

# Trabajo Fin de Grado

## Grado en Ingeniería de la Energía

Impacto del efecto de isla de calor urbana (UHI) sobre la demanda energética y el confort térmico de los edificios de la Avda. Cruz Roja de Sevilla

Autor: Antonio Carvajal León

Tutor: Servando Álvarez Domínguez

**Dpto. de Ingeniería Energética**  
**Escuela Técnica Superior de Ingeniería**  
**Universidad de Sevilla**

Sevilla, 2021



Trabajo Fin de Grado  
Grado en Ingeniería de la Energía

# **Impacto del efecto de isla de calor urbana (UHI) sobre la demanda energética y el confort térmico de los edificios de la Avda. Cruz Roja de Sevilla**

Autor:

Antonio Carvajal León

Tutor:

Servando Álvarez Domínguez

Dpto. de Ingeniería Energética

Grupo Termotecnia

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2021



Trabajo Fin de Grado: Impacto del efecto de isla de calor urbana (UHI) sobre la demanda energética y el confort térmico de los edificios de la Avda. Cruz Roja de Sevilla

Autor: Antonio Carvajal León

Tutor: Servando Á

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2021

El Secretario del Tribunal

*A mi familia*

*A mis maestros*





# Agradecimientos

---

Quisiera acordarme en primer lugar de mi familia, el apoyo más incondicional e importante que me ha llevado a conseguir mis objetivos y metas que me he propuesto durante toda mi vida, siendo uno de ellos la realización de este proyecto. Así mismo, agradecer a mis tutores de este proyecto la confianza depositada en mí, la cual me ha motivado para realizar este proyecto. Por último, y no menos importante, debo agradecer el hecho de que mis amigos y mis compañeros de grado hayan hecho que esta etapa que toca a su fin haya sido maravillosa, transmitiéndome una confianza increíble durante esta.

*Antonio Carvajal León*

*Sevilla, 2021*



---

# Resumen

---

El objetivo principal de este proyecto es la evaluación y análisis de la demanda energética y confort térmico de los edificios como consecuencia del impacto de la isla de calor urbana, en el que las temperaturas exteriores aumentan de manera considerable en zonas urbanas.

El estudio se realizará en Sevilla, más concretamente en la avenida de la Cruz Roja, donde tomaremos los datos más relevantes de los edificios para ejecutar el estudio a través de la herramienta unificada HULC. En este proyecto, existe un apartado final donde se detalla el proceso de simulación de un edificio en dicha herramienta.

Asimismo, también se pretende con este proyecto alcanzar unas conclusiones con respecto a los resultados obtenidos durante el estudio, decidiendo de manera razonable si el incremento de temperaturas en las zonas urbanas afecta de manera positiva o negativa a la demanda energética y confort térmico.



## **Abstract**

---

The main objective of this project is the evaluation and analysis of the energy demand and thermal comfort of buildings because of the impact of the urban heat island, in which outdoor temperatures increase considerably in urban areas.

The study will be carried out in Seville, more specifically on Avenida de la Cruz Roja, where we will take the most relevant data from the buildings to carry out the study through the unified HULC tool. In this project, there is a final section where the simulation process of a building in said tool is detailed.

Likewise, this project is also intended to reach some conclusions regarding the results obtained during the study, deciding in a reasonable way whether the increase in temperatures in urban areas positively or negatively affects energy demand and thermal comfort.

# Índice

<b>Agradecimientos</b>	<b>9</b>
<b>Resumen</b>	<b>11</b>
<b>Abstract</b>	<b>13</b>
<b>Índice</b>	<b>14</b>
<b>Índice de Tablas</b>	<b>16</b>
<b>Índice de Ilustraciones</b>	<b>18</b>
<b>1 Introducción</b>	<b>22</b>
1.1 <i>Concepto Isla de Calor (UHI)</i>	22
1.1.1 Isla de Calor Superficial	23
1.1.2 Isla de Calor de la capa de dosel	23
1.1.3 Isla de Calor de la capa límite	23
1.2 <i>Causas del efecto de la Isla de Calor</i>	24
1.2.1 Características ambientales	24
1.2.2 Factores socioeconómicos	25
1.2.3 Factores de morfología urbana	26
1.3 <i>Consecuencias del efecto de la Isla de Calor</i>	26
1.3.1 EE.UU.	26
1.3.2 China	27
1.3.3 España	27
1.3.4 Japón	27
1.4 <i>Estrategias para reducir la demanda energética de los edificios</i>	28
1.4.1 Introducción demanda de refrigeración	28
1.4.2 Introducción demanda de calefacción	29
1.4.3 Estrategia de reducción de ganancias	29
1.4.4 Estrategia de aumento de pérdidas	30
1.5 <i>Introducción de medidas para reducir el efecto de la isla de calor en las demandas energéticas de los edificios</i>	31
<b>2 Metodología</b>	<b>33</b>
2.1 <i>Obtención de los datos de edificios de la Cruz Roja</i>	34
2.2 <i>Modelado de los edificios en la herramienta unificada HULC</i>	35
2.2.1 Grupo 1. Edificios comerciales	36
2.2.2 Grupo 2. Edificios no residenciales	36
2.2.3 Grupo 3. Edificios residenciales 1	37
2.2.4 Grupo 4. Edificios residenciales 2	37
2.3 <i>Obtención del modelo simplificado mensual de caracterización energética</i>	38
2.4 <i>Evaluación del impacto de UHI en la demanda energética</i>	38
2.5 <i>Evaluación del confort térmico</i>	38
2.5.1 Introducción a la evaluación del confort térmico	38
<b>3 Análisis y resultados demandas del edificio</b>	<b>43</b>

---

3.1	<i>Climas de Sevilla</i>	43
3.2	<i>Grupo 1. Edificio comercial. Avenida Cruz Roja N.º 5.</i>	45
3.2.1	Clima Aeropuerto	45
3.2.2	Clima Rinconada	48
3.2.3	Clima Centro	50
3.3	<i>Grupo 2. Edificio Otros Usos. Avenida Cruz Roja N.º 1 A.</i>	53
3.3.1	Clima Aeropuerto	53
3.3.2	Clima Rinconada	56
3.3.3	Clima Centro	58
3.4	<i>Grupo 3. Edificio Residencial Tipo 1. Avenida Cruz Roja N.º 5.</i>	61
3.4.1	Clima Aeropuerto	61
3.4.2	Clima Rinconada	64
3.4.3	Clima Centro	66
3.5	<i>Grupo 4. Edificio Residencial Tipo 2. Calle Madre San Marcelo N.º 2.</i>	68
3.5.1	Clima Aeropuerto	68
3.5.2	Clima Rinconada	71
3.5.3	Clima Centro	72
<b>4</b>	<b>Análisis y evaluación del confort térmico</b>	<b>77</b>
4.1	<i>Evaluación del confort térmico en los edificios simulados</i>	77
4.1.1	Grupo 1. Edificio Comercial. Avenida Cruz Roja N.º 5.	78
4.1.2	Grupo 2. Edificio Otros Usos. Avenida Cruz Roja N.º 1 A.	80
4.1.3	Grupo 3. Edificio Residencial Tipo 1. Avenida Cruz Roja N.º 5.	82
4.1.4	Grupo 4. Edificio Residencial Tipo 2. Calle Madre San Marcelo N.º 2.	84
4.1.5	Comparación de los 4 edificios	86
<b>5</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>89</b>
<b>Anexo</b>		<b>93</b>
5.1	<i>Obtención de las demandas mensuales en la herramienta HULC</i>	93
5.1.1	Materiales constructivos	93
5.2	<i>Realización del edificio</i>	95
5.3	<i>Simulación del edificio</i>	96
<b>Referencias</b>		<b>99</b>

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3–1. Demanda anual y mensual del edificio objeto, obtenida a través de HULC	45
Tabla 3–2. Coeficientes correctores de verano e invierno	45
Tabla 3–3. Demanda anual y mensual del edificio objeto, obtenida a través de la herramienta de pasadas	45
Tabla 3–4. Demanda anual y mensual del edificio objeto, obtenida a través de la herramienta de pasadas	48
Tabla 3–5. Demanda anual y mensual del edificio objeto, obtenida a través de la herramienta de pasadas	50
Tabla 3–6. Demanda anual y mensual del edificio objeto, obtenida a través de la herramienta de pasadas	53
Tabla 3–7. Coeficientes correctores de verano e invierno	53
Tabla 3–8. Demanda anual y mensual del edificio objeto, obtenida a través de la herramienta de pasadas	53
Tabla 3–9. Demanda anual y mensual del edificio objeto, obtenida a través de la herramienta de pasadas	56
Tabla 3–10. Demanda anual y mensual del edificio objeto, obtenida a través de la herramienta de pasadas	58
Tabla 3–11. Demanda anual y mensual del edificio objeto, obtenida a través de la herramienta de pasadas	61
Tabla 3–12. Coeficientes correctores de verano e invierno	61
Tabla 3–13. Demanda anual y mensual del edificio objeto, obtenida a través de la herramienta de pasadas	62
Tabla 3–14. Demanda anual y mensual del edificio objeto, obtenida a través de la herramienta de pasadas	64
Tabla 3–15. Demanda anual y mensual del edificio objeto, obtenida a través de la herramienta de pasadas	66
Tabla 3–16. Demanda anual y mensual del edificio objeto, obtenida a través de la herramienta de pasadas	68
Tabla 3–17. Coeficientes correctores de verano e invierno	68
Tabla 3–13. Demanda anual y mensual del edificio objeto, obtenida a través de la herramienta de pasadas	69
Tabla 3–13. Demanda anual y mensual del edificio objeto, obtenida a través de la herramienta de pasadas	71
Tabla 3–20. Demanda anual y mensual del edificio objeto, obtenida a través de la herramienta de pasadas	73
Tabla 4–1. Resumen de las magnitudes de evaluación de confort térmico en invierno	79
Tabla 4–2. Resumen de las magnitudes de evaluación de confort térmico en verano	80
Tabla 4–3. Resumen de las magnitudes de evaluación de confort térmico en invierno	81
Tabla 4–4. Resumen de las magnitudes de evaluación de confort térmico en verano	82
Tabla 4–5. Resumen de las magnitudes de evaluación de confort térmico en invierno	83
Tabla 4–6. Resumen de las magnitudes de evaluación de confort térmico en verano	84
Tabla 4–7. Resumen de las magnitudes de evaluación de confort térmico en invierno	85



Tabla 4–8. Resumen de las magnitudes de evaluación de confort térmico en verano	86
Tabla 4–9. Resumen de las magnitudes de evaluación de confort térmico en invierno para el clima Rural.met	¡Erro
<b>r! Marcador no definido.</b>	
Tabla 4–10. Resumen de las magnitudes de evaluación de confort térmico en verano para el clima Rural.met	¡Erro
<b>r! Marcador no definido.</b>	
Tabla 4–11. Resumen de las magnitudes de evaluación de confort térmico en invierno para el clima Centro.met	¡Erro
<b>r! Marcador no definido.</b>	
Tabla 4–12. Resumen de las magnitudes de evaluación de confort térmico en verano para el clima Centro.met	¡Erro
<b>r! Marcador no definido.</b>	

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1-1. Ilustración de las diferencias de temperatura que forman los cuatro tipos de UHI	24
Figura 1-2. Imagen de operarios pintando las calles de blanco en Los Ángeles	27
Figura 2-1. Ilustración KMZ correspondiente al alcance del estudio de este proyecto	34
Figura 2-2. Estructura del edificio a simular en la herramienta HULC.	36
Figura 3-1. Comparación de los 3 climas utilizados en el estudio el día 21 de enero	44
Figura 3-2. Comparación de los 3 climas utilizados en el estudio el día 6 de julio	44
Figura 3-3. Comparación de demandas mensuales	46
Figura 3-4. Pérdidas de calefacción en enero desglosadas en los diferentes parámetros	46
Figura 3-5. Ganancias de calefacción en enero desglosadas en los diferentes parámetros	47
Figura 3-6. Pérdidas de refrigeración en julio desglosadas en los diferentes parámetros	47
Figura 3-7. Ganancias de refrigeración en julio desglosadas en los diferentes parámetros	48
Figura 3-8. Comparación de demandas mensuales	48
Figura 3-9. Pérdidas de calefacción en enero desglosadas en los diferentes parámetros	49
Figura 3-10. Ganancias de calefacción en enero desglosadas en los diferentes parámetros	49
Figura 3-11. Pérdidas de refrigeración en julio desglosadas en los diferentes parámetros	50
Figura 3-12. Ganancias de refrigeración en julio desglosadas en los diferentes parámetros	50
Figura 3-13. Comparación de demandas mensuales	51
Figura 3-14. Pérdidas de calefacción en enero desglosadas en los diferentes parámetros	51
Figura 3-15. Ganancias de calefacción en enero desglosadas en los diferentes parámetros	52
Figura 3-16. Pérdidas de refrigeración en julio desglosadas en los diferentes parámetros	52
Figura 3-17. Ganancias de refrigeración en julio desglosadas en los diferentes parámetros	52
Figura 3-18. Comparación de demandas mensuales	54
Figura 3-19. Pérdidas de calefacción en enero desglosadas en los diferentes parámetros	54
Figura 3-20. Ganancias de calefacción en enero desglosadas en los diferentes parámetros	55
Figura 3-21. Pérdidas de refrigeración en julio desglosadas en los diferentes parámetros	55
Figura 3-22. Ganancias de refrigeración en julio desglosadas en los diferentes parámetros	56
Figura 3-23. Comparación de demandas mensuales	56
Figura 3-24. Pérdidas de calefacción en enero desglosadas en los diferentes parámetros	57
Figura 3-25. Ganancias de calefacción en enero desglosadas en los diferentes parámetros	57
Figura 3-26. Pérdidas de refrigeración en julio desglosadas en los diferentes parámetros	58
Figura 3-27. Ganancias de refrigeración en julio desglosadas en los diferentes parámetros	58

Figura 3-28. Comparación de demandas mensuales	59
Figura 3-29. Pérdidas de calefacción en enero desglosadas en los diferentes parámetros	59
Figura 3-30. Ganancias de calefacción en enero desglosadas en los diferentes parámetros	60
Figura 3-31. Pérdidas de refrigeración en julio desglosadas en los diferentes parámetros	60
Figura 3-32. Ganancias de refrigeración en julio desglosadas en los diferentes parámetros	61
Figura 3-33. Comparación de demandas mensuales	62
Figura 3-34. Pérdidas de calefacción en enero desglosadas en los diferentes parámetros	62
Figura 3-35. Ganancias de calefacción en enero desglosadas en los diferentes parámetros	63
Figura 3-36. Pérdidas de refrigeración en julio desglosadas en los diferentes parámetros	63
Figura 3-37. Ganancias de refrigeración en julio desglosadas en los diferentes parámetros	64
Figura 3-38. Comparación de demandas mensuales	64
Figura 3-39. Pérdidas de calefacción en enero desglosadas en los diferentes parámetros	65
Figura 3-40. Ganancias de calefacción en enero desglosadas en los diferentes parámetros	65
Figura 3-41. Pérdidas de refrigeración en julio desglosadas en los diferentes parámetros	65
Figura 3-42. Ganancias de refrigeración en julio desglosadas en los diferentes parámetros	66
Figura 3-43. Comparación de demandas mensuales	66
Figura 3-44. Pérdidas de calefacción en enero desglosadas en los diferentes parámetros	67
Figura 3-45. Ganancias de calefacción en enero desglosadas en los diferentes parámetros	67
Figura 3-46. Pérdidas de refrigeración en julio desglosadas en los diferentes parámetros	67
Figura 3-47. Ganancias de refrigeración en julio desglosadas en los diferentes parámetros	68
Figura 3-48. Comparación de demandas mensuales	69
Figura 3-49. Pérdidas de calefacción en enero desglosadas en los diferentes parámetros	69
Figura 3-50. Ganancias de calefacción en enero desglosadas en los diferentes parámetros	70
Figura 3-51. Pérdidas de refrigeración en julio desglosadas en los diferentes parámetros	70
Figura 3-52. Ganancias de refrigeración en julio desglosadas en los diferentes parámetros	70
Figura 3-53. Comparación de demandas mensuales	71
Figura 3-54. Pérdidas de calefacción en enero desglosadas en los diferentes parámetros	71
Figura 3-55. Ganancias de calefacción en enero desglosadas en los diferentes parámetros	72
Figura 3-56. Pérdidas de refrigeración en julio desglosadas en los diferentes parámetros	72
Figura 3-57. Ganancias de refrigeración en julio desglosadas en los diferentes parámetros	72
Figura 3-58. Comparación de demandas mensuales	73
Figura 3-59. Pérdidas de calefacción en enero desglosadas en los diferentes parámetros	73
Figura 3-60. Ganancias de calefacción en enero desglosadas en los diferentes parámetros	74
Figura 3-61. Pérdidas de refrigeración en julio desglosadas en los diferentes parámetros	74
Figura 3-62. Ganancias de refrigeración en julio desglosadas en los diferentes parámetros	74
Figura 4-1. Proporción prevista de personas insatisfechas en función del valor de la diferencia de temperatura	40
Figura 4-2. Comparativa de la evolución del Porcentaje de Personas Insatisfechas (PPI) en los métodos de Fanger y en aquellos basados en el confort adaptativo ( <i>EN 15251:2008</i> ) en función de la diferencia de	

temperatura	41
Figura 4-3. Temperatura interior del edificio en el mes de enero	78
Figura 4-4. Temperatura interior del edificio en el mes de julio	79
Figura 4-5. Temperatura interior del edificio en el mes de enero	80
Figura 4-6. Temperatura interior del edificio en el mes de julio	81
Figura 4-7. Temperatura interior del edificio en el mes de enero	82
Figura 4-8. Temperatura interior del edificio en el mes de julio	83
Figura 4-9. Temperatura interior del edificio en el mes de enero	84
Figura 4-10. Temperatura interior del edificio en el mes de julio	85
Figura 5-1. Incremento de los grados día nocturnos debido al efecto de la UHI en varias ciudades de EE. UU	90
Figura 5-2. Descenso de los grados día diarios debido al efecto de la UHI en varias ciudades de EE. UU	90
Figura 0-1. Selección en Datos Generales del año de construcción, dentro de la herramienta CE3	93
Figura 0-2. Pestaña “ <i>Definición Constructiva</i> ” dentro de la herramienta CE3	93
Figura 0-3. Definición constructiva de una fachada	94
Figura 0-4. Pestaña “ <i>Definición Geométrica</i> ” dentro de la herramienta HULC	94
Figura 0-5. Pestaña “ <i>Base de Datos</i> ” dentro de la herramienta HULC.	94
Figura 0-6. Pestaña “ <i>Opciones</i> ” dentro de la herramienta HULC	95
Figura 0-7. Selección de cerramientos y particiones en opciones	95
Figura 0-8. Selección de la orientación del edificio en opciones	96
Figura 0-9. Pestañas para la simulación y obtención de datos en la herramienta HULC	96
Figura 0-10. Resultados obtenidos a través de la herramienta HULC	97



# 1 INTRODUCCIÓN

---

*El punto de salida hacia todo logro es el deseo*

*- Napoleon Hill -*

Desde hace unos años, la gente se ha preguntado por qué hace tanto calor en su domicilio, o directamente en la calle donde vive. Estas mismas personas, después de debatirlo y llegar a un acuerdo, han atribuido la razón de esas temperaturas tan altas al lugar donde viven, a que el clima es muy cálido tanto por el día como por la noche. Esa afirmación llega a ser correcta, aunque esa conclusión no es más que la punta del iceberg de la causa de esas temperaturas tan altas.

Es cierto que existen muchas inquietudes y problemas en el mundo que calen en las personas a través de una preocupación inmensa, como pueda ser el caso tan reciente del COVID-19. No obstante, el efecto de la isla de calor está ligado en cierta medida con el cambio climático, otro gran problema que actualmente la población desconoce o, mejor dicho, no es consciente de ello. El cambio climático hará que este efecto se agrave aún más, aumentando los problemas ligados con él.

La gravedad de este efecto está aumentando debido al cambio climático global y urbano. Para establecer un plan de mejora sobre el impacto térmico negativo en las ciudades debido a las UHI y tratar de minimizar el mayor daño posible se necesitan muchas investigaciones para estimar y analizar con precisión la intensidad y la magnitud de la UHI. En este proyecto, nos centraremos en primer lugar de introducir y explicar de manera clara y directa que es la UHI y cómo afecta al conjunto de edificios de una avenida de Sevilla (España), más concretamente la avenida de la Cruz Roja, objeto de nuestro proyecto. El siguiente paso será recoger los parámetros más importantes de dichos edificios para poder realizar una simulación a través de la herramienta unificada Líder-Calener (HULC). Esta herramienta nos permitirá calcular las demandas de todos los edificios de la avenida a partir de los parámetros antes comentados, para posteriormente realizar una evaluación del confort térmico en dichos edificios. Primeramente, lo haremos con las temperaturas exteriores de la zona rural que se encuentre más próxima a Sevilla. Después, recogeremos datos de las temperaturas exteriores de nuestra avenida para simular de nuevo los edificios y realizar el proceso ya explicado. Es ahí donde nos daremos cuenta de que las demandas y el confort térmico van a cambiar con respecto al primer caso. Una vez que obtengamos todos los resultados finales sobre nuestros edificios, estableceremos unas conclusiones en base a los resultados, y veremos si este efecto es perjudicial o finalmente no es tan malo como parece.

## 1.1 Concepto Isla de Calor (UHI)

Como se comenta en la introducción, existe un fenómeno que se ha ido prolongando a lo largo de los años que es el efecto de la isla de calor. Dicho efecto se lleva analizando durante muchos años, realizando diversos estudios en muchos países del planeta. Este efecto consiste en que las temperaturas durante el día (más ostensible por la noche) en las áreas urbanas son mucho más grandes que en las distintas áreas rurales, provocando ciertas consecuencias que iremos viendo a lo largo del proyecto. La consecuencia en la cual nos vamos a explicar durante la realización de este proyecto es como afecta la UHI a la demanda y confort térmico de los edificios, pues al aumentar las temperaturas la demanda de refrigeración será mucho mayor. Aun así, un punto positivo de este efecto es la consecuencia respecto a la demanda de calefacción, pues esta última se verá reducida. Dentro de este concepto de la isla de calor existen varios tipos de UHI, los cuales comentaremos a continuación.

### 1.1.1 Isla de Calor Superficial

La isla de calor superficial, como su propio nombre indica, estudia las diferencias de temperatura entre la superficie rural y la superficie urbana, obteniendo las principales causas que afectan a la superficie para que exista dicha diferencia. Dentro de los estudios de los que se ocupa, (como el suelo y edificios que se encuentran en dicho espacio), comparando la temperatura exterior de un sistema urbano con un entorno rural, la faceta de las temperaturas de la superficie se clasifica normalmente de la siguiente manera:  $T_{techo} > T_{paredes} > T_{piso} > T_{rural}$ . Eso es solo una clasificación general, porque también depende del tejido urbano, estructura urbana, la humedad del ambiente, el estado de los suelos y plantas en el sitio rural o la época del año en la que nos encontremos.

En la ciudad, los techos tienen una gran vista del cielo, por lo que la radiación de onda larga neta (fracción de la radiación solar, que no se refleja en la superficie) al final de la tarde y al principio de la noche es muy alta, provocando un fuerte enfriamiento. Además, el aislamiento típico del techo la construcción evita la transmisión de calor desde el interior del edificio. Como resultado, la temperatura del techo se convierte en la temperatura superficial más baja del sistema urbano durante la noche. Por tanto, durante este período de tiempo la faceta de las temperaturas de la superficie cambia, ocupando la siguiente disposición:  $T_{piso} > T_{paredes} > T_{rural} > T_{techo}$ .

### 1.1.2 Isla de Calor de la capa de dosel

El dosel es la capa de ramas y hojas formada por las copas de árboles vecinos, los cuales típicamente se encuentran cubriendo grandes áreas. Desde nuestro punto de vista, el dosel de las zonas rurales evita que incida sobre la superficie rural gran parte de la radiación que llega del Sol. En las zonas urbanas, el dosel engloba todas las superficies que tienen la misma función que las de los árboles, ya puedan ser los toldos que se colocan en verano en el centro urbano, cortinas de los edificios, pancartas...

En este tipo de UHI también se encarga de estudiar la atmósfera de la zona donde se realiza la medición de datos, es decir, la composición del aire, la temperatura de este, que porcentaje de obstáculos tiene...

### 1.1.3 Isla de Calor de la capa límite

Por último, este tipo de UHI estudia el perímetro de la zona donde queremos realizar el estudio. Por intuición, y como su propio nombre indica, en esta región las temperaturas de la zona urbana serán más o menos parecidas a las de la zona rural, puesto que en la periferia de las zonas urbanas normalmente las parcelas están menos edificadas y existen más zonas verdes. Pero indagemos en la cuestión de urbanizar la periferia de la zona urbana, muy cercana al perímetro de la zona rural, como medida para mitigar los efectos de la UHI.

Partiendo de la base de que la civilización con el paso del tiempo aumentará de forma exponencial, esto conllevará a expandir la zona urbana, ya que llegará un punto en el que la densidad de población que se encuentre en ella sea bastante alta, derivando en urbanizar parte de la periferia de la zona urbana que, como se ha comentado anteriormente, puede llegar a ser el perímetro o comienzo de la zona rural. Si suponemos que la tendencia sigue esa pauta, las zonas verdes de la zona rural irán desapareciendo, dando cabida a que las temperaturas de la zona rural aumenten con el paso de los años. En el peor de los casos (y más improbable), la zona rural casi desaparecerá y los efectos de la UHI serán irreversibles, siendo casi imposible de contrarrestarlos.

A todo esto, hay que sumarle que, con el aumento de la zona urbana, los gases nocivos que perjudican al medio ambiente (gases de efecto invernadero) van a provocar que la UHI se note aún más si cabe, llegando a alcanzar temperaturas muy altas durante todo el día.

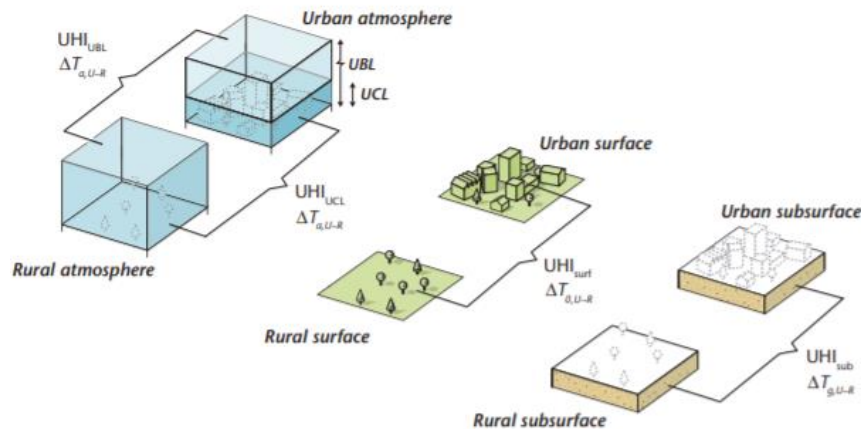


Figura 1-1. Ilustración de las diferencias de temperatura que forman los cuatro tipos de UHI

## 1.2 Causas del efecto de la Isla de Calor

Muchos expertos y artículos científicos coinciden en que existen 3 categorías donde se engloban las principales características que incrementan este efecto. Estas categorías son las ambientales, los factores socioeconómicos y factores de morfología urbana. De estas tres categorías, los factores socioeconómicos y de morfología urbana son de particular interés debido al hecho de que las decisiones de planificación y diseño urbanas tomadas en torno a estos factores tienen un impacto más inmediato en la mitigación de la UHI. A continuación, pasaremos a explicar que características recogen cada una de estas categorías.

### 1.2.1 Características ambientales

Como su propio nombre indica engloba las condiciones del medio ambiente que afectan en la isla de Calor. Los factores que se encuentran en esta categoría son:

- Condiciones climáticas y condiciones meteorológicas.

Estos factores son difíciles de controlar, puesto que depende del lugar donde nos encontremos y estudiemos la zona. En zonas donde el clima es frío, el efecto de UHI se aprecia con más facilidad, debido a que, en la zona afectada, la diferencia de temperatura es mayor que en zonas cálidas durante todo el día, provocando que la demanda de refrigeración de los edificios de estas zonas frías sea parecida a la de las zonas cálidas. En zonas cálidas, este efecto presenta su pico por la noche, incrementando la demanda de refrigeración de los edificios pertenecientes al núcleo urbano. En el clima nocturno despejado y sin viento, se producen ondas de gran amplitud y longitud, tanto en zonas urbanas como en áreas rurales. Durante el día, el calentamiento de la superficie por incidencia de radiación solar es más intenso, aunque el clima de las mañanas favorece el almacenamiento de calor por convección. Por la noche, los cielos despejados aumentan la pérdida neta de la radiación de onda larga. Esto hace que la temperatura de la superficie baje y cree un flujo ascendente de calor que caliente el aire por convección. Es por eso por lo que la sensación térmica por la noche aumenta. Los máximos de temperatura del aire durante el día son bastante similares en los dos ambientes, las temperaturas mínimas en el área rural son mucho menores. El efecto UHI principalmente es un fenómeno nocturno que se manifiesta porque las áreas urbanas no se enfrían tan rápidamente como las rurales durante la tarde noche.

- Características geográficas.

Este factor se puede controlar a través de obras urbanas que eviten el incremento del efecto UHI, pero es algo difícil de cambiar debido a la inversión tan alta que supone este cambio. El calor irradiado por las estructuras que componen la mayoría de los núcleos urbanos juega un papel bastante importante a la hora de estudiar el efecto del UHI en edificios. Además, estos factores geográficos afectarán en la obtención de los datos necesarios para el estudio de la zona, debido a que la zona donde se realice será más o menos compleja. Por ejemplo, el entorno urbano tropical es más complicado que el clima templado. Los enfoques probados en climas templados para la mitigación de UHI han suscitado preocupaciones sobre su aplicabilidad en el caso de entornos urbanos mixtos tropicales, donde los procesos biofísicos son más complejos y diversos.



## 1.2.2 Factores socioeconómicos

Los factores socioeconómicos se refieren a la función urbana, las características económicas intrínsecas de la sociedad, como la densidad de población, el tejido urbano (características de la superficie y materiales de construcción), la liberación de calor antropogénico de los habitantes y electrodomésticos, la absorción de corto y largo plazo. radiación de las olas, uso de la tierra (comercial, residencial, industrial), transpiración de edificios e infraestructura e de transporte.

- Densidad de población.

Es un hecho que a medida que pasan los años, la población aumenta de manera exponencial. En cuanto a nuestro tema de estudio, el impacto de la UHI, el calor que se libera por el tránsito de personas a diario en el centro urbano seguirá aumentando a lo largo de los años si la población sigue aumentando de esta forma. Aunque hay cierta tendencia a bajar esta densidad de población trasladando parte de empresas o sectores industriales a la periferia, haciendo que parte de la población se traslade cerca de esos sectores y hacer que el tránsito de gente se reduzca.

- Liberación de calor antropogénico de los habitantes.

En Osaka (Japón), el efecto de la isla de calor ha conllevado a tratar un plan de acción para 2025 cuyos objetivos sean la reestructuración de la zona urbana y la reducción de las temperaturas por la noche. Uno de los puntos de este objetivo es la reducción de la liberación de calor antropogénico mediante la introducción de equipos de ahorro de energía y la mejora del estilo de vida. Como hemos discutido anteriormente, la población mundial en estos tiempos está creciendo de manera exponencial. En los países desarrollados, donde se realizan normalmente los estudios del efecto de la UHI, esto conllevaría a que el porcentaje de calor que se libere al ambiente antropogénico de los habitantes aumentase, al igual que el calor por el transporte y por supuesto la densidad de población se dispararía.

- Absorción de radiación de onda corta y larga.

La disposición de los edificios dentro del núcleo urbano puede ser clave a la hora de la absorción de rayos procedentes del sol. Si entramos en el clima del núcleo urbano, se puede decir que el hecho de que persista el clima nublado con viento hace que disminuya la temperatura exterior del núcleo urbano y evite que se incremente el efecto de la UHI, mientras que las condiciones despejadas y la ausencia de corriente de viento aumenta la temperatura exterior y con ello favorece a que el efecto de la UHI se perciba más. Esto se debe al hecho de que la capa de nubes influye en la cantidad de energía solar que llega a la superficie de la tierra y por consiguiente a la absorción de radiación de onda larga. Existen algunas técnicas que hacen que esto ocurra en la menor medida de lo posible. Por ejemplo, pintar las fachadas de las casas de color blanco hace que se absorba muy poca radiación solar de la que incide en dicha fachada, debido a que el albedo y la emisividad, factores que controlan la capacidad de absorber radiación tanto de onda corta como de larga, aumentan, evitando su absorción y por consiguiente haciendo que la temperatura exterior aumente lo menos posible.

- Uso del suelo.

