Otra de las manipulaciones que se han realizado en la red XEMA es que, la hora venia dada en periodos de 30 min (13:00-13:30), esto ha hecho que se haya de separar las dos horas creando el dataframe periodo, ya que el tiempo ha de estar en el mismo formato que el tiempo de los demás dataframe de cada uno de los sensores.

A partir de la **figura 27** se mostrará como se ha realizado lo comentado anteriormente:

```
###HORARIO ESPAÑA (+1H)
Periodo$TIME2 = lubridate::ymd_hms(paste0(RED_XEMASDia , Periodo$X2, rep(":"00",length(Periodo$X2))))
RED_XEMASTime_av=Periodo$TIME2+hours(1)
```

Figura 27 Manipulación horaria (red XEMA)

En quinto lugar, se ha creado una secuencia de intervalos de 15 minutos. Para ello, se ha utilizado el siguiente código:

```
# Crear una secuencia de tiempo comenzando desde la hora en punto más cercana
# a la primera fecha y hora en la columna "fecha_hora" y aumentando en 15 minutos
nuevas_fechas <- seq.POSIXt(from = round(min(Temp_Superficial$Time), "hours"), to = max(Temp_Superficial$Time), by = "15 min")
```

Figura 28 Creación secuencia de tiempo

En sexto lugar, se ha realizado la interpolación de cada una de las variables, tanto calculadas como medidas, ya que alguno de los sensores tomaba los datos en diferentes intervalos, es decir, algunos tenían intervalos de 10 minutos, otros de 15 min, etc. De este modo, a partir de la interpolación, se pueden obtener los datos intermedios o faltantes. En el software Rstudio, se ha utilizado el siguiente código:

```
fit1 <- approx(RED_XEMA$Time_av, RED_XEMA$TempMedia, xout=nuevas_fechas, ties = mean)
df1=data.frame(Tiempo=fit1$x, Temp_REDHEMA=fit1$y)
```

Figura 29 Interpolación datos temperatura media (red XEMA)

En séptimo lugar, se han creado graficas de las diferentes variables en función del tiempo, estas nos indican gráficamente el comportamiento de la variable  $X_i$  en función del tiempo. Para poder crear las distintas gráficas, se ha utilizado el siguiente código:

```
ggplot(df1, aes(Tiempo, Temp_REDHEMA)) + geom_point() + geom_line() + scale_x_datetime(breaks = date_breaks("1 day"), minor_breaks = date_breaks("1 hour"))
datoscl <- cbind(Temp_Superficial2, Temp_REDHEMA=df1$Temp_REDHEMA)
```

Figura 30 Plot temperatura red XEMA en función tiempo

En octavo lugar, se ha creado la matriz de datos limpia a partir de las diferentes variables.

```
CASA_SANT_BOI_DE_LLOBREGAT<-data.frame(datoscl$Tiempo, datoscl$Temp_Media, datoscl$Sensacion_Termica_TermoHigroA1, delta_Temp_Media, datoscl$delta_A1_Temp, datoscl$Varianza,
datoscl$Temperatura_TermoHigroA1,
datoscl$Humedad_TermoHigroA1, datoscl$Sensacion_Termica_TermoHigroA2, datoscl$delta_A2_Temp, datoscl$Temperatura_TermoHigroA2,
datoscl$Humedad_TermoHigroA2, datoscl$Sensacion_Termica_REDHEMA, datoscl$Temp_REDHEMA, datoscl$Humedad_Relativa_REDHEMA,
datoscl$Sensacion_Termica_CO2, datoscl$delta_Temp_CO2, datoscl$Temperatura_CO2, datoscl$Humedad_CO2, datoscl$CO2, datoscl$delta_pared_Temp,
datoscl$Temp_Pared_Exterior, datoscl$Temp_Pared_Interior, datoscl$Consumo_Energetico)
```

Figura 31 Creación matriz (vivienda Sant Boi de Llobregat)

En noveno lugar, la matriz creada en Rstudio se descargará en formato Excel para que posteriormente pueda ser utilizada tanto en el estudio univariable como en el estudio multivariable. Para poder realizar este último paso, se ha utilizado el siguiente código:

```
mi_libro <- createWorkbook()
addWorksheet(mi_libro, "CASA_SANT_BOI_DE_LLOBREGAT")
writeData(mi_libro, "CASA_SANT_BOI_DE_LLOBREGAT", CASA_SANT_BOI_DE_LLOBREGAT)
saveWorkbook(mi_libro, "CASA_SANT_BOI_DE_LLOBREGAT.xlsx")
```

Figura 32 Descarga matriz en Excel

Por último, de esta forma quedará la matriz en Excel:

**Nota1:** Imagen en la página posterior.

**Nota 2:** La matriz de variables de cada una de las viviendas se encuentra en el **Anexo 6**, en formato *xlsx*.

Destacar que, para poder ver el script entero este se encuentra en el **Anexo 5**.





## 5.4.2 Metodología de programación estudio univariable

Una vez extraída la matriz, se calculará la relación que hay de las diferentes variables con el consumo energético de cada una de las viviendas, es por ello por lo que se ha utilizado un método estadístico como es el p-valor, ya que nos indica el grado de correlación entre la variable  $X_i$  y el consumo energético.

La estadística del p-valor en lenguaje R, se expresará de la siguiente forma:

```
###MODELANDO VARIABLES
X <- train.data.sc[-c(22)]
y <- train.data.sc$Consumo_Energetico
fit=list()
p_val=list()
for (i in 1:(ncol(X))) {
  fit[[i]] <- lm(y ~ X[[i]])
  p_val[[i]] <- summary(fit[[i]])$coefficients[2,4]
  print(paste0("P-valor para la característica ", i, ": ", p_val[[i]]))
}
```

Figura 33 Estadística p-valor en Rstudio

De esta forma, una vez se ejecuta el script, el valor del p-valor en Rstudio se indicará de la siguiente forma:

```
-----
lm(formula = y ~ X[[i]])

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.9011 -0.6292 -0.4226  0.2769  4.5936

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  1.340e-16  4.586e-02   0.000  1.0000
X[[i]]       -1.343e-01  4.590e-02  -2.926  0.0036 **
---

```

Figura 34 Resultado p-valor en Rstudio

Por último, destacar que, para más información del script completo esta se encuentra dentro del

## Anexo 7.

## 6 Resultados

Para presentar los resultados obtenidos, se ha decidido separar las viviendas en tres bloques. El primer bloque está formado por la vivienda de Parellada, el segundo bloque está formado por todas aquellas viviendas construidas post 1955, por último, el tercer bloque está formado por las viviendas que fueron construidas pre-1955. Todas estas se encuentran organizadas por año de construcción en la **tabla 1**.

### 6.1 Comportamiento energético viviendas

En primer lugar, se comparará el comportamiento energético de las viviendas que conforman el primer bloque, referente a la vivienda de Parellada, vivienda con certificado energético tipo A y control inteligente centralizado de la temperatura interior de la vivienda, en contraposición del segundo bloque, es decir, aquellas que fueron construidas post 1955.

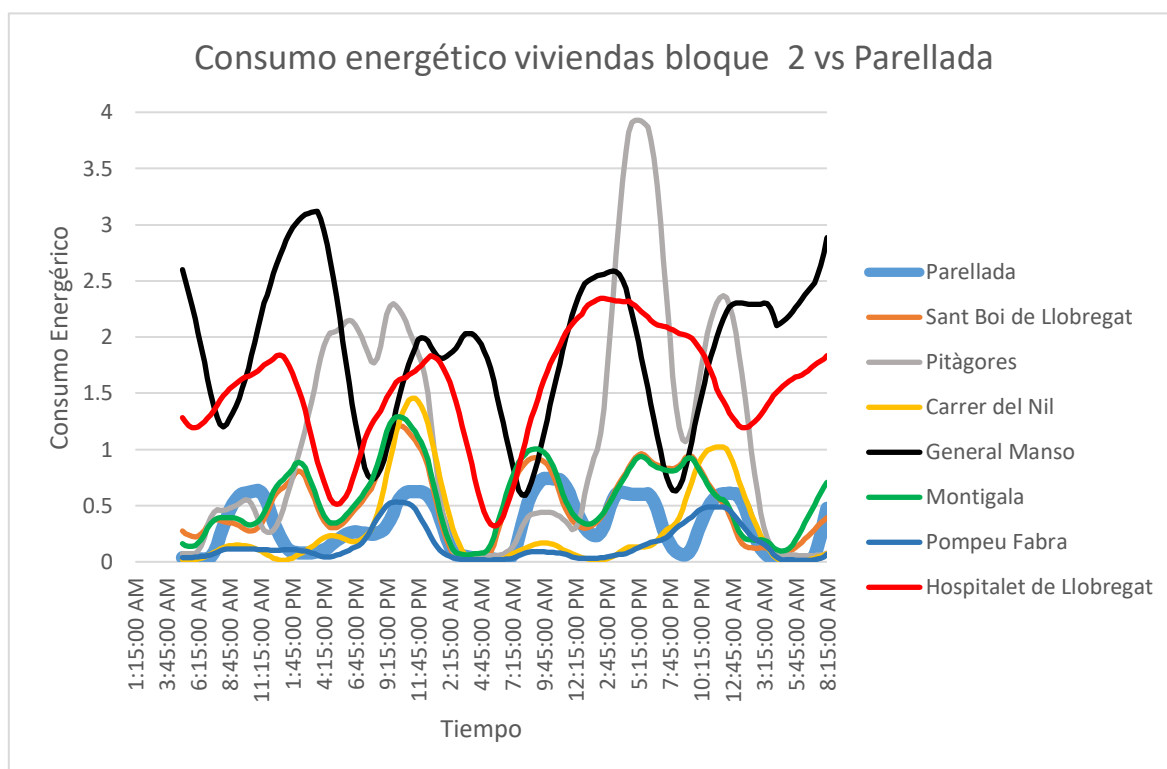


Figura 35 Consumo energético viviendas bloque 2 vs Parellada

A partir de la **figura 35** se puede ver como prácticamente todos los edificios que conforman el bloque 2 tienen un consumo energético superior a Parellada.



Esta energía consumida por parte de cada una de las viviendas se verá reflejada tanto en el gradiente de temperatura entre el exterior y el interior de la vivienda como también en el confort que tendrán los residentes de las viviendas

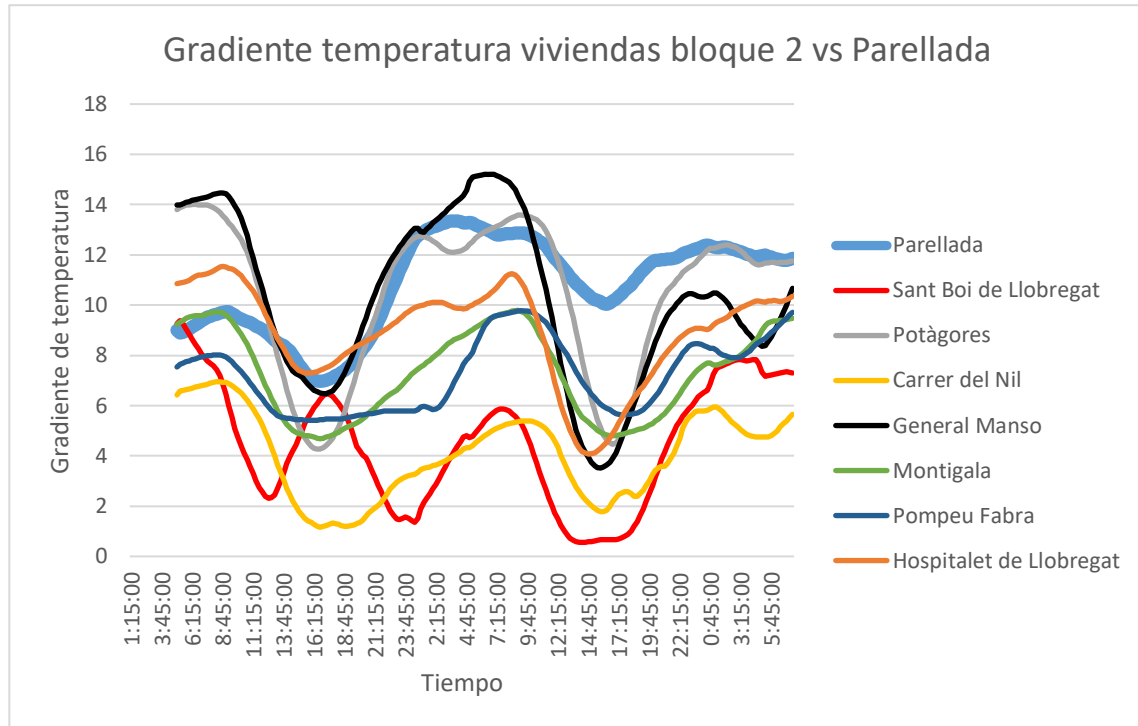


Figura 36 Gradiente temperatura viviendas bloque 2 vs Parellada

Por un lado, a partir de la **figura 36**, se puede ver como el gradiente de temperatura entre las distintas viviendas que conforman el bloque 2 y la vivienda de Parellada es bastante significativa, ya que teniendo Parellada un consumo menor, el gradiente de temperatura es mayor que la mayoría de las demás viviendas.

