

Trabajo Fin de Máster  
Máster Universitario en Ingeniería Industrial

# **GESTIÓN DE LA DEMANDA Y LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES EN EL DISTRITO**

Autor: María del Carmen Pavón Moreno

Tutor: Servando Álvarez Domínguez

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

Sevilla, 2018





Trabajo Fin de Máster  
Máster Universitario en Ingeniería Industrial

# **GESTIÓN DE LA DEMANDA Y LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES EN EL DISTRITO**

Autor:

María del Carmen Pavón Moreno

Tutor y director:

Servando Álvarez Domínguez

Catedrático

Co-Director:

José Sánchez Ramos

Profesor

Dep. de Ingeniería Energética  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla  
Sevilla, 2018



Trabajo Fin de Máster: GESTIÓN DE LA DEMANDA Y LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍAS  
RENOVABLES EN EL DISTRITO

Autor: María del Carmen Pavón Moreno

Tutor: Servando Álvarez Domínguez

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

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2018

El Secretario del Tribunal



*A mis padres, hermanas, familia  
y amigos.*



## Agradecimientos

---

*Solo un exceso es recomendable en el mundo: el exceso  
de gratitud.*

*- Jean de la Bruyère -*

Por ello, es para mi de vital importancia aprovechar este apartado para ser honesto y consecuente con todas aquellas personas que han intervenido y me han acompañado en la elaboración de este proyecto, expresándoles mi más sincero agradecimiento.

En primer lugar, quisiera agradecer al Grupo de Termotecnia y en concreto, a mi tutor, Servando Álvarez, por brindarme la oportunidad de realizar este proyecto; sin olvidarme de José Sánchez y M<sup>a</sup> Carmen Guerrero, por su apoyo y ayuda incondicional.

En especial a mi familia, por darme fuerza, por su confianza y por enseñarme la virtud del esfuerzo y hacerme entender desde muy pequeña que con dedicación todo se consigue.

Por último, no menos importante, a mi segunda familia, a mis amigos, por tantos momentos vividos y por más que nos quedan por vivir.

Muchas gracias a todos.

*María del Carmen Pavón Moreno  
Sevilla, 2018*



---

# Resumen

---

El objetivo principal de este proyecto es desarrollar una metodología de gestión de la demanda en edificios, en primer lugar; con una posterior aplicación de esta metodología para la gestión de un distrito con producción de energía renovable. De esta manera se pretende alinear la situación energética en edificios hacia los objetivos de las actuales Directivas.

La memoria presenta una estructura clara, donde aparece un capítulo 1 de introducción, en el cual se contextualiza la necesidad del proyecto, así como los conceptos necesarios previos y los estudios realizados en este ámbito, que nos han ayudado; capítulo 2, con la primera parte del proyecto, donde se desarrolla la metodología de gestión de la demanda para cinco edificios dados, distribuidos por España; el capítulo 3, contiene el segundo bloque del proyecto, en el cual se realiza la gestión energética del distrito elegido de la Isla de La Graciosa, que contiene a 2 de los edificios estudiados en la sección anterior; cerrando con el capítulo de conclusiones y líneas futuras de desarrollo.

Se destaca la versatilidad de la metodología planteada, alcanzando interesantes resultados y constituyendo un estudio base para posteriores proyectos en este ámbito, muy actual; ya que el sector de la electricidad se enfrenta a grandes desafíos en el futuro cercano.



# Índice

<b>Agradecimientos</b> .....	<b>9</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>11</b>
<b>Índice</b> .....	<b>13</b>
<b>Índice de Tablas</b> .....	<b>16</b>
<b>Índice de Figuras</b> .....	<b>20</b>
<b>Índice de Ecuaciones</b> .....	<b>24</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>26</b>
1.1 PROBLEMÁTICA Y CONTEXTO.....	26
1.2 GESTIÓN DE LA DEMANDA (DSM).....	28
1.3 ALMACENAMIENTO TÉRMICO ESTRUCTURAL .....	30
1.4 ROL COMPORTAMIENTO USUARIO .....	31
1.5 TARIFICACIÓN ELÉCTRICA .....	32
1.6 FOTOVOLTAICA.....	34
1.7 SMART GRIDS.....	35
1.8 OBJETIVO DEL PROYECTO .....	37
<b>2 BLOQUE I. POTENCIAL AHORRO CON ANÁLISIS INFLUENCIA DSM</b> .....	<b>38</b>
2.1 PROCEDIMIENTO .....	38
2.2 DESCRIPCIÓN DE LOS CASOS .....	39
2.2.1 Edificios.....	39
2.2.1.1 Edificio 1. Graciosa19.....	41
2.2.1.2 Edificio 2. Graciosa 25.....	44
2.2.1.3 Edificio 3. Madrid .....	47
2.2.1.4 Edificio 4. Málaga.....	49
2.2.1.5 Edificio 5. Sevilla.....	52
2.2.2 Mejora Edificios .....	54
2.2.3 Comportamiento Usuario .....	55
2.2.4 Clima .....	57
2.2.5 Tarificación eléctrica.....	58
2.2.6 Decision Maker .....	59
2.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	63
2.3.1 Descripción general de resultados obtenidos .....	63
2.3.2 Ejemplo de resultados/Aplicación del procedimiento.....	64
2.3.2.1 Preheating .....	64
2.3.2.2 Precooling.....	66
2.3.2.3 Resultados .....	68
2.3.3 Análisis factores influyentes .....	69
2.3.3.1 Influencia del usuario .....	69
2.3.3.2 Influencia de la mejora de la vivienda.....	70
2.3.3.3 Operación convencional vs inteligente .....	71
2.3.3.4 Períodos de análisis para la toma de decisiones .....	73
2.3.3.5 Tarificación Eléctrica .....	73

2.3.4 Estrategias óptimas .....	74
2.4 CONCLUSIONES .....	78
<b>3 BLOQUE II. POTENCIAL AHORRO ANÁLISIS SMART GRID. GESTIÓN DE UN DISTRITO .....</b>	<b>79</b>
3.1 INTRODUCCIÓN .....	79
3.1.1 Objetivo del Proyecto.....	79
3.1.2 Antecedentes.....	80
3.2 DESCRIPCIÓN DEL CASO.....	84
3.2.1 Caracterización del Distrito.....	84
3.2.1.1 Colegio .....	85
3.2.2 Instalaciones .....	86
3.2.2.1 Climatización.....	86
3.2.2.2 Instalación Fotovoltaica .....	87
3.2.3 Monitorización y modelado del distrito .....	93
3.2.3.1 Monitorización Temperaturas.....	93
3.2.3.2 Monitorización Consumo Eléctrico .....	96
3.2.3.3 Producción fotovoltaica .....	97
3.2.3.4 Tarifas Electricidad.....	99
3.2.3.5 Modelado Edificios .....	100
3.2.3.6 Modelado Instalaciones .....	101
3.2.4 Caracterización Usuario .....	105
3.3 METODOLOGÍA GESTIÓN DEL DISTRITO.....	106
3.3.1 Escenarios considerados .....	106
3.3.2 Estrategias de Precooling.....	107
3.3.3 Propuesta de estrategia de control.....	107
3.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	110
3.4.1 Descripción general de resultados .....	110
3.4.1.1 Ahorro de costes.....	110
3.4.1.2 Importaciones / exportaciones de electricidad.....	111
3.4.1.3 Energía perdida en las baterías. ....	112
3.4.1.4 Autoconsumo y ratios de autosuficiencia. ....	113
3.4.1.5 Estrategias de Precooling.....	113
3.4.2 Análisis de factores influyentes .....	115
3.4.2.1 Tarifa Eléctrica Exportación .....	115
3.4.2.2 Aumento Campo Solar .....	116
3.4.2.3 Batería .....	119
3.4.2.4 Análisis coste instalación.....	122
3.5 CONCLUSIONES .....	124
<b>4 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS .....</b>	<b>125</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>126</b>
ANEXO I. BLOQUE I-EDIFICIO 1 .....	126
Estrategias de Preheating .....	126
Estrategias de Precooling + Ventilación Nocturna .....	128
ANEXO II. BLOQUE I-EDIFICIO 2 .....	130
Estrategias de Preheating .....	130
Estrategias de Precooling + Ventilación Nocturna.....	131
ANEXO III. BLOQUE I-EDIFICIO 3.....	133
Estrategias de Preheating .....	133
Estrategias de Precooling + Ventilación Nocturna.....	134
ANEXO VI. BLOQUE I-EDIFICIO 4 .....	136
Estrategias de Preheating .....	136
Estrategias de Precooling + Ventilación Nocturna.....	137

---

<i>ANEXO V. BLOQUE I- EDIFICIO 5</i> .....	139
Estrategias de Preheating .....	139
Estrategias de Precooling + Ventilación Nocturna .....	140
<i>ANEXO VI. BLOQUE II</i> .....	142
Resultados Generales.....	142
Selección de Estrategias.....	143
Importación Mensuales (kWh).....	143
Exportación Mensuales (kWh) .....	143
Costes / Ingresos (-) Mensuales (kWh) .....	144
<b>Referencias</b> .....	<b>145</b>

# Índice de Tablas

<i>Tabla 2-1. Descripción Edificios</i>	41
<i>Tabla 2-2. Datos de la climatización del edificio 1</i>	42
<i>Tabla 2-3. Parámetros energéticos del Edificio 1</i>	43
<i>Tabla 2-4. Demandas energéticas Edificio 1</i>	43
<i>Tabla 2-5. Datos de la climatización del Edificio 2</i>	45
<i>Tabla 2-6. Parámetros energéticos de la vivienda 2</i>	46
<i>Tabla 2-7. Demandas energéticas Edificio 2</i>	46
<i>Tabla 2-8. Datos de la climatización del Edificio 3</i>	47
<i>Tabla 2-9. Parámetros energéticos del Edificio 3</i>	48
<i>Tabla 2-10. Demandas energéticas Edificio 3</i>	49
<i>Tabla 2-11. Datos de la climatización del Edificio 4</i>	50
<i>Tabla 2-12. Parámetros energéticos del Edificio 4</i>	51
<i>Tabla 2-13. Demandas energéticas Edificio 4</i>	51
<i>Tabla 2-14. Datos de la climatización Edificio 5</i>	52
<i>Tabla 2-15. Parámetros energéticos Edificio 5</i>	53
<i>Tabla 2-16. Demandas energéticas Edificio5</i>	54
<i>Tabla 2-17. Valores de los parámetros energéticos óptimos</i>	54
<i>Tabla 2-18. % de ahorro obtenidos en el caso óptimo de mejora de cada vivienda</i>	55
<i>Tabla 2-19. Clasificación Tipos Usuarios</i>	56
<i>Tabla 2-20. Parámetros de las estrategias a evaluar PH/PC</i>	62
<i>Tabla 2-21. Parámetros de la ventilación nocturna a caudal constante</i>	62
<i>Tabla 2-22. Catálogo de Casos Analizados</i>	63
<i>Tabla 2-23. Porcenta Ahorro muestra edificios alternativas óptimas</i>	63
<i>Tabla 2-24. Preheating: número de días con las diferentes consignas-horas. Usuario 1</i>	64
<i>Tabla 2-25. Preheating: número de días con las diferentes consignas-horas. Usuario 2</i>	65
<i>Tabla 2-26. Precooling: Número de días con las diferentes consignas-horas. Usuario 1</i>	66
<i>Tabla 2-27. Ventilación Nocturna: % número de días y horas de operación. Usuario 1</i>	66
<i>Tabla 2-28. Precooling: Número de días con las diferentes consignas-horas. Usuario 2</i>	67
<i>Tabla 2-29. % de días de operación- horas de la ventilación nocturna. Usuario 2</i>	67
<i>Tabla 2-30. Ahorros estacionales</i>	69
<i>Tabla 2-31. Catálogo de Casos Analizados Total</i>	69
<i>Tabla 2-32. Estrategias Preheating, operación convencional</i>	71

<i>Tabla 2-33. Estrategias Precooling, operación convencional</i>	72
<i>Tabla 2-34. Ahorros obtenidos en el caso convencional Calefacción. Edificio 3</i>	72
<i>Tabla 2-35. Ahorros obtenidos en el caso convencional Refrigeración. Edificio 3</i>	73
<i>Tabla 2-36. Resultados Edificio 3 Análisis Influencia Tarifación Usuario 1</i>	74
<i>Tabla 2-37. Resultados Edificio 3 Análisis Influencia Tarifación Usuario 2</i>	74
<i>Tabla 3-1. Resumen Monitorización Viviendas</i>	95
<i>Tabla 3-2. Coeficientes curva de operación del inversor</i>	102
<i>Tabla 3-3. Coeficientes curva degradación baterías de litio</i>	102
<i>Tabla 3-4. Variables Entrada Modelo</i>	103
<i>Tabla 3-5. Parámetros del Modelo</i>	103
<i>Tabla 3-6. Variables de Salida</i>	103
<i>Tabla 3-7. Ocupación Viviendas Distrito</i>	105
<i>Tabla 3-8. Escenarios Estudiados Gestión Distrito</i>	106
<i>Tabla 3-9. Escenarios Complementarios Tabla 3-8</i>	106
<i>Tabla 3-10. Estrategias Precooling. Bloque II</i>	107
<i>Tabla 3-11. Resultados Escenarios Simulación</i>	110
<i>Tabla 3-12. Resultados Escenarios Simulación Situación Inicial</i>	110
<i>Tabla 3-13. Identificadores Estrategias Precooling</i>	113
<i>Tabla 3-14. Tarifas Electricidad Exportación Análisis</i>	115
<i>Tabla 3-15. Factores Modificación Campo Solar Análisis</i>	117
<i>Tabla 3-16. Factor Modificación Capacidad Batería. Análisis</i>	119
<i>Tabla 3-17. Coste Instalación Batería-Modificaciones</i>	122
<i>Tabla 3-18. Análisis Económicos Costes Ciclo de Vida Modificación Instalación</i>	123
<i>Tabla 0-1. Porcentaje de días que toma la decisión de hacer tantas horas de preheating y la temperatura de consigna correspondiente, tanto para el usuario 1 como el 2. Edificio 1</i>	126
<i>Tabla 0-2. Porcentaje de días que toma la decisión de hacer tantas horas de preheating y la temperatura de consigna correspondiente, con el Usuario 1, Edificio 1 mejorado</i>	126
<i>Tabla 0-3. Porcentaje de días que toma la decisión de hacer tantas horas de preheating y la temperatura de consigna correspondiente, con el Usuario 2, Edificio 1 mejorado</i>	127
<i>Tabla 0-4. Porcentaje del número de días que toma la decisión de hacer diferentes horas de precooling y la temperatura de consigna correspondientes, combinado con el número de horas de ventilación nocturna elegido, usuario 1. Edificio 1</i>	128
<i>Tabla 0-5. Porcentaje del número de días que toma la decisión de hacer diferentes horas de precooling y la temperatura de consigna correspondientes, combinado con el número de horas de ventilación nocturna elegido, usuario 2. Edificio 1</i>	128
<i>Tabla 0-6. Porcentaje del número de días que toma la decisión de hacer diferentes horas de precooling y la temperatura de consigna correspondientes, combinado con el número de horas de ventilación nocturna elegido, usuario 1. Edificio 1 mejorado</i>	129
<i>Tabla 0-7. Porcentaje del número de días que toma la decisión de hacer diferentes horas de precooling y la temperatura de consigna correspondientes, combinado con el número de horas de ventilación nocturna elegido, usuario 2. Edificio 1 mejorado.</i>	129
<i>Tabla 0-8. Porcentaje de días que toma la decisión de hacer tantas horas de preheating y la temperatura de consigna correspondiente, tanto para el usuario 1. Edificio 2</i>	130

<i>Tabla 0-9. Porcentaje de días que toma la decisión de hacer tantas horas de preheating y la temperatura de consigna correspondiente, tanto para el usuario 2. Edificio 2</i>	130
<i>Tabla 0-10. Porcentaje de días que toma la decisión de hacer tantas horas de preheating y la temperatura de consigna correspondiente, tanto para el usuario 1. Edificio mejorado 2</i>	130
<i>Tabla 0-11. Porcentaje de días que toma la decisión de hacer tantas horas de preheating y la temperatura de consigna correspondiente, tanto para el usuario 2. Edificio mejorado 2</i>	130
<i>Tabla 0-12. Porcentaje del número de días que toma la decisión de hacer diferentes horas de precooling y la temperatura de consigna correspondientes, combinado con el número de horas de ventilación nocturna elegido, usuario 1. Edificio 2</i>	131
<i>Tabla 0-13. Porcentaje del número de días que toma la decisión de hacer diferentes horas de precooling y la temperatura de consigna correspondientes, combinado con el número de horas de ventilación nocturna elegido, usuario 2. Edificio 2</i>	131
<i>Tabla 0-14. Porcentaje del número de días que toma la decisión de hacer diferentes horas de precooling y la temperatura de consigna correspondientes, combinado con el número de horas de ventilación nocturna elegido, usuario 1. Edificio mejorado 2</i>	132
<i>Tabla 0-15. Porcentaje del número de días que toma la decisión de hacer diferentes horas de precooling y la temperatura de consigna correspondientes, combinado con el número de horas de ventilación nocturna elegido, usuario 2. Edificio mejorado 2</i>	132
<i>Tabla 0-16. Porcentaje de días que toma la decisión de hacer tantas horas de preheating y la temperatura de consigna correspondiente, tanto para el usuario 1. Edificio 3</i>	133
<i>Tabla 0-17. Porcentaje de días que toma la decisión de hacer tantas horas de preheating y la temperatura de consigna correspondiente, tanto para el usuario 2. Edificio 3</i>	133
<i>Tabla 0-18. Porcentaje de días que toma la decisión de hacer tantas horas de preheating y la temperatura de consigna correspondiente, tanto para el usuario 1. Edificio mejorado 3</i>	133
<i>Tabla 0-19. Porcentaje de días que toma la decisión de hacer tantas horas de preheating y la temperatura de consigna correspondiente, tanto para el usuario 2. Edificio mejorado 3</i>	133
<i>Tabla 0-20. Porcentaje del número de días que toma la decisión de hacer diferentes horas de precooling y la temperatura de consigna correspondientes, combinado con el número de horas de ventilación nocturna elegido, usuario 1. Edificio 3</i>	134
<i>Tabla 0-21. Porcentaje del número de días que toma la decisión de hacer diferentes horas de precooling y la temperatura de consigna correspondientes, combinado con el número de horas de ventilación nocturna elegido, usuario 2. Edificio 3</i>	134
<i>Tabla 0-22. Porcentaje del número de días que toma la decisión de hacer diferentes horas de precooling y la temperatura de consigna correspondientes, combinado con el número de horas de ventilación nocturna elegido, usuario 1. Edificio 3 mejorado</i>	135
<i>Tabla 0-23. Porcentaje del número de días que toma la decisión de hacer diferentes horas de precooling y la temperatura de consigna correspondientes, combinado con el número de horas de ventilación nocturna elegido, usuario 2. Edificio 3 mejorado</i>	135
<i>Tabla 0-24. Porcentaje de días que toma la decisión de hacer tantas horas de preheating y la temperatura de consigna correspondiente, tanto para el usuario 1. Edificio 4</i>	136
<i>Tabla 0-25. Porcentaje de días que toma la decisión de hacer tantas horas de preheating y la temperatura de consigna correspondiente, tanto para el usuario 2. Edificio 4</i>	136
<i>Tabla 0-26. Porcentaje de días que toma la decisión de hacer tantas horas de preheating y la temperatura de consigna correspondiente, tanto para el usuario 1. Edificio 4 mejorado</i>	136
<i>Tabla 0-27. Porcentaje de días que toma la decisión de hacer tantas horas de preheating y la temperatura de consigna correspondiente, tanto para el usuario 2. Edificio 4 mejorado</i>	136
<i>Tabla 0-28. Porcentaje del número de días que toma la decisión de hacer diferentes horas de precooling y la</i>	

<i>temperatura de consigna correspondientes, combinado con el número de horas de ventilación nocturna elegido, usuario 1. Edificio 4</i>	137
<i>Tabla 0-29. Porcentaje del número de días que toma la decisión de hacer diferentes horas de precooling y la temperatura de consigna correspondientes, combinado con el número de horas de ventilación nocturna elegido, usuario 2. Edificio 4</i>	137
<i>Tabla 0-30. Porcentaje del número de días que toma la decisión de hacer diferentes horas de precooling y la temperatura de consigna correspondientes, combinado con el número de horas de ventilación nocturna elegido, usuario 1. Edificio 4 mejorado</i>	138
<i>Tabla 0-31. Porcentaje del número de días que toma la decisión de hacer diferentes horas de precooling y la temperatura de consigna correspondientes, combinado con el número de horas de ventilación nocturna elegido, usuario 2. Edificio 4 mejorado</i>	138
<i>Tabla 0-32. Porcentaje de días que toma la decisión de hacer tantas horas de preheating y la temperatura de consigna correspondiente, tanto para el usuario 1. Edificio 5</i>	139
<i>Tabla 0-33. Porcentaje de días que toma la decisión de hacer tantas horas de preheating y la temperatura de consigna correspondiente, tanto para el usuario 2. Edificio 5</i>	139
<i>Tabla 0-34. Porcentaje de días que toma la decisión de hacer tantas horas de preheating y la temperatura de consigna correspondiente, tanto para el usuario 1. Edificio 5 mejorado</i>	139
<i>Tabla 0-35. Porcentaje de días que toma la decisión de hacer tantas horas de preheating y la temperatura de consigna correspondiente, tanto para el usuario 2. Edificio 5 mejorado</i>	139
<i>Tabla 0-36. Porcentaje del número de días que toma la decisión de hacer diferentes horas de precooling y la temperatura de consigna correspondientes, combinado con el número de horas de ventilación nocturna elegido, usuario 1. Edificio 5</i>	140
<i>Tabla 0-37. Porcentaje del número de días que toma la decisión de hacer diferentes horas de precooling y la temperatura de consigna correspondientes, combinado con el número de horas de ventilación nocturna elegido, usuario 2. Edificio 5</i>	140
<i>Tabla 0-38. Porcentaje del número de días que toma la decisión de hacer diferentes horas de precooling y la temperatura de consigna correspondientes, combinado con el número de horas de ventilación nocturna elegido, usuario 1. Edificio 5 mejorado</i>	141
<i>Tabla 0-39. Porcentaje del número de días que toma la decisión de hacer diferentes horas de precooling y la temperatura de consigna correspondientes, combinado con el número de horas de ventilación nocturna elegido, usuario 2. Edificio 5 mejorado</i>	141
<i>Tabla 0-40. Resultados Generales obtenidos Gestión Distrito. Bloque II</i>	142
<i>Tabla 0-41. Resultados Selección Estrategias obtenidos Gestión Distrito. Bloque II</i>	143
<i>Tabla 0-42. Resultados Importación Mensual obtenidos Gestión Distrito. Bloque II</i>	143
<i>Tabla 0-43. Resultados Exportación Mensual obtenidos Gestión Distrito. Bloque II</i>	143
<i>Tabla 0-44. Resultados Costes/Ingresos (-) Mensual obtenidos Gestión Distrito. Bloque II</i>	144

# Índice de Figuras

<i>Figura 1-1. Distribución del consumo de energía en sectores</i>	26
<i>Figura 1-2. Distribución del consumo de energía en viviendas [3]</i>	27
<i>Figura 1-3. Técnicas Básicas de DSM [5]</i>	29
<i>Figura 1-4. Ahorros promedio de electricidad de las viviendas dependiendo del tipo de información</i>	31
<i>Figura 1-5. Ventajas y Desventajas Estructuras de Tarificación Eléctrica</i>	32
<i>Figura 1-6. Potencia fotovoltaica mundial instalada hasta 2016, en GW, expresada por región</i>	34
<i>Figura 1-7. Esquema Red Eléctrica Actual</i>	35
<i>Figura 1-8. Esquema representativo SmartGrid</i>	36
<i>Figura 2-1. Procedimiento DSM</i>	39
<i>Figura 2-2. Edificio 1</i>	41
<i>Figura 2-3. Esquema de la distribución interior del edificio 1 (planta alta y baja)</i>	41
<i>Figura 2-4. Modelo HULC del edificio 1 con las sombras añadidas</i>	42
<i>Figura 2-5. Estudio en evolución libre del Edificio 1</i>	44
<i>Figura 2-6. Fotografía del Edificio 2</i>	44
<i>Figura 2-7. Esquema de la distribución interior del Edificio 2</i>	44
<i>Figura 2-8. Modelo del Edificio 2 en estudio con las sombras añadidas</i>	45
<i>Figura 2-9. Estudio en evolución libre Edificio 2</i>	47
<i>Figura 2-10. Fotografía Edificio 3</i>	47
<i>Figura 2-11. Esquema de la distribución interior del Edificio 3</i>	47
<i>Figura 2-12. Modelo del Edificio estudio con las sombras añadidas</i>	48
<i>Figura 2-13. Estudio en evolución libre Edificio 3</i>	49
<i>Figura 2-14. Fotografía del Edificio 4</i>	49
<i>Figura 2-15. Esquema de la distribución interior del Edificio 4</i>	50
<i>Figura 2-16. Modelo del Edificio 4 a estudio con las sombras añadidas</i>	50
<i>Figura 2-17. Estudio en evolución libre Edificio 4</i>	51
<i>Figura 2-18. Fotografía Edificio 5</i>	52
<i>Figura 2-19. Esquema de la distribución interior Edificio 5</i>	52
<i>Figura 2-20. Modelo Edificio 5 a estudio con las sombras añadidas</i>	53
<i>Figura 2-21. Estudio en evolución libre Edificio 5</i>	54
<i>Figura 2-22. % de ahorro Edificio 1: demanda de calefacción (azul) y total (rojo).</i>	55
<i>Figura 2-23. Datos de ocupación de los espacios. Horario general</i>	56
<i>Figura 2-24. Valores Fuentes Internas</i>	56
<i>Figura 2-25. Usuario 2</i>	57
<i>Figura 2-26. Usuario 1</i>	57

<i>Figura 2-27. Representación Edificios Zonas Climáticas España CTE</i>	58
<i>Figura 2-28. Representación Zonas Climáticas mundiales</i>	58
<i>Figura 2-29. Distribución precios según horas Tarifa General</i>	59
<i>Figura 2-30. Tarifas Eléctricas Usadas</i>	59
<i>Figura 2-31. Parámetros de operación considerados</i>	60
<i>Figura 2-32. Esquema del proceso de optimización</i>	61
<i>Figura 2-33. Calefacción-usuario 1: evolución de temperaturas y consumos (días tipo)</i>	64
<i>Figura 2-34. Calefacción-usuario 1: fin de semana ejemplo</i>	65
<i>Figura 2-35. Calefacción-usuario 2: evolución de temperaturas y consumos (días tipo)</i>	66
<i>Figura 2-36. Refrigeración-usuario 1: evolución de temperaturas y consumos (días tipo)</i>	67
<i>Figura 2-37. Refrigeración-Usuario 2: Evolución de temperaturas y consumos (días tipo)</i>	68
<i>Figura 2-38. Ahorro económico: edificio 3 Madrid, usuario 1 (U1) y usuario 2 (U2)</i>	68
<i>Figura 2-39. Ahorros mensuales usuario óptimo: Edificio 1</i>	70
<i>Figura 2-40. Ahorros mensuales para el Edificio 1 en todas sus variantes</i>	70
<i>Figura 2-41. Ahorros refrigeración todos los edificios</i>	71
<i>Figura 2-42. Análisis Horizonte Temporal. Edificio 3</i>	73
<i>Figura 2-43. Selección Estrategias de Preheating. Edificio 3</i>	75
<i>Figura 2-44. Distribución Selección Estrategias PC+VN. Edificio 3-Usuario 1</i>	75
<i>Figura 2-46. Distribución Selección Estrategias PC+VN. Edificio 3-Usuario óptimo</i>	76
<i>Figura 2-45. Distribución Selección Estrategias PC+VN. Edificio 3-Usuario 2</i>	76
<i>Figura 2-48. Distribución Selección Estrategias PC+VN. Edificio 3 Mejorado-Usuario 2</i>	77
<i>Figura 2-47. Distribución Selección Estrategias PC+VN. Edificio 3 Mejorado-Usuario 1</i>	77
<i>Figura 3-1. Proyecto GRACIOSA</i>	80
<i>Figura 3-2. Zoom Isla de La Graciosa</i>	80
<i>Figura 3-3. Localización Isla de la Graciosa-España</i>	80
<i>Figura 3-6. Red insular eléctrica</i>	81
<i>Figura 3-4. Caleta del Sebo</i>	81
<i>Figura 3-5. Casas de Pedro Barba</i>	81
<i>Figura 3-9. Distribución Radiación Global Horizontal</i>	82
<i>Figura 3-7. Distribución Centros de Transformación</i>	81
<i>Figura 3-8. Esquema Red distribución Eléctrica</i>	81
<i>Figura 3-10. Implantación FV en azoteas</i>	82
<i>Figura 3-11. Distrito Analizado</i>	83
<i>Figura 3-12. Imagen representativa Objetivo GRACIOSA</i>	83
<i>Figura 3-13. Esquema Eléctrico Distrito en estudio</i>	84
<i>Figura 3-14. Representación Distrito en estudio</i>	84
<i>Figura 3-15. Edificios de Estudio Detallado</i>	85
<i>Figura 3-16. Colegio Isla de la Graciosa</i>	85
<i>Figura 3-17. Colegio Instalación FV</i>	86

<i>Figura 3-18. Modelo Colegio</i>	86
<i>Figura 3-19. Equipo Climatización instalados</i>	87
<i>Figura 3-20. Características Equipo Climatización</i>	87
<i>Figura 3-21. Panel Fotovoltaico instalado</i>	88
<i>Figura 3-22. Instalación Fotovoltaica viviendas</i>	88
<i>Figura 3-23. Instalación Fotovoltaica Colegio</i>	89
<i>Figura 3-24. Inversor-Baterías instalados</i>	89
<i>Figura 3-25. Estructuras Instalación Catálogo</i>	91
<i>Figura 3-26. Estructura Instalación</i>	91
<i>Figura 3-27. Distribución en Planta y Sección Instalación. Edificio 1</i>	92
<i>Figura 3-28. Esquema Eléctrico. Edificio 1</i>	92
<i>Figura 3-29. Distribución en Planta y Sección Instalación. Edificio 2</i>	93
<i>Figura 3-30. Ubicación Sensores. Edificio 1</i>	93
<i>Figura 3-31. Ubicación Sensores. Edificio 2</i>	94
<i>Figura 3-32. Sensores</i>	94
<i>Figura 3-33. Datos Medidos. Edificio 1</i>	95
<i>Figura 3-34. Datos Medidos. Edificio 2</i>	96
<i>Figura 3-35. Equipos contadores</i>	96
<i>Figura 3-36. Consumo Eléctrico Anual de todos los edificios del Distrito</i>	97
<i>Figura 3-37. Representación Instalación FV Distrito</i>	97
<i>Figura 3-38. Localización Estación Meteorológica La Torrecilla</i>	97
<i>Figura 3-39. Producción fotovoltaica Anual todos los edificios del Distrito</i>	98
<i>Figura 3-40. Comparativa Producción FV vs Consumo Eléctrico Edificios Distrito</i>	98
<i>Figura 3-41. Producción FV Distrito vs Consumo Eléctrico</i>	99
<i>Figura 3-42. Evolución Precios Electricidad Día Tipo Invierno</i>	99
<i>Figura 3-43. Evolución Precios Electricidad Día Tipo Verano</i>	100
<i>Figura 3-44. Modelos de los Edificios Estudiados en detalle. Edificio 1, Edificio 2, Colegio</i>	100
<i>Figura 3-45. Modificación Modelos Originales, representación Viviendas Distrito ID 13</i>	101
<i>Figura 3-46. Modelado Distrito en Estudio</i>	101
<i>Figura 3-47. Curva tipo eficiencia de la batería para carga y descarga</i>	102
<i>Figura 3-48. Implementación modelo batería</i>	104
<i>Figura 3-49. Perfil Ocupación 15/06/2016</i>	105
<i>Figura 3-50. Diagrama de Flujo Estrategia de Control</i>	108
<i>Figura 3-51. Ahorro de Costes Escenarios Simulados</i>	111
<i>Figura 3-52. Importaciones, exportaciones electricidad. Escenarios Simulados</i>	111
<i>Figura 3-53. Análisis Mensual Importacion, Exportación Electricidad Escenarios 1-5</i>	112
<i>Figura 3-54. Energía Perdida en las Baterías. Escenarios Simulados</i>	112
<i>Figura 3-55. Ratios Escenarios Simulados</i>	113

---

<i>Figura 3-56. Porcentaje de días que toman las estrategias en cada uno de los escenarios</i>	114
<i>Figura 3-57. Efecto Estrategias de PC</i>	114
<i>Figura 3-58. Análisis Tarifa Exportación</i>	115
<i>Figura 3-59. Comparación Tarifas Eléctricas</i>	116
<i>Figura 3-60. Costes Anuale Caso 1. Influencia Campo Solar</i>	117
<i>Figura 3-61. Análisis Influencia Campo solar en los costes</i>	117
<i>Figura 3-62. Selección de Estrategias PC, Caso 1. Campo Solar</i>	118
<i>Figura 3-63. Selección de Estrategias PC, Caso 5. Campo Solar</i>	118
<i>Figura 3-64. Costes Anuales Distrito Caso1. Influencia Capacidad Batería</i>	119
<i>Figura 3-65. Análisis Influencia Capacidad batería en los costes</i>	120
<i>Figura 3-66. Análisis Influencia Capacidad Batería Exportaciones/Importaciones</i>	120
<i>Figura 3-67. Selección de Estrategias PC, Caso 1. Capacidad Batería</i>	121
<i>Figura 3-68. Selección de Estrategias PC, Caso 2 (Izquierda) – Caso 3 (Derecha). Capacidad Batería</i>	121
<i>Figura 3-69. Selección de Estrategias PC, Caso 4. Capacidad Batería</i>	121
<i>Figura 3-70. Casos Analizados CCV ampliaciones de instalación</i>	123
<i>Figura 3-71. Casos Analizados CCV vs Energía Importada</i>	124

# ÍNDICE DE ECUACIONES

---

<i>Ecuación 3-1. Curva de caracterización eficiencia carga/descarga</i>	101
<i>Ecuación 3-2. Ecuación factor Corrector</i>	101
<i>Ecuación 3-3. Capacidad (%), según el Número de Ciclos</i>	102
<i>Ecuación 3-4. Capacidad real batería</i>	102
<i>Ecuación 3-5. Coste uso Batería</i>	103
<i>Ecuación 3-6. Factor de carga parcial</i>	104
<i>Ecuación 3-7. Corrección rendimiento carga/descarga</i>	104
<i>Ecuación 3-8. Régimen de carga</i>	104
<i>Ecuación 3-9. Régimen de descarga</i>	104
<i>Ecuación 3-10. Contabilización Número de Ciclos</i>	105
<i>Ecuación 3-11. Cálculo Excedente por Edificio del Distrito</i>	108
<i>Ecuación 3-12. Cálculo Excedente Colegio</i>	109
<i>Ecuación 3-13. Cálculo Excedente Global Distrito</i>	109
<i>Ecuación 3-14. Ratio Autoconsumo</i>	109
<i>Ecuación 3-15. Ratio de Autosuficiencia</i>	109
<i>Ecuación 3-16. Cálculo Coste Ciclo de Vida</i>	122



# 1 INTRODUCCIÓN

*Nuestra recompensa se encuentra en el esfuerzo y no en el resultado. Un esfuerzo total es una victoria completa.*

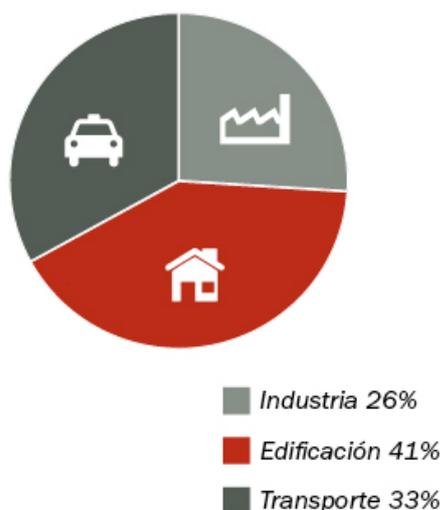
*- Mahatma Gandhi -*

## 1.1 PROBLEMÁTICA Y CONTEXTO

**E**n nuestra vida diaria somos usuarios de más de un edificio: nuestra propia residencia y el lugar de trabajo, para empezar, pero también somos usuarios de otros, como los que prestan servicios docentes, sanitarios, culturales, etc. En cada uno de ellos se consume energía para satisfacer las diferentes necesidades, como climatización, disponibilidad de agua caliente sanitaria, ventilación, iluminación, equipos. En general, en el uso del propio edificio.

En torno a un 40% de la energía que se consume es debida a los edificios, y es responsable del 36% de las emisiones de gases de efecto invernadero. Debido a su relevancia, la Comisión Europea centra su acción en la mejora de la eficiencia energética de los edificios mediante la Directiva de refundición de la EPBD que indica a los Estados miembros el objetivo de la transición a edificios de energía casi nula (NZEB) en 2020.

Por tanto, el potencial de ahorro de energía es importante en el sector de los edificios, puede llegar a utilizarse un 30 % menos de energía, lo cual equivale a una reducción del 12% en el uso de la energía final de la UE. Los edificios pueden llegar a ser uno de los principales puntos de batalla en la lucha por un mejor uso de la energía y contra el Cambio Climático. Es importante añadir que se trata de una incidencia a largo plazo, ya que el producto en cuestión presenta una gran durabilidad.



*Figura 1-1. Distribución del consumo de energía en sectores*

Como se ha comentado anteriormente, en la Unión Europea se ha dado el primer paso con el siguiente compromiso “Eficiencia energética: alcanzar el objetivo del 20%” [1]. Las autoridades europeas se comprometieron a reducir para 2020 el consumo de energía primaria en un 20 % respecto a las proyecciones

previstas. Aumentar la eficiencia energética es la forma más rentable de reducir el consumo de energía, sin disminuir el confort ni la calidad de vida, protegiendo de este modo el medio ambiente y fomentando la sostenibilidad del suministro energético.

La Directiva 2010/31 [2] es muy clara: los Estados miembros deben tomar las medidas necesarias para asegurar que los edificios nuevos cumplan los requerimientos mínimos de eficiencia de energía. Antes de que se inicie la construcción, se debe tener en cuenta la viabilidad técnica, medioambiental y económica de instalaciones alternativas de alta eficiencia. Además, se han impuesto dos obligaciones:

- Para 2018 todos los edificios ocupados y que sean propiedad de autoridades públicas de nueva construcción deben ser edificios de consumo de energía casi nula.
- Para 2020 todos los edificios de nueva construcción deben ser edificios de energía casi nula.

La base del ahorro energético será conseguir la reducción de la demanda del edificio de energía, esta reducción será más eficiente si se incide sobre todo en la parte que más consume: la climatización. Reduciendo el consumo en climatización se actúa sobre prácticamente la mitad del consumo del edificio por lo que la medida adoptada será más eficiente que si sólo incidimos en una actuación con un porcentaje de influencia en el consumo menor, como es la iluminación.

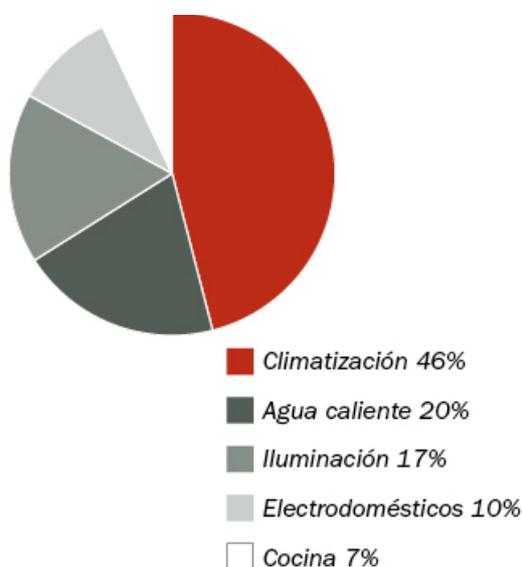


Figura 1-2. Distribución del consumo de energía en viviendas [3]

En estos edificios se persigue con fuerza la reducción de las necesidades de energía a través de la mejora de los rendimientos térmicos de la envolvente del edificio, de los sistemas de calefacción, refrigeración y ventilación, complementado con una correcta operación de los mismos. Una opción para optimizar la operación, es introducir estrategias de Demand Side Management (DSM) o gestión de la demanda, cuyo objetivo a lograr es cambiar los patrones de consumo de los consumidores, con el fin de conseguir una mejor utilización de los recursos.

## 1.2 GESTIÓN DE LA DEMANDA (DSM)

Para mejorar el futuro y alcanzar los objetivos planteados en los diversos marcos y normativas que nos rodean, mostradas anteriormente, hay que optimizar el sistema de energía. Si bien hay mucha experiencia en la optimización de la generación y distribución de energía, es el lado de la demanda el que recibe mayor atención por parte de la investigación, ya que el estudio del comportamiento de las curvas de demanda pueden ayudar a conseguir el fin propuesto.

En esta era de incertidumbre en cuanto a la planificación energética, la demanda del consumidor ha emergido como figura central, puesto que puede ser vista como una forma de equilibrar la provisión y demanda de electricidad dándole una flexibilidad al sistema, cuya responsabilidad no recae solo en la infraestructura de generación.

La gestión de la demanda fue definida [4] como “la planificación, implementación y monitorización de aquellas actividades diseñadas para influir en el uso de electricidad de los consumidores de forma que se produzcan los cambios deseados en la forma de la curva de demanda”. Gestión de la Demanda es una cartera de medidas para mejorar el sistema energético del lado del consumo; engloba desde mejorar la eficiencia energética mediante el uso de materiales más adecuados, acoplamiento óptimo entre curvas de generación y demanda, hasta un posible potencial de ahorro económico por parte de los consumidores.

Por tanto, el objetivo general de la DSM es influir en el comportamiento de consumo del consumidor para optimizar el uso total del sistema; es decir, modular la forma de la curva de consumo mediante operaciones directas e indirectas afectando al perfil de demanda del consumidor. En general, con todas estas estrategias se anima al consumidor final a ser más eficiente energéticamente.