Antes de realizar el estudio y medición de datos, debemos de categorizar los distintos usos de suelo dentro del núcleo urbano. Por ejemplo, si el suelo forma parte de un edificio de uso residencial, de uso comercial, industrial o si por el contrario se trata de una parcela sin edificar. Es importante clasificar estos usos, debido a que cada edificio tendrá una ocupación que derivará en una energía calorífica que se trasladará al ambiente. También entrará en juego el papel de la construcción del edificio, ya que dependiendo del uso se utilizarán unos materiales que afectarán en la demanda de calefacción y refrigeración de los edificios. Por último, si la parcela se encuentra sin edificar, el caso más óptimo es que se encuentre llena de vegetación, puesto que ayudará a apaciguar el efecto de la UHI en dicho espacio donde se encuentre.

- Características superficiales y materiales de construcción.

Un aspecto que no se ha mencionado anteriormente es la altura de los edificios. Es un factor para tener en cuenta puesto que su medida va a hacer que incida más o menos radiación solar en la zona urbana, teniendo en cuenta también el hecho de transmitir o no parte del calor que llega al edificio. Si sus materiales no son suficientemente buenos, hará que la demanda del edificio aumente debido a que el calor que absorbe por radiación solar sea muy alto (bajo albedo y emisividad).

- Transpiración de edificios e infraestructura.

Que el edificio tenga una superficie acristalada alta puede influir en el consumo de refrigeración nocturno, puesto que podemos aumentar la ventilación nocturna y así reducir de manera eficaz su consumo de refrigeración. Aunque esto también hará que las ganancias en verano por radiación solar aumenten puesto que el área acristalada es bastante elevada.

- Transporte.

El transporte en zonas urbanas está en cierta parte ligado con el aumento de la población. Normalmente, en las ciudades existe mucho tráfico de coches o autobuses a lo largo del día. Este calor que se libera por el tráfico también hace que el efecto de la UHI se incremente. Además, si aumenta la densidad de población, lógicamente este calor liberado por todos los coches también aumentará. Cabe destacar que, dentro de las causas de la UHI, el efecto del calor liberado por el transporte ocupa un porcentaje considerable, por lo que se recomendaría establecer unas pautas a seguir por la población para evitar en la medida de lo posible el uso de los automóviles convencionales, que son los que liberan más gases nocivos al ambiente. Por ejemplo, el uso del transporte público, ya sean autobuses, tranvías, metros, cuyas emisiones de gases nocivos para el medio ambiente sean los mínimos, llegando incluso a ser 0.

### 1.2.3 Factores de morfología urbana

Estos factores son los que tienen el mayor potencial de ser influenciados por políticas y decisiones de planificación urbana.

- Relación entre la altura del edificio y el ancho de la calle.

Esta relación servirá a la hora de facilitarnos los cálculos para registrar los datos de los edificios de la zona a estudiar. Obviamente, en todas las zonas urbanas existen edificios muy distintos entre sí, pero esta característica hará que los clasifiquemos de manera sencilla en varios grupos para así asemejar los resultados obtenidos en cuanto a consumo o radiación absorbida de los estudios pertinentes.

- Vegetación/espacios verdes.

A medida del paso de los años, con la urbanización de las zonas los espacios verdes han disminuido lógicamente, ya que esos espacios han dado cabida a la implantación de edificios. Este aspecto afecta en la UHI, ya que la vegetación es una forma de aplacar este efecto, debido a que durante el día ayuda a eliminar cierta parte de gases como el CO<sub>2</sub> para transformarlo en O<sub>2</sub> (fotosíntesis).

- Cuerpos de agua.

Los cuerpos de agua como ríos o lagos dentro de la zona urbana también es un aspecto que ayuda a mitigar el efecto de la UHI, al igual que la vegetación. El problema de este aspecto es que en zonas urbanas es muy difícil encontrar cuerpos de agua. En nuestro caso (Sevilla) el río Guadalquivir se encuentra muy próximo al núcleo urbano, por lo que este hace que el efecto del UHI sea menor. Además, la implementación de cuerpos de agua en el centro urbano es difícil, ya que en cierta parte depende de la geografía del lugar donde se encuentre la zona de estudio. [1]

## 1.3 Consecuencias del efecto de la Isla de Calor

Existen diferentes consecuencias que se derivan de este efecto, las cuales casi todas por el momento son perjudiciales. En este apartado, veremos sobre ciertos países importantes en el mundo las consecuencias de este efecto y cómo afrontan hoy en día dichas consecuencias.

### 1.3.1 EE.UU.

En Estados Unidos, primera potencia mundial, son conscientes de este efecto, y prevén que en un futuro a corto plazo la temperatura del centro de Nueva York ascienda entre 4 y 8 °C. Hay que tener en cuenta que Nueva York es una de las ciudades más transitadas del mundo, por lo que las consecuencias de este efecto se incrementan de manera exponencial. A pesar de ello, se están lanzando iniciativas en las grandes ciudades para prevenir esta subida de la temperatura, como por ejemplo usar techos verdes con plantas o pintar las calles más

transitadas de color blanco. [2]



Figura 1-2. Imagen de operarios pintando las calles de blanco en Los Ángeles

### 1.3.2 China

Investigadores de la Academia China de las Ciencias informaron que las temperaturas promedio en las zonas edificadas de Pekín han aumentado 5°C entre 1984 y 2014. Durante este período de 30 años, la magnitud y la intensidad del efecto isla de calor urbano en Pekín se intensificó dramáticamente entre 2004 y 2014, período de especial expansión de la superficie impermeable: edificios, carreteras y aparcamientos.

En China ocurre algo parecido que en Estados Unidos. Sus expertos proponen la implantación de los denominados “parques de bolsillo”, que no son más que zonas verdes implantadas cerca de las áreas comerciales como método refrigerante, cuya función no es más que intentar mitigar en la medida de lo posible los efectos más dañinos de la isla de calor. [3]

Aun así, el equilibrio entre los objetivos medioambientales en conflicto dentro de las ciudades sigue siendo delicado, puesto que está el hecho incorporar suficientes espacios verdes para abordar el efecto isla de calor urbano mientras que, al mismo tiempo, se conserva la forma de la ciudad suficientemente compacta como para facilitar una eficiencia energética (ciudad transitable y transporte público) que ayude a abordar el cambio climático.

### 1.3.3 España

España, a diferencia de estos dos últimos países, comenzó a realizar sus estudios sobre la isla de calor hace unos pocos años, después de que lo hicieran sendas potencias mundiales. Dichos estudios se realizaron en Madrid, obteniendo de manera lógica unos resultados muy parejos a los de los otros países. Hoy en día, España no ha tomado cartas en el asunto sobre este tema, dejando las soluciones a los posibles efectos adversos de la isla de calor en stand-by, con motivo de la pandemia mundial que todos conocemos. Dicho esto, se siguen realizando estudios en otros sitios de España para corroborar los resultados obtenidos en Madrid. Estos estudios llegan a lugares como Sevilla, localización donde se centrará este proyecto. [4]

### 1.3.4 Japón

El plan de promoción de las medidas de la isla de calor de Osaka fue establecido en 2004. Al comienzo del plan, se describieron la situación actual de aquel entonces, las causas y los efectos de las islas de calor urbanas con base en datos estadísticos. En Osaka, la temperatura del aire subió 2 grados en los últimos 20 años, lo que superó el promedio nacional de 1 grado, y la diferencia de 1,1 grados se consideró motivo del efecto de la UHI. Al observar el cambio en las condiciones del uso de la tierra en el área de Osaka, los bosques y las áreas silvestres disminuyeron en un 11% y las tierras de cultivo en un 42%, las áreas residenciales aumentaron en un 34% y las carreteras en un 50%, en los últimos 30 años. Al mismo tiempo, el consumo total de energía en el área de Osaka aumentó en un 25%. En la ciudad de Osaka, el número de transportistas debido al golpe de calor

aumentó en el año en que la cantidad de horas de temperatura del aire más alta fue grande.

El período del plan tiene de duración hasta 2025. Los objetivos del plan son los dos siguientes:

- Reducir la temperatura del aire durante la noche en áreas residenciales y reducir el número de noches tropicales en un 30% para el año 2025. La noche tropical es una noche en la que la temperatura mínima del aire es de 25 °C o más.
- Crear lugares frescos en el espacio exterior, mejorar el ambiente térmico durante el día de verano y reducir la temperatura sensacional del cuerpo humano.

Las direcciones básicas de las medidas son las siguientes tres:

- Reducción de la liberación de calor antropogénico mediante la introducción de equipos de ahorro de energía y la mejora del estilo de vida.
- Control del aumento de la temperatura superficial mediante la mejora de la cobertura superficial de terrenos y edificios.
- Aprovechamiento del efecto de enfriamiento del viento, el verde y el agua.

Según datos estadísticos, el número de noches tropicales disminuyó levemente en los últimos años, pero el número de pacientes con insolación debido a las temperaturas del aire más altas durante el día superó los 4000 enfermos en 2013, y el daño a la salud durante el día se volvió significativo en los últimos años. Por tanto, el plan de momento parecer funcionar, pero habrá que ver como se desenvolverá en los próximos años.

## 1.4 Estrategias para reducir la demanda energética de los edificios

Es una obviedad que el efecto UHI tienes muchas consecuencias, pero este proyecto se centrará en la implicación de la UHI en la demanda y confort térmico de los edificios. Como este efecto hace que la diferencia de temperatura durante la noche entre el núcleo urbano y el rural sea más considerable que durante el día, evaluaremos el confort térmico de los edificios objeto de este proyecto. Gracias a esta evaluación podremos determinar cuál es el clima que beneficie tanto energéticamente al edificio como al confort de las personas que vivan en dichos edificios. A pesar de ello, introduciremos conceptos básicos acerca de la demanda de refrigeración y calefacción del edificio, sin entrar en mucha profundidad en las estrategias de reducción de ambas demandas. [5]

### 1.4.1 Introducción demanda de refrigeración

La fórmula que nos proporciona la demanda de refrigeración de un edificio es la siguiente:

$$\text{Demanda} = \text{Ganancias} - \text{Pérdidas}_{\text{netas}} \quad (\text{Ec.1})$$

Siendo:

$$\frac{\text{Ganancias}}{\text{Área acondicionada}} = \left(\frac{A_{see}}{A_a}\right) \cdot (I_{sur}) + \left(\frac{f_a}{A_a}\right) \cdot t \quad (\text{Ec.2})$$

- $A_{see}$ : área solar equivalente sur
- $f_a$ : ganancias internas del edificio
- $I_{sur}$ : irradiación sur
- $t$ : tiempo que actúan las cargas internas

$$(\text{Pérdidas}_{\text{Netas}})/(\text{Área acondicionada}) = (\rho \cdot c_p \cdot \text{ACH}_{\text{noche}} \cdot H) \cdot \text{GD} \cdot 24 \cdot e \cdot h \quad (\text{Ec.3})$$

- $\rho \cdot c_p$ : densidad del aire ambiente
- $\text{ACH}_{\text{noche}}$ : ventilación nocturna
- $H$ : Altura del edificio
- $\text{GD}$ : grados día. Es la suma de todas las temperaturas nocturnas de un mes. Este parámetro será el que se vea

modificado con el impacto de la UHI

- e: coeficiente de intercambio. Este coeficiente es una estimación del rendimiento de intercambio de calor del edificio si se comportase como un intercambiador

-  $\eta$ : factor de utilización.

- Aa: área acondicionada

Si nos fijamos en las dos ecuaciones, rápidamente podemos atacar los parámetros más importantes de cada ecuación para reducir las ganancias y aumentar las pérdidas.

### 1.4.2 Introducción demanda de calefacción

Como veremos posteriormente, nuestro estudio también analizara datos sobre la demanda de calefacción del edificio, ya que la isla de calor, como hemos comentado anteriormente, también afecta en cierta parte a dicha demanda. Así que vamos a definir de manera sencilla la demanda de calefacción, así como los parámetros que influyen en esta demanda.

$$\text{Demanda} = \text{Pérdidas} - \text{Ganancias}_{netas} \quad (\text{Ec.4})$$

Siendo:

$$\text{Pérdidas} = (\Sigma U \cdot A + \Sigma f \cdot L + \rho \cdot cp \cdot ACH_{eq} \cdot V) \cdot GD \cdot 24 \quad (\text{Ec.5})$$

-  $\Sigma U \cdot A$ : Pérdidas por tratamiento general, que forman parte de las pérdidas por transmisión de espacios acondicionados al exterior.

-  $\Sigma f \cdot L$ : pérdidas debido a los puentes térmicos, que forman parte de las pérdidas por transmisión de espacios acondicionados al exterior.

-  $\rho \cdot cp \cdot ACH_{eq} \cdot V$ : pérdidas debidas a la entrada de aire exterior.

- GD: grados día de invierno.

$$\text{Ganancias}_{netas} = (\Sigma A_{see} I_{sur} + f_a \cdot A_a \cdot t) \cdot h \quad (\text{Ec.6})$$

-  $\Sigma A_{see} \cdot I_{sur}$ : ganancias solares en espacios acondicionados

- h: factor de utilización.

-  $f_a \cdot A_a \cdot t$ : ganancias debido a cargas internas.

Si nos fijamos en las dos ecuaciones, rápidamente podemos atacar los parámetros más importantes de cada ecuación para reducir las ganancias y aumentar las pérdidas.

### 1.4.3 Estrategia de reducción de ganancias

En cuanto a las ganancias, hay dos parámetros que se pueden reducir por estrategias, porque la Irradiancia Sur depende sobre todo del clima y las condiciones meteorológicas donde nos encontremos. Este último puede ser que se vea reducido por las diferentes medidas que optemos en el núcleo urbano en un futuro, pero de momento lo mantendremos aparte.

Los dos parámetros que pueden variar son las ganancias internas y el área solar sur equivalente. Las ganancias internas son difíciles de reducir, puesto que vienen impuestas por las horas de ocupación del edificio. Es complicado, por ejemplo, reducir este horario en lugares comerciales debido a que es algo que ya está establecido anteriormente.

En cuanto al Asse, su expresión matemática es la siguiente:

$$A_{sse} = A_{huecos} \cdot g \cdot F_s \quad (\text{Ec.7})$$

- g: factor solar

-  $F_s$ : factor de sombra

- Ahuecos: Área acristalada

Existen muchas estrategias para tratar de reducir dicho valor. Por ejemplo, la utilización de toldos o cortinas, que son herramientas muy interesantes, debido a que pueden llegar a reducir el factor solar a la mitad. Otra posibilidad sería reducir el área acristalada, pero este efecto podría derivar en consecuencias negativas tanto en invierno (bajarían las ganancias) como incluso en verano, ya que, si reducimos el área acristalada, se complicaría la posibilidad de aumentar la ventilación nocturna. En cuanto al factor de sombra, depende mucho de los edificios o estructuras que rodeen al edificio en cuestión. Es lógico que si el edificio que estudiamos es bajo y está rodeado por otras estructuras será beneficiado en verano y perjudicado en invierno, puesto que será complicado que gane energía procedente del sol. La situación óptima se encuentra en el punto medio entre estas cosas, ya veremos que existen más estrategias de este tipo.

#### 1.4.4 Estrategia de aumento de pérdidas

Debemos de tener claro que las pérdidas de calor del edificio compensarán las ganancias que este haya recibido durante el día. También cabe destacar que en la ecuación de pérdidas no aparece las posibles pérdidas por transmisión, pues en régimen de refrigeración estas no se tienen en cuenta. Incluso si se decidiera modificar ese parámetro, habría que considerar que el cambio lógico de aislar la cubierta por completo podría derivar en un problema a la hora de ganar energía en calefacción. Dicho esto, pasemos a analizar los distintos parámetros.

- ACH nocturna.

Este parámetro es bastante importante, ya que, si aumentamos en gran cantidad la ventilación nocturna, las pérdidas aumentarán y compensarán gran parte de las ganancias obtenidas. Visto así es una gran idea, pero depende de muchos factores externos, como por ejemplo el recorrido del aire dentro del edificio, las renovaciones hora que podamos conseguir, la inercia del edificio de la cual hablaremos más adelante, pero sobre todo del clima exterior. Considerando el efecto de la UHI, la temperatura exterior será más elevada por la noche, haciendo que la ventilación más que ayudar a refrigerar el edificio consiga que se caliente aún más. De momento, pensemos que la temperatura del aire será la máxima que haga que se pueda ventilar sin ningún tipo de problema.

- GD.

Los grados día también influyen en la ecuación, pero hay que tener cuidado. Aunque matemáticamente si aumentan los grados días sería lo mejor ya que las pérdidas serían mayores, la realidad es que un aumento de este factor significa que las temperaturas por la noche son mayores, pero no tienen apenas efecto en la realidad. Este factor no tiene apenas incidencia en las pérdidas, puesto que todo lo que ganamos durante el día se pierde por la noche. Aun así, actualmente en la mayoría de las localizaciones mediterráneas, las bajas temperaturas durante la noche en el verano podrían eliminar potencialmente un porcentaje significativo de la carga de refrigeración sobre los edificios.

- Factor de utilización.

El factor de utilización de la ventilación nocturna normalmente es muy bajo debido al largo periodo de tiempo entre la ganancia y pérdida de calor, por lo que resulta complicado enfriar rápidamente el edificio una vez este absorbe todo el calor que le llega durante el día. Además, es bajo porque solo una pequeña parte de las pérdidas reales se utiliza para compensar ganancias, aunque el valor de estas sea más elevado.

- Eficiencia de intercambio.

Esta eficiencia por lo general es baja debido a que el propio edificio en sí no está hecho para intercambiar energía. En adición, las pérdidas reales son mucho menores que las estimadas. El hecho de que el edificio no sea un intercambiador es el motivo por el cual el área de transferencia sea baja y que los coeficientes de transferencia convectiva con el aire sean bajos. Por último, hay que destacar que la masa del edificio está concentrada en partes donde la corriente de aire no llega a circular y, por tanto, no enfría la masa, haciendo que sea más difícil la refrigeración de este.

En conclusión, la inercia en una estrategia de ventilación nocturna depende más del patrón de flujo que siga el aire en el interior del edificio que del caudal de aire de ventilación conseguido. La inercia por tanto debe concentrarse en los elementos que son tocados por la corriente de aire, principalmente las particiones

interiores.

Por ejemplo, para nuestro caso, la refrigeración, se están comercializando nuevos acristalamientos dinámicos que pueden regular el calor recibido por radiación solar a través del acristalamiento. Esto se consigue a través de la electricidad, ya que se trata de un acristalamiento que cambia su opacidad en función de la cantidad de voltaje a la que se encuentre sometido. Con esta técnica, puede controlar de manera sencilla la cantidad de luz y de calor que atraviesa el acristalamiento.

El principal problema de estos objetos es su elevado precio debido al elevado coste de realización y por supuesto por ser técnicas pioneras en todo el mundo. Es por eso por lo que es difícil que todo el mundo pueda acceder a comprar dichos objetos.

## 1.5 Introducción de medidas para reducir el efecto de la isla de calor en las demandas energéticas de los edificios

Siguiendo el objeto principal de este trabajo, nos centraremos en los problemas que derivan directamente en los edificios y que, por consiguiente, afectan a las personas que habitan en ellos. Es por eso por lo que antes de realizar el estudio en profundidad estimaremos unas posibles soluciones para reducir los efectos de la isla de calor en los edificios:

- Mejorar la calidad de los elementos constructivos de los edificios, así como diseñarlos de la forma más eficiente posible, capaces de disipar la mayor energía térmica posible, garantizando el confort de los habitantes de dichos edificios.
- En cuanto al tráfico de automóviles, es difícil conseguir que se reduzca en pleno centro urbano. No obstante, se puede planear con el paso de los años una estrategia de futuro donde la gran parte de los automóviles sean híbridos o en su caso totalmente eléctricos. El gran inconveniente de esta medida es que estos últimos modelos son más caros que los automóviles convencionales, motivo por el cual la gran parte de la sociedad prefiere por el momento el modelo más barato. Aun así, podemos fomentar el uso de otros transportes que no emiten apenas gases dañinos para el medioambiente como bicicletas, autobús urbano, patinete eléctrico...
- Otra solución que se podría dar, aunque bajo mi punto de vista tendría poco apoyo socialmente, sería trasladar a la periferia parte de los edificios comerciales que se encuentren en el centro de la ciudad, a fin de reducir las grandes concentraciones de personas periódicamente.
- La implantación en el centro de la ciudad de árboles podría frenar el efecto de la isla de calor, puesto que reducirían los gases de CO<sub>2</sub> durante el día del tránsito de personas y automóviles en la ciudad
- En general, se puede decir que el viento y las nubes disminuyen el efecto de la isla de calor, mientras que las condiciones despejadas y los vientos tranquilos lo aumentan. Esto se debe al hecho de que la capa de nubes influye en la cantidad de energía solar que llega a la superficie de la tierra, capturando la radiación de onda larga, y los tipos de nubes (que están relacionados con su altura) también son importantes. El problema de esta solución es que, en Sevilla, nuestro lugar de estudio, el clima principalmente es cálido y despejado, siendo este el clima típico mediterráneo. Por tanto, esta afirmación de poco nos servirá en nuestro estudio a la hora de implantar una solución acorde a dicha afirmación. De hecho, nuestro clima favorece al incremento del efecto de la isla de calor en el centro de la ciudad.

Y como éstas, existen muchísimas soluciones que podemos desarrollar y llevar a cabo tanto en nuestra avenida objeto como en cualquier centro urbano para mitigar el efecto de la UHI. Pero esta parte es simplemente introductoria, por lo que no estudiaremos esas posibles soluciones en este proyecto.





## 2 METODOLOGÍA

*La vida no vale nada si no la vives como tú quieres.*

*- Juan Carlos Aragón Becerra -*

Una vez realizada la introducción sobre el concepto de la isla de calor y sobre los conceptos de demanda, pasaremos a realizar el estudio del impacto sobre la UHI en la demanda y confort térmico. Para ello, primero pasaremos a estudiar la demanda, recogiendo todos los datos que sean relevantes e importantes para el estudio de todos los edificios de la Avenida de la Cruz Roja, lugar donde se centrará dicho estudio. Una vez que los tengamos, seleccionaremos edificios representativos para su simulación en HULC y su posterior pasada por una herramienta, propiedad del grupo Termotecnia de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Sevilla, que determinará la demanda mensual a través del método detallado. Este proceso se realizará para 3 climas diferentes en la región de Sevilla. Estos climas han sido realizados previamente en diferentes zonas donde se observan cambios de temperatura exterior durante el año. Una vez que tengamos esos resultados, observaremos qué parámetros afectan en la demanda de refrigeración y calefacción para sacar unas conclusiones acerca de ese primer estudio. Por último, aprovechando los resultados de la simulación en HULC, evaluaremos a través de otra herramienta el confort térmico del edificio en esos 3 climas, para observar de manera conjunta con el estudio de demanda el comportamiento del edificio.

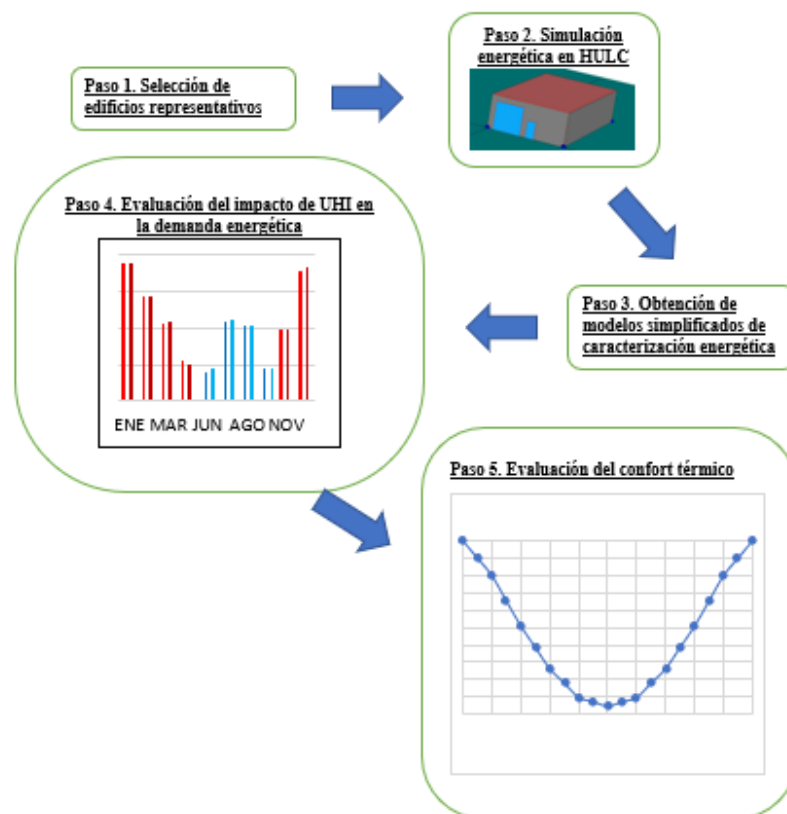


Figura 2-1. Esquema de la metodología

## 2.1 Obtención de los datos de edificios de la Cruz Roja

Para la obtención de los datos de los edificios, se establecen 2 pasos principales para su recogida.

- Paso 1

Primero, se implementa un KMZ en la avenida de la Cruz Roja que recoge la distancia de la calle a estudiar y los edificios que engloban dicho estudio. Una vez realizado ese archivo KMZ, seleccionamos todos los edificios de la calle, teniendo en cuenta el hecho de que hay dos aceras, la de los edificios con número par y la de los edificios con número impar, motivo por el cual existen dos orientaciones.

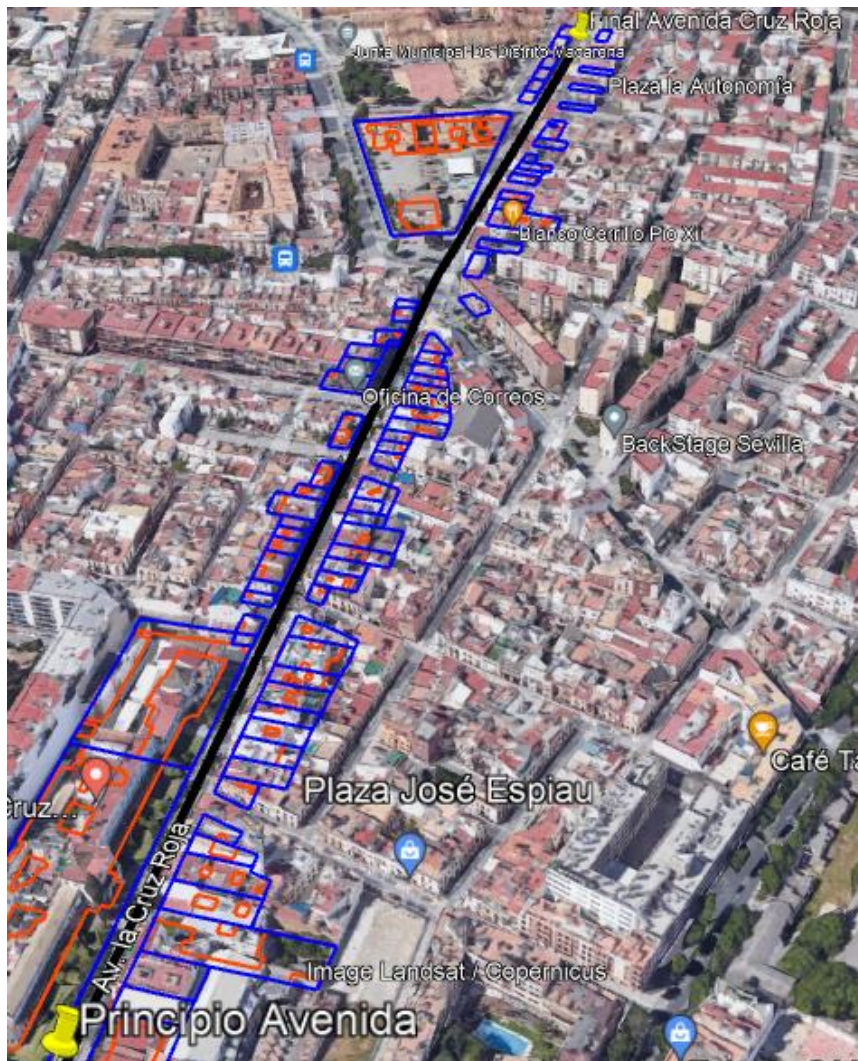


Figura 2-2. Ilustración KMZ correspondiente al alcance del estudio de este proyecto

- Paso 2

Realizado el primer paso, ampliamos la información de dicho KMZ en una hoja Excel que toma los datos de cada edificio de la calle extraídos a través de la plataforma web Catastro. En esa hoja Excel, se recoge de cada edificio la siguiente información:

- Referencia catastral.

Código que identifica el edificio a estudiar en cuestión.

- Dirección del edificio.

- Uso del edificio.

Cada edificio tiene un uso concreto. Cabe destacar que puede que un edificio tenga más de un uso. Un ejemplo de esto son los edificios cuya planta baja pertenece a un comercio mientras que el resto de las plantas tienen un

uso residencial.

- Superficie construida.

Se trata de la superficie total de la parcela donde se encuentra el edificio.

- Superficie construida por planta.

Es la superficie construida dividida entre el número de plantas del edificio.

- Superficie horizontal.

Se trata del área acondicionada de una planta de nuestro edificio.

- Número de plantas del edificio.

- Superficie horizontal total.

Se trata de la superficie acondicionada total del edificio en cuestión. Si el edificio posee solamente una planta, la superficie horizontal y la superficie horizontal total coinciden.

- Porcentaje acristalado del edificio.

Esta información se extrae a partir de Google Maps, revisando uno a uno todos los edificios e imponiendo un porcentaje de acristalamiento lo más razonable y próximo posible a la realidad.

- Año de construcción/Año de reforma.

Esta información se utiliza para escoger los materiales de construcción de la herramienta HE3. A la hora de simular el edificio en la HULC, escogeremos los materiales constructivos del edificio en función de ese año de construcción o reforma si la hubiera.

- Participación del inmueble.

Información extraída de la página web Catastro para estimar la carga interna del edificio. Se refiere al porcentaje de horas al día que el edificio se encuentra ocupado. En el caso de los edificios residenciales, se estima una carga interna del 100%, similar a que alguien se encuentre en casa durante todo el día. Para los demás usos, el porcentaje se estima en función de las horas al día que este se encuentre en funcionamiento.

- Comercio y horas del comercio.

Cada comercio que se encuentre en la calle del estudio tiene una función específica y por tanto unas horas de jornada laboral. A partir de Google Maps, se identifica cada comercio de la calle y sus horas de jornada laboral para su posterior clasificación por horas de actividad. Los comercios que actualmente se encuentran cerrados, es decir, que están en desuso, se contabilizan como un edificio de 8h de actividad.

- Longitud.

Es la distancia de edificio que pertenece a la avenida de estudio, es decir, la longitud de la fachada que da a la avenida Cruz Roja.

- Orientación.

Orientación exacta (desviación respecto al sur) de las dos aceras de la avenida (número par e impar).

- Profundidad.

Es el área construida por planta/longitud de la fachada.

## 2.2 Modelado de los edificios en la herramienta unificada HULC

El siguiente paso del estudio es modelar y simular los edificios de la manera más cercana a la realidad posible en la herramienta HULC. Primero, asumiremos que todos los edificios tendrán la misma forma, asemejándose a una caja de zapatos, tal y como se muestra en la siguiente figura. También es conveniente mencionar los datos sobre las fuentes de donde se han obtenido dichas ilustraciones si no se han incluido en el propio texto de la memoria.

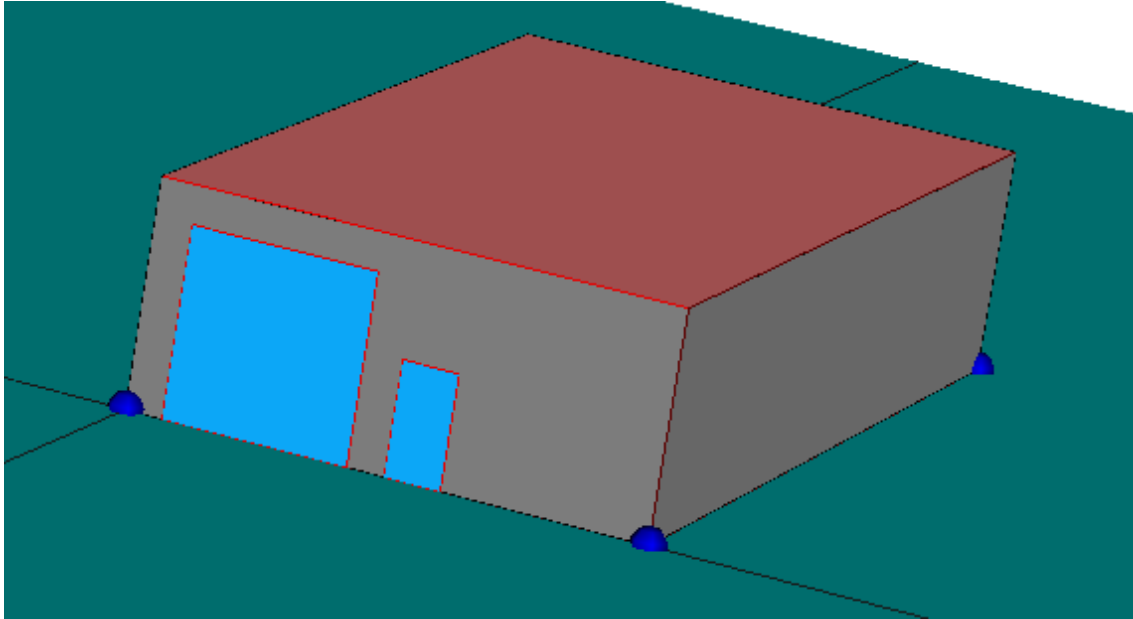


Figura 2-3. Estructura del edificio a simular en la herramienta HULC.