Por otro lado será importante evaluar el confort térmico de la vivienda. Para ello se ha estipulado según el código de la edificación técnica que la temperatura confort de la vivienda es de 22°C.

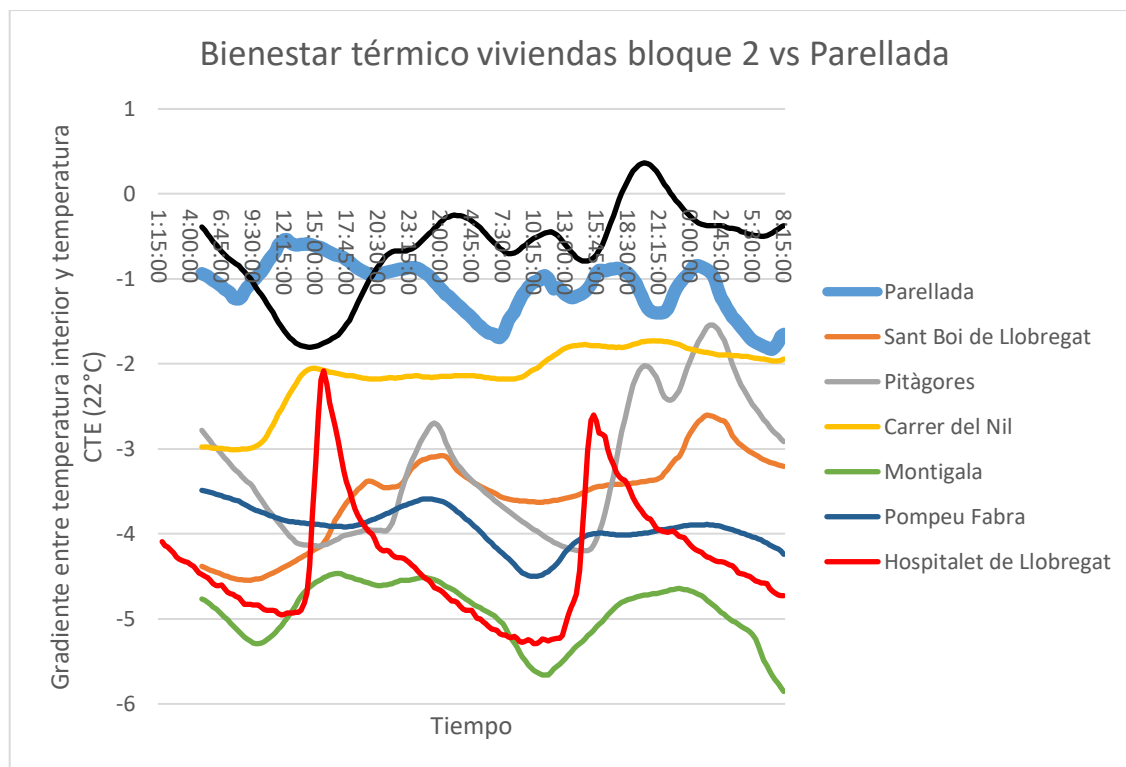


Figura 37 Bienestar térmico viviendas bloque 2 vs Parellada

De esta forma, a partir de la **figura 37**, se puede ver como el gasto energético que han de tener las viviendas del bloque 2 para tener un confort térmico como el de la vivienda de Parellada es muy grande, ya que como se puede ver, la única que se encuentra en un nivel de confort prácticamente similar es la vivienda de General manso, pero claro, el precio en consumo energético como se puede ver en la **figura 35** ha sido prácticamente 5 veces superior.

Una vez se ha evaluado el bloque 2, a continuación, se evaluará los resultados de las viviendas que conforman el bloque 3 enfrente la vivienda de Parellada.

En primer lugar, se comparará el comportamiento energético de las viviendas que conforman el tercer bloque, es decir, aquellas que fueron construidas pre-1955 contra la vivienda de Parellada.

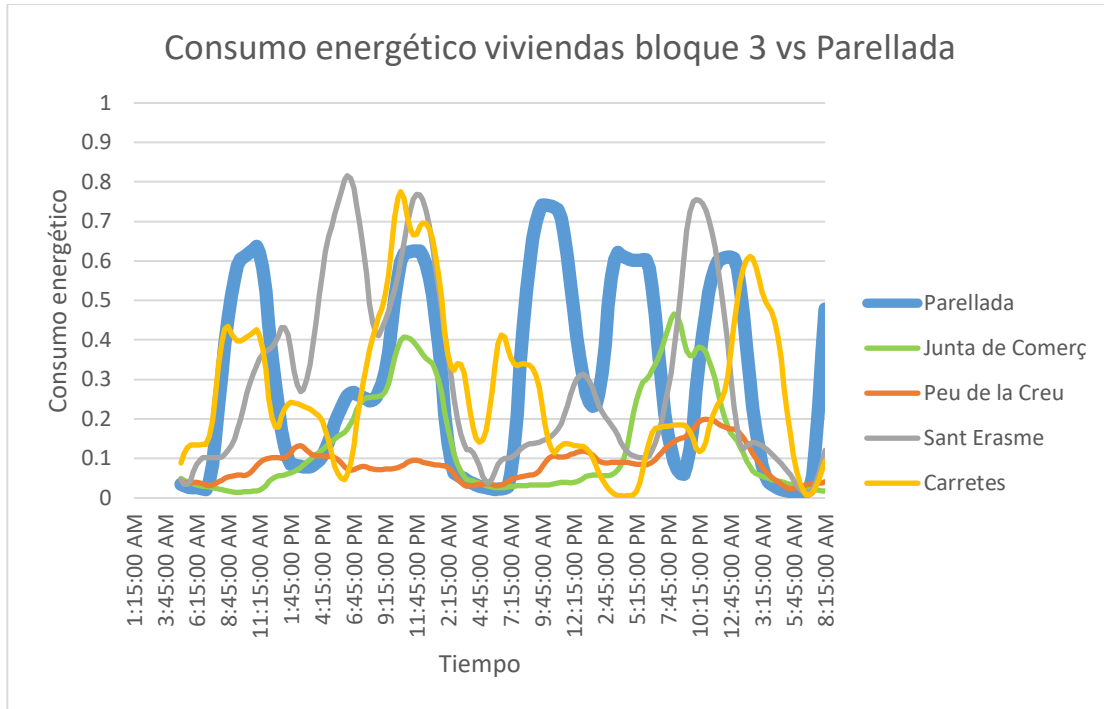


Figura 38 Consumo energético viviendas bloque 3 vs Parellada

A partir de la **figura 38** que relaciona el consumo energético de cada una de las viviendas frente a la vivienda de Parellada, se puede apreciar que tienen un comportamiento similar, incluso, alguna de ellas como Junta de Comerç o Peu de la Creu, llegan a tener un consumo por debajo. Pero claro, a qué condiciones?

Por un lado, a partir de la **figura 39** se puede ver como las viviendas que conciernen el tercer bloque tienen un gradiente de temperatura entre exterior e interior muy bajo, eso está significándonos que no están consumiendo la suficiente energía como para calentar la vivienda.

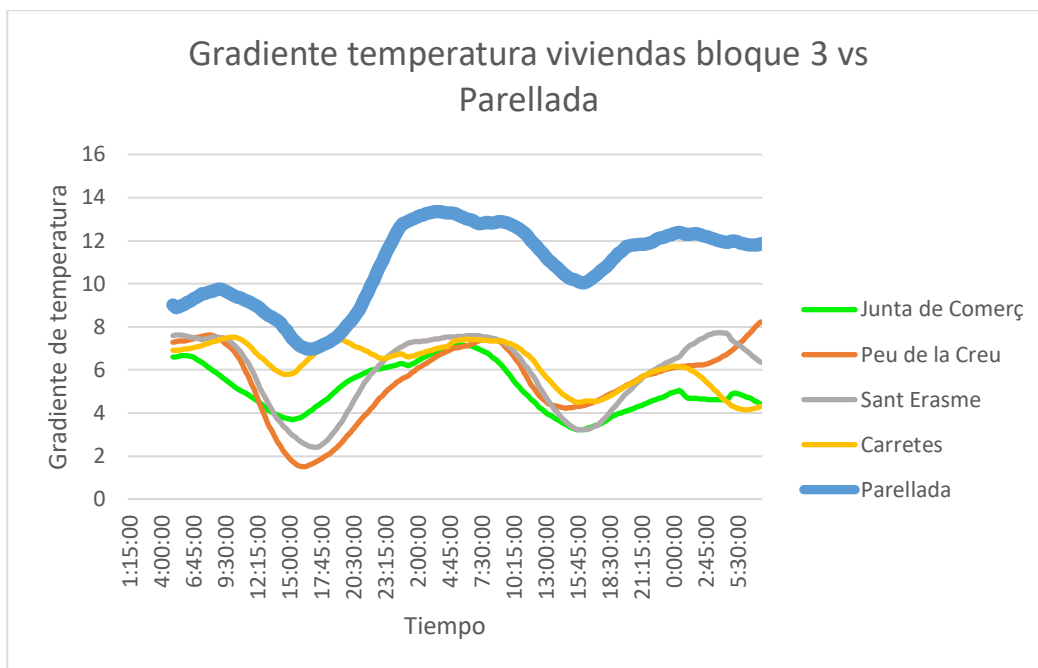


Figura 39 Gradiente temperatura viviendas bloque 3 vs Parellada

Por otro lado a partir de la **figura 40**, se podrá ver como el confort térmico que tendrán las personas que residen en estas viviendas en comparación a las que viven en la vivienda de Parellada.

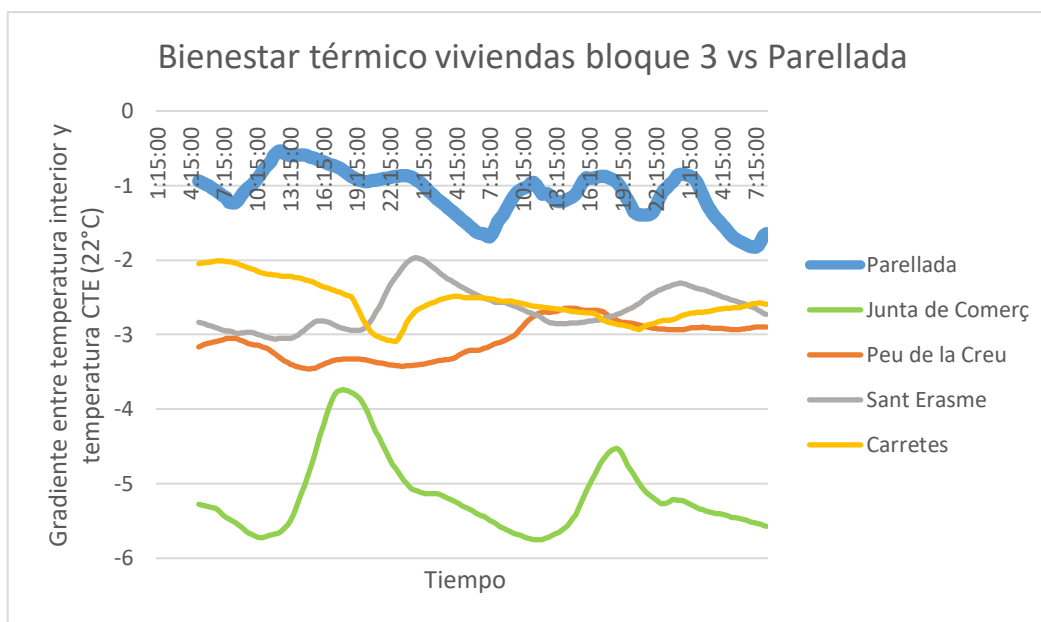


Figura 40 Bienestar térmico viviendas bloque 3 vs Parellada

De esta forma, se puede ver como aun teniendo el mismo consumo energético las viviendas del bloque 3 con la vivienda de Parellada, el confort térmico de los residentes en el interior de la vivienda es muy diferente, ya que hay que tener en cuenta como se indica en la **tabla 1**, que estas viviendas fueron construidas antes de iniciarse la legislación en cuanto a la edificación de vivienda. De esta manera se puede ver que en el caso de estas viviendas, el coste de energía consumida será directamente proporcional al bienestar térmico.