Según diversos estudios publicados [4]- [5] existen varias técnicas de moldeado de las cargas en el contexto de la gestión de la demanda:

- ✓ *Peak clipping*: Supone la reducción de las cargas pico del sistema en periodos específicos.
- ✓ *Valley filling*: abarca el aumento del consumo en horas no punta. Una forma de hacerlo es con almacenamiento térmico, que será explicado a continuación, un caso concreto de este.
- ✓ *Load shifting*: Consiste en mover las cargas de periodos pico a no-pico sin cambiar necesariamente el consumo de energía. Puede considerarse que tiene el mismo efecto que la combinación de llenado de valles y reducción de demandas punta, las dos técnicas anteriores. Con el objetivo de tener un consumo equilibrado a lo largo de todo el día.
- ✓ *Flexible load shape*: Variaciones en las cargas interrumpibles. Los usuarios acuerdan aceptar la posibilidad de que su demanda sea controlada de forma variable por parte de la compañía suministradora, reduciendo o posponiendo su demanda para conseguir ahorros debido a los costes fijos y de operación.
- ✓ *Strategic conservation*: Consisten en una reducción de las ventas de energía y un cambio en los patrones de uso. Se disminuye la demanda global aumentando la eficiencia energética.
- ✓ *Strategic load growth*: Aumento de la cuota de mercado de las cargas. Las compañías animan a los usuarios a reemplazar equipos de combustibles no eficientes o a mejorar su calidad de vida y productividad operando durante periodos de baja demanda para conseguir una operación eficiente de las plantas de generación. De esta forma, el coste medio de servicio es reducido a través de la dispersión de los costes fijos.

En la siguiente figura puede verse una representación de dichas técnicas:

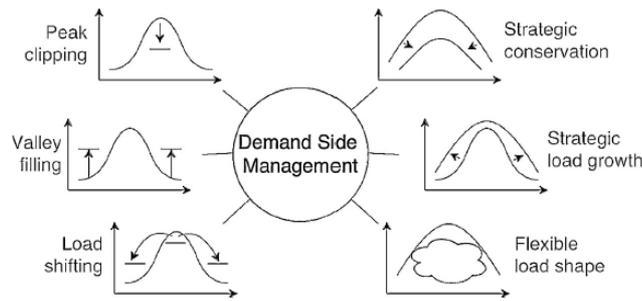


Figura 1-3. Técnicas Básicas de DSM [5]

En el estudio en cuestión, el análisis se centrará principalmente en DR, Respuesta a la Demanda, cuyos objetivos principales se pueden resumir en intentar aplanar la curva de la demanda por parte del consumidor, reduciendo cargas en aquellas horas picos; de forma que el cliente lo ve como un potencial de ahorro económico y el suministrador también, al llegar a una generación un poco más estable.

Asociado a lo que se ha llamado como movimiento de cargas, procesos que permiten este movimiento pueden pertenecer a uno de las siguientes categorías:

- Procesos térmicos inertes (precalentamiento, preenfriamiento).
- Procesos de difusión inertes (ventilación, riego, etc.)

Este proyecto principalmente analizará el potencial de las medidas vinculados con los primeros, y de los segundos el caso concreto de ventilación nocturna.

Para diseñar una estrategia de DSM favorable, es de importancia tener una estimación de la respuesta de los usuarios frente a cambios en las curvas de demanda, aparece el concepto de predicción, para así determinar que indicaciones enviar al consumidor para generar una respuesta deseada, sin cambiar las condiciones de confort del usuario y la funcionalidad del edificio. En el caso en cuestión, esta información se ha obtenido vía simulación.

En los últimos años, los investigadores han mostrado un mayor interés en utilizar técnicas de DSM con almacenamiento de energía térmica (TES) y tecnologías fotovoltaicas solares para la reducción de la demanda pico, alternativas que se van a evaluar en el sector residencial principalmente.

### ***1.3 ALMACENAMIENTO TÉRMICO ESTRUCTURAL***

Los sistemas de almacenamiento de energía térmica se diferencian por el principio de almacenamiento físico y por el horizonte temporal del almacenamiento. Se clasifican como almacenamiento a corto plazo (almacenamiento intermedio) o almacenamiento térmico a largo plazo (almacenamiento estacional). El almacenamiento en memoria intermedia se utiliza por períodos de tiempo de una hora hasta una semana, mientras que el almacenamiento estacional se utiliza para un horizonte temporal que puede ser de hasta un año [6].

En diversos estudios que buscaban el mismo propósito, ya se descubrió que la técnica de almacenamiento de calor sensible que es de interés, es una forma económica de evitar las cargas máximas a corto plazo [7]. Esta técnica comprende la inercia térmica de las envolturas del edificio para almacenar energía, la inercia térmica se define como la resistencia al cambio de temperatura [6].

Los edificios tienen una masa térmica que le proporciona cierta inercia, esta propiedad inherente se puede usar para almacenar energía en períodos pico, precalentando o preenfriando el edificio, tiene como ventaja que está disponible sin inversión adicional. Dado el sistema de control correcto, la bomba de calor eléctrica se puede usar de manera flexible sin comprometer significativamente el confort térmico de los ocupantes y contribuyen a la reducción de las cargas máximas, utilizando la inercia térmica permite que la electricidad y la demanda térmica estén parcialmente desacopladas.

Una forma de aumentar el potencial de uso de la masa térmica estructural de un edificio para fines de DR podría ser utilizar estrategias de ajuste de temperatura más elevadas durante los períodos de menor actividad y bajarlos en las horas de mayor consumo energético. Durante horas de no ocupación, esta estrategia tiene un nivel aún de mayor impacto, ya que permite relajar las limitaciones de confort.

La literatura muestra que el potencial del DSM es función de la disponibilidad de la masa térmica y de la geometría del edificio [8]. Este potencial es más alto para grandes edificios comparados con edificios más ligeros, y puede esperarse que la eficiencia del almacenamiento estructural sea más alta para edificios bien aislados.

Una prometedora tecnología para activar la masa de almacenamiento térmico en los edificios es la de sistemas de construcción activados térmicamente (TABS), que incluye tuberías o conductos incrustados en las superficies del edificio para funcionar como intercambiadores de calor, proporcionar calefacción o refrigeración y almacenar calor en la masa térmica. Esta técnica no se tendrá en cuenta en el estudio en cuestión.

Entre las diferentes tecnologías disponibles para llevar a cabo estrategias de DR, las bombas de calor pueden jugar un papel vital. Estos equipos pueden ser efectivos al equilibrar el suministro y la demanda de electricidad cuando se combina con la inercia térmica de los edificios, contribuyendo también a la integración de energías renovables. Por lo tanto, se podría usar una tarificación de precios dinámicas como un medio para inducir a los usuarios a generar o absorber electricidad dependiendo del desequilibrio de la red, consiguiendo un ahorro potencial.

## 1.4 ROL COMPORTAMIENTO USUARIO

El sistema energético actual en el cual la energía es generada de forma central, por un lado, y consumida por usuarios individuales por el otro, ofrece un marco en el cual los usuarios pueden jugar un rol principal para producir ahorros de energía considerables.

Diversos estudios han demostrado que los consumidores que disponen de información alteran su comportamiento, reduciendo el consumo hasta un 14 %. Por esta razón, la información en tiempo real sobre el uso de la energía y las tarifas usando contadores inteligentes y pantallas de información del consumo real pueden ayudar a hacer la energía más visible [9].

El estudio presentado [10] ofrece un análisis detallado sobre experimentos de conservación energética basados en la información, cuantificando los ahorros de energía de estrategias tales como sugerencias de ahorro o llevando a cabo auditorías energéticas. Comparar a cada usuario individual con la energía promedio usada por su entorno puede ser una estrategia mucho más efectiva que otras a la hora de reducir el uso de la energía. De media, afirman que los individuos que participaron en el experimento redujeron su consumo de electricidad un 7.4 %. En [11] podemos ver una visión útil sobre el rol que las pantallas de información pueden jugar para ayudar a las viviendas a entender patrones de comportamiento y los impactos relativos de los distintos electrodomésticos y equipamiento.

Dicha información está probando ser un primer paso fundamental para involucrar y dar poder a los consumidores, de forma que gestionen bien sus recursos energéticos. Sin embargo, algunos tipos de información parecen ser más efectivos que otros [12], puesto que algunos estudios sugieren que la información diaria/semanal y la información en tiempo real son las que consiguen los mayores ahorros en las viviendas. La siguiente figura muestra los ahorros promedio de una vivienda dependiendo del tipo de información, obtenida por el estudio mencionado anteriormente basado en 36 estudios implementados entre los años 1995 y 2010.

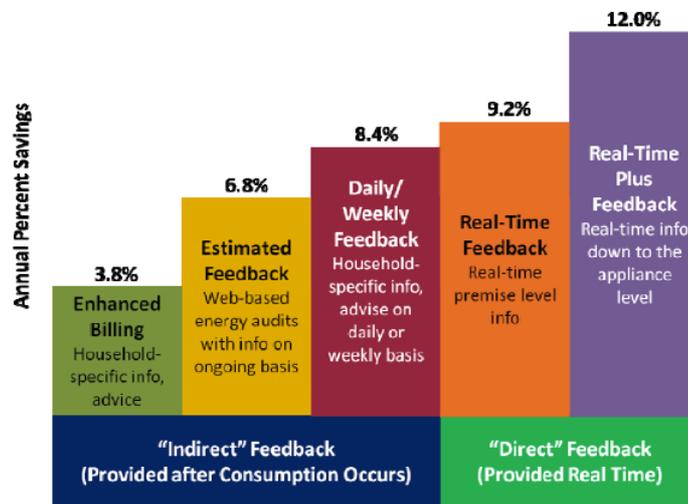


Figura 1-4. Ahorros promedio de electricidad de las viviendas dependiendo del tipo de información

Otro tipo de información energética sobre ahorros es el dato en tiempo real de los consumos a nivel de electrodomésticos, que tiene el potencial de dar poder a los consumidores para gestionar de forma efectiva el consumo energético de su vivienda y animar a la conservación de los recursos [13].

El estudio mostrado por [14], el cual se centra en las viviendas de bajos recursos, muestra que se pueden conseguir ahorros de entre el 22% y el 27% cuando se llevan a cabo campañas individualizadas de concienciación e información de los consumos.

Por tanto, se puede determinar que el papel del usuario, es un parte muy activa en el sistema energético, no solo como consumidor también como gestor.

## 1.5 TARIFICACIÓN ELÉCTRICA

El sector de la electricidad se enfrenta a grandes desafíos en el futuro cercano, como cambios en el uso de la electricidad, el envejecimiento de la infraestructura y una mayor cantidad de generación de electricidad intermitente renovable. Para hacer frente a estos desafíos, la gestión del lado de la demanda puede jugar un papel importante, su combinación con las tarifas eléctricas se determinará a lo largo del proyecto que puede ser muy influyente.

De forma tradicional, los consumidores pagan precios minoristas basadas en el tiempo de uso (TOU), pagando un precio más alto durante el período de horas punta. Por lo tanto, no hay un incentivo económico para los consumidores que respondan a cambios en la curva de consumo. Sin embargo, existe otras alternativas de tarificación que conduciría a lo consumidores a reducir el costo de generación (sufriendo los ahorros pertinentes) y mejorar la eficiencia del mercado y el sistema.

Los contratos de tarifas eléctricas con precios dinámicos alinean a los usuarios a cambiar la curva de consumo, trasladando el consumo de energía durante las horas punta, lo cual ayuda a equilibrar la carga en el sistema. Sin embargo, estas fluctuaciones diarias de lo precios pueden mantener a los clientes alejados de estos contratos, unido a una necesaria información de estas tarifas, más difícil de proporcionar.

A continuación, se presentan algunas estructuras de precios basados en el tiempo, tratados en varios artículos como [15]- [16]- [17]:

- ✓ *Precio según Tiempo de Uso (TOU)*: Los precios se fijan dentro de cada período, se definen de acuerdo a la hora del día, el día de la semana y/o la temporada. Sin embargo, las tasas son fijas, no proporcionan incentivos para que los consumidores respondan a cambios en la curva de demanda.
- ✓ *Precio de Pico Críticos (CPP)*: Al igual que las tarifas TOU los precios se fijan a través de un período de tiempo; en cambio, en esta ocasión el precio durante un período tiene el potencial de cambiar a diario ocasionalmente o regularmente.
- ✓ *Precios en Tiempo Real (RTP)*: En esta estructura los precios de la energía aplicados a los consumidores varían cada hora para reflejar los precios del mercado mayorista. En función del horizonte temporal con el que se hagan los cambios, podemos encontrar dos alternativas.

En la Figura 1-5, se presentan las estructuras explicadas anteriormente con su aplicación a estrategias de DSM, las ventajas y desventajas de cada una de ellas.

Time-based Demand Response	Advantages	Disadvantages
<b>RTP, long time lag, e.g. &gt; 12 h</b>	+ Good planning possibilities for customers + Support integration of renewable energy sources (RES).	- Risk for increased peak demand. - Need for communication and metering
<b>RTP, short time lag, e.g. &lt; 12 h</b>	+ Reduced peak demand + Support integration of RES.	- Difficult for customers to plan their electricity usage. - Limited impact on the peak demand locally. - Need for communication and metering.
<b>Time of use (TOU)</b>	+ Good planning possibilities for customers + Easy to implement.	- Limited reflection on the supply/demand. - Limited support for RES integration.
<b>Critical peak pricing (CPP)</b>	+ Reduce the total power system peak	- Limited number of hours to be used - Preset price levels. - Limited impact on the peak demand locally. - No support for RES integration.

Figura 1-5. Ventajas y Desventajas Estructuras de Tarificación Eléctrica

Muchos estudios se centran en el DSM basado en precios de la electricidad, cuantificando la idoneidad y el impacto de los procedimientos de DSM bajo precios variables o tarificación en tiempo real. Como se puede

observar en el cuadro superior, la alternativa más idónea para nuestras medidas sería RTP; sin embargo, esto supone un cierto riesgo, una mayor comunicación generación-consumidor, dificultad por parte del consumidor para planificar su consumo energético. Por lo tanto, nuestro proyecto se basará en tarifas de tipo TOU, como opción más conservadora y fideligna de la situación actual en España.

De forma general los resultados se obtiene con una tarifa actual en España de una de las comercializadoras más conocidas. La cual cuenta con dos períodos, uno de horas valles con un precio menor y el otro con un precio mayor, horas punta [18].

## 1.6 FOTVOLTAICA

El reciente auge de la generación distribuida junto con la reducción del coste de la tecnología, ha convertido la fotovoltaica en la solución más extendida para la producción de electricidad en edificios.

La energía solar fotovoltaica es una fuente de energía que produce electricidad de origen renovable, obtenida directamente a partir de la radiación solar mediante un dispositivo semiconductor denominado célula fotovoltaica, o bien mediante una deposición de metales sobre un sustrato denominado célula solar de película fina. Este tipo de energía se usa principalmente para producir electricidad a gran escala a través de redes de distribución, aunque también permite alimentar diferentes aplicaciones, aparatos o edificios, en los cuales la electricidad convencional no es accesible.

Programas de incentivos económicos, primero, y posteriormente sistemas de autoconsumo fotovoltaico y balance neto sin subsidios, han apoyado la instalación de la fotovoltaica en un gran número de países. Gracias a ello la energía solar fotovoltaica se ha convertido en la tercera fuente de energía renovable más importante en términos de capacidad instalada a nivel global, después de las energías hidroeléctrica y eólica. En 2016, el mercado fotovoltaico rompió nuevamente varios récords y continuó su expansión global, con un crecimiento del 50% [19]. Después de un desarrollo limitado en 2014, y un crecimiento del 25% en 2015, el mercado continuó su crecimiento, con muchas regiones del mundo contribuyendo al desarrollo fotovoltaico. El año 2016 fue un año de récords, la capacidad total instalada a finales de 2016 en todo el mundo ascendía al menos a 303 GW [20].

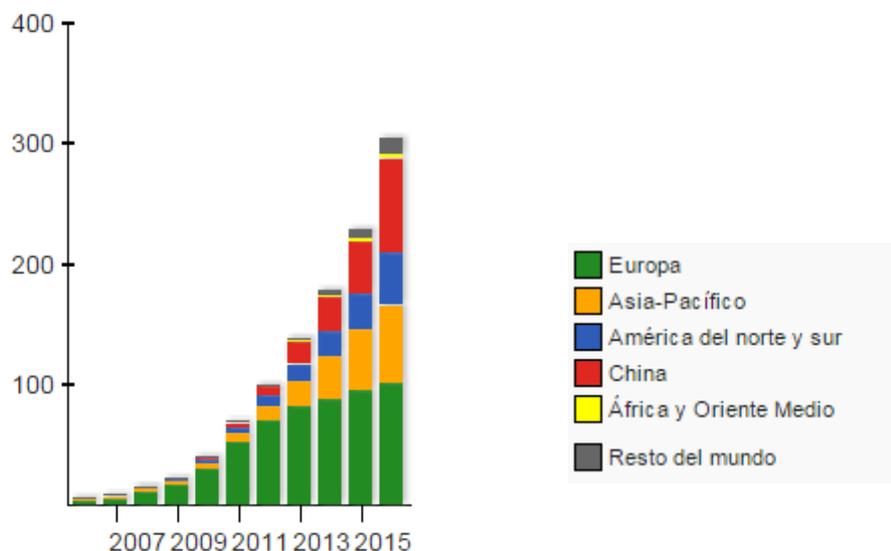


Figura 1-6. Potencia fotovoltaica mundial instalada hasta 2016, en GW, expresada por región

La energía fotovoltaica no emite ningún tipo de polución durante su funcionamiento, contribuyendo a evitar la emisión de gases de efecto invernadero. Su principal desventaja consiste en que su producción depende de la radiación solar; por tanto, se ve afectada por las condiciones meteorológicas adversas, como la falta de sol, nubes o la suciedad que se deposita sobre los paneles.

Hoy en día, la principal tecnología fotovoltaica comercial se basa en el silicio cristalino [21]. Estos dispositivos solares representan la primera generación de energía fotovoltaica y cubren el 90% del mercado. El resto del mercado está cubierto por tecnologías de película delgada principalmente basado en CdTe, CIGS y silicio amorfo. Estos productos, que pertenecen a la segunda generación de fotovoltaicos y que se caracterizan por una eficiencia ligeramente inferior a los dispositivos de la primera, están entrando hoy en el mercado especialmente debido a su menor coste de fabricación y al aumento continuo de las prestaciones [22].

Gracias a los avances tecnológicos, la sofisticación y la economía de escala, el coste de la energía solar fotovoltaica se ha reducido de forma constante desde que se fabricaron las primera células solares comerciales, aumentando a su vez la eficiencia, y logrando que su coste medio de generación eléctrica sea ya competitivo con el resto de fuentes de generación tradicionales ( [23] [24]).

Según la Agencia Internacional de la Energía, es factible un escenario en el que el 16% del consumo eléctrico mundial se genere mediante fotovoltaica en 2050 [25].

## 1.7 SMART GRIDS

A día de hoy es imposible imaginar el mundo tal cual lo conocemos sin un suministro eléctrico que ilumine nuestros hogares o haga funcionar nuestras fábricas. Cada día que pasa el consumo eléctrico crece a medida que lo hacen nuestras necesidades, unas necesidades que se adecuan al ritmo con el que evolucionan las nuevas tecnologías. Sin embargo, un crecimiento global del consumo conlleva una mayor necesidad de generación de electricidad, que en la mayoría de los casos es obtenida a partir de combustibles que se encuentran en el planeta de forma limitada, esto es, los combustibles fósiles, generando con ello grandes emisiones de gases nocivos para el medio ambiente. Es por ello que el marco eléctrico tradicional está evolucionando hacia una nueva perspectiva donde la generación distribuida basada en fuentes renovables está adquiriendo un papel muy relevante; se plantea un modelo de red eléctrica basado en tres pilares: generación distribuida, autonomía en su control y tecnologías de la información para transmitir y manejar todos los datos. En este sentido ha surgido la nueva generación de redes eléctricas inteligentes o smart grids, las cuales han sido objeto de numerosos estudios de desarrollo e implantación.

Para poder entender cómo funciona este nuevo concepto de red eléctrica y de qué se trata, se llevará a cabo en primer lugar un análisis del funcionamiento de la red eléctrica tradicional y se verá cómo las nuevas necesidades de la sociedad y el hacer frente a los problemas derivados del sistema eléctrico tradicional han propiciado la necesidad de buscar nuevas soluciones en el marco eléctrico, desarrollándose las nuevas redes inteligentes.

- ✚ La *red eléctrica tradicional*, en la actualidad forma el sistema encargado de hacer llegar energía a los hogares. Este sistema está formado por el conjunto de elementos para la generación, el transporte y la distribución de la energía, además de los mecanismos de control, seguridad y protección.

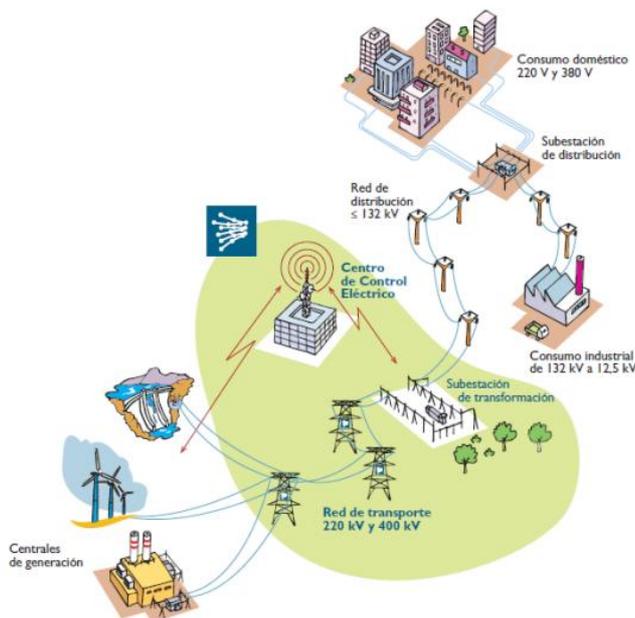
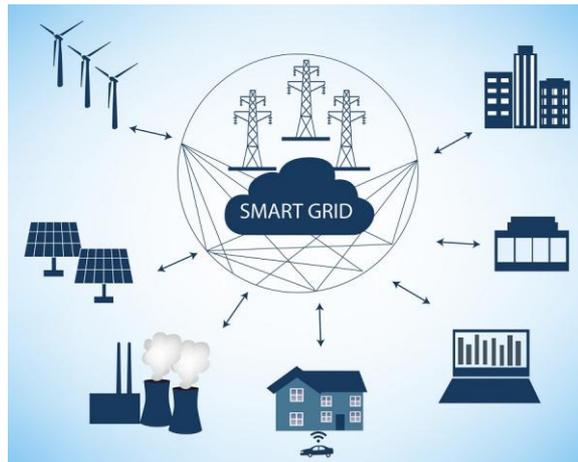


Figura 1-7. Esquema Red Eléctrica Actual

Esta estructura de red eléctrica, mantenida prácticamente sin alterar desde mediados del siglo pasado, ha comenzado un proceso de cambio provocado por la introducción de la generación distribuida (pequeñas centrales de generación ubicadas cerca del consumo) que se conectan directamente a la red de distribución y al consumo.

- ✚ El futuro nos lleva hacia una *red inteligente*, aquella que puede integrar de forma eficiente el comportamiento y las acciones de todos los usuarios conectados a ella, de tal forma que se asegure un sistema energético sostenible y eficiente, con bajas pérdidas y altos niveles de calidad y seguridad de suministro.



*Figura 1-8. Esquema representativo SmartGrid*

La red eléctrica inteligente es una forma de gestión eficiente de la electricidad que utiliza la tecnología informática para optimizar la producción y la distribución de electricidad, con el fin de equilibrar mejor la oferta y la demanda entre productores y consumidores. Aparece el concepto intrínseco dentro de la Smart Grid de Energía Distribuida como la generación y gestión de energía eléctrica de forma descentralizada, lo más cerca posible de su lugar de consumo a través de, principalmente, fuentes de energía renovable.

Este proyecto se va a centrar en la segunda parte del mismo en definir una Microgrid, que es la versión reducida de la Smart Grid, son unidades de gestión distribuida de energía que reúne bajo un mismo sistema de gestión los sistemas de generación y consumo. Luego, suponiendo que una microgrid en su concepto más limitado es una isla energética, diremos que las productores son las fuentes renovables capaces de proporcionar energía a nivel local (solar y eólica, principalmente) y que los consumidores son los propios habitantes de la supuesta isla energética. No obstante, debido a la intermitencia de las fuentes de energía renovable, es necesario introducir dispositivos de almacenamiento de energía que permitan el aporte de energía cuando las fuentes no satisfagan las necesidades energéticas del consumidor, y al revés, que permitan el almacenamiento de energía siempre y cuando la demanda esta cubierta por las fuentes. Por lo tanto, el papel de estas baterías va a ser fundamental para el balance energético, ya que actuarán como regulares del flujo entrante y saliente de potencia eléctrica.

El objetivo de los sistemas integrados a escala de distrito es considerar los requisitos de toda la comunidad, logrando mejores sinergias entre prosumidores.

## ***1.8 OBJETIVO DEL PROYECTO***

El objetivo principal de este proyecto es desarrollar una metodología de gestión de la demanda en edificios, en primer lugar; con una posterior aplicación de esta metodología para la gestión de un distrito con producción de energía renovable. De esta manera se pretende alinear la situación energética en edificios hacia los objetivos de las actuales Directivas.

El proyecto está claramente diferenciado en dos bloques, que al mismo tiempo se complementan, obteniendo resultados muy interesantes. Por tanto, es necesario delimitar los objetivos de cada uno de ellos, que remarán por separados hacia una meta única, la gestión energética en edificios.

En primer lugar, el Bloque I, cuyo objeto es analizar el potencial de mejora de las medidas de DSM vinculadas con la operación de equipos, variación de consignas de equipos y ventilación nocturna; es decir, preheating y precooling con o sin ventilación nocturna; usando como base de almacenamiento la inercia estructural del edificio. Para ello se realiza el estudio de potencial de 5 viviendas distribuidas por España y considerando diferentes escenarios de análisis.

Seguido del Bloque II, el cual trata de proponer la gestión energética de un distrito, con una estrategia que fomenta el intercambio de excedentes de electricidad entre diferentes usuarios, con el fin de maximizar el ahorro de costos y la utilización de energía renovable en el distrito. Se propone como caso de estudio un distrito en la Isla de La Graciosa, de esta forma se puede paliar el problema de la electricidad en la Isla de la Graciosa, al mismo tiempo que alinear este estudio con los retos explicados en el contexto energético previamente; con una evolución hacia un sistema autosuficiente en el que se podrá generar, almacenar y distribuir su propia energía.

## 2 BLOQUE I. POTENCIAL AHORRO CON ANÁLISIS INFLUENCIA DSM

---

**E**ste bloque tiene como objeto analizar el potencial de mejora de las medidas de DSM vinculadas con la operación de equipos, variación de consignas de equipos y ventilación nocturna; es decir, preheating y precooling con o sin ventilación nocturna. Estas medidas tienen como elementos diferenciales que:

- El efecto se apoya principalmente en la utilización de la inercia estructural del edificio como buffer que permite reducir la demanda energética del edificio y/o reducir el consumo energético y/o reducir el coste económico asociado.
- El potencial de mejora debido al uso se analiza como posterior a la rehabilitación o alternativo a la rehabilitación.

Para el estudio de potencial se han fijado 5 edificios de viviendas situados en la Isla Graciosa (2), Málaga, Sevilla y Madrid. Sobre estos edificios se analiza, además del potencial de estas medidas, las decisiones a tener en cuenta para definir la mejor estrategia de operación del gestor de demandas.

Se ha considerado para los edificios anteriores diferentes escenarios de análisis, desde un edificio de partida, que se corresponde con el original en cada caso, hasta un edificio mejorado, modificando aspectos de la envuelta como aislante, mejorando la estanqueidad de huecos, entre otros. Unificado a la existencia de dos usuarios diferentes, aspecto importante que se ha evaluado a partir de los resultados obtenidos.

Por último, en la definición de la mejor estrategia de operación del gestor de demandas, se incorpora un control inteligente, que cada día puede determinar qué alternativa es la más adecuada.

### 2.1 PROCEDIMIENTO

Para poder llevar a cabo un estudio en profundidad del potencial de ahorro que podría tener la gestión de la demanda (DSM) en diferentes edificios, es necesario tener un modelo individual de cada uno de ellos. Toda la información procesada será obtenida a partir de las diferentes simulaciones, con los archivos climáticos pertinentes.

Para analizar el comportamiento térmico de la construcción en detalle, se ha desarrollado un edificio. Esto significa que hay disponible un modelo con una consideración precisa de la geometría, los materiales, la orientación, las superficies expuestas de los techos, las paredes y los pisos. El modelo de construcción se desarrolló en la herramienta de software LIDER-CALENER Unificado detallado (HULC), que es la herramienta oficial de certificación energética del edificio en el país, fueron usadas las soluciones constructivas verdaderas [26].

La razón para usar este software es doble: primero, esta herramienta sigue una evaluación base transitoria y por hora que ha sido validada a través de Bestest [27], se ha utilizado para obtener el Certificado de eficiencia energética de construcción de cientos de miles de edificios en España, y también ha sido utilizado por muchos estudios en la literatura reciente. Y en segundo lugar, esta herramienta se desarrolló dentro del grupo de investigación de los autores del presente trabajo, lo que permitió realizar ciertas modificaciones para poder llevar a cabo el estudio.

A continuación se muestra el procedimiento que se ha seguido, teniendo en cuenta algunas de las alternativas que se han presentado en el capítulo anterior, y que se explotarán en estudios de coste óptimo a posteriori.

Cuyo esquema del procedimiento se presenta a continuación.



Figura 2-1. Procedimiento DSM

Las etapas realizadas son:

1. *Building Models* (Modelización de los edificios). Los modelos informáticos son usados para complementar la falta de datos medidos o en su defecto para sustituirlos por completo. Las únicas viviendas complementadas son las de Graciosa, el resto son totalmente vía simulación. A partir de estos datos se obtiene su algoritmo de predicción de consumos, convirtiéndose en el motor de cálculo del procedimiento.
2. *User Behavior*. El usuario queda definido por su comportamiento convencional o inteligente; y su horario de operación. En el siguiente epígrafe se describe.
3. *Climate*. Las zonas climáticas están vinculadas a los datos climáticos (véase el código técnico de la edificación).
4. *Electricity Prices* (Tarificación Eléctrica). Se define una tarifa Eléctrica de forma general que será utilizada para todos los resultados.
5. *Decision Maker*. Finalmente se definen las alternativas de cada una de las tres medidas de DSM a estudiar.

Cada uno de estos puntos se explica y detalla en el siguiente epígrafe.

## 2.2 DESCRIPCIÓN DE LOS CASOS

### 2.2.1 Edificios

A continuación, se presentan las viviendas estudiadas, sobre las que se evalúan mediante simulación el impacto energético/económico que suponen las medidas llevadas, así como el identificador asociado a cada una de ellas, que será utilizado a lo largo de todo el proyecto para facilitar el análisis.

Para realizar el modelo de cada uno de los edificios, se ha realizado una visita a los mismos, lo cual permite la realización del inventario energético de dichas viviendas. Información presentada, a posteriori de la tabla resumen de todos ellos, para cada uno de los casos.

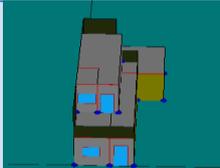
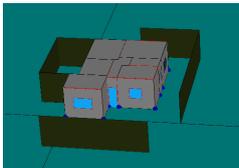
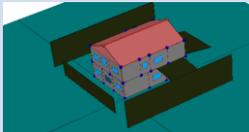
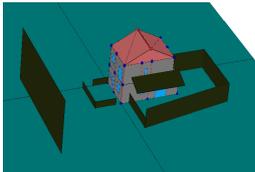
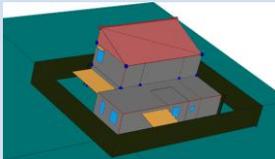
<i>ID</i>	<i>Modelo/ Edificio Real</i>	<i>Ubicación</i>	<i>Descripción</i>
Edificio 1	 	Isla La Graciosa (Lanzarote)	<p>Vivienda Unifamiliar de 2 plantas.</p> <p>Superficie: 88 m<sup>2</sup></p> <p>Orientación: Sureste</p> <p>Año construcción: 2005-2006</p>
Edificio 2	 	Isla La Graciosa (Lanzarote)	<p>Vivienda Unifamiliar de 1 planta.</p> <p>Superficie: 60 m<sup>2</sup></p> <p>Orientación: Sureste</p> <p>Año construcción: 2005-2006</p>
Edificio 3	 	Lozoyuela (Madrid)	<p>Vivienda Unifamiliar de 2 plantas.</p> <p>Superficie: 158 m<sup>2</sup></p> <p>Orientación: Noroeste</p> <p>Año construcción: 2004-2005</p>
Edificio 4	 	Alhaurín de la Torre (Málaga)	<p>Vivienda Unifamiliar de 2 plantas.</p> <p>Superficie: 182 m<sup>2</sup></p> <p>Orientación: Norte</p> <p>Año construcción: 2004-2006</p>
Edificio 5	 	Espartinas (Sevilla)	<p>Vivienda Unifamiliar de 2 plantas.</p> <p>Superficie: 230 m<sup>2</sup></p> <p>Orientación: Sur</p> <p>Año construcción: 1997</p>

Tabla 2-1. Descripción Edificios

Para cada una de las viviendas se presentará la distribución de los espacios internos, ubicando principalmente el salón que será la zona sobre la que se centrará el estudio, ya que este en todas las viviendas es la zona climatizada; información general que ayude a la elaboración de los modelos; una tabla de parámetros energéticos característicos, así como resultados obtenidos de la simulación.

Estos últimos, de forma previa, se presentará la demanda mensual con un usuario estándar, proporciona una idea del comportamiento térmico de los edificios, y una simulación en oscilación libre, que consiste en tratar la zona en concreto como si no existiese climatización, que ayuda a delimitar las estaciones de climatización que se establecerán (Refrigeración-Calefacción-Nada). Este aporte o extracción calor permitirían mantener la temperatura dentro de la banda de confort 20-25 °C, tal y como se ha hecho para obtener los resultados de demanda anteriores

### 2.2.1.1 Edificio 1. Graciosa19

Es una vivienda unifamiliar de dos plantas situada en la isla La Graciosa, C/ Siroco, 19 (Lanzarote).



Figura 2-2. Edificio 1

Para llevar a cabo un análisis detallado del comportamiento de la vivienda, es necesario conocer la distribución de los distintos espacios que la componen y que la zonificación del modelo de HULC sea la de dichos espacios.

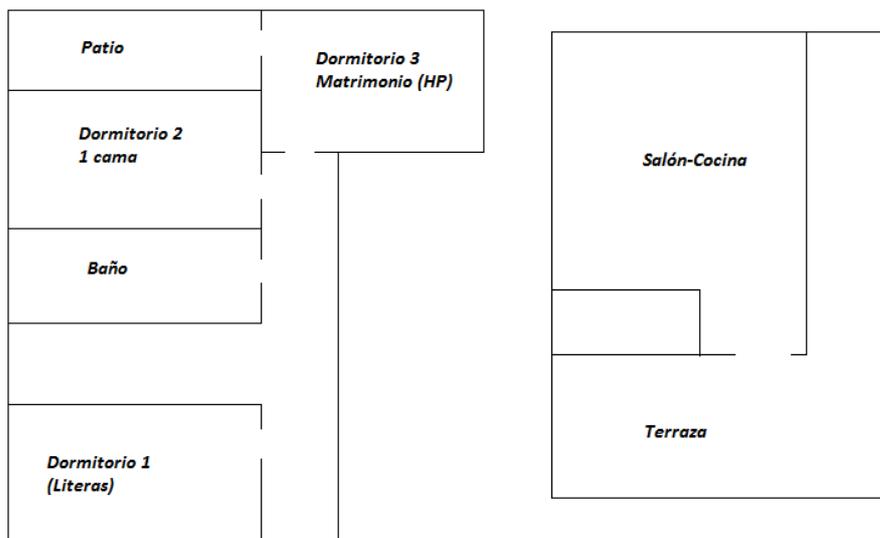


Figura 2-3. Esquema de la distribución interior del edificio 1 (planta alta y baja)

ZONAS	ACONDICIONAMIENTO
Salón	SI
Habitación: Dormitorios, despachos	NO
Otros: cocinas	NO

Tabla 2-2. Datos de la climatización del edificio 1

El edificio de la vivienda en cuestión fue construido entre 2005 y 2006. La fachada principal está orientada al Sureste, como la gran mayoría de viviendas de la isla, y los materiales de muros y ventanas es de baja calidad, razón por la cual se procede también al análisis con un edificio mejorado. Dicho estudio se extenderá también al resto de viviendas con el objetivo de optimizar en todos los casos analizados la envolvente, aunque no sea tan necesario en algunos otros casos.

En cuanto a las instalaciones de la vivienda, se tiene una producción de ACS que consiste en una caldera de gas; en lo que respecta a climatización, solo existe una bomba de calor ubicada en el salón-cocina.

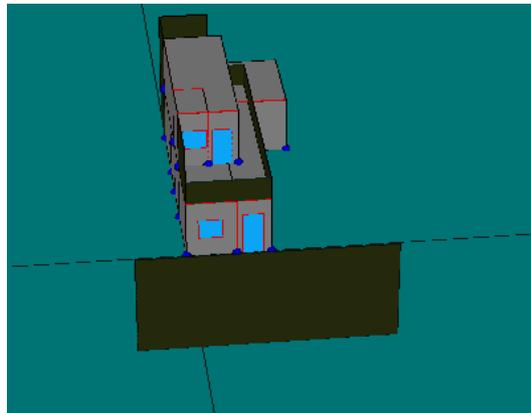


Figura 2-4. Modelo HULC del edificio 1 con las sombras añadidas

2.2.1.1.1 Parámetros característicos

Los parámetros energéticos que caracterizan el comportamiento energético de la vivienda son:

DESCRIPCIÓN	EDIFICIO		1	
	SIGLAS		VIV 1	
	TIPO DE EDIFICIO		RESIDENCIAL	
	SUPERFICIE CONSTRUIDA (m <sup>2</sup> )		88.00	
	ALTURA MEDIA (m)		3.00	
	ÁREA ACONDICIONADA (m <sup>2</sup> )		20.00	
	VOLUMEN ACONDICIONADO (m <sup>3</sup> )		60.00	
PARÁMETROS ENERGÉTICOS	COMPACIDAD (m)		4.37	
	U <sub>M</sub> sin PT (W/m <sup>2</sup> ·K)		1.57	
	ΔU (W/m <sup>2</sup> ·K)		0.20	
	U <sub>M</sub> con PT (W/m <sup>2</sup> ·K)		1.77	
	ASSE (m <sup>2</sup> )	ENERO		2.19
		FEBRERO		2.44
		MARZO		2.75
		ABRIL		3.35
		MAYO		3.97
		JUNIO		4.46
		JULIO		4.12
		AGOSTO		3.4
		SEPTIEMBRE		2.75
		OCTUBRE		2.35
NOVIEMBRE		2.2		
DICIEMBRE		2.19		

Tabla 2-3. Parámetros energéticos del Edificio 1

2.2.1.1.2 Resultados

Los resultados previos del modelo, obtenidos vía simulación en la herramienta de certificación oficial son:

	Demanda Mensual (KWh/m <sup>2</sup> )												TOTAL
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
<b>Caso Base U. Estándar</b>	23.3	17.34	12.9	4.9	2.3	6.4	13.5	12.9	4.4	1.1	9.6	20.8	129.4

Tabla 2-4. Demandas energéticas Edificio 1

Si de la simulación anterior se elimina el equipo de acondicionamiento se tiene la evolución libre de la temperatura interior de la vivienda. Sobre esta temperatura se puede analizar cuando se necesitaría aportar calor para aumentar su temperatura (calefacción) y cuando retirar ese calor para reducirla (refrigeración). Este aporte o extracción calor permitirían mantener la temperatura dentro de la banda de confort 20-25 °C, tal y como se ha hecho para obtener los resultados de demanda anteriores.

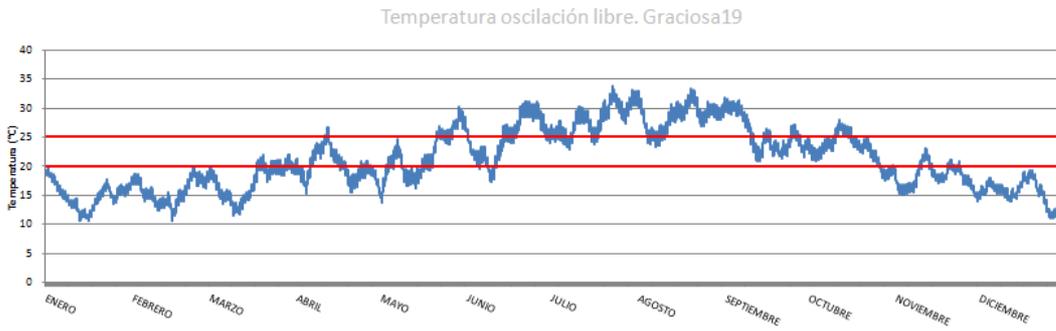


Figura 2-5. Estudio en evolución libre del Edificio 1

La gráfica de temperatura en oscilación libre, permite delimitar las diferentes estaciones del año, centrándose en cada uno de los meses respectivos los diferentes estudios. En este caso, se tiene unos meses de calefacción que van de diciembre a marzo y una de refrigeración de junio a agosto, ambos incluidos.

2.2.1.2 Edificio 2. Graciosa 25

El segundo caso es una vivienda unifamiliar de una planta, situada en la isla La Graciosa, C/ Siroco, 25 (Las Palmas).



Figura 2-6. Fotografía del Edificio 2

Para llevar a cabo un análisis detallado del comportamiento de la vivienda, es necesario conocer la distribución de los distintos espacios que la componen y que la zonificación del modelo de HULC sea la de dichos espacios.

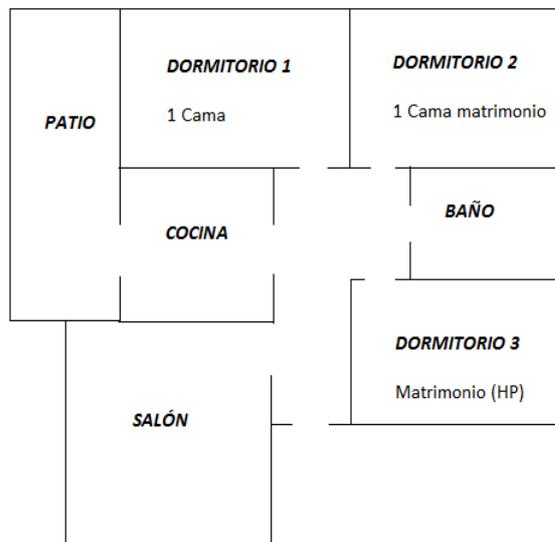


Figura 2-7. Esquema de la distribución interior del Edificio 2

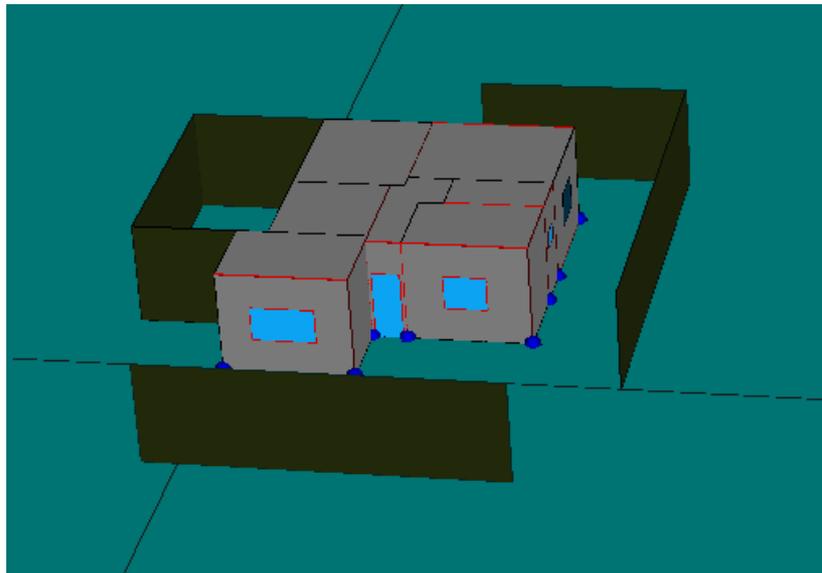
El edificio de la vivienda en cuestión tiene una antigüedad desconocida, debido a la no propiedad por parte de

los residentes actuales, pero al menos tiene 20 años. La fachada principal está orientada al Sureste, al igual que la anterior, y la construcción de muros y ventanas es de baja calidad.