Una vez clara la representación del edificio, procedemos a agrupar todos los edificios de la avenida según su uso. Una vez agrupados, escogeremos un ejemplo de cada grupo para su posterior simulación en la herramienta HULC y evaluación de confort térmico. Aunque la estructura fuese la misma, dependiendo del grupo en el que estemos y el ejemplo en el que nos encontremos, las propiedades de este en la herramienta unificada son diferentes, ya que varían sus parámetros (nº plantas, área acondicionada, materiales constructivos...).

### 2.2.1 Grupo 1. Edificios comerciales

Todos los edificios comerciales de la avenida coinciden en que son un bajo con una planta, por tanto, los englobaremos todos en un grupo. La estructura del edificio será una planta, cuyo techo en la mayoría de las simulaciones será compuesto de materiales parecidos a las particiones interiores de un edificio, pues estos establecimientos no tienen cubierta al pertenecer a un edificio cuyas plantas superiores son plantas de uso residencial. Los parámetros que irán variando son los siguientes:

- Área acondicionada
- Orientación
- Materiales constructivos
- Longitud y profundidad
- Fuentes internas
- Porcentaje acristalamiento

### 2.2.2 Grupo 2. Edificios no residenciales

Los edificios que no son de tipo residencial ni comercial también deben ser modelados en la herramienta HULC. Son pocos los edificios de esta característica que se encuentran en la avenida, repartidos en diferentes usos como son el de enseñanza, sanidad, cultural e industrial. Los parámetros que variarán de un edificio a otro serán los siguientes:

- Área acondicionada
- Orientación
- Materiales constructivos
- Longitud y profundidad

- Fuentes internas
- Porcentaje acristalamiento
- N° plantas

### 2.2.3 Grupo 3. Edificios residenciales 1

La mayoría de los edificios que componen la avenida de la Cruz Roja son de tipo residencial, no obstante, no todos son iguales, pues como hemos observado anteriormente, hay algunos edificios cuya planta baja o primera planta según se mire, tiene un tipo de uso diferente al resto. Primero, dividiremos en 2 grupos los edificios de uso residencial. En el primer grupo, nos centraremos en esos edificios de la avenida que tienen 2 tipos de uso: el comercial y el residencial. Para modelar estos edificios en HULC, deberemos tener en cuenta la altura en la que se encuentran los edificios y por supuesto los materiales constructivos del área acondicionada, que serán los mismos que los de una partición interior, ya que el suelo de esas plantas residenciales coincide con el techo de las plantas comerciales.

Sus características constructivas serán similares a las de las plantas de dicho edificio. Los parámetros que variarán de un edificio a otro serán los siguientes:

- Área acondicionada
- Orientación
- Materiales constructivos
- Longitud y profundidad
- Porcentaje acristalamiento
- N° plantas

### 2.2.4 Grupo 4. Edificios residenciales 2

El segundo grupo de edificios residenciales son aquellos que en la realidad se componen solo de este uso, el residencial. Para estos edificios, el área acondicionada tendrá los mismos elementos constructivos del suelo, y no como si fuera una partición interior en el grupo 1. Los parámetros que variarán de un edificio a otro serán los siguientes:

- Área acondicionada
- Orientación
- Materiales constructivos
- Longitud y profundidad
- Porcentaje acristalamiento
- N° plantas

Existen en algunos edificios plantas cuyo uso en Catastro es la de un almacén. Sobre este aspecto, consideraremos que estas plantas entran dentro del edificio que modelaremos de uso residencial.

Una vez realizados los 4 grupos de los que se componen la avenida (clustering), el siguiente paso será modelar el edificio tipo de cada grupo, a partir del cual se realizará la simulación y su posterior pasada por la herramienta que calcula la demanda mensual por el método detallado. Esto se hará modificando pequeños parámetros del edificio tipo para así analizar de manera más cercana a la realidad todas las situaciones que se den en cada clustering. Este edificio tipo será escogido razonadamente, pues tendrá las características que más se acerquen al centroide de dicho grupo. Por ejemplo, si el abanico de la característica del porcentaje acristalado es del 20 al 50%, nuestro edificio tipo tendrá un acristalamiento del 30 o 35%, para poder simular a partir de este un edificio con un acristalamiento más alto o bajo y que sus datos se asemejen más a la realidad sin necesidad de modelarlo de nuevo. Lo mismo ocurrirá con el número de plantas y las características constructivas. Una vez realizado el clustrering, se han elegido para cada grupo los siguientes edificios tipo:

- Grupo 1: Avenida Cruz Roja N° 5
- Grupo 2: Avenida Cruz Roja N° 1 A
- Grupo 3: Avenida Cruz Roja N°5
- Grupo 4: Calle San Marcelo N°2

## 2.3 Obtención del modelo simplificado mensual de caracterización energética

Una vez que tenemos los edificios modelados y simulados en la Herramienta de HULC, procedemos a pasar la herramienta comentada anteriormente en cada uno de ellos, en la que se comparan los resultados de la demanda de calefacción y refrigeración en el modelo simplificado (simulación de HULC) con los resultados obtenidos a través del modelo detallado, el cual se introdujo anteriormente. Dicha herramienta calcula los coeficientes correctores tanto de calefacción como refrigeración, los cuales serán constantes para todos los climas con los que se trabaje. Cabe destacar que ambos coeficientes no hacen que estos métodos sean iguales al 100%, pero si nos garantiza que ambos métodos sean muy parejos en el mismo clima que usa la herramienta para simular, motivo por el cual podemos optar a confiar en ella.

## 2.4 Evaluación del impacto de UHI en la demanda energética

Después de conseguir todos los datos requeridos a partir de la simulación del edificio en la herramienta unificada HULC y posteriormente los resultados finales, pasaremos a comentarlos para ver el impactor de la isla de calor en la demanda de nuestros edificios seleccionados. Comentaremos el resultado de las demandas mensuales y anual y observaremos qué parámetros influyen en mayor medida en la demanda tanto de calefacción como de refrigeración.

## 2.5 Evaluación del confort térmico

Por último, aprovecharemos más resultados obtenidos a partir de la simulación de nuestros edificios en HULC para evaluar el confort térmico dentro del edificio, a partir de las temperaturas interiores de este durante los meses de verano e invierno. Para ello, estableceremos en este punto una pequeña introducción sobre el objetivo que deseamos al evaluar el confort térmico.

### 2.5.1 Introducción a la evaluación del confort térmico

El interés por la valoración del nivel de confort térmico nació como una consecuencia de la aparición de las técnicas de acondicionamiento de aire, cuyo fin era justamente lograr que las personas se sintieran confortables y precisaban, por tanto, de métodos que permitieran evaluar en qué medida se alcanzaban sus objetivos.

En la actualidad existen dos modelos de confort aceptados internacionalmente, el modelo propuesto por Fanger en el año 1970 y el modelo de confort adaptativo propuesto por varios autores (De Gear, Humphreys, McCartney etc) y atribuido frecuentemente a Nicols a partir de un conjunto de publicaciones que tienen su origen en el 2002. A continuación, describiremos los fundamentos de ambas aproximaciones.

#### 2.5.1.1 Método de Fanger

La aparición en 1970 de la obra "Thermal Comfort" de P.O. Fanger representó un avance sustancial, al incluir en el método de valoración propuesto la práctica totalidad de las variables que influyen en los intercambios térmicos hombre-medioambiente y que, por tanto, contribuyen a la sensación de confort, estas variables son: nivel de actividad, características de la vestimenta, temperatura seca, humedad relativa, temperatura radiante media y velocidad del aire.

La primera condición que debe cumplirse para que una situación pueda ser confortable es que se satisfaga la ecuación del balance térmico; en otras palabras, es necesario que los mecanismos fisiológicos de la

termorregulación sean capaces de llevar al organismo a un estado de equilibrio térmico entre la ganancia de calor (de origen ambiental y metabólico) y la eliminación de este. El equilibrio térmico en sí mismo está sin embargo lejos de proporcionar sensación de confort; en efecto, el organismo es capaz de conseguir satisfacer el balance térmico en una amplísima gama de combinaciones de situaciones ambientales y tasas de actividad, pero sólo una estrecha franja de estas conduce a situaciones que el propio sujeto califique de confortables.

La introducción de las relaciones anteriores en la ecuación del balance térmico conduce a una expresión que Fanger llama la "ecuación del confort" que establece la relación que, en situaciones de confort, debe cumplirse entre tres tipos de variables:

- Características de la vestimenta.

Aislamiento y área total de la misma.

- Características del tipo de trabajo.

Carga térmica metabólica y velocidad del aire.

- Características del ambiente.

Temperatura seca, temperatura radiante media, presión parcial del vapor de agua en el aire y velocidad del aire.

La inclusión de la velocidad del aire se debe a considerar la velocidad efectiva del aire respecto al cuerpo tiene dos componentes: una, la velocidad que tendría el aire respecto al cuerpo si éste estuviera quieto y otra, la velocidad debida al movimiento del cuerpo respecto a aire tranquilo; la suma de ambos valores es lo que llamaremos velocidad relativa del aire respecto al cuerpo.

Para estudiar la calificación que grupos de personas expuestas a una determinada situación atribuyen a su grado de confort, Fanger emplea la siguiente escala numérica de sensaciones:

- 3 muy frío

- 2 frío

- 1 ligeramente frío

- 0 neutro (confortable)

- 1 ligeramente caluroso

- 2 caluroso

- 3 muy caluroso

Cuando un conjunto de individuos es expuesto a una determinada situación denominaremos "Índice de valoración medio" (IMV) al promedio de las respectivas calificaciones atribuidas a dicha situación de acuerdo con la escala anterior. Aunque el índice IMV resuelve el problema de cuantificar el grado de confort de una situación dada, su utilidad práctica sería reducida si no fuera posible correlacionar sus valores con el porcentaje de personas que para cada valor del índice expresan su conformidad o disconformidad con el ambiente en cuestión.

En la siguiente figura se indican los resultados de Fanger, que se expresan como el porcentaje de personas que se sienten insatisfechas para cada valor del índice IMV; se observa cómo en ambientes neutros, donde el IMV es cero, existe aún un 5% de insatisfechos lo que confirma el hecho bien conocido de que, en cualquier situación, por sofisticado que sea el sistema de acondicionamiento térmico del local, existe cierta proporción de insatisfechos.

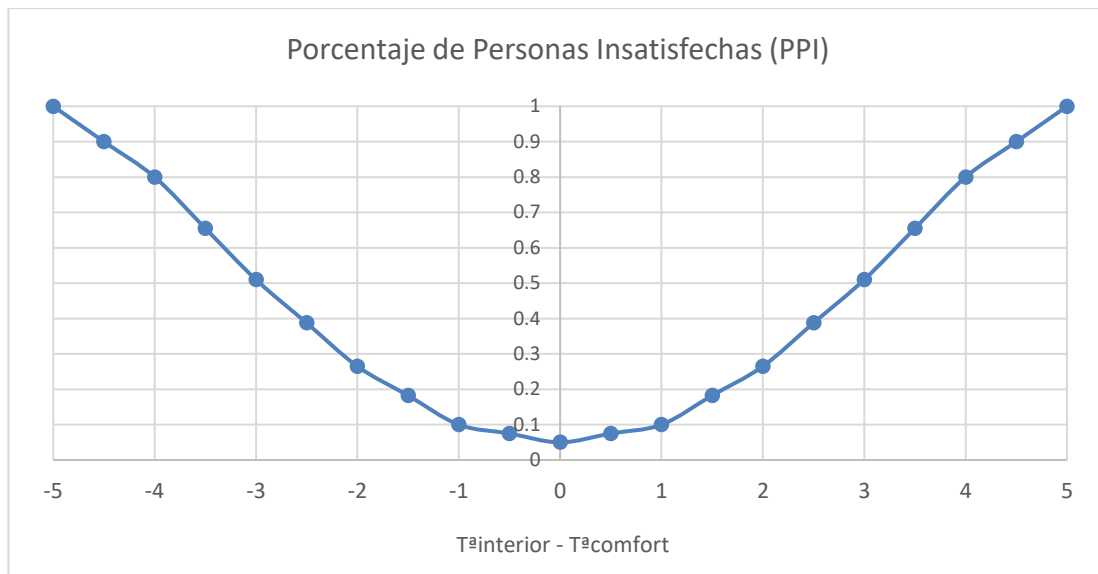


Figura 2-4. Proporción prevista de personas insatisfechas en función del valor de la diferencia de temperatura

### 2.5.1.2 Métodos de confort adaptativo

Los modelos de confort adaptativo son modelos estadísticos que parten, al igual que el método de Fanger, de encuestas de los ocupantes que permiten conocer en primer lugar la dependencia del PMV con la temperatura operativa interior, y en segundo lugar la dependencia de la temperatura de confort con la temperatura exterior.

Frente al modelo estático de confort térmico, en el modelo adaptativo las personas juegan un papel instrumental creando sus propias preferencias térmicas a través del modo en el que ellos interactúan con el ambiente, modifican su propio comportamiento o gradualmente adaptan sus expectativas en función del ambiente térmico en el que se encuentren. Una definición genérica del término adaptación podría ser una disminución gradual de la respuesta del organismo a una estimulación repetida del ambiente. A partir de esta definición general es posible distinguir claramente tres categorías de adaptación térmica:

- Ajuste de comportamiento.

Se trata de ajustes de actividad, poner y quitar ropa, regular aire acondicionado, dormir una siesta en día de calor, etc.

- Fisiológicos.

Una definición podría ser los cambios en la respuesta psicológica como resultado de la exposición a factores térmicos del medioambiente. Esto puede conducir a una disminución gradual de la tensión producida por esta exposición. Sin embargo, estos procesos se dan con exposiciones prolongadas a condiciones extremas. Por lo tanto, su influencia en la edificación no es muy significativa.

- Psicológicos.

Se refiere a la percepción alterada y la posterior reacción a la información sensorial debido a experiencias pasadas y a las expectativas. Las consignas de confort personal están muy lejos de ser un termostato.

En los edificios climatizados el modelo PMV es realmente exitoso prediciendo las temperaturas de confort, demostrando que los ajustes de comportamiento de vestimenta y velocidad del aire, los cuales ya están incluidos como inputs en el modelo de Fanger, explican completamente la relación entre la temperatura interior de confort y los cambios de temperatura externos. Sin embargo, la diferencia entre las dos líneas en los edificios ventilados naturalmente muestra que tales ajustes de comportamiento solo cubren aproximadamente la mitad de la variación de la temperatura de confort. Los autores afirman que esta temperatura de confort está estrechamente relacionada por los cambios en las expectativas térmicas debidos a una combinación de altos niveles de control percibido y a una gran diversidad de experiencias térmicas en el edificio. La expresión lineal adoptada fue la siguiente.

$$T_{confort} = 0.31 * T_{ext} + 17.8 \quad (\text{Ec.8})$$



La contribución de Nicol y Humphreys fue modificar la variable independiente, dicha variable se sustituyó pasando a ser la  $T_{rm}$  en lugar de la temperatura exterior. El término de la ecuación  $T_{rm}$  es una suma ponderada de la temperatura media diaria exterior de varios días. La ecuación para obtenerla es la siguiente.

$$T_{rm} = (1 - \alpha)T_{od-1} + \alpha T_{rm-1} \quad (\text{Ec.9})$$

Donde  $\alpha$  es una constante menor de 1 que se suele hacer igual a 0.8.  $T_{od-1}$  es la temperatura media diaria del día anterior al cálculo.

En el proyecto europeo SCAT se desarrolló una correlación que determina la temperatura de confort a partir de la  $T_{rm}$  para diversos países a partir de una base de datos de medidas. La expresión adoptada fue la siguiente.

$$T_{confort} = 0.33 * T_{rm} + 18.8 \quad (\text{Ec.10})$$

Estos estudios sirvieron de base para la implantación del modelo adaptativo en el estándar *ASHRAE 55* y en el *EN UNE 15251*. Este tipo de modelos también sirve para evaluar el PMV y el PPI, la siguiente gráfica muestra la variación del porcentaje de personas insatisfechas en función de la diferencia de temperaturas operativa y de confort. Como puede verse el método de Fanger es más rígido y el PPI decrece rápidamente cuando se modifica dicha diferencia de temperaturas, por el contrario, los modelos de confort adaptativo confieren a los ocupantes el poder de modificar su nivel de vestimenta y por tanto son más flexibles lo cual se puede ver en una evolución del PPI mucho más suave que en el caso anterior.

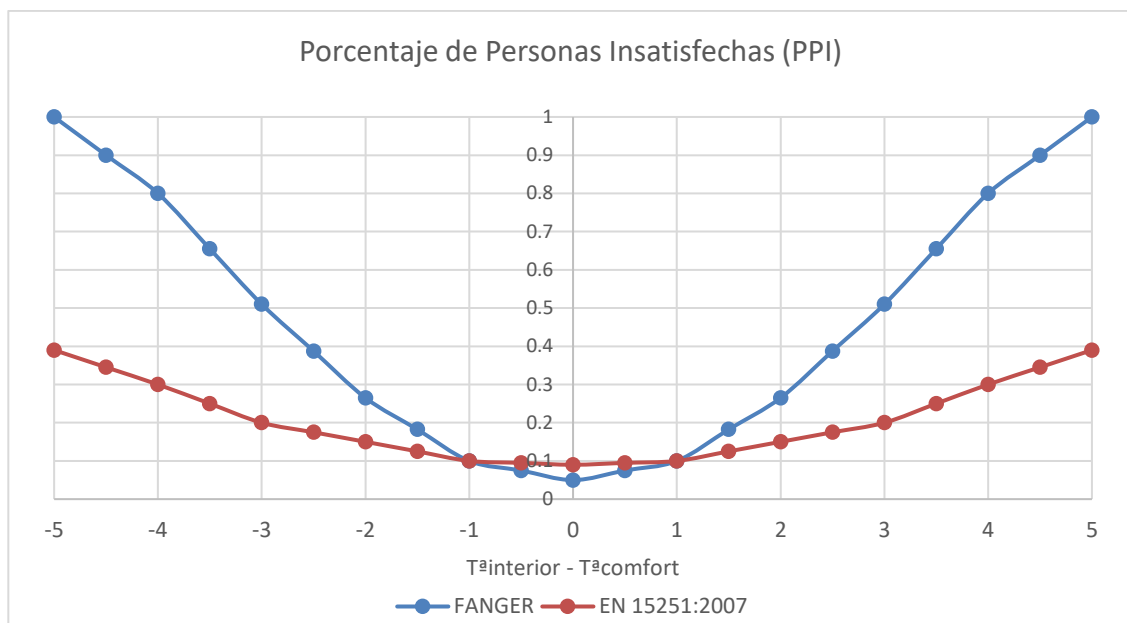


Figura 2-5. Comparativa de la evolución del Porcentaje de Personas Insatisfechas (PPI) en los métodos de Fanger y en aquellos basados en el confort adaptativo (*EN 15251:2008*) en función de la diferencia de temperatura.



# 3 ANÁLISIS Y RESULTADOS DEMANDAS DEL EDIFICIO

---

*Trabajar con amor es construir una casa con cariño,  
como si vuestro ser amado fuera a habitar en esa casa.*

*- Khalil Gibran -*

Una vez que tenemos los resultados de la simulación de todos los edificios, procederemos a comentar los resultados obtenidos, viendo en todo momento que parámetros son los que más repercuten en la demanda de calefacción y refrigeración. Al ser tantos resultados, pasaremos a escoger 2 edificios, uno residencial y otro terciario.

## 3.1 Climas de Sevilla

Antes de comparar los resultados de ambos edificios, habría que ver a través de una gráfica con qué 3 climas nos encontramos. Para empezar, tomaremos los siguientes climas:

- Clima de Sevilla.

Es el clima que contiene las temperaturas de Sevilla, tomadas en el aeropuerto de Sevilla a través de una aplicación que calcula el archivo.met utilizado en la herramienta HULC para el lugar de Sevilla.

- Clima de La Rinconada.

Es el clima que agrupa las temperaturas de la zona de la Rinconada, un pueblo que se encuentra a las afueras de Sevilla Capital.

- Clima del Centro.

Es el clima anual que muestra las temperaturas del centro de Sevilla.

A continuación, pasamos a mostrar y comentar las gráficas de las temperaturas diarias de un día de enero y un día de julio, meses donde la demanda de climatización y refrigeración alcanzan su valor máximo.

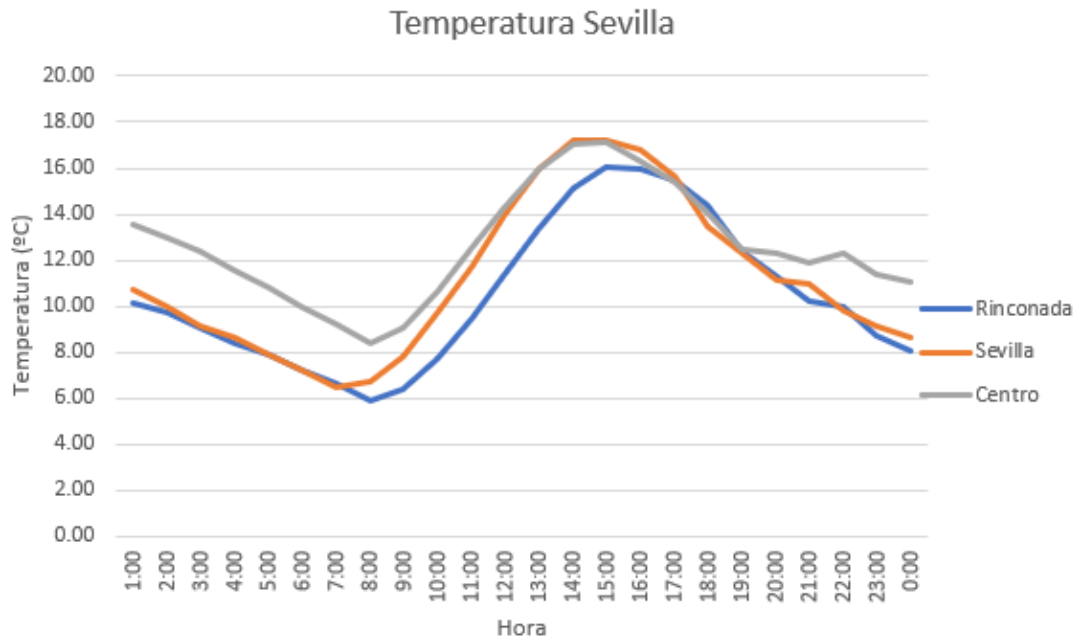


Figura 3-1. Comparación de los 3 climas utilizados en el estudio el día 21 de enero

En el día seleccionado de enero, vemos como la temperatura en las horas nocturnas en el clima del centro son bastante notables, debido a que alcanzan casi los 14 °C mientras que para los otros climas la temperatura no sobrepasa de los 11 °C, son 3 grados de diferencia que a la hora de calcular la demanda de calefacción influirá de manera negativa, debido a que este fenómeno incrementará dicha demanda. En cuanto a las horas diurnas, vemos que las temperaturas del clima del archivo.met y el centro son muy parejas, mientras que la de las afueras de Sevilla (Rinconada) son más bajas, existiendo por tramos 2 grados de diferencia entre los 3 climas. Esto también afectará en la demanda de la Rinconada de manera negativa, puesto que nos será más complicado de alcanzar la temperatura de confort dentro del edificio.

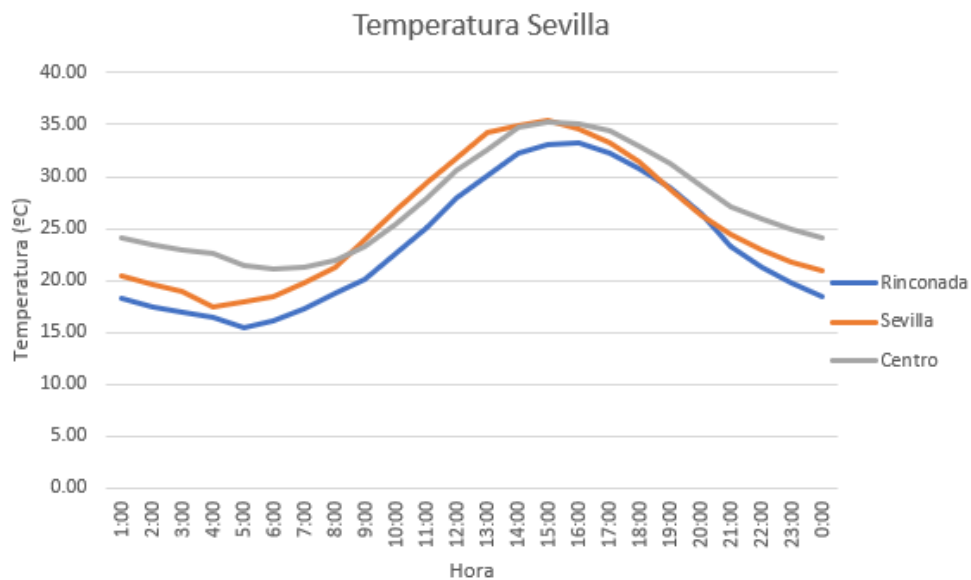


Figura 3-2. Comparación de los 3 climas utilizados en el estudio el día 6 de julio

En el día seleccionado de julio, vemos como la temperatura en las horas nocturnas en el clima del centro sigue siendo mayor en comparación con los otros dos climas, alcanzando una temperatura de 25°C, afectando de manera negativa a la demanda de refrigeración. La diferencia de temperaturas nocturnas llega a 4°C aproximadamente. En cuanto a las horas diurnas, vemos que las temperaturas del clima del archivo.met y el centro vuelven a ser muy parecidas, repitiéndose la misma secuencia que en enero. Esto afectará en la demanda de la Rinconada de manera positiva, puesto que nos será más sencillo alcanzar la temperatura de

confort dentro del edificio.

### 3.2 Grupo 1. Edificio comercial. Avenida Cruz Roja N.º 5.

A continuación, pasaremos a comentar y analizar los resultados obtenidos de la simulación del edificio comercial perteneciente al bloque de pisos del número 5 de la Avenida Cruz Roja. Al tratarse de un edificio terciario, la demanda de calefacción y refrigeración estará presente durante gran parte de los meses del año, por ejemplo, en junio como veremos más adelante.

El resultado de la simulación del edificio en HULC ha sido el siguiente.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Dem_Cal	18.83	14.40	10.95	5.02	2.07	0.52	0.00	0.00	0.18	1.18	9.77	18.49	81.40
Dem_Ref	0.00	0.00	0.00	0.05	1.65	4.38	11.24	10.34	4.60	0.27	0.00	0.00	32.53

Tabla 3–1. Demanda anual y mensual del edificio objeto, obtenida a través de HULC

Observamos que los meses con mayor demanda de calefacción y refrigeración son enero y julio respectivamente. Una vez que realizamos la simulación, pasamos a calcular los coeficientes correctores para el clima de simulación de HULC. Estos correctores permanecerán constantes para la pasada de la herramienta con los 3 climas de operación, así se podrá observar la diferencia de resultados en las demandas de calefacción y refrigeración. Además, desglosaremos las ganancias y pérdidas de los meses de enero y julio para ver qué parámetros influyen en mayor o menor medida en la demanda correspondiente.

#### 3.2.1 Clima Aeropuerto

Para el clima del aeropuerto, es decir, Sevilla.met en HULC, los coeficientes correctores tienen los siguientes valores.

Factores corrección	
a_inv	0.44
b_inv	0.02
TAU_inv	48.00
a_ver	0.32
b_ver	0.24
TAU_ver	48.00
Ef	0.40

Tabla 3–2. Coeficientes correctores de verano e invierno

Además del valor de los 4 coeficientes, también se reflejan en la tabla los valores del coeficiente TAU tanto de verano como de invierno, necesarios para calcular de forma manual el factor de utilización del edificio, y la eficiencia de intercambio de verano del edificio. Dichos parámetros tendrán siempre el mismo valor para todas las simulaciones, tanto para edificios terciarios como residenciales.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Dem_Cal	18.83	14.23	10.53	5.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	3.77	17.72	76.62
Dem_Ref	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.96	10.98	10.34	4.60	0.00	0.00	0.00	23.88
													106.50

Tabla 3–3. Demanda anual y mensual del edificio objeto, obtenida a través de la herramienta de pasadas

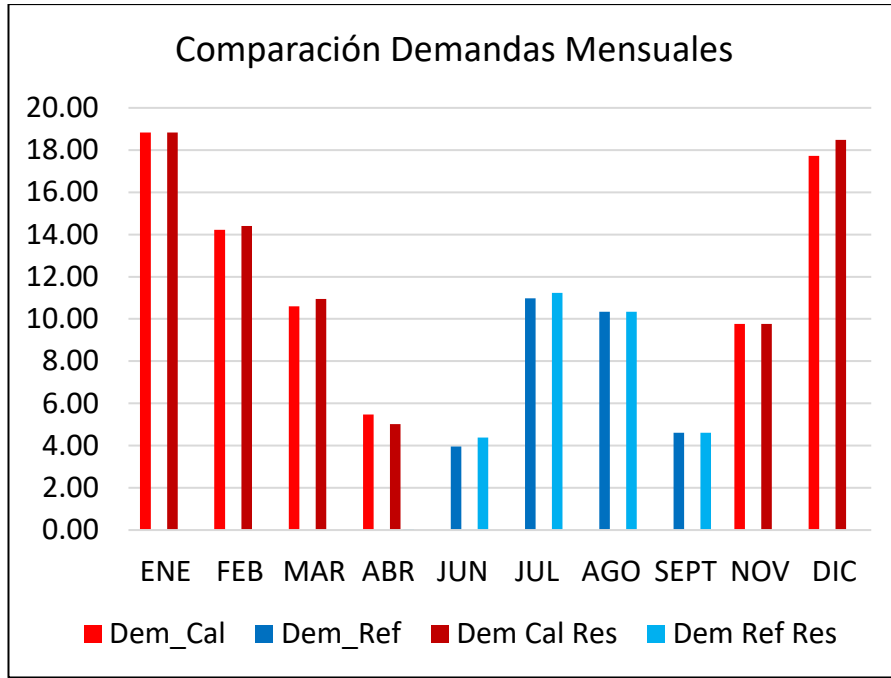


Figura 3-3. Comparación de demandas mensuales

Hay que comentar que la demanda con la coletilla Res es la correspondiente a la simulación en la herramienta unificada HULC. Como se puede observar, las demandas de calefacción de mayo y octubre para el caso obtenido a través de la herramienta de pasadas son prácticamente nulas, por eso no se representan en dicha gráfica. Esto se debe a que, en esos meses, las condiciones de los parámetros mensuales hacen que prácticamente el edificio no demande apenas calefacción, puesto que alcanza la temperatura de confort. No obstante, para el edificio terciario esto no es exactamente así, pues necesita de ambas demandas durante gran parte del año debido a la gran carga interna que este posee. Es por eso por lo que meses como junio o septiembre tienen 2 demandas, una de refrigeración y otra de calefacción, aunque no aparezcan representadas en la gráfica. En cualquier caso, esta comparación de demandas nos hace pensar que la pasada realizada en la herramienta al edificio se ha completado de manera correcta, debido a la gran similitud de valores de demandas.

**3.2.1.1 Pérdidas y ganancias del mes de enero**

Anteriormente, se desarrolló la demanda de calefacción y refrigeración por partes, detallando cada parámetro que afectaba a la demanda. En nuestro caso, para la demanda de calefacción, seleccionamos la del mes de enero, mes donde la demanda es mayor, para así ver a través de este gráfico circular que parámetros son los que afectan al edificio en mayor y menor medida.