## **6.2 Correlaciones variables vs consumo energético**

A continuación, se mostrarán los resultados de correlación entre las diferentes variables y la variable consumo energético. En primer lugar, se ha creado una tabla con la correlación obtenida para las variables medidas, es decir, aquellas que se han obtenido a partir de algún sensor. En segundo lugar, se ha creado una segunda tabla, esta indica la correlación obtenida para las variables calculadas.

Una vez realizada una breve introducción de los resultados del proyecto, se expondrá en primer lugar la **tabla 4** que indica la correlación entre variables medidas y la variable consumo energético.

	VIVIENDAS (VARIABLES OBTENIDAS)	Parellada	Sant Boi Llobregat	Pitàgores	Carrer del Nil	General Manoso	Montigala	Pompeu Fabra	Hospitalet Llobregat	Junta de Comerç	Casa Peu de la Creu	Sant Erasme	Carretes
Condiciones Exteriores	Temperatura Exterior	*	**	***	****	*	*	*	*	*****	*****	*****	*****
	Humedad Relativa Exterior	*****	*	*****	*****	*	*****	*****	*	*****	*****	*****	**
Condiciones Interiores	Temperatura Salón	***	**	*****	***	*****	***	*	*****	*****	****	**	**
	Humedad Salón	****	*	*****	****	*****	****	****	*	*	*****	*	*
	CO2 Salón	*****	*	**	****	*	*	****	*****	*****	*****	*****	*****
	Temperatura Habitación 1	*****	***	*	*	*	*****	***	***	*****	*****	*	*
	Humedad Habitación 1	*****	**	*****	***	*	*	****	*	*****	*****	*	*
	Temperatura Habitación 2	*****	*****	**	*****	*****	*	*****	***	*****	*	-	-
	Humedad Habitación 2	*****	***	*****	***	***	*	****	**	*****	*****	-	-
	Temperatura Habitación 3	-	-	-	-	*	-	-	***	-	-	-	-
Humedad Habitación 3	-	-	-	-	*	-	-	*	-	-	-	-	
Condiciones Fachada	Temp. Fachada Exterior	*	****	*	***	*	*****	***	*	*****	*	*****	*****
	Temp Fachada Interior	*****	*	*****	****	*	*****	*	*	*****	*****	*	*

Tabla 4 Correlación variables medidas vs consumo energético

A partir de la **tabla 3**, se puede observar cómo en primer lugar, el primer bloque es decir, la vivienda de Parellada tiene una correlación mayor con las variables medidas en el interior de la vivienda que en el exterior, esto está indicando lo que se puede ver a partir de la **tabla 1**, ya que la vivienda de Parellada se construyó con una normativa muy exigente en cuanto a aislamiento térmico.

Además, se puede apreciar la diferencia del resto de viviendas frente la vivienda de Parellada, ya que la correlación en todas y cada una de las habitaciones es muy alta. Esto se debe a que como se ha comentado con anterioridad, se trata de una vivienda inteligente en la cual la temperatura es regulada por un controlador inteligente a partir de la información recibida por los distintos sensores que se encuentran ubicados en cada una de las habitaciones.

En cuanto al segundo bloque de viviendas, definido anteriormente, en estas podemos observar un comportamiento parecido a Parellada, debido a que las condiciones interiores son más importantes que las exteriores, viéndose de esta forma genérica que el aislamiento térmico de las viviendas es óptimo. Tal y como se puede ver en la **tabla 1**, todas las viviendas que se encuentran dentro de este bloque 2 se construyeron en base a la normativa de cada una de las épocas. No obstante, también hay viviendas dentro de este segundo bloque que tienen una correlación mayor con las condiciones exteriores, esto puede ser motivo de circunstancias estructurales de la vivienda donde no se tiene un aislamiento térmico tan efectivo como en otros, ya que como se puede apreciar en la **tabla 1**, la legislación en el año 1955 era menos restrictiva que la del año 2022 en cuanto a aislamiento térmico.

Además, en las viviendas que conforman el segundo bloque, la correlación entre el consumo energético y la temperatura en cada una de las habitaciones es distinta. Esto se debe ya que, a diferencia de la vivienda de Parellada, en estas no se tiene un control inteligente de la temperatura, sino que será el consumidor (residente) quien regula el consumo energético de la calefacción en cada una de las habitaciones. Esto puede ver en la **figura 35** como el consumo a diferencia de la vivienda de Parellada es muy irregular, es decir, con una mayor amplitud, indicando de esta forma que el control de la temperatura dependerá del uso que haga el usuario del sistema de calefacción.

Cabe destacar también que los datos de correlación de CO2 frente al consumo energético entre las diferentes viviendas es variable, en este caso el CO2 tal y como se comenta en el **apartado 4.2.3** depende de tres factores. Estos tres, además de las dimensiones del salón donde se ha colocado este sensor de calidad de aire, determinarán la correlación con el consumo energético.

Por último, en cuanto al tercer bloque de viviendas, se puede determinar que las condiciones exteriores muestran una mayor correlación con el consumo energético, es decir, en primer lugar, el aislamiento térmico de estas viviendas es muy bajo y, por lo tanto, hay una gran transferencia de calor entre el exterior y el interior. Esto se debe a que son viviendas muy antiguas tal y como se explica en la **tabla 1**, donde en los años donde fueron construidas no existía ninguna normativa en base al aislamiento térmico de la vivienda. En segundo lugar, como se puede ver en la **figura 38**, el hecho de tener un consumo similar con la vivienda de Parellada, además de tener unas peores condiciones arquitectónicas del edificio hace que el gradiente de temperatura sea muy bajo como se puede ver en la **figura 39**, haciendo que las condiciones exteriores sean más condicionantes en este bloque de viviendas.

Una vez, se han explicado la correlación de las distintas variables medidas con la variable consumo energético, a continuación, se presentará la **tabla 5**, donde se puede ver los resultados de correlación entre las variables calculadas y el consumo energético.



VIVIENDAS (VARIABLES CALCULADAS)	Parellada	Sant Boi Llobregat	Pitàgores	Carrer del Nil	General Manso	Montigala	Pompeu Fabra	Hospitalet Llobregat	Junta de Comerç	Peu de la Creu	Sant Erasme	Carretes
Varianza	***	*****	*	*****	*****	*****	*****	**	*****	*****	*	*
Temperatura media	*****	**	*	**	**	*	**	**	*****	*	**	*
Gradiente temperatura media	*****	*****	**	**	*	*	*	*	*****	*****	*****	*****
Gradiente temperatura salón	**	**	*	**	*	*	*	*	*****	*****	*****	*****
Gradiente temperatura habitación 1	*****	**	**	*****	*	*	*	*	*	*****	*****	*****
Gradiente temperatura habitación 2	*****	*****	**	*	**	*	*	*	*****	*****	-	-
Gradiente temperatura habitación 3	-	-	-	-	*	-	-	*	-	-	-	-
Sensación Térmica salón	*	*	*****	*	*****	*****	*	*****	*****	*****	*	*
Sensación térmica habitación 1	*****	*****	**	**	*	*****	*****	*****	*****	*****	*	*
Sensación térmica habitación 2	*	*****	*****	**	*****	*	*****	**	*****	*****	-	-
Sensación térmica habitación 3	-	-	-	-	*	-	-	*****	-	-	-	-
Gradiente temperatura fachada	*****	**	*****	*****	*	*****	*	*	*	*****	*****	*****

Tabla 5 Correlación variables calculadas vs consumo energética

A partir de la **tabla 5**, se puede observar como en la vivienda de Parellada la sensación térmica tiene una correlación muy baja, esto es porque se trata de una vivienda domótica inteligente donde el control de la temperatura y por ende el consumo energético de la vivienda dependerá de la temperatura que miden las sondas que se encuentran situadas en cada una de las habitaciones de esta y no de la sensación térmica de una persona.

Además, resaltar que la vivienda de Parellada tiene una gran correlación con los gradientes de temperatura, ya que como se ha comentado, el controlador inteligente regula en función de la temperatura medida por los diferentes sensores, esto se puede apreciar a partir de la **figura 36**, donde la vivienda de Parellada tiene un gradiente de temperatura muy constante a diferencia de las otras viviendas.

En cuanto al segundo bloque, se puede ver como estas viviendas tienen un patrón en cuanto a la importancia de la sensación térmica, es decir, la temperatura interior de la vivienda será regulada por el residente. Tal y como se puede ver en la **figura 35**, estas viviendas a diferencia de la vivienda de Parellada tienen una gran amplitud en las horas cuando las personas se encuentran en casa, de esta forma a partir de la **figura 37** se podrá ver como este mayor consumo comportará una mejora en el bienestar de los inquilinos y por ende de su sensación térmica.

A partir de la **figura 36**, se puede ver que los gradientes de temperatura en las viviendas que conforman el bloque 2 son muy irregulares al igual que se puede ver en la **tabla 5**. Esto es por el motivo principal de que el uso del climatizador en estas viviendas no reside en la temperatura sino en la sensación térmica que tienen el residente.

Por último, en cuanto al bloque 3, se puede ver como tienen una gran correlación con el gradiente de temperatura, este a diferencia de lo explicado anteriormente en la vivienda Parellada, se trata por un mal comportamiento del aislamiento térmico, ya que viendo la **figura 38** donde el consumo energético tanto de las viviendas del tercer bloque como la vivienda de Parellada es muy similar, posteriormente a partir de la **figura 39**, se puede ver como esto no se traduce en un gradiente de temperatura similar sino que muy distinto de serlo.

Además, se puede ver como el consumo energético tiene una gran correlación con la sensación térmica, es decir, tiene un comportamiento similar a las viviendas del bloque 2 donde es el usuario el que regula la temperatura.

## 7 Conclusiones

Comenzando con un cierto orden cronológico, los primeros problemas de este proyecto me surgieron cuando se me dieron los distintos sensores a utilizar, ya que no sabía cómo utilizarlos debido a que no estaba familiarizados con ellos. Fue una parte donde tuve bastante problemas, ya que no podía de ninguna forma comenzar las distintas mediciones, pero gracias a la información (hojas técnicas) que posteriormente me envió Alfredo Guardo Zabaleta, entendí el funcionamiento de cada uno de los sensores además de saber cómo programarlos para que indicasen la hora, día, etc, de manera correcta.

Una vez esta parte ya fue asumida, empecé a realizar las primeras mediciones en cada una de las viviendas. La primera medición fue en la vivienda General Manso, en ella se realizó una primera medición de “prueba”, ya que nuestro profesor Alfredo Guardo Zabaleta quería ver si se habían configurado bien los distintos sensores. El problema fue que en el caso del sensor de calidad de aire (RSPRO), este, no había funcionado de la forma correcta y se tuvieron que cambiar algunos de los parámetros para que funcionase correctamente.

Posteriormente, ya solventado dicho problema, comenzaron las distintas mediciones. El orden cronológico de las mismas fue el siguiente: General Manso, Hospitalet de Llobregat y Sant Boi de Llobregat.

Destacar que en la vivienda de Hospitalet de Llobregat tuve un percance con el sensor de calidad de aire (RSPRO), ya que al exportar los datos del sensor al ordenador no se copiaron de forma correcta, eso hizo que tuviera que realizar las mediciones de todos los sensores otra vez en esta misma vivienda, ya que todos los sensores tienen que comenzar a medir en el mismo momento, ya que fenómenos como la climatología o la ocupación de las viviendas pueden alterar el resultado de estos.

Ya una vez realicé todas y cada una de las distintas mediciones en las viviendas comentadas anteriormente, tuve que empezar a introducirme en temas relacionados con el software matemático Rstudio. En primer lugar, para crear el primer código tuve que leer los códigos que habían realizado compañeros antiguos de la universidad, ya que la base del primer código residía ahí. Destacar que aun y así, se cambió prácticamente todo, ya que hablando con mi director y codirector del TFG queríamos darle una vuelta y mejorarlo. Esta, fue la parte del proyecto que más me ocupó, dedique muchas semanas a completar el script de manera correcta y de la forma en que se me había pedido. Destacar

que uno de los problemas base de este primer script fue que al extraer los datos de cada uno de los sensores, ya que estos venían en formatos distintos. De esta forma, se tuvo que particularizar el código para cada uno de los datos obtenidos con el fin de que todos fueran iguales y, de esta forma poder crear la matriz limpia junto con todas las variables.

Finalmente, se creó el script para realizar el estudio univariable en el cual nos permite poder correlacionar las diferentes variables con la variable consumo energético.

A partir de este script final se ha podido ver el comportamiento de cada una de las viviendas en comparación de la vivienda de Parellada.

Esta comparación de resultados me ha ayudado a entender la reflexión final del proyecto y entender que aspectos como el aislamiento de las viviendas, la ocupación, el género de los residentes, ... son aspectos muy importantes para determinar el consumo energético de una vivienda.