En cuanto a las instalaciones de la vivienda, tiene una producción de ACS que consiste en una caldera de gas. Referido a la climatización, solo existe una bomba de calor ubicada en unos de los espacios, el salón.

ZONAS	ACONDICIONAMIENTO
Salón	SI
Habitación: Dormitorios, despachos	NO
Otros: cocinas	NO

*Tabla 2-5. Datos de la climatización del Edificio 2*



*Figura 2-8. Modelo del Edificio 2 en estudio con las sombras añadidas*

2.2.1.2.1 Parámetros característicos

Los parámetros del edificio resultan:

DESCRIPCIÓN	EDIFICIO		2	
	SIGLAS		VIV2	
	TIPO DE EDIFICIO		RESIDENCIAL	
	SUPERFICIE CONSTRUIDA (m <sup>2</sup> )		60.97	
	ALTURA MEDIA (m)		3.00	
	ÁREA ACONDICIONADA (m <sup>2</sup> )		20.00	
	VOLUMEN ACONDICIONADO (m <sup>3</sup> )		60.00	
PARÁMETROS ENERGÉTICOS	COMPACIDAD (m)		1.91	
	U <sub>M</sub> sin PT (W/m <sup>2</sup> ·K)		1.62	
	ΔU (W/m <sup>2</sup> ·K)		0.15	
	U <sub>M</sub> con PT (W/m <sup>2</sup> ·K)		1.77	
	ASSE (m <sup>2</sup> )	ENERO		1.22
		FEBRERO		1.34
		MARZO		1.46
		ABRIL		1.71
		MAYO		1.96
		JUNIO		2.14
		JULIO		2
		AGOSTO		1.71
		SEPTIEMBRE		1.43
OCTUBRE		1.26		
NOVIEMBRE		1.2		
DICIEMBRE		1.22		

Tabla 2-6. Parámetros energéticos de la vivienda 2

2.2.1.2.2 Resultados

La obtención de los resultados sigue un proceso análogo al descrito anteriormente:

	Demanda Mensual (KWh/m2)												TOTAL
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
<b>Caso Base U.Estándar</b>	11	8	6.3	3	1.6	2.9	6.6	7	2.9	0.5	4	9.9	63.64

Tabla 2-7. Demandas energéticas Edificio 2

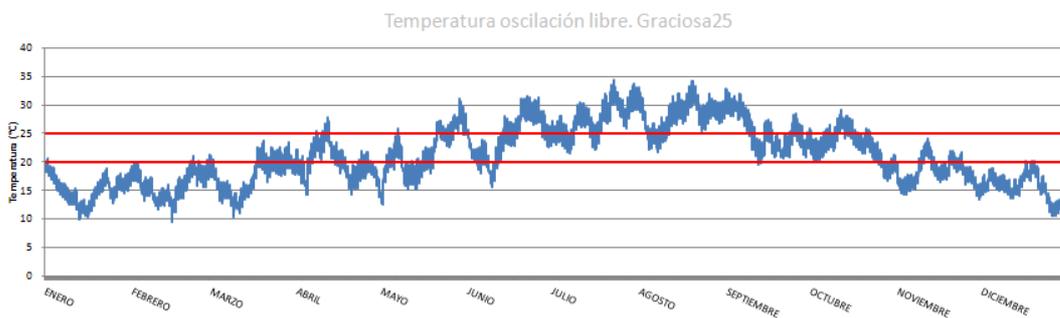


Figura 2-9. Estudio en evolución libre Edificio 2

Como se ha comentado anteriormente, la gráfica de temperatura en oscilación libre, permite delimitar las diferentes estaciones del año, centrándose en cada uno de los meses respectivos los diferentes estudios. En este caso, se vuela a tener unos meses de calefacción que van de diciembre a marzo y una de refrigeración de junio a agosto, ambos incluidos.

2.2.1.3 Edificio 3. Madrid

A continuación, se presenta una vivienda unifamiliar de dos plantas, situada en una parcela de una urbanización, en Madrid.



Figura 2-10. Fotografía Edificio 3

La vivienda inicia su construcción en el año 2004, finalizando al año siguiente; con estos datos se han obtenido los diferentes materiales constructivos con los que poder modelar la vivienda. Unido a ciertos aspectos proporcionados por el propietario.

El edificio se estructura de la siguiente manera, siguiendo los planos proporcionados por el propietario. Es necesario indicar que estos planos se corresponden con la vivienda en lo relativo a distribución y superficies; sin embargo, están girados respecto a la realidad.

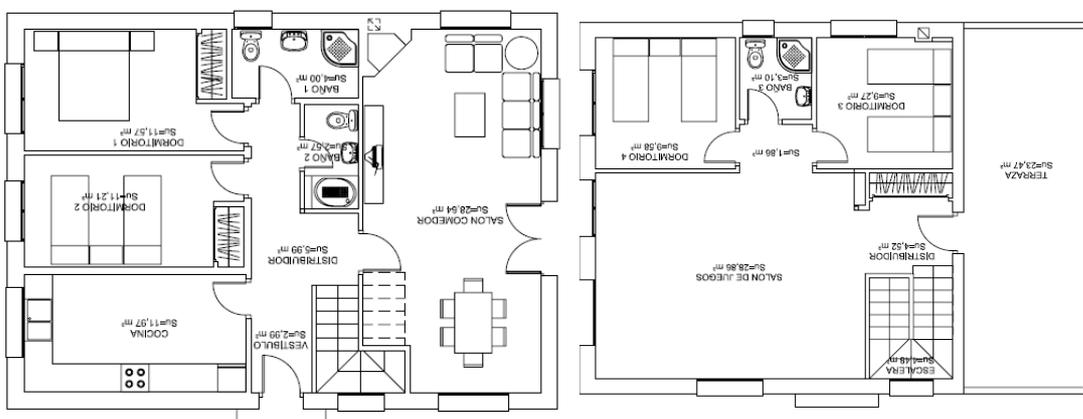


Figura 2-11. Esquema de la distribución interior del Edificio 3

En cuanto a las instalaciones de la vivienda, tiene una producción de ACS que consiste en un termo eléctrico; la climatización está centrada únicamente en radiadores eléctricos distribuidos a lo largo de las diferentes estancias de la vivienda.

ZONAS	ACONDICIONAMIENTO
Salón	SI
Habitación: Dormitorios, despachos	SI
Otros: cocinas	NO

Tabla 2-8. Datos de la climatización del Edificio 3

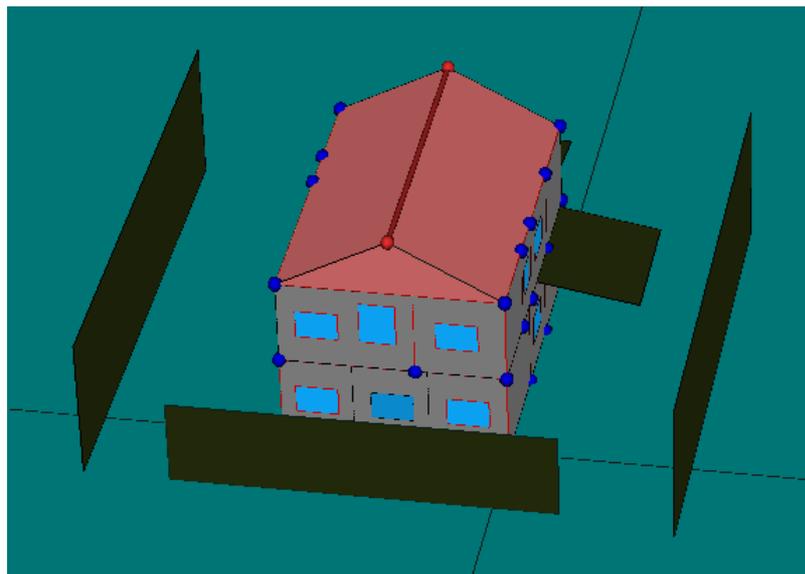


Figura 2-12. Modelo del Edificio estudio con las sombras añadidas

#### 2.2.1.3.1 Parámetros característicos

Los parámetros característicos de este caso resultan:

DESCRIPCIÓN	EDIFICIO	3	
	SIGLAS	VIV3	
	TIPO DE EDIFICIO	RESIDENCIAL	
	SUPERFICIE CONSTRUIDA (m <sup>2</sup> )	157.5	
	ALTURA MEDIA (m)	3	
	ÁREA ACONDICIONADA (m <sup>2</sup> )	102	
	VOLUMEN ACONDICIONADO (m <sup>3</sup> )	306	
PARÁMETROS ENERGÉTICOS	COMPACIDAD (m)	1.97	
	$U_M$ sin PT (W/m <sup>2</sup> ·K)	0.352	
	$\Delta U$ (W/m <sup>2</sup> ·K)	0.108	
	$U_M$ con PT (W/m <sup>2</sup> ·K)	0.46	
	ASSE (m <sup>2</sup> )	ENERO	2.7
		FEBRERO	2.64
		MARZO	2.61
		ABRIL	2.72
		MAYO	3.24
		JUNIO	3.65
		JULIO	3.6
		AGOSTO	2.98
		SEPTIEMBRE	2.66
		OCTUBRE	2.5
NOVIEMBRE		2.85	
DICIEMBRE		2.75	

Tabla 2-9. Parámetros energéticos del Edificio 3

2.2.1.3.2 Resultados

La obtención de los resultados sigue un proceso análogo al descrito anteriormente:

	Demanda Mensual (KWh/m2)												TOTAL
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
<b>Caso Base U.Estándar</b>	22.6	16.1	12.4	8	2.2	3.8	9.3	9.6	6.6	3	13	23	129.2

Tabla 2-10. Demandas energéticas Edificio 3

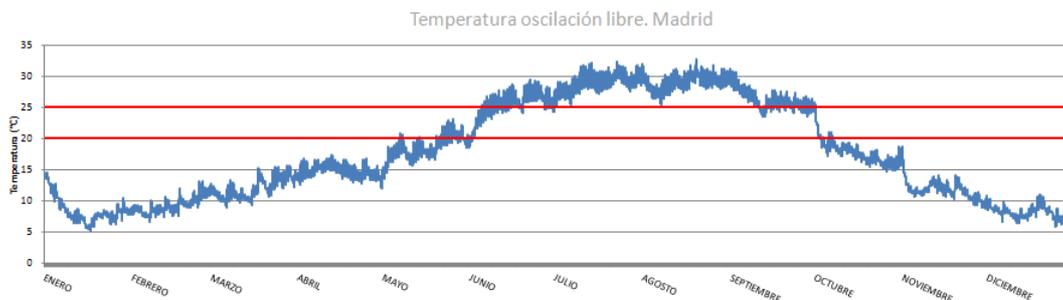


Figura 2-13. Estudio en evolución libre Edificio 3

En este caso, las estaciones de calefacción se pueden trasladar desde noviembre a abril, y la refrigeración de junio a agosto, todos incluidos.

2.2.1.4 Edificio 4. Málaga

Vivienda unifamiliar, situada en Alhaurín de la Torre (Málaga). Según los datos que proporciona el propietario de la casa a través de planos, la vivienda cuenta con una superficie construida de aproximadamente 200 m<sup>2</sup> y orientación norte. El Edificio consta de 2 plantas y un sótano, está bordeada por un jardín exterior delimitado con muros.



Figura 2-14. Fotografía del Edificio 4

La vivienda inicia su construcción en el año 2004, finalizando 2 años después, con estos datos han sido obtenidos los datos constructivos de la misma, necesarios para el modelo realizado.

La vivienda se estructura de la siguiente manera siguiendo los planos proporcionados por el propietario. Acompañado de un plano en 3D que nos ha facilitado medidas de alturas, así como de huecos.

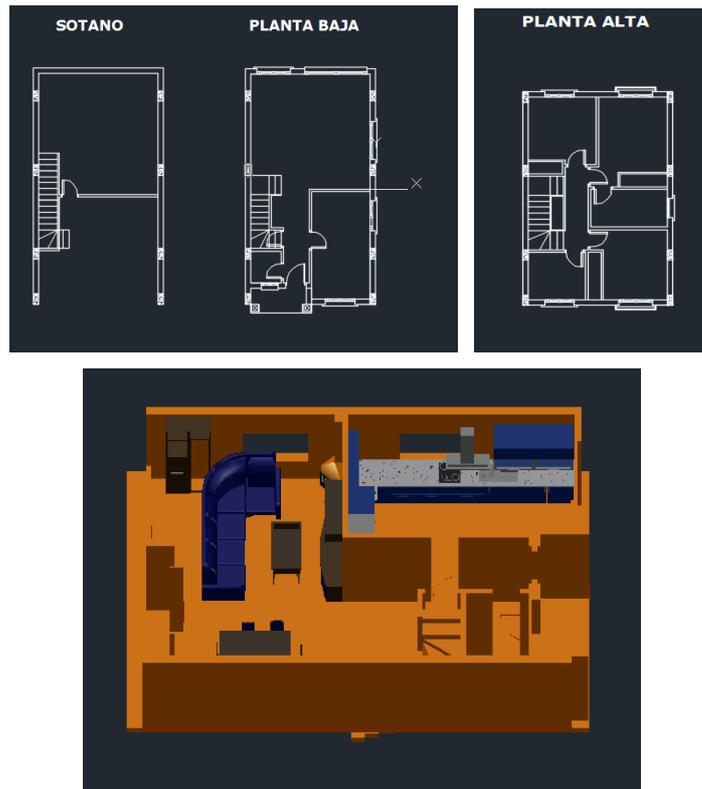


Figura 2-15. Esquema de la distribución interior del Edificio 4

En cuanto a las instalaciones de la vivienda, hay una producción de ACS que consiste en una caldera eléctrica (24 KW); climatización centralizada, diferenciando la parte superior de la inferior (la cocina está climatizada).

ZONAS	ACONDICIONAMIENTO
Salón	SI
Habitación: Dormitorios, despachos	SI
Otros: cocinas	SI

Tabla 2-11. Datos de la climatización del Edificio 4

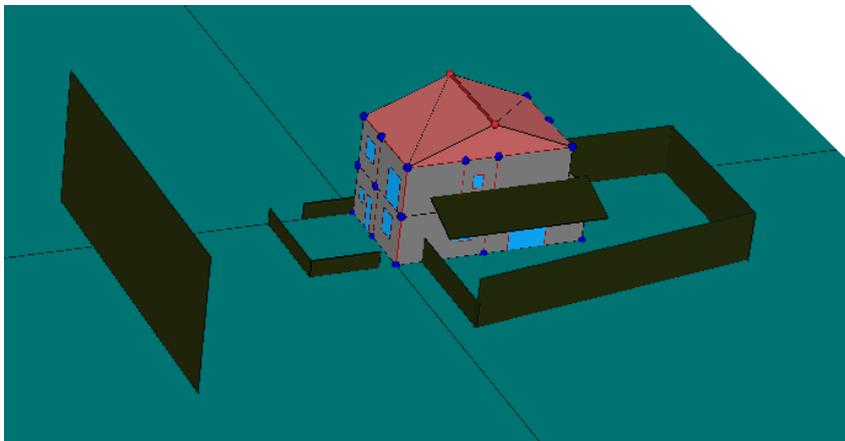


Figura 2-16. Modelo del Edificio 4 a estudio con las sombras añadidas

2.2.1.4.1 Parámetros característicos

Los parámetros característicos para este caso son:

DESCRIPCIÓN	EDIFICIO	4	
	SIGLAS	VIV4	
	TIPO DE EDIFICIO	RESIDENCIAL	
	SUPERFICIE CONSTRUIDA (m <sup>2</sup> )	181.73	
	ALTURA MEDIA (m)	3	
	ÁREA ACONDICIONADA (m <sup>2</sup> )	124	
	VOLUMEN ACONDICIONADO (m <sup>3</sup> )	372	
PARÁMETROS ENERGÉTICOS	COMPACIDAD (m)	3.5	
	$U_M$ sin PT (W/m <sup>2</sup> ·K)	1.47	
	$\Delta U$ (W/m <sup>2</sup> ·K)	0.3	
	$U_M$ con PT (W/m <sup>2</sup> ·K)	1.77	
	ASSE (m <sup>2</sup> )	ENERO	1.47
		FEBRERO	1.84
		MARZO	2.55
		ABRIL	3.57
		MAYO	4.75
		JUNIO	5.56
		JULIO	5.2
		AGOSTO	3.92
		SEPTIEMBRE	2.77
		OCTUBRE	2.01
NOVIEMBRE		1.56	
DICIEMBRE		1.45	

Tabla 2-12. Parámetros energéticos del Edificio 4

2.2.1.4.2 Resultados

Los resultados para este caso son:

	Demanda Mensual (KWh/m <sup>2</sup> )												TOTAL
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
<b>Caso Base U.Estándar</b>	13.9	9.8	7.2	2.9	1.6	9.5	17.6	16.9	7.6	0.3	4.3	12.2	103.8

Tabla 2-13. Demandas energéticas Edificio 4

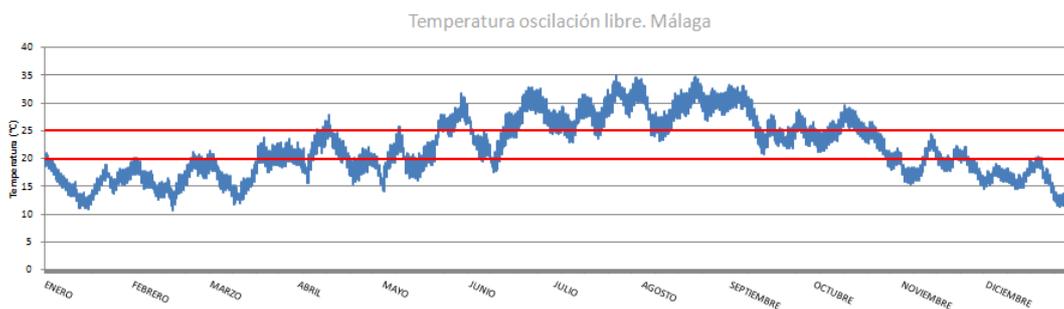


Figura 2-17. Estudio en evolución libre Edificio 4

Como se ha comentado anteriormente, la gráfica de temperatura en oscilación libre, permite delimitar las diferentes estaciones del año, centrándose en cada uno de los meses respectivos los diferentes estudios. En este caso, se suele tener unos meses de calefacción que van de diciembre a marzo y la de refrigeración de junio a agosto, ambos incluidos.

### 2.2.1.5 Edificio 5. Sevilla

Se trata de una vivienda unifamiliar de dos plantas, situada en la localidad sevillana de Espartinas, concretamente en la Urbanización Alquería de Almanzor y construida en el año 1997.



Figura 2-18. Fotografía Edificio 5

La vivienda cuenta con una superficie de 500 m<sup>2</sup> de los cuales la superficie construida es de 230 m<sup>2</sup> y cuya fachada principal presenta orientación sur.

La vivienda se estructura de la siguiente manera siguiendo los planos proporcionados por el propietario, junto con medidas tomadas de la primera planta en la visita a dicho edificio.

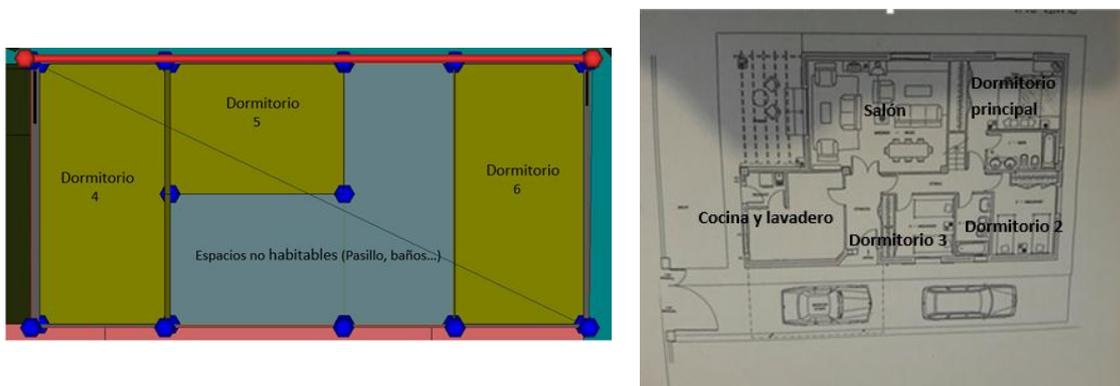


Figura 2-19. Esquema de la distribución interior Edificio 5

El acondicionamiento de la vivienda se compone un sistema centralizado que cubre toda la demanda de la planta baja y multi-split y split para los dormitorios de la segunda planta.

ZONAS	ACONDICIONAMIENTO
Salón	SI
Habitación: Dormitorios, despachos	SI
Otros: cocinas	NO

Tabla 2-14. Datos de la climatización Edificio 5

Además, la demanda de agua caliente requerida por los inquilinos de la vivienda es cubierta mediante la producción de ACS por dos termos instantáneos.

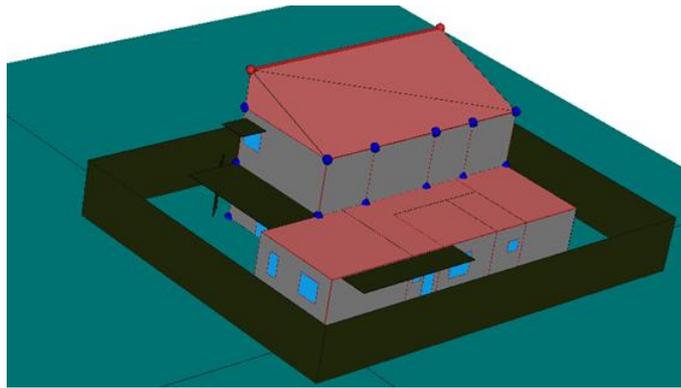


Figura 2-20. Modelo Edificio 5 a estudio con las sombras añadidas

2.2.1.5.1 Parámetros característicos

Los parámetros característicos del último caso a estudio son:

DESCRIPCIÓN	EDIFICIO	5	
	SIGLAS	VIV5	
	TIPO DE EDIFICIO	RESIDENCIAL	
	SUPERFICIE CONSTRUIDA (m <sup>2</sup> )	230	
	ALTURA MEDIA (m)	3	
	ÁREA ACONDICIONADA (m <sup>2</sup> )	185	
	VOLUMEN ACONDICIONADO (m <sup>3</sup> )	555	
PARÁMETROS ENERGÉTICOS	COMPACIDAD (m)	2.3	
	$U_M$ sin PT (W/m <sup>2</sup> ·K)	1.72	
	$\Delta U$ (W/m <sup>2</sup> ·K)	0.26	
	$U_M$ con PT (W/m <sup>2</sup> ·K)	1.98	
	ASSE (m <sup>2</sup> )	ENERO	1.94
		FEBRERO	1.72
		MARZO	2.07
		ABRIL	2.77
		MAYO	3.55
		JUNIO	4.13
		JULIO	4.2
		AGOSTO	3.32
		SEPTIEMBRE	2.27
OCTUBRE		1.86	
NOVIEMBRE		1.76	
DICIEMBRE		1.79	

Tabla 2-15. Parámetros energéticos Edificio 5

2.2.1.5.2 Resultados

Finalmente, los resultados de este caso:

	Demanda Mensual (KWh/m <sup>2</sup> )												TOTAL
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
<b>Caso Base U. Estándar</b>	10	8	5.7	2.7	0.4	1.4	6.8	6.7	2	0.1	4.7	9.6	58.1

Tabla 2-16. Demandas energéticas Edificio 5

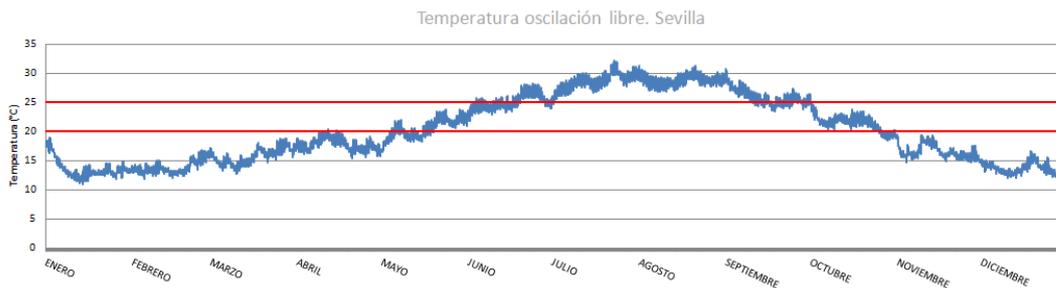


Figura 2-21. Estudio en evolución libre Edificio 5

En este caso, se suele a tener unos meses de calefacción que van de diciembre a marzo y una de refrigeración de junio a agosto, ambos incluidos.

### 2.2.2 Mejora Edificios

Tras el análisis de los diferentes edificios, se ha observado que la calidad constructiva de alguno de las viviendas no era todo lo eficiente posible. Se ha llevado a cabo un estudio de cada uno de ellos incorporando mejoras en lo que respecta al espesor de aislante, la estanqueidad de huecos y puentes térmicos

En primer lugar, se plantea la mejora de la envolvente, con la optimización del espesor de aislamiento. Dicha mejora se ha realizado teniendo en cuenta dos criterios diferentes, pero al mismo tiempo complementarios. Tanto en muros, como fachadas y suelos.

- ✓ *Atendiendo a la zona climática:* Se establece una transmitancia según la zona climática, situándose entre unos valores mínimos, exigidos por el CTE, valores recomendados y de alta eficiencia, objetivo hacia el cual se dirige este análisis.

		Valores mínimos	Valores recomendados	Valores alta eficiencia
ZONA CLIMÁTICA A	Umuros	1.25	0.5	0.3
	Ucubierta	0.8	0.47	0.23
	Usuelo	0.8	0.53	0.37
	Uventanas	5.7	2.6	2.6
ZONA CLIMÁTICA B	Umuros	1	0.38	0.27
	Ucubierta	0.65	0.33	0.21
	Usuelo	0.65	0.46	0.32
	Uventanas	4.2	2.1	2.1
ZONA CLIMÁTICA C	Umuros	0.75	0.29	0.18
	Ucubierta	0.5	0.23	0.15
	Usuelo	0.5	0.36	0.22
	Uventanas	3.1	1.9	1.8
ZONA CLIMÁTICA D	Umuros	0.6	0.27	0.18
	Ucubierta	0.4	0.22	0.15
	Usuelo	0.4	0.34	0.19
	Uventanas	2.7	1.9	1.4
ZONA CLIMÁTICA E	Umuros	0.55	0.25	0.18
	Ucubierta	0.35	0.19	0.15
	Usuelo	0.35	0.31	0.19
	Uventanas	2.5	1.9	1.3

Tabla 2-17. Valores de los parámetros energéticos óptimos

- ✓ *Según el ahorro en la demanda:* Se ha evaluado el ahorro en la demanda tanto de calefacción, a tener en cuenta en el diseño, como en la total, con el objetivo que no penalice excesivamente a la demanda de refrigeración. Sobre todo teniendo en cuenta, que la mayor parte de las viviendas está localizadas en una zona climática con una demanda de refrigeración importante.

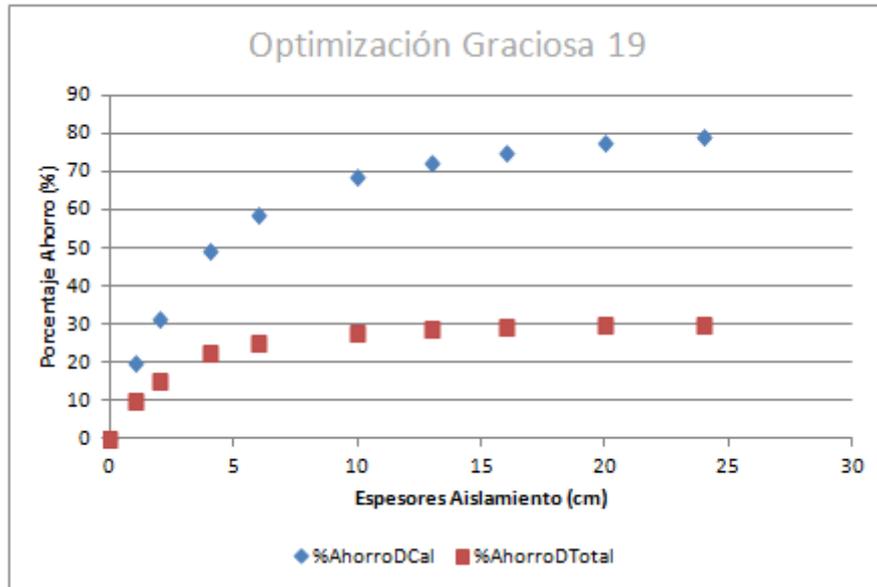


Figura 2-22. % de ahorro Edificio 1: demanda de calefacción (azul) y total (rojo).

A continuación, se presentan los cambios evaluados en lo que respecta a espesores de aislamiento.

Edificio	Espesor Optimizado	% Ahorro Demanda Cal
1	10 cm	68.6
2	10 cm	53.3
3	18 cm	15.23
4	10 cm	50.2
5	10cm	54.5

Tabla 2-18. % de ahorro obtenidos en el caso óptimo de mejora de cada vivienda

La segunda medida es reducir a la mitad el ACHeq, de manera que aumenta la estanqueidad de los huecos. Esta medida implica reducir las infiltraciones de la vivienda más de la mitad de su valor.

Finalmente, la última medida realizada es reducir a 0.1 W/m·K el efecto de los puentes térmicos. Esto implica un tratamiento de todos los puentes térmicos de la vivienda para alcanzar un 1/3 del valor de partida.

### 2.2.3 Comportamiento Usuario

Se han definido dos tipos de usos diarios de la vivienda, aspecto que afecta tanto a las fuentes internas, en lo que se refiere a ocupación, iluminación y equipos; como a la ventilación, si se considera en función de la presencia de personas en espacio. Y por supuesto al sistema de control del equipo de acondicionamiento.

La ventilación se ha considerado constante durante todas las horas con ocupación e igual a 0.63 ren/h.

A continuación, se detalla las características de estos usos para las fuentes internas (ocupación, iluminación y equipamiento), estas dependen en cada hora de la ocupación de cada uno de los espacios, se considera que prácticamente tienen un comportamiento similar con un número de inquilinos, que en concreto coincide, se considera una ocupación habitual de 4 personas, en todos los edificios analizados. El porcentaje de ocupación de cada uno de los espacios, se representa la figura siguiente.

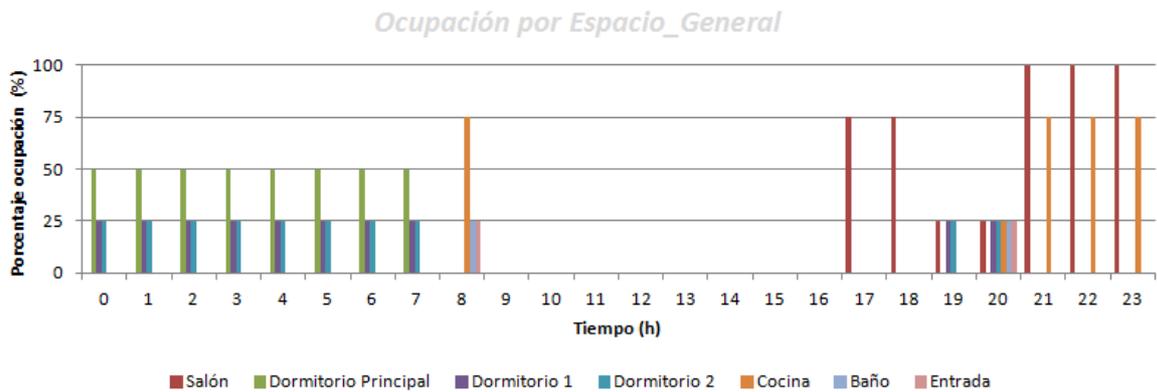


Figura 2-23. Datos de ocupación de los espacios. Horario general

Por otro lado, las fuentes internas de iluminación y equipos consideradas se muestran en la siguiente figura.

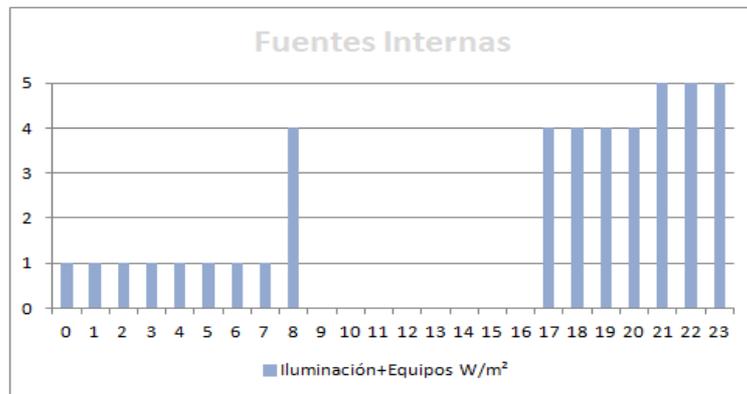


Figura 2-24. Valores Fuentes Internas

Esta consideración, trata todos los días y las diferentes estaciones de la misma forma.

Sin embargo, la distinción entre los diferentes usuarios aparece vinculada a las horas de funcionamiento del sistema de acondicionamiento. Las principales diferencias aparecen en el tratamiento del fin de semana con respecto al resto y la operación en las diferentes estaciones. En verano, se adopta oscilación libre durante la noche y cuando no existe presencia en la vivienda, y una temperatura de consigna de 25°C cuando sí la hay. En invierno, la temperatura está en oscilación libre durante la noche y cuando no hay presencia en la vivienda, y 20°C cuando la hay.

<i>TIPO USUARIO</i>	<i>DISTINCIÓN</i>
Usuario 1 (U1)	Día laboral-Festivo
Usuario 2 (U2)	Verano-Invierno

Tabla 2-19. Clasificación Tipos Usuarios

Usuario 1		
Hora	Acondicionamiento Día Laboral	Acondicionamiento Día Festivo
0	0	0
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	0	0
7	1	0
8	1	1
9	0	1
10	0	0
11	0	0
12	0	0
13	0	1
14	0	1
15	0	1
16	0	1
17	1	1
18	1	1
19	1	1
20	1	1
21	1	1
22	1	1
23	1	1

Figura 2-26. Usuario 1

Usuario 2		
Hora	Acondicionamiento Verano	Acondicionamiento Invierno
0	0	0
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	0	0
7	1	1
8	1	1
9	0	0
10	0	0
11	0	0
12	1	0
13	1	0
14	1	0
15	1	0
16	1	1
17	1	1
18	1	1
19	1	1
20	1	1
21	0	1
22	0	1
23	0	1

Figura 2-25. Usuario 2

En las dos figuras anteriores se represente el horario de ocupación; por tanto, de funcionamiento de los equipos de climatización en todas las viviendas presentadas, con las dos alternativas de los dos tipo de usuarios.

De esta forma, con el tratamiento de los dos usuarios, se está barajando todas las posibilidades, en lo que respecta tanto a día tipo como a estaciones.

#### 2.2.4 Clima

Los edificios ya presentados, como se puede ver en la figura mostrada a continuación, representados con una figura en cada una de las localizaciones pertinentes, están distribuidos por diferentes zonas climáticas en España, según el CTE [28]. Este es un aspecto importante que permite incorporar una alternativa más al análisis, la posibilidad de trasladar las viviendas entre las distintas zonas, sin más que conocer las características climáticas de cada una de ellas.

En concreto en este análisis, se barajan 5 edificios ubicados tres de ellos en zona A3 (Islas Canarias, podría incluir la denominación de zona  $\alpha$ , se descarta, por no aportar importancia al estudio; Málaga), uno en zona B4 (Sevilla) y otro D3 (Madrid).

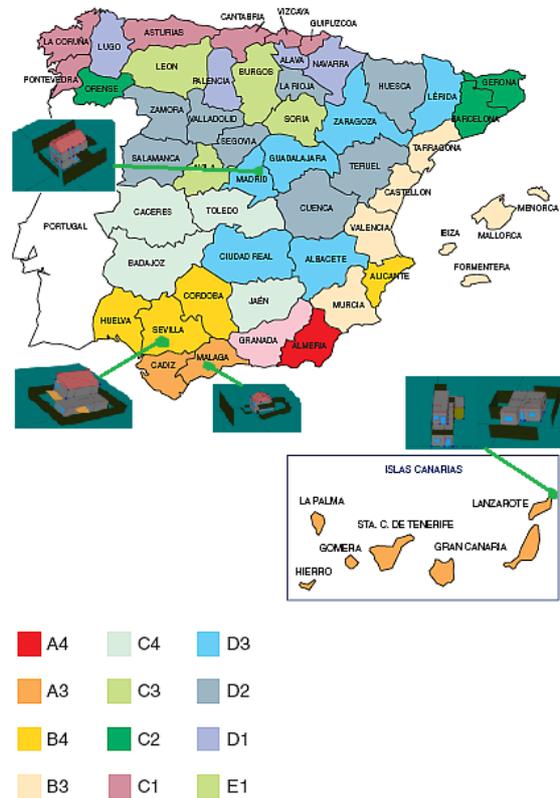


Figura 2-27. Representación Edificios Zonas Climáticas España CTE

Es posible extrapolar esta distinción de zonas climáticas, a las mundiales, como se puede ver a continuación. A nivel mundial, todas las zonas se pueden considerar Climas Templados, distinguiendo entre la Península Ibérica y las Islas Canarias.

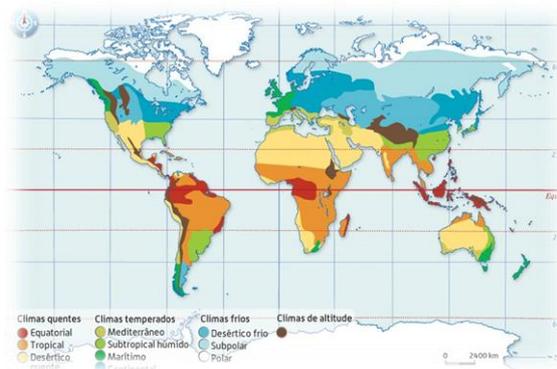


Figura 2-28. Representación Zonas Climáticas mundiales

En el caso en concreto de los edificios estudiados, se han simulado cada uno de ellos en sus localizaciones correspondientes, pero se incorpora la alternativa de mover unos edificios con características similares por diferentes zonas climáticas, obteniendo resultados importantes.

### 2.2.5 Tarificación eléctrica

A lo largo de todo el proyecto se han mostrado los resultados usando una tarificación con precios según dos tramos horarios, distinguiendo horas punta y horas valles, muy usada en el Mercado Eléctrico Español.

El tramo de horas punta se corresponde de 13:00-22:00 h, ambas incluidas, a un precio de 0.08 €/kWh; el otro, el resto de horas, a 0.16 €/kWh. La distribución de dichas horas con el precio pertinente se representa en la siguiente figura.

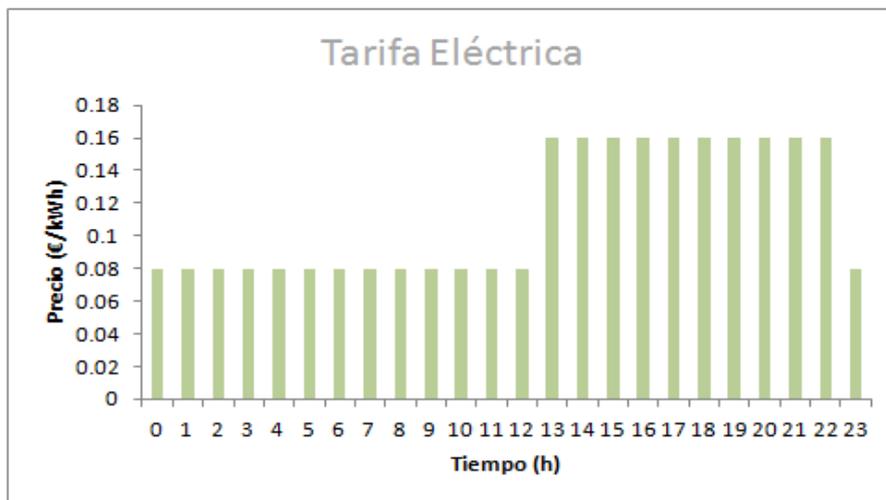


Figura 2-29. Distribución precios según horas Tarifa General

En el apartado de factores influyentes en los resultados, se analiza la influencia de aplicar otra tarificación, se incluye en dicho estudio otras tarifas existentes en el mercado eléctrico de España.

- ✓ *Tarifa 1 (T1)*: 2 horas gratis al día, elegidas tanto en invierno como verano de 19:00-20:00, ambas incluidas. El resto de horas a 0.140711 €/kWh.
- ✓ *Tarifa 2 (T2)*: Eliges las 8 horas que quieras donde aplicas una tarifa reducida. El precio de las horas baratas a 0.07461 €/kWh y las caras a 0.168531 €/kWh. Según los perfiles de ocupación, para todas las viviendas se elige el tramo de 15:00-22:00 como el período valle.
- ✓ *Tarifa 3 (T3)*: Tarifa fija diaria de 0.114 €/kWh.
- ✓ *Tarifa 4 (T4)*: Tarifa ficticia donde el precio de la electricidad en las horas valles es nulo, como anticipo a la posible unificación de todas estas medidas de potenciales de ahorro con energías renovables.

Estas tarifas diferentes se representan, por último, barajando así todas las alternativas mostradas, lo cual permitirá obtener resultados muy interesantes.