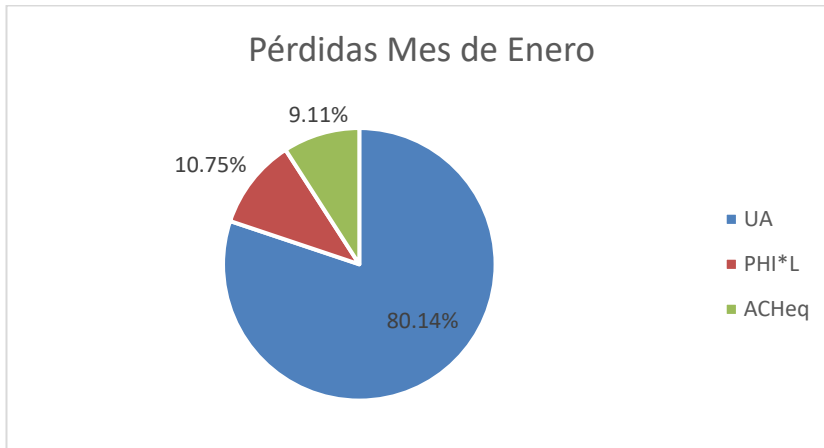


Figura 3-4. Pérdidas de calefacción en enero desglosadas en los diferentes parámetros

Podemos declarar al ver esta gráfica que el 80% de las pérdidas de calefacción se debe a las pérdidas por transmisión del edificio. Quizás se pueda deber a la construcción del edificio, pues hay que recordar que los elementos constructivos que componen el edificio son muy antiguos, por lo que las pérdidas son mayores al tener una transmitancia térmica mayor. La quinta parte que falta por comentar se divide a casi partes iguales entre las pérdidas por ventilación y transmisión por puentes térmicos.

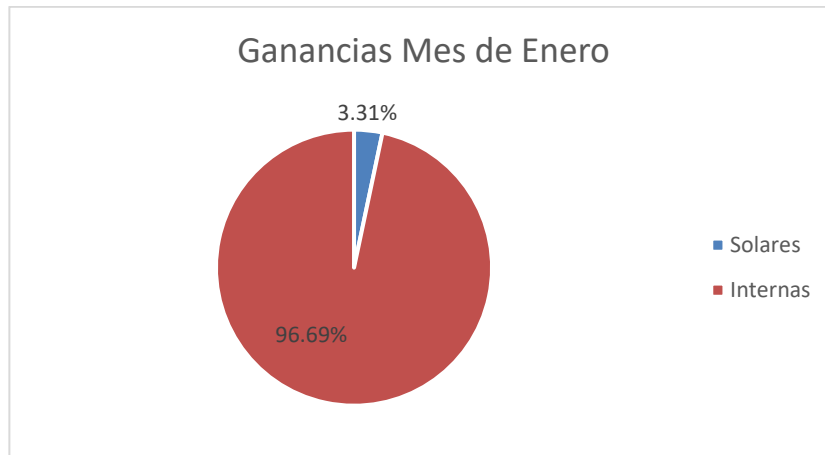


Figura 3-5. Ganancias de calefacción en enero desglosadas en los diferentes parámetros

La demanda mensual es la calculada a partir de los coeficientes correctores de invierno, por lo que su resultado no es exacto. Si vemos los valores de ambos correctores, el corrector "b", que afecta a las ganancias solares, es casi nulo, motivo por el que el porcentaje de ganancias solares es bastante bajo, aunque en la realidad el comportamiento es distinto, debido a que el clima mediterráneo de Sevilla tiene una influencia positiva en la demanda de calefacción.

### 3.2.1.2 Pérdidas y ganancias del mes de julio

Ahora pasamos a realizar la misma operación de antes, pero para el mes de julio, mes donde la demanda de refrigeración es mayor.

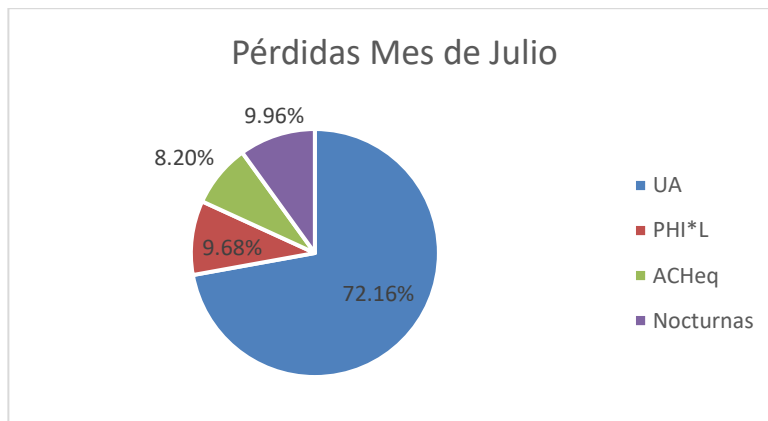


Figura 3-6. Pérdidas de refrigeración en julio desglosadas en los diferentes parámetros

Estos resultados nos indican que la calidad de los materiales constructivos sigue siendo muy importante a la hora de calcular la demanda de un edificio terciario, ya sea de calefacción como de refrigeración, puesto que el parámetro que ocupa mayor importancia en las pérdidas sigue siendo el de transmisión.

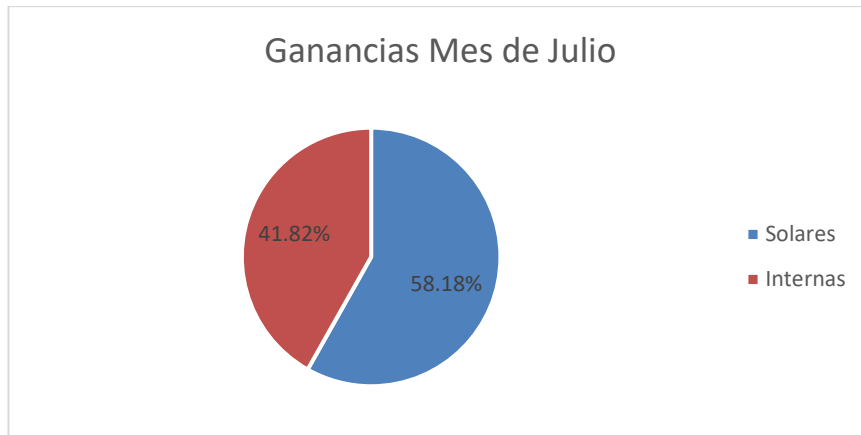


Figura 3-7. Ganancias de refrigeración en julio desglosadas en los diferentes parámetros

Como era de esperar, el parámetro que más influye en la demanda es el que engloba las ganancias solares. Es un comportamiento lógico, ya que el clima mediterráneo cálido que podemos disfrutar en Sevilla se caracteriza aparte de alcanzar unas temperaturas muy altas en verano en tener una radiación solar bastante alta durante los meses de verano. A pesar de ello, las ganancias internas también se hacen notar, puesto que en los edificios terciarios estas aumentan considerablemente.

### 3.2.2 Clima Rinconada

Pasamos a comentar los resultados de la demanda cambiando el clima al de la Rinconada, que se encuentra en las afueras de Sevilla. La característica más importante de este clima es la baja temperatura nocturna y diurna con respecto a los dos climas restantes.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Dem_Cal	20.68	16.11	13.05	8.20	1.21	0.00	0.00	0.00	0.00	1.24	12.38	19.69	92.36
Dem_Ref	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.69	6.60	6.12	1.19	0.00	0.00	0.00	14.60
													106.95

Tabla 3-4. Demanda anual y mensual del edificio objeto, obtenida a través de la herramienta de pasadas

La bajada de temperaturas con respecto al clima anterior ha afectado de manera esperada, pues la demanda de refrigeración ha bajado mientras que ha subido un poco la demanda anual de calefacción. Esto se debe a que, al sumar el cómputo general de demandas, y al existir meses donde sendas demandas actúan en el edificio, el valor total de todas ellas se ha visto incrementado. Además, la bajada de temperaturas anual hace que se necesite más calefacción en invierno y menos refrigeración en verano.

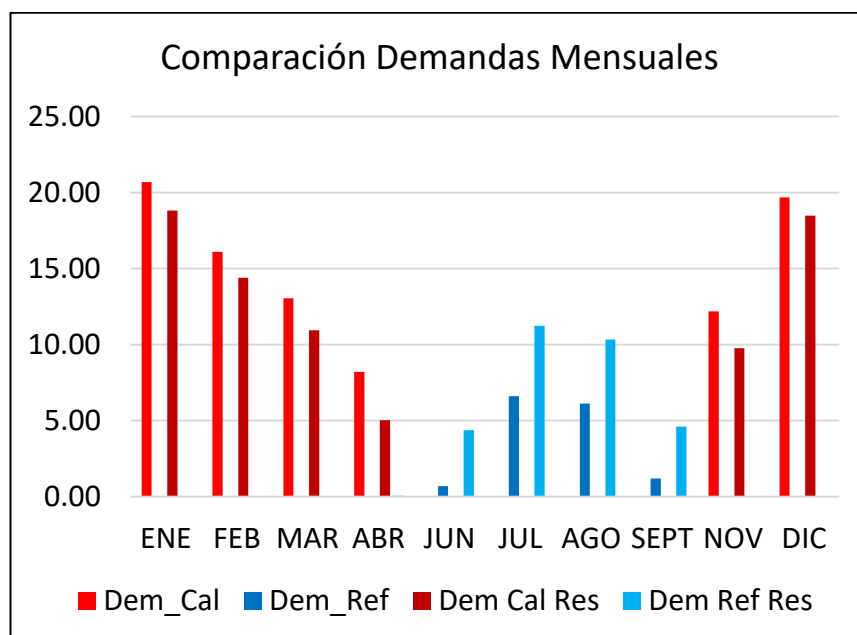


Figura 3-8. Comparación de demandas mensuales



En los meses de mayo y octubre, las temperaturas son muy próximas a la de confort térmico en el edificio. Por consiguiente, esta demanda es tan baja con respecto a las demás que no se representa en esta gráfica ni en las siguientes.

### 3.2.2.1 Pérdidas y ganancias del mes de enero

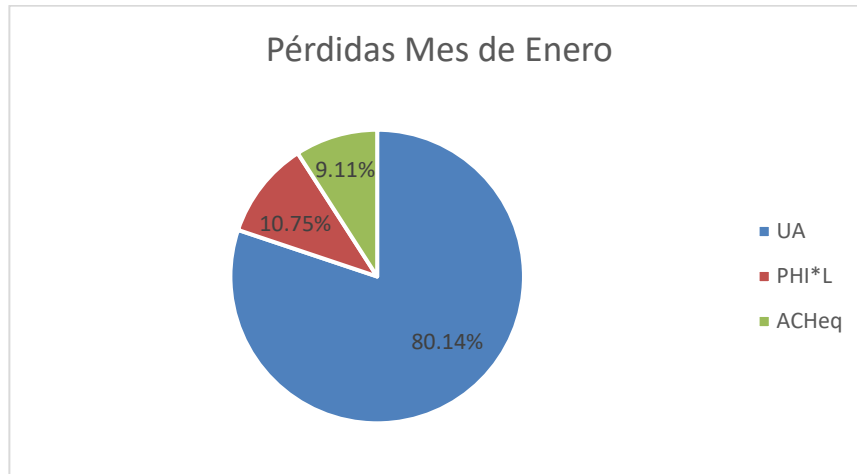


Figura 3-9. Pérdidas de calefacción en enero desglosadas en los diferentes parámetros

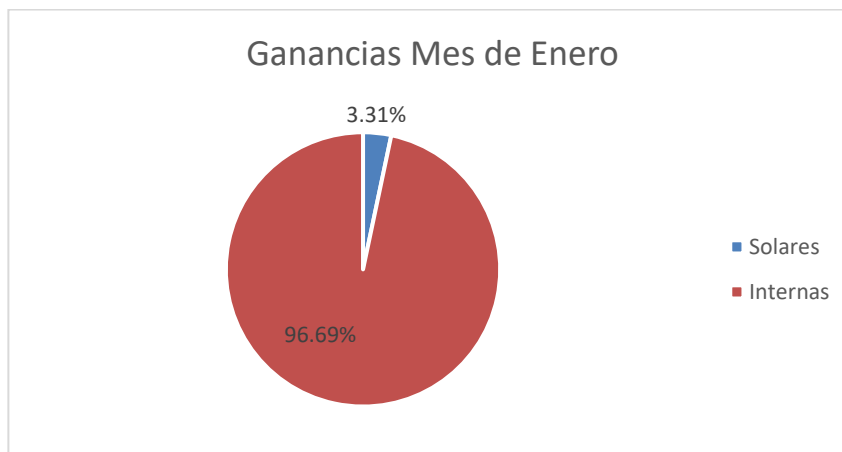


Figura 3-10. Ganancias de calefacción en enero desglosadas en los diferentes parámetros

En comparación con la demanda de calefacción en el primer clima, las dos gráficas prácticamente mantienen los mismos porcentajes, por lo que el comportamiento es el mismo, solo que la demanda total de calefacción se ha visto aumentada.

3.2.2.2 Pérdidas y ganancias del mes de julio

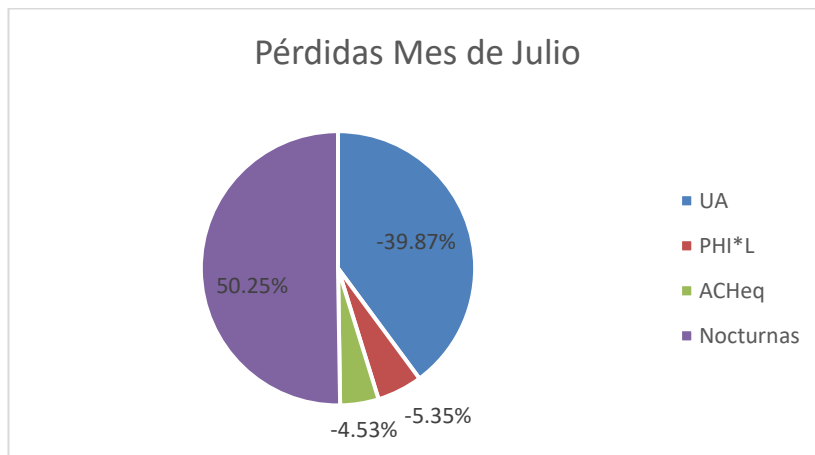


Figura 3-11. Pérdidas de refrigeración en julio desglosadas en los diferentes parámetros

La diferencia que podemos notar ahora con respecto a la demanda de refrigeración anterior es la ahora alta participación de las pérdidas nocturnas, pues al bajar las temperaturas se convierte en el parámetro más influyente debido a que la ventilación nocturna es la mejor estrategia a la hora de reducir la demanda de refrigeración cuando las temperaturas exteriores son bajas. No obstante, este método para edificios no residenciales es más complicado de utilizar, debido al poco porcentaje de acristalamiento que tiene el edificio. La participación de las pérdidas por transmisión, que ahora pasan a ser negativas, se debe a la bajada de los grados día al cambiar el clima con el que trabajamos. Esto provoca que estas pérdidas tengan relevancia en las pérdidas de forma positiva, pues reducen la demanda de refrigeración.

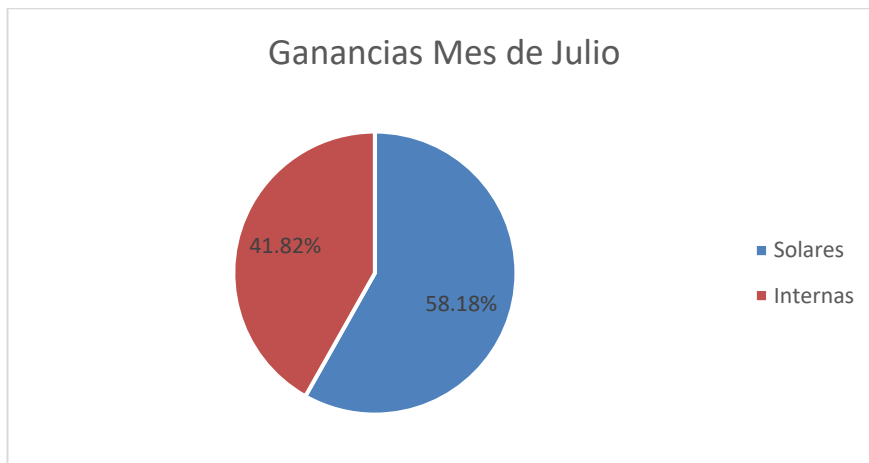


Figura 3-12. Ganancias de refrigeración en julio desglosadas en los diferentes parámetros

El fenómeno de las pérdidas por transmisión conlleva a un aumento de la participación elevado de las ganancias solares e internas en la demanda, aunque el porcentaje en cuanto a las ganancias se refiere sigue siendo prácticamente el mismo que en el anterior clima.

3.2.3 Clima Centro

Este clima, como hemos visto anteriormente, es aquel cuyas temperaturas son más altas durante el día. El efecto de este clima respecto al anterior comentado, la Rinconada, será a priori el contrario, aumentando la demanda de refrigeración y disminuyendo la de calefacción.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Dem_Cal	18.86	11.93	8.41	3.07	1.57	0.00	0.00	0.00	0.00	1.53	7.23	15.72	66.45
Dem_Ref	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.07	14.36	13.70	7.27	0.00	0.00	0.00	42.40
													108.86

Tabla 3-5. Demanda anual y mensual del edificio objeto, obtenida a través de la herramienta de pasadas

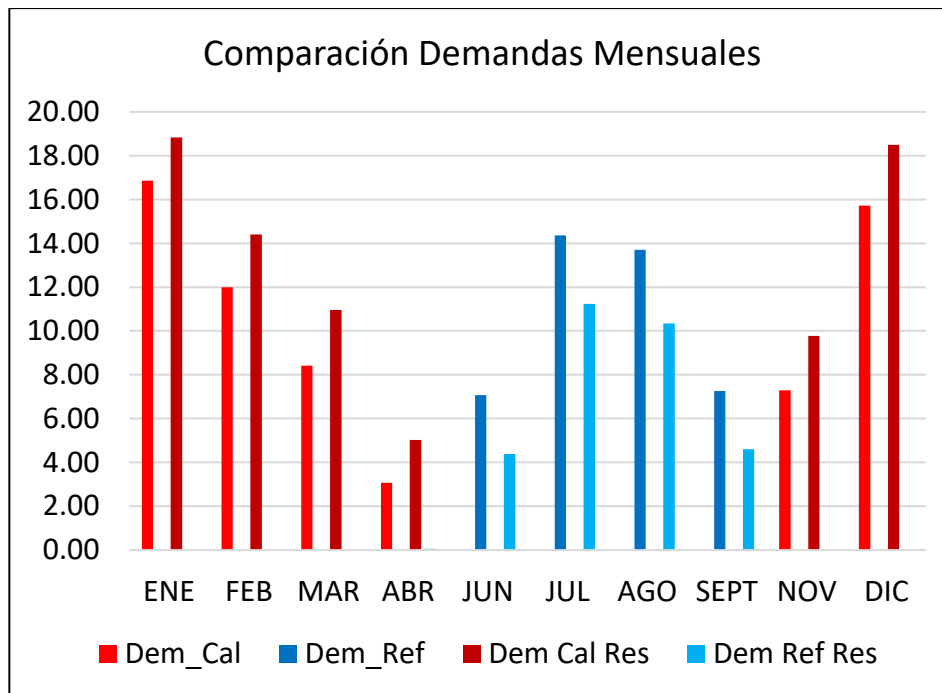


Figura 3-13. Comparación de demandas mensuales

Ya vemos como aquí ocurre el efecto que hemos comentado una línea atrás. Vemos como ahora en este caso, la demanda de calefacción se ha visto reducida, mientras que la de refrigeración ha aumentado considerablemente. Este fenómeno ocurre en todos los edificios simulados, y es un aspecto más que puede abrir debate en si el efecto de la isla de calor es beneficioso o perjudicial a la hora de analizar la demanda y el confort térmico del edificio.

### 3.2.3.1 Pérdidas y ganancias del mes de enero

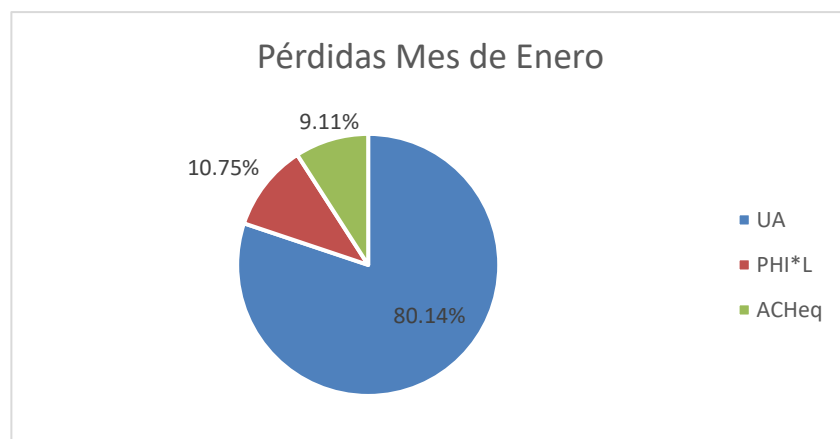


Figura 3-14. Pérdidas de calefacción en enero desglosadas en los diferentes parámetros

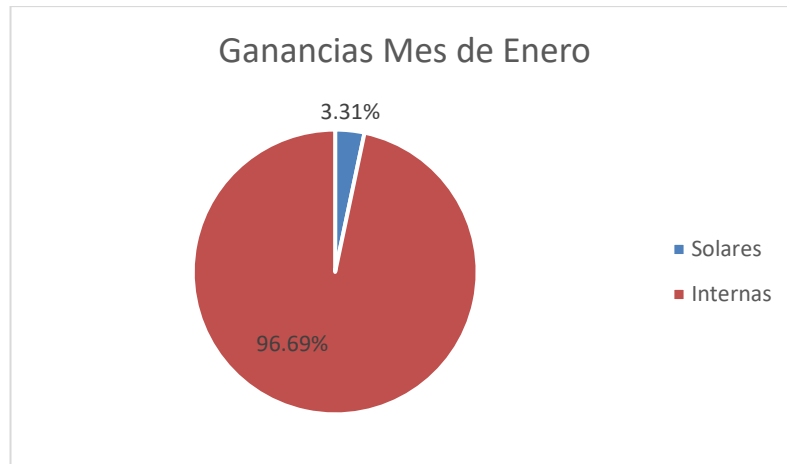


Figura 3-15. Ganancias de calefacción en enero desglosadas en los diferentes parámetros

Como vemos, el comportamiento en invierno sigue siendo similar al de los anteriores climas, pero la demanda de calefacción con este clima, como hemos observado anteriormente, se ha visto reducida. Poco más podemos comentar acerca de este desglose de calefacción que ya no hayamos repasado en los anteriores apartados.

### 3.2.3.2 Pérdidas y ganancias del mes de julio

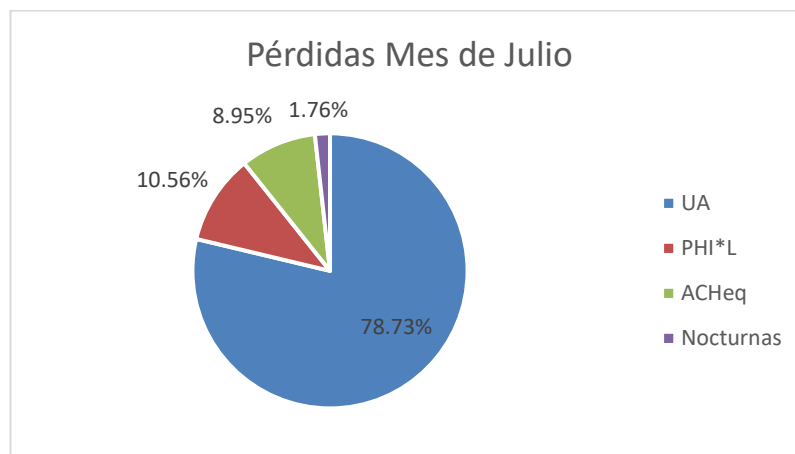


Figura 3-16. Pérdidas de refrigeración en julio desglosadas en los diferentes parámetros

Podemos observar que, con el aumento moderado de las temperaturas, las pérdidas por transmisión vuelven a tomar el protagonismo afectando negativamente a la demanda de refrigeración. Por su parte, las pérdidas por ventilación nocturna ahora pasan a ser mínimas, debido a que carece de sentido aprovechar estas pérdidas para alcanzar el confort térmico en verano si la temperatura exterior es mayor que la interior del edificio. Sobre este aspecto profundizaremos más adelante.

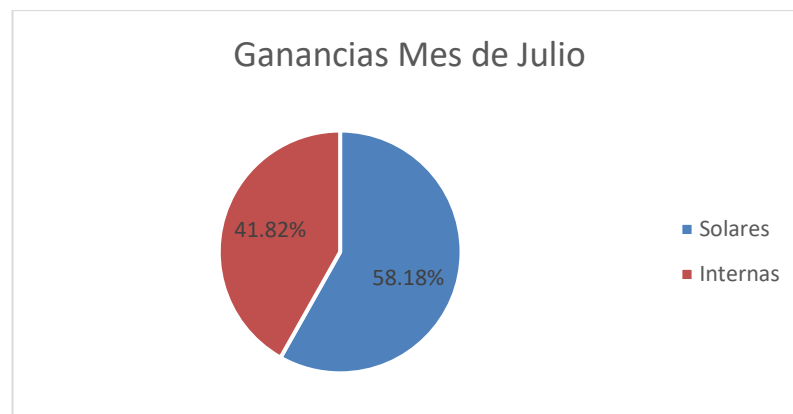


Figura 3-17. Ganancias de refrigeración en julio desglosadas en los diferentes parámetros

Las ganancias en verano, por su parte, siguen teniendo un efecto negativo en la demanda de refrigeración, pero siguen manteniendo el mismo porcentaje de participación a pesar del cambio de clima, lo cual quiere decir que este cambio climático apenas afecta en las ganancias tanto de refrigeración como de calefacción.

### 3.3 Grupo 2. Edificio Otros Usos. Avenida Cruz Roja N.º 1 A.

A continuación, pasaremos a comentar y analizar los resultados obtenidos de la simulación del edificio de uso sanitario perteneciente al Grupo 2. Al tratarse de un edificio no residencial, la demanda de calefacción y refrigeración estará presente durante gran parte de los meses del año.

El resultado de la simulación del edificio en HULC ha sido el siguiente.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Dem_Cal	49.11	38.79	31.88	18.71	9.36	0.00	0.00	0.00	0.00	6.10	27.47	47.73	229.15
Dem_Ref	0.00	0.00	0.02	0.26	3.95	9.41	22.83	21.15	9.86	1.84	0.00	0.00	69.32

Tabla 3–6. Demanda anual y mensual del edificio objeto, obtenida a través de la herramienta de pasadas

Una vez que realizamos la simulación, pasamos a calcular los coeficientes correctores para el clima de simulación de HULC. Estos correctores permanecerán constantes para la pasada de la herramienta con los 3 climas de operación, así se podrá observar la diferencia de resultados en las demandas de calefacción y refrigeración. Además, desglosaremos las ganancias y pérdidas de los meses de enero y julio para ver qué parámetros influyen en mayor o menor medida en la demanda correspondiente.

#### 3.3.1 Clima Aeropuerto

Para el clima del aeropuerto, es decir, Sevilla.met en HULC, los coeficientes correctores tienen los siguientes valores.

Factores corrección	
a_inv	0.81
b_inv	0.05
TAU_inv	48.00
a_ver	0.27
b_ver	0.65
TAU_ver	48.00
Ef	0.40

Tabla 3–7. Coeficientes correctores de verano e invierno

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Dem_Cal	49.11	37.67	23.36	16.91	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	27.47	46.54	207.24
Dem_Ref	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.41	22.83	21.12	8.88	0.00	0.00	0.00	62.24
													269.43

Tabla 3–8. Demanda anual y mensual del edificio objeto, obtenida a través de la herramienta de pasadas

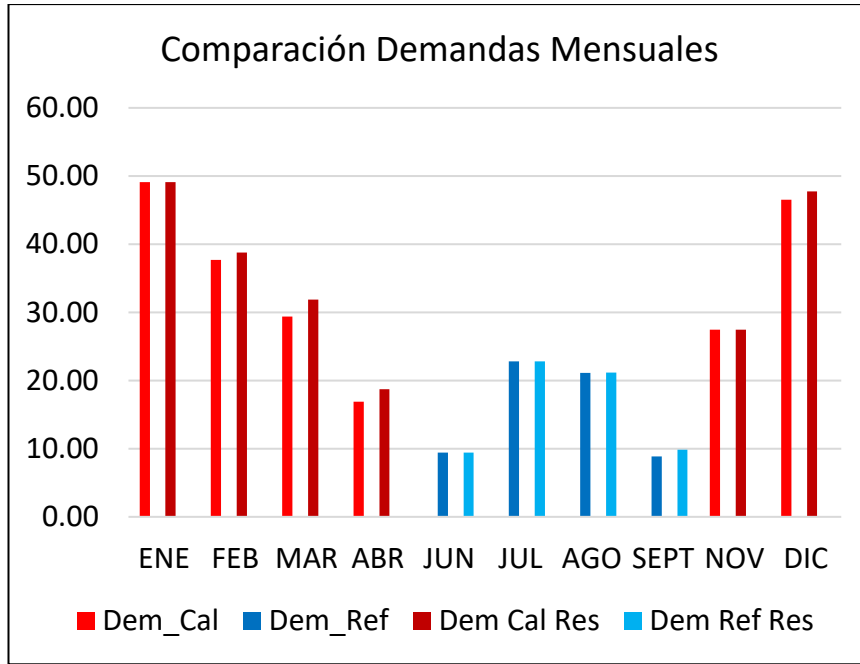


Figura 3-18. Comparación de demandas mensuales

El comportamiento de este edificio es similar al edificio del grupo 1, sólo que los valores de las demandas mensuales son mucho mayores mes a mes. Esto se debe principalmente al volumen del edificio, pues el tamaño de este edificio es mucho mayor que el edificio comercial del grupo 1. Aunque hay otros factores que, por supuesto también participan en dicho incremento, como son los materiales constructivos del edificio, orientación y radiación solar que incide sobre este, etc.

**3.3.1.1 Pérdidas y ganancias del mes de enero**

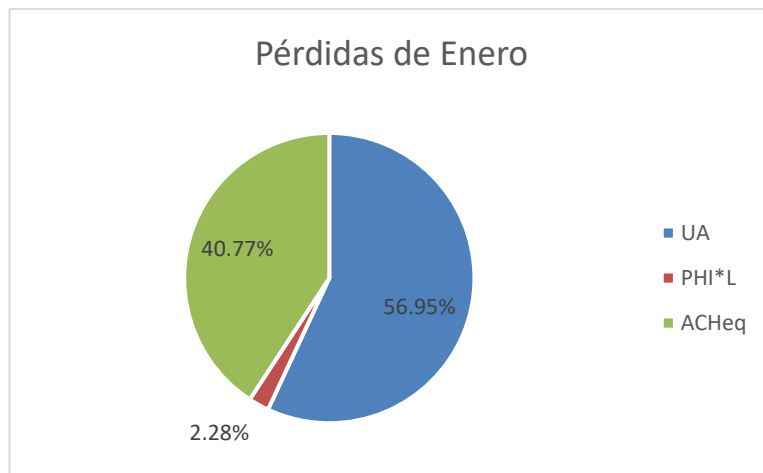


Figura 3-19. Pérdidas de calefacción en enero desglosadas en los diferentes parámetros

En el caso de este edificio, las pérdidas por ventilación son mucho mayores que en las del edificio comercial del grupo 1. Esto se debe a que el porcentaje de acristalamiento del edificio es mucho mayor, por lo que las pérdidas se ven incrementadas también. Aun así, casi el 60% de las pérdidas siguen siendo por transmisión, cosa que se puede deber como hemos tratado anteriormente en otros casos por la mala construcción de los materiales del edificio.

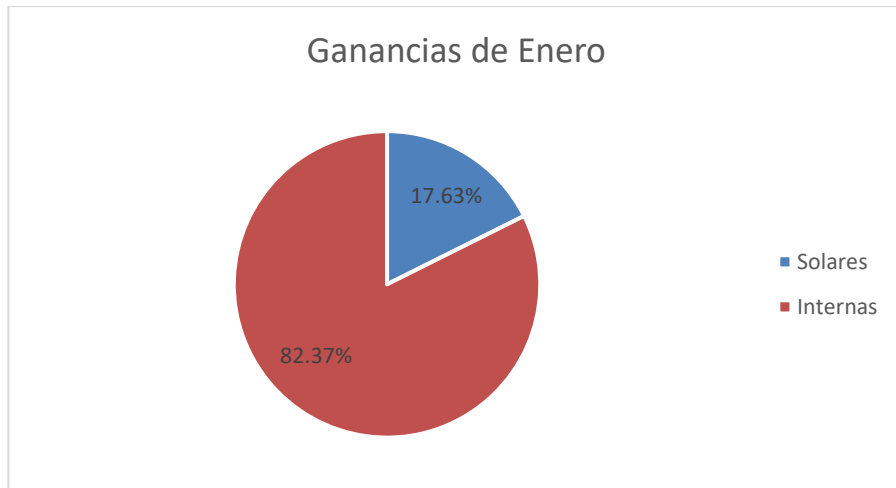


Figura 3-20. Ganancias de calefacción en enero desglosadas en los diferentes parámetros

Ahora las ganancias solares tendrán un efecto más grande en la demanda de calefacción ya que al aumentar el acristalamiento del edificio éste es capaz de captar más energía solar, que ayuda a reducir la demanda de calefacción. No obstante, las ganancias internas siguen siendo el parámetro más importante en las ganancias de invierno.