Por último, destacar que gracias a este proyecto he podido mejorar en mi aprendizaje como ingeniero sobre todo en aspectos relacionados con el comportamiento térmico de un piso y ver como no todos los pisos se comportan de la misma manera, sino que muy diferente entre ellos.

Destacar que además, me ha hecho reflexionar sobre aspectos de la vida, ya que es duro ver como familias pobres y que viven en viviendas muy antiguas, son estas mismas las que tienen que realizar un mayor consumo energético de las viviendas dadas las pobres condiciones del piso, es decir, que tienen un aislamiento térmico muy malo y eso hace que en meses de invierno cuando las temperaturas dentro del área de Barcelona son bajas no puedan utilizar la calefacción, ya que no tienen los recursos económicos para hacerlo.

## 8 Bibliografía

- [1] Gallego, M. L. (2023). ESTUDI DEL COMPORTAMENT TÈRMIC D'UN CONJUNT DE VIVENDES DE BARCELONA I LA SEVA ÀREA METROPOLITANA MITJANÇANT CÀLCUL MULTIVARIABLE.
- [2] EXPERIMENTAL, R. E.-T. (2022). Obtenido de <http://hdl.handle.net/2117/370135>
- [3] (s.f.). Obtenido de <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/transicion-energetica/consumo-energetico/index.cshtml>.
- [4] Obtenido de <https://angelsinocencio.com/consumo-energetico-de-los-hogares/>
- [5] Wikipedia. (s.f.). Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Àrea metropolitana de Barcelona](https://es.wikipedia.org/wiki/Àrea_metropolitana_de_Barcelona).
- [6] Ventures, C. L. (s.f.). *Weather Spark*. Obtenido de Weather Spark: <https://es.weatherspark.com/y/47213/Clima-promedio-en-Barcelona-España-durante-todo-el-año>
- [7] housfy. (s.f.). Obtenido de <https://housfy.com/blog/cual-es-la-mejor-orientacion-de-un-piso-en-barcelona/>
- [8] Cuadras, À. (s.f.). Eficiència i Auditories Energètiques
- [9] López, A. (s.f.). *vivienda saludable*. Obtenido de <https://www.viviendasaludable.es/confort-bienestar/aislamiento-termico/que-son-los-puentes-termicos>
- [10] A.López. (s.f.). Confidencial. Obtenido de [https://www.elconfidencial.com/alma-corazon-vida/2019-12-03/razon-cientifica-mujeres-siempre-tienen-mas-frio\\_2361395/](https://www.elconfidencial.com/alma-corazon-vida/2019-12-03/razon-cientifica-mujeres-siempre-tienen-mas-frio_2361395/).
- [11] (s.f.). Obtenido de <https://teleasistencia.es/es/blog/salud-en-la-tercera-edad/por-que-las-personas-mayores-sienten-mas-frio>.
- [12] Prieto, P. A. (2 de 10 de 2017). *interempresas*. Obtenido de Interempresas: <https://www.interempresas.net/Instaladores/Articulos/194349-1967-2017-Cincuenta-anos-eficiencia-energetica-edificacion-sus-instalaciones-termicas.html>

- [13] Elitech Technology, I. (s.f.). *Elitechlog*. Obtenido de Elitechlog: <https://www.elitechlog.com/wp-content/manuals/RC-4-RC-4HA-RC-4HC-instructions.pdf>
- [14] Extech. (s.f.). *filr*. Obtenido de fondriest: [https://www.fondriest.com/pdf/extech\\_SD500\\_spec.pdf](https://www.fondriest.com/pdf/extech_SD500_spec.pdf)
- [15] RSPRO. (s.f.). *rs-online*. Obtenido de rs-online: <https://docs.rs-online.com/c389/A700000006898932.pdf>
- [16] Llorente, F. (s.f.). Sensación térmica por efecto de la humedad. *Sensación térmica por efecto de la humedad*. meteocat.
- [17] Llorente, F. (s.f.). Sensación térmica por efecto de la humedad. *Sensación térmica por efecto de la humedad*. meteocat.
- [18] Llorente, F. (17 de 9 de 2017). *tiempo*. Obtenido de tiempo: <https://www.tiempo.com/noticias/divulgacion/-que-es-la-sensacion-termica-.html>
- [19] Permeabilidad al aire de puertas y ventanas en la certificación energética. (s.f.). Obtenido de <https://www.certificadosenergeticos.com/permeabilidad-al-aire-de-puertas-y-ventanas-en-la-certificacion-energetica>.
- [20] BOE. Obtenido de BOE: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1979-24866>
- [21] Catalunya, S. M. (s.f.). *meteocat*. Obtenido de meteocat: <https://www.meteo.cat/observacions/xema/dades?codi=X8&dia=2023-05-29T16:00Z>
- [22] RAVAL, E. E. (2021). Obtenido de <http://hdl.handle.net/2117/358058>
- [23] Wikipedia. (s.f.). Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Medidas\\_de\\_tendencia\\_central](https://es.wikipedia.org/wiki/Medidas_de_tendencia_central)
- [24] Wikipedia. (s.f.). Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Medidas\\_de\\_dispersi3n](https://es.wikipedia.org/wiki/Medidas_de_dispersi3n)
- [25] (s.f.). Obtenido de <https://excelparatodos.com/graficos-estadisticos/>
- [26] Wikipedia. (s.f.). Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Matriz\\_de\\_correlaci3n](https://es.wikipedia.org/wiki/Matriz_de_correlaci3n)
- [27] P-Valor. (2020). Obtenido de P-Valor: <https://www.youtube.com/watch?v=v47Nvzfw6bY>
- [28] Rafa. (14 de 4 de 2019). Obtenido de Rstudio: <https://gonzalezgouveia.com/como-usar-rstudio-interfaz-usuario/>

[29]Gencat. (s.f.). Obtenido de [https://icaen.gencat.cat/es/energia/usos\\_energia/edificis/certificacio/registre\\_certificats/index.html](https://icaen.gencat.cat/es/energia/usos_energia/edificis/certificacio/registre_certificats/index.html)

# Anexo 1 Hoja técnica sensor Elitech RC-4HC



**RC-4/RC-4HA/RC-4HC**  
**Quick Start Guide**

Software download: [www.elitechlog.com/software](http://www.elitechlog.com/software)

**Install Battery**

- Use a proper tool (such as a coin) to loosen the battery cover.
- Install the battery with "+" side upward and keep it under the metal connector.
- Put the cover back and tighten the cover.

*Note: Do not remove the battery when the logger is running. Please change it when necessary.*

**Install Software**

- Please visit [www.elitechlog.com/software](http://www.elitechlog.com/software). Select and download the software.
- Double click to open the zip file. Follow the prompts to install it.
- When the installation is completed, the ElitechLog software will be ready to use. Please disable the firewall or close the antivirus software if necessary.

**Start/Stop Logger**

- Connect the logger to a computer to sync the logger time or configure parameters as needed.
- Press and hold (⏻) to start the logger until ► shows. The logger starts logging.
- Press and release (⏻) to shift between display interfaces.
- Press and hold (⏻) to stop the logger until ► shows. The logger stops logging. *Please note all the recorded data cannot be changed for security reasons.*

**Configure Software**

- Download Data: ElitechLog software will automatically access the logger and download the recorded data to local computer if it finds the logger is connected. If not, manually click "Download Data" to download the data.
- Filter Data: Click "Filter Data" under Graph tab to select and view your desired time range of the data.
- Export data: Click "Export Data" to save Excel/PDF format files to local computer.
- Configure options: Set logger time, log interval, start delay, high/low limit, date / time format, email etc. (Check User Manual for default parameters). *Note: New configuration will initialize previous recorded data. Please make sure to back up all necessary data before you apply new configurations.* Refer to "Help" for more advanced functions. More product information are available on the company website [www.elitechlog.com](http://www.elitechlog.com).

**Troubleshooting**

Issue	Reason
only a few data was logged	Check whether the battery is installed or check if the logger is connected.
the logger does not log after start up	check whether start delay is enabled in the software configuration.
the logger cannot stop logging or cannot start logging by pressing the button (⏻)	check parameter setting to use of button combination or check if button configuration is enabled.

Figura 41 Hoja técnica Elitech RC-4HC[13]

**▲ Important !**

- Please store the logger in indoor environment.
- Do not use the logger in corrosive liquid or excessive heat environment.
- if this is the first time you use the logger, it is suggested to connect the logger to a computer to sync the time.
- Please dispose or handle the waste logger properly by local legislation.

Elitech Technology, Inc.  
[www.elitechlog.com](http://www.elitechlog.com)  
1551 McCarthy Blvd, Suite 112  
Milpitas, CA 95035 USA

V2.0

**Technical Specifications ( RC-4 )**

Recording Options	Multi Use	Certifications	EN12830, CE, RoHS
Temperature Range	30°C to 60°C (internal sensor) -40°C to 85°C (optional external sensor)	Validation Certificate	Hardcopy
Temperature Accuracy	±0.5(30°C-40°C) ±1.0(other range)	Software	ElitechLog Win or Mac (latest version)
Temperature Resolution	0.1°C	Report Generation	PDF&Excel report by Elitech software
Data Storage Capacity	16,000 readings	Password Protection	NONE
Shelf Life/Battery	1 year(1CR1450 button cell)	Connection Interface	Mini USB
Recording Interval	15 minutes (standard, others on request)	Alarm Configuration	Optional, only 2 points
Dimensions	84mmx44mmx20mm(LxWxH)	Reprogrammable	With free Elitech Win or MAC software
Weight	35g	Startup Mode	Button
		Stop Mode	Button, software or stop when full

**Technical Specifications ( RC-4HA/RC-4HC )**

Recording Options	Multi Use	Certifications	EN12830, CE, RoHS
Temperature Range	-30°C to 60°C (internal sensor) -40°C to 85°C (optional external sensor)	Validation Certificate	Hardcopy
Humidity Range	10%-99%	Software	ElitechLog Win or Mac (latest version)
Accuracy	±0.5(30°C-40°C) ±1.0(other range) ±3.0(±25°C,20%RH to 50%RH) ±5.0(4)(other range)	Report Generation	PDF&Excel report by Elitech software
Temperature Resolution	0.1°C,0.1%RH	Connection Interface	Mini USB
Shelf Life/Battery	1 year(1CR1450 button cell)	Data Storage Capacity	8000 readings (RC-4HA) 16,000 readings (RC-4HC)
Recording Interval	15 minutes(standard, others on request)	Password Protection	NONE
Stop Mode	Button, software or stop when full	Alarm Configuration	Optional, only 2 points
Dimensions	84mmx44mmx20mm(LxWxH)	Reprogrammable	With free Elitech Win or MAC software
Weight	35g	Startup Mode	Button
			1. Depending on optimal storage conditions (±15°C to ±23°C/45% to 75% RH)

Figura 42 Hoja técnica Elitech RC-4HC[13]



## Anexo 2 Hoja técnica Sensor Extech SD700

EXTECH  
INSTRUMENTS  
A FLIR COMPANY
Experience the Extech Advantage

---

PRODUCT Datasheet

### Barometric Pressure/Humidity/Temperature Datalogger

✓ **Records data on an SD card in Excel® format**  
*for easy transfer to a PC for analysis*

**Features:**

- Displays Barometric Pressure in 3 units of measure: hPa, mmHg, and inHg
- Triple LCD simultaneously displays Barometric Pressure, Temperature, and Relative Humidity
- Datalogger date/time stamps and stores readings on an SD card in Excel® format for easy transfer to a PC
- Selectable data sampling rate: 5, 15, 30, 60, 120, 300, 600 seconds
- Complete with (6) AAA batteries, 20 SD card, Universal AC adaptor, and mounting bracket

**Applications:**

- Monitor Barometric Pressure, Humidity, and Temperature levels in clean rooms, warehouses, storage rooms, and water damage restoration projects



Specifications	
Barometric Pressure	10 to 1100 hPa, 1.1 to 800.0 mmHg, 0.029 to 29.921 inHg
Resolution	0.1 hPa, 0.1 mmHg, 0.001 inHg
Temperature	32 to 107.6 (0 to 42) °C
Resolution/Bar. Humidity	0.1% RH / 0.01% RH
Relative Humidity	10 to 99.9%
Resolution/Bar. Humidity	0.1% / 0.01% (0.1% to 99.9%)
Datalogging	200,000 readings (20 SD cards)
Dimensions	5.1 x 3.1 x 1.7" (130 x 80 x 43mm)
Weight	150g (5.3oz)

**Ordering Information:**

SD700 ..... Barometric Pressure/Humidity/Temperature Datalogger



www.extech.com

Figura 43 Hoja técnica Extech SD700 [14]

## Anexo 3 Hoja técnica sensor RSPRO

ESPAÑOL

Ficha de datos  
**Código RS 106-5304**  
**MEDIDOR DE CALIDAD DEL AIRE INTERIOR DE SOBREMESA RS**



**Características:**

- El sensor de CO2 de infrarrojo no dispersivos (NDIR) garantiza estabilidad y durabilidad a largo plazo.
- 4 mediciones en un monitor: CO2, tasa de ventilación de CO2, temperatura y humedad.
- Pantalla de gran tamaño.
- Software para PC fácil de usar para ajustes de parámetros y análisis.
- Descarga USB rápida.
- La memoria interna almacena hasta 17.000 datos.
- Intervalo de tiempo de registro seleccionable.
- Ajuste de alarma por valor alto o bajo de CO2, temperatura y humedad.
- Instalación en sobremesa o de montaje en pared (con fuerza para trípode de 1/4").
- Valores máximos/mínimos.