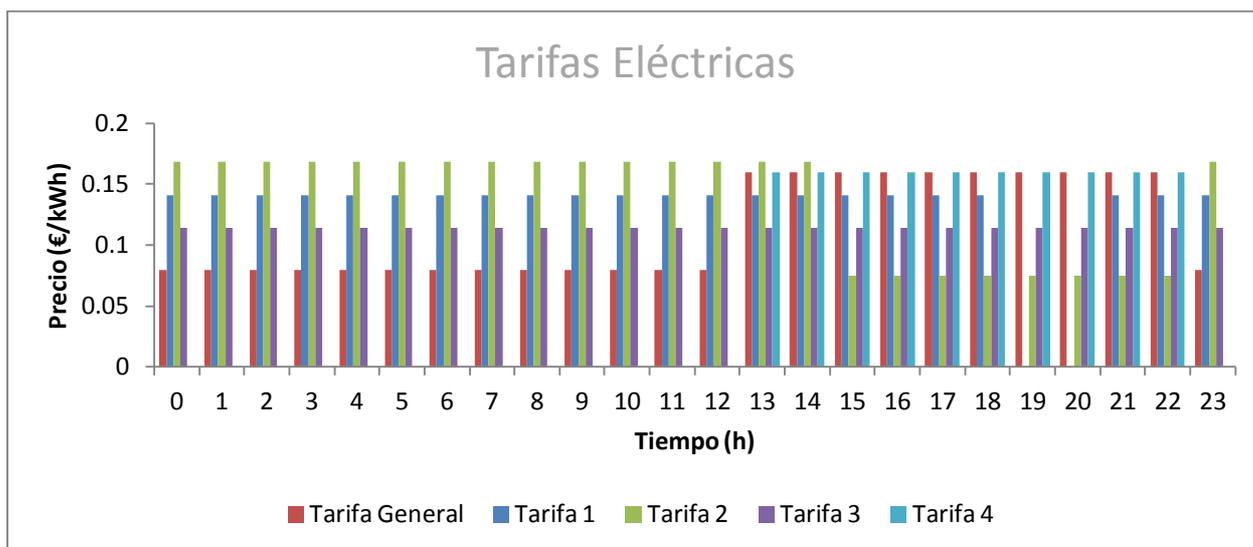


Figura 2-30. Tarifas Eléctricas Usadas

### 2.2.6 Decision Maker

Para el análisis del potencial que tiene el control inteligente del uso de la climatización y la ventilación

nocturna en una vivienda, se ha implementado un proceso de optimización que analiza al comienzo de cada noche todas las estrategias posibles y elige la mejor para la operación de ese día.

Hay que comentar que los diferentes modelos de las viviendas que componen el algoritmo de predicción de demandas han sido obtenidos vía simulación. Asimismo los datos climáticos proceden de los archivos estándar oficiales.

Por un lado, el proceso de optimización requiere los siguientes parámetros adicionales:

- Ventilación nocturna: caudal extraído de las viviendas y consumo de los extractores.
- Tarifas: precio de la electricidad en las horas valle y punta.
- Estaciones: meses de calefacción y refrigeración, así como temperaturas de consigna consideradas por el usuario.
- COP del sistema de acondicionamiento, se ha usado en todos los casos un COP=2.
- Hora de inicio del periodo punta, según el tipo de tarifa.

Ventilación nocturna		Estaciones		
DeltaACH	10	Calefacción	Mes inicio	11
Consumo [W]	160		Mes final	3
Volumen m3	60	Refrigeración	Mes inicio	6
			Mes final	9
Tarificación		Consigna CAL	20	
Precio Valle (0) [€/kWh]	0.08	Consigna Ref	25	
Precio Punta (1) [€/kWh]	0.16	COP	2	
Generación de horario:		Inicio punta		
Primer día del año:	Lunes	13		

Figura 2-31. Parámetros de operación considerados

Por otro lado, se deben indicar los valores horarios de ocupación, que determinarán las horas de funcionamiento de los equipos de climatización durante el año a estudio. Por último, se indicará que horas del día corresponden a las horas valle/punta para los precios de la electricidad.

Una vez introducidos todos los datos de entrada, se definen todas las combinaciones que se deseen simular en cuanto a las horas de ventilación nocturna en verano (respecto a las horas anteriores a las 7 de la mañana), horas de preheating/precooling (respecto a la hora de inicio del periodo punta), y temperaturas de consigna de preheating/precooling. En el siguiente epígrafe se detalla más información de las mismas.

Como se ha dicho anteriormente, durante la primera hora del día se define la estrategia de preheating en la estación de calefacción; y de precooling con/sin ventilación nocturna. Para ello se debe conocer cuál es el uso previsto del espacio al día siguiente, una predicción climática y los valores históricos.

El algoritmo de la simulación se sintetiza en el siguiente esquema, de forma general hay que conocer como datos de partida las temperaturas en oscilación libre (sin equipo de climatización), las demandas de climatización, ambas obtenidas vía simulación, el conocimiento de la tarificación eléctrica a aplicar y los horarios y consignas de acondicionamiento. Toda esta información se obtiene de forma horaria, permite conocer para cada día, cual es la opción cuyo coste resulte mínimo.

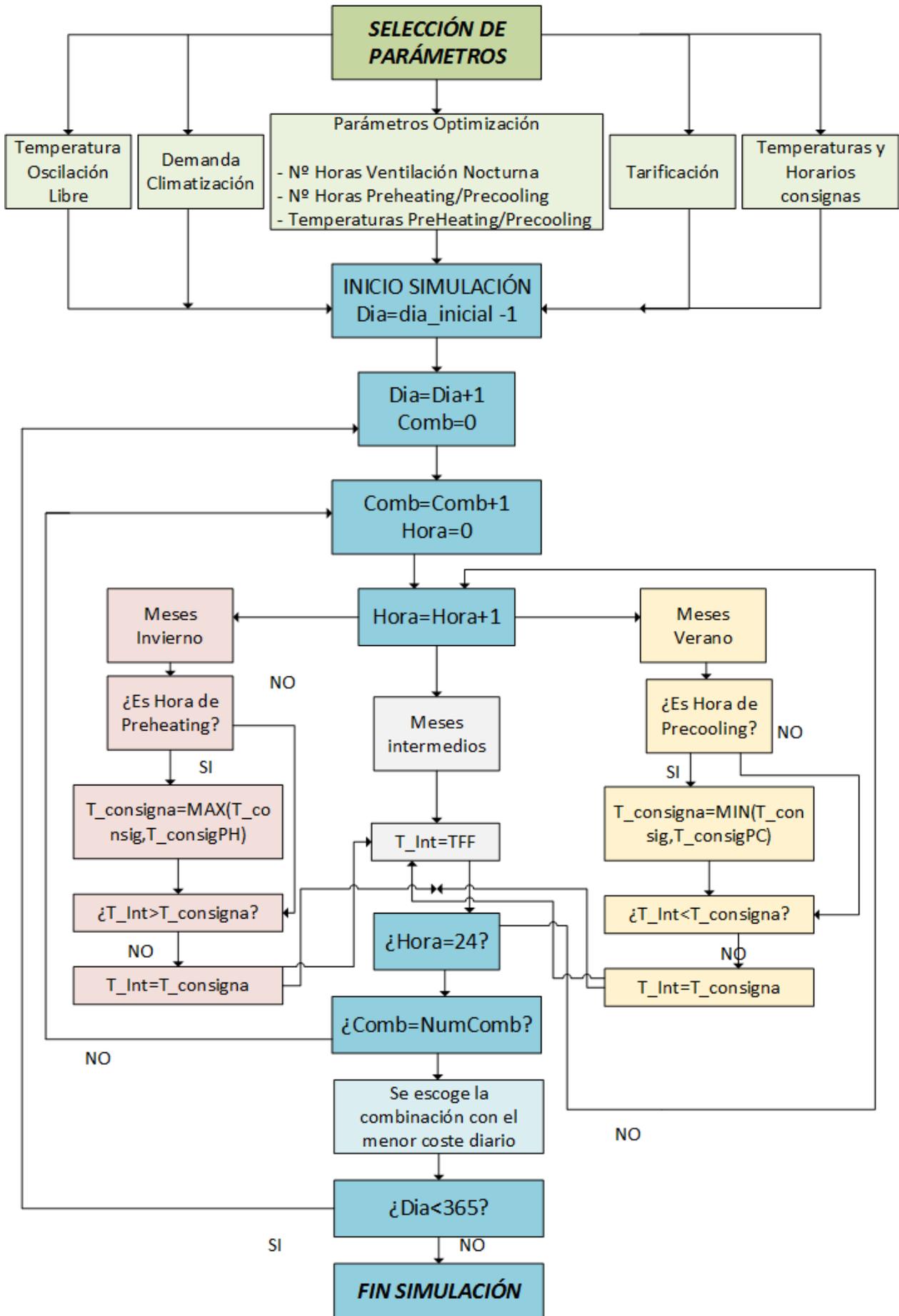


Figura 2-32. Esquema del proceso de optimización

### 2.2.6.1.1 Estrategias

A continuación se detallan las medidas llevadas a cabo en el estudio del impacto energético/económico de las diferentes viviendas.

En primer lugar se presenta las estrategias de preheating y precooling, donde se tomarán decisiones respecto a horas de funcionamiento y temperaturas de consigna de estas. Ambas alternativas se consideran como arranque del equipo de climatización unas horas antes de horario de ocupación establecidos.

	<b>Tª CONSIGNA (°C)</b>	<b>NÚMERO DE HORAS</b>
<b>PREHEATING/PRECOOLING</b>	20	0/1/2/3
	21	0/1/2/3
	22	0/1/2/3
	23	0/1/2/3
	24	0/1/2/3
	25	0/1/2/3

Tabla 2-20. Parámetros de las estrategias a evaluar PH/PC

En cuanto a la ventilación nocturna, se tienen en cuenta número de horas, respecto a las 7 de la mañana, hora a la cual el usuario arranca con su periodo de funcionamiento habitual.

	<b>NÚMERO DE HORAS</b>
<b>VENTILACIÓN NOCTURNA</b>	0
	1
	2
	3
	4
	5
	6
	7

Tabla 2-21. Parámetros de la ventilación nocturna a caudal constante

Con estas alternativas, se barajan 192 posibilidades, rango ampliable según el caso de análisis, aún así compone un abanico importante de casos, que permite obtener resultados concluyentes.

De forma general, los resultados obtenidos barren un catálogo, que muestra todas los casos siguientes (Sin tener en cuenta, los casos de análisis extras de factores infuyentes), además de las 192 posibilidades diferentes de selección de estrategias, dentro de esa posibles combinaciones tenemos 20 casos diferentes:

CASOS	EDIFICIOS		USUARIOS	ZONAS CLIMÁTICAS	DECISION MAKER		
	ID	Variantes			Estrategia	T <sup>a</sup>	Número de Horas
	1	Real	U1	A3	Preheating:	20-25	0-3
	2	Mejorado	U2	B4	Precooling:	20-25	0-3
	3			D3	Ventilación Nocturna:		0-7
	4						
	5						

Tabla 2-22. Catálogo de Casos Analizados

## 2.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 2.3.1 Descripción general de resultados obtenidos

El objetivo de este punto es analizar el ahorro económico sobre la muestra de edificios, lo que permite establecer una base de conocimiento vinculada al interés que pueden suscitar estas técnicas.

A continuación, se presentan los resultados que se han obtenidos para cada edificio, con todas las alternativas planteadas, eligiendo aquella óptima para cada día.

PORCENTAJE DE AHORRO (%)							
EDIFICIO	ESTACIÓN - USUARIO		Edificio1	Edificio2	Edificio 3	Edificio 4	Edificio 5
EDIFICIO REAL	CALEFACCIÓN	U1	0	0	3	3	2
		U2	0	0	0	1	0
	REFRIGERACIÓN	U1	2	1	4	9	3
		U2	5	3	9	14	8
EDIFICIO MEJORADO	CALEFACCIÓN	U1	1	0	1	2	7
		U2	0	0	0	2	10
	REFRIGERACIÓN	U1	14	2	8	25	8
		U2	19	8	14	27	14

Tabla 2-23. Porcenta Ahorro muestra edificios alternativas óptimas

En los ANEXOS I, II, III, IV, V se pueden observar todos los resultados obtenidos de las simulaciones, para cada uno de los edificios. En concreto estadísticas del número de días que coge ciertas alternativas para todos los casos presentados previamente.

### 2.3.2 Ejemplo de resultados/Aplicación del procedimiento

A modo de ejemplo se elige la vivienda 3, es decir, la vivienda situada en Madrid. Se descarta realizar este ejemplo con las viviendas de Graciosa por ser poco representativas de viviendas con consumo de climatización.

La tarificación considerada es la denominada en los epígrafes anteriores como Tarifa General:

- El **horario Valle** de 14 horas abarca de 22 a 12 h
- El **horario Punta** de 10 horas abarca de 12 a 22 h

#### 2.3.2.1 Preheating

Se analizan las alternativas presentadas anteriormente, donde las variables para la toma de decisiones son el número de horas de operación fuera del periodo fijado por el usuario y la temperatura de consignas para cada una de ellas. Estas horas serán aquellas en la zona valle, ya que el objetivo es obtener un ahorro económico y nunca energético.

En el caso de análisis en concreto, para el edificio ubicado en Madrid, se obtienen las siguientes estadísticas de días con las características presentadas para cada caso. Distinguiendo entre los diferentes usuarios explicados en capítulos anteriores.

- ✓ Usuario 1

En esta primera tabla se representa el número de días que toma cada una de las alternativas. La franja sombreada en gris, se corresponde con días donde no ha considerado oportuno elegir ningunas de las estrategias presentadas.

HORAS PH	TEMPERATURAS DE CONSIGNAS					
	20	21	22	23	24	25
0	86	0	0	0	0	0
1	4	11	20	6	9	15
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0

Tabla 2-24. Preheating: número de días con las diferentes consignas-horas. Usuario 1

En la siguiente figura se muestra el detalle horario de operación de varios días tipo de la estación de calefacción:

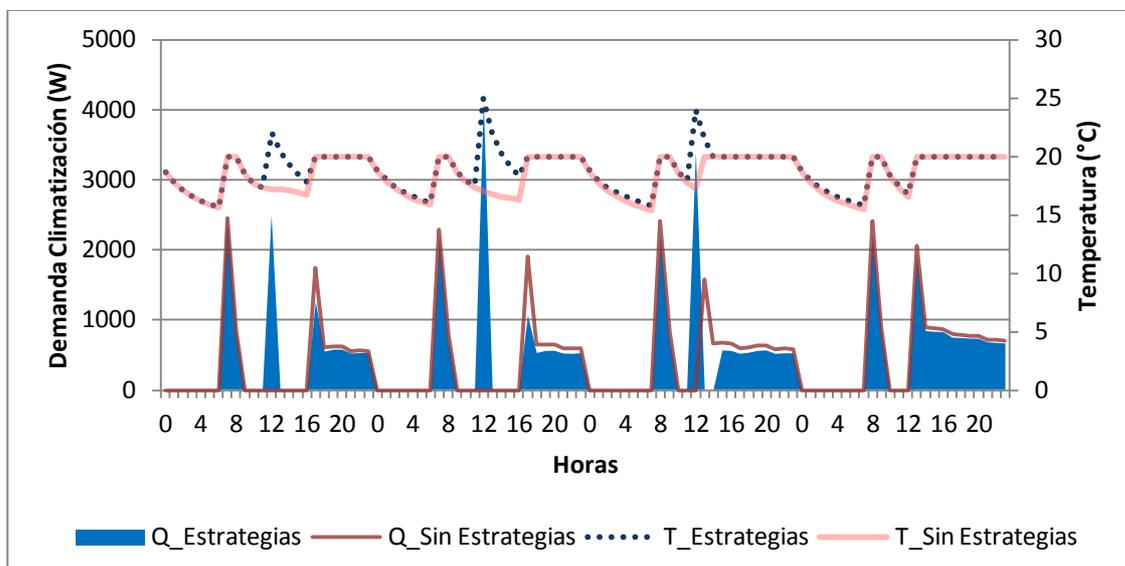


Figura 2-33. Calefacción-usuario 1: evolución de temperaturas y consumos (días tipo)

En la gráfica aparece el consumo Q y la temperatura T en el caso de no llevar a cabo un control inteligente del sistema (sin estrategias) o de hacerlo estrategias. Se puede ver cómo la estrategia (azul) presenta un área mayor (mayor consumo), pero menor en la zona punta.

Si se entra en el detalle de la gráfica (Figura 2-33), los primeros dos días representan días laborales, donde coge 1 hora de preheating en cada uno de ellos, de 22 y 25 °C, respectivamente. Uno de los resultados más destacables es la reducción de los picos de arranque del equipo en el periodo punta.

Si se representa un fin de semana (Figura 2-34), para este mismo usuario, se tiene que este acondiciona el espacio a partir de las 13h, es decir, justo cuando comienza la hora tarifa punta. Este hecho supone una diferencia con respecto a los días entre semana, ya que se reduce el periodo de transición de 4 horas entre el periodo valle y punta. Esta reducción permite un mayor aprovechamiento, permite que las estrategias consigan una reducción de demanda en horas punta, trasladando estas a horas valles..

Se puede observar en el primero de ellos (sábado), se hace preheating durante 1 hora, de manera que permite arrancar un poco más tarde y con unos valores menores en las horas de tarifa punta. Sin embargo, con el mismo usuario, al día siguiente (domingo), no coge ningunas de las alternativas propuestas. Este hecho permite concluir con la dificultad de tomar estas decisiones.

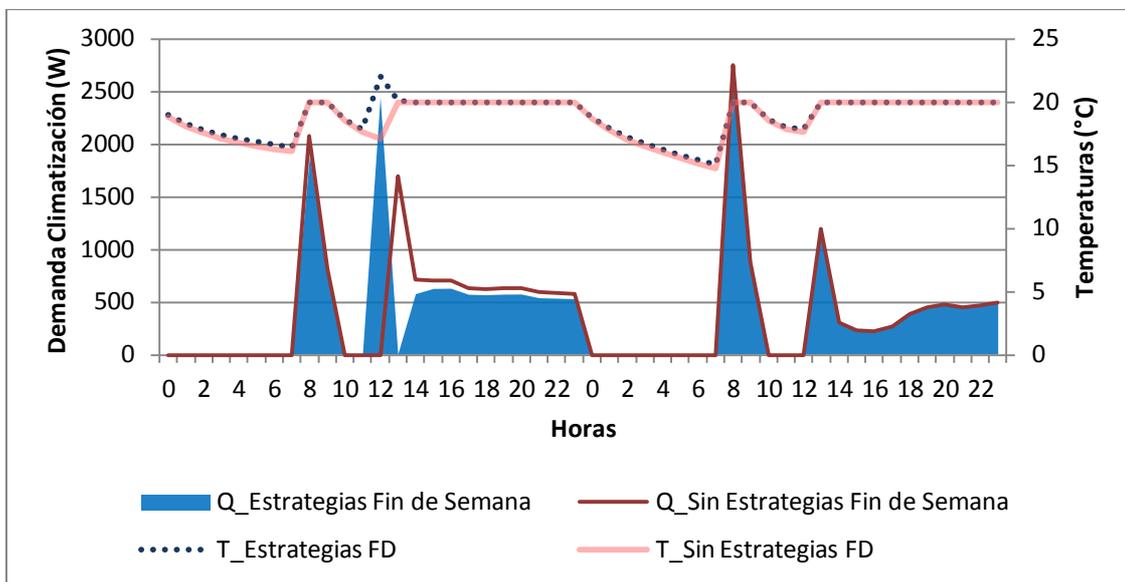


Figura 2-34. Calefacción-usuario 1: fin de semana ejemplo

✓ suario 2

Si ahora se analiza el otro usuario considerado, se puede observar cómo los resultados cambian sensiblemente.

Preheating/Consigna	20	21	22	23	24	25
0	151	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0

Tabla 2-25. Preheating: número de días con las diferentes consignas-horas. Usuario 2

Esta tabla muestra como el número de días sobre los que se hace interesante operar algunas de las estrategias se reduce considerablemente. Para mejorar el entendimiento de los resultados conviene analizar los resultados horarios, tal y como se ha hecho anteriormente con el usuario 1.

En la gráfica siguiente, se observa cómo según los resultados estadísticos presentados, no toma ninguna alternativa en todos los días de la estación de climatización.

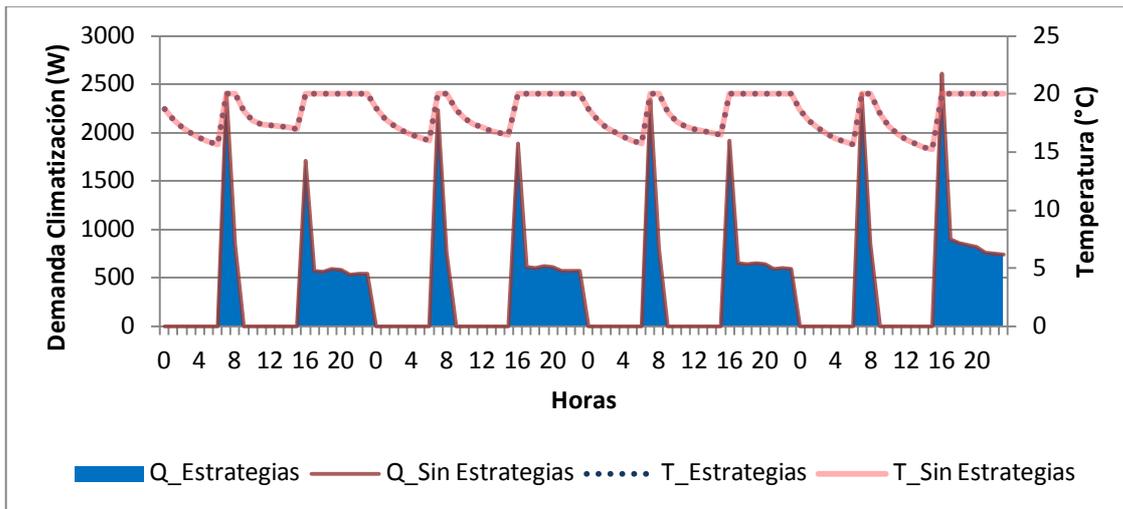


Figura 2-35. Calefacción-usuario 2: evolución de temperaturas y consumos (días tipo)

El resultado es concluyente: el uso del espacio es clave en el interés económico de estas medidas. En el caso del usuario 2 existe un periodo entre valle y punta demasiado largo por lo que se hace difícil almacenar calor en el edificio durante las horas valle y aprovecharlo en las horas punta. Para ello se requeriría que el edificio estuviera muy bien construido.

### 2.3.2.2 Precooling

Ahora se procede con un análisis semejante para refrigeración (precooling con/sin ventilación nocturna).

✓ Usuario 1

En esta primera tabla se presenta el número de días sobre los que se eligen las diferentes estrategias.

HORAS PC	TEMPERATURAS DE CONSIGNAS (°C)					
	20	21	22	23	24	25
0	59	0	0	0	0	0
1	17	11	13	10	12	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0

Tabla 2-26. Precooling: Número de días con las diferentes consignas-horas. Usuario 1

Horas VN	Porcentaje (%)
0	40
1	52
2	8
3	0

Tabla 2-27. Ventilación Nocturna: % número de días y horas de operación. Usuario 1

Si se toman días tipo, como los mostrados en la figura siguiente, es posible analizar algunas de las alternativas cogidas.

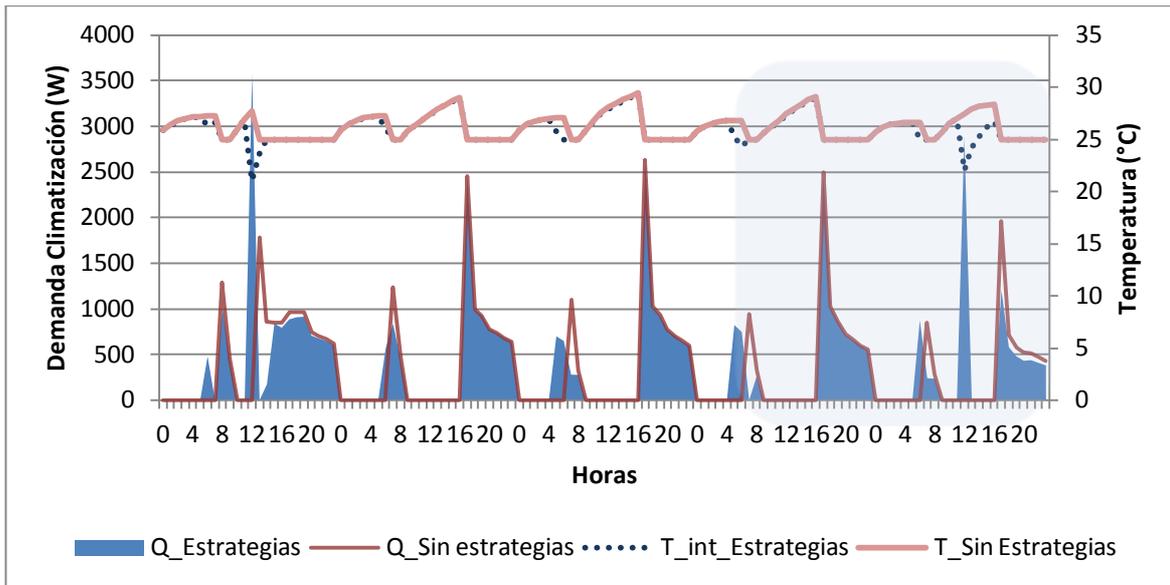


Figura 2-36. Refrigeración-usuario 1: evolución de temperaturas y consumos (días tipo)

Se puede observar como la decisión de hacer ventilación nocturna y su efecto es variables. Los dos primeros días se opera con 1 hora de ventilación nocturna, en cambio el resto opera 2 horas. . Estos días, por ejemplo los dos últimos sombreados, la ventilación nocturna prácticamente anula las necesidades de refrigeración de las 7 y 8 horas. Si además se analiza el efecto del precooling, se puede ver como solo se lleva a cabo dos días (el primero (izquierda) y el último (derecha)).

Es importante destacar lo que sucede el primer día (izquierda), dónde ese precooling en el periodo valle anula la demanda pico de arranque. El resto de días hay que señalar que el enfriamiento realizado durante el periodo valle (precooling) “se pierde” durante el periodo de parada en el periodo valle. Por este motivo, el precooling es más interesante en fin de semana (primer día), cuando no existe esa parada tan acusada entre el periodo valle y la punta (día laboral el usuario comienza su operación a las 17:00).

✓ Usuario 2

A diferencia de todo lo visto hasta ahora, se presenta una situación donde el usuario facilita la gestión de las estrategias de ahorro, la mayor parte de los días coge alguna alternativa, solo el 7% de los días, no coge ninguna de ellas.

HORAS PC	TEMPERATURAS DE CONSIGNAS (°C)					
	20	21	22	23	24	25
0	9	0	0	0	0	0
1	55	20	4	22	12	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0

Tabla 2-28. Precooling: Número de días con las diferentes consignas-horas. Usuario 2

Hecho similar que ocurre con la ventilación nocturna, prácticamente todos los días se elige.

Horas Nocturnas	Porcentaje (%)
0	7%
1	53%
2	40%
3	0%

Tabla 2-29. % de días de operación- horas de la ventilación nocturna. Usuario 2

Se ratifica la importancia del usuario, como ya se ha hecho evidente, en otros puntos de este documento.

Para entrar en el detalle de estos resultados se vuelve a tomar unos días tipo, con diversas alternativas, que permitan comentar estos resultados. Los dos primeros días decide realizar 1 hora de ventilación nocturna, junto

con 23°C de precooling en la última hora de tarifa valle; mientras que el tercero toma 2 horas de ventilación nocturna y una hora de precooling a 24°C. De esta forma, se retrasa el comienzo del uso del acondicionamiento en las horas posteriores.

Se puede observar que la mayor parte de arranque en las horas punta se han reducido o incluso eliminado en todos los días representados. Sin embargo, según lo representado el consumo energético es mayor, como conclusión habría que llegar a un equilibrio entre el ahorro económico conseguido y el aumento del consumo energético que supone, o la incorporación de fuentes de energía renovables, como la fotovoltaica que se verá posteriormente, reduciendo tal consumo energético de fuentes de energía convencionales.

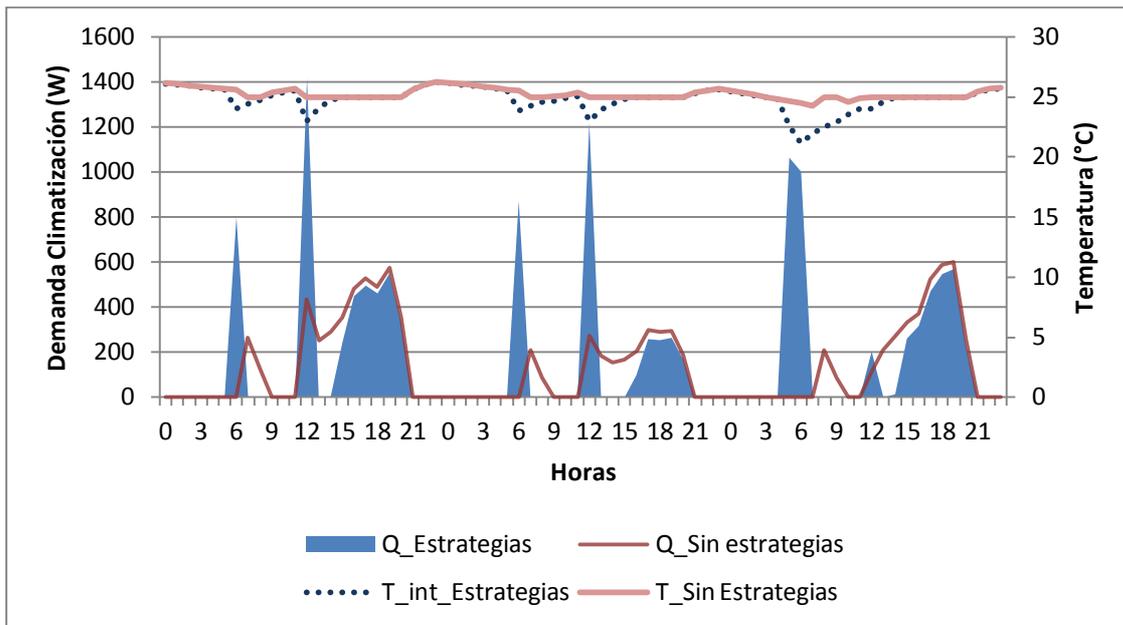


Figura 2-37. Refrigeración-Usuario 2: Evolución de temperaturas y consumos (días tipo)

### 2.3.2.3 Resultados

Una vez se ha analizado en profundidad el caso del edificio 3, se presentan los resultados de ahorro económico por meses de acondicionamiento. A continuación se agrupan estos resultados en el periodo estacional.

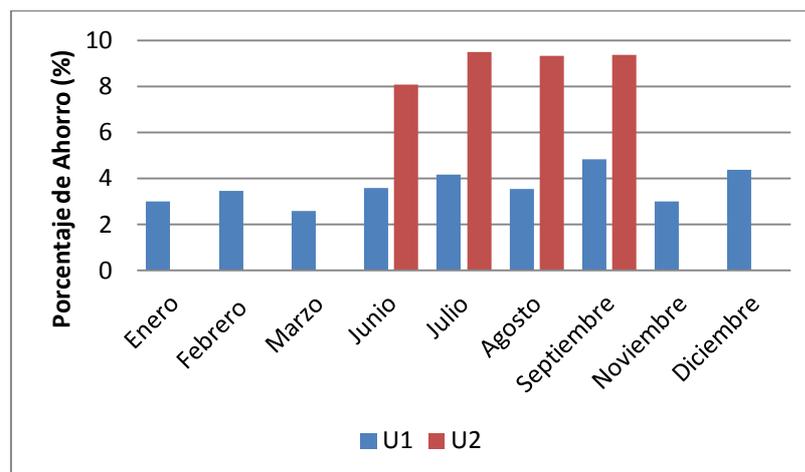


Figura 2-38. Ahorro económico: edificio 3 Madrid, usuario 1 (U1) y usuario 2 (U2)

Hay que destacar que los meses de junio-julio-agosto y septiembre son la estación de refrigeración. Se puede ver como el ahorro durante estos meses es mayor. Lo cual se debe en buena medida a la ventilación nocturna que elimina las primeras horas del día.

Esta diferencia entre las distintas estaciones se evidencia con el ahorro obtenido para cada una de ellas, como se puede observar en la *Tabla 2-29*.

ESTACIÓN	AHORRO (%)	
Calefacción	U1	3
	U2	0
Refrigeración	U1	4
	U2	9

Tabla 2-30. Ahorros estacionales

Los ahorros estacionales no sorprenden tras el análisis de los resultados en el epígrafe anterior. El efecto del usuario es bastante sensible, por lo que es muy importante conocer el comportamiento del usuario o analizar suficientes escenarios para realizar una predicción al día siguiente de calidad.

### 2.3.3 Análisis factores influyentes

Sobre los casos presentados en la Tabla 2.22 se han ampliado el catálogo, a partir de los resultados obtenidos, incorporando más casos de análisis en aquellos factores que se han determinado influyentes.

CASOS	EDIFICIOS					DECISION MAKER					
	ID	VAR.	USUARIOS	ZONAS CLIMÁTICAS	TARIFAS ELÉCTRICAS	Operación Inteligente			Operación Convencional		Horizonte Temporal
						Estrategias	Tª	Número de Horas	Estrategias	Nº Estrategias	Nº Días
	1	Real	U1	A3	Habitual	PH	20-25	0-3	PH	7	1
2	Mejor	U2	B4	T1	PC	20-25	0-3	PC	7	2	
3		Óptimo	D3	T2	VN		0-7			3	
4				T3						4	
5				T4							

Tabla 2-31. Catálogo de Casos Analizados Total

Si antes además de las 192 posibilidades diferentes de decisión maker teníamos 20 casos diferentes, ahora se incorporan nuevos casos, que congregan un total de más de 200 escenarios diferentes.

#### 2.3.3.1 Influencia del usuario

A lo largo de todo el documento, se ha ido comprobando cómo de importante es, en la toma de decisiones, el usuario. El factor clave de los diferentes usuarios es el periodo de parada existente entre el periodo valle y punta, como se ha dicho anteriormente. Este periodo constituye las pérdidas del almacenamiento térmico empleado.

Por último, se ha realizado un análisis complementario para una de las viviendas, suponiendo un usuario óptimo de aplicación de las estrategias. Este usuario óptimo elimina el periodo de parada desde las 12:00 h, que acaba la tarifa de horas valles, hasta las 17:00 h, que arrancaba el usuario 1. Este nuevo usuario, todos los días tiene un horario de acondicionamiento de 13:00 horas hasta las 23:00 h, sin olvidarse de las dos horas de arranque por la mañana de 7-8.

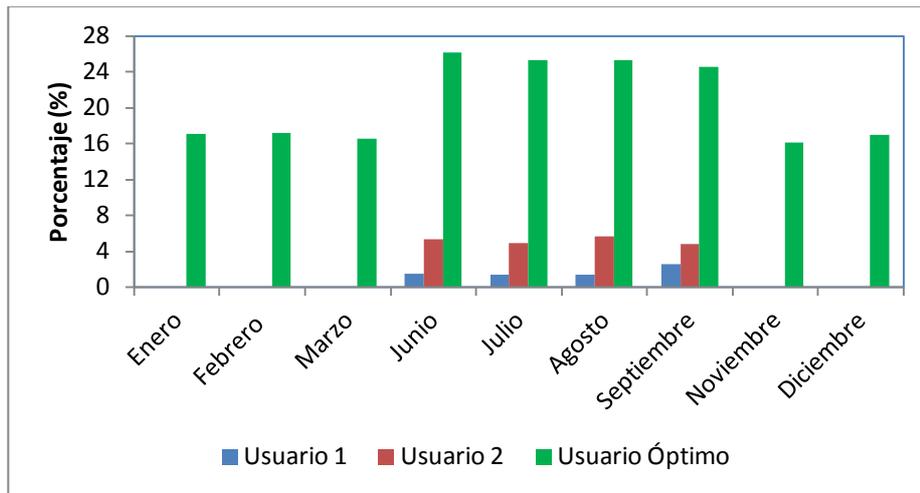


Figura 2-39. Ahorros mensuales usuario óptimo: Edificio 1

Los cambios son realmente considerables. Por lo que una variable de juicio básica para considerar interesante o muy interesante estas medidas es cómo se acondicionan los espacios de las viviendas. Si el acondicionamiento es continuo, o el precio es nulo (energías renovables), estas medidas son muy interesantes.

### 2.3.3.2 Influencia de la mejora de la vivienda

A continuación, se estudia la influencia de mejorar la vivienda para contrarrestar las pérdidas de energía durante el periodo de parada entre valle y punta.

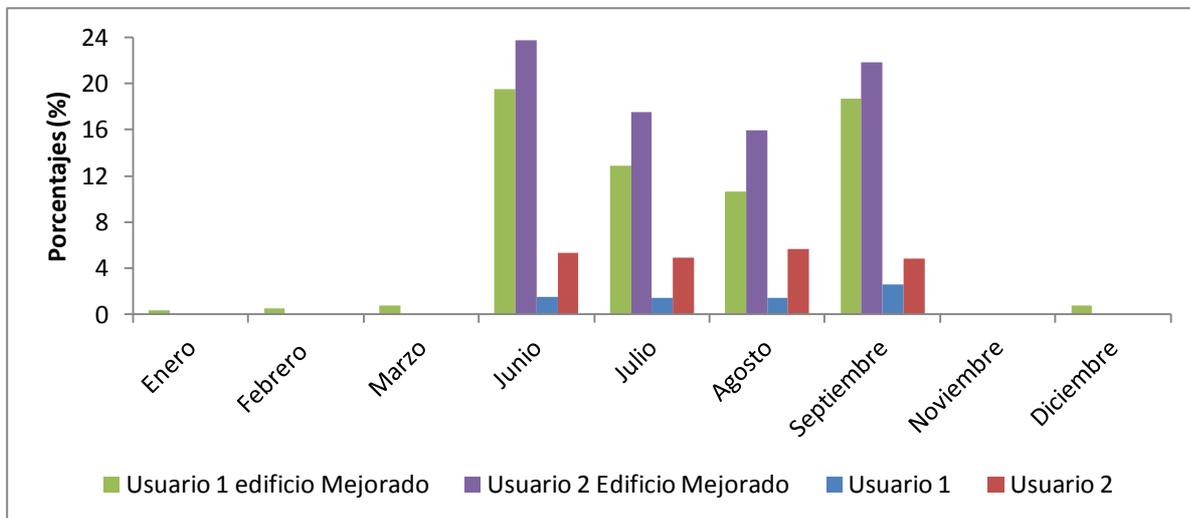


Figura 2-40. Ahorros mensuales para el Edificio 1 en todas sus variantes

En la gráfica anterior se puede ver cómo es el orden de magnitud de los ahorros para el caso mejorado vs el no mejorado, y cómo la influencia del usuario es bastante relevante, como ya se ha visto previamente.

De forma general se presentan estos mismos resultados, pero agregados para todas las viviendas, en la estación de refrigeración.

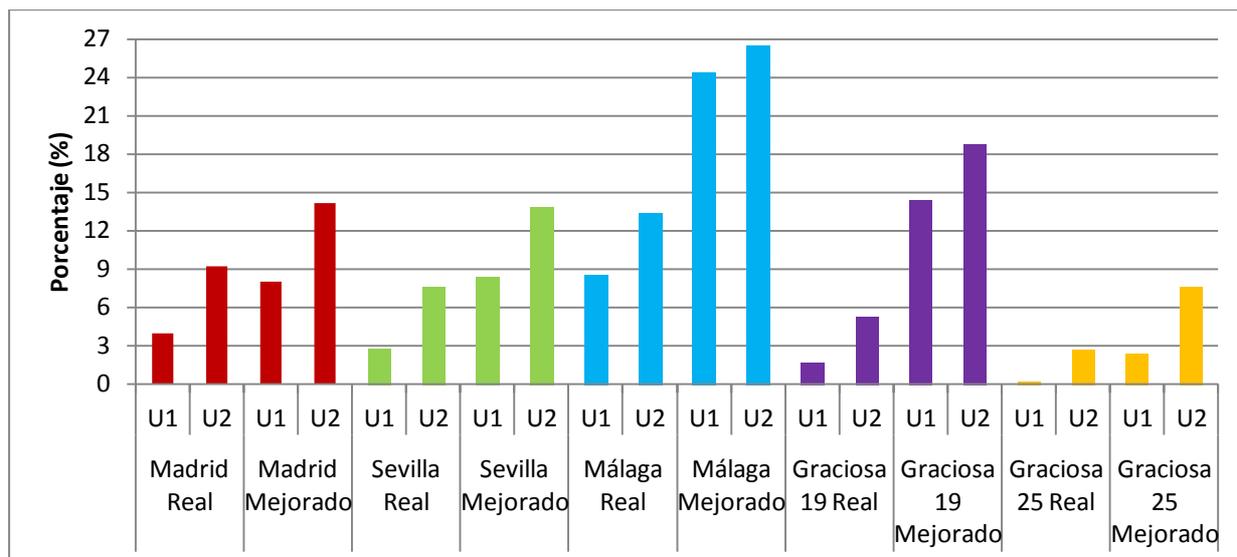


Figura 2-41. Ahorros refrigeración todos los edificios

En todas las viviendas se produce un mayor ahorro en los edificios mejorados frente a su situación actual. Existen ahorros más importantes en aquellos edificios donde la calidad constructiva no era muy adecuada, como en el caso de los edificios de Málaga o Graciosa; sin embargo, en aquellos de buenas construcciones como Madrid, el ahorro no es tan significativo entre el edificio real y el mejorado.

### 2.3.3.3 Operación convencional vs inteligente

Complementario al análisis de toma de decisiones inteligente, se ha llevado a cabo un procedimiento convencional. Este procedimiento convencional consiste en llevar a cabo una de las estrategias durante todos los días de operación. De esta forma se prueban las diferentes alternativas más relevantes de las estudiadas anteriormente. Sin embargo se añaden algunas más a la vista de los resultados tan pesimistas que aparecen cuando no se hace una decisión inteligente de la estrategias más adecuada.

	ALTERNATIVAS. ID	EXPLICACIÓN
<b>PREHEATING</b>	Alternativa A	9:00 se mantiene a 20°C, de 10:00 hasta las 12:00 a 24°C
	Alternativa B	9:00 se mantiene a 18°C, de 10:00 hasta las 12:00 a 24°C
	Alternativa C	9:00 se mantiene a 18°C, de 10:00 hasta las 12:00 a 25°C
	Alternativa D	9:00 se mantiene a 20°C, de 10:00 hasta las 12:00 a 25°C
	Alternativa E	9:00 se mantiene a 20°C, de 10:00 hasta las 12:00 a 22°C
	Alternativa F	9:00 se mantiene a 18°C, de 10:00 hasta las 12:00 a 22°C
	Alternativa G	Desde las 9:00-12:00 a 19 °C

Tabla 2-32. Estrategias Preheating, operación convencional

	ALTERNATIVAS. ID	EXPLICACIÓN
<b>PRECOOLING</b>	Alternativa A	Desde las 9:00-12:00 a 20 °C
	Alternativa B	Desde las 9:00-12:00 a 18 °C
	Alternativa C	Desde las 9:00-12:00 a 15 °C
	Alternativa D	9:00 se mantiene a 20°C, de 10:00 hasta las 12:00 a 15°C
	Alternativa E	9:00 se mantiene a 18°C, de 10:00 hasta las 12:00 a 15°C
	Alternativa F	9:00-10:00 se mantiene a 18°C, de 11:00 - 12:00 a 15°C
	Alternativa G	9:00-10:00 se mantiene a 20°C, de 11:00 -12:00 a 15°C

Tabla 2-33. Estrategias Precooling, operación convencional

A continuación se presentan resultados de una de las viviendas, en concreto el edificio 3.