### 3.3.1.2 Pérdidas y ganancias del mes de julio

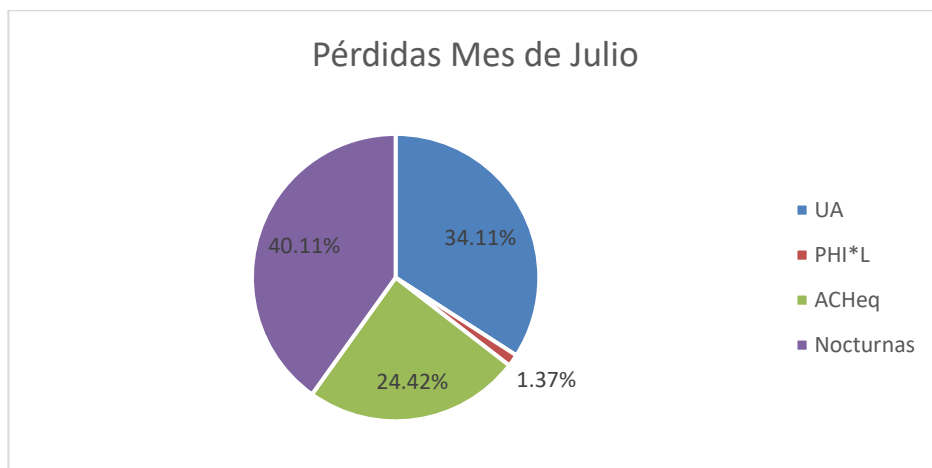


Figura 3-21. Pérdidas de refrigeración en julio desglosadas en los diferentes parámetros

Estos resultados nos indican que el aumento del acristalamiento en un edificio condiciona a las pérdidas de refrigeración, pues la ventilación nocturna pasa a ser el parámetro más importante ya que es mejor ventilar por la noche tanto energéticamente como económicamente, ya que es gratis. Por supuesto, las pérdidas por infiltraciones también aumentan si el acristalamiento es mayor. La calidad de los materiales constructivos sigue siendo muy importante a la hora de calcular la demanda de un edificio no residencial, ya sea de calefacción como de refrigeración, ya que ocupa un puesto importante también en estas pérdidas.

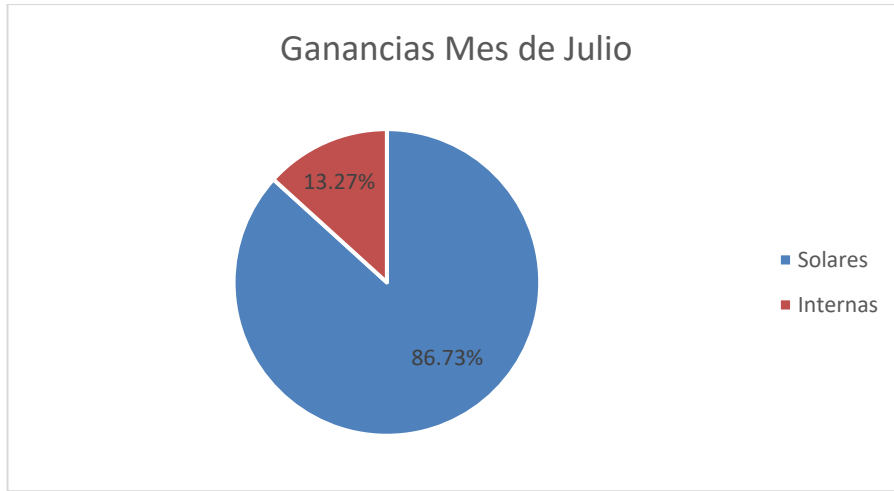


Figura 3-22. Ganancias de refrigeración en julio desglosadas en los diferentes parámetros

Como era de esperar, el parámetro que más influye en las ganancias es el que engloba las ganancias solares. Es un comportamiento lógico, ya que aparte de que el clima mediterráneo de Sevilla se caracteriza por una alta radiación, al aumentar el acristalamiento estas ganancias solares también se ven aumentadas, puesto que la radiación incidente en el edificio es mayor.

### 3.3.2 Clima Rinconada

Pasamos a comentar los resultados de la demanda cambiando el clima al de la Rinconada, que se encuentra en las afueras de Sevilla. La característica más importante de este clima es la baja temperatura nocturna y diurna con respecto a los dos climas restantes.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Dem_Cal	53.49	42.12	35.18	23.42	5.81	0.00	0.00	0.00	0.00	6.21	33.19	51.18	250.61
Dem_Ref	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.23	14.09	12.78	3.63	0.00	0.00	0.00	34.73
													285.33

Tabla 3-9. Demanda anual y mensual del edificio objeto, obtenida a través de la herramienta de pasadas

La bajada de temperaturas con respecto al clima anterior ha afectado de manera esperada, pues la demanda de refrigeración ha bajado mientras que ha subido un poco la demanda anual de calefacción.

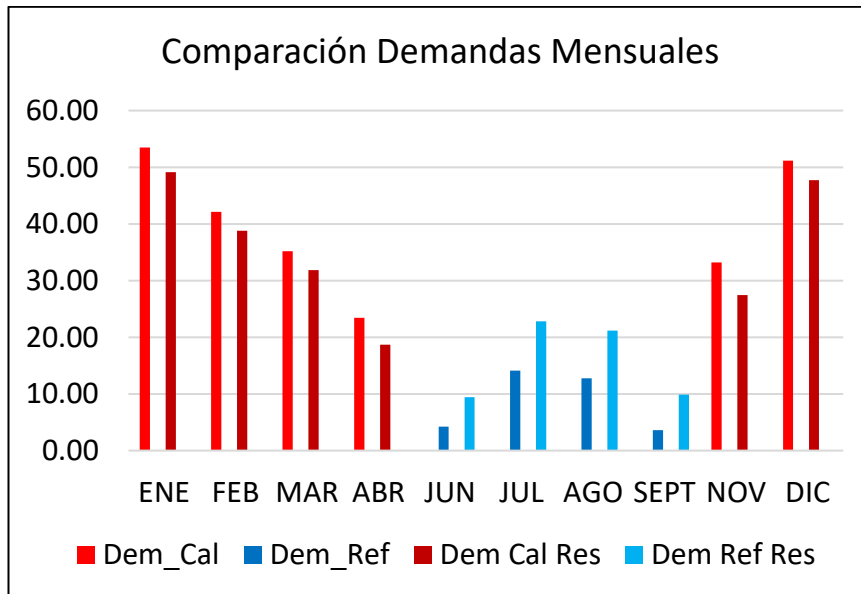


Figura 3-23. Comparación de demandas mensuales



### 3.3.2.1 Pérdidas y ganancias del mes de enero

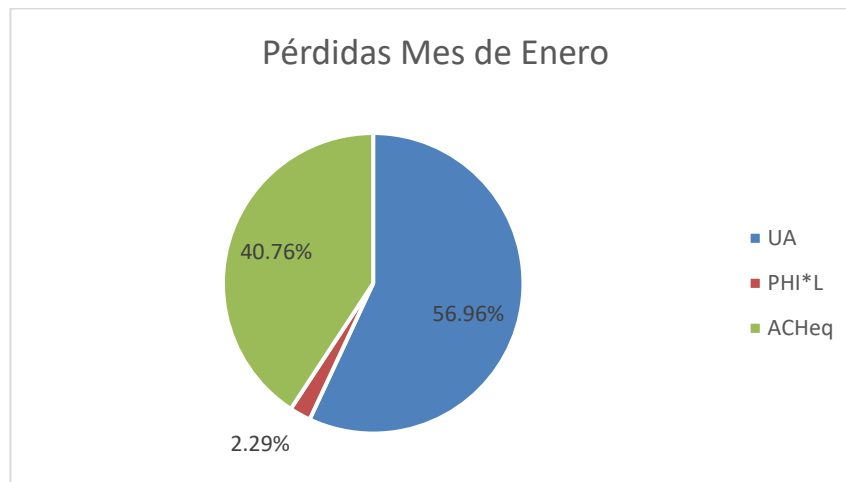


Figura 3-24. Pérdidas de calefacción en enero desglosadas en los diferentes parámetros

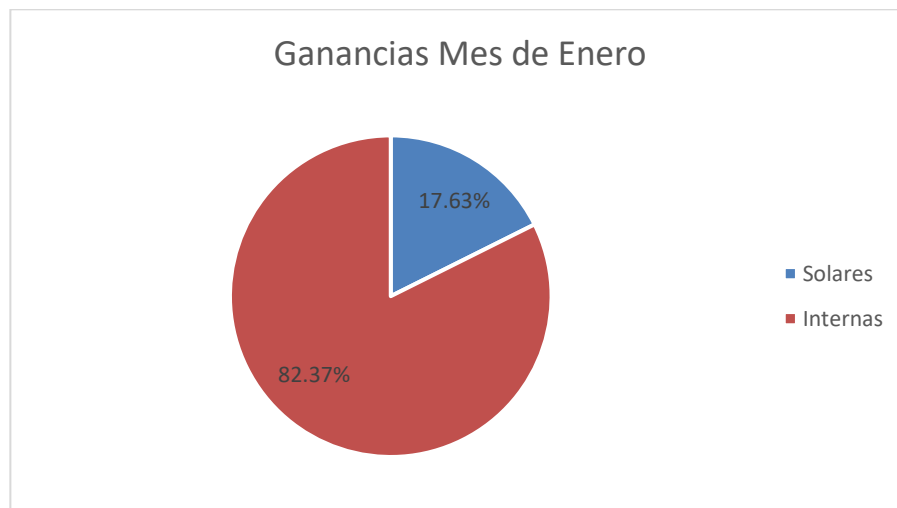


Figura 3-25. Ganancias de calefacción en enero desglosadas en los diferentes parámetros

En comparación con la demanda de calefacción en el primer clima, las dos gráficas prácticamente mantienen los mismos porcentajes, por lo que el comportamiento es el mismo, solo que la demanda total de calefacción se ha visto aumentada.

3.3.2.2 Pérdidas y ganancias del mes de julio

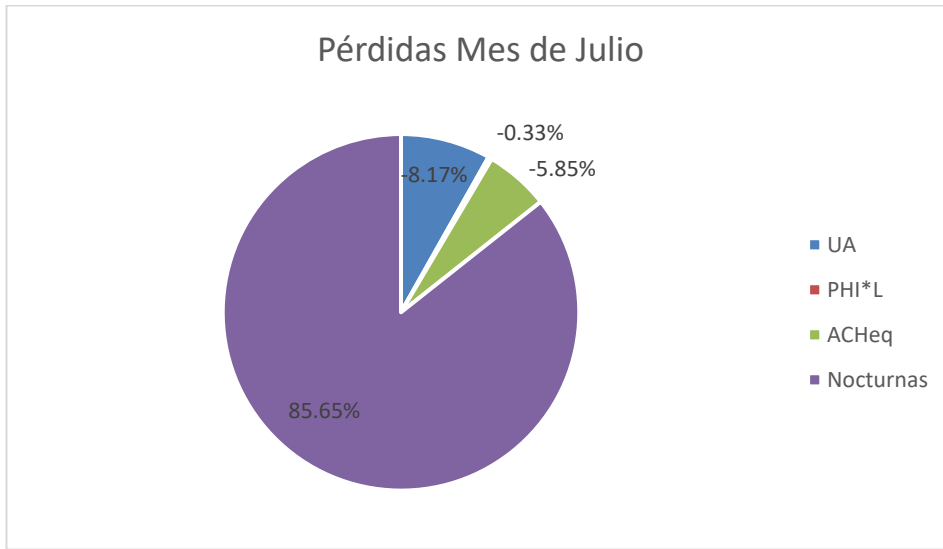


Figura 3-26. Pérdidas de refrigeración en julio desglosadas en los diferentes parámetros

Las pérdidas por ventilación nocturna, como ya pasaba en el anterior grupo, son en este clima fundamentales para la reducción de la demanda de refrigeración. En particular para nuestro edificio, al tener un porcentaje de acristalamiento bastante alto podemos facilitar esta solución. En cuanto a las pérdidas por transmisión, en este caso y como pasaba anteriormente ahora son negativas debido a la bajada de los grados día.

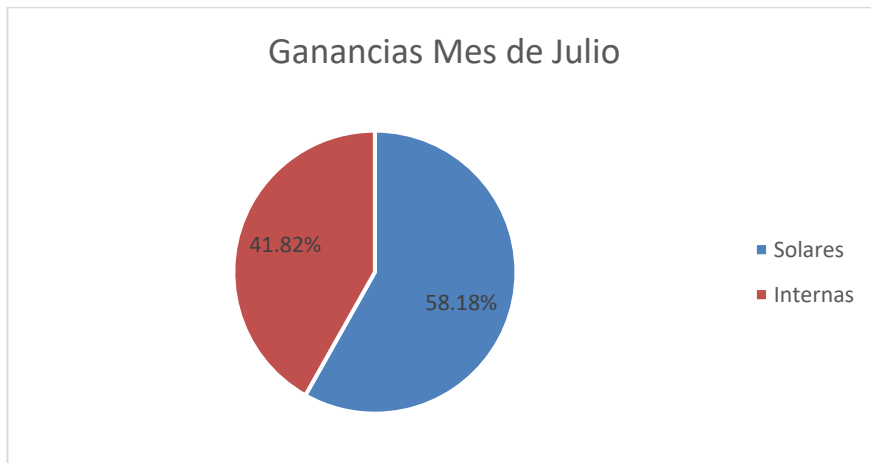


Figura 3-27. Ganancias de refrigeración en julio desglosadas en los diferentes parámetros

El fenómeno de las pérdidas por transmisión conlleva a un aumento de la participación elevado de las ganancias solares e internas en la demanda, siendo el de ganancias solares un porcentaje más grande debido al acristalamiento.

3.3.3 Clima Centro

Este clima, como hemos visto anteriormente, es aquel cuyas temperaturas son más altas durante el día. El efecto de este clima respecto al anterior comentado, la Rinconada, será a priori el contrario, aumentando la demanda de refrigeración y disminuyendo la de calefacción.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Dem_Cal	44.46	32.39	24.18	10.98	8.31	0.00	0.00	0.00	0.00	6.69	21.59	41.81	188.60
Dem_Ref	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.94	31.94	30.41	16.09	0.00	0.00	0.00	95.38
													283.98

Tabla 3–10. Demanda anual y mensual del edificio objeto, obtenida a través de la herramienta de pasadas

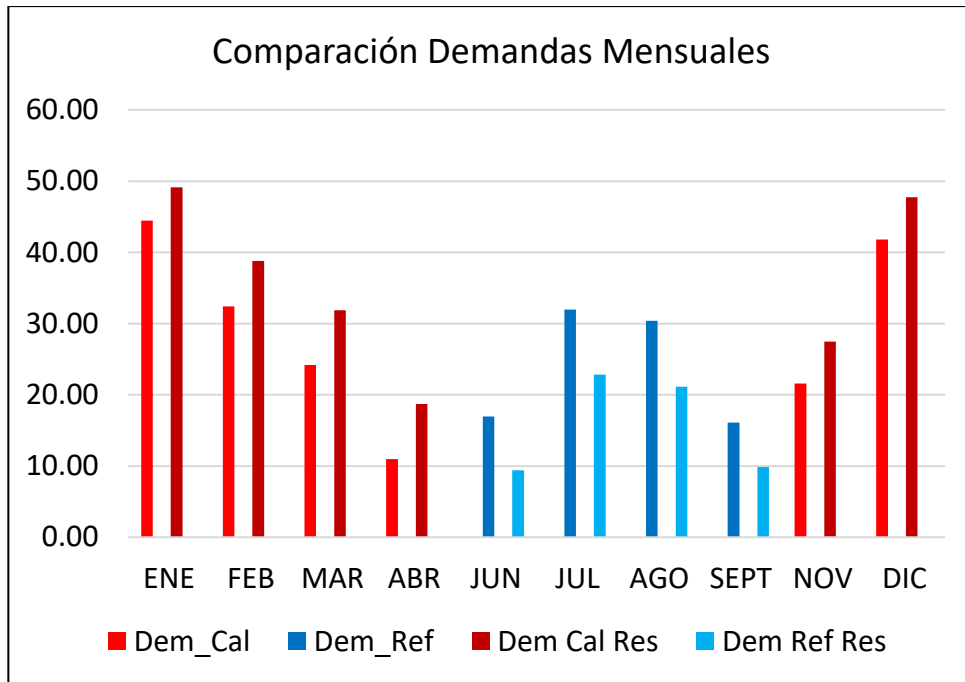


Figura 3-28. Comparación de demandas mensuales

Ya vemos como aquí ocurre el efecto que hemos comentado una línea atrás, y como ha ocurrido también en el edificio del grupo 1.

### 3.3.3.1 Pérdidas y ganancias del mes de enero

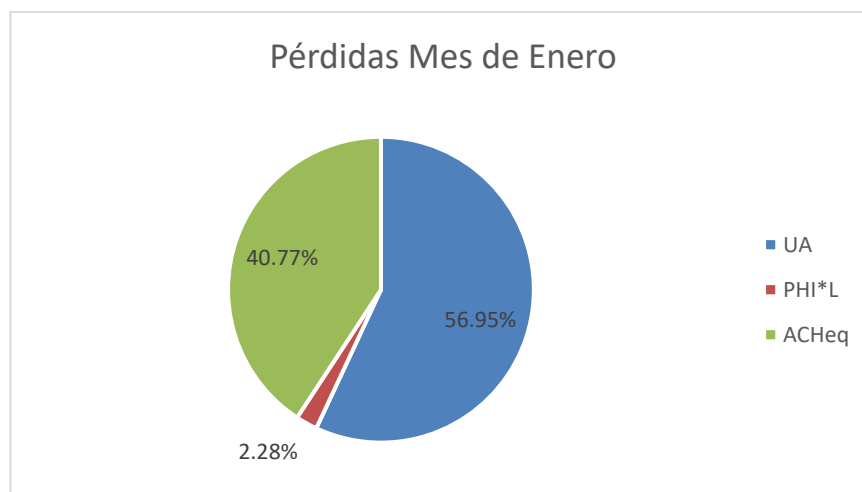


Figura 3-29. Pérdidas de calefacción en enero desglosadas en los diferentes parámetros

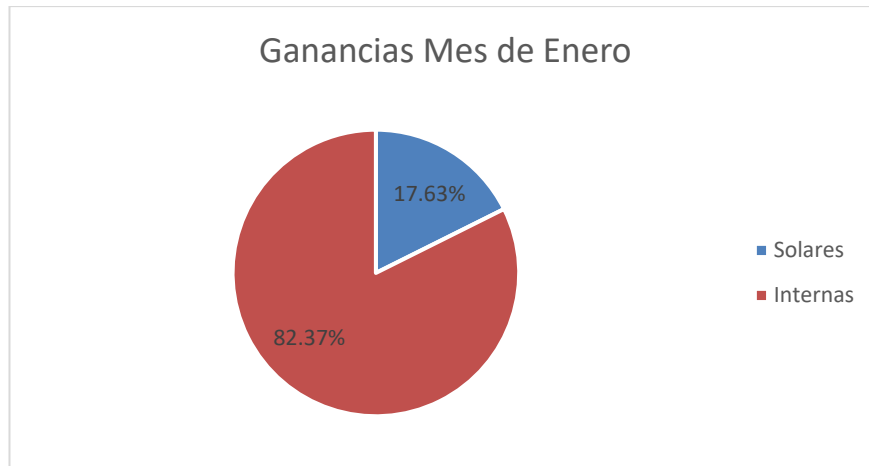


Figura 3-30. Ganancias de calefacción en enero desglosadas en los diferentes parámetros

Como vemos, el comportamiento en invierno sigue siendo similar al de los anteriores climas, pero la demanda de calefacción con este clima, como hemos observado anteriormente, se ha visto reducida. Poco más podemos comentar acerca de este desglose de calefacción que ya no hayamos repasado en los anteriores apartados.

### 3.3.3.2 Pérdidas y ganancias del mes de julio

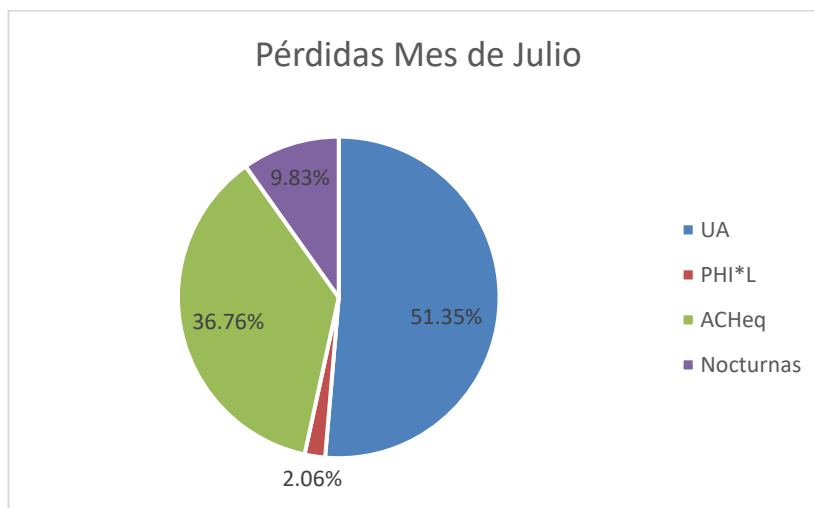


Figura 3-31. Pérdidas de refrigeración en julio desglosadas en los diferentes parámetros

Podemos observar que, con el aumento moderado de las temperaturas, las pérdidas por transmisión junto con las de infiltración vuelven a tomar el protagonismo afectando negativamente a la demanda de refrigeración. Por su parte, las pérdidas por ventilación nocturna ahora pasan a ser mínimas, debido a que carece de sentido aprovechar estas pérdidas para alcanzar el confort térmico en verano si la temperatura exterior es mayor que la interior del edificio. Sobre este aspecto profundizaremos más adelante. Esto mismo ocurría de igual manera en el grupo 1.

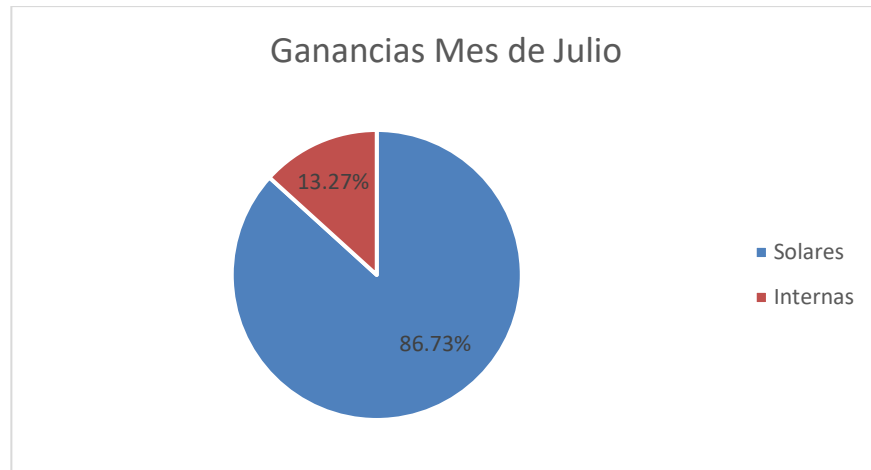


Figura 3-32. Ganancias de refrigeración en julio desglosadas en los diferentes parámetros

Las ganancias en verano, por su parte, cambian radicalmente de porcentaje, ocupando las ganancias solares el mayor porcentaje de éstas. Esto se debe en parte al acristalamiento del edificio y también al aumento de temperaturas del clima de centro, el cual perjudica a la demanda de refrigeración.

### 3.4 Grupo 3. Edificio Residencial Tipo 1. Avenida Cruz Roja N.º 5.

Pasamos ahora a comentar el edificio residencial considerado, que pertenece al mismo bloque de edificios que el del grupo 1. Ciertamente, la calidades constructivas y orientación del edificio en cuestión son similares a las del edificio comercial que hemos analizado anteriormente, sin embargo, la radiación que pueda incidir en él será distinta debido a la estructura del edificio y localización de las ventanas de este. Después de realizar la simulación, los resultados son los siguientes.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Dem_Cal	38.94	31.15	26.55	16.82	8.94	0.00	0.00	0.00	0.00	5.23	22.29	37.23	187.15
Dem_Ref	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.11	13.74	12.86	5.67	0.00	0.00	0.00	37.38

Tabla 3–11. Demanda anual y mensual del edificio objeto, obtenida a través de la herramienta de pasadas

Una vez que realizamos la simulación, pasamos a calcular los coeficientes correctores para el clima de simulación de HULC y, por consiguiente, el cálculo de demandas para los 3 climas a través de la herramienta de pasadas.

#### 3.4.1 Clima Aeropuerto

Para el clima del aeropuerto (Sevilla,met) , los coeficientes correctores tienen los siguientes valores.

Factores corrección	
a_inv	1.00
b inv	0.00
TAU_inv	48.00
a_ver	0.62
b ver	0.86
TAU_ver	48.00
Ef	0.40

Tabla 3–12. Coeficientes correctores de verano e invierno

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Dem_Cal	23.77	22.86	17.78	10.20	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	16.38	28.13	125.19
Dem_Ref	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.11	13.74	12.72	5.46	0.00	0.00	0.00	37.04
													162.23

Tabla 3–13. Demanda anual y mensual del edificio objeto, obtenida a través de la herramienta de pasadas

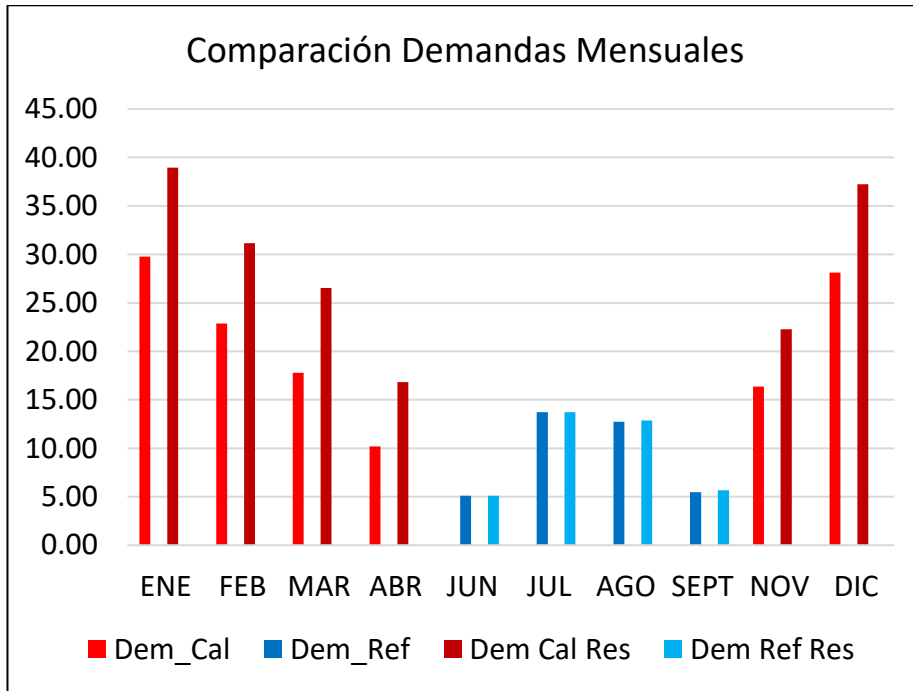


Figura 3-33. Comparación de demandas mensuales

Esta gráfica nos sirve además como comprobación de que ambos resultados obtenidos a través de la simulación y la herramienta son parecidos, pero no iguales. Esto se puede deber en este caso al valor de los coeficientes correctores, pero, aun así, podemos dar por buena la pasada de la herramienta en este caso, como en los anteriores casos.

3.4.1.1 Pérdidas y ganancias del mes de enero

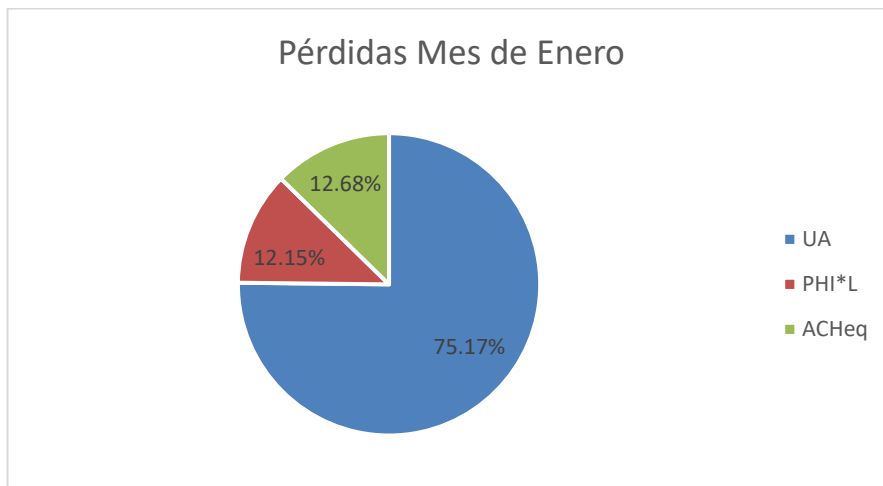


Figura 3-34. Pérdidas de calefacción en enero desglosadas en los diferentes parámetros

Este edificio tiene en invierno para este clima el mismo comportamiento que el edificio del grupo 1, porque el 75 % de las pérdidas de calefacción se debe a las pérdidas por transmisión del edificio. La cuarta parte que falta por comentar se divide a casi partes iguales entre las pérdidas por ventilación y transmisión por puentes térmicos.



Figura 3-35. Ganancias de calefacción en enero desglosadas en los diferentes parámetros

Esta demanda mensual es la calculada a partir de los coeficientes correctores de invierno, por lo que su resultado no es exacto. Si vemos los valores de ambos correctores, el corrector "b", que afecta a las ganancias solares, es nulo, motivo por el que estas últimas no intervienen en la demanda de calefacción, pero en la realidad esto no ocurre así. El porcentaje de estas ganancias será menor en comparación con los demás parámetros, pero no puede llegar a ser nulo, y más en Sevilla, lugar donde el clima es cálido y durante gran parte del año cálido, por lo que también debe afectar realmente en la demanda de calefacción. Esto ya lo explicamos con anterioridad en el edificio relativo al grupo 1.

#### 3.4.1.2 Pérdidas y ganancias del mes de julio

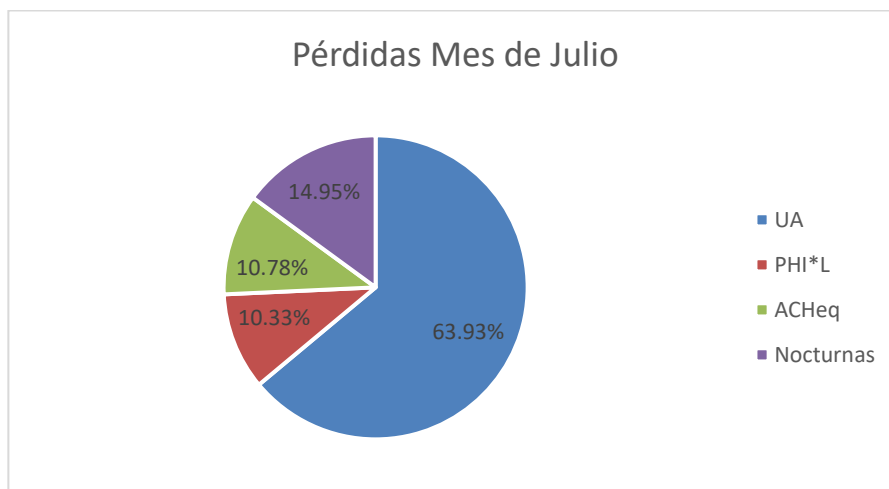


Figura 3-36. Pérdidas de refrigeración en julio desglosadas en los diferentes parámetros

Estos resultados nos recuerdan en cierta parte al comportamiento de las pérdidas de verano que ocurrían en el edificio del grupo 1, donde la mala calidad de los elementos constructivos hacía que se disparasen las pérdidas por transmisión, y provocando que las pérdidas por ventilación nocturna quedaran en un segundo plano.