Figura 44 Hoja técnica sonda calidad aire [RSPRO] [15]

<b>Especificaciones:</b>	
• Pantalla:	Pantalla LCD triple
• Sensor:	NDIR, termistor y capacitivo
• Fuente de alimentación:	Adaptador de alimentación de conmutación de 100-240 V ac, 12 W/1 A, dimensión del conector macho: 5,5 × 2,1 × 1,0 mm.
• Dimensión:	88 mm × 62 mm × 128 mm (long. × anch. × alt.)
• Peso:	Aprox. 190 g
• Accesorios:	Manual, adaptador de alimentación y cable USB de 5 contactos.
• Rango de medición y precisión:	
<b><u>Dióxido de carbono:</u></b>	
Tipo de sensor:	Infrarrojos no dispersivos (NDIR)
Rango de medición:	0 a 9.999 ppm
Precisión:	±5 % de valor de lectura o ±75 ppm (0-2.000 ppm)
Resolución:	±1 ppm
Tiempo de respuesta:	Alcanza el 90 % en aproximadamente 2 minutos
<b><u>Temperatura:</u></b>	
Tipo de sensor:	Termistor
Rango de medición:	0 °C-50 °C / 32 °F-122 °F
Precisión:	±1,0 °C±1,8 °F
Resolución:	0,1 °C/0,1 °F
Tiempo de respuesta:	Aproximadamente 1 segundo
<b><u>Humedad relativa:</u></b>	
Tipo de sensor:	Capacitivo
Rango de medición:	5-95 %
Precisión:	±3,0 % de humedad relativa (20-80 %); ±5,0 % de humedad relativa (<20 %, >80 %)
Resolución:	0,1 %
Tiempo de respuesta:	Aproximadamente 4 segundos

Figura 45 Hoja técnica sonda calidad aire [RSPRO] [15]

# Anexo 4 Certificado energético

## Vivienda General Manso:

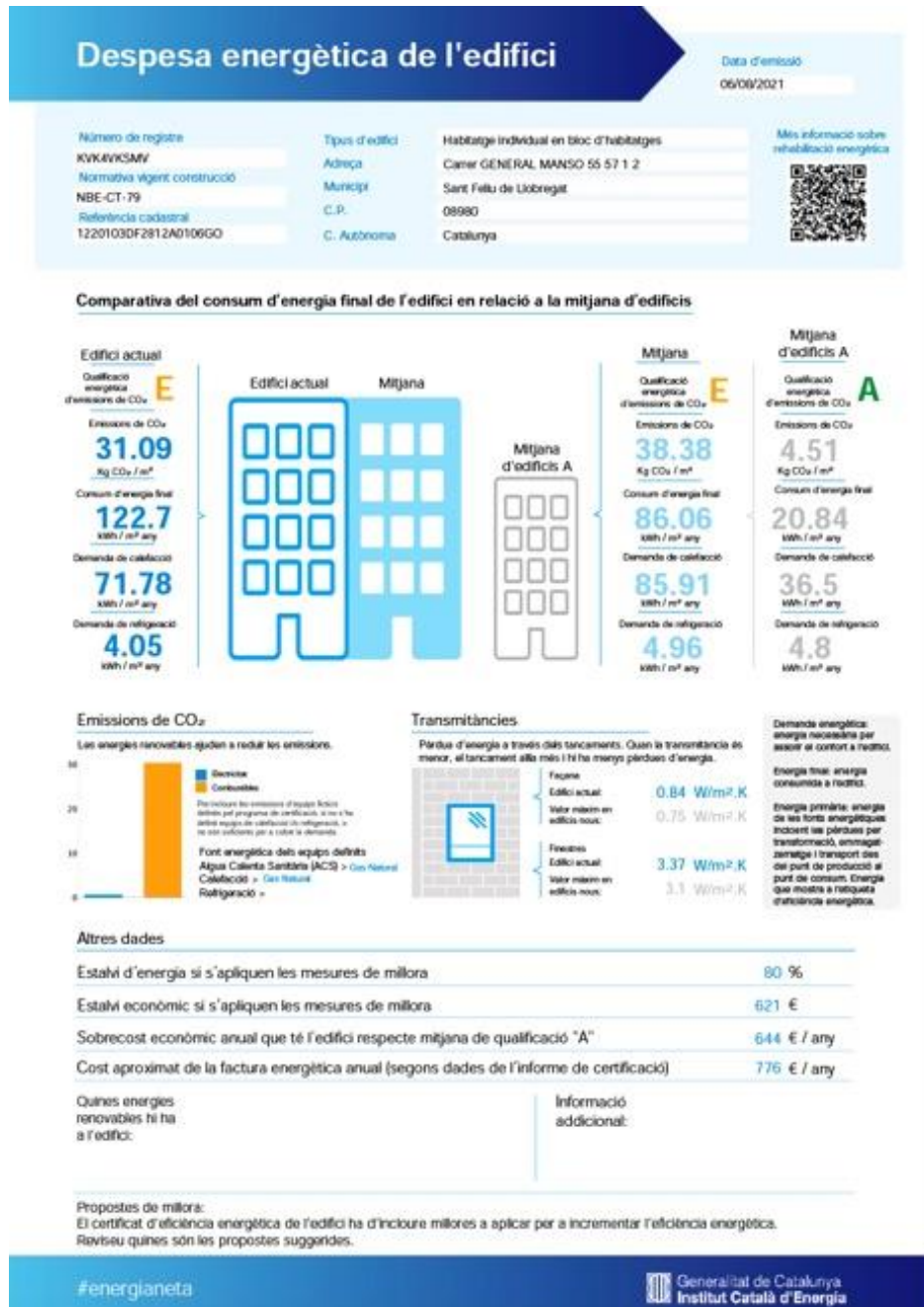


Figura 46 Certificado Energético vivienda general manso [29]

Vivienda Hospitalet de Llobregat:

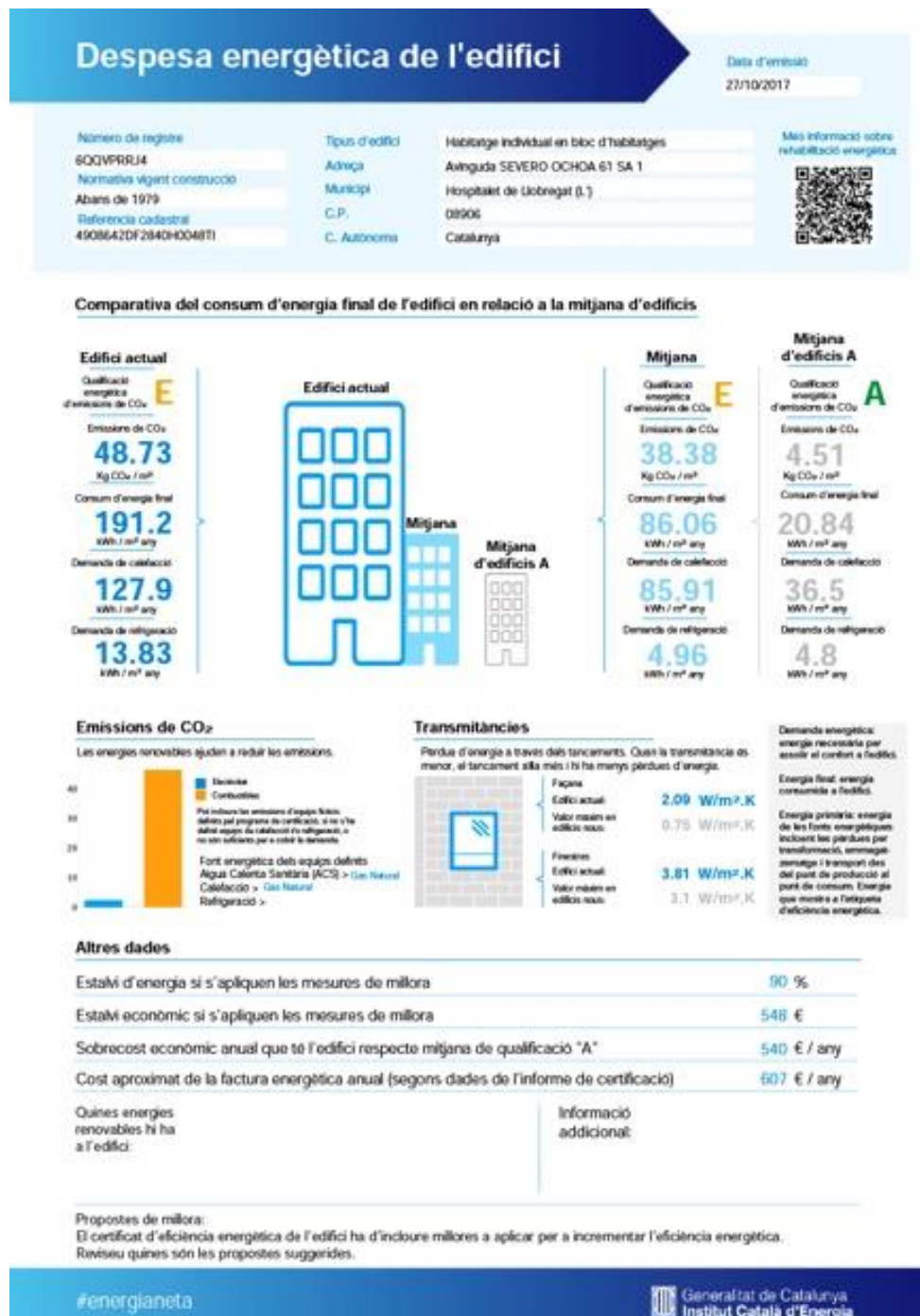


Figura 47 Certificado Energético vivienda Hospitalet de Llobregat [29]