(%)	<b>CALEFACCIÓN. EDIFICIO 3</b>			
	<b>SOBRECOSTE (-) O AHORRO(+)</b>			
	<b>USUARIO 1</b>		<b>USUARIO 2</b>	
	<b>CASO BASE</b>	<b>CASO MEJORADO</b>	<b>CASO BASE</b>	<b>CASO MEJORADO</b>
<b>INICIO</b>				
<b>ALTER A</b>	-10	-2	-10	-2
<b>ALTER B</b>	-9	-1	-9	-2
<b>ALTER C</b>	-10	-3	-10	-3
<b>ALTER D</b>	-11	-3	-11	-4
<b>ALTER E</b>	<b>-7</b>	<b>1</b>	<b>-7</b>	<b>0</b>
<b>ALTER F</b>	-10	-3	-10	-3
<b>ALTER G</b>	<b>-4</b>	<b>1</b>	<b>-6</b>	<b>1</b>

Tabla 2-34. Ahorros obtenidos en el caso convencional Calefacción. Edificio 3

(%)	<b>REFRIGERACIÓN. EDIFICIO 3</b>			
	<b>SOBRECOSTE (-) O AHORRO(+)</b>			
	<b>USUARIO 1</b>		<b>USUARIO 2</b>	
	<b>CASO BASE</b>	<b>CASO MEJORADO</b>	<b>CASO BASE</b>	<b>CASO MEJORADO</b>
<b>INICIO</b>				
<b>ALTER A</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>-7</b>	<b>6</b>
<b>ALTER B</b>	<b>-5</b>	<b>2</b>	<b>-12</b>	<b>5</b>
<b>ALTER C</b>	-23	-6	-21	2
<b>ALTER D</b>	-17	-3	-17	4
<b>ALTER E</b>	-20	-4	-19	3
<b>ALTER F</b>	-16	-2	-16	4

ALTER G	-12	0	-13	5
---------	-----	---	-----	---

Tabla 2-35. Ahorros obtenidos en el caso convencional Refrigeración. Edificio 3

Con este método de control de la operación, tanto en calefacción como refrigeración, se obtiene una solución conservadora; es decir, la mejor solución es aquella que evita que el edificio se sub-enfríe en calefacción (baje la temperatura por debajo de la consigna establecida) o se sobrecaliente en refrigeración (suba la temperatura por encima de la consigna), en el periodo desde de transición desde el fin de las horas de arranque por la mañana hasta el comienzo por la tarde.

### 2.3.3.4 Períodos de análisis para la toma de decisiones

Todos los resultados anteriores han sido elegidos con un período de análisis de 3 días, tras realizar diversas pruebas con un horizonte temporal variable, se obtiene las siguientes conclusiones en el caso en concreto del edificio 3, pero que puede extenderse para todos los demás.

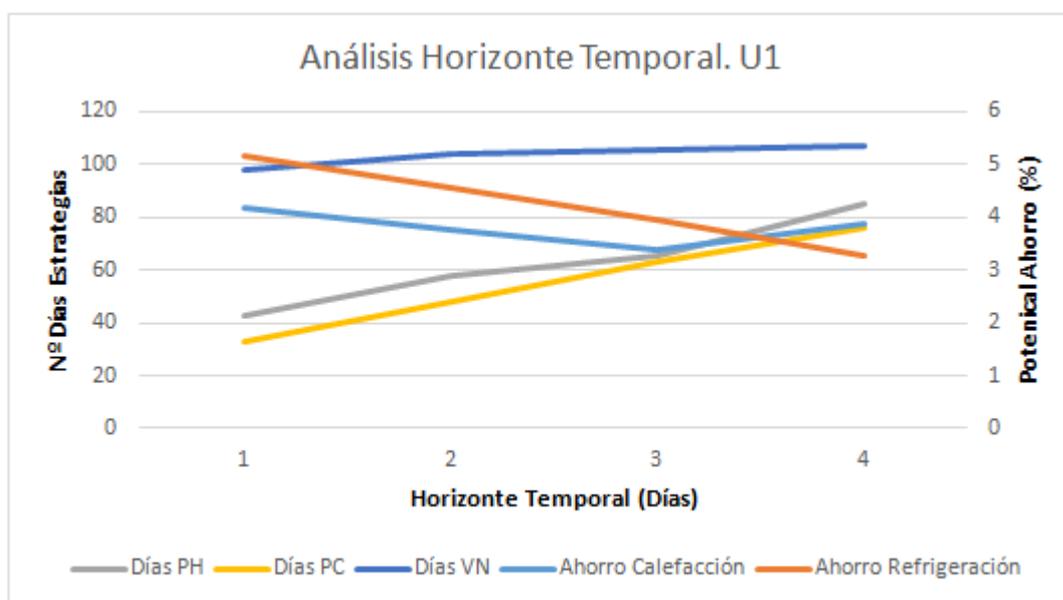


Figura 2-42. Análisis Horizonte Temporal. Edificio 3

De forma general, conforme aumenta el horizonte temporal, aumenta el número de días que toma estrategias; sin embargo, se reduce el potencial de ahorro frente al caso base, sin aplicar ninguna estrategias. Se ha cogido un horizonte temporal de 3 días, como un punto medio entre el número de estrategias relevantes y el potencial de ahorro, observándose en este último que tampoco hay grandes diferencias en el intervalo de análisis.

### 2.3.3.5 Tarificación Eléctrica

Por último, se analiza la influencia de aplicar otra tarificación, se incluye en dicho estudio otras tarifas existentes en el mercado eléctrico de España, presentados en el Epígrafe 2.2.5

- ✓ *Tarifa 1 (T1)*: 2 horas gratis al días, elegidas tanto en invierno como verano de 19:00-20:00, ambas incluidas. El resto de horas a 0.140711 €/kWh.
- ✓ *Tarifa 2 (T2)*: Eliges las 8 horas que quieras donde aplicas una tarifa reducida. El precio de las horas baratas a 0.07461 €/kWh y las caras a 0.168531 €/kWh. Según los perfiles de ocupación, para todas las viviendas se elige el tramo de 15:00-22:00 como el período valle.
- ✓ *Tarifa 3 (T3)*: Tarifa fija diaria de 0.114 €/kWh.

- ✓ *Tarifa 4 (T4)*: Tarifa ficticia donde el precio de la electricidad en las horas valles es nulo, como anticipo a la posible unificación de todas estas medidas de potenciales de ahorro con energías renovables.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para el caso del Edificio 3, con todas las tarifas.

#### **Resultados Usuario 1**

<b>Tarifa</b>	<b>Ahorros Cal (%)</b>	<b>Ahorros Ref (%)</b>	<b>Días Usa PH</b>	<b>Días Uso PC</b>	<b>Días uso VN</b>
<i>Habitual</i>	3.37399379	3.94853461	65	63	105
<i>T1</i>	4.39595521	47.3026548	0	121	46
<i>T2</i>	9.33007395	37.7590696	150	76	52
<i>T3</i>	9.99336	23.6890772	0	0	59
<i>T4</i>	69.0660748	53.8259891	150	121	115

*Tabla 2-36. Resultados Edificio 3 Análisis Influencia Tarificación Usuario 1*

#### **Resultados Usuario 2**

<b>Tarifa</b>	<b>Ahorros Cal (%)</b>	<b>Ahorros Ref (%)</b>	<b>Días Usa PH</b>	<b>Días Uso PC</b>	<b>Días uso VN</b>
<i>Habitual</i>	0.00023818	9.22796534	0	113	107
<i>T1</i>	33.6071651	30.1999005	150	120	48
<i>T2</i>	14.1858398	22.0427053	150	0	74
<i>T3</i>	10.0341935	20.7381868	0	0	81
<i>T4</i>	68.8240343	61.7839322	150	121	115

*Tabla 2-37. Resultados Edificio 3 Análisis Influencia Tarificación Usuario 2*

De forma general se observa que la tarificación es un elemento influyente, tanto en la toma de decisión de las diferentes alternativas como en el potencial de ahorro económico. Distinguiendo dos tipos de tarifas principalmente, una de ellas donde aumenta el número de estrategias y por consiguiente el ahorro, otras donde se consigue un mayor ahorro sin aumentar el número de decisiones, simplemente por las tarifas.

### **2.3.4 Estrategias óptimas**

A continuación, presentamos la selección de estrategias óptimas tanto para el caso de preheating, como precooling con ventilación nocturna. Se presentan y comentan esta elección para un caso de los analizados, en concreto el Edificio 3, el resto de los Edificios se incluyen los mismos resultados en sus Anexos respectivamente.

- ✓ *Edificio 3. Preheating*

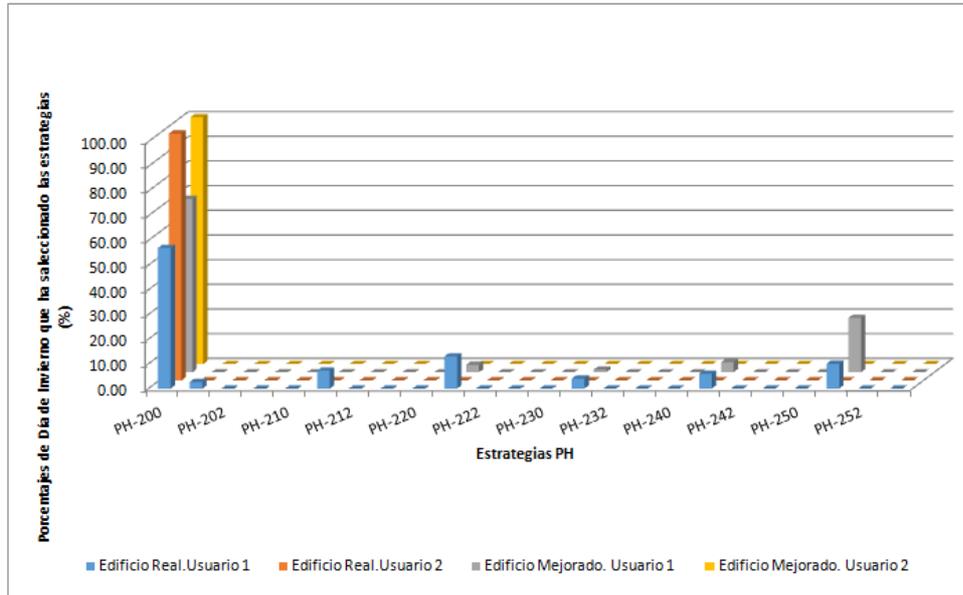


Figura 2-43. Selección Estrategias de Preheating. Edificio 3

En la Figura 2-43 se puede observar que el Usuario 1 (distinción días laborales-fin de semana) es aquel que experimenta cierta selección de estrategias. Sin embargo, el Usuario 2 nunca considera conveniente realizar ninguna de las estartegias de Preheating, resultados que ya se habían verificado en el epígrafe 2.3.2.1

✓ Edificio 3. Precooling más Ventilación Nocturna

El Análisis de las estrategias de precooling combinadas con las de ventilación nocturna, al tomar 3 variables de decisión (Temperatura de precooling, tiempo precooling y tiempo ventilación nocturna), coge cierta dificultad, presentamos una tabla con un mapa de colores por cada no de los casos de usuarios, así como rehabilitación o no. Donde los tonos más verdes oscuros representan un mayor porcentaje de selección de esas estrategias, hasta a tonalidad roja de 0 %. A continuación, se representa la leyenda de colores de esos mapas que permitan su correcta interpretación:

Usuario 1		Temperatura de consigna (°C)																							
		20				21				22				23				24				25			
HORAS PC		0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3
HORAS VENTILACIÓN NOCTURNA	0																								
	1																								
	2																								
	3																								
	4																								
	5																								
	6																								
	7																								

Porcentaje de Días selección Estrategias (%)	Representación
0	
[1-5]	
[5-10]	
[10-20]	
[20-40]	
>40	

Figura 2-44. Distribución Selección Estrategias PC+VN. Edificio 3-Usuario 1

En la mayor parte de los casos se elige horas de ventilación nocturna frente a hacer precooling, debido a que se trata de una técnica gratuita, y que permite suprimir las dos horas de inicio de la mañana. En las ocasiones que se elige hacer PC, prima una duración de 1 hora. En ambos casos, tanto para el Usuario 1 como el 2, el comportamiento es muy similar.

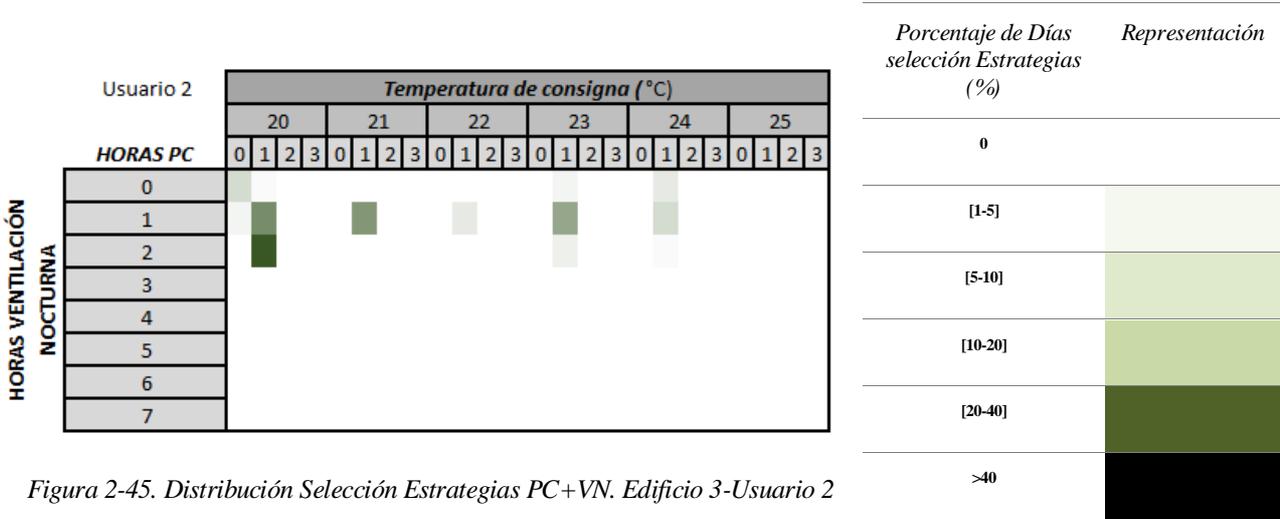


Figura 2-45. Distribución Selección Estrategias PC+VN. Edificio 3-Usuario 2

También se puede observar la influencia en la toma de decisiones del usuario, se presenta la misma tabla anterior, pero con el caso de Usuario Óptimo, donde se elimina el período que penaliza el almacenamiento térmico estructural. Aparecen más horas de aplicación de PC, frente a la ventilación nocturna, en comparación con los otros usuarios.

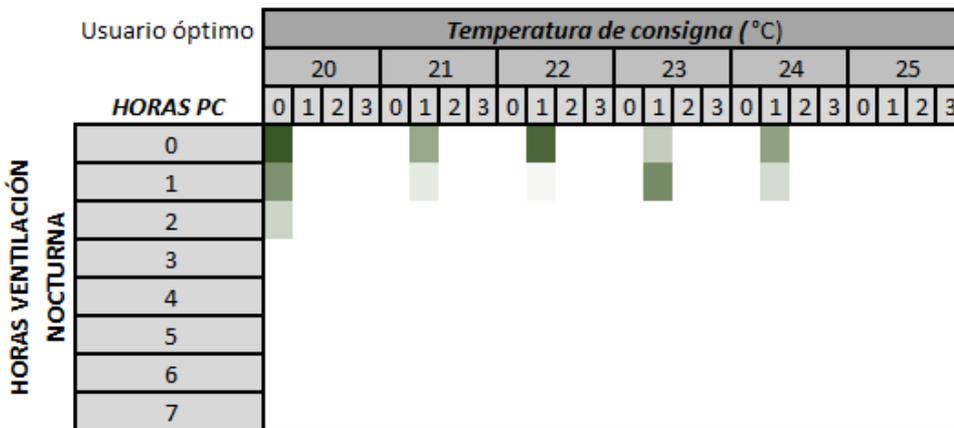


Figura 2-46. Distribución Selección Estrategias PC+VN. Edificio 3-Usuario óptimo

A continuación, se realiza esas mismas figuras pero en el caso del Edificio 3 rehabilitado, observando los cambios que se dan.

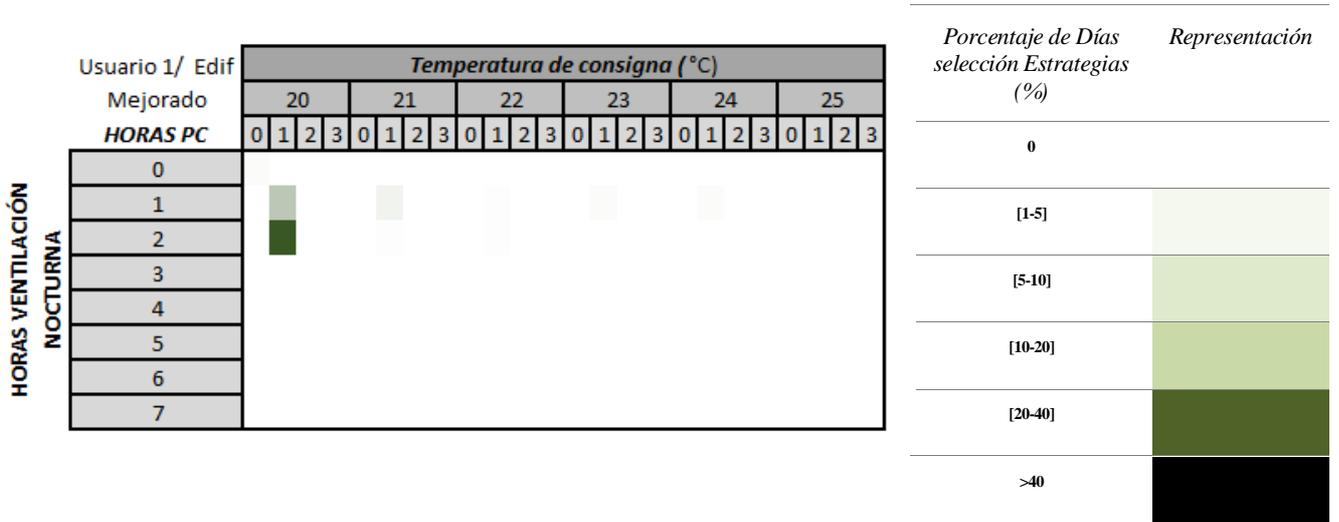


Figura 2-47. Distribución Selección Estrategias PC+VN. Edificio 3 Mejorado-Usuario 2

Se consigue aumentar el porcentaje de días donde se toman más horas ventilación nocturna y estrategia de PC, también de 1 hora, aunque el edificio esté mejorado ese período de casi 5 horas penaliza las decisiones de preacondicionamiento.

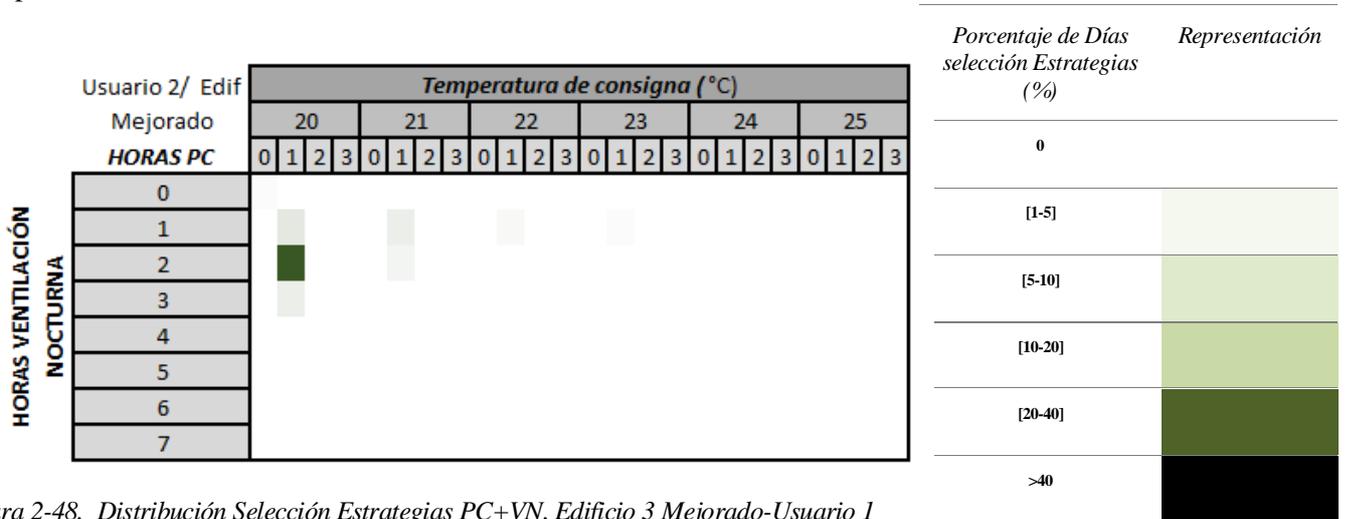


Figura 2-48. Distribución Selección Estrategias PC+VN. Edificio 3 Mejorado-Usuario 1

## 2.4 CONCLUSIONES

En este bloque se ha analizado el potencial de mejora de las medidas de DSM vinculadas con la operación de equipos, variación de consignas de estos y ventilación nocturna; es decir, preheating y precooling con o sin ventilación nocturna; usando como base de almacenamiento la inercia estructural del edificio. Para ello se realiza el estudio de potencial de 5 viviendas distribuidas por España y considerando diferentes escenarios de análisis

El estudio presenta resultados y conclusiones intermedias en cada uno de los estudios realizados. Sin embargo, cabe destacar:

- Los ahorros económicos vinculados a las estrategias de gestión de la demanda son fuertemente dependientes del comportamiento del usuario (primer lugar) y de la calidad constructiva del edificio (pérdidas de la energía almacenada).
- La tarificación de las viviendas es clave para estas estrategias y como se distribuyen a lo largo del día
- Está implícito en los resultados que disponer de una producción renovable de electricidad puede maximizar los ahorros económicos. Un trabajo futuro relevante es el empleo de los edificios como almacenamiento térmico de los excedentes de la fotovoltaica no consumidos en la vivienda.
- Otro punto de enorme interés es combinar estas medidas con almacenamiento eléctrico y con el posible arbitraje vinculado a la producción renovable.

Finalmente destacar las conclusiones anteriores: los avances del Proyecto vinculados al algoritmo y a su explotación en la definición de estrategias de operación inteligente, pueden ser complementados con un algoritmo de diseño óptimo de sistemas fotovoltaicos con o sin acumulación, y las posibles estrategias vinculadas con el empleo de los edificios como sustitutos/complementos de las baterías de litio para los excedentes o en función de los precios del arbitraje. Aspectos en los cuales se centra en el siguiente bloque del proyecto.

## 3 BLOQUE II. POTENCIAL AHORRO ANÁLISIS SMART GRID. GESTIÓN DE UN DISTRITO

**E**ste apartado tiene como objetivo proponer la gestión energética de un distrito, con una estrategia que fomenta el intercambio de excedentes de electricidad entre diferentes usuarios, con el fin de maximizar el ahorro de costos y la utilización de energía renovable en el distrito.

Además, se realizará un análisis comparativo entre las diferentes estrategias de preacondicionamiento vistas en el capítulo anterior, determinando las estrategias óptimas durante todo un año y llegando a conclusiones importantes. Para comprobar la influencia de considerar diferentes horizontes de tiempo para la optimización de estas estrategias de preacondicionamiento, se examinarán de nuevo tres horizontes de tiempo: un día, dos días y tres días. Además de analizar el ahorro de costes, se estimarán los índices de autoconsumo y autosuficiencia y se compararán con la situación tradicional en la que cada edificio es autogestionado, junto con la evaluación de varias variables como el consumo de aire acondicionado o la energía perdida cuando se usan las baterías eléctricas.

Se propone como caso de estudio un distrito en la Isla de La Graciosa, considerando la producción fotovoltaica, las baterías eléctricas, la capacidad de almacenamiento de la masa térmica estructural de los edificios, así como la posibilidad de compartir el excedente de electricidad entre diferentes edificios. Para el análisis en cuestión se ha adoptado una escala de tiempo de 15 minutos, coincidente con la escala de tiempo de la monitorización y además es adecuada para la toma de decisiones.

### 3.1 INTRODUCCIÓN

#### 3.1.1 *Objetivo del Proyecto*

La Isla de La Graciosa desea experimentar una gran innovación eléctrica, la evolución hacia un sistema autosuficiente en el que podrá generar, almacenar y distribuir su propia energía. Además, será una energía limpia, de origen renovable. Ese es el objetivo del proyecto G.R.A.C.I.O.S.A. (Generación Renovable con Almacenamiento y Consumos Inteligentes para la Operación de redes de distribución con Sistemas de Autoconsumo) puesto en marcha por un consorcio liderado por Endesa en el que participa el Instituto Tecnológico de Canarias (ITC), perteneciente a la Consejería de Empleo, Industria y Comercio del Gobierno canario.

El consorcio que promueve el proyecto está implantando en la isla una microrred que integrará la generación distribuida obtenida a través de placas fotovoltaicas con unas baterías y ultracondensadores que ayudarán a gestionar esa energía fluctuante. Además, un abanico de tecnologías (comunicaciones PLC, automatismos de baja y media tensión, sistemas de monitorización y control en tiempo real, aplicaciones de eficiencia energética y gestión activa de la demanda) permitirán integrar de manera eficiente la energía fotovoltaica en las redes convencionales.

Los objetivos se centran en el desarrollo de microrredes estables, eficientes y seguras mediante:

- El desarrollo de un innovador sistema de almacenamiento híbrido, multiservicio, que compense flujos energéticos y tenga capacidad de respuesta dinámica.
- La gestión de la demanda agregada desarrollando sistemas de control autónomos y sistemas de interacción con el usuario/cliente (interacciones cliente-mercado y usuario-gestor de Red).
- El control de la generación distribuida, al interconectar los sistemas de generación con el Sistema de gestión energética global.

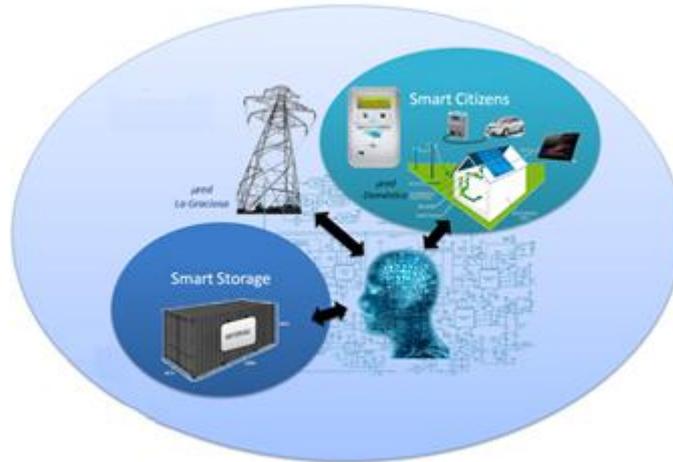


Figura 3-1. Proyecto GRACIOSA

El proyecto pretende que tanto el consumidor como la distribuidora y la empresa comercializadora tengan un papel activo en la eficiencia del sistema. Además de garantizar la fiabilidad del suministro energético a los residentes de la isla, de esta forma será posible mejorar el uso de la energía ganando eficiencia y reduciendo costes al consumidor. Al mismo tiempo, se podrán reducir las emisiones gracias a la integración de las energías renovables y a la progresiva implantación de la movilidad eléctrica en la isla.

### 3.1.2 Antecedentes

La Graciosa, considerada la octava isla de las Canarias, es la mayor de las islas e islotes que componen el Archipiélago Chinijo, perteneciente a provincia de Las Palmas (Canarias, España).



Figura 3-3. Localización Isla de la Graciosa-España



Figura 3-2. Zoom Isla de La Graciosa

Dicha isla está al noroeste de Lanzarote, posee unos 29 km<sup>2</sup> de superficie en los que se hallan las dos únicas zonas urbanas de la misma: La Caleta del Sebo (capital insular) y Casas de Pedro Barba. Es la menos poblada de las islas habitadas, su población actual es de 660 habitantes. Salvo los cascos urbanos de los dos núcleos habitados, el resto de la isla pertenece al Patrimonio del Estado, estando su gestión adscrita al Organismo Autónomo Parques Nacionales y siendo además un espacio natural protegido.



Figura 3-4. Caleta del Sebo



Figura 3-5. Casas de Pedro Barba

La red

de distribución eléctrica de la isla está integrada en el sistema insular Lanzarote-Fuerteventura a través de un cable submarino de 20 kV que alimenta a la población de La Caleta del Sebo.



Figura 3-6. Red insular eléctrica

Cuenta con tres centros de transformación pero solo los dos primeros con una carga apreciable (400 kVA y 630 kVA).

- **La Graciosa (630 kVA)**. 415 clientes. Potencia contratada 2085 kW.
- **La Graciosa II (400 kVA)**. 147 clientes. Potencia contratada 705,9 kW.
- **La Graciosa III**

A continuación, se presenta ambas Ilustraciones, donde se representa la distribución de los centros de transformación mencionados anteriormente, en la primera de ellas; la segunda, el esquema de la red de distribución eléctrica de los dos centros principales.

En el camino hacia el desarrollo del proyecto han sido claves los estudios de análisis de integración de energía fotovoltaica en distintos escenarios, el estudio de las condiciones climáticas y la dinámica de nubes en la Isla,



Figura 3-7. Distribución Centros de Transformación Isla de la Graciosa

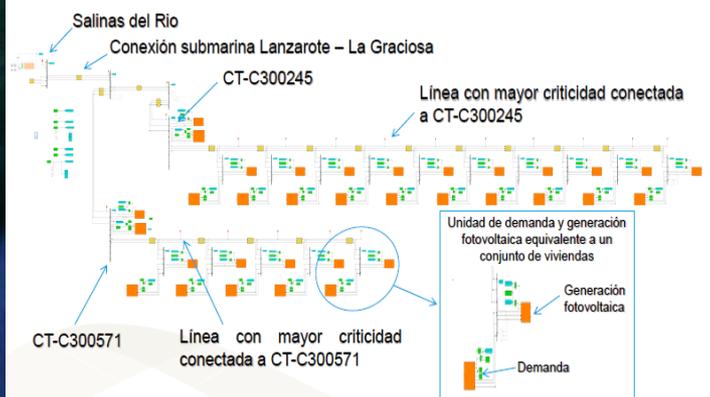


Figura 3-8. Esquema Red distribución Eléctrica Isla de la Graciosa

realizado por el ITC, proporcionando resultados favorables sobre el potencial solar existente. Con una media anual de distribución horaria de la radiación solar de 4.95 Kwh/m<sup>2</sup>/día, como se puede observar en la Figura 3-9.

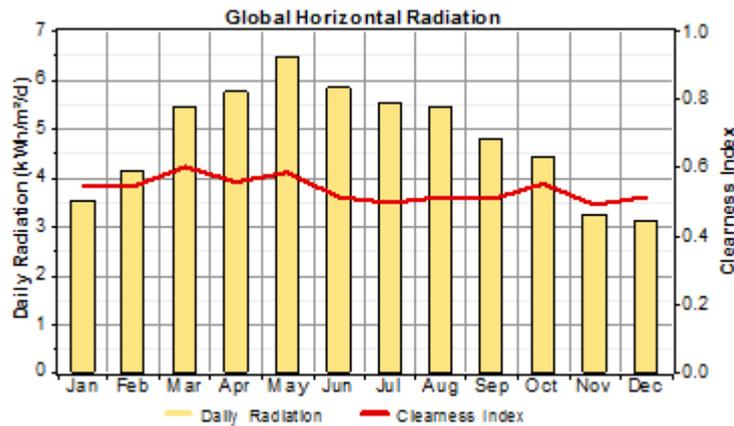


Figura 3-9. Distribución Radiación Global Horizontal

Dentro del estudio de análisis de integración de energía fotovoltaica en distintos escenarios, se planteó la capacidad de implantación de energía solar fotovoltaica en azoteas de las viviendas e infraestructuras públicas, como el colegio, de Caleta de Sebo. Obteniendo unos límites de penetración fotovoltaica en la isla que va del 25 al 45 %. Localizaciones que finalmente han sido utilizadas para este proyecto.



Figura 3-10. Implantación FV en azoteas

El estudio de este Bloque se va a centrar en uno de los centros de transformación, aquel que en la imagen superior (Figura 3-7) se puede observar más en el centro, que se corresponde con la nomenclatura CT-C300571. Cuyo distrito de la zona urbanizada que se ve afectado, se representa con líneas azules en la imagen que le sigue, está constituido por 25 viviendas y un colegio, en el siguiente epígrafe se describirá detalladamente.

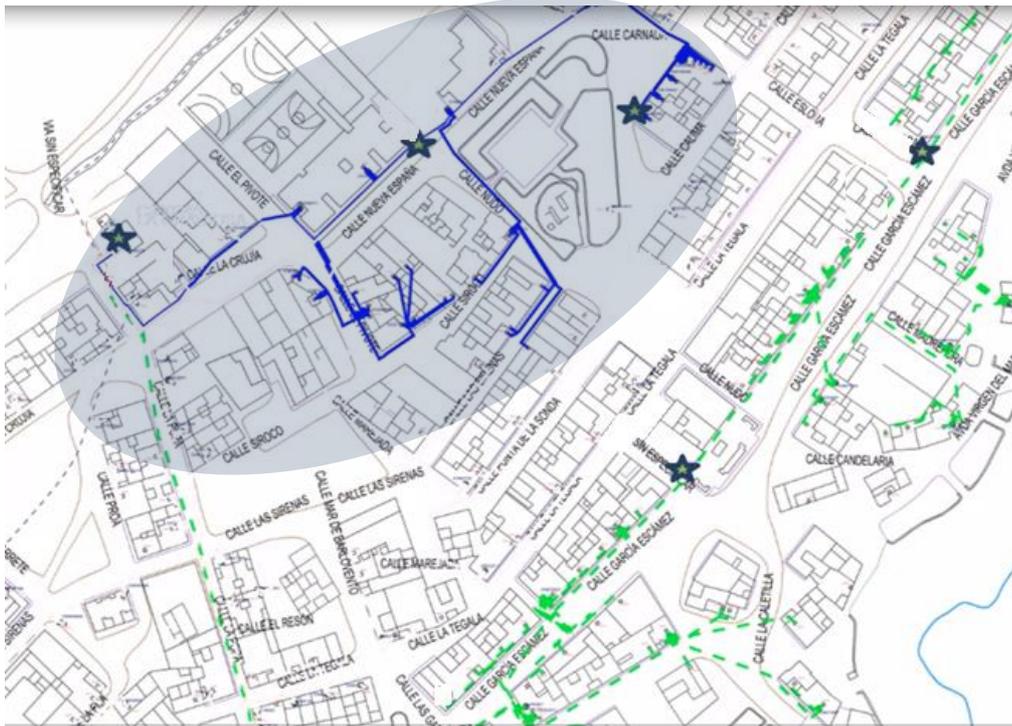


Figura 3-11. Distrito Analizado

Esta característica de insularidad, con alimentación a través de un único cable de alimentación, que además tiene un tramo submarino susceptible de tener averías con tiempos de resolución prolongados, el tamaño reducido de la red de la propia isla y la incorporación de generación distribuida de carácter renovable para aumentar la sostenibilidad de la isla situada en el Parque Natural Archipiélago de Chinijo, hacen que la microrred que se propone sea una solución especialmente interesante.

En el marco de la directiva europea para alcanzar el objetivo 20/20/20 en el año 2020, el proyecto “ISLE-PACT: Pact of Islands” es una iniciativa de un consorcio de islas europeas que se han comprometido a reducir la emisión de CO2 para cumplir con los objetivos comunitarios.

El archipiélago Canario presenta una gran vulnerabilidad económica debido a la dependencia casi exclusiva de fuentes energéticas primarias fósiles y su alta exposición a la volatilidad del mercado del petróleo. Ante esta realidad el Gobierno Regional ha desarrollado en las dos últimas décadas planes energéticos regionales con el fin de definir las acciones encaminadas a un desarrollo sostenible del sector que garanticen el suministro energético futuro.



Figura 3-12. Imagen representativa Objetivo GRACIOSA

De esta forma queda justificado la necesidad del proyecto, así como la oportunidad de implantar esta microrred en un lugar donde, además de por esa necesidad, es idóneo por todas las condiciones que le rodean.

A continuación, se presenta el distrito en estudio, cabe mencionar, que complementario a todo el análisis previo, se ha realizado dos vivitas a la isla para elegirlo y realizar un inventario energético de los edificios del mismo.

## 3.2 DESCRIPCIÓN DEL CASO

### 3.2.1 Caracterización del Distrito

Este proyecto se centra en un distrito concreto. Al contar la isla con 3 Centros de Transformación, como ya se vio anteriormente, se elige uno de ellos, ubicado en la parte central de la misma (Figura 3-7), el cual alimenta a 25 viviendas y un colegio. De esta forma con este CT permite jugar tanto con viviendas como con edificios terciarios.

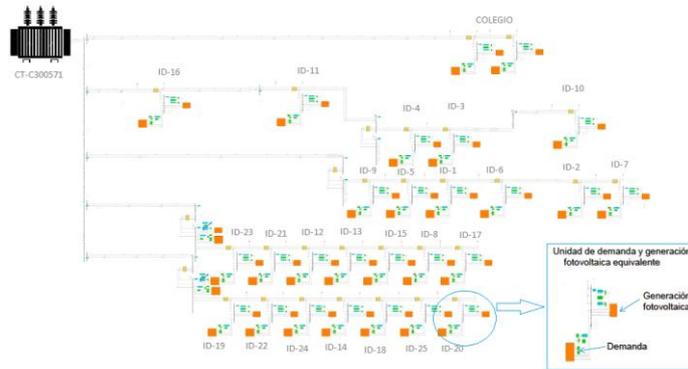


Figura 3-13. Esquema Eléctrico Distrito en estudio

El distrito en cuestión se presenta a continuación con un color azul, sobre el resto del núcleo blanco.



Figura 3-14. Representación Distrito en estudio

Tras las inspecciones realizadas para la recogida de información y así poder obtener resultados más fidedignos, se toman dos viviendas modelos y el colegio que, además de tener características diferentes que permiten extrapolarla al resto del distrito, solo cambia respecto a las restantes el equipamiento y uso. Todo esto complementado, a que en esas dos viviendas era posible la monitorización de las temperaturas de 3 de sus estancias.

En lo que respecta al consumo eléctrico, existe una campaña de medidas de cada una de las 25 viviendas del distrito, así como del colegio. Por tanto, al tener todas las viviendas unas características similares, se ha centrado el estudio del inventario energético y el posterior modelado en los dos edificios que se ha llevado a cabo la monitorización tanto de temperaturas como de consumo.



*Figura 3-15. Edificios de Estudio Detallado*

Las dos viviendas estudiadas en concreto se corresponden con las utilizadas para el análisis de influencia de medidas de DSM, presentadas en el Capítulo 2, con el Edificio 1 y Edificio 2. Por tanto, estos edificios ya han sido descritos anteriormente, falta por determinar las características del colegio.

### *3.2.1.1 Colegio*

Por último, dentro del estudio detallado, queda por definir el colegio, es un edificio terciario, de una planta situado en la isla La Graciosa, C/ Nueva España (Las Palmas). Cuenta con unos 70 alumnos, como se verá posteriormente, al tratarse el período estival como aquel de mayor análisis en la Isla, coincide con un período no lectivo, su principal influencia será en la producción fotovoltaica, al tener toda la cubierta instalada de paneles, como se puede ver en la *Figura 3-7*.



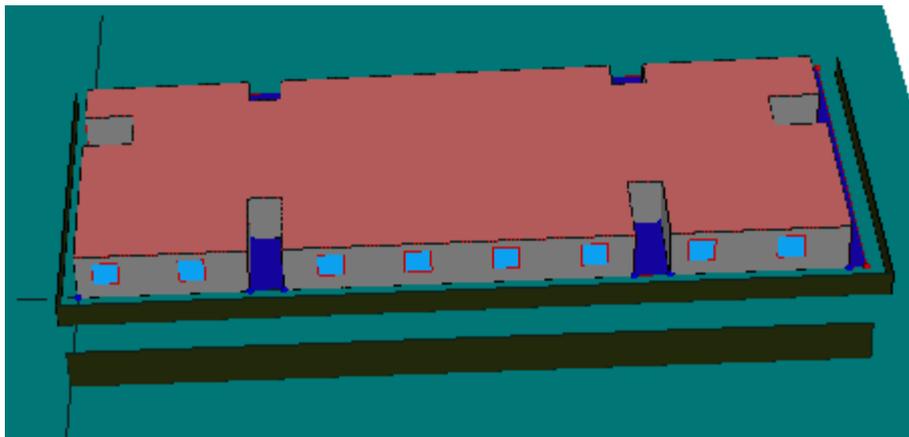
*Figura 3-16. Colegio Isla de la Graciosa*



*Figura 3-17. Colegio Instalación FV*

El edificio en cuestión tiene una antigüedad de al menos 20 años. La fachada principal está orientada al Sureste, como la gran mayoría de viviendas de la isla, y la construcción de muros y ventanas es de baja calidad. En cuanto a las instalaciones del edificio, tiene una producción de ACS que consiste en un calentador de agua a gas. No tiene instalación de climatización, justo por la causa expuesta anteriormente, en la Isla de la Graciosa la demanda de calefacción es muy pequeña y la de refrigeración que es más importante, coincide con un período no lectivo.

De la misma forma, con toda la información recogida, se ha realizado un modelo del edificio, en este caso no existe campaña de monitorización de temperaturas, ya que esta se centró en verano, período cuya ocupación no es influyente.



*Figura 3-18. Modelo Colegio*

Una vez que ya han sido definidos los edificios que componen el distrito analizado, es necesario estudiar las instalaciones de los mismos.

### **3.2.2 Instalaciones**

En cuanto a las instalaciones de las viviendas, todas tienen las mismas, una producción de ACS que consiste en un calentador de agua a gas; en lo que respecta a climatización, solo existe una bomba de calor ubicada en unos de los espacios, el salón. En el caso del colegio, dispone de una producción de ACS de gas, no existe instalación de climatización. Todo ello complementado con una instalación fotovoltaica.

De forma general, todos los edificios disponen de instalaciones eléctricas, salvo el ACS que es a gas. Este proyecto se va a centrar en las instalaciones eléctricas, se sabía que anteriormente no disponían de sistema de climatización en las viviendas, que han sido instalados en el marco del proyecto.