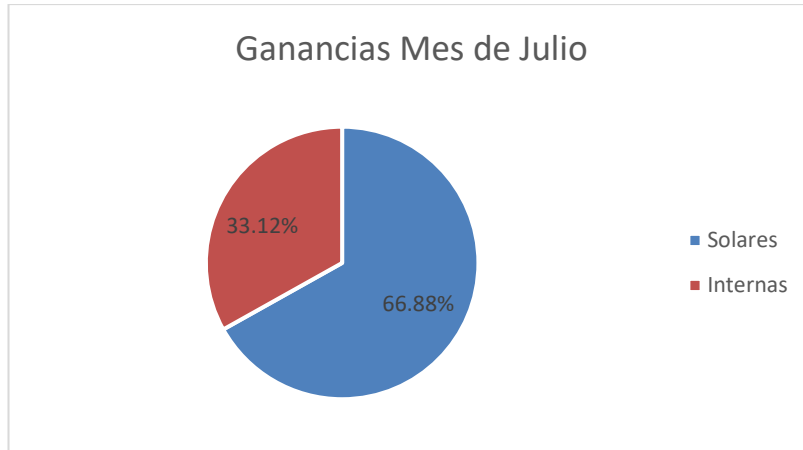


Figura 3-37. Ganancias de refrigeración en julio desglosadas en los diferentes parámetros

Al tratarse de un edificio residencial, las ganancias solares por norma general superan a las ganancias internas, ya que normalmente la ocupación de los residentes, fuente principal de ganancias internas, disminuye en verano.

### 3.4.2 Clima Rinconada

Pasamos a comentar los resultados de la demanda cambiando el clima al de la Rinconada, que se encuentra en las afueras de Sevilla. La característica más importante de este clima es la baja temperatura nocturna y diurna con respecto a los dos climas restantes.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	DICT	NOV	DIC	ANUAL
Dem_Cal	32.50	25.63	21.40	14.25	3.44	0.00	0.00	0.00	0.00	3.36	19.94	31.02	151.55
Dem_Ref	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.91	8.31	7.48	1.21	0.00	0.00	0.00	17.91
													169.46

Tabla 3–14. Demanda anual y mensual del edificio objeto, obtenida a través de la herramienta de pasadas

Podemos observar con respecto al clima de Sevilla que la demanda de refrigeración de julio se ha visto reducida, pero la demanda de calefacción de enero ha aumentado.

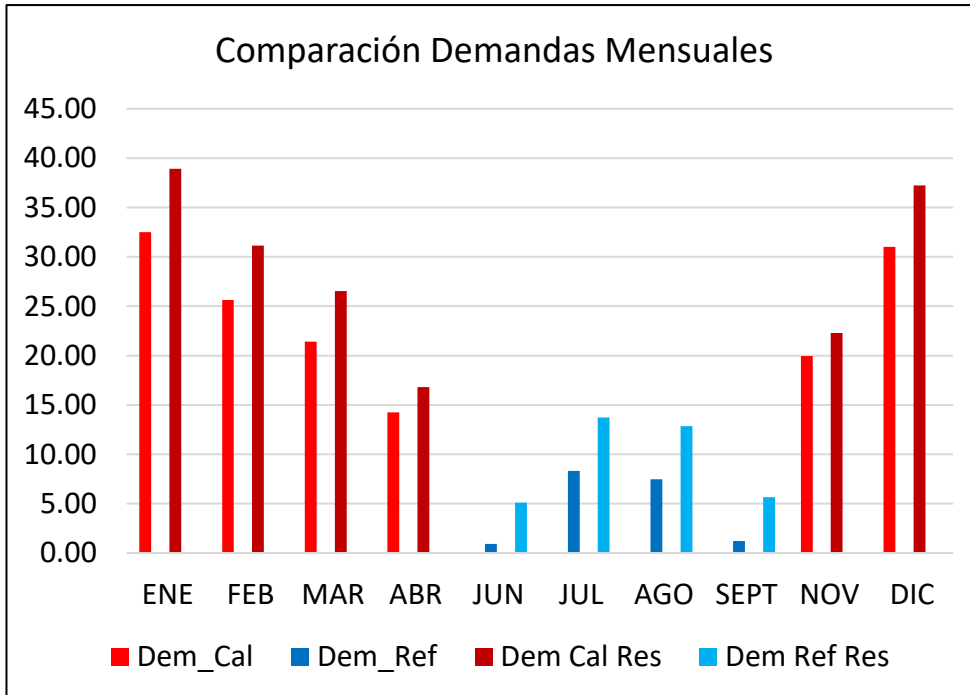


Figura 3-38. Comparación de demandas mensuales

En el clima de Sevilla las demandas de calefacción de mayo y octubre eran mínimas, mientras que ahora si son más parejas a las de la simulación de HULC. Al bajar las temperaturas, las demandas de calefacción han



aumentado como hemos explicado anteriormente.

### 3.4.2.1 Pérdidas y ganancias del mes de enero

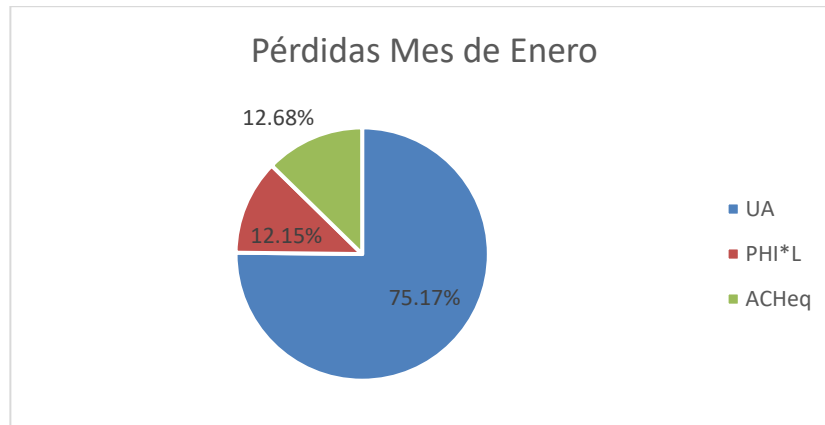


Figura 3-39. Pérdidas de calefacción en enero desglosadas en los diferentes parámetros

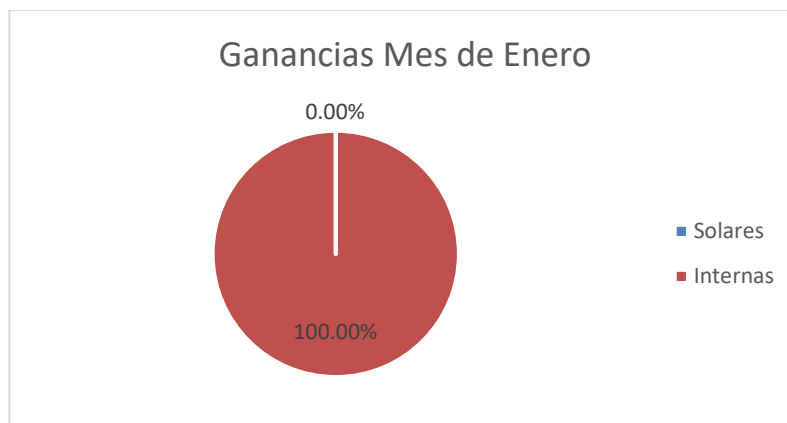


Figura 3-40. Ganancias de calefacción en enero desglosadas en los diferentes parámetros

En comparación con la demanda de calefacción, la gráfica prácticamente mantiene los mismos porcentajes, por lo que el comportamiento es el mismo que para el clima de Sevilla.

### 3.4.2.2 Pérdidas y ganancias del mes de julio

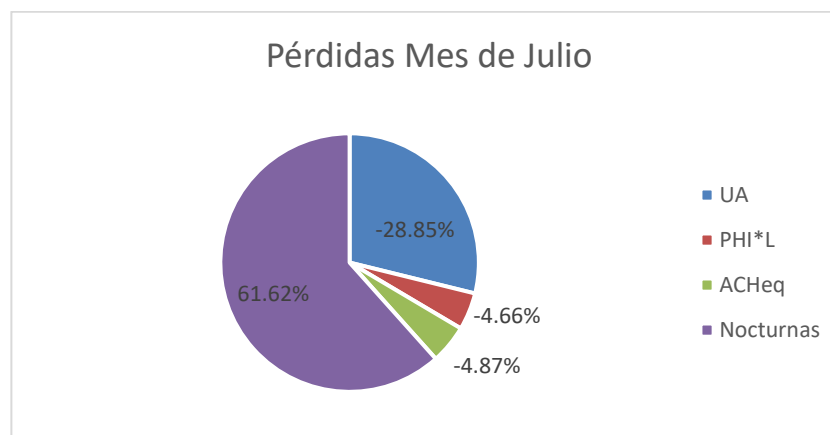


Figura 3-41. Pérdidas de refrigeración en julio desglosadas en los diferentes parámetros

La gran diferencia que podemos notar ahora con respecto a la demanda de refrigeración anterior es la baja participación de las pérdidas por transmisión, que ahora pasan a ser negativas. Esto se debe a la bajada de los grados día al cambiar el clima con el que trabajamos. Estas pérdidas ahora apenas tienen relevancia en la demanda, pasando a ser la ventilación nocturna el método más eficaz de erradicar esas ganancias que han

aumentado. A pesar de ello, este valor negativo puede decirnos que al bajar las temperaturas estas pérdidas por transmisión pasan a reducir la demanda de refrigeración, puesto que el edificio libera calor hacia el exterior.

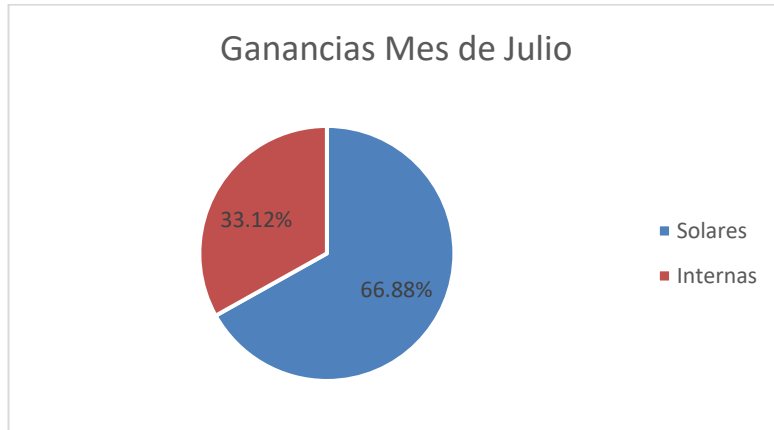


Figura 3-42. Ganancias de refrigeración en julio desglosadas en los diferentes parámetros

Este fenómeno de bajada de temperaturas conlleva a un aumento de la participación elevado de las ganancias solares e internas.

### 3.4.3 Clima Centro

Este clima, como hemos visto anteriormente, es aquel cuyas temperaturas son más altas durante el día.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Dem_Cal	26.88	19.57	14.56	6.52	1.32	0.00	0.00	0.00	0.00	1.59	12.73	25.19	108.35
Dem_Ref	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.92	17.87	16.80	8.69	0.00	0.00	0.00	52.28
													160.63

Tabla 3-15. Demanda anual y mensual del edificio objeto, obtenida a través de la herramienta de pasadas

Ya vemos como aquí ocurre el efecto que hemos comentado una línea atrás, al igual que en los demás edificios anteriormente simulados. Hay que recordar que, al tratarse de un edificio residencial, en los meses estivales ya no existe demanda de calefacción, al igual que en los meses invernales no aparecen demandas de refrigeración.

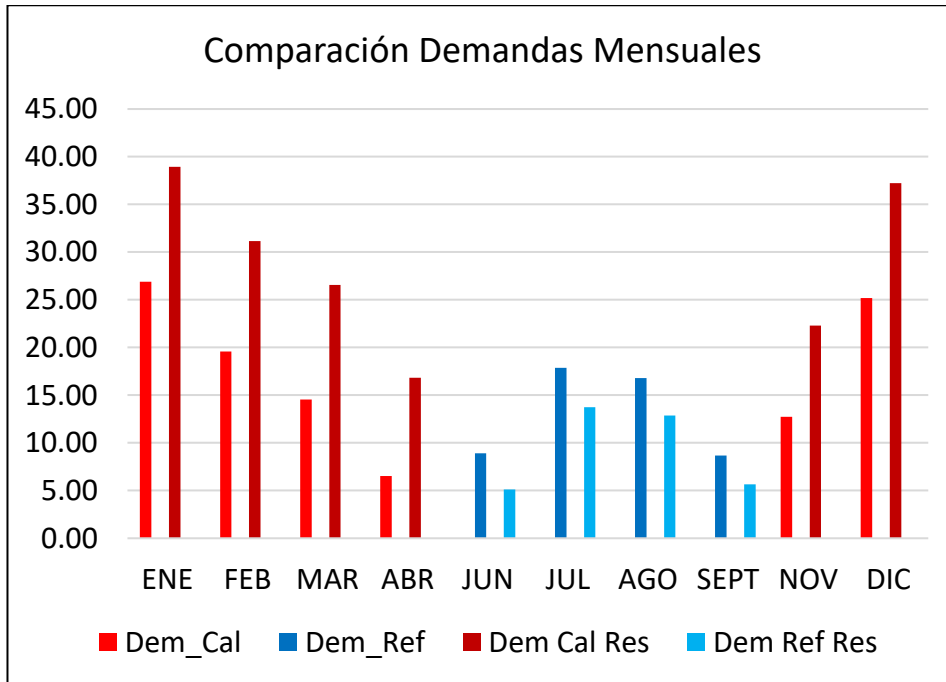


Figura 3-43. Comparación de demandas mensuales

### 3.4.3.1 Pérdidas y ganancias del mes de enero

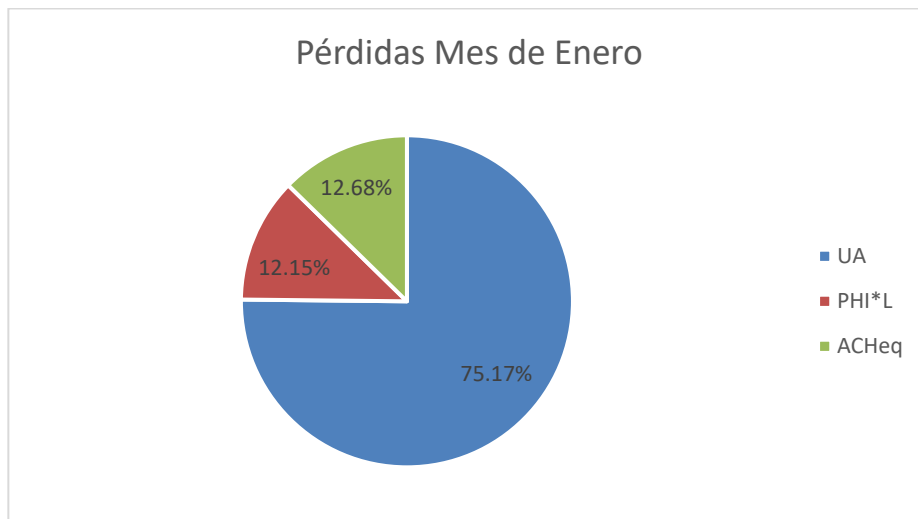


Figura 3-44. Pérdidas de calefacción en enero desglosadas en los diferentes parámetros

Como vemos, el comportamiento en invierno sigue siendo similar al de los anteriores climas, por lo que poco más podemos comentar acerca de esta demanda de calefacción que ya no hayamos repasado en los anteriores apartados.



Figura 3-45. Ganancias de calefacción en enero desglosadas en los diferentes parámetros

### 3.4.3.2 Pérdidas y ganancias del mes de julio

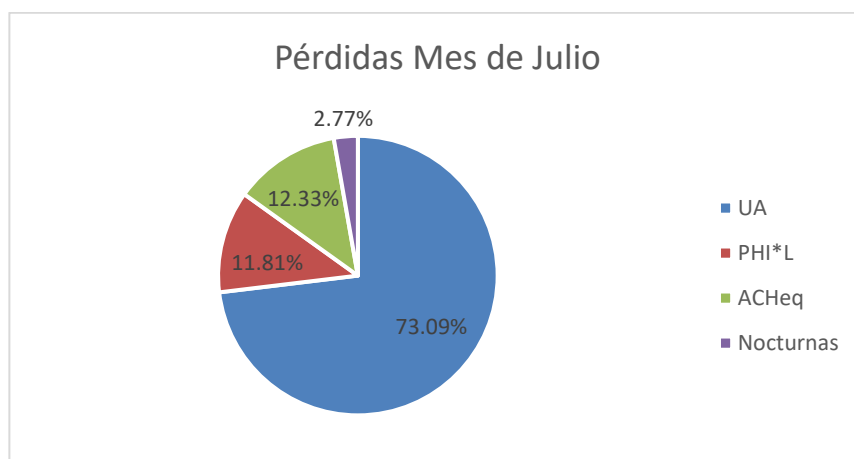


Figura 3-46. Pérdidas de refrigeración en julio desglosadas en los diferentes parámetros

Podemos ver que las pérdidas que pasan a ser más importantes son las pérdidas por transmisión. Podríamos pensar en esta situación en mejorar la calidad constructiva de los elementos del edificio para que no absorbiese tanta energía en forma de calor y así reducir la demanda de refrigeración, pero esto afectaría negativamente a la demanda de calefacción, la cual aumentaría de forma considerable puesto que el edificio sería incapaz de retener el calor en invierno. Observamos que las pérdidas nocturnas apenas intervienen en la demanda, y es normal, debido a que no tiene sentido abrir las ventanas en verano cuando la temperatura nocturna sobrepasa la temperatura que queremos lograr dentro del edificio, ya que esto lo que haría sería aumentarla más aún si cabe.

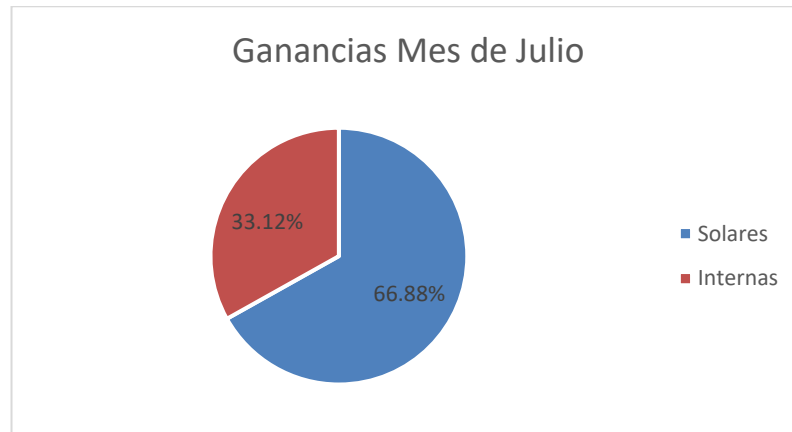


Figura 3-47. Ganancias de refrigeración en julio desglosadas en los diferentes parámetros

Para resumir, a pesar de que la demanda de calefacción se ve muy reducida, la demanda de refrigeración pasa a depender en gran parte de las pérdidas por transmisión, parámetro clave en la demanda de calefacción.

### 3.5 Grupo 4. Edificio Residencial Tipo 2. Calle Madre San Marcelo N.º 2.

Por último, vamos a analizar el edificio objeto del grupo 4, un edificio también residencial. Observaremos si su comportamiento se asemeja a alguno de los 3 edificios ya estudiados con anterioridad. En principio podemos destacar de este edificio su mala construcción de materiales, así que las pérdidas por transmisión de nuevo serán importantes.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Dem_Cal	27.12	20.90	16.78	9.37	4.55	0.00	0.00	0.00	0.00	2.58	14.58	25.84	121.72
Dem_Ref	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.78	12.29	11.58	5.09	0.00	0.00	0.00	33.75

Tabla 3-16. Demanda anual y mensual del edificio objeto, obtenida a través de la herramienta de pasadas

Una vez que realizamos la simulación, pasamos a calcular los coeficientes correctores para el clima de simulación de HULC y, por consiguiente, el cálculo de demandas para los 3 climas a través de la herramienta de pasadas.

#### 3.5.1 Clima Aeropuerto

Para el clima del aeropuerto (Sevilla,met), los coeficientes correctores tienen los siguientes valores.

Factores corrección	
a_inv	1.00
b_inv	0.00
TAU_inv	48.00
a_ver	0.58
b_ver	0.49
TAU_ver	48.00
Ef	0.40

Tabla 3-17. Coeficientes correctores de verano e invierno

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Dem_Cal	25.93	19.85	15.32	8.63	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	14.10	24.47	108.34
Dem_Ref	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.78	12.29	11.68	5.45	0.00	0.00	0.00	34.20
													142.54

Tabla 3–18. Demanda anual y mensual del edificio objeto, obtenida a través de la herramienta de pasadas

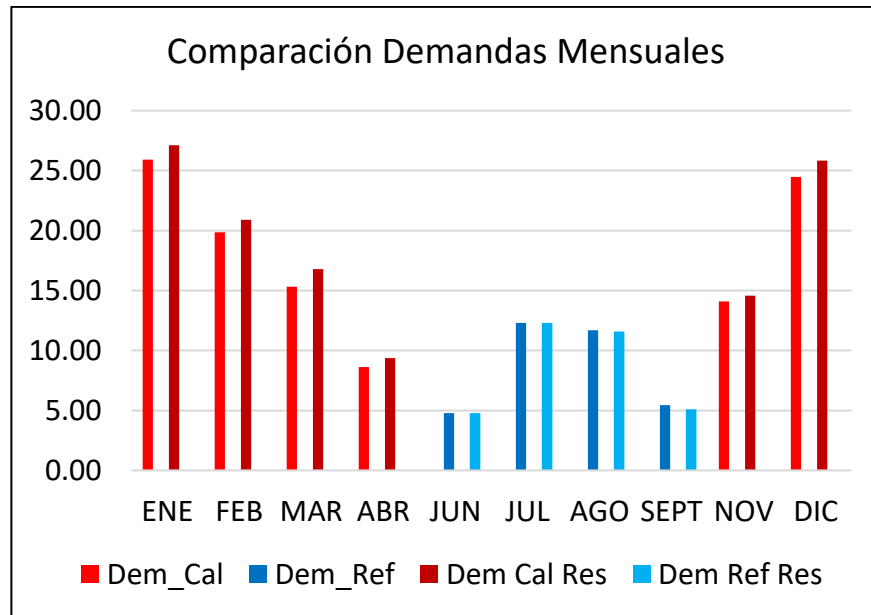


Figura 3-48. Comparación de demandas mensuales

Como se puede observar, es el mismo comportamiento a priori que el edificio residencial del grupo 3, siendo las demandas de calefacción de mayo y octubre prácticamente nulas.

### 3.5.1.1 Pérdidas y ganancias del mes de enero

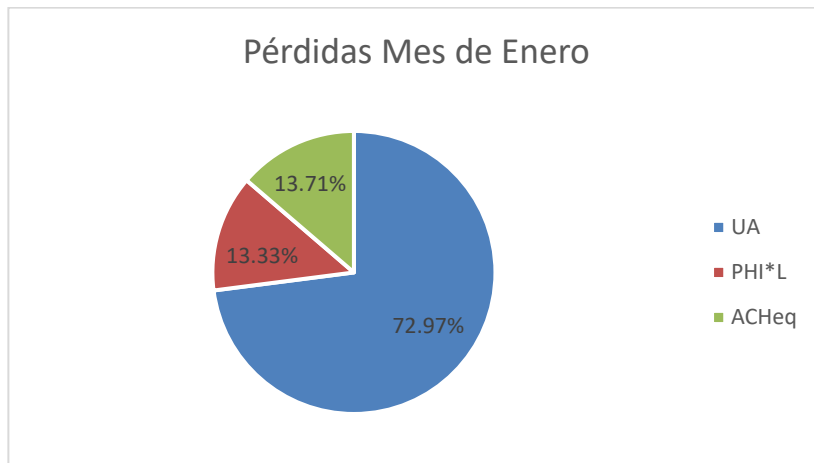


Figura 3-49. Pérdidas de calefacción en enero desglosadas en los diferentes parámetros

Este edificio tiene en invierno para este clima el mismo comportamiento que el edificio residencial del grupo 3, incluyendo el caso de que no interviniera en la demanda las ganancias solares debido al valor nulo del corrector de invierno “b”, corroborando que esas ganancias solares son despreciables.



Figura 3-50. Ganancias de calefacción en enero desglosadas en los diferentes parámetros

### 3.5.1.2 Pérdidas y ganancias del mes de julio

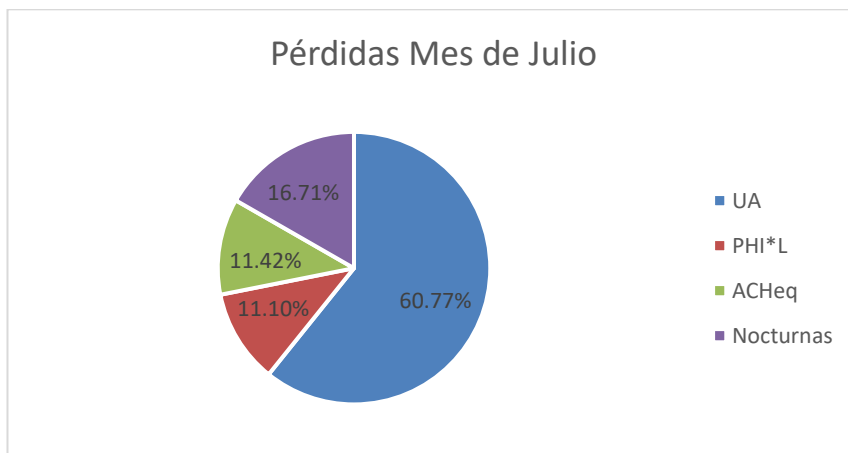


Figura 3-51. Pérdidas de refrigeración en julio desglosadas en los diferentes parámetros

Estos resultados nos recuerdan en cierta parte al comportamiento de las pérdidas de verano que ocurrían en el edificio del grupo 3, donde la mala calidad de los elementos constructivos hacía que se disparasen las pérdidas por transmisión, y provocando que las pérdidas por ventilación nocturna quedaran en un segundo plano.

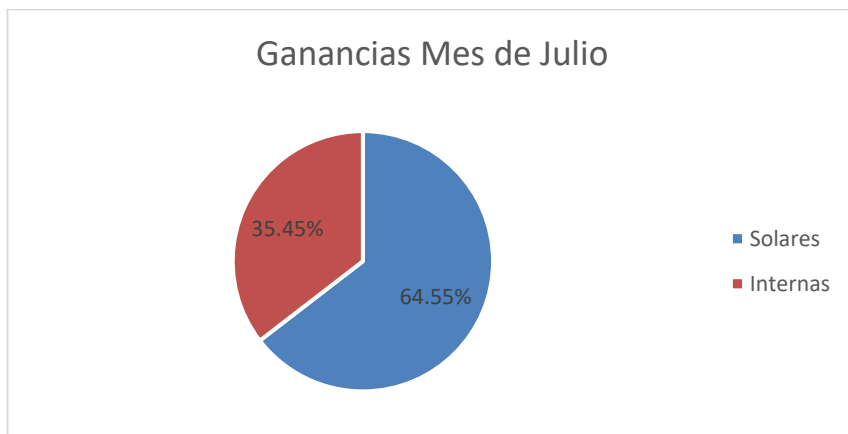


Figura 3-52. Ganancias de refrigeración en julio desglosadas en los diferentes parámetros

Al tratarse de un edificio residencial, las ganancias solares por norma general superan a las ganancias internas, como se explicó en el edificio del grupo 3.

### 3.5.2 Clima Rinconada

Pasamos a comentar los resultados de la demanda cambiando el clima al de la Rinconada, que se encuentra en las afueras de Sevilla. La característica más importante de este clima es la baja temperatura nocturna y diurna con respecto a los dos climas restantes.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Dem_Cal	28.34	22.30	18.52	12.21	2.70	0.00	0.00	0.00	0.00	2.63	17.25	27.03	130.93
Dem_Ref	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.21	7.71	7.26	1.82	0.00	0.00	0.00	17.99
													148.98

Tabla 3–19. Demanda anual y mensual del edificio objeto, obtenida a través de la herramienta de pasadas. Podemos observar con respecto al clima de Sevilla que la demanda de refrigeración de julio se ha visto reducida, pero la demanda de calefacción de enero ha aumentado.

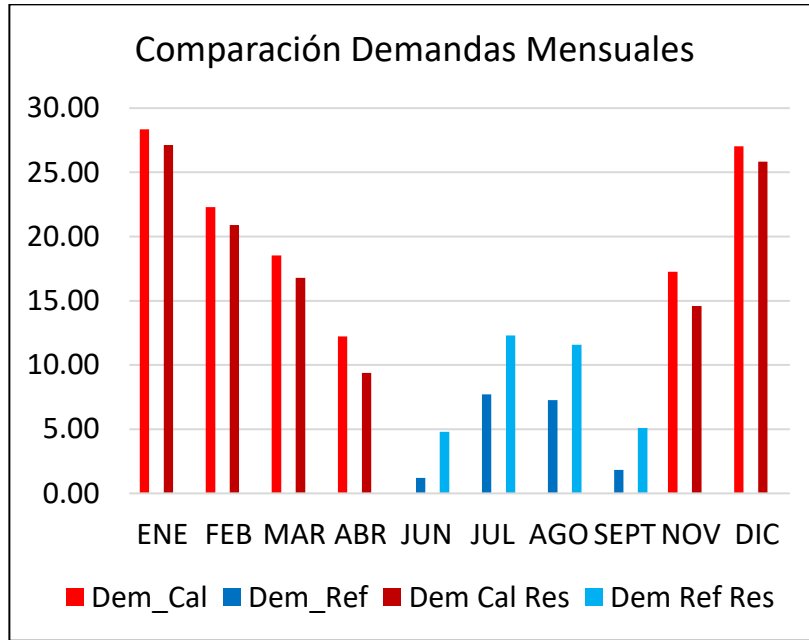


Figura 3-53. Comparación de demandas mensuales

En el clima de Sevilla las demandas de calefacción de mayo y octubre eran mínimas, mientras que ahora si son más parejas a las de la simulación de HULC, aunque no se representen en esta gráfica. Al bajar las temperaturas, las demandas de calefacción han aumentado como hemos explicado anteriormente.

#### 3.5.2.1 Pérdidas y ganancias del mes de enero

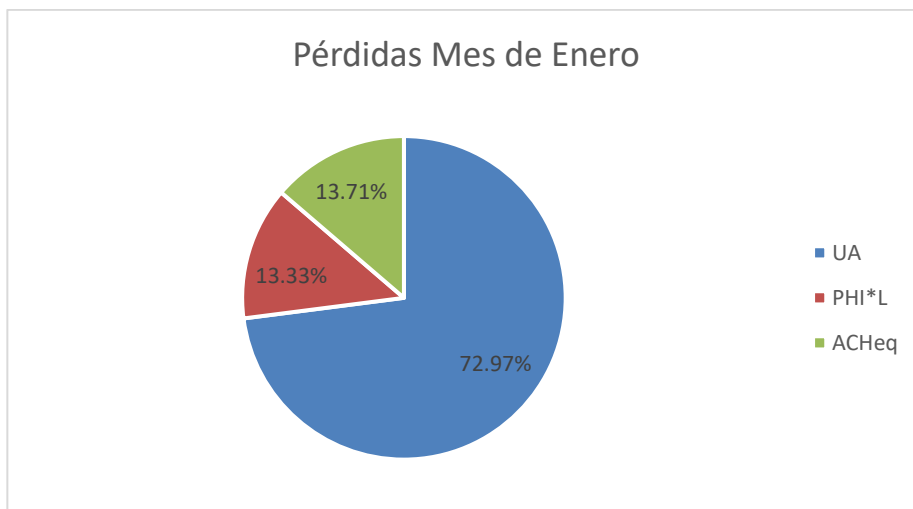


Figura 3-54. Pérdidas de calefacción en enero desglosadas en los diferentes parámetros

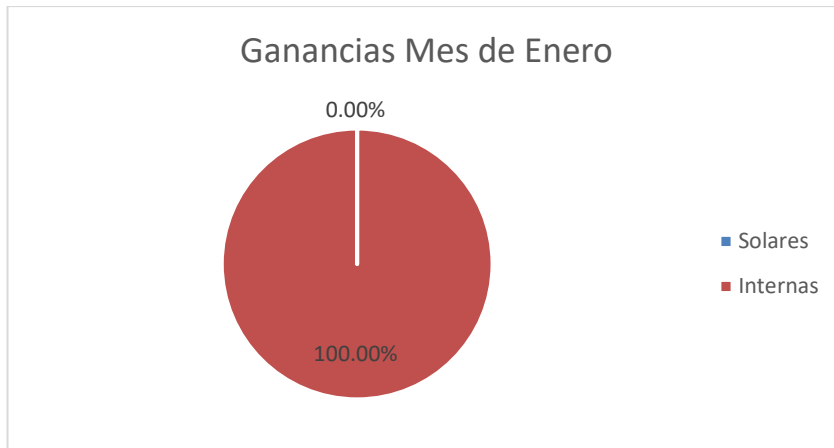


Figura 3-55. Ganancias de calefacción en enero desglosadas en los diferentes parámetros

En comparación con la demanda de calefacción, la gráfica prácticamente mantiene los mismos porcentajes, por lo que el comportamiento es el mismo que para el clima de Sevilla.