## Anexo 5 R-script matriz

```
#ELIMINAMOS TODOS LOS OBJETOS ALMACENADOS EN LA MEMORIA
```

```
rm(list=ls())
```

```
graphics.off()
```

```
#INSTALAR LIBRERIAS PREVIAMENTE [install.packages(...)]
```

```
#CARGAR LIBRERIAS,ES DECIR, LLAMAR A LA LIBRERIA [library(...)]
```

```
library(readxl)
```

```
library(tidyverse)
```

```
library(readr)
```

```
library(mice)
```

```
library(colorspace)
```

```
library(grid)
```

```
library(VIM)
```

```
library(tidyr)
```

```
library(reshape2)
```

```
library(plyr)
```

```
library(dplyr)
```

```
library(ggplot2)
```

```
library(GGally)
```

```
library(lattice)
```

```
library(caret)
```

```
library(purrr)
```

```
library(plotly)
```

```
library(splines)
```

```
library(lubridate)
```

```
library(polynom)
```

```
library(scales)
```

```
library(googledrive)
```

```
library(pracma)
```

```
library(forecast)
```

```
library(openxlsx)
```

```
#PREVIAMENTE HAY QUE IDENTIFICARSE POR PRIMERA VEZ [googledrive::drive_auth(...)] CON EL FIN DE DARLE PERMISOS A ACCEDER A GOOGLE DRIVE
```

```
#UNA VEZ DE HA IDENTIFICADO PARA LAS VECES SIGUIENTES SOLO SE DEBERA UTILIZAR LA FUNCION ESCRITA DEBAJO
```

```
drive_auth(token = readRDS("acceso_go.rds"))
```

```
#DESCARGAR ARCHIVOS DEL GOOGLE DRIVE AL CUAL SE LE HA DADO ACCESO
```

```
#LEER EL EXCEL AL QUE ESTAMOS LLAMANDO, ESTAS SON LAS VARIABLES OBTENIDAS
```

```
drive_download("GENERAL_MANSO/TermoHigro/HABITACION_PAPAS_LIMPIEZA-2.xlsx",overwrite = TRUE)
```

```
TermoHigroA1<- read_excel(path = "HABITACION_PAPAS_LIMPIEZA-2.xlsx")
```

```
drive_download("GENERAL_MANSO/TermoHigro/HABITACION_SANTI_LIMPIEZA-2.xlsx",overwrite = TRUE)
```

```
TermoHigroA2<- read_excel(path = "HABITACION_SANTI_LIMPIEZA-2.xlsx")
```

```
drive_download("GENERAL_MANSO/TermoHigro/HABITACION_NOELIA_LIMPIEZA-2.xlsx",overwrite = TRUE)
```

```
TermoHigroA3<- read_excel(path = "HABITACION_NOELIA_LIMPIEZA-2.xlsx")
```

```
drive_download("REDXEMA/XEMA.xlsx",overwrite = TRUE)
```

```
RED_XEMA<- read_excel(path = "XEMA.xlsx")
```

```
drive_download("GENERAL_MANSO/SUPERFICIAL/SENSOR_SUPERFICIAL.xlsx",overwrite = TRUE)
```

```
Temp_Superficial <- read_excel(path = "SENSOR_SUPERFICIAL.xlsx")
```

```
drive_download("GENERAL_MANSO/SENSOR_CO2/CO2_TEMP_HUMEDAD.xlsx",overwrite = TRUE)
```

```

concentr_CO2<- read_excel(path = "CO2_TEMP_HUMEDAD.xlsx")

#CALCULO DE VARIABLES

# VARIABLE SENSACION TERMICA EN CADA UNA DE LAS HABITACIONES MEDIDAS

SensacionTermica1<-
TermoHigroA1$Temperature+0.348*(TermoHigroA1$Humidity/100)*6.105*exp((17.27*TermoHigroA
1$Temperature)/(237.7+TermoHigroA1$Temperature))-4.25

TermoHigroA1 <- cbind(TermoHigroA1,SensacionTermica1)

SensacionTermica2<-
TermoHigroA2$Temperature+0.348*(TermoHigroA2$Humidity/100)*6.105*exp((17.27*TermoHigroA
2$Temperature)/(237.7+TermoHigroA2$Temperature))-4.25

TermoHigroA2 <- cbind(TermoHigroA2,SensacionTermica2)

SensacionTermica3<-
TermoHigroA3$Temperature+0.348*(TermoHigroA3$Humidity/100)*6.105*exp((17.27*TermoHigroA
3$Temperature)/(237.7+TermoHigroA3$Temperature))-4.25

TermoHigroA3 <- cbind(TermoHigroA3,SensacionTermica3)

#SENSACION TERMICA DE LA CONCENTRACION DE CO2

# SE TIENE QUE PASAR LA HUMEDAD,TEMPERATURA Y CO2 DE FORMATO, YA QUE SON CARACTERES
(STRINGS) Y HAY QUE CONVERTIRLOS EN NUMERICOS (ARRAYS)

concentr_CO2$Humidity <- as.numeric(concentr_CO2$Humidity)

concentr_CO2$Temperature <- as.numeric(concentr_CO2$Temperature)

concentr_CO2$CO2<- as.numeric(concentr_CO2$CO2)

SensacionTermicaCO2<-
concentr_CO2$Temperature+0.348*(concentr_CO2$Humidity/100)*6.105*exp((17.27*concentr_CO
2$Temperature)/(237.7+concentr_CO2$Temperature))-4.25

concentr_CO2 <- cbind(concentr_CO2,SensacionTermicaCO2)

#SENSACION TERMICA DE LA TEMPERATURA EXTERIOR (RED_XEMA)

# SE TIENE QUE PASAR LA TEMPERATURA DE FORMATO, YA QUE SON CARACTERES (STRINGS) Y HAY
QUE CONVERTIRLOS EN NUMERICOS (ARRAYS)

RED_XEMA$TempMedia <- as.numeric(RED_XEMA$TempMedia)

```



```
SensacionTermicaRX<-
RED_XEMA$TempMedia+0.348*(RED_XEMA$HumRel/100)*6.105*exp((17.27*RED_XEMA$TempMedia)/(237.7+RED_XEMA$TempMedia))-4.25

RED_XEMA <- cbind(RED_XEMA,SensacionTermicaRX)

#####ORGANIZAMOS FECHA Y HORA (FORMATO FECHA-HORA)

#TERMOHIGRO A1,A2,A3

#LA FUNCION ymd_hms (Year-month-day_hour-minute-second) SE ENCUENTRA DENTRO DE LA
LIBRERIA LUBRDATE,SE QUIERE CONVERTIR UNA CADENA DE TEXTO EN UN OBJETO DE FECHA Y HORA

TermoHigroA1$Time<-lubridate::ymd_hms(TermoHigroA1$Time)

TermoHigroA2$Time<-lubridate::ymd_hms(TermoHigroA2$Time)

TermoHigroA3$Time<-lubridate::ymd_hms(TermoHigroA3$Time)

#TEMPERATURA SUPERFICIAL

#EXPORTACION A EXCEL NOS DIVIDIA LAS HORAS Y LA FECHA EN DOS COLUMNAS, SE UTILIZA FUNCION
PASTE PARA UNIR LAS DOS COLUMNAS

#SE UTILIZA LIBRERIA LUBRDATE PARA INDICAR EL FORMATO EN EL QUE SE QUIERE LA COLUMNA
Temp_Superficial$Time

Temp_Superficial$Time<-lubridate::ymd_hms(paste(Temp_Superficial$Date,
format(Temp_Superficial$Time,"%H:%M:%S")))

Temp_Superficial$Date<-NULL

#CONCENTRACION CO2 (RSPRO)

#EN LA EXPORTACION DEL EXCEL LA FECHA NOS VIENE SEPARADA EN "/", AL TERNER LAS OTRAS
FECHAS CON UNA SEPARACIÓN A PARTIR DE "-" SE UTILIZA LA FUNCION gsub(...) PARA SUSTITUIR UN
SIMBOLO POR OTRO

#UTILIZAMOS LA FUNCION myd(...) PARA QUE RECONOZCA COMO VIENE LA FECHA DADA EN EL EXCEL
DE CONCENTR_CO2

#CON LA FUNCION gsub(...) SE INTENTA BUSCAR DOS 00 CONSECUTIVOS AL INICIO Y REEMPLAZAR POR
12 DENTRO DE LA COLUMNA Time 1 EN EL DATAFRAME concentr_CO2, YA QUE LAS 00:00 AM NO
EXISTE, YA QUE SERIAN LAS 12 AM, ESTE ES UNPROBELMAS DENTRO DE LA EXPORTACION DE DATOS
QUE SE HA TENIDO QUE SOLUCIONAR A PARTIR DE RStudio

#SE UTILIZA LA FUNCION as.POSIXct(...) PARA CONVENIR LA COLUMNA Time DEL DATAFRAME
concentr_CO2 EN FECHA Y HORA, ADEMAS A APRTIR DE LA FUNCION format(...) SE ESPECIDICA EL
FORMATO EN QUE SE ENCUENTRA LA HORA
```

```

# %l=HORAS EN AM/PM (HORARIO DE 12 HORAS) : %M =MINUTOS : %S= SEGUNDOS %p= AM/PM
concentr_CO2$Date<-gsub("/", "-", concentr_CO2$Date)
concentr_CO2$Date<-lubridate::mdy(concentr_CO2$Date)
concentr_CO2$Time<-gsub("^00", "12", concentr_CO2$Time)
concentr_CO2$Time<-as.POSIXct(concentr_CO2$Time, format="%l:%M:%S %p")
concentr_CO2$Time<-format(concentr_CO2$Time, "%H:%M:%S")
concentr_CO2$Time<-paste(concentr_CO2$Date, concentr_CO2$Time)
concentr_CO2$Time<-lubridate::ymd_hms(concentr_CO2$Time)

#####ORGANIZAMOS FECHA Y HORA RED XEMA

###En el caso del conjunto de datos RED_XEMA observamos que tenemos una columna para D?a,
# y otra columna para el periodo de medici?n. En este caso hemos de compilar las dos columnas
# unific?ndolas en una ?nica columna. Pero previamente tenemos que tratar la columna
# Periodo porque se debe unificar el tiempo con el del TermoHigroA1 y TermoHigroA2. No nos sirve
# un intervalo de tiempo ya que queremos un formato con horas, minutos y segundos.

#SEPARACION DENTRO DEL MISMO DATA FRAME
Periodo<-data.frame(do.call('rbind', strsplit(as.character(RED_XEMA$Periodo), "-", fixed=TRUE)))

###HORARIO UT 1 HORA MAS

Periodo$TIME2 = lubridate::ymd_hms(paste0(RED_XEMA$Dia , Periodo$X2,
rep(":00", length(Periodo$X2))))

RED_XEMA$Time_av=Periodo$TIME2+hours(1)

# Crear una secuencia de tiempo comenzando desde la hora en punto m?s cercana
# a la primera fecha y hora en la columna "fecha_hora" y aumentando en 15 minutos

nuevas_fechas <- seq.POSIXt(from = round(min(Temp_Superficial$Time), "hours"), to =
max(Temp_Superficial$Time), by = "15 min")

# Crear un nuevo data frame con la columna de tiempo y las tres columnas num?ricas

Temp_Superficial2 <- data.frame(Tiempo = nuevas_fechas,

```

```
Temp_Exterior_Pared=approx(Temp_Superficial$Time,Temp_Superficial$Ch1_Value,nuevas_fechas)[2],  
Temp_Interior_Pared=approx(Temp_Superficial$Time,Temp_Superficial$Ch2_Value,nuevas_fechas)[2])
```

```
#####IMPUTAMOSTEMPERATURA MEDIA DE RED XEMA
```

```
fit1 <- approx(RED_XEMA$Time_av,RED_XEMA$TempMedia,xout=nuevas_fechas,ties =mean)
```

```
df1=data.frame(Tiempo=fit1$x, Temp_REDXEMA=fit1$y)
```

```
#df$Time<-lubridate::ymd_hms(df$x)
```

```
ggplot(df1, aes(Tiempo, Temp_REDXEMA)) + geom_point() + geom_line() + scale_x_datetime(breaks =  
date_breaks("1 day"),minor_breaks = date_breaks("1 hour"))
```

```
datosc1 <- cbind(Temp_Superficial2,Temp_REDXEMA=df1$Temp_REDXEMA)
```

```
#####IMPUTAMOS HUMEDAD RELATIVA RED XEMA
```

```
fit2 <- approx(RED_XEMA$Time_av,RED_XEMA$HumRel,xout=datosc1$Tiempo,ties =mean)
```

```
df2=data.frame(Tiempo=fit2$x, HumedadRelativa_REDXEMA=fit2$y)
```

```
#df$Time<-lubridate::ymd_hms(df$x)
```

```
ggplot(df2, aes(Tiempo, HumedadRelativa_REDXEMA)) + geom_point() + geom_line() +  
scale_x_datetime(breaks = date_breaks("1 day"),minor_breaks = date_breaks("1 hour"))
```

```
datosc1 <- cbind(datosc1,HumedadRelativa_REDXEMA=df2$HumedadRelativa_REDXEMA)
```

```
#####IMPUTAMOS SensacionTermicaRX RED XEMA
```

```
fit3 <- approx(RED_XEMA$Time_av,RED_XEMA$SensacionTermicaRX,xout=datosc1$Tiempo,ties  
=mean)
```

```
df3=data.frame(Tiempo=fit3$x, SensacionTermicaRX_REDXEMA=fit3$y)
```

```
#df$Time<-lubridate::ymd_hms(df$x)
```

```
ggplot(df3, aes(Tiempo, SensacionTermicaRX_REDXEMA)) + geom_point() + geom_line() +  
scale_x_datetime(breaks = date_breaks("1 day"),minor_breaks = date_breaks("1 hour"))
```

```
datosc1 <- cbind(datosc1,SensacionTermicaRX_REDXEMA=df3$SensacionTermicaRX_REDXEMA)
```

```
#####IMPUTAMOS Presion Media RED XEMA
```

```
fit23 <- approx(RED_XEMA$Time_av,RED_XEMA$Presion_Media,xout=datosc1$Tiempo,ties =mean)
```

```

df3=data.frame(Tiempo=fit3$x, Presion_Media_REDXEMA=fit23$y)

df$Time<-lubridate::ymd_hms(df$x)

ggplot(df3, aes(Tiempo, Presion_Media_REDXEMA)) + geom_point() + geom_line() +
scale_x_datetime(breaks = date_breaks("1 day"),minor_breaks = date_breaks("1 hour"))

datosc1 <- cbind(datosc1,Presion_Media_REDXEMA=df3$Presion_Media_REDXEMA)

#####IMPUTAMOS TEMPERATURA CONCENTRACION DE CO2

fit4 <- approx(concentr_CO2$Time,concentr_CO2$Temperature,xout=datos1$Tiempo,ties =mean)

df4=data.frame(Tiempo=fit4$x, Temperatura_CO2=fit4$y)

df$Time<-lubridate::ymd_hms(df$x)

ggplot(df4, aes(Tiempo, Temperatura_CO2)) + geom_point() + geom_line() + scale_x_datetime(breaks
= date_breaks("1 day"),minor_breaks = date_breaks("1 hour"))

datosc1 <- cbind(datosc1,Temperatura_CO2=df4$Temperatura_CO2)

#####IMPUTAMOS HUMEDAD RELATIVA CONCENTRACION DE CO2

fit5 <- approx(concentr_CO2$Time,concentr_CO2$Humidity,xout=datos1$Tiempo,ties =mean)

df5=data.frame(Tiempo=fit5$x, Humedad_CO2=fit5$y)

df$Time<-lubridate::ymd_hms(df$x)

ggplot(df5, aes(Tiempo, Humedad_CO2)) + geom_point() + geom_line() + scale_x_datetime(breaks =
date_breaks("1 day"),minor_breaks = date_breaks("1 hour"))

datosc1 <- cbind(datosc1,Humedad_CO2=df5$Humedad_CO2)

#####IMPUTAMOS CONCENTRACION DE CO2

fit6 <- approx(concentr_CO2$Time,concentr_CO2$CO2,xout=datos1$Tiempo,ties =mean)

df6=data.frame(Tiempo=fit6$x, CO2=fit6$y)

df$Time<-lubridate::ymd_hms(df$x)

ggplot(df6, aes(Tiempo, CO2)) + geom_point() + geom_line() + scale_x_datetime(breaks =
date_breaks("1 day"),minor_breaks = date_breaks("1 hour"))

datosc1 <- cbind(datosc1,CO2=df6$CO2)

#####IMPUTAMOS SENSACION TERMICA DE CO2