A continuación, se detalla cada una de estas, centrándose únicamente en las eléctricas.

#### **3.2.2.1 Climatización**

Un equipo de climatización unizona bomba de calor, instalado en la única zona climatizada, el salón. Por esta razón, la mayoría de los análisis se basarán en esta estancia. Aunque también cabe la posibilidad de extrapolar

los resultados al edificio completo.

Cuyas características del equipo se presentan a continuación:



Figura 3-19. Equipo Climatización instalados

**RAV-SM307KRTP-E**  
**Hi-Wall**

- R22 & R407C replacement technology
- Self cleaning feature
- Automatic louver swing pattern to evenly distribute the air into the room
- Wireless remote controller with pre-set functions or hard wired remote controller option

Model Reference		RAV-SM307KRTP-E
Nominal Cooling	(kW)	2.5
Nominal Heating	(kW)	3.4
Annual Power Consumption	(kWh)	425

Figura 3-20. Características Equipo Climatización

### 3.2.2.2 Instalación Fotovoltaica

#### 3.2.2.2.1 Módulos Fotovoltaicos

Los paneles solares son el elemento de generación eléctrica y se pueden disponer en serie y/o paralelo para obtener la tensión nominal requerida en cada caso. Estos paneles están formados por un número determinado de células que están protegidas por un vidrio, encapsuladas sobre un material plástico y todo el conjunto enmarcado con un perfil metálico.

El panel fotovoltaico solar deberá satisfacer las especificaciones de las normas IEC 61215:2005 e IEC 61730, así como estar cualificados por algún laboratorio reconocido.

El módulo solar propuesto es el modelo A-265P del fabricante ATERSA. Estos módulos están constituidos por 60 células en serie de silicio policristalino texturizadas, con capa antirreflexiva con forma pseudocuadradas y tamaño 156 mm x 156 mm.



Figura 3-21. Panel Fotovoltaico instalado

Los parámetros que caracterizan el módulo son los siguientes:

- **Parámetros Eléctricos:**
  - Potencia Nominal 265 W
  - Eficiencia del módulo 16.27 %
  - Corriente Punto de Máxima Potencia ( $I_{mp}$ ) 8.40 A
  - Tensión Punto de Máxima Potencia ( $V_{mp}$ ) 31.55 V
  - Corriente en Cortocircuito ( $I_{sc}$ ) 9.01 A
  - Tensión en Circuito Abierto ( $V_{oc}$ ) 38.14 V
  
- **Parámetros Térmicos:**
  - Coeficiente de Temperatura de  $I_{sc}$  ( $\alpha$ ) 0.04 %/°C
  - Coeficiente de Temperatura de  $V_{oc}$  ( $\beta$ ) -0.32 %/°C
  - Coeficiente de Temperatura de P ( $\gamma$ ) -0.43%/°C
  
- **Características Físicas:**
  - Dimensiones 1645 x 990 x 40 mm
  - Peso 21.5 kg

En el caso de las viviendas está constituido por 13 módulos , una inclinación de los paneles de 15° y una orientación de Este (-40°). Se considera que no existen sombras entre hileras.



Figura 3-22. Instalación Fotovoltaica viviendas

Como excepción en la instalación, está el colegio, que a diferencia de todo lo anterior, incorpora 3 string. Lo

cual permite alcanzar una Potencia Nominal del Campo de 10.445 kW.



Figura 3-23. Instalación Fotovoltaica Colegio

#### 3.2.2.2.2 Inversor

El inversor se utiliza para convertir la corriente continua generada por los paneles solares fotovoltaicos en corriente alterna y de esta manera poder ser inyectados en la red eléctrica.

El inversor deberá cumplir con las normas establecidas en el R.D. 900/2.015, R.D. 413/2.014, R.D. 1.699/2.011, R.D. 842/2.002 y “Nota de interpretación técnica de la equivalencia de la separación galvánica de la conexión de instalaciones generadoras en baja tensión”, por las que se regula la conexión a red de instalaciones de producción de energía eléctrica.

El inversor incorporará los equipos de protección contra fallos de sobretensión, baja tensión, de frecuencia y modo isla y se encargarán de las maniobras de conexión-desconexión automática con la red.

Se diseña la instalación con un único inversor modular conectado a la fase de la instalación en el caso de las viviendas, y 3 inversores para el colegio.

El inversor propuesto es el modelo REACT-UNO-4.6 TL del fabricante de ABB que está especialmente indicado para las instalaciones fotovoltaicas de conexión a red. Este inversor incluye batería integrada, modelo REACT-BATT-AP1 del fabricante Panasonic.



Figura 3-24. Inversor-Baterías instalados

Las características del inversor seleccionado se muestran a continuación:

- *Entrada:*
  - Tensión absoluta de entrada máxima 600V

- Tensión DC de puesta en marcha 200V (ajustable 120...350 V)
  - Tensión nominal DC de entrada 360V
  - Potencia nominal DC de entrada 6 kW
  - Número de MPPT independientes 2
  - Corriente máxima DC de entrada para cada MPPT 27 A/ 13.5 A
  - Corriente máxima de cortocircuito para cada MPPT 15 A
- *Protecciones a la entrada*
    - Protección contra inversión de polaridad SI
    - Protección contra sobretensiones de entrada-varistor SI
    - Características del conmutador de desconexión de CC 660V/ 25<sup>a</sup>
- *Salida*
    - Tipo de conexión AC a la red Monofásica
    - Potencia nominal AC de salida 4.6 kW
    - Potencia máxima AC de salida 4.6 kW
    - Potencia máxima aparente 5.1 kVA
    - Tensión nominal AC de salida 230V
    - Corriente máxima AC de salida 24 A
    - Frecuencia nominal de salida 50 Hz
- *Protecciones a la salida*
    - Protección máxima externa frente a sobrecorriente de AC máxima 32<sup>a</sup>
    - Protector contra sobretensiones de salida – varistor 2
- *Condiciones físicas*
    - Grado de protección ambiental IP 65 (inversor), IP 21 (batería)
    - Dimensiones (A x L x F) 740 x 983 x 229 mm
    - Peso 67 kg
    - Sistema de Montaje Soporte Pared

El inversor se ubicará en la cubierta/patio del edificio junto con los módulos fotovoltaicos. El inversor tiene una envolvente de acero inoxidable para instalación exterior de IP 65.

### 3.2.2.2.3 Estructura soporte

La estructura tiene como función servir de soporte y fijación segura de los módulos fotovoltaicos, así como proporcionarles una inclinación y orientación adecuadas, para obtener un máximo aprovechamiento de la energía solar.

La estructura a utilizar es el modelo CVE915.30° del fabricante Sunfer Energy Structures, formada por perfiles de aluminio anodizado EN AW 6005<sup>a</sup> T6, apoyada sobre la cubierta de la edificación sin elementos de anclaje, empleando contrapesos con bloques de hormigón prefabricados para su estabilización. Las placas fotovoltaicas se montarán sobre la estructura de aluminio y dicha estructura se anclará sobre los bloques de hormigón prefabricado mediante tornillos autoroscantes de acero inoxidable.

La estructura irá conectada a tierra con motivo de reducir el riesgo asociado a la acumulación de cargas estáticas o tensión inducida por fenómenos meteorológicos.

**Instalación en cubierta o suelo**

**Instalación 1 línea** Artículo nº CVE915

Soporte diseñado para instalar 1 fila de módulos fotovoltaicos en vertical sobre cubiertas modificando la inclinación. Inclinación 30°.

Artículo	Capacidad	Tamaño de módulo	Materiales
CVE915 [1x4]	4 Módulos Fotovoltaicos Disponibles de 1 a 20 módulos.	1650x1000x[35,40,45,50]	Aluminio EN AW 6005A T6

Montaje:  
Estructura atornillada,  
regulable.

Figura 3-25. Estructuras Instalación Catálogo



Figura 3-26. Estructura Instalación

#### 3.2.2.2.4 Cableado

Los conductores a utilizar serán de cobre, aislados y unipolares, siendo su tensión asignada de 0,6/1 kV.

En corriente continua se emplearan cables con cubierta de polietileno reticulado según norma UNE 21123-2. Emplearemos cables con conductores de cobre del tipo RV-k 0,6/1 kV de la marca Prysmian modelo Retenax Flex] o similar.

En corriente alterna se emplearan cables no propagadores de la llama y del incendio, libre de halógenos, con baja emisión de humos y opacidad reducida según norma UNE 21123-4. Emplearemos cables con conductores de cobre del tipo RZ1-k(AS) 0,6/1 kV de la marca Prysmian modelo Afumex 1000 V [AS] o similar.

Los conductores tendrán la sección adecuada a las intensidades de cálculo y a las máximas caídas de tensión permitidas. Estarán además debidamente protegidos contra la corrosión que pueda provocar el terreno donde se instalen para los cables subterráneos y contra los rayos ultravioleta para los colocados a la intemperie. Tendrán la resistencia mecánica suficiente para soportar los esfuerzos a que puedan estar sometidos.

Para instalaciones generadoras de baja tensión, la ITC-BT-40 en su punto 5, indica que los cables de conexión deberán estar dimensionados para una intensidad no inferior al 125% de la máxima intensidad del generador y la caída de tensión entre el generador y el punto de interconexión a la Red de Distribución Pública o a la instalación interior, no será superior al 1,5 %, para la intensidad nominal. Consideraremos una caída de tensión máxima en la parte de continua del 0,5% y un 1% en la parte de alterna.

En cuanto a la temperatura, como margen de seguridad vamos a considerar que el cable de cobre puede alcanzar los 90 grados, siendo para esta temperatura su resistividad de 44.

En cuanto al sistema de instalación a utilizar se seguirá lo dispuesto en la ITC-BT-21 del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión.

En toda la instalación, aunque no se explica con detenimiento es necesario mencionar que dispone de todos los sistemas de protección necesarios para este tipo de instalación.

### 3.2.2.2.5 Planos-Esquemas Instalación Fotovoltaica Viviendas Estudio detallado

A continuación se presenta tanto la distribución en planta y secciones de la instalación, como el esquema eléctrico de las dos viviendas de estudio detallado, el resto de las viviendas tienen una distribución similar en planta y el esquema eléctrico es idéntico.

Los paneles fotovoltaicos, cuya distribución, se observa tanto en la *Figura 3-27* como la 3-29 en azules, están ocupando las azoteas de las diferentes viviendas, en el caso que no tengan, directamente en la cubierta, hecho representado con el colegio. En todos los edificios la orientación de los paneles es Este y la inclinación de 15 °.

#### Edificio 1

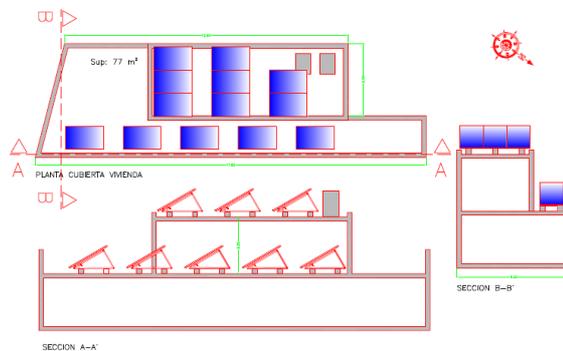


Figura 3-27. Distribución en Planta y Sección Instalación. Edificio 1

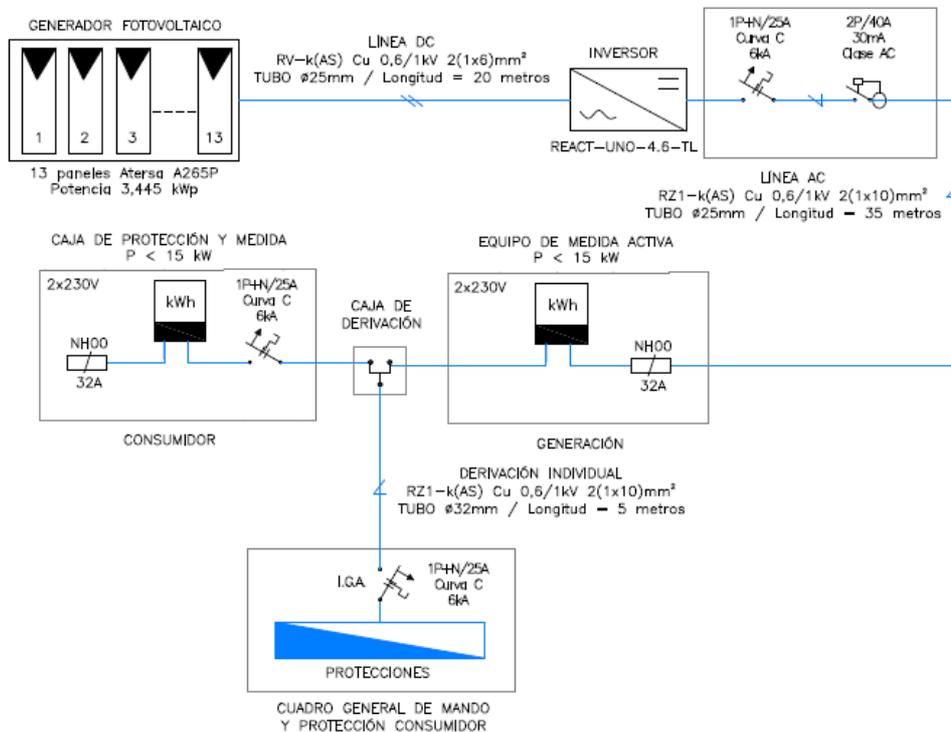


Figura 3-28. Esquema Eléctrico. Edificio 1

**Edificio 2**

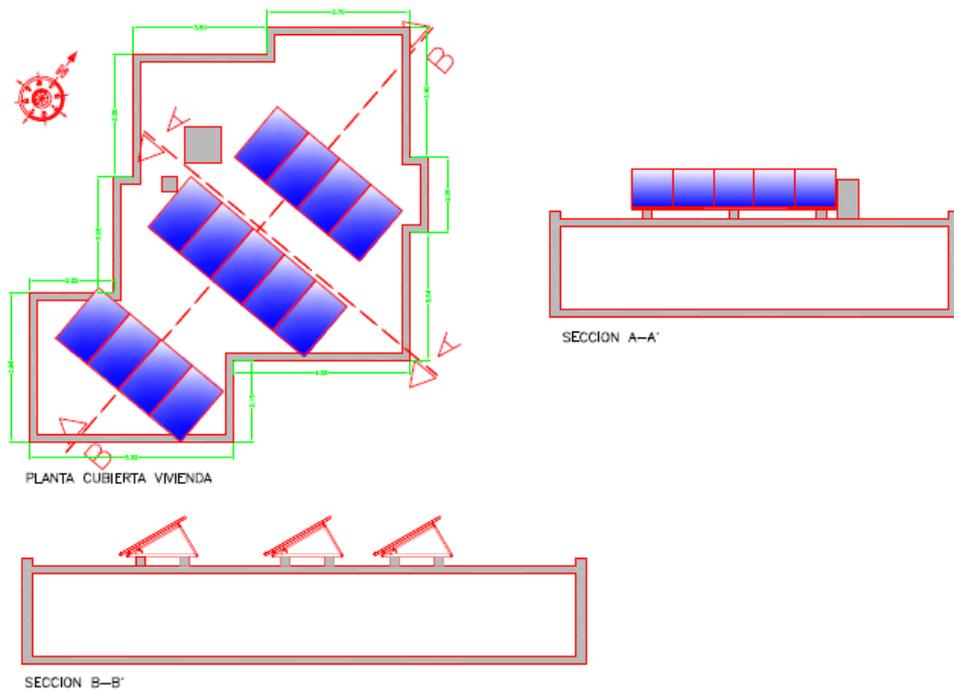


Figura 3-29. Distribución en Planta y Sección Instalación. Edificio 2

En el caso del esquema eléctrico es idéntico en todos los edificios, lo cual confirma la hipótesis que todos tienen la misma instalación, que se tratará como un modelo eléctrico similar, cambiando únicamente los valores eléctricos (vivienda-colegio).

**3.2.3 Monitorización y modelado del distrito**

**3.2.3.1 Monitorización Temperaturas**

En el Marco del Proyecto GRACIOSA, se ha realizado una campaña de monitorización de temperaturas en las dos viviendas estudiadas en detalle previamente, estas campañas se han usado para conocer el comportamiento térmico de los edificios. Posteriormente complementado con la simulación de todos los edificios.

En ambas viviendas, se han monitorizado las temperaturas de 3 estancias diferentes, en concreto ubicadas de la siguiente forma. En concreto, dos dormitorios y el salón, donde en el marco del proyecto se coloca el equipo de climatización.

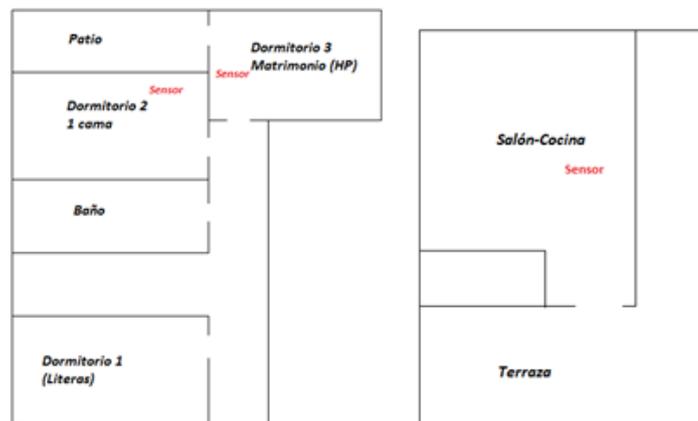


Figura 3-30. Ubicación Sensores. Edificio 1

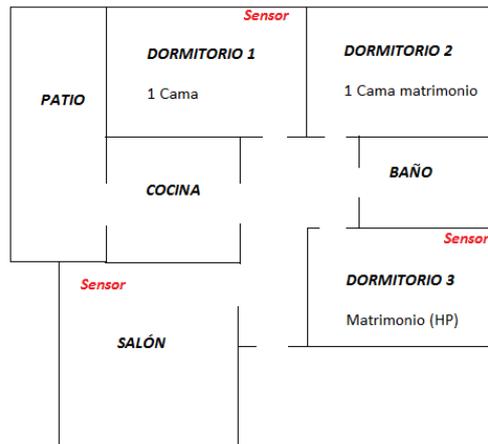


Figura 3-31. Ubicación Sensores. Edificio 2

Los sensores utilizados para las medidas son los mostrados en la Figura 3-32, miden tanto temperatura como humedad.



Figura 3-32. Sensores

A continuación, se presenta una tabla con las viviendas y los períodos de monitorización de temperaturas llevados a cabo.

VIVIENDA	PERIODO DE MONITORIZACIÓN	
Edificio 1		<p><i>Salón:</i> 01/09/17-03/10/17</p> <p><i>Dormitorio 1:</i> 01/09/17-03/10/17</p> <p><i>Dormitorio 2:</i> 26/07/17-03/10/17</p> <p>Datos de consumos no desglosados.</p>
Edificio 2		<p><i>Salón:</i> 26/07/17-03/10/17</p> <p><i>Dormitorio 1:</i> 01/09/17-03/10/17</p> <p><i>Dormitorio 2:</i> 01/09/17-03/10/17</p> <p>Datos de consumos no desglosados.</p>

Tabla 3-1. Resumen Monitorización Viviendas

Presentamos para cada una de las viviendas monitorizadas, en cada estancia los datos medidos disponibles, para mejorar el análisis se han obtenido las temperaturas medias diarias por zonas.

Se puede observar, que para ambos edificios y todas sus estancias monitorizadas, las temperaturas medias diarias están en torno a 25 °, estaría dentro del rango de confort establecido como [20-25]°. Sin embargo, estas temperaturas se tratan de temperaturas medias diarias, existen puntos horarios donde éstas se van fuera del rango de confort; por tanto, se justifica la necesidad de climatización, especialmente en verano.

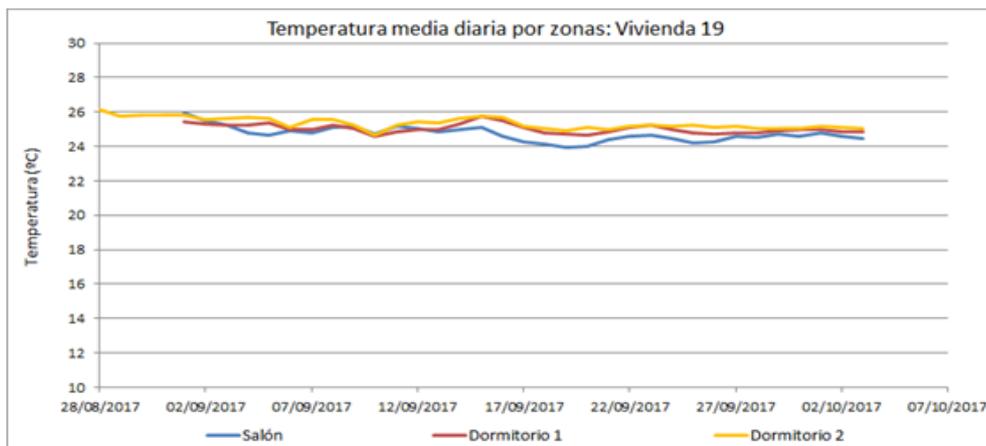


Figura 3-33. Datos Medidos. Edificio 1

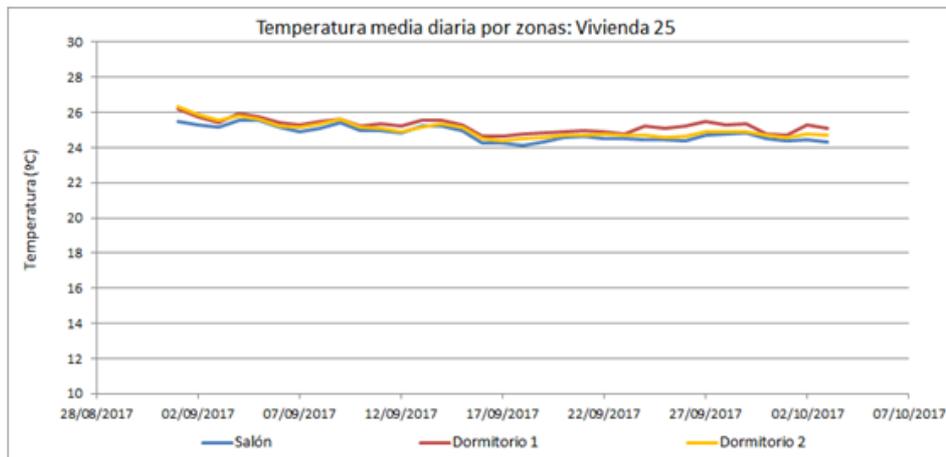


Figura 3-34. Datos Medidos. Edificio 2

### 3.2.3.2 Monitorización Consumo Eléctrico

Complementario a la campaña de medidas de temperaturas, se ha llevado a cabo la monitorización del consumo eléctrico, en este caso de las 25 viviendas del distrito y el colegio. Por medio de los siguientes equipos, que proporciona el consumo eléctrico para cada edificio, con un intervalo de 15 minutos. Esta es uno de los motivos, por los cuales, toda la gestión del distrito, se ha realizado cada 15 minutos, también porque la elección del tramo horario ya repercutía de forma negativa sobre la selección de estrategias, en el tratamiento de consumos picos puntuales.



Figura 3-35. Equipos contadores

Al corresponderse la campaña de monitorización con un año natural, donde no existía climatización en los edificios, este consumo eléctrico está referido a iluminación, equipos...; en general, se puede asociar al uso del propio edificio. Característica que va a ayudar, posteriormente, a caracterizar el usuario en función de dichos consumos combinado con la información proporcionada por los residentes, a través de encuestas telefónicas realizadas.

El monitoreo involucró a las 25 viviendas así como a la escuela durante todo el año 2016. En la Figura 3-36 se muestra el consumo anual de electricidad medido para los diferentes edificios. Como puede verse, las diferencias entre las viviendas son bastante pronunciadas, si nos fijamos en aquellas viviendas más diferenciadas (por ejemplo, ID 15 frente a ID 18). Estos consumos tan distintos permiten explotar las sinergias entre edificios con diferentes consumos eléctricos, aumentando el juego dentro de la gestión del distrito.

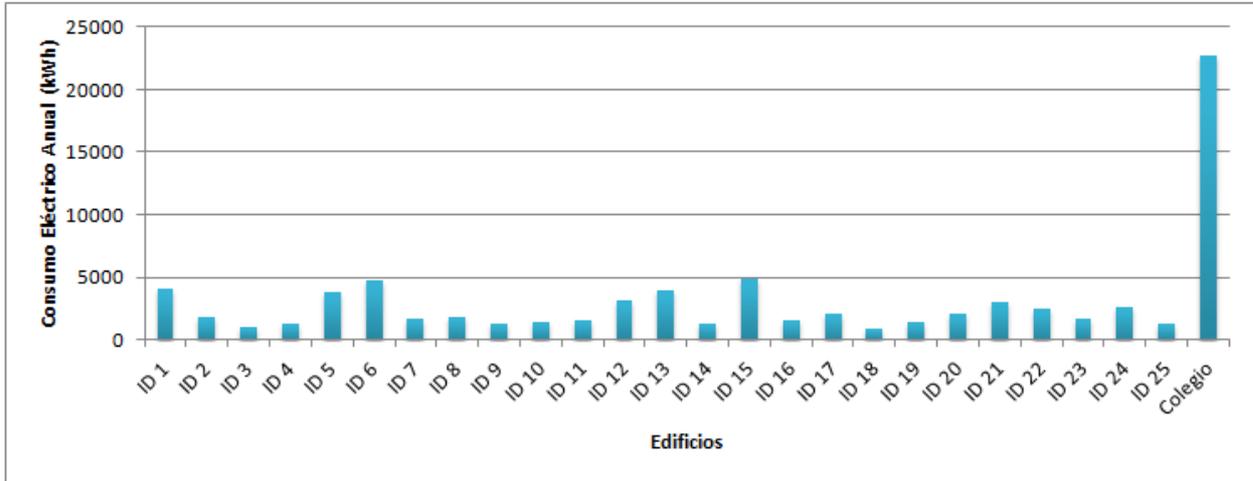


Figura 3-36. Consumo Eléctrico Anual de todos los edificios del Distrito

### 3.2.3.3 Producción fotovoltaica

En lo que respecta a la producción fotovoltaica, se utilizó una herramienta de diseño de sistemas fotovoltaicos que integra el análisis de sombreado, simulación y CAD en un paquete para calcularlo: Helioscope [29]. Esta herramienta permite estimar la producción de electricidad de los módulos fotovoltaicos instalados en los techos del distrito, teniendo en cuenta las pérdidas debidas al clima, el sombreado, el cableado, las eficiencias de los componentes, los desajustes de los paneles y el envejecimiento. Se utilizan los modelos de los módulos instalados realmente A-265P, con sus características de instalación, inclinación, orientación; así como los datos climáticos de una estación cercana a la Isla de La Graciosa.



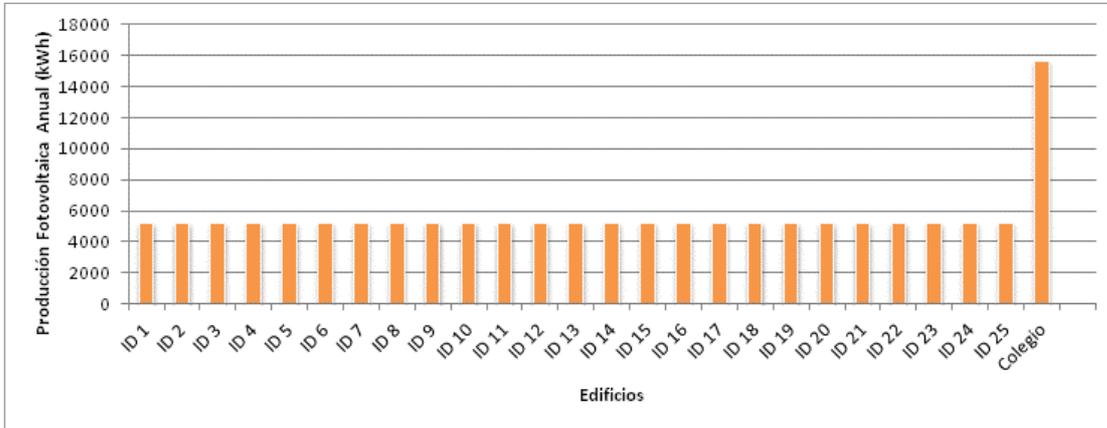
Figura 3-37. Representación Instalación FV Distrito

Durante todo el período del estudio, los datos meteorológicos estuvieron disponibles a través de una estación meteorológica cercana *Estación GC101 La Torrecilla*, que proporciona valores horarios de la temperatura exterior, la humedad y la radiación solar. Para el paso al período de 15 minutos de estudio, se ha llevado a cabo una interpolación en 4 tramos dentro del valor horario.



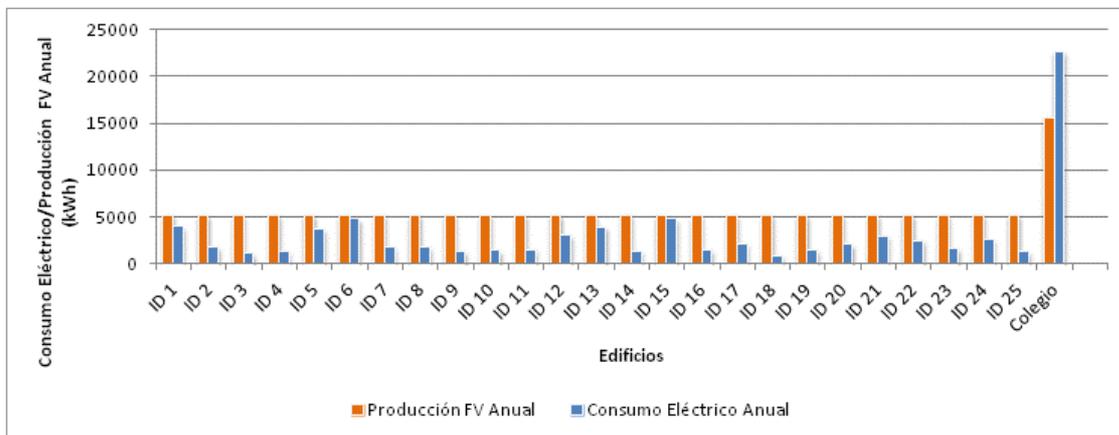
Figura 3-38. Localización Estación Meteorológica La Torrecilla

Con la Herramienta antes mencionada, permite estimar la producción de electricidad del distrito, obteniendo los resultados que se muestran en la *Figura 3-39*. Como era de esperar la producción FV para todas las viviendas, al tener exactamente la misma instalación, será idéntica; y la del colegio, al tener una instalación mayor, tendrá una producción mayor.



*Figura 3-39. Producción fotovoltaica Anual todos los edificios del Distrito*

Si comparamos la producción FV de cada uno de los edificios frente al consumo eléctrico anual de los mismos, se puede observar en la *Figura 3-40*, que en efecto para cada uno ellos la producción FV supera al consumo, con la excepción del colegio; sin embargo, ahora en la gestión se apreciará que están desacopladas las horas de producción con las de consumo, apareciendo el protagonismo de baterías, intercambio con otros edificios, con la red.



*Figura 3-40. Comparativa Producción FV vs Consumo Eléctrico Edificios Distrito*

Estos resultados también se comparan con el consumo de electricidad real mensual del distrito completo, ya que dentro del estudio, se premia los intercambios energéticos entre los diferentes edificios a nivel del distrito completo.

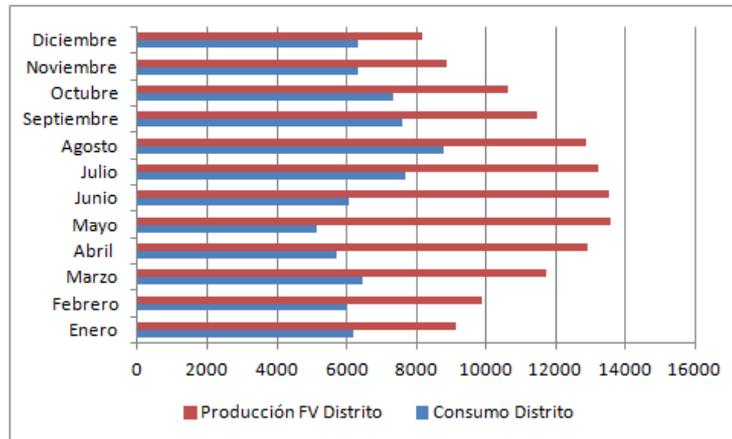


Figura 3-41. Producción FV Distrito vs Consumo Eléctrico

De nuevo, a nivel de distrito y mensualmente, Como es evidente, la cantidad de electricidad que pueden producir los módulos fotovoltaicos en el distrito es mayor que el consumo mensual de electricidad. Sin embargo, esta afirmación es bastante engañosa, ya que uno podría pensar que no se necesitaría importar electricidad. Dado que podría haber momentos con excedente de electricidad y tiempos (por ejemplo, durante la noche) donde se tendría que importar electricidad una vez que se agoten las baterías, se debe considerar el ajuste entre la oferta y la demanda en escalas de tiempo cortas.

### 3.2.3.4 Tarifas Electricidad

A los efectos de este estudio, se considerará una tarifa de dos períodos, al igual que se planteaba en el Bloque I; sin embargo, ahora vamos a utilizar la alternativa de precios reales por hora del mercado de electricidad en España en 2016 (coincidiendo con el período de monitoreo) para esta tarifa fueron tomados de un organismo público del gobierno español [30] . A continuación se presentan los precios de un día tipo de invierno y verano.

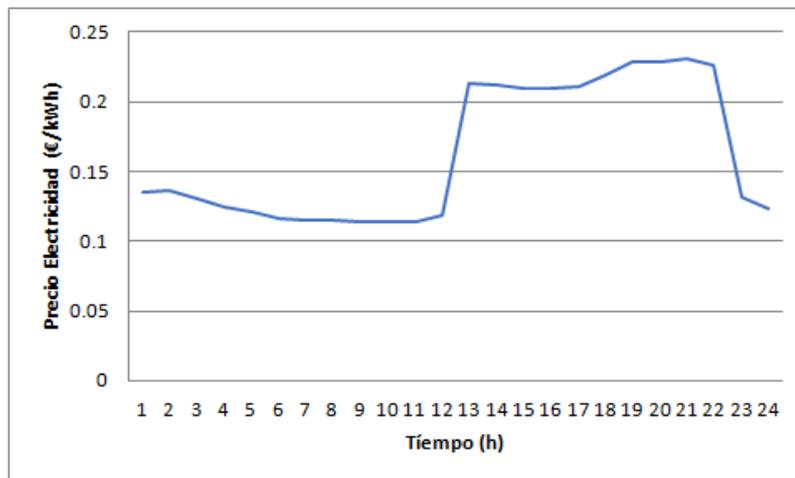


Figura 3-42. Evolución Precios Electricidad Día Tipo Invierno

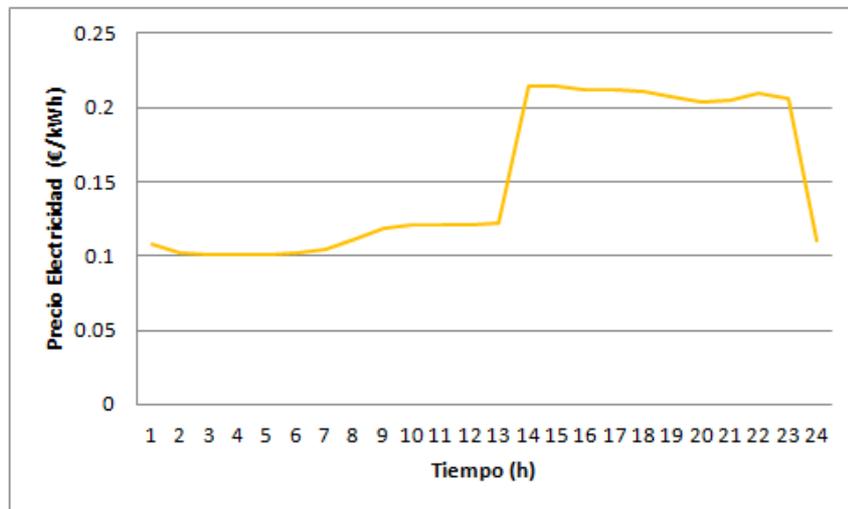


Figura 3-43. Evolución Precios Electricidad Día Tipo Verano

Debido a que el estudio se centra en la estación estival, nos olvidamos de los precios de electricidad de invierno, siendo útil únicamente el día tipo de verano.

### 3.2.3.5 Modelado Edificios

Como también ocurre en el Bloque I, para analizar el comportamiento térmico de todos los edificios del distrito, se desarrolló un modelo de construcción para cada una de las 25 viviendas y la escuela en la herramienta de software LIDER-CALENER Unificado detallado (HULC). Las visitas realizadas al distrito permitieron recopilar los datos necesarios de la construcción real, la geometría, la ocupación de los edificios y las ganancias internas, que luego se utilizaron para modelar los edificios.

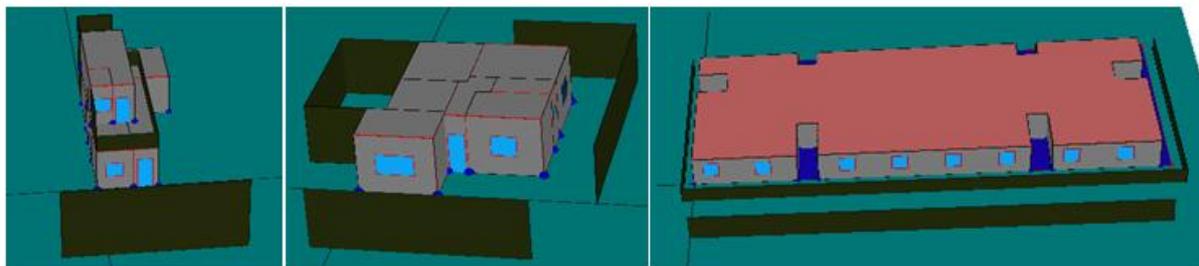


Figura 3-44. Modelos de los Edificios Estudiados en detalle. Edificio 1, Edificio 2, Colegio

Se realizan en detalle el modelo de los 3 edificios estudiados individualmente; sin embargo, observando el distrito en estudio, *Figura 3-46*, se observa que todas las viviendas, además de las calidades constructivas iguales, tienen una distribución similar, simplemente girando las dos viviendas descritas anteriormente se barre todo el cómputo de edificios del distrito. Como se puede observar en la *Figura 3-45*, que representa la vivienda de ID 13, que se ha obtenido a partir del Edificio 1, girándolo hacia la nueva orientación de la fachada principal y modificando su estructura.

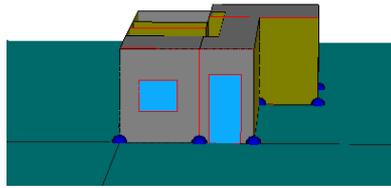


Figura 3-45. Modificación Modelos Originales, representación Viviendas Distrito ID 13



Figura 3-46. Modelado Distrito en Estudio

A partir de estos edificios modelados, por medio de la simulación con el archivo climático de la estación cercana, ya descrita; durante el período de monitoreo, nos permite obtener resultados del comportamiento energético de cada uno de los edificios. En concreto se han utilizados las temperaturas en oscilación libre (Temperaturas sin acondicionamiento) y las demandas de refrigeración, información necesaria para implementar las estrategias de gestión del distrito, tanto con un acondicionamiento habitual como complementado con estrategias de DSM, en este caso en concreto precooling.

### 3.2.3.6 Modelado Instalaciones

Finalmente, para elaborar la gestión del distrito, solo faltaría por determinar el comportamiento de las diferentes instalaciones. Se ha definido previamente producción fotovoltaica, que es tramitada como un dato; climatización, que es también obtenida como resultado de las simulaciones pertinentes, solo faltaría una descripción detallada del comportamiento del inversor-batería empleado en el gestor.

#### 3.2.3.6.1 Batería-Inversor

##### 3.2.3.6.1.1 Definición de curvas

El modelo propuesto está basado en curvas de operación. Estas curvas han sido obtenidas del análisis de una muestra representativa de fabricantes.

La primera curva de operación tiene como objetivo caracterizar la eficiencia de carga/descarga. Esta eficiencia permite cuantificar la cantidad de energía real que carga/descarga de la batería. Hay que destacar que esta eficiencia tiene en cuenta tanto las pérdidas como el autoconsumo de la misma.

$$Eficiencia\_Carga/Descarga_{real} = Eficiencia\_Carga/Descarga_{nominal} \cdot Factor\ corrector$$

Ecuación 3-1. Curva de caracterización eficiencia carga/descarga

$$Factor\ corrector = a \cdot (Fp \cdot V) + b \cdot V^2 + c \cdot Fp^2 + d \cdot V + e \cdot Fp + f$$

Ecuación 3-2. Ecuación factor Corrector

a	b	c	d	e	f
3.5624E-05	-9.0966E-09	-0.14531981	1.2432E-05	0.18033112	0.93709201

Tabla 3-2. Coeficientes curva de operación del inversor

Dónde V es el voltaje de trabajo de la batería y Fp es la relación entre la potencia de trabajo y la nominal.

La siguiente figura muestra la variación de la eficiencia en función de los parámetros comentados.

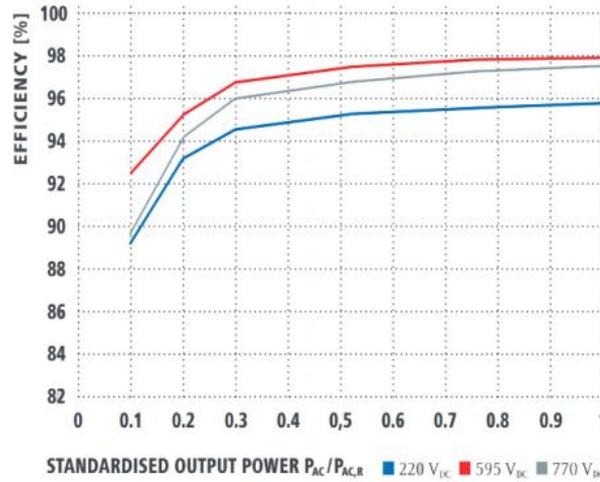


Figura 3-47. Curva tipo eficiencia de la batería para carga y descarga

La segunda curva de operación tiene como objetivo caracterizar la degradación de la batería en función del número de ciclos, es decir, su envejecimiento. Para ello se ha obtenido una curva a partir de los datos facilitados por la muestra de fabricantes consultados.