### 3.5.2.2 Pérdidas y ganancias del mes de julio

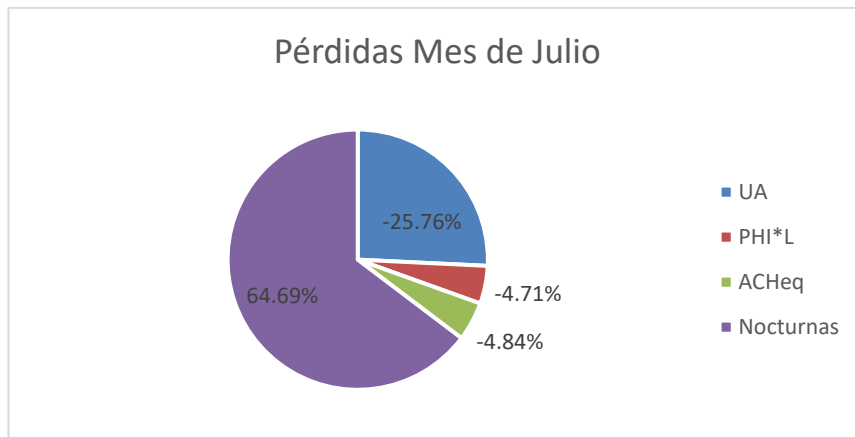


Figura 3-56. Pérdidas de refrigeración en julio desglosadas en los diferentes parámetros

El comportamiento de pérdidas y ganancias en verano es muy similar al edificio residencial del grupo 3, por lo que los motivos por los cuales aparecen estos porcentajes están ya explicados en ese punto.

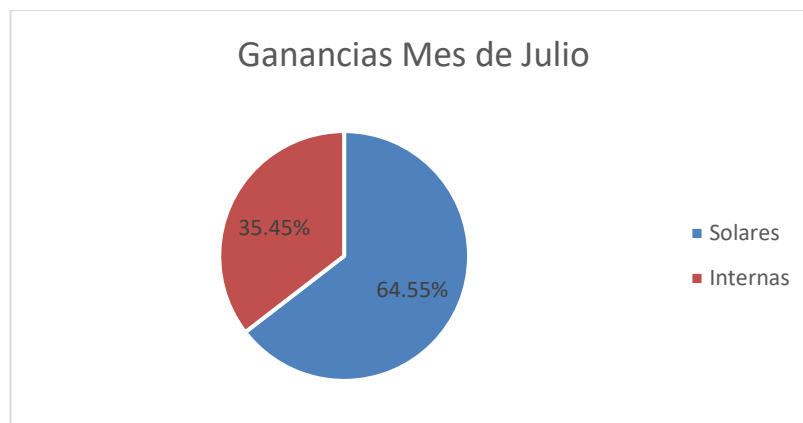


Figura 3-57. Ganancias de refrigeración en julio desglosadas en los diferentes parámetros

### 3.5.3 Clima Centro

Este clima, como hemos visto anteriormente, es aquel cuyas temperaturas son más altas durante el día.



	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Dem_Cal	23.37	16.94	12.47	5.38	4.61	0.00	0.00	0.00	0.00	3.53	10.86	21.87	99.04
Dem_Ref	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.04	15.84	15.19	8.23	0.00	0.00	0.00	47.30
													146.35

Tabla 3–20. Demanda anual y mensual del edificio objeto, obtenida a través de la herramienta de pasadas  
Ya vemos como aquí ocurre el efecto que hemos comentado una línea atrás, al igual que en los demás edificios anteriormente simulados. Hay que recordar que, al tratarse de un edificio residencial, en los meses estivales ya no existe demanda de calefacción, al igual que en los meses invernales no aparecen demandas de refrigeración.

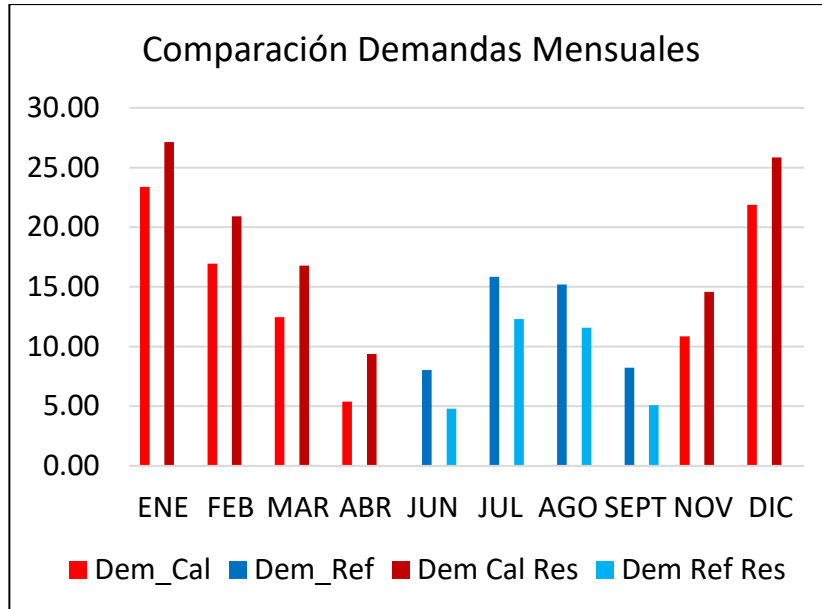


Figura 3-58. Comparación de demandas mensuales

### 3.5.3.1 Pérdidas y ganancias del mes de enero

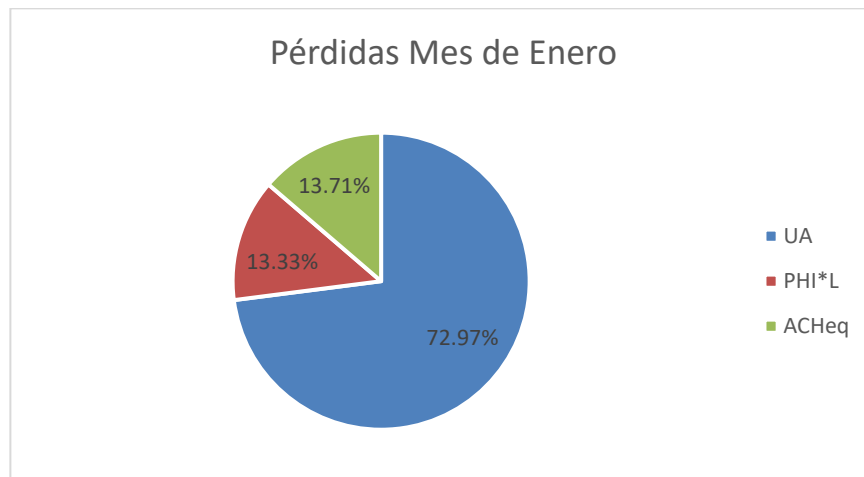


Figura 3-59. Pérdidas de calefacción en enero desglosadas en los diferentes parámetros

Como vemos, el comportamiento en invierno sigue siendo similar al de los anteriores climas, por lo que poco más podemos comentar acerca de esta demanda de calefacción que ya no hayamos repasado en los anteriores apartados, al igual que ocurría con el edificio residencial del grupo 3.



Figura 3-60. Ganancias de calefacción en enero desglosadas en los diferentes parámetros

3.5.3.2 Pérdidas y ganancias del mes de julio

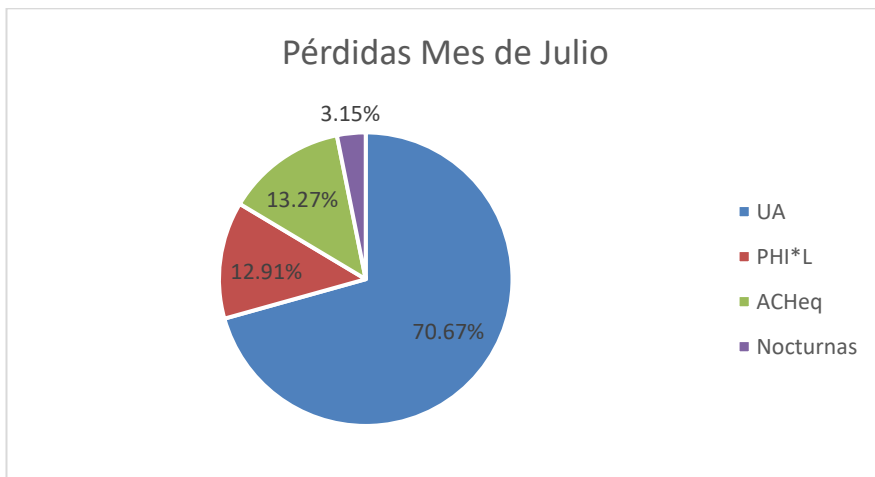


Figura 3-61. Pérdidas de refrigeración en julio desglosadas en los diferentes parámetros

Podemos ver que las pérdidas que pasan a ser más importantes son las pérdidas por transmisión. Podríamos pensar en esta situación en mejorar la calidad constructiva de los elementos del edificio para que no absorbiese tanta energía en forma de calor y así reducir la demanda de refrigeración, pero esto afectaría negativamente a la demanda de calefacción, la cual aumentaría de forma considerable puesto que el edificio sería incapaz de retener el calor en invierno. Observamos que las pérdidas nocturnas apenas intervienen en la demanda, y es normal, debido a que no tiene sentido abrir las ventanas en verano cuando la temperatura nocturna sobrepasa la temperatura que queremos lograr dentro del edificio, ya que esto lo que haría sería aumentarla más aún si cabe.

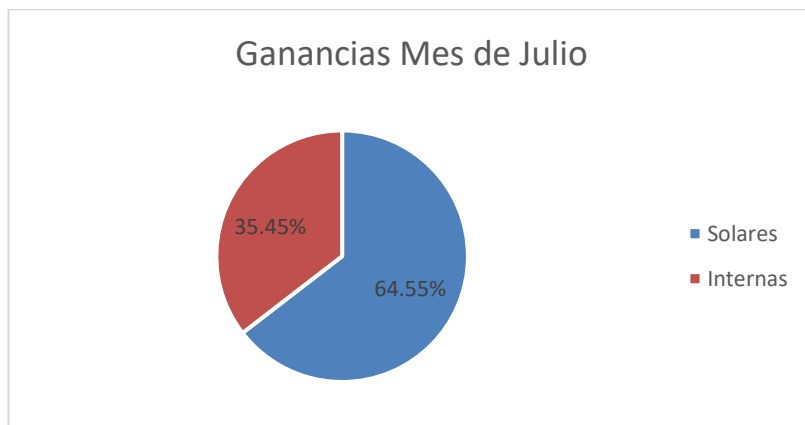


Figura 3-62. Ganancias de refrigeración en julio desglosadas en los diferentes parámetros

En resumen, el edificio residencial del grupo 4 se comporta de igual manera que el del grupo 3, por lo que podemos llegar a pensar que todos los edificios residenciales de la avenida tienen el mismo comportamiento.



# 4 ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL CONFORT TÉRMICO

---

*El trabajo tiene, entre otras ventajas, la de acortar los días y prolongar la vida.*

*- Denis Diderot -*

## 4.1 Evaluación del confort térmico en los edificios simulados

Una vez realizada la introducción sobre la definición y evaluación a través de 2 métodos sobre el confort térmico, pasaremos a evaluar este mismo en los 4 edificios ya estudiados anteriormente. Lo haremos siguiendo 2 pasos claros y concisos:

1. Primero simularemos el edificio objeto en free-floating (en ausencia de sistema de acondicionamiento) bajo los 3 climas diferentes de estudio. A partir de esa simulación, veremos cómo afecta cada clima a la temperatura interior del edificio en los meses de enero y julio, los meses donde la demanda del edificio tanto de calefacción como de refrigeración es mayor.
2. Al acabar el primer paso, a través de los métodos anteriormente comentados, elaboraremos una tabla que recoja el porcentaje de mejora con respecto a cada clima a partir de unas magnitudes de evaluación que se explicarán a continuación.

Tradicionalmente, existen diferentes magnitudes definidas a partir de los modelos anteriores y usadas para medir el grado de confort o desconfort de una vivienda. La primera de las magnitudes usadas de forma habitual es el número de horas que la vivienda o edificio se encuentra fuera de confort. Sin embargo, parece lógico pensar que no deben de pesar de igual forma aquellas horas con una diferencia de temperatura importante sobre la temperatura de confort, que aquellas horas en las que la variación sea mínima. Aunque parezca algo obvio, este razonamiento, que se apoya en el porcentaje de personas insatisfechas (PPI) en función de la diferencia de temperatura propuesto por el mismo Fanger, no ha sido expuesto por algunos autores hasta muy recientemente. Siguiendo este razonamiento, la magnitud para evaluar el grado de confort pasaría de ser un sumatorio de horas a un sumatorio de diferencias de temperaturas expresadas en grados-hora acumulados, o bien a un sumatorio de diferencias de temperaturas ponderadas por el porcentaje de personas insatisfechas. La diferencia entre usar una magnitud u otra es crítica ya que puede darse la circunstancia de que, en dos periodos de tiempo, de la misma estación, un edificio acumule el mismo número de horas en desconfort y no obstante la diferencia de temperaturas acumuladas en dichos periodos sea muy distinta. Las magnitudes de evaluación del confort térmico que usaremos en dicha tabla resumen son:

- Horas fuera de confort [h].

Número de horas durante las cuales la temperatura interior del edificio se aleja de la temperatura o banda de confort térmico.

- Grados-hora fuera de confort [ $^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$ ].

Sumatorio de las diferencias de temperatura que se produce en las horas a en las cuales la temperatura interior del edificio se aleja de la temperatura o banda de confort térmico.

- Grados-hora ponderados fuera de confort [ $^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}\cdot\text{ppi}$ ].

Sumatorio de las diferencias de temperatura que se produce en las horas a en las cuales la temperatura interior del edificio se aleja de la temperatura o banda de confort térmico ponderadas por el porcentaje de personas insatisfechas.

#### 4.1.1 Grupo 1. Edificio Comercial. Avenida Cruz Roja N.º 5.

##### 4.1.1.1 Simulación en free floating

Como ya se ha adelantado anteriormente, pasamos a estudiar las temperaturas interiores del edificio del grupo 1 hora a hora durante los meses de enero y julio.

##### 4.1.1.1.1 Mes de enero

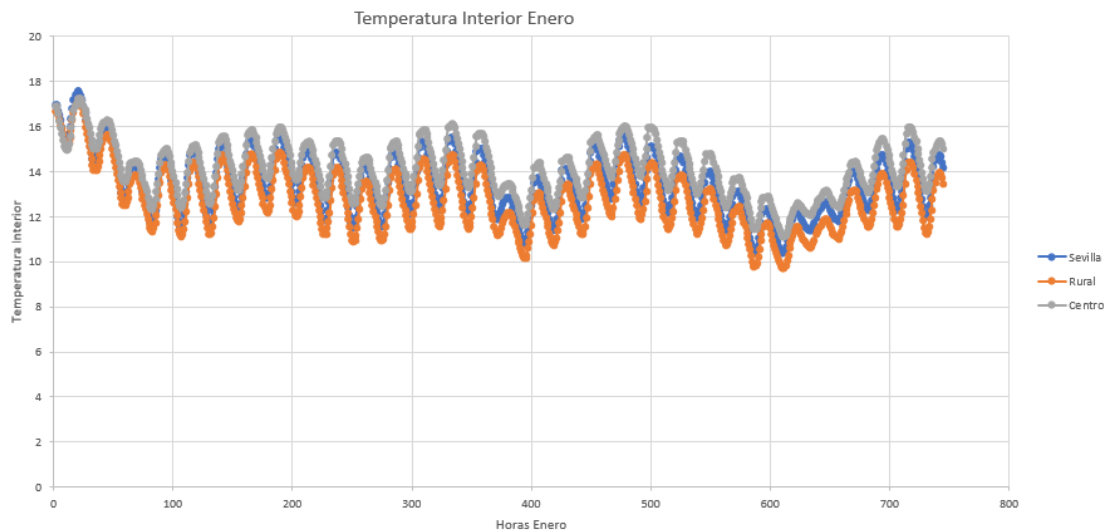


Figura 4-1. Temperatura interior del edificio en el mes de enero

Vemos como el resultado es el esperado, pues al ser el clima del centro es más cálido durante todo el año propicia a que las temperaturas interiores del edificio durante enero sean más altas, por lo que esto beneficia al edificio en el mes de calefacción. Aunque si tomamos los 20 °C como temperatura de confort en invierno, vemos que para todos los climas es necesario un acondicionamiento, pues ninguno llega a esa temperatura deseada sin la operación de dicho sistema. El clima en invierno más perjudicial para el edificio es claramente el Rural.met (Rinconada), cuya temperatura en comparación con el clima del centro llega a alcanzar una diferencia en ciertos intervalos de 1,5 °C. Esas diferencias de temperatura son las que intervienen directamente en la diferencia de demanda del edificio, tanto en verano como en invierno, por lo que esta gráfica resume muy bien el comportamiento anteriormente comentado de la demanda del edificio tanto para el mes de enero como el mes de julio.

#### 4.1.1.1.2 Mes de julio

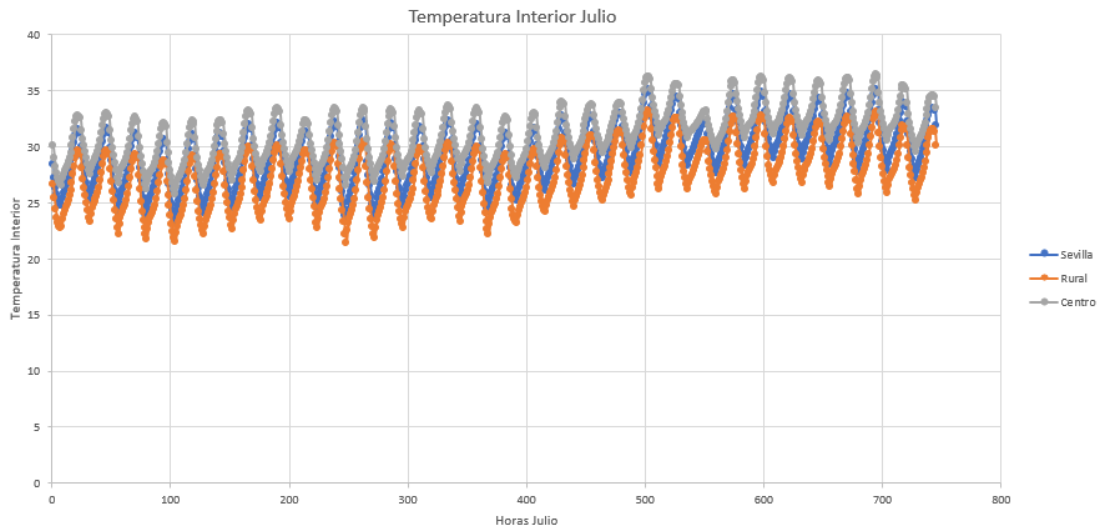


Figura 4-2. Temperatura interior del edificio en el mes de julio

El resultado es similar al del mes de enero, siendo las temperaturas interiores más elevadas en el clima del Centro.met. A diferencia del mes de enero, en verano conviene que las temperaturas interiores sean lo más bajas posibles, es por eso por lo que el clima rural es el óptimo para el edificio en esta época del año. La otra gran diferencia es que, si tomamos como temperatura de confort en verano la de 25°C, el edificio bajo el clima del centro no alcanza esa temperatura en free-floating, sin embargo, existen tramos tanto en la simulación del clima de Sevilla.met (Aeropuerto) como para el Rural.met (Rinconada) donde el edificio si alcanza dicha temperatura, por lo cual no será necesario en esas horas el acondicionamiento de este. Esta característica se observará mejor en el método de Fanger y el método adaptativo.

#### 4.1.1.2 Evaluación del confort térmico

A continuación, como hemos explicado anteriormente, vamos a elaborar una tabla con los resultados obtenidos a través de ambos procedimientos de evaluación de confort térmico para los 3 climas y así podremos observar tanto en invierno como en verano la mejora o en su caso el deterioro de los distintos ámbitos que engloban dichas evaluaciones.

##### 4.1.1.2.1 Período de calefacción

Tabla resumen	Rural.met			Centro.met		
	[°C h]	[°C h ppi]	[h]	[°C h]	[°C h ppi]	[h]
Diciembre	5778	5767	720	4671	4607	720
Enero	5384	5342	744	4366	4207	744
Febrero	4458	4308	672	3289	2865	672
Marzo	2898	2258	727	1639	849	664
<b>Invierno</b>	<b>18518</b>	<b>17675</b>	<b>2863</b>	<b>13965</b>	<b>12528</b>	<b>2824</b>

Tabla 4-1. Resumen de las magnitudes de evaluación de confort térmico en invierno

Vemos en este resumen tan ilustrativo como se repite el comportamiento anteriormente comentado en la

simulación del edificio en ausencia de sistema de acondicionamiento, pues las magnitudes de evaluación aumentan en el clima más frío y se reducen en el más cálido.

#### 4.1.1.2.2 Período de refrigeración

Tabla resumen	Rural.met			Centro.met		
	[°C h]	[°C h ppi]	[h]	[°C h]	[°C h ppi]	[h]
Junio	510	211	264	1970	1369	645
Julio	1878	1383	560	4373	4053	720
Agosto	2037	1489	613	4594	4392	720
Septiembre	524	174	307	2072	1344	684
Verano	<b>4949</b>	<b>3257</b>	<b>1744</b>	<b>13009</b>	<b>11158</b>	<b>2769</b>

Tabla 4-2. Resumen de las magnitudes de evaluación de confort térmico en verano

En cambio, como vemos en este resumen, el clima Rural.met es el que beneficia al edificio en cuanto a la demanda de refrigeración se refiere, puesto que las magnitudes relativas disminuyen su valor en gran medida. Mientras tanto, el clima del Centro.met hace que estas magnitudes se vean aumentadas, llegando a perjudicar al edificio en la estación de verano.

### 4.1.2 Grupo 2. Edificio Otros Usos. Avenida Cruz Roja N.º 1 A.

El caso de este edificio es similar al de los grupos que pasaremos a analizar a continuación, pues dicho edificio posee varios espacios. Para este tipo de edificios, analizaremos la planta baja, es decir, el espacio 1.

#### 4.1.2.1 Simulación en free-floating

Estudiamos las temperaturas interiores del edificio del grupo 1 hora a hora durante los meses de enero y julio.

##### 4.1.2.1.1 Mes de enero

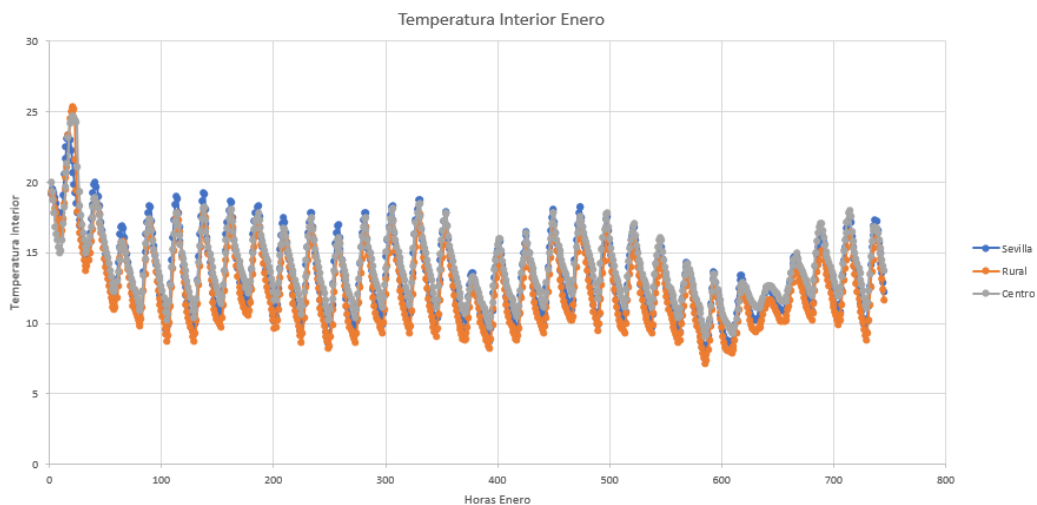


Figura 4-3. Temperatura interior del edificio en el mes de enero



#### 4.1.2.1.2 Mes de julio

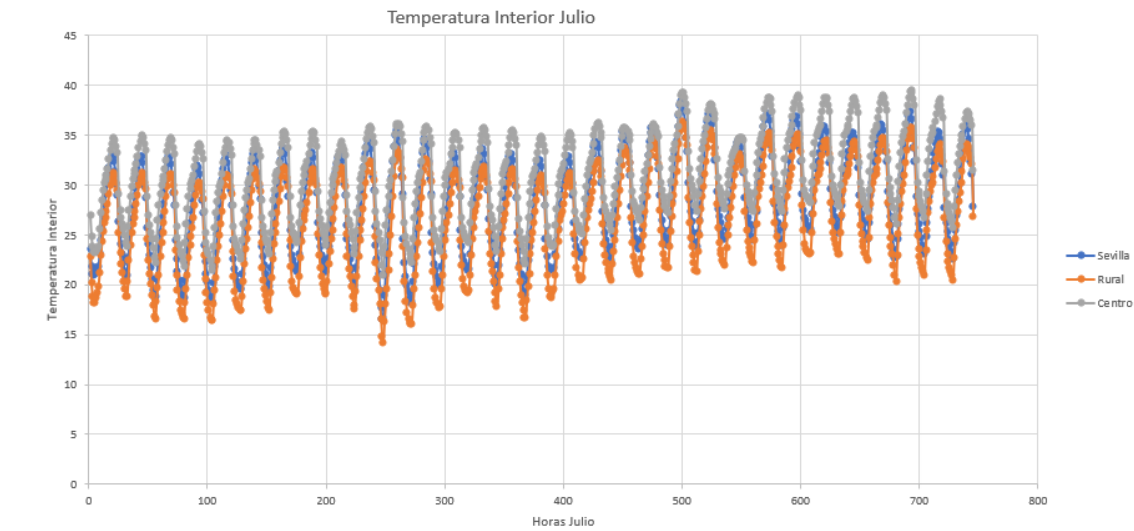


Figura 4-4. Temperatura interior del edificio en el mes de julio

El resultado es similar al del edificio del grupo 1. Además, como pasaba en el mes de enero y con respecto al edificio comercial del grupo 1, se registran temperaturas más altas.

#### 4.1.2.2 Evaluación del confort térmico

Procedamos a elaborar la tabla con los resultados obtenidos a través de ambos procedimientos de evaluación de confort térmico para los 3 climas.

##### 4.1.2.2.1 Período de calefacción

Tabla resumen	Rural.met			Centro.met		
	[°C h]	[°C h ppi]	[h]	[°C h]	[°C h ppi]	[h]
Diciembre	6012	5939	720	4899	4754	718
Enero	5555	5394	735	4507	4241	732
Febrero	4726	4513	670	3524	3197	660
Marzo	3439	3100	666	2173	1690	596
<b>Invierno</b>	<b>19732</b>	<b>18946</b>	<b>2791</b>	<b>15103</b>	<b>13882</b>	<b>2706</b>

Tabla 4-3. Resumen de las magnitudes de evaluación de confort térmico en invierno

Vemos en este resumen tan ilustrativo como se repite el comportamiento anteriormente comentado en la simulación del edificio en ausencia de sistema de acondicionamiento. El porcentaje de mejora del clima Rural.met es negativo debido a que este clima hace que las temperaturas interiores del edificio sean menores, propiciando al aumento de la demanda de calefacción del edificio durante el invierno. Ciertamente este comportamiento es el mismo que el del edificio del grupo 1.

## 4.1.2.2.2 Período de refrigeración

Tabla resumen	Rural.met			Centro.met		
	[°C h]	[°C h ppi]	[h]	[°C h]	[°C h ppi]	[h]
Junio	940	650	301	2276	1992	482
Julio	2182	1993	420	4414	4164	635
Agosto	2345	2131	434	4830	4559	675
Septiembre	1040	720	322	2459	2173	543
<b>Verano</b>	<b>6507</b>	<b>5494</b>	<b>1477</b>	<b>13979</b>	<b>12888</b>	<b>2335</b>

Tabla 4-4. Resumen de las magnitudes de evaluación de confort térmico en verano

El comportamiento es el esperado, al igual que el edificio del grupo 1. Aquí podemos ver como esta vez los porcentajes de mejora del clima Rural.met con respecto a las del edificio de antes son mucho menores, manteniéndose en un valor elevado el porcentaje contrario del clima de Centro.met.

## 4.1.3 Grupo 3. Edificio Residencial Tipo 1. Avenida Cruz Roja N.º 5.

## 4.1.3.1 Simulación free-floating

## 4.1.3.1.1 Mes de enero

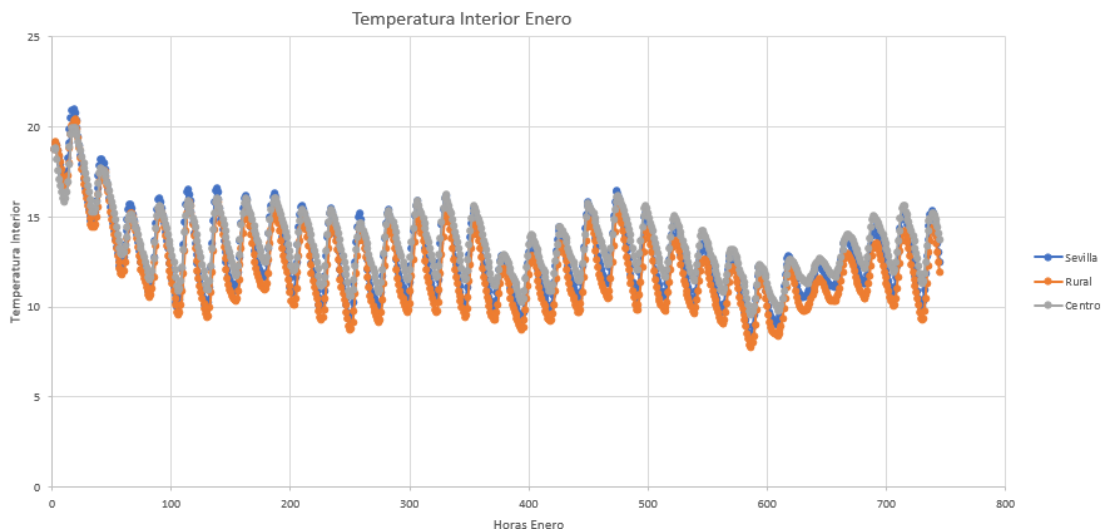


Figura 4-5. Temperatura interior del edificio en el mes de enero

## 4.1.3.1.2 Mes de julio

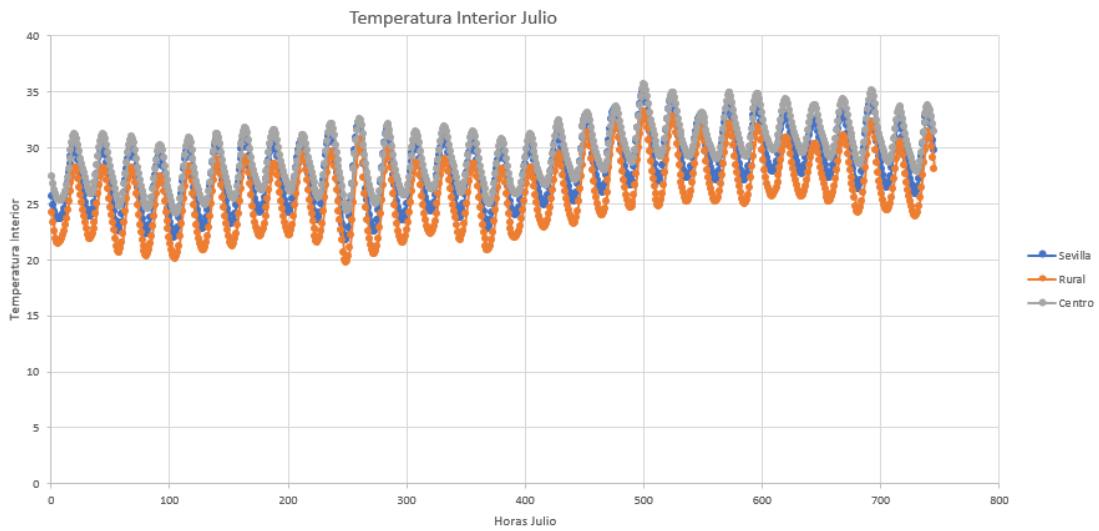


Figura 4-6. Temperatura interior del edificio en el mes de julio

El comportamiento con respecto a las temperaturas interiores del edificio es idéntico a los demás edificios.