```

```
fit7 <- approx(concentr_CO2$Time,concentr_CO2$SensacionTermicaCO2,xout=datos1$Tiempo,ties
=mean)
```

```
df7=data.frame(Tiempo=fit7$x, SensacionTermica_CO2=fit7$y)
```

```
#df$Time<-lubridate::ymd_hms(df$x)
```

```
ggplot(df7, aes(Tiempo, SensacionTermica_CO2)) + geom_point() + geom_line() +
scale_x_datetime(breaks = date_breaks("1 day"),minor_breaks = date_breaks("1 hour"))
```

```
datos1 <- cbind(datos1,SensacionTermica_CO2=df7$SensacionTermica_CO2)
```

```
#####TEMPERATURA TERMOHIGRO A1
```

```
fit8 <- approx(TermoHigroA1$Time,TermoHigroA1$Temperature,xout=datos1$Tiempo,ties =mean)
```

```
df8=data.frame(Tiempo=fit8$x, Temperatura_TermoHigroA1=fit8$y)
```

```
#df$Time<-lubridate::ymd_hms(df$x)
```

```
ggplot(df8, aes(Tiempo, Temperatura_TermoHigroA1)) + geom_point() + geom_line() +
scale_x_datetime(breaks = date_breaks("1 day"),minor_breaks = date_breaks("1 hour"))
```

```
datos1 <- cbind(datos1,Temperatura_TermoHigroA1=df8$Temperatura_TermoHigroA1)
```

```
#####HUMEDAD TERMOHIGRO A1
```

```
fit9 <- approx(TermoHigroA1$Time,TermoHigroA1$Humidity,xout=datos1$Tiempo,ties =mean)
```

```
df9=data.frame(Tiempo=fit9$x, Humedad_TermoHigroA1=fit9$y)
```

```
#df$Time<-lubridate::ymd_hms(df$x)
```

```
ggplot(df9, aes(Tiempo, Humedad_TermoHigroA1)) + geom_point() + geom_line() +
scale_x_datetime(breaks = date_breaks("1 day"),minor_breaks = date_breaks("1 hour"))
```

```
datos1 <- cbind(datos1,Humedad_TermoHigroA1=df9$Humedad_TermoHigroA1)
```

```
#####SENSACION TERMICA TERMOHIGRO A1
```

```
fit17 <- approx(TermoHigroA1$Time,TermoHigroA1$SensacionTermica1,xout=datos1$Tiempo,ties
=mean)
```

```
df17=data.frame(Tiempo=fit17$x, Sensacion_Termica_TermoHigroA1=fit17$y)
```

```
#df$Time<-lubridate::ymd_hms(df$x)
```

```
ggplot(df17, aes(Tiempo, Sensacion_Termica_TermoHigroA1)) + geom_point() + geom_line() +
scale_x_datetime(breaks = date_breaks("1 day"),minor_breaks = date_breaks("1 hour"))
```

```

datosc1 <-
cbind(datosc1,Sensacion_Termica_TermoHigroA1=df17$Sensacion_Termica_TermoHigroA1)

#####TEMPERATURA TERMOHIGRO A2

fit10 <- approx(TermoHigroA2$Time,TermoHigroA2$Temperature,xout=datosc1$Tiempo,ties =mean)

df10=data.frame(Tiempo=fit10$x, Temperatura_TermoHigroA2=fit10$y)

#df$Time<-lubridate::ymd_hms(df$x)

ggplot(df10, aes(Tiempo, Temperatura_TermoHigroA2)) + geom_point() + geom_line() +
scale_x_datetime(breaks = date_breaks("1 day"),minor_breaks = date_breaks("1 hour"))

datosc1 <- cbind(datosc1,Temperatura_TermoHigroA2=df10$Temperatura_TermoHigroA2)

#####HUMEDAD TERMOHIGRO A2

fit11 <- approx(TermoHigroA2$Time,TermoHigroA2$Humidity,xout=datosc1$Tiempo,ties =mean)

df11=data.frame(Tiempo=fit11$x, Humedad_TermoHigroA2=fit11$y)

#df$Time<-lubridate::ymd_hms(df$x)

ggplot(df11, aes(Tiempo, Humedad_TermoHigroA2)) + geom_point() + geom_line() +
scale_x_datetime(breaks = date_breaks("1 day"),minor_breaks = date_breaks("1 hour"))

datosc1 <- cbind(datosc1,Humedad_TermoHigroA2=df11$Humedad_TermoHigroA2)

#####SENSACION TERMICA TERMOHIGRO A2

fit18 <- approx(TermoHigroA2$Time,TermoHigroA2$SensacionTermica2,xout=datosc1$Tiempo,ties
=mean)

df18=data.frame(Tiempo=fit18$x, Sensacion_Termica_TermoHigroA2=fit18$y)

#df$Time<-lubridate::ymd_hms(df$x)

ggplot(df18, aes(Tiempo, Sensacion_Termica_TermoHigroA2)) + geom_point() + geom_line() +
scale_x_datetime(breaks = date_breaks("1 day"),minor_breaks = date_breaks("1 hour"))

datosc1 <-
cbind(datosc1,Sensacion_Termica_TermoHigroA2=df18$Sensacion_Termica_TermoHigroA2)

#####TEMPERATURA TERMOHIGRO A3

fit12 <- approx(TermoHigroA3$Time,TermoHigroA3$Temperature,xout=datosc1$Tiempo,ties =mean)

df12=data.frame(Tiempo=fit12$x, Temperatura_TermoHigroA3=fit12$y)

```

```
#df$Time<-lubridate::ymd_hms(df$x)

ggplot(df12, aes(Tiempo, Temperatura_TermoHigroA3)) + geom_point() + geom_line() +
scale_x_datetime(breaks = date_breaks("1 day"),minor_breaks = date_breaks("1 hour"))

datosc1 <- cbind(datosc1, Temperatura_TermoHigroA3=df12$Temperatura_TermoHigroA3)

#####HUMEDAD TERMOHIGRO A3

fit13 <- approx(TermoHigroA3$Time,TermoHigroA3$Humidity,xout=datosc1$Tiempo,ties =mean)

df13=data.frame(Tiempo=fit13$x, Humedad_TermoHigroA3=fit13$y)

#df$Time<-lubridate::ymd_hms(df$x)

ggplot(df13, aes(Tiempo, Humedad_TermoHigroA3)) + geom_point() + geom_line() +
scale_x_datetime(breaks = date_breaks("1 day"),minor_breaks = date_breaks("1 hour"))

datosc1 <- cbind(datosc1,Humedad_TermoHigroA3=df13$Humedad_TermoHigroA3)

#####SENSACION TERMICA TERMOHIGRO A3

fit19 <- approx(TermoHigroA3$Time,TermoHigroA3$SensacionTermica3,xout=datosc1$Tiempo,ties
=mean)

df19=data.frame(Tiempo=fit19$x, Sensacion_Termica_TermoHigroA3=fit19$y)

#df$Time<-lubridate::ymd_hms(df$x)

ggplot(df19, aes(Tiempo, Sensacion_Termica_TermoHigroA3)) + geom_point() + geom_line() +
scale_x_datetime(breaks = date_breaks("1 day"),minor_breaks = date_breaks("1 hour"))

datosc1
cbind(datosc1,Sensacion_Termica_TermoHigroA3=df19$Sensacion_Termica_TermoHigroA3)

datosc1 <- datosc1[complete.cases(datosc1),]

#VARIABLE CONSUMO (EN CASO DE LAS VIVIENDAS QUE TENGAN CALDERA DE GAS)

#FACTORES QUE SE NECESITAN PARA EL CALCULO DEL CONSUMO

#COEFICEINTE DE TRANSMITACIA TOTAL #POTENCIA CONSUMIDA #AREA TOTAL

Area_Fachada=33*2.5

Area_Ventanas=1.15*1.12+1.17*1.48+1.46*1.17+1.15*1.12+1.30*1.50+0.7*1.50

U_Ventana=3.37
```

U\_Fachada=0.84

Densidad=(datos1\$Presion\_Media\_REDXEMA\*0.1)/(0.2869\*(datos1\$Temp\_REDXEMA+273.15))

V=27/3600

Cp\_aire=1.0052

Area\_Catastro=129

Temp\_Media=((datos1\$Temperatura\_CO2+datos1\$Temperatura\_TermoHigroA1+datos1\$Temperatura\_TermoHigroA2+datos1\$Temperatura\_TermoHigroA3)/4)

A\_Total=(Area\_Ventanas+Area\_Fachada)

U\_Total=(Area\_Fachada\*U\_Fachada+Area\_Ventanas\*U\_Ventana)/A\_Total

P\_Consumida=abs(U\_Total\*A\_Total\*(Temp\_Media-datos1\$Temp\_REDXEMA)+2\*U\_Fachada\*Area\_Catastro\*(Temp\_Media-22)+(Densidad\*V\*Cp\_aire\*A\_Total\*(Temp\_Media-datos1\$Temp\_REDXEMA))\*1000)

#####IMPUTAMOS POTENCIA

fit14 <- approx(datos1\$Tiempo,P\_Consumida,xout=datos1\$Tiempo,ties =mean)

df14=data.frame(Tiempo=fit14\$x, Pot\_Consumida=fit14\$y)

#df\$Time<-lubridate::ymd\_hms(df\$x)

ggplot(df14, aes(Tiempo, Pot\_Consumida)) + geom\_point() + geom\_line() + scale\_x\_datetime(breaks = date\_breaks("1 day"),minor\_breaks = date\_breaks("1 hour"))

datos1 <- cbind(datos1,Pot\_Consumida=df14\$Pot\_Consumida)

datos1 <- datos1[complete.cases(datos1),]

#CALCULO DEL CONSUMO EN CADA INTERVALO DE TIEMPO

#SE UTILIZA EL METODO DEL TRAPECIO

#PRIMERO, SE CREA LA FUNCION DEL AREA DEL TRAPECIO

#EN h, SE INDICA EL VALOR DE CADA INTERVALO EN HORAS, ES DECIR, 0.25h =15 min

area\_trapecio <- function(a, b) {

h <- (0.25)

area <- (a + b) \* h / 2



```
return(area)
}

#UNA VEZ SE HA DEFINIDO LA FUNCION PARA EL CALCULO DEL AREA DE CADA UNO DE LOS TRAPECIOS
#PRIMERO SE DEFINIRA UNA SECUENCIA....

intervalos <- seq(1, nrow(datosc1), 2)

areas <- sapply(intervalos, function(i) {
  a <- datosc1$Pot_Consumida[i]
  b <- datosc1$Pot_Consumida[i+1]
  return(area_trapecio(a, b))
})

areas<-c(areas[1],areas)
areas <- areas[-length(areas)]

datosc1$Consumo_Energetico<-(areas/1000)

#CALCULO CONSUMO NORMALIZADO

datosc1$Consumo_Energetico<-datosc1$Consumo_Energetico-min(datosc1$Consumo_Energetico)

# Calcular el área total bajo la curva

area_total <- sum(datosc1$Consumo)

#GRAFICAR EL AREA BAJO LA CURVA (VALOR DE CONSUMO CALCULADO)

plot(datosc1$Tiempo, datosc1$Pot_Consumida, type = "l", xlab = "Time", ylab =
"Potencia_Consumida")

poligono <- data.frame(x = c(datosc1$Tiempo, rev(datosc1$Tiempo)), y = c(datosc1$Pot_Consumida,
rep(min(datosc1$Pot_Consumida), length(datosc1$Tiempo))))

polygon(poligono, col = "blue", border = NA)

#DELTA DIFERENCIA TEMPERATURA HABITACIONES CON EXTERIOR

deltaT_A1<-abs(datosc1$Temperatura_TermoHigroA1-datosc1$Temp_REDXEMA)
```

```

deltaT_A2<-abs(datosc1$Temperatura_TermoHigroA2-datosc1$Temp_REDXEMA)

deltaT_A3<-abs(datosc1$Temperatura_TermoHigroA3-datosc1$Temp_REDXEMA)

deltaT_Temp_CO2<-abs(datosc1$Temperatura_CO2-datosc1$Temp_REDXEMA)

#DELTA PARED (DIFERENCIA PARED EXTERIOR E INTERIOR)

deltaT_pared<-abs(datosc1$y.1-datosc1$y)

#####IMPUTAMOS DIFERENCIA DE TEMPERATURA HABITACIONES CON EXTERIOR
(DELTA_A1)

fit15 <- approx(datosc1$Tiempo,deltaT_A1,xout=datosc1$Tiempo,ties =mean)

df15=data.frame(Tiempo=fit15$x,delta_A1_Temp=fit15$y)

#df$Time<-lubridate::ymd_hms(df$x)

ggplot(df15, aes(Tiempo, delta_A1_Temp)) + geom_point() + geom_line() + scale_x_datetime(breaks =
date_breaks("1 day"),minor_breaks = date_breaks("1 hour"))

datosc1 <- cbind(datosc1,delta_A1_Temp=df15$delta_A1_Temp)

#####IMPUTAMOS DIFERENCIA DE TEMPERATURA HABITACIONES CON EXTERIOR
(DELTA_A2)

fit25 <- approx(datosc1$Tiempo,deltaT_A2,xout=datosc1$Tiempo,ties =mean)

df25=data.frame(Tiempo=fit25$x,delta_A2_Temp=fit25$y)

#df$Time<-lubridate::ymd_hms(df$x)

ggplot(df25, aes(Tiempo, delta_A2_Temp)) + geom_point() + geom_line() + scale_x_datetime(breaks =
date_breaks("1 day"),minor_breaks = date_breaks("1 hour"))

datosc1 <- cbind(datosc1,delta_A2_Temp=df25$delta_A2_Temp)

#####IMPUTAMOS DIFERENCIA DE TEMPERATURA HABITACIONES CON EXTERIOR
(DELTA_A3)

fit27 <- approx(datosc1$Tiempo,deltaT_A3,xout=datosc1$Tiempo,ties =mean)

df27=data.frame(Tiempo=fit27$x,delta_A3_Temp=fit27$y)

#df$Time<-lubridate::ymd_hms(df$x)

```

```
ggplot(df27, aes(Tiempo, delta_A3_Temp)) + geom_point() + geom_line() + scale_x_datetime(breaks =
date_breaks("1 day"),minor_breaks = date_breaks("1 hour"))

datosc1 <- cbind(datosc1,delta_A3_Temp=df27$delta_A3_Temp)

#####IMPUTAMOS DIFERENCIA DE TEMPERATURA HABITACIONES CON EXTERIOR
(DELTA_TEMP_CO2)

fit26 <- approx(datosc1$Tiempo,deltaT_Temp_CO2,xout=datosc1$Tiempo,ties =mean)

df26=data.frame(Tiempo=fit26$x,delta_Temp_CO2=fit26$y)

#df$Time<-lubridate::ymd_hms(df$x)

ggplot(df26, aes(Tiempo, delta_Temp_CO2)) + geom_point() + geom_line() + scale_x_datetime(breaks
= date_breaks("1 day"),minor_breaks = date_breaks("1 hour"))

datosc1 <- cbind(datosc1,delta_Temp_CO2=df26$delta_Temp_CO2)

#####IMPUTAMOS DIFERENCIA PARED EXTERIOR E INTERIOR

fit16 <- approx(datosc1$Tiempo,deltaT_pared,xout=datosc1$Tiempo,ties =mean)

df16=data.frame(Tiempo=fit16$x,delta_pared_Temp=fit16$y)

#df$Time<-lubridate::ymd_hms(df$x)

ggplot(df16, aes(Tiempo, delta_pared_Temp)) + geom_point() + geom_line() +
scale_x_datetime(breaks = date_breaks("1 day"),minor_breaks = date_breaks("1 hour"))

datosc1 <- cbind(datosc1,delta_pared_Temp=df16$delta_pared_Temp)

datosc1 <- datosc1[complete.cases(datosc1),]

#CAMBIO NOMBRE DE TEMPERATURA EXTERIOR E INTERIOR PARED

names(datosc1)[names(datosc1)=="y.1"] <- "Temp_Pared_Exterior"

names(datosc1)[names(datosc1)=="y"]<-"Temp_Pared_Interior"

#CALCULO TEMPERATURA MEDIA

Temp_Media<-
((datosc1$Temperatura_TermoHigroA1+datosc1$Temperatura_TermoHigroA2+datosc1$Temperatur
a_TermoHigroA3+datosc1$Temperatura_CO2)/4)

datosc1<-cbind(datosc1,Temp_Media)

#CALCULO DELTA MEDIA
```

```

delta_Temp_Media <-
((datos1$delta_A1_Temp+datos1$delta_A2_Temp+datos1$delta_A3_Temp+datos1$delta_Temp
_CO2)/4)

datos1<-cbind(datos1,delta_Temp_Media)

#CREACION NUEVA VARIABLE VARIANZA

maximos <-
pmax(datos1$Temperatura_TermoHigroA1,datos1$Temperatura_CO2,datos1$Temperatura_Ter
moHigroA2,datos1$Temperatura_TermoHigroA3) # Obtenemos los valores máximos por fila

minimos <-
pmin(datos1$Temperatura_TermoHigroA1,datos1$Temperatura_CO2,datos1$Temperatura_Term
oHigroA2,datos1$Temperatura_TermoHigroA3)

datos1$DesviacionMaxima<-((maximos-minimos)/2)

precision<-0.1

if (any(datos1$DesviacionMaxima > precision)) {

# Si hay filas que cumplen la condición, crear una nueva columna que tenga el valor de la columna
"DesviacionMaxima" si es mayor que 0.1 y 0.1 en caso contrario

datos1$Varianza <- ifelse(datos1$DesviacionMaxima > 0.1, datos1$DesviacionMaxima, 0.1)

} else {

# Si no hay filas que cumplan la condición, asignar 0.1 a toda la columna "DesviacionMaxima"

datos1$Varianza <- rep(datos1$DesviacionMaxima)

}

datos1 <- datos1[complete.cases(datos1),]

#ORDENAR TODAS LAS COLUMNAS PARA QUE SE PUEDAN LEER CORRECTAMENTE EN EL ESTUDIO
UNIVARIABLE

GENERAL_MANSO<-
data.frame(datos1$Tiempo,datos1$Temp_Media,datos1$Sensacion_Termica_TermoHigroA1,delt
a_Temp_Media,datos1$delta_A1_Temp,datos1$Varianza,datos1$Temperatura_TermoHigroA1,da
tos1$Humedad_TermoHigroA1,
datos1$Sensacion_Termica_TermoHigroA2,datos1$delta_A2_Temp,datos1$Temperatura_Termo
HigroA2,datos1$Humedad_TermoHigroA2,datos1$Sensacion_Termica_TermoHigroA3,datos1$del
ta_A3_Temp,datos1$Temperatura_TermoHigroA3,datos1$Humedad_TermoHigroA3,
datos1$SensacionTermicaRX_REDXEMA,datos1$Temp_REDXEMA,datos1$HumedadRelativa_RED
XEMA,datos1$SensacionTermica_CO2,datos1$delta_Temp_CO2,datos1$Temperatura_CO2,datos1

```

```
1$Humedad_CO2,datos1$CO2,datos1$delta_pared_Temp,datos1$Temp_Pared_Exterior,datos1$Temp_Pared_Interior,datos1$Consumo_Energetico)
```

```
#ORDENAR TODAS LAS COLUMNAS PARA QUE SE PUEDAN LEER CORRECTAMENTE EN EL ESTUDIO UNIVARIABLE
```

```
names(GENERAL_MANSO) <- sub("datos1\\.\"", "", names(GENERAL_MANSO))
```

```
mi_libro <- createWorkbook()
```

```
addWorksheet(mi_libro, "GENERAL_MANSO")
```

```
writeData(mi_libro, "GENERAL_MANSO", GENERAL_MANSO)
```

```
saveWorkbook(mi_libro, "GENERAL_MANSO.xlsx")
```

## Anexo 6 Matriz de datos

Como se ha comentado anteriormente, en este anexo se incluirá la matriz obtenida de cada una de las viviendas. Destacar, que el formato en que se incluirá cada una de estas matrices es en xlsx.

<b>Peu de la Creu</b>	
<b>Hospitalet de Llobregat</b>	
<b>Montigala</b>	
<b>Pompeu Fabra</b>	
<b>Pitàgores</b>	
<b>Carrer del Nil</b>	
<b>Carretes</b>	
<b>General Manso</b>	
<b>Sant Boi de Llobregat</b>	
<b>Parellada</b>	
<b>Junta de Comerç</b>	
<b>Sant Erasme</b>	

## **Anexo 7 R-script método univariable**

```
rm(list=ls())

graphics.off()

# clear console ctrl l

###cargada de datos originales (eliminando comentarios):

#library(readxl)

library(readxl)

library(tidyverse)

library(readr)

library(mice)

library(colorspace)

library(grid)

library(VIM)

library(reshape2)

library(plyr)

library(dplyr)

library(ggplot2)

library(GGally)

library(lattice)

library(caret)

library(plotly)

#library(ggstatsplot)

library(splines)
```

```
library(lubridate)
```

```
library(polynom)
```

```
library(scales)
```

```
library(googledrive)
```

```
library(pracma)
```

```
#PREVIAMENTE HAY QUE IDENTIFICARSE POR PRIMERA VEZ [googledrive::drive_auth(...)] CON EL FIN DE DARLE PERMISOS A ACCEDER A GOOGLE DRIVE
```

```
#UNA VEZ DE HA IDENTIFICADO PARA LAS VECES SIGUIENTES SOLO SE DEBERA UTILIZAR LA FUNCION ESCRITA DEBAJO
```

```
drive_auth(token = readRDS("acceso_go.rds"))
```

```
drive_download("SCRIPTS_SANTIAGO/CASA_HOSPITALET_DE_LLOBREGAT/CASA_HOSPITALET_DE_LL  
OBREGAT.xlsx",overwrite = TRUE)
```

```
CASA_HOSPITALET_DE_LLOBREGAT<- read_excel(path = "CASA_HOSPITALET_DE_LLOBREGAT.xlsx")
```

```
#####DATEFRAME 1
```

```
#####FIJAMOS EL PUNTO DE PARTIDA DE LA SECCI?N ALEATORIA EN 123
```

```
Data.partition <- CASA_HOSPITALET_DE_LLOBREGAT[,2:length(CASA_HOSPITALET_DE_LLOBREGAT)]
```

```
#Para iniciar el proceso se ha de fijar un punto de partida que de forma aleatoria se decide el punto 123
```

```
#attach(Data.partition)
```

```
set.seed(123)
```

```
training.samples <- Data.partition$Consumo_Energetico %>%
```

```
  createDataPartition(p=0.8, list = FALSE)
```

```
train.data <- Data.partition[training.samples, ]
```

```
test.data <- Data.partition[-training.samples, ]
```

```
preProcValues <- preProcess(train.data, method = c("center", "scale"))
```

```
train.data.sc <- predict(preProcValues, train.data)
```

```
test.data.sc <- predict(preProcValues, test.data)
```



```
#save(train.data.sc,test.data.sc, file = "divided.data.mean.RData")

#####

###MODELANDO VARIABLES

X <- train.data.sc[-c(27)]

y <- train.data.sc$Consumo_Energetico

fit=list()

p_val=list()

for (i in 1:(ncol(X))) {

  fit[[i]] <- lm(y ~ X[[i]])

  p_val[[i]] <- summary(fit[[i]])$coefficients[2,4]

  print(paste0("P-valor para la característica ", i, ": ", p_val[[i]]))

}

# Suponiendo que tienes un objeto llamado "fit" con múltiples componentes

num_componentes <- length(fit)

# Crear una lista para almacenar los resúmenes

resumenes <- list()

# Obtener el resumen de cada componente y almacenarlo en la lista

for (i in 1:num_componentes) {

  resumenes[[i]] <- summary(fit[[i]])

}

# Acceder a los resúmenes individuales

for (i in 1:num_componentes) {

  print(resumenes[[i]])

}
```