Se realiza la hipótesis de que la temperatura de trabajo de la batería es constante e igual a 30°C puesto, que estas baterías suelen incorporar sistemas de refrigeración. La ley obtenida permite calcular la capacidad real de la batería en función de los ciclos de descarga ejecutados.

$$Capacidad[\%] = A \cdot \text{NúmeroCiclos}^N$$

Ecuación 3-3. Capacidad (%), según el Número de Ciclos

Dónde A y N toman los siguientes valores en función del número de ciclos:

	Número de ciclos	
	<6000	>6000
A	802390.1	5577.3
N	-1.094	-0.520

Tabla 3-3. Coeficientes curva degradación baterías de litio

La capacidad real de la batería se calcula teniendo en cuenta la capacidad nominal y la profundidad nominal.

$$Capacidad_{real} [kWh] = (Capacidad\ nominal [kWh] - Profundidad\ nominal [kWh]) \cdot Capacidad[\%]/100$$

Ecuación 3-4. Capacidad real batería

Es importante destacar que la contabilidad de ciclos se realiza en los procesos de descarga. Esta decisión permite estimar un coste asociado al uso de la batería. Esto último no se ha tenido en cuenta en la simulación, pero sería conveniente incluirlo en una versión futura.

$$\text{Coste} \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right] = \frac{\text{Precio batería} [\text{€}]}{\text{N}^\circ \text{ Ciclos máximo}} \cdot \frac{\text{Ciclo } i}{\text{Capacidad ciclo } i [\text{kWh}]}$$

*Ecuación 3-5. Coste uso Batería*

Esta información del costo asociado al uso de la batería será un factor influyente a la hora de analizar los resultados obtenidos.

### 3.2.3.6.1.2 Variables y parámetros del modelo

Las variables de entrada del modelo son:

<b>ENTRADAS</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Nomenclatura</b>	<b>Unidades</b>
Estado de la batería en el instante anterior (t-1)	E (t-1)	kWh
Nº de ciclos (t-1)	NºCiclos (t-1)	
Modo: 0 carga, 1 descarga		
Potencia de carga	Pcarga	kW
Potencia de descarga	Pdescarga	kW

*Tabla 3-4. Variables Entrada Modelo*

Los parámetros del mismo son:

<b>CONSTANTES DEL MODELO/PARÁMETROS</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Nomenclatura</b>	<b>Unidades</b>
Capacidad nominal		kWh
Eficiencia carga		%
Eficiencia descarga		%
Potencia máxima de carga		kW
Potencia máxima de descarga		kW

*Tabla 3-5. Parámetros del Modelo*

El modelo devuelve las siguientes salidas:

<b>SALIDAS</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Nomenclatura</b>	<b>Unidades</b>
Energía cargada		kWh
Energía descargada		kWh
Estado de la batería	E(t)	kWh
Nº ciclos	Nº ciclos (t)	

*Tabla 3-6. Variables de Salida*

### 3.2.3.6.1.3 Implementación del modelo

La implementación del modelo de acumulación eléctrica contempla las etapas definidas en la siguiente figura:

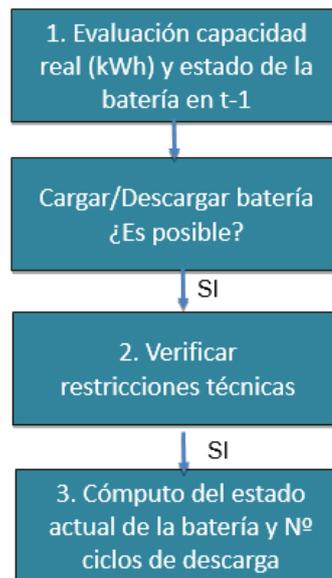


Figura 3-48. Implementación modelo batería

Restricciones generales:

- Se podrá cargar siempre y cuando el estado de la batería sea inferior al límite superior. Ya que se ha establecido un límite superior del 92% para evitar cargas cortas
- Se podrá descargar siempre y cuando el estado de la batería sea mayor que la profundidad.

Ahora bien, la operación de la carga y descarga se rige con condicionantes parecidos al inversor. En este caso se comprueba que la intensidad de carga y descarga no supere los máximos de trabajo de la batería. Esto conlleva comprobar que la potencia a cargar y descargar está dentro de los límites de operación. Para ello se ha establecido un régimen mínimo de trabajo de un 10% y máximo de un 130%. Estos % han sido elegidos analizando la intensidad máxima y mínima intercambiada (mínima de operación ya que el sistema es pasivo).

### Computo del estado actual de la batería y nº de ciclos de descarga

Para calcular el estado actual de la batería es necesario en primer lugar calcular la carga parcial de la misma

$$\text{Factor de carga parcial (fcp)} = \frac{P_{\text{carga/descarga}}}{P_{\text{carga/descarga nominal}}}$$

Ecuación 3-6. Factor de carga parcial

El rendimiento de carga/descarga real, tal y como se ha comentado anteriormente, viene dado por una curva correctora del rendimiento que varía en función de la carga parcial y éste es calculado como se formula en la ecuación 3-6.

$$\text{Rendimiento carga/descarga real} = \text{rendimiento carga/descarga nominal} \cdot \text{Corrección (V,fcp)}$$

Ecuación 3-7. Corrección rendimiento carga/descarga

Finalmente con el cálculo de las variables anteriores computamos el estado de carga y número de ciclos de la batería según ecuaciones en régimen de carga y en régimen de descarga.

$$\text{Modo carga: } E(t) = E(t - 1) + P_{\text{carga}} \cdot \Delta t \cdot \text{Rendimiento carga real}$$

Ecuación 3-8. Régimen de carga

$$\text{Modo descarga: } E(t) = E(t - 1) - P_{\text{descarga}} \cdot \Delta t \cdot \text{Rendimiento descarga real}$$

Ecuación 3-9. Régimen de descarga

$$N^{\circ}Ciclos (t) = \frac{P_{descarga} \cdot \Delta t \cdot Rend}{Capacidad\ real}$$

Ecuación 3-10. Contabilización Número de Ciclos

### 3.2.4 Caracterización Usuario

El papel del usuario a lo largo de todo el proyecto se ha demostrado que es muy importante, por este motivo se ha llevado a cabo un análisis detallado del mismo. De forma general, en este tipo de estudios es habitual que los usuarios tengan acceso a una plataforma donde puedan introducir la ocupación o no del mismo; sin embargo, esta información no estaba disponible en esta situación. Por ello, se analiza de forma concreta el comportamiento de los residentes en las viviendas.

En primer lugar, las visitas al distrito en estudio, se han complementado con encuestas telefónicas, de manera que ayude a conocer no solo los ocupantes habituales de los edificios; además, si era posible, algunas características de usos de los mismos (Horarios de trabajo, equipos, períodos habituales de estancias fuera...). De forma, que se dispone de las 25 viviendas con su ocupación determinada, que es la presentada en la siguiente tabla.

ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Ocupantes	3	3	1	1	3	3	3	3	1	2	2	2	3	1	3	2	3	1	2	3	2	2	3	2	1

Tabla 3-7. Ocupación Viviendas Distrito

En el caso del colegio, al tener un horario fijo de ocupación y uso, era más fácil su análisis, se considera un número habitual de unas 70 personas con un período medio de estancia en el mismo de 8:00-14:00 h los días lectivos.

Una vez que se dispone de esta información, quizás un poco general, donde de forma habitual es difícil conocer horarios de ocupación de viviendas durante un año, se introduce un análisis que permite comprobar y cerciorar todo lo anterior, además de proporcionar un horario de uso de la vivienda para todo un año. A partir de los consumos eléctricos del año en cuestión, se cogen para cada una de las viviendas un valor medio de aquellos consumos bajos, tomando la hipótesis, que al no existir climatización, el consumo eléctrico está referido a equipos e iluminación; por tanto, anexo al uso de la vivienda.

De manera, que este valor medio de los consumos bajos se coge como el consumo base, existe aunque nadie esté en la vivienda, además se toma la precaución de obtener este valor por etapas y se comprueba que de forma habitual nos proporciona resultados coherentes. Por diferencia de este valor con el consumo eléctrico monitorizado cada 15 minutos, se obtiene un consumo asociado a la ocupación-uso del edificio; lo cual proporciona un horario para todo un año.

Por ejemplo, cogemos las viviendas de las estudiadas en detalle anteriormente, Edificio 1 y 2, con un día de una semana normal, el horario de ocupación cada 15 minutos es el presentado a continuación.

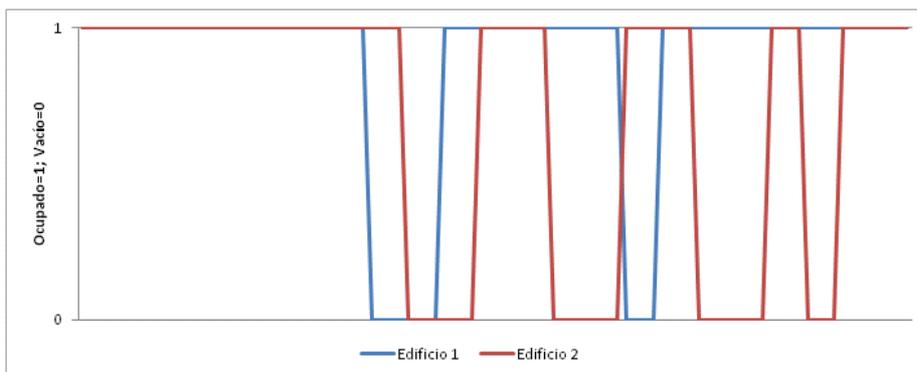


Figura 3-49. Perfil Ocupación 15/06/2016

Donde en la *Figura 3-46*, 1 indica la existencia de personas en la vivienda y por el contrario 0 indica que está vacía en ese momento. En esta imagen se puede observar el comportamiento diferente de ambas viviendas durante el período de 8:00 a 22:00; sin embargo, a partir de esa hora si estaba ocupada ya permanecerá ocupada hasta la mañana siguiente, en caso contrario se toma la hipótesis que pasaría la noche fuera.

De la misma forma, se obtiene para cada día del año y para cada una de las viviendas; por tanto, ya tenemos caracterizado el usuario.

### 3.3 METODOLOGÍA GESTIÓN DEL DISTRITO

#### 3.3.1 Escenarios considerados

En este Bloque se proponen varios escenarios con el objetivo de comparar y que permitan llegar a ciertas conclusiones. Estas alternativas se muestran en la *Tabla 3-8*, donde se distinguen principalmente dos variantes para la gestión del distrito: el autoconsumo, donde cada edificio gestiona sus propias baterías y su producción fotovoltaica, idéntico al caso real actual; o gestor, donde hay un coordinador de intercambio de energía que administra los flujos de energía dentro del distrito. Dentro de cada una de ellas, se tiene la aplicación de no alternativas de PC o sí; si ocurre esta última, se tiene en cuenta 3 horizontes temporales diferentes de aplicación de la estrategia de PC.

Escenario	Administrador	FV	Climatización	Alternativas de PC	Horizonte Temporal	Descripción
Caso Base (1)	Individual	SÍ	SÍ	NO	-	Autoconsumo con FV
2	Individual	SÍ	SÍ	SÍ	1 día	Autoconsumo con FV, con estrategias de PC, 1 día
3	Individual	SÍ	SÍ	SÍ	2 días	Autoconsumo con FV, con estrategias de PC, 2 días
4	Individual	SÍ	SÍ	SÍ	3 días	Autoconsumo con FV, con estrategias de PC, 3 días
5	Distrito	SÍ	SÍ	NO	-	Gestor Distrito con FV
6	Distrito	SÍ	SÍ	SÍ	1 día	Gestor, con FV con estrategias de PC, 1 día
7	Distrito	SÍ	SÍ	SÍ	2 días	Gestor, con FV con estrategias de PC, 2 días
8	Distrito	SÍ	SÍ	SÍ	3 días	Gestor, con FV con estrategias de PC, 3 días

*Tabla 3-8. Escenarios Estudiados Gestión Distrito*

Como complemento a estos escenarios también se incorporan dos casos, que se corresponden con la situación anterior a la aplicación del Proyecto al Distrito en Estudio, sin FV, sin aplicar estrategias de PC, uno de ellos con climatización y otro sin ella; todo esto como administración individual de cada uno de los edificios.

Escenario	Administrador	FV	Climatización	Alternativas de PC	Horizonte Temporal	Descripción
Inicio A	Individual	NO	SÍ	NO	-	Autoconsumo sin FV
Inicio B	Individual	NO	NO	NO	-	Autoconsumo sin FV ni climatización.

*Tabla 3-9. Escenarios Complementarios Tabla 3-8*

### 3.3.2 Estrategias de Precooling

Estas estrategias modifican la cantidad de tiempo de preenfriamiento o la temperatura de consigna, como ya se analizaron en el Bloque I. Sin embargo, solo se analizarán las estrategias de preenfriamiento en el presente estudio, llevándolas a cabo en el salón de las viviendas (donde se encuentran las bombas de calor).

	Tª CONSIGNA (°C)	NÚMERO DE HORAS
<b>PRECOOLING</b>	23	1/2/3
	24	1/2/3
	25	0/1/2/3

Tabla 3-10. Estrategias Precooling. Bloque II

Se considerarán un total de 9 estrategias de preenfriamiento en este estudio, más el escenario sin preenfriamiento (consulte la Tabla 3-10): 3 opciones para el tiempo de preenfriamiento y 3 opciones para la temperatura de punto de ajuste.

### 3.3.3 Propuesta de estrategia de control

Como ya se ha indicado, el objetivo principal del presente estudio es investigar los beneficios de explotar la coordinación entre edificios al compartir el excedente de electricidad entre ellos. Esta situación se comparará con la de cada edificio autogestionado, lo que significa que utilizan su propia producción fotovoltaica, almacenan la electricidad o la exportan a la red en caso de excedentes y extraen la electricidad de sus baterías o la importan de la batería, según las necesidades.

La estrategia de control de la gestión del distrito, se ha programado teniendo en cuenta las siguientes restricciones y prioridades que se indican en el Diagrama de Flujo representado en la *Figura 3-48*, que a continuación serán explicadas.

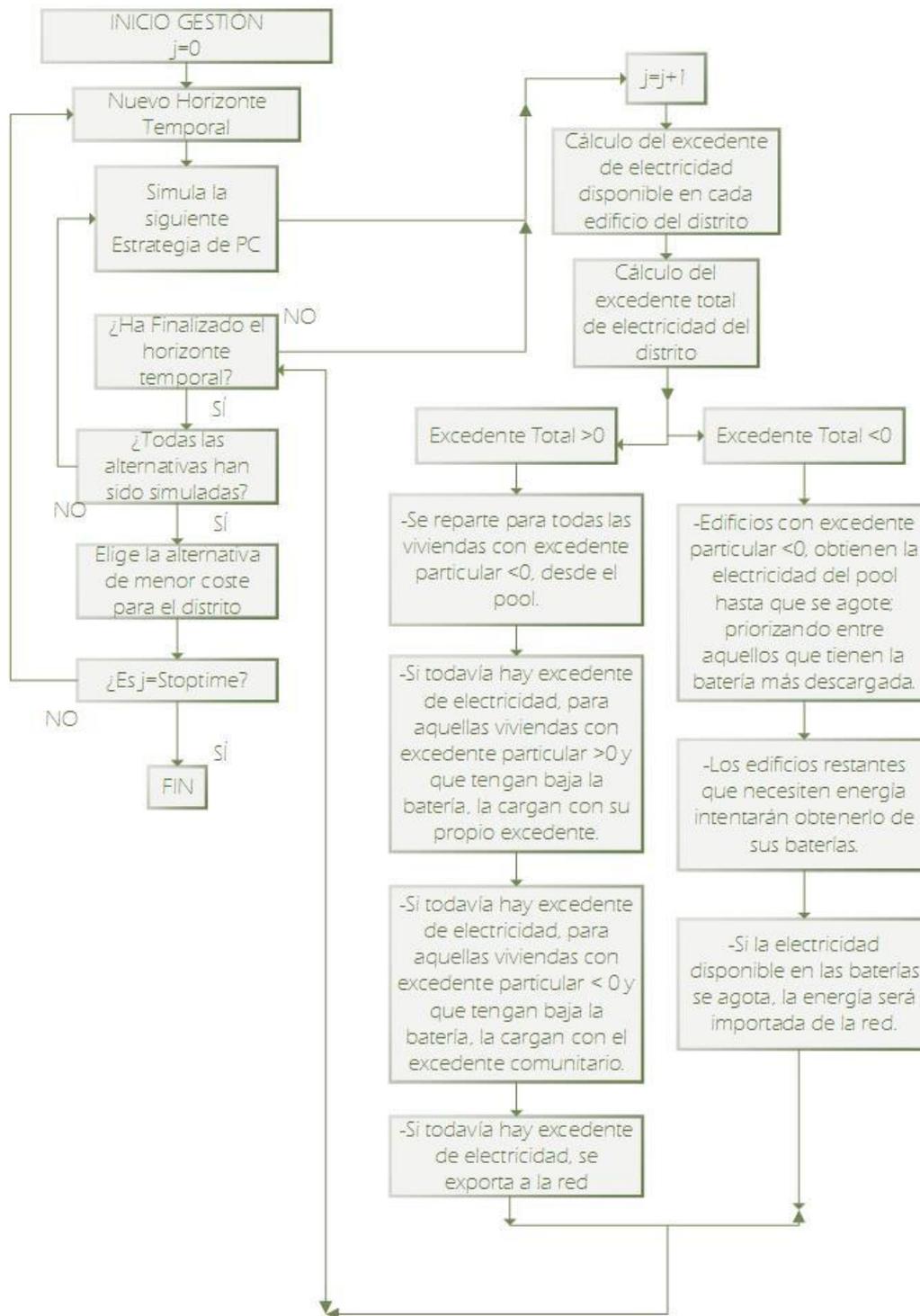


Figura 3-50. Diagrama de Flujo Estrategia de Control

En todos los casos la simulación comienza analizando el primer horizonte de tiempo, considerando la primera estrategia de Precooling. En el primer paso de tiempo de 15 minutos, el excedente de cada edificio del distrito se calcula teniendo en cuenta su producción fotovoltaica, el consumo de electricidad y el consumo asociado al acondicionamiento.

$$\text{Excedente}_{\text{Individual},i} = FV_i - (\text{Consumo Eléctrico}_i + \text{Consumo Climatización}_i)$$

Ecuación 3-11. Cálculo Excedente por Edificio del Distrito

En el caso del colegio, como ya se comentó, que al realizarse el estudio en cuestión en un período estival, que coincide con un período no lectivo, no existe en el mismo consumo de climatización; por tanto, su excedente será:

$$\text{Excedente}_{\text{Individual,Colegio}} = FV_i - \text{Consumo Eléctrico}_i$$

*Ecuación 3-12. Cálculo Excedente Colegio*

Este excedente individual, en ambos casos, puede ser positivo (lo cual significa que el edificio podría exportar electricidad al distrito) o negativo (que significa que necesitará electricidad para poder mantener todas sus necesidades cubiertas), esta información es relevante como paso posterior, a la hora de distinguir entre los edificios del distrito, como base de reparto. Pero la toma de decisión primera se hace teniendo en cuenta el Excedente Global del Distrito, se obtiene a partir de los excedentes de cada uno de los edificios.

$$\text{Excedente}_{\text{Global}} = \sum_{i=1}^{25+\text{Colegio}} \text{Excedente}_{\text{Individual},i}$$

*Ecuación 3-13. Cálculo Excedente Global Distrito*

Una vez calculado el excedente global puede ocurrir dos situaciones en este momento:

- El excedente es positivo, lo cual significa que el distrito en su conjunto tiene un excedente que es administrado por el gestor, y que la comunidad puede ser autosuficiente. En esta ocasión se siguen unas reglas de prioridad de reparto. Primero se reparte para aquellos edificios que el excedente individual era negativo (no son autosuficientes); en segundo lugar, si aún quedan excedentes, aquellos edificios autosuficientes, pero que tengan la batería más baja, utilizan el excedente individual propio para cargarlas; en tercer lugar, aún quedando excedentes, se cargan las baterías de aquellas viviendas con excedente individual negativo, que lo necesiten, en este caso con el excedente global. Por último, si pese a este reparto, aún siguen existiendo excedentes, se exporta a la red con una tarifa de 0.05 € / kWh.
- El excedente es negativo, por lo tanto el distrito en su conjunto necesitará más electricidad que la que se produce. En esta ocasión, el reparto comienza por aquellos edificios con Excedente individual negativo y que tengan sus baterías más descargadas, hasta que se agote; en segundo lugar, el resto de edificios hará uso de sus respectivas baterías; por último, si la energía procedente de las baterías se acaba, se recurre a la importación desde la red, con el precio explicado en el punto 3.2.3.4. *Tarifas Electricidad*.

Al final de este primer paso de tiempo, se calcula el costo total para el distrito. Esta misma secuencia se repite para las sucesivas estrategias de acondicionamiento y los diferentes horizontes de tiempo. Por tanto, para cada horizonte de tiempo determinado, se elige aquella estrategia de menor costo.

Como resultado de toda la simulación, se obtiene la selección de la estrategia de preacondicionamiento óptima para cada día del año, así como el cálculo de los costes totales del distrito, el consumo total de energía, la proporción de autoconsumo, ... Así mismo se incorporan dos ratios que permite hacerse una idea del grado de suministro que se obtiene del sol y es empleado en el distrito y la autosuficiencia de este.

- ✓ *Ratio de Autoconsumo*: Definido como el porcentaje del suministro solar que se consume directamente en el distrito

$$\text{Ratio Autoconsumo (RAC)} = \frac{FV_{\text{Producida}} - FV_{\text{Exportada}}}{FV_{\text{Producida}}}$$

*Ecuación 3-14. Ratio Autoconsumo*

- ✓ *Ratio de Autosuficiencia*: Definido como la proporción de la demanda del distrito cubierta por el suministro solar.

$$\text{Ratio Autosuficiencia (RAF)} = \frac{FV_{\text{Producida}} - FV_{\text{Exportada}}}{\text{Energía Demandada}}$$

*Ecuación 3-15. Ratio de Autosuficiencia*

### 3.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 3.4.1 Descripción general de resultados

Se representa en la siguiente tabla los resultados obtenidos para los 8 escenarios planteados previamente.

	Electricidad Importada [kWh]	Electricidad Exportada [kWh]	Costes Anuales [€]	Consumo Climatización [kWh]	Energía Perdida en baterías [kWh]	Ahorros [%]	RAC [%]	RAF [%]
Escenario 1	48471	88721	3462	7716	2813	0.0	31.04	46.65
Escenario 2	48114	87735	3437	8349	2808	0.7	31.80	47.45
Escenario 3	48150	87766	3443	8351	2810	0.5	31.78	47.42
Escenario 4	48182	87821	3447	8329	2810	0.4	31.74	47.36
Escenario 5	34050	74152	1919	7716	2960	44.6	42.36	63.68
Escenario 6	33547	72885	1881	8547	2893	45.7	43.35	64.53
Escenario 7	33605	72968	1888	8503	2912	45.5	43.28	64.47
Escenario 8	33680	73110	1896	8432	2916	45.2	43.17	64.35

Tabla 3-11. Resultados Escenarios Simulación

También es interesante incorporar a la tabla anterior, aquellos casos que se definieron con Inicio A e Inicio B, que se corresponden con la situación anterior a la aplicación del Proyecto al Distrito en Estudio, sin FV, sin aplicar estrategias de PC, uno de ellos con climatización y otro sin ella; todo esto como administración individual de cada uno de los edificios

	Electricidad Importada [kWh]	Electricidad Exportada [kWh]	Costes Anuales [€]	Consumo Climatización [kWh]	Energía Perdida en baterías [kWh]	Ahorros [%]	RAC [%]	RAF [%]
Inicio A	85588	0	14363	7716	0	-	0.0	0.0
Inicio B	77872	0	13372	0	0	-	0.0	0.0

Tabla 3-12. Resultados Escenarios Simulación Situación Inicial

Se puede observar los diferentes resultados al aplicar los 8 escenarios planteados, destacando principalmente el aumento considerable de los ahorros al pasar de una gestión individual al gestor del distrito. Experimentan menos cambios los consumos de climatización y la energía perdida en las baterías.

Todos los resultados obtenidos de las diferentes simulaciones de la gestión del distrito, se incluyen en el ANEXO VI.

##### 3.4.1.1 Ahorro de costes

La principal diferencia de resultados en lo que respecta al ahorro de costes, se puede observar que está muy vinculado con el tipo de administrador. Se consiguen ahorros muy importantes en aquellos escenarios donde se realiza una gestión conjunta del distrito, objeto del proyecto.

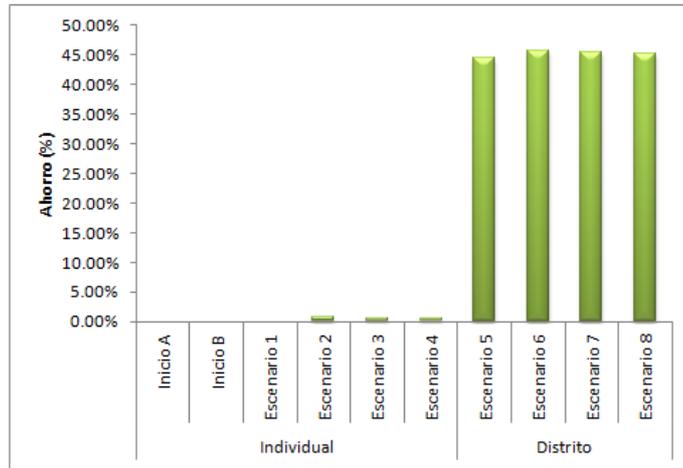


Figura 3-51. Ahorro de Costes Escenarios Simulados

También se podría plantear que es debido a otra variable, pero si se analiza los escenarios, la única cualidad que comparten esos dos grupos diferenciados consigo mismo, es el tipo de administración. Ya que tanto los escenarios 1-5, como 2-6, 3-7, 4-8, son equivalentes, con la única diferencia del gestor.

### 3.4.1.2 Importaciones / exportaciones de electricidad

En cuanto a los intercambios de electricidad con la red eléctrica, de nuevo se puede volver a distinguir el comportamiento de los diferentes escenarios según el tipo de administración. Cuando se incorpora el gestor común del distrito se reduce tanto la electricidad importada como la exportada.

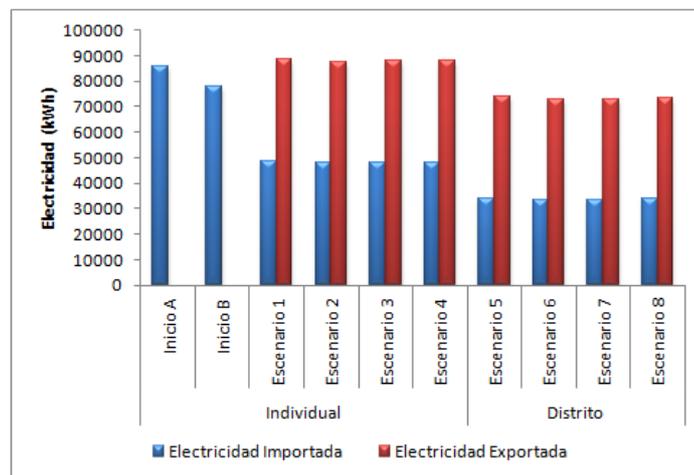


Figura 3-52. Importaciones, exportaciones electricidad. Escenarios Simulados

Si se compara de forma mensual el caso 5 frente al 1, donde no existen estrategias de pre-cooling, la única diferencia es el gestor, se puede ver qué ocurre en un año, con los balances de electricidad con la red.

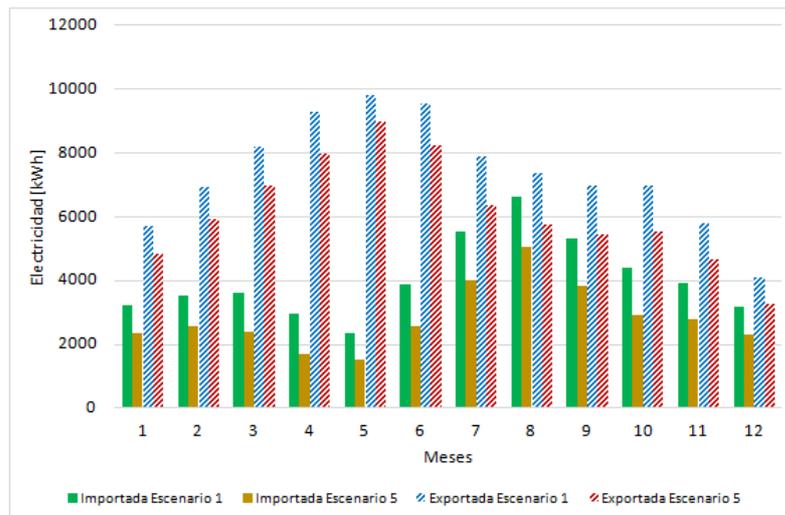


Figura 3-53. Análisis Mensual Importacion, Exportación Electricidad Escenarios 1-5

Como ya se vió en la *Figura 3-50*, la energía importada del Escenario 1 (gestión individual), siempre es superior al caso 5 (gestión distrito), lo mismo ocurre con la exportación. En todos los meses la exportación es superior a la importación; sin embargo, hay algunos donde se aprecia mucha diferencia, como abril, mayo y junio (no existe acondicionamiento en los meses de no refrigeración), a partir de julio empiezan a equilibrarse. Además de por el aumento del consumo de climatización, por tanto, energía importada, la reducción de producción de fotovoltaica en los meses de otoño-invierno.

### 3.4.1.3 Energía perdida en las baterías.

Con respecto a la energía perdida en las baterías, la gestión del distrito supone un aumento, debido al mayor uso de las baterías en este caso. Situación provocada por el hecho de que se prioriza que cada excedente de electricidad del distrito se use para otros edificios y luego para cargar sus baterías, en lugar de exportar directamente, sin pasar por ellas.

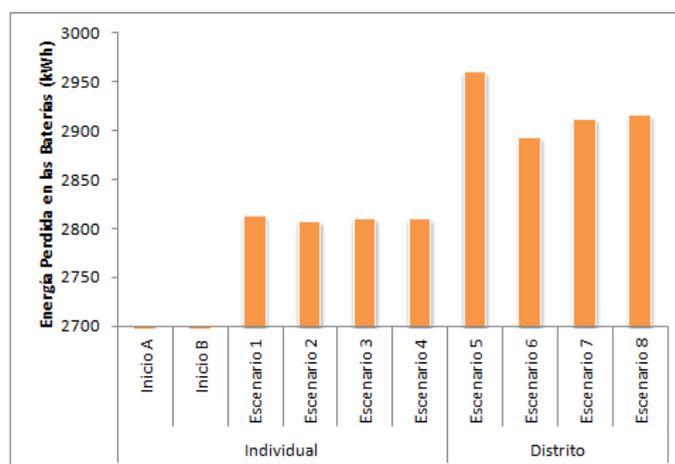


Figura 3-54. Energía Perdida en las Baterías. Escenarios Simulados

En el caso concreto del escenario 5, se produce una pérdida de energía en las baterías máximas, se corresponde con el caso de escenarios sin estrategias de preacondicionamiento. Debido a que en este caso, no se producen estrategias de preacondicionamiento, por tanto, se da un mayor uso de las baterías.

3.4.1.4 Autoconsumo y ratios de autosuficiencia.

Además de lograr reducciones de costos, la propuesta de gestión del distrito permite aumentar tanto el ratio de autoconsumo como el de autosuficiencia. Esto conlleva muchos beneficios tanto para el distrito como para la red eléctrica, como mitigar el equilibrio de la red y los problemas horas punta que ya se ha comentado en varios ocasiones en este proyecto.

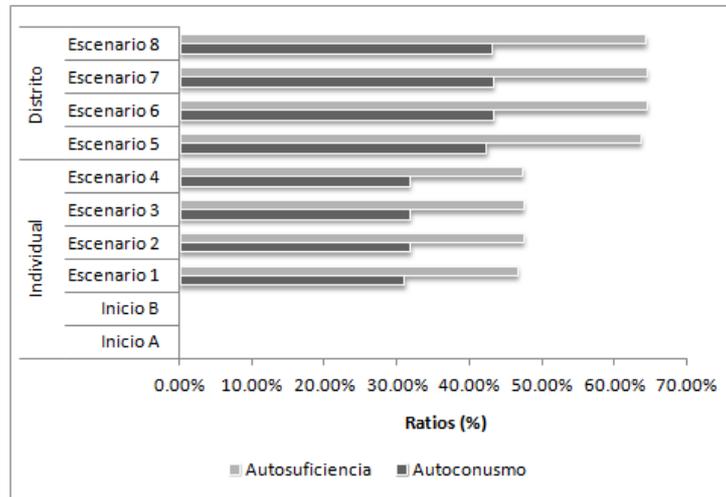


Figura 3-55. Ratios Escenarios Simulados

3.4.1.5 Estrategias de Precooling

Una vez que hayamos examinado los beneficios que se pueden obtener del concepto de gestión a nivel de distrito, ahora nos centraremos en la influencia de implementar estrategias de precooling, como este análisis ya se hizo en el Bloque I del proyecto, se pasará directamente a resultados generales.

Se definieron en el Epígrafe 3.3.2 Estrategias de Precooling, 10 diferentes, a continuación se asignarán unos indicadores de cada una de ellas para facilitar el análisis.

	Tª CONSIGNA (°C)	NÚMERO DE HORAS	ID
<b>PRECOOLING</b>	23	1	PC-231
	23	2	PC-232
	23	3	PC-233
	24	1	PC-241
	24	2	PC-242
	24	3	PC-243
	25	0	PC-250
	25	1	PC-251
	25	2	PC-252
	25	3	PC-253

Tabla 3-13. Identificadores Estrategias Precooling

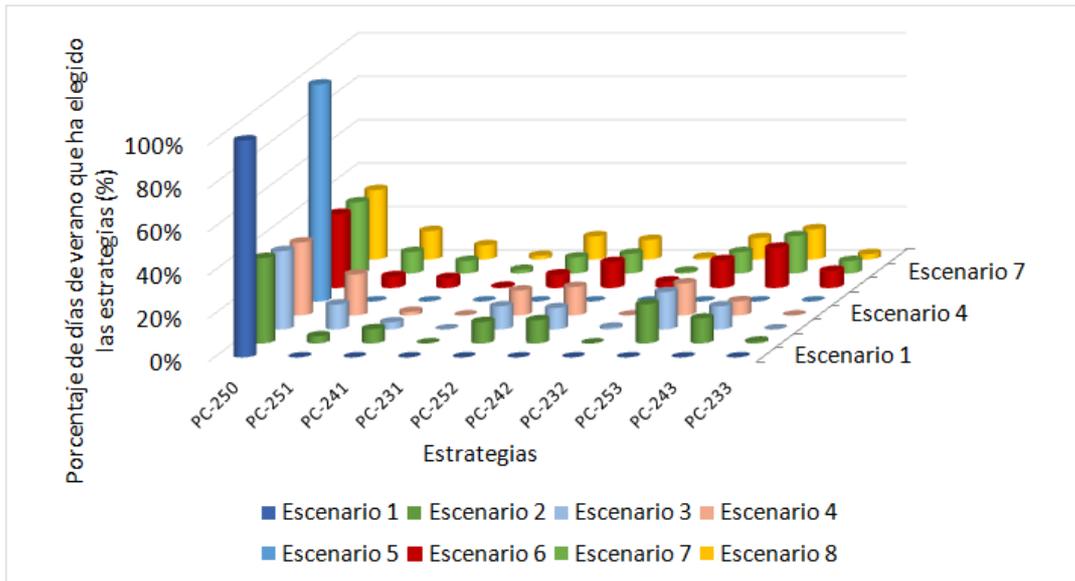


Figura 3-56. Porcentaje de días que toman las estrategias en cada uno de los escenarios

En primer lugar, se puede observar que tanto el Escenario 1 como el 5, que son aquellos casos sin estrategias de PC, cogen todos los días la estrategia denominada PC-250, que se corresponde a no hacer nada. Aún así, el resto de los escenarios, toma esa misma estrategia en torno a una 30 %. Por tanto, el resto de los escenarios eligen llevar a cabo estrategias de preacondicionamiento en torno al 60 % de los días de verano.

La estrategia PC-243 es la alternativa preferida, seguida de PC-253, PC-242, PC-252. Existen estrategias que apenas las toman, incluso una de ellas, PC-231, que nunca es elegida.

De forma general, las diferencias entre los horizontes temporales son pequeñas, ya se evaluó este factor en el Bloque I, llegando a las mismas conclusiones que conforma aumenta el horizonte de tiempo, aumenta el número de estrategias usadas y prefieren tiempo de acondicionamiento más cortos; todo esto complementado, con porcentaje de ahorros un poco menores.

Aunque observando los ahorros presentados en la *Tabla 3-11*, no se aprecian con estrategias de PC un ahorro muy pronunciado; observando entre los escenarios de aplicación de estrategias de PC y los de no, es importante destacar que este ahorro puede ser muy pequeño, pero estas estrategias no suponen un coste adicional. Además, se consigue reducir el consumo de refrigeración durante las horas picos, considerado no solo como un potencial ahorro, sino también como un beneficio para la red, buscando el equilibrio entre curva de oferta-demanda.

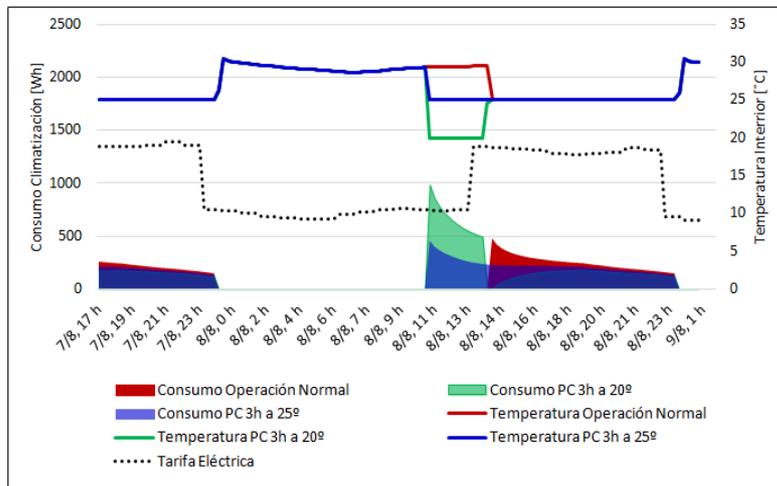


Figura 3-57. Efecto Estrategias de PC

Cualquier día de verano, como el representado el 7 de agosto, se representa el consumo y las temperaturas interiores sin aplicar ninguna estrategia, o aplicando dos de ellas. Se puede observar como se adelanta el consumo en el segundo tramo de operación, para evitar el arranque en las horas punta. Esto significa que cualquier día de verano donde uno de las estrategias de precooling fue elegido como el más rentable para el distrito, evitaría los picos durante los tiempos de altos precios de la electricidad.

### 3.4.2 Análisis de factores influyentes

#### 3.4.2.1 Tarifa Eléctrica Exportación

La propuesta de gestor realizado en este trabajo permite priorizar el intercambio de electricidad dentro del distrito, consiguiendo menos interacciones con la red eléctrica, tanto para importar como exportar electricidad.

En este análisis nos vamos a centrar en valorar la influencia de la tarifa eléctrica de exportación, durante todo el estudio se considera un precio fijo de 0,05 € / kWh, ahora se va a realizar ciertas modificaciones de esta tarifa para analizar su influencia en los ahorros conseguidos. Si se cambiara la política de priorizar los intercambios energéticos dentro de distrito, frente a un estudio con posibilidades de exportar o importar según las tarifas en cada momento, este factor tomaría mayor poder si cabe.

Esta misma política presentada, hace que la selección de estrategias no difiera; por tanto, se analiza aquellos escenarios de no estrategias de PC, en concreto para los casos 1 y 5. Esta comparación se muestra en la *Figura 3-56* para diferentes tarifas de exportación, que son las presentadas en la *Tabla 3-14*.

	Tarifas Exportación Electricidad (€/kWh)
Caso 1	0
Caso 2	0.02
Caso 3	0.05
Caso 4	0.07
Caso 5	0.1
Caso 6	0.12
Caso 7	0.15
Caso 8	0.2

Tabla 3-14. Tarifas Electricidad Exportación Análisis

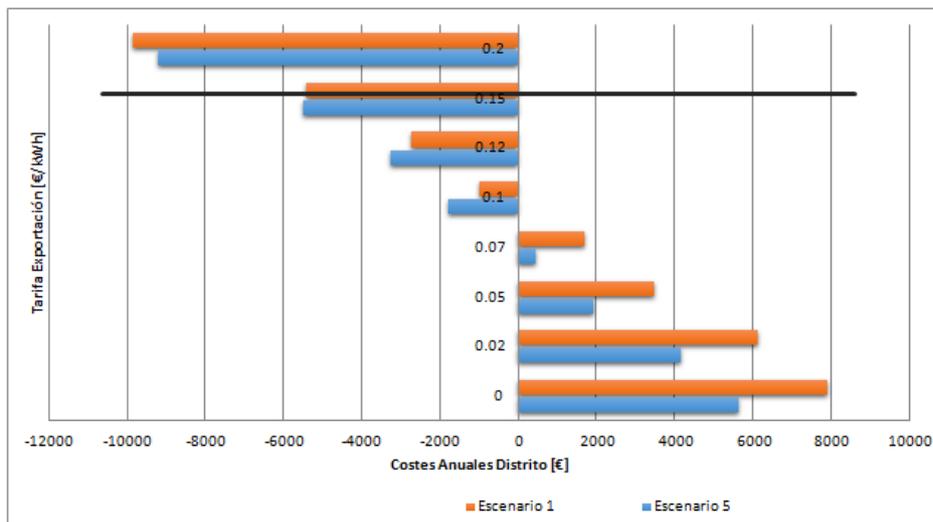


Figura 3-58. Análisis Tarifa Exportación

Si se analiza la gráfica, empezando por que el coste de la electricidad exportada sea nulo, el coste del caso de administración individual frente al gestor distrito es mayor, como era de esperar; esta misma tendencia se repite hasta una tarifa de 0.07 € / kWh. Una vez que pasamos de este precio, se podrían obtener incluso ganancias, superando siempre el escenario de gestión del distrito al individual. Sin embargo, llegamos a un precio que está en torno a 0.1653 € / kWh, donde el escenario de autoconsumo comienza a ser más rentable que el de gestión del distrito; debido, a que este escenario exporta más electricidad a la red, por lo tanto, al ser superior ese precio, consigue mayores ganancias.

La conclusión principal que se puede sacar de estas observaciones es que cuando menor sea la tarifa de exportación, es más interesante la gestión del distrito frente al autoconsumo, ya que fomenta el intercambio de excedentes dentro del distrito frente a la exportación; sin embargo, si las tarifas de exportación son más altas que el precio de compra, el escenario de autoconsumo resultaría más rentable, ya que en este se consiguen más exportaciones.

Teniendo en cuenta la tarificación eléctrica de importación que se ha tenido en cuenta, representado en la Figura 3-43, al ser variable de forma horario se coge un precio medio entre los valores horarios de día tipo de verano, obteniendo el valor presentado previamente de 0.1653 € / kWh. Si se representa este precio fijo en todos los casos de análisis anteriores frente a la variación del precio de exportación, en efecto se obtiene ese punto de intersección en el caso de punto de inflexión, punto intermedio entre el Caso 7 y el 8.

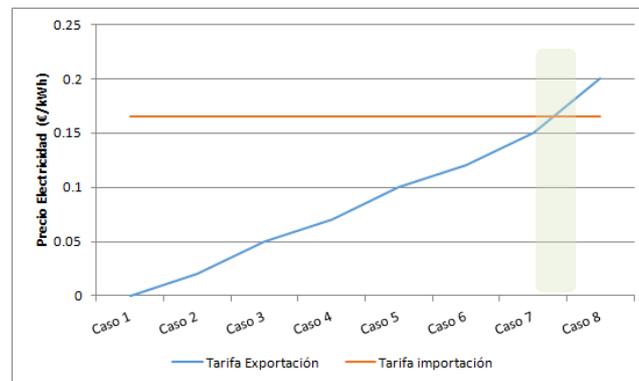


Figura 3-59. Comparación Tarifas Eléctricas

### 3.4.2.2 Aumento Campo Solar

En lo que respecta al análisis de factores influyentes, se han elegidos además aquellos cuya posible modificación sería factible en cualquier ampliación de la instalación. Dentro del proyecto en cuestión, es susceptible de modificar tanto el campo solar como la baterías, ya que el resto de elementos son inamovibles o complementarios.

En este análisis nos vamos a centrar en valorar la influencia de la variación del campo solar, como una posible solución alternativa a conseguir mejores resultados aprovechando al máximo la superficie disponible de los edificios para colocar paneles. Esta variación, como contrapartida, al caso en estudio anterior, no sólo cambiará resultados de ahorro sino también en la selección de estrategias de PC.

Esta comparación se muestra en la Figura 3-58 para diferentes factores de modificación del campo solar, que son las presentadas en la Tabla 3-15.

	Factor Modificación Campo Solar
Caso 1	1
Caso 2	1.25
Caso 3	1.5

Caso 4	2
Caso 5	2.5

Tabla 3-15. Factores Modificación Campo Solar Análisis

En primer lugar, se va a analizar su afección a los costes anuales del distrito; si observamos el Caso1, *Figura 3-60* que se trata del caso base, sin modificar, para cada uno de los escenarios observamos que no incorpora ninguna novedad al respecto sobre la variación de los costes. Concluyendo las mismas líneas que las explicadas en el Epígrafe 3.4.1.1., según el cual se observaba dos zonas diferenciadas de ahorro, con administración individual y gestor, mayor en este último.

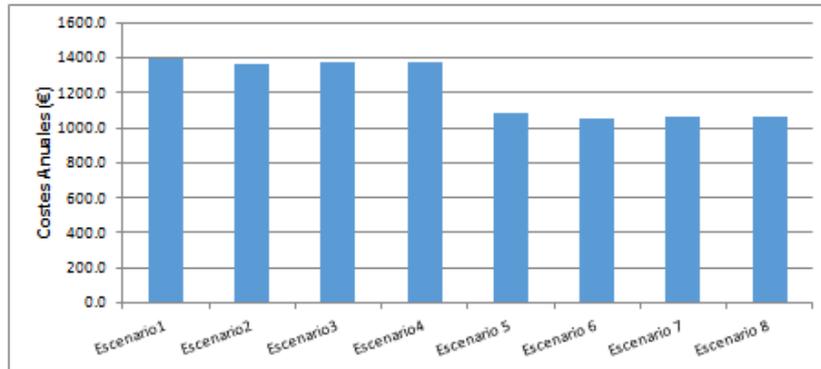


Figura 3-60. Costes Anuale Caso 1. Influencia Campo Solar

Por tanto, se va a estudiar el costo anual para los escenarios 1 y 5 (aquellos sin estrategias), de todos lo casos previamente definidos en la *Tabla 3-15*. Según, lo mostrado en la *Figura 3-61*, conforme aumenta la superficie del campo solar, como era de esperar, aumentan las exportaciones, disminuyen las importaciones, reduciendo considerablemente el costo anual de operación. Alcanzándose a partir del caso 2, éste incluido beneficios en la gestión del distrito.

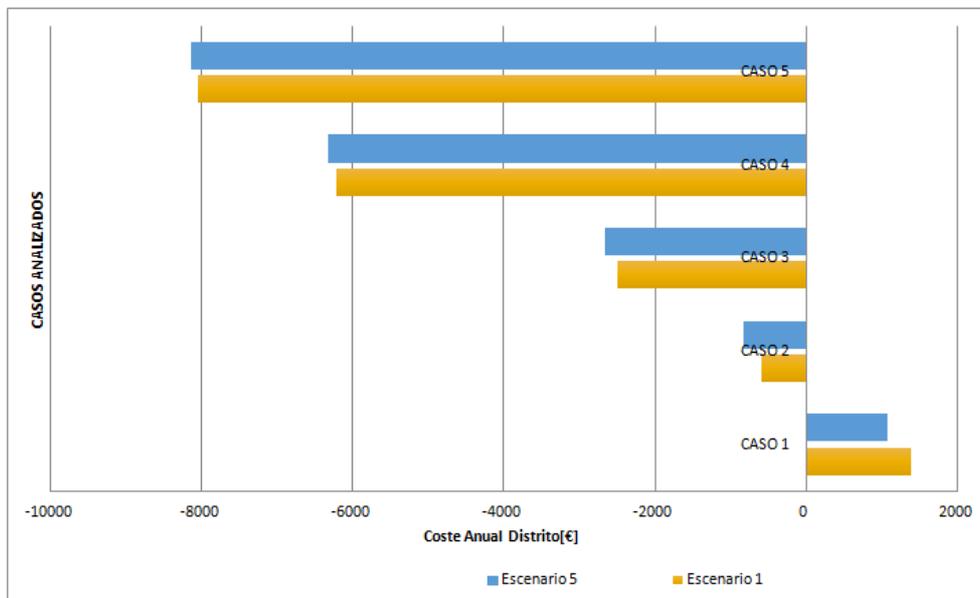


Figura 3-61. Análisis Influencia Campo solar en los costes

Posteriormente, se va a centrar el análisis en la posible interacción de esta variaciones con la toma de decisiones. Resolviendo a la incógnita de si esa sobreproducción de electricidad es aprovechada para incrementar o modificar las estrategias de preacondicionamiento empleadas en la gestión del distrito, se cogen los dos casos más extremos, el Caso 1 y el 5.

Las principales diferencias que se observan entre ambos casos, radica en una distribución diferente, pero el porcentaje de aplicación total no cambia, debido a que en el Caso 5 es cierto que la producción es mucho mayor, pero si no se ubica esa producción instantánea dentro de las características idóneas de preacondicionamiento, como esta sobredimensión del campo no va acompañado de las baterías, pues todo esta electricidad sobrante, se utiliza para realizar la ejecución habitual, que termina con la exportación, aumentando ésta.

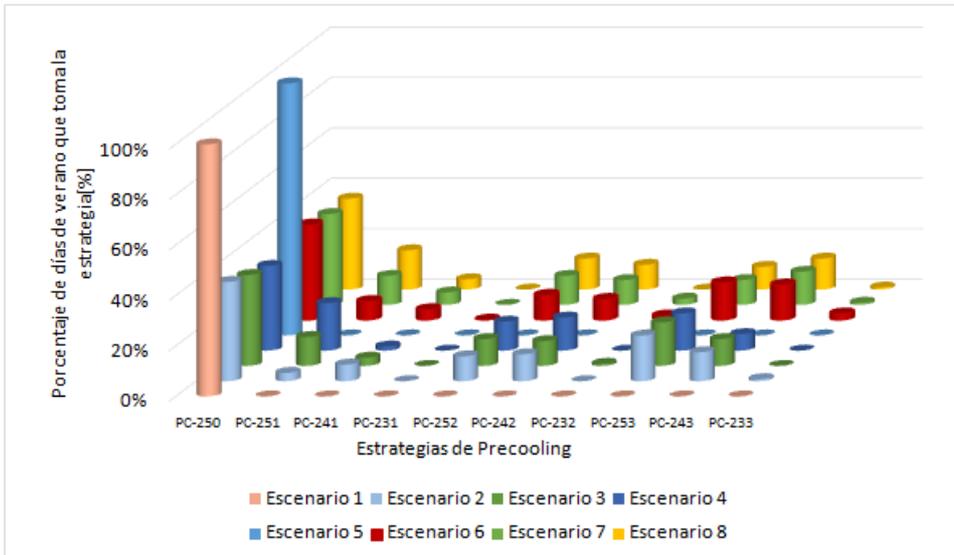


Figura 3-62. Selección de Estrategias PC, Caso 1. Campo Solar

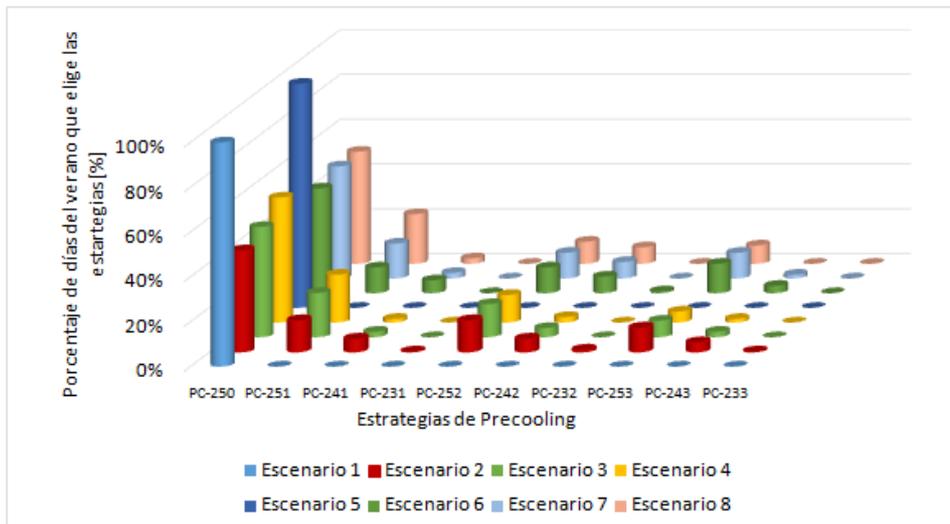


Figura 3-63. Selección de Estrategias PC, Caso 5. Campo Solar

Por tanto, se puede determinar la influencia de este factor en el análisis del ahorro económico; sin embargo, no se observan conclusiones importantes en lo que respecta a selección de estrategias. Cuando a posteriori se observe el efecto de ampliar la capacidad de la batería, sería conveniente proponer un caso de diseño de la instalación fotovoltaica, tanto paneles como batería, óptima.

En el último epígrafe de este apartado se complementará este estudio, ya que estas modificaciones si llevan asociado un costo, el ampliar el campo solar; por tanto, se analiza no solo el coste de operación, sino también el de instalación, obteniendo unos resultados más reales.

3.4.2.3 Batería

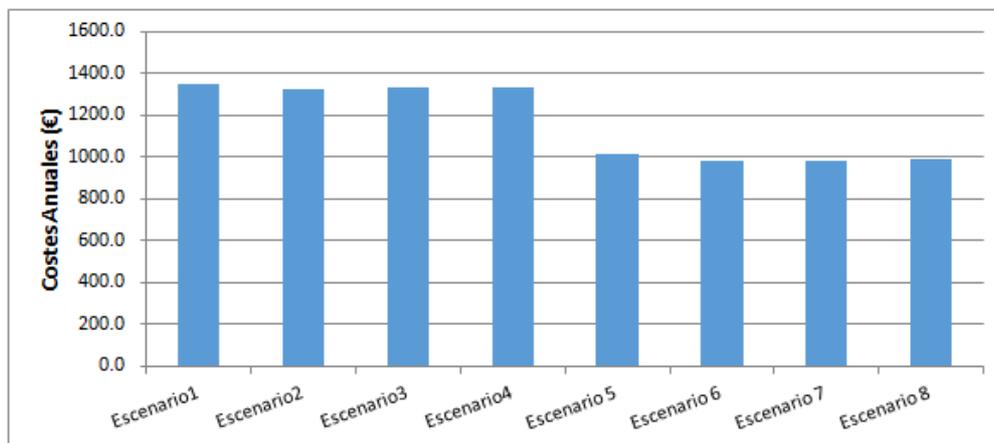
Por último, se analiza cómo influye el tamaño de la batería en los resultados obtenidos de la gestión del distrito, de nuevo, en esta ocasión experimentará cambio tanto a nivel de ahorros conseguidos como de selección de estrategias de precondicionamiento elegidas. En la *Tabla 3-16*, se muestran los casos planteados de análisis, todos con la instalación de fotovoltaica instalada en el diseño original.

	<b>Factor Modificación Capacidad Batería</b>
Caso 1	<b>1.5</b>
Caso 2	<b>2</b>
Caso 3	<b>3</b>
Caso 4	<b>5</b>
Caso 5	<b>10</b>

*Tabla 3-16. Factor Modificación Capacidad Batería. Análisis*

De nuevo, comenzamos analizando la afección a los costes anuales del distrito, en primer lugar, es necesario ver para cada uno de los casos cuáles son los escenarios representativos, ya que en caso contrario estamos analizando 5 casos con 8 escenarios cada uno, un número demasiado amplio.

Como en el caso anterior, se va a analizar su afección a los costes anuales del distrito; si observamos el Caso1, *Figura 3-64* se puede ver que no incorpora ninguna novedad al respecto sobre la variación de los costes. Concluyendo las mismas líneas que las explicadas en el Epígrafe 3.4.1.1., y en el análisis anterior, según el cual se observaba dos zonas diferenciadas de ahorro o costes anuales, con administración individual y gestor, mayor en este último.



*Figura 3-64. Costes Anuales Distrito Caso1. Influencia Capacidad Batería*

Por tanto, de nuevo se puede estudiar la influencia de la batería con el coste anual para los escenarios 1 y 5 (aquellos sin estrategias), de todos lo casos previamente definidos en la *Tabla 3-16*. Según, lo mostrado en la *Figura 3-65*, se observa un punto de inflexión tanto en los escenarios 1 como 5. Comenzamos analizando el primer escenario, en este caso con la administración individual, conforme aumenta la capacidad de la batería disminuyen los costes anuales, pero alcanza un mínimo que es en el Caso 3, a partir de ese escenario los costes aumentan ,ya que si se analizan las exportaciones e importaciones, éstas últimas disminuyen. El comportamiento en el caso del escenario 5 es similar, con la diferencia que el punto mínimo, que en este caso es de beneficio máximo se alcanza en el Caso 4.

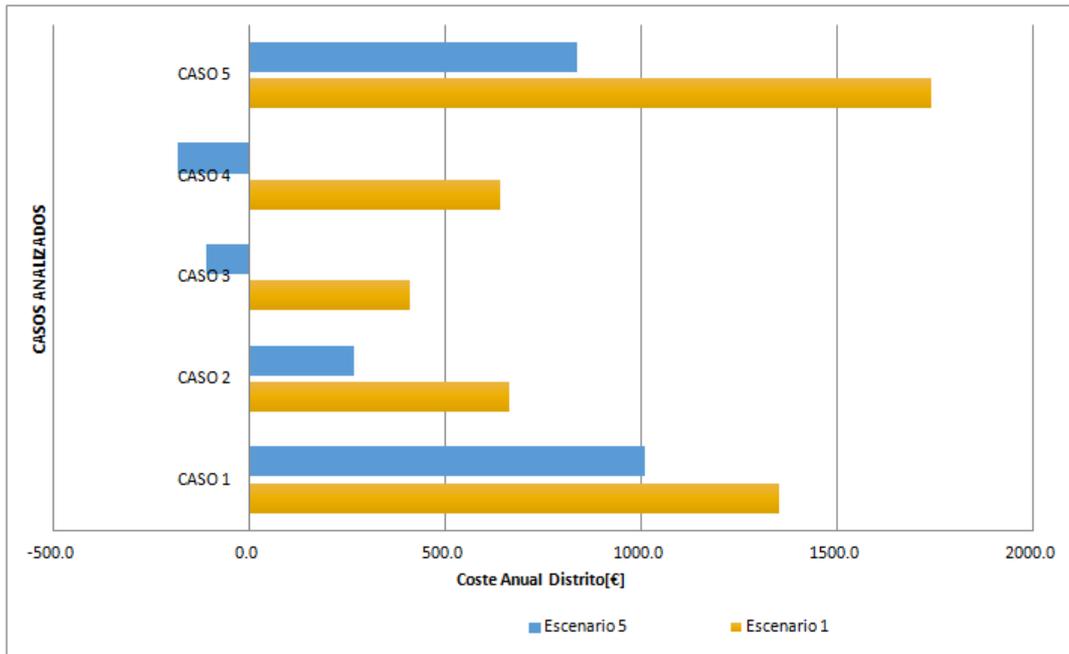


Figura 3-65. Análisis Influencia Capacidad batería en los costes

Al obtenerse resultados interesantes en los costes anuales y no con una tendencia clara, se procede a analizar los valores de importaciones y exportaciones para ambos escenarios en cada uno de los casos, para ratificar las conclusiones expuestas anteriormente. En efecto, si se observa, en primer lugar, el escenario 1, tiene un mínimo de importaciones en el Caso 3 que se corresponde con el de mínimo coste anual; en el escenario 5, ese mínimo se da en el Caso 4, de ahí que este fuese seleccionado como el óptimo. Por tanto, se puede determinar que en ambos escenarios y todos los casos, manteniendo unos niveles de exportaciones más o menos estables, la determinación del punto de mínimo coste o máximo beneficio se establece en función del caso de mínima importación.

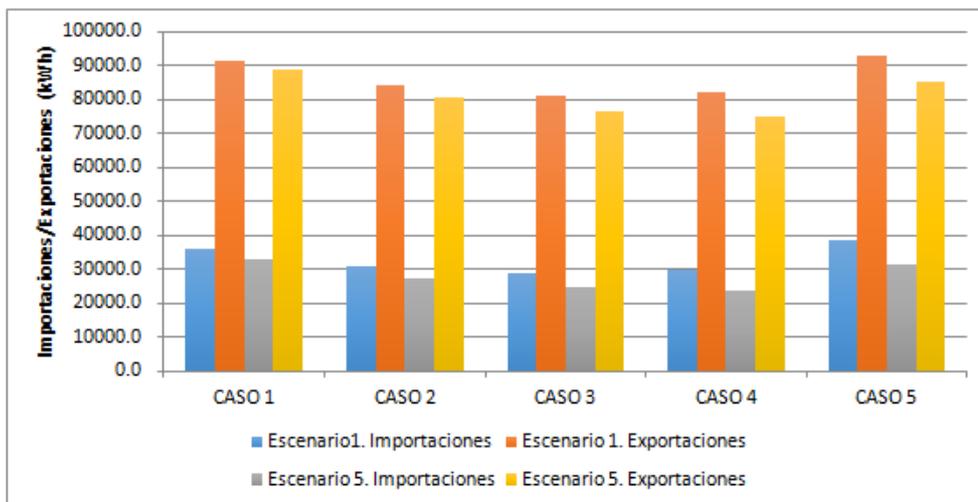


Figura 3-66. Análisis Influencia Capacidad Batería Exportaciones/Importaciones

Posteriormente, se va a centrar el análisis en la posible interacción de estas variaciones con la toma de decisiones. Resolviendo a la incógnita de si ese aumento de almacenamiento eléctrico es aprovechado para incrementar o modificar las estrategias de precondicionamiento empleadas en la gestión del distrito, si partimos de 1 Caso 1, se muestran las estrategias en la Figura 3-67, apenas se aprecian cambios respecto al caso de partida. La tasa de selección de estrategias está en torno al 60 %, resultados parecidos a los que se habían mostrados sin modificaciones previas.

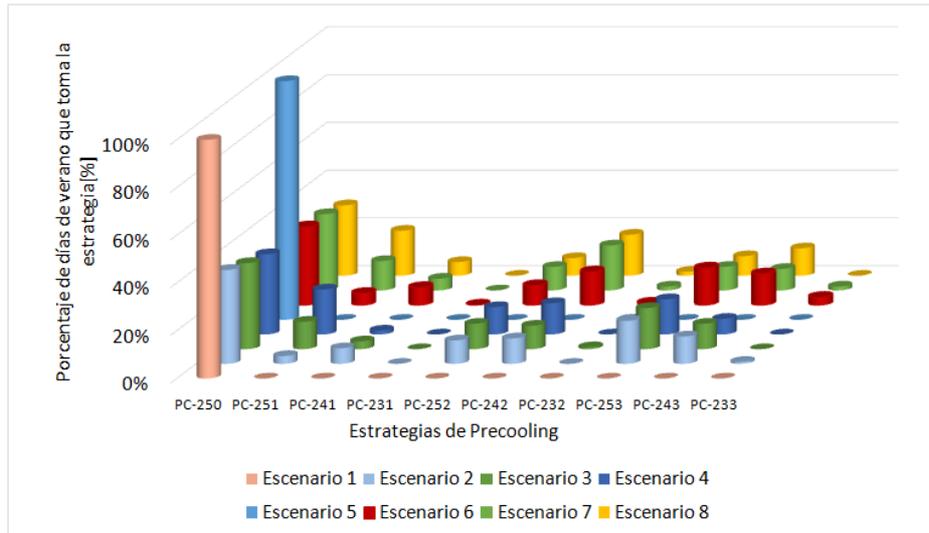


Figura 3-67. Selección de Estrategias PC, Caso 1. Capacidad Batería

No obstante, se observa que conforme aumenta la capacidad de la batería, se reduce el porcentaje de toma de estrategias, como se puede apreciar en la secuencia de figuras, que corresponde con cada uno de los casos, alcanzándose el 20 % de selección de estrategias en el caso final frente al 60 % del que partíamos.

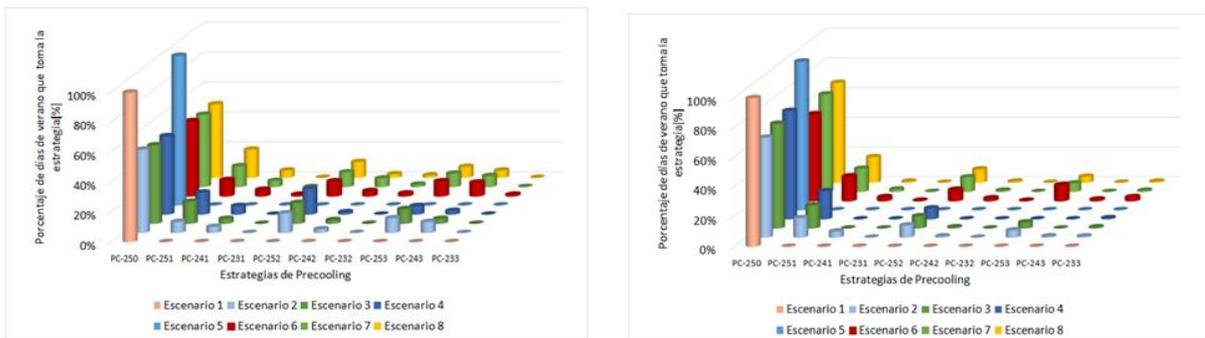


Figura 3-68. Selección de Estrategias PC, Caso 2 (Izquierda) – Caso 3 (Derecha). Capacidad Batería

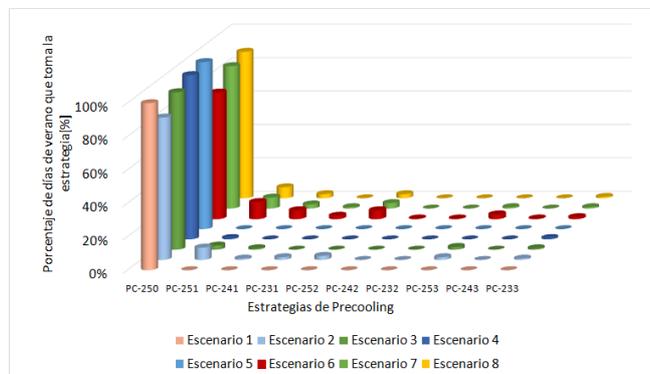


Figura 3-69. Selección de Estrategias PC, Caso 4. Capacidad Batería

Por tanto, se puede determinar la influencia positiva de este factor en el análisis del ahorro económico, en aquellos puntos considerados como óptimos, el punto mínimo anteriormente comentado; sin embargo, se observan conclusiones significativas, pero no favorables en la toma de decisiones de preacondicionamiento.

Sería conveniente introducir un caso de estudio donde se convine una opción óptima de diseño con el campo solar y la batería, observando la sinergia real entre ambos factores.

En este sector es importante, además, añadir un posible análisis que en este proyecto no se ha tenido en cuenta, pero que sería muy importante, ya que en función del tamaño de las baterías, como ya se vió en el epígrafe 3.2.3.6.1 tenemos un número máximo de ciclos permitidos, este número de ciclos afecta no solo al coste inicial de la batería, sino también a la pérdida de capacidad de las mismas por su uso. Como un coste de operación de la propia batería. Sería aconsejable introducirlo como una línea futura de investigación.

#### 3.4.2.4 *Análisis coste instalación*

Se ha analizado en los dos últimos apartados anteriores, cómo afecta a la gestión del distrito una posible ampliación de la instalación; sin embargo, esta modificación lleva asociado unos costes extras. A continuación, para finalizar, se plantea una comparativa de las alternativas anteriores incluyendo los costes de instalación, lo cual va permitir una toma de decisiones sobre una mejor solución atendiendo también a criterios de costes técnicos.

Al tener en cuenta la afección ya de las estrategias nos vamos a centrar únicamente en costes anuales; por tanto, nos olvidamos de los escenarios que tiene en cuenta las mismas, además al tratarse el proyecto de gestión de distrito, los resultados se presentarán para el Escenario 5 (Sin estrategias de preacondicionamiento y administración distrito).

Se van a realizar los cálculos suponiendo una vida útil de la instalación de 30 años, con un coste de instalación inicial de 800€/m<sup>2</sup> de paneles instalados. Ese precio es una ponderación que ya incluye todos los equipos y estructuras necesarias, en las sucesivas modificaciones será respecto a un porcentaje de este mismo, en función del caso en concreto en estudio. Se toma como tasa de descuento  $k=5\%$  y se suponen todos los costes anuales constantes para cada caso.

$$Coste\ Ciclo\ de\ Vida(CCV) = Coste\ Instalación + /- \sum_{i=1}^{30} \frac{Coste\ Operación}{(1+k)^i}$$

*Ecuación 3-16. Cálculo Coste Ciclo de Vida*

Superficie Paneles Solares vivienda:  $1.645 \times 0.990 \times 13 = 21.17 \text{ m}^2$

Superficie Paneles Solares Colegio:  $1.645 \times 0.990 \times 13 \times 3 = 63.51 \text{ m}^2$

Superficie Paneles Total =  $592.76 \approx 600 \text{ m}^2$

Si la batería de la instalación, se ha buscado en catálogos y, tiene un precio en torno a 2000 €, se hace el porcentaje correspondiente sobre éste, obteniéndose el siguiente incremento de costes sobre el caso base, representado en la *Tabla 3-17*.

	<b>Factor Modificación Capacidad Batería</b>	<b>Incremento del Costo Instalación sobre el precio Base (€)</b>
Caso 1	1.5	2000
Caso 2	2	5000
Caso 3	3	7000
Caso 4	5	10000
Caso 5	10	15000

*Tabla 3-17. Coste Instalación Batería-Modificaciones*

CASOS		COSTE INSTALACIÓN (€)	COSTE/INGRESO (-) OPERACIÓN ANUAL (€)	COSTE CICLO DE VIDA (n=30 años)
<b>Caso Base</b>		480000	1081.6	496,627.12 €
<i>MODIFICACIÓN CAMPO SOLAR</i>	Caso 2	600000	- 823.7	587,338.31 €
	Caso 3	720000	- 2667.2	678,998.93 €
	Caso 4	960000	- 6319	862,860.83 €
	Caso 5	1200000	- 8137.9	1,074,900.80 €
<i>MODIFICACIÓN CAPACIDAD BATERÍA</i>	Caso1	482000	1010.6	497,535.40 €
	Caso 2	485000	268.1	489,121.09 €
	Caso 3	487000	- 111.3	485,288.79 €
	Caso 4	490000	- 181.3	487,213.14 €
	Caso 5	495000	835.9	507,850.28 €

Tabla 3-18. Análisis Económicos Costes Ciclo de Vida Modificación Instalación

Si representamos esos resultados obtenidos del CCV (Coste de Ciclo de Vida) para una vida útil de 30 años, para todos los casos presentados, se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- Aquellos casos de modificación del campo solar, que se obtenían unas beneficios anuales considerables, suponen un coste de instalación muy elevados; siendo en todos los casos de modificación del campo solar, un CCV superior al del caso base.
- En el análisis de la capacidad de la batería, aunque se obtenían unos beneficios menores, también suponen un incremento del costo de la ampliación menor, alcanzando en los Casos 2, 3 y 4, unos CCV menores que el caso de partida (Representado con la línea roja, en la Figura 3-70). Encontrándonos con las opciones desde el punto de vista económico más beneficiosas.

Sin embargo, estas medidas de ampliación de la capacidad de la batería, como se vió en el Epígrafe 3.4.2.3, no favorecen la toma de estrategias de precondicionamiento de los edificios.

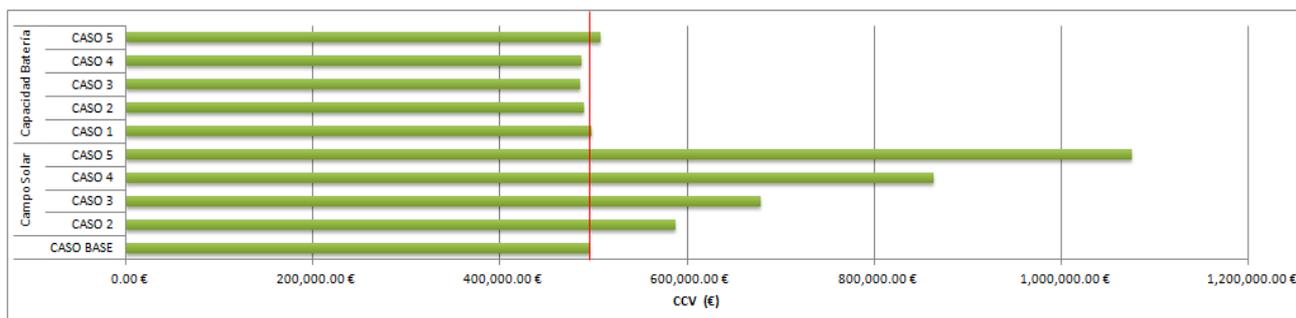
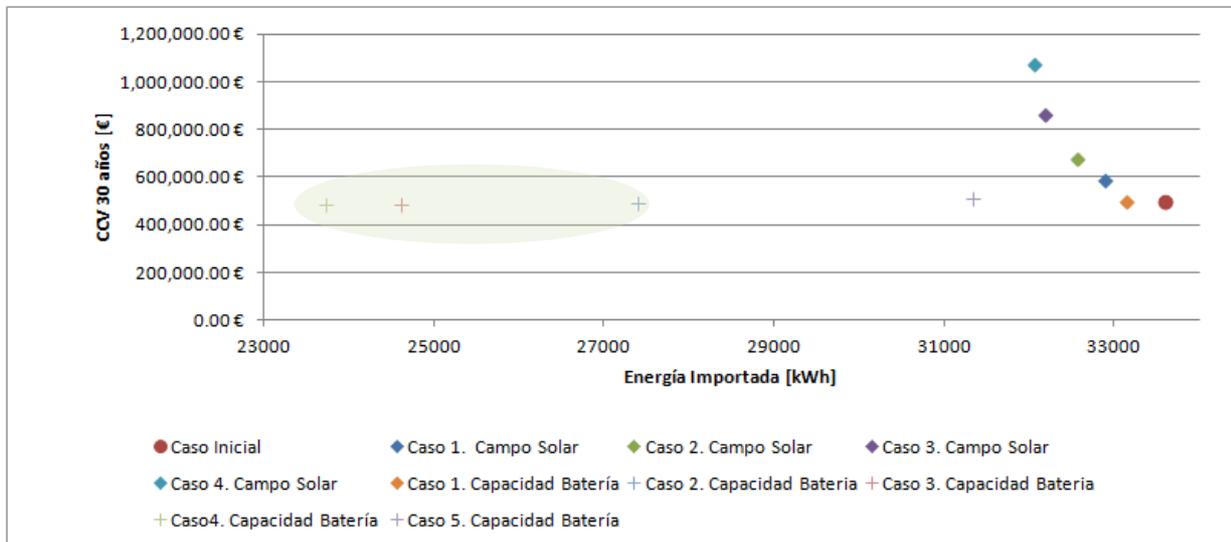


Figura 3-70. Casos Analizados CCV ampliaciones de instalación

Por último, se compara el CCV para cada uno de los casos, frente a la energía eléctrica que necesitan importar para los mismos; ya que esta energía procede de la red, de forma general será obtenida a través de fuentes convencionales, para ver la afeción con la generación eléctrica general. Llegando a conclusiones,

anteriormente mostradas, la energía importada se reduce en todos los casos; sin embargo, como ya se vió en la *Figura 3-70*, sólo esa reducción de energía importada va acompañada también de disminución del CCV, en los casos 2-3-4 de modificación de la capacidad de la batería, zona sombreada, de la *Figura 3-71*.



*Figura 3-71. Casos Analizados CCV vs Energía Importada*

### 3.5 CONCLUSIONES

Este estudio ha considerado la gestión energética de un distrito de la Isla de la Graciosa (Las Palmas, España), evaluando diferentes escenarios de intercambio de energía, incorporando generación fotovoltaica, almacenamiento eléctrico, por medio de baterías, estrategias de precondicionamiento, a través del uso del almacenamiento térmico estructural de los edificios, y, por último, horizontes temporales distintos. De esta manera, las estrategias propuestas aseguran la explotación del intercambio energético entre los edificios, con una política que prioriza este intercambio de electricidad. Con esta nueva alternativa del gestión, se consiguen aumentar de forma general los ahorros de costos, los ratios de autoconsumo y autosuficiencia.

Existen varios factores muy importantes, que se demuestran que tienen un gran papel en estos ahorros obtenidos, la tarifa eléctrica de exportación, en primer lugar, con tarifas bajas se premia la gestión del distrito, no ocurre esto conforme la tarifa de exportación supera la de importación; aprovechamiento de toda la superficie disponible, con una posible ampliación del campo solar; baterías, con una capacidad de almacenamiento mayor. Todos estos cambios, principalmente los dos últimos, son modificaciones que llevan unida una variación en los costes de instalación, parámetro que también se ha estudiado, a partir del Coste de Ciclo de Vida (CCV) de dichas instalaciones en cada caso.

Este estudio ha demostrado las posibilidades que ofrece la gestión de energía en los distritos, pero se podrían incorporar ciertas líneas de mejora en el futuro. Primero, sería conveniente replicar este estudio ampliado para todo un año, tanto periodo estival como invernal, para ello sería adecuado realizarlo en otro clima, con condiciones climáticas más severas. Segundo, cambio de las políticas en la gestión del distrito, incluyendo la valoración de exportar e importar, en un rango superior, al mismo nivel que el intercambio de excedentes dentro del distrito. También incorporar la afectación de las baterías en los costes, como un coste por depreciación de las mismas, conforme aumenta el número de ciclo.

Por último, aunque el diseño de la instalación ya está establecido, sería interesante la comparación con un diseño óptimo, obtenido de la multitud de casos que se han analizado.

Como en todos los estudios realizados en este proyecto, siempre hay que buscar el equilibrio entre ahorros económicos, uso eficiente de la energía, principalmente renovable, y aprovechamiento de la sinergia entre los diferentes edificios del distrito.

## 4 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

El proyecto como ya se ha comprobado está claramente diferenciado en dos bloques, que al mismo tiempo se complementan, obteniendo resultados muy interesantes. Por tanto, es necesario delimitar los objetivos alcanzados de cada uno de ellos, que remarán por separados hacia una meta única, la gestión energética en edificios.

En primer lugar, el Bloque I, se ha analizado el potencial de mejora de las medidas de DSM vinculadas con la operación de equipos, variación de consignas de equipos y ventilación nocturna; usando como base de almacenamiento la inercia estructural del edificio. Para ello se realiza el estudio de potencial de 5 viviendas distribuidas por España y considerando diferentes escenarios de análisis.

Seguido del Bloque II, el cual ha propuesto la gestión energética de un distrito, con una estrategia que fomenta el intercambio de excedentes de electricidad entre diferentes usuarios, con el fin de maximizar el ahorro de costos y la utilización de energía renovable en el distrito. Se utiliza como caso de estudio un distrito en la Isla de La Graciosa, de esta forma se puede paliar el problema de la electricidad en la Isla de la Graciosa, al mismo tiempo que alinear este estudio con los retos explicados en el contexto energético previamente; con una evolución hacia un sistema autosuficiente en el que se podrá generar, almacenar y distribuir su propia energía

En este apartado se desarrollan una serie de conclusiones que se han obtenido a lo largo de la elaboración de este Trabajo Fin de Máster.

- La metodología propuesta de gestión de la demanda, en primer lugar, y complementado con generación distribuida y almacenamiento, con la posterior gestión de un distrito, se ha comprobado que permite obtener resultados muy interesantes, la posibilidad de extrapolarlo a aplicaciones actuales de SMART GRID. De manera, que la disponibilidad de nuevas tecnologías renovables y la posibilidad de integrarlas, con estrategias de gestión de la demanda, suponen una gran base para la reducción de emisiones y una mayor seguridad y estabilidad energética.
- Ahorros económicos vinculados a la gestión de la demanda fuertemente dependientes del comportamiento del usuario, calidad constructiva del edificio, tarifas eléctricas.
- Metodología de gestión del distrito, según resultados esperados, con la política de intercambio de electricidad entre edificios, se consigue aumentar de forma general los ahorros de costos, los ratios de autoconsumo y autosuficiencia.
- Factores importantes en la gestión del distrito, que se han analizados, tarifas de exportación, superficie del campo solar disponible, capacidad de la batería. Estos dos últimos factores, complementados con un análisis del Coste de Ciclo de Vida a 30 años.

Como líneas de desarrollo futuro, sería conveniente:

- Ampliar la gestión del distrito a todo un año, no solo el período estival.
- Incorporar cambios o más alternativas de gestión del distrito, incluyendo la valoración de exportar o importar, en un rango superior, al mismo nivel que el intercambio de excedentes. Se podrían conseguir mayores ahorros económicos.
- Introducir un costo asociado al uso de la batería.
- Por último, y a un nivel superior de las líneas expuestas anteriormente, una vez que se afianza la gestión de distritos, extender con una metodología similar, la gestión de plantas industriales.

Los resultados del presente trabajo muestran los beneficiosos potenciales de los enfoques que se han introducido a la hora de abordar la gestión energética de edificios. En todo el proyecto, la norma general siempre ha sido buscar el equilibrio entre ahorros económicos, uso eficiente de la energía, principalmente renovable, y aprovechamiento de la sinergia entre los diferentes edificios.

# ANEXOS

## ANEXO I. BLOQUE I-EDIFICIO 1

### Estrategias de Preheating

Estadística de número de días que toma la decisión de hacer tantas horas de preheating y la temperatura de consigna correspondientes.

<i>Usuario 1</i>		<i>Temperatura de consigna (°C)</i>					
<i>Horas</i>	20	21	22	23	24	25	
0	75%	0%	0%	0%	0%	0%	
1	3%	4%	12%	3%	4%	0%	
2	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
3	0%	0%	0%	0%	0%	0%	

<i>Usuario 2</i>		<i>Temperatura de consigna (°C)</i>					
<i>Horas</i>	20	21	22	23	24	25	
0	100%	0%	0%	0%	0%	0%	
1	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
2	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
3	0%	0%	0%	0%	0%	0%	

Tabla 0-1. Porcentaje de días que toma la decisión de hacer tantas horas de preheating y la temperatura de consigna correspondiente, tanto para el usuario 1 como el 2. Edificio 1

<i>Usuario 1. Edificio mejorado</i>		<i>Temperatura de consigna (°C)</i>					
<i>Horas</i>	20	21	22	23	24	25	
0	78%	0%	0%	0%	0%	0%	
1	9%	5%	5%	2%	1%	0%	
2	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
3	1%	0%	0%	0%	0%	0%	

Tabla 0-2. Porcentaje de días que toma la decisión de hacer tantas horas de preheating y la temperatura de consigna correspondiente, con el Usuario 1, Edificio 1 mejorado

<i>Usuario 2. Edificio mejorado</i>		<i>Temperatura de consigna (°C)</i>					
<i>Horas</i>	20	21	22	23	24	25	
0	100%	0%	0%	0%	0%	0%	
1	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
2	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
3	0%	0%	0%	0%	0%	0%	

*Tabla 0-3. Porcentaje de días que toma la decisión de hacer tantas horas de preheating y la temperatura de consigna correspondiente, con el Usuario 2, Edificio 1 mejorado*

### Estrategias de Precooling + Ventilación Nocturna

Estadística de número de días que toma la decisión de hacer tantas horas de precooling y la temperatura de consigna correspondientes, combinado con el número de horas de ventilación nocturna elegido.

		Temperatura de consigna (°C)																	
		20			21			22			23			24			25		
Usuario 1	Horas PC/Horas VN	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2
	0	38%	23%	21%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	1	0%	0%	0%	0%	3%	2%	0%	3%	0%	0%	2%	2%	4%	3%	0%	1%	0%	0%
	2	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	3	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tabla 0-4. Porcentaje del número de días que toma la decisión de hacer diferentes horas de precooling y la temperatura de consigna correspondientes, combinado con el número de horas de ventilación nocturna elegido, usuario 1. Edificio 1

		Temperatura de consigna (°C)														
		20			21			22			23			24		
Usuario 2	Horas PC/Horas VN	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2
	0	24%	4%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	1	0%	2%	7%	0%	2%	13%	0%	3%	18%	0%	2%	2%	9%	11%	2%
	2	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	3	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tabla 0-5. Porcentaje del número de días que toma la decisión de hacer diferentes horas de precooling y la temperatura de consigna correspondientes, combinado con el número de horas de ventilación nocturna elegido, usuario 2. Edificio 1

<i>Usuario 1.</i> <i>Edificio mejorado</i>		<i>Temperatura de consigna (°C)</i>																									
		20							21		22					23					24				25		
		0	1	2	3	4	5	6	7	4	6	1	2	3	4	5	3	4	5	6	7	3	4	5	6	4	5
<i>Horas PC/Horas VN</i>	0	1	2	3	4	5	6	7	4	6	1	2	3	4	5	3	4	5	6	7	3	4	5	6	4	5	6
0	3%	1%	6%	16%	13%	11%	7%	4%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
1	0%	0%	2%	5%	5%	1%	0%	0%	1%	1%	1%	1%	1%	2%	3%	1%	3%	2%	2%	3%	1%	1%	1%	6%	1%	0%	1%
2	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
3	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tabla 0-6. Porcentaje del número de días que toma la decisión de hacer diferentes horas de precooling y la temperatura de consigna correspondientes, combinado con el número de horas de ventilación nocturna