## 4.1.3.2 Evaluación del confort térmico

## 4.1.3.2.1 Período de calefacción

Tabla resumen	Rural.met			Centro.met		
	[°C h]	[°C h ppi]	[h]	[°C h]	[°C h ppi]	[h]
Diciembre	6303	6285	720	5180	5129	720
Enero	5860	5794	740	4830	4699	744
Febrero	5218	5122	672	4009	3726	672
Marzo	4104	3735	738	2773	2176	710
Invierno	<b>21485</b>	<b>20936</b>	<b>2870</b>	<b>16792</b>	<b>15730</b>	<b>2846</b>

Tabla 4-5. Resumen de las magnitudes de evaluación de confort térmico en invierno

## 4.1.3.2.2 Período de refrigeración

Tabla resumen	Rural.met			Centro.met		
	[°C h]	[°C h ppi]	[h]	[°C h]	[°C h ppi]	[h]
Junio	271	68	201	1106	652	453
Julio	1327	910	445	3211	2794	699
Agosto	1432	1037	478	3471	3031	696
Septiembre	432	140	257	1398	813	577
Verano	<b>3462</b>	<b>2155</b>	<b>1381</b>	<b>9186</b>	<b>7290</b>	<b>2425</b>

Tabla 4-6. Resumen de las magnitudes de evaluación de confort térmico en verano

Los resultados para este edificio, el cual debemos recordar que se trata del mismo bloque de pisos al que pertenece el primer edificio del bloque 1, son bastante similares a dicho edificio.

## 4.1.4 Grupo 4. Edificio Residencial Tipo 2. Calle Madre San Marcelo N.º 2.

## 4.1.4.1 Simulación en free-floating

## 4.1.4.1.1 Mes de enero

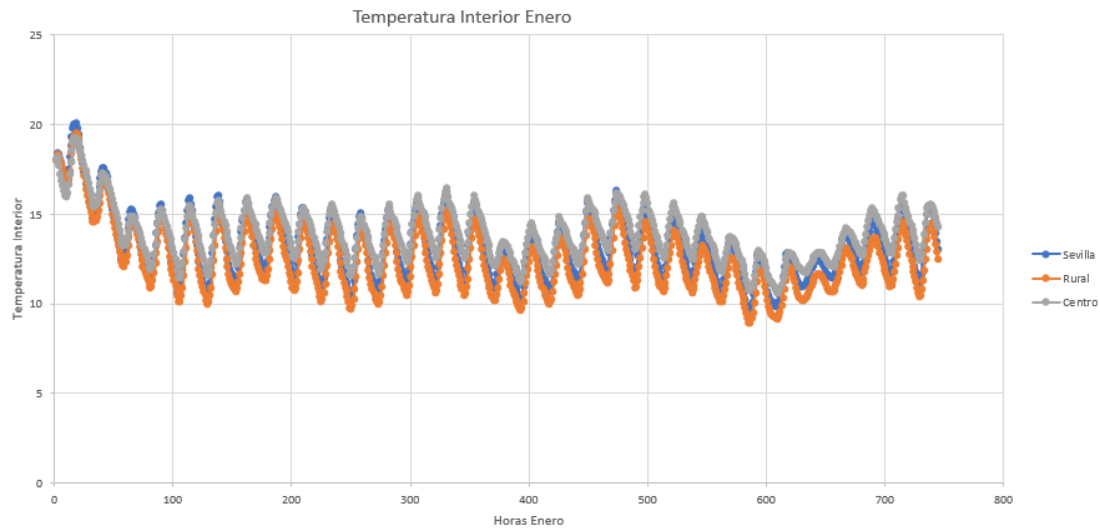


Figura 4-7. Temperatura interior del edificio en el mes de enero

## 4.1.4.1.2 Mes de julio

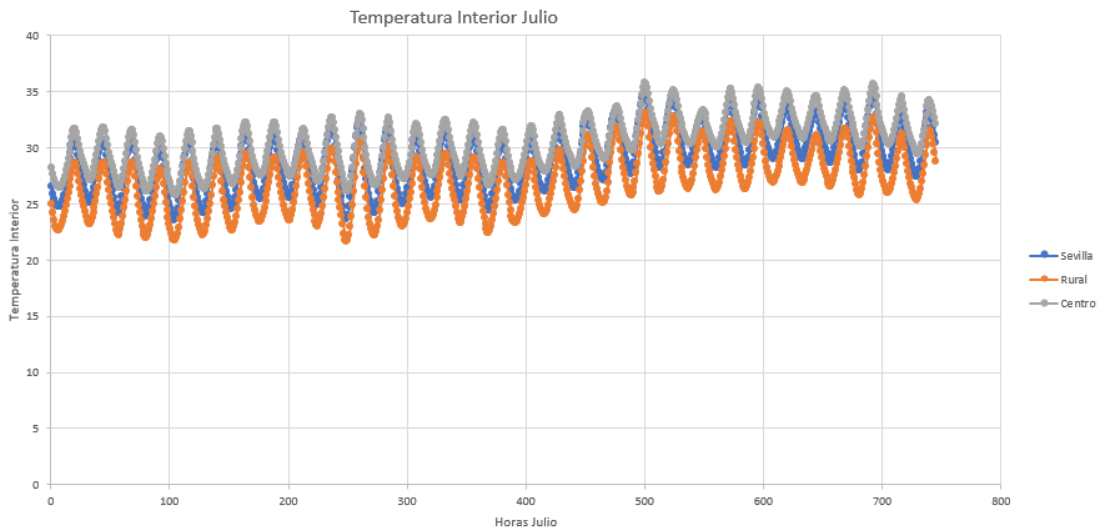


Figura 4-8. Temperatura interior del edificio en el mes de julio

El comportamiento con respecto a las temperaturas interiores del edificio es idéntico a los demás edificios.

## 4.1.4.2 Evaluación del confort térmico

## 4.1.4.2.1 Período de calefacción

Tabla resumen	Rural.met			Centro.met		
	[°C h]	[°C h ppi]	[h]	[°C h]	[°C h ppi]	[h]
Diciembre	5939	5921	720	4802	4733	720
Enero	5599	5540	744	4544	4398	744
Febrero	4742	4609	672	3522	3150	672
Marzo	3473	3000	732	2135	1414	690
<b>Invierno</b>	<b>19753</b>	<b>19070</b>	<b>2868</b>	<b>15003</b>	<b>13695</b>	<b>2826</b>

Tabla 4-7. Resumen de las magnitudes de evaluación de confort térmico en invierno

## 4.1.4.2.2 Período de refrigeración

Tabla resumen	Rural.met			Centro.met		
	[°C h]	[°C h ppi]	[h]	[°C h]	[°C h ppi]	[h]
Junio	364	108	234	1521	938	593
Julio	1647	1145	519	3854	3455	720
Agosto	1823	1296	585	4140	3850	720
Septiembre	516	170	311	1859	1112	683
Verano	<b>4350</b>	<b>2719</b>	<b>1649</b>	<b>11374</b>	<b>9355</b>	<b>2716</b>

Tabla 4–8. Resumen de las magnitudes de evaluación de confort térmico en verano

El comportamiento es el esperado, al igual que los demás edificios.

## 4.1.5 Comparación de los 4 edificios

## 4.1.5.1 Calefacción

Tabla resumen	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
	[°C h ppi]	[°C h ppi]	[°C h ppi]	[°C h ppi]
Rural	17675	18946	20936	20936
Centro	12528	15103	15730	15730
% Aumento Confort térmico	<b>29,12</b>	<b>20,28</b>	<b>24,87</b>	<b>24,87</b>

Tabla 4–9. Resumen de las magnitudes de evaluación de confort térmico en invierno

A través de la anterior planta podemos ver como en los edificios terciarios el cambio a un clima más frío afecta en mayor medida a la demanda de calefacción que en edificios residenciales. Simplemente hay que ver el ejemplo entre el grupo 1 y el grupo 3, donde los edificios simulados pertenecen al mismo bloque de edificios, solo que cambia el uso del edificio. Esto se debe entre otras muchas cosas al aumento de las ganancias internas en edificios terciarios, pero vimos anteriormente que las pérdidas por transmisión son las que dominan la demanda de calefacción, por lo que una estrategia para reducir estas magnitudes podría ser la reducción de pérdidas por transmisión.

#### 4.1.5.2 Refrigeración

Tabla resumen	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
	[°C h ppi]	[°C h ppi]	[°C h ppi]	[°C h ppi]
Rural	3257	5494	2155	2155
Centro	11158	12888	7290	7290
% Reducción Confort térmico	<b>70,81</b>	<b>57,37</b>	<b>70,44</b>	<b>70,44</b>

Tabla 4–10. Resumen de las magnitudes de evaluación de confort térmico en verano

En el caso de la demanda de refrigeración, afecta de manera similar, pues vemos como en el edificio no residencial sanitario del grupo 2, el confort térmico se ha visto reducido en menor medida. A pesar de ello, podemos sacar la conclusión de que afecta drásticamente al edificio el cambiar a un clima más cálido, pues aunque aumente el confort en invierno, se reduce a más de la mitad en verano, simplemente hay que observar los porcentajes de reducción y aumento.





## 5 CONCLUSIONES

---

*Nadie puede llegar a la cima armado sólo de talento.  
Dios da el talento; el trabajo transforma el talento en  
genio.*

*- Anna Pavlova -*

**D**espués de haber realizado todo el análisis de los datos obtenidos para la demanda y confort térmico para su posterior evaluación, podemos sacar muchas conclusiones de este estudio, además de resolver planteamientos que se han establecido en la evaluación al desgranar los diferentes conceptos acerca de la isla de calor y la demanda energética de un edificio.

Como se ha podido comprobar anteriormente en el estudio realizado, no todas las consecuencias de la UHI son desastrosas, sino que existe una beneficiosa y es que la demanda de calefacción de los edificios se reduce. Sin embargo, y pensando un poco más en el consumo del edificio, realmente es un comportamiento que a priori parece una buena noticia, pero es una buena noticia dentro de un contexto realmente preocupante.

En términos de consumo del edificio, a pesar de que la demanda de calefacción se reduzca, el consumo de refrigeración aumenta mucho más de lo que ahorramos bajando el consumo de calefacción, porque la demanda de refrigeración crece en mayor medida. Si esto no fuera poco, el clima tendería en todos los núcleos urbanos a ser un clima cálido, provocando un malestar térmico en la población debido a que el confort térmico de las personas que vivan en dichos núcleos sea mínimo, derivando en problemas de salud, como se ha visto que ocurre en varios países.

No obstante, si esto ocurre en lugares donde el clima durante todo el año sea frío, ayudaría a suavizar las temperaturas a costa de urbanizar gran parte de las zonas del centro de cada país. En adición, la urbanización conlleva a aumentar la densidad de población del país en esa zona y por supuesto los gases perjudiciales para el medio ambiente que provienen de las industrias y transporte que se produce día a día, agravando más y más los efectos de la UHI y del efecto invernadero.

Curiosamente, y centrándonos ahora en el confort térmico, vemos como un cambio de clima, ya sea más cálido o frío, beneficia más a los edificios residenciales en verano que en invierno, mientras que ocurre todo lo contrario en los edificios terciarios y no residenciales. Este efecto nos lleva a la primera conclusión de que a pesar de que estemos en el mismo edificio, el uso entre una planta y otra afecta de manera clara a la demanda y confort térmico a lo largo del año, por lo que sería erróneo pensar que el mismo bloque de edificio entero tendría la misma demanda y confort térmico en todas sus plantas a pesar de que el uso sea distinto. La segunda es que el confort térmico en verano es mayor cuando la actividad de las personas en verano es menor, debido a que normalmente en verano las personas ocupan menos su hogar.

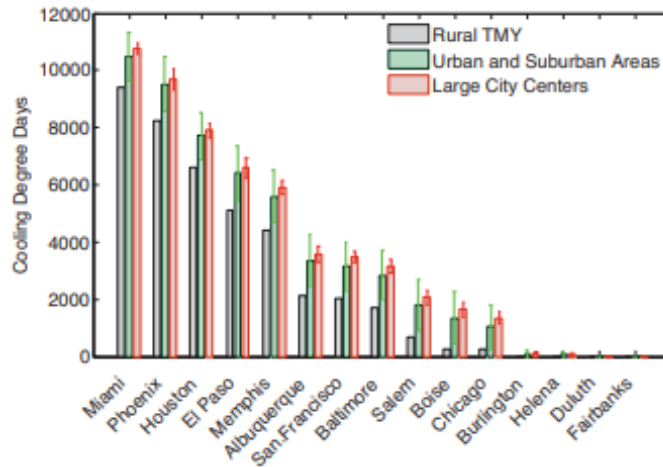


Figura 5-1. Incremento de los grados día nocturnos debido al efecto de la UHI en varias ciudades de EE. UU

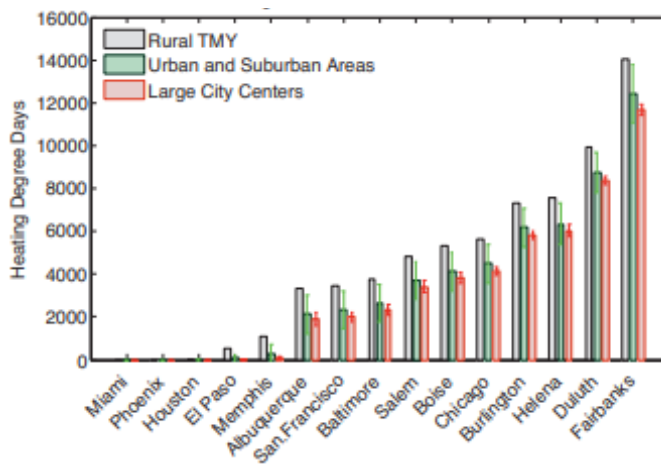


Figura 5-2. Descenso de los grados día diarios debido al efecto de la UHI en varias ciudades de EE. UU

En estas gráficas referentes a estudios producidos en Estados Unidos, podemos observar que efectivamente el incremento de los grados día nocturnos es más pronunciado que los grados día diarios. [6]

Por último, pasemos ahora a analizar los efectos de la UHI respecto al clima y sobre todo los combustibles fósiles que usamos para generar energía. La extracción, entrega y uso de recursos de combustibles fósiles son vulnerables al clima y los cambios en el clima, particularmente en el contexto de otros cambios a escala global. Aunque los recursos provenientes de combustibles fósiles en sí mismos no se ven afectados por el clima, nuestra capacidad para extraer, transportar y utilizar estos recursos puede verse significativamente afectada. El clima puede influir directamente en la demanda de energía fósil a través de cambios en la temperatura ambiente. Los cambios de temperatura en el Ártico pueden afectar la accesibilidad de estos recursos.

Una transición a un sistema energético con bajas emisiones de carbono puede cambiar la dinámica a nivel del sistema de formas imprevistas. Estos cambios pueden ocurrir simultáneamente con otros cambios a escala global, como el crecimiento de la población y la migración. El desarrollo de soluciones a estos problemas requerirá una mayor comprensión de los sistemas técnicos, sociales, ambientales y económicos que interactúan con la zona urbana a estudiar. Pero existe el problema de que para utilizar fuentes de energía renovables es necesaria una gran instalación de estructuras, llegando a urbanizar partes de la zona urbana que anteriormente eran zonas verdes. Bajo mi punto de vista, esto podría llegar a pasar, pero deberíamos utilizar las tecnologías de la periferia ya instaladas que nos permitan renunciar a los ciclos combinados y la utilización de combustibles fósiles, ya sean las tecnologías como parques eólicos, sistemas de energía solar fotovoltaica o energías nucleares, energía limpia y segura si se controla de manera adecuada.

Aunque ahora mismo nos encontremos en una situación difícil debido a la pandemia que estamos viviendo durante este último año, debemos de concienciar a la gente de que este efecto llega a ser dañino para las personas, y llegara un momento en el que se vuelva insostenible, hasta el punto en el que no podremos revertir

la situación. [7]

El problema de la sociedad es que tendemos a ignorar los artículos científicos y estudios que se realizan durante muchos años que prueban que este efecto es real y no es nada inventado, debido a que el efecto más dañino e irreversible aún no ha llegado ni afecta de manera directa. El momento de luchar contra este efecto y, sobre todo, contra el cambio climático es ahora.

Para terminar, es importante que los organismos que se encarguen de controlar las características de los edificios de la zona urbana y estudiar e implantar las medidas necesarias en la zona urbana para extenuar los efectos adversos provocados por la UHI realicen un trabajo acorde a alcanzar el bien de la población, estudiando las posibles modificaciones que se puedan ejecutar en el terreno para que el gobierno de la zona donde se quiera implantar los cambios dé el visto bueno. No está de más recordar esta afirmación, aunque sea algo lógico, ya que siempre vemos como los organismos con el paso de los años se centran en otros quehaceres que son menos relevantes que el problema real del efecto de la UHI.



En este Anexo complementario, vamos a desarrollar los pasos que se deben seguir para la obtención de los datos que se extraen al simular el modelo de un edificio en la Herramienta HULC.

## 5.1 Obtención de las demandas mensuales en la herramienta HULC

Primero nos centraremos en la obtención de las demandas mensuales.

### 5.1.1 Materiales constructivos

Como ya explicamos anteriormente, lo primero antes de empezar con el modelado del edificio es la obtención de los materiales constructivos. Para ello, instalamos la herramienta CE3, donde tiene una opción en el modelado, tras seleccionar previamente el año de construcción en los datos generales del modelo, llamada “*Definición Constructiva*”. Dentro de esa opción, se encuentran todas las calidades constructivas de los elementos que forman el edificio dentro de la herramienta, como puedan ser el suelo, la cubierta, las particiones interiores y los distintos cerramientos de este.

Figura 0-1. Selección en Datos Generales del año de construcción, dentro de la herramienta CE3

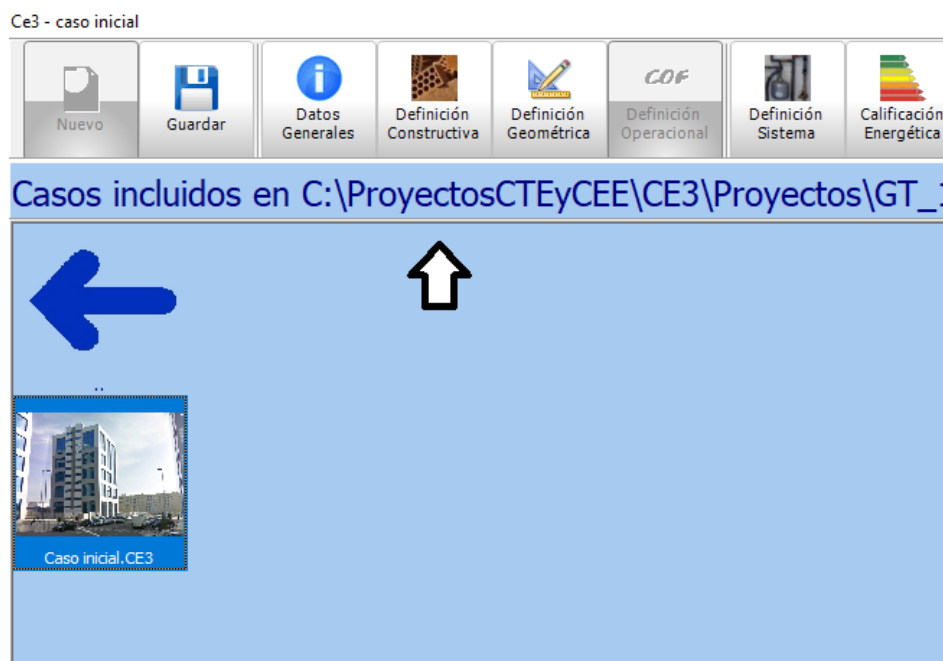


Figura 0-2. Pestaña “*Definición Constructiva*” dentro de la herramienta CE3

Como observamos en la próxima imagen, se encuentran todos los elementos constructivos de todas las partes que componen el edificio, por lo que para modelar en la herramienta HULC los edificios objeto primero debemos de cargar esta librería dentro de ella.

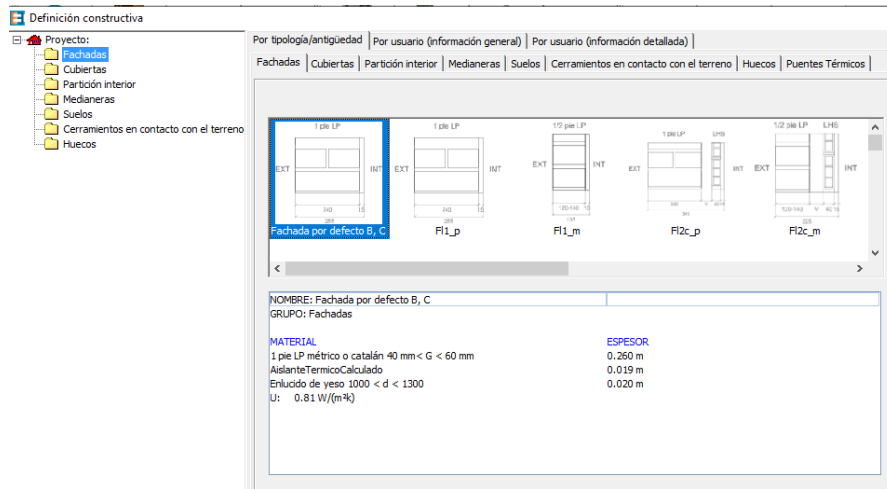


Figura 0-3. Definición constructiva de una fachada

Para cargar la librería, primero debemos entrar en la pestaña “Definición Geométrica” dentro de la Herramienta HULC para posteriormente entrar en “Base de Datos” y ahí cargar todas las construcciones que nos sean necesarias.

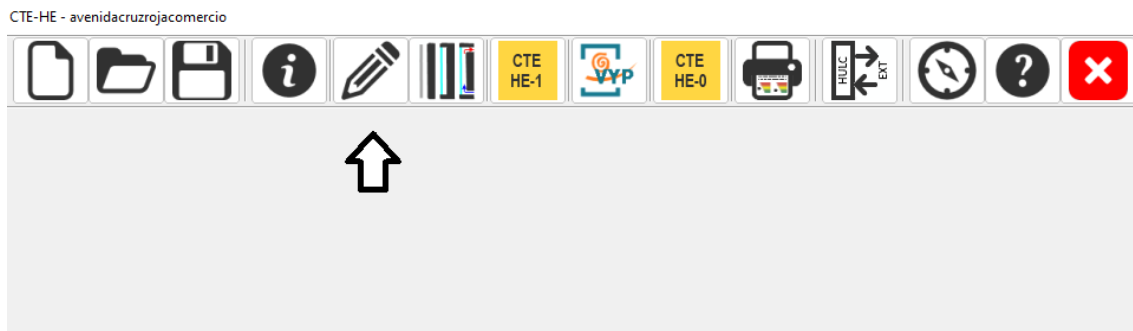


Figura 0-4. Pestaña “Definición Geométrica” dentro de la herramienta HULC



Figura 0-5. Pestaña “Base de Datos” dentro de la herramienta HULC.

## 5.2 Realización del edificio

Una vez cargamos la librería, pasamos a la herramienta unificada, donde deberemos de rellenar unos datos generales que engloban toda la información del edificio, como son el uso de este, la zona climática en la que se encuentra o la localización entre muchos otros.

Dentro de la pestaña “*Definición Geométrica*” existe una pestaña de opciones, la cual se representa a través de una llave inglesa, donde podemos seleccionar de la base de datos las definiciones constructivas de nuestro edificio. También podemos seleccionar la orientación que tendrá este, en el caso de nuestro proyecto dependerá de la acera en la que se encuentre. Una vez que hayamos activado esas 2 cosas, podemos empezar a modelar el edificio en cuestión, cuyo resultado podemos ver en el punto de metodología, donde se explica la forma que tendrá dicho edificio para el caso de nuestro proyecto.

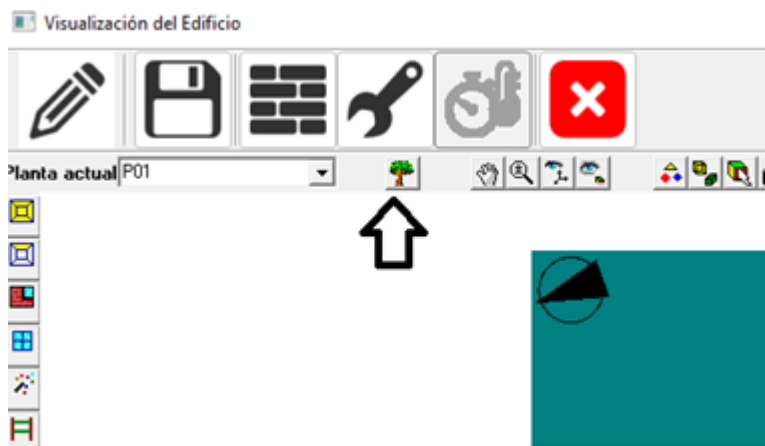


Figura 0-6. Pestaña “*Opciones*” dentro de la herramienta HULC

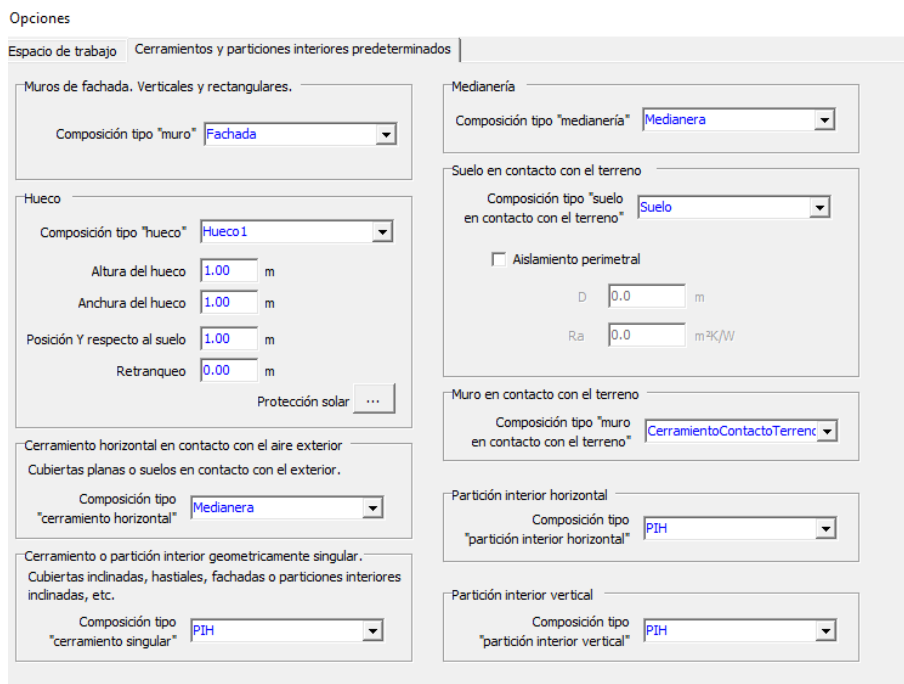


Figura 0-7. Selección de cerramientos y particiones en opciones

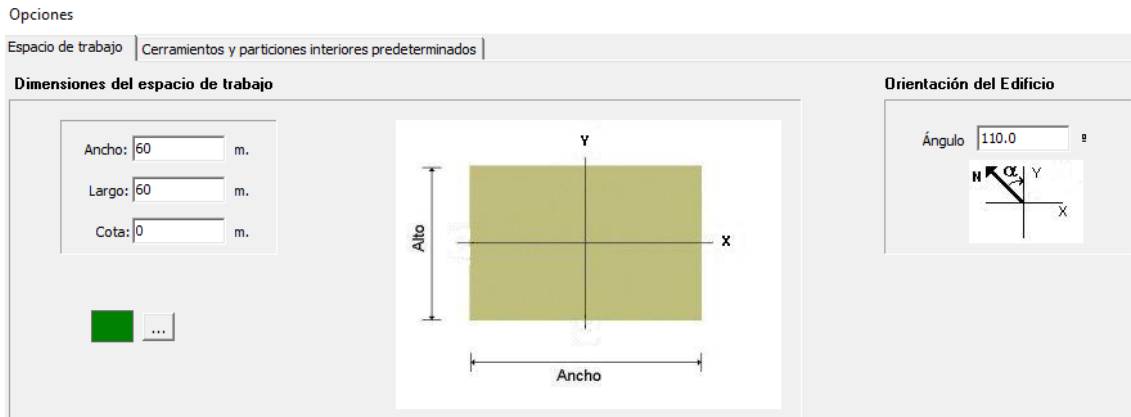


Figura 0-8. Selección de la orientación del edificio en opciones

### 5.3 Simulación del edificio

Una vez que tenemos el edificio, simplemente usamos la pestaña de cálculo de demandas correspondiente a la verificación y cumplimentación del CTE-HE 1, la cual engloba las condiciones para el control de demanda energética. Dentro de esa pestaña, podremos obtener los resultados de las demandas mensuales y si cumple o no dicha especificación. Como no es objeto de nuestro proyecto, no nos centraremos en si cumple o no esa especificación y simplemente nos centraremos en las demandas obtenidas a partir de la herramienta. Cabe destacar que existen otras pestañas aparte de esta, como son la parte de Vyp-Calener, donde se calcula el consumo del edificio a partir de los sistemas que se implementen en el y la pestaña de verificación y cumplimentación del CTE-HE0, correspondiente a la limitación del consumo energético. Al simular por completo el edificio usando estas 3 pestañas comentadas, recibiremos un archivo.xml que engloba mucha información acerca del edificio. Esta información se recoge en 2 PDF que se generan automáticamente al terminar la simulación, y que recogen información muy importante como pueda ser datos de la envolvente térmica del edificio o indicadores y parámetros del CTE-DB-HE.



Figura 0-9. Pestañas para la simulación y obtención de datos en la herramienta HULC



## INDICADORES Y PARÁMETROS DEL CTE DB-HE

## HE0 Consumo de energía primaria

<b>Cep,nren</b>	170.80	kWh/m <sup>2</sup> año	<b>Cep,nren,lim</b>	88.50	kWh/m <sup>2</sup> año	No cumple
<b>Cep,tot</b>	305.00	kWh/m <sup>2</sup> año	<b>Cep,tot,lim</b>	193.31	kWh/m <sup>2</sup> año	No cumple
<b>% horas fuera consigna</b>	23.25	%	<b>% horas lim fuera consigna</b>	4.00	%	No cumple

**A<sub>útil</sub>** 86.52 m<sup>2</sup> **CFI** 4.812 W/m<sup>2</sup>

Cep,nr Consumo de energía primaria no renovable del edificio

Cep,nren,lim Valor límite para el consumo de energía primaria no renovable según el apartado 3.1 de la sección HE0

Cep,tot Consumo de energía primaria total del edificio

Cep,tot,lim Valor límite para el consumo de energía primaria total según el apartado 3.2 de la sección HE0

A<sub>útil</sub> Superficie útil considerada para el cálculo de los indicadores de consumo (espacios habitables incluidos dentro de la envolvente térmica)

CFI Carga interna media

## HE1 Condiciones para el control de la demanda energética

<b>K</b>	2.02	kWh/m <sup>2</sup> año	<b>K<sub>lim</sub></b>	0.76	kWh/m <sup>2</sup> año	No cumple
<b>q<sub>sol,iul</sub></b>	10.73	kWh/m <sup>2</sup> año	<b>q<sub>sol,iul,lim</sub></b>	4.00	kWh/m <sup>2</sup> año	No cumple
<b>n<sub>50</sub></b>	9.27	1/h	<b>n<sub>50,lim</sub></b>	-	1/h	No aplica

**V/A** 0.90 m<sup>2</sup> /m<sup>2</sup>

**V** 259.56 m<sup>3</sup> **V<sub>inf</sub>** 228.41 m<sup>3</sup>

**D<sub>cal</sub>** 81.40 kWh/m<sup>2</sup> año **D<sub>ref</sub>** 32.53 kWh/m<sup>2</sup> año

Figura 0-10. Resultados obtenidos a través de la herramienta HULC



## REFERENCIAS

---

[1] (Pena Acosta et al., 2021)

[2] [https://www.elconfidencial.com/tecnologia/2018-07-26/medio-ambiente-madrid-islas-calor\\_1594723/](https://www.elconfidencial.com/tecnologia/2018-07-26/medio-ambiente-madrid-islas-calor_1594723/)

[3] <https://www.anthropocenemagazine.org/2017/06/y-si-pudieramos-disenar-ciudades-que-pudieran-mitigar-el-efecto-isla-de-calor-urbano/>

[4] (Sun & Augenbroe, 2014)

[5] Tema 13 de la asignatura Ahorro y Demanda Energética - Grado en Ingeniería de la Energía por la Universidad de Sevilla

[6] [https://elpais.com/ccaa/2019/07/31/madrid/1564572109\\_825565.html](https://elpais.com/ccaa/2019/07/31/madrid/1564572109_825565.html)

[7] <https://www.elperiodico.com/es/opinion/20200514/covid-cambio-modelo-urbano-articulo-mark-nieuwenhuijsen-7962252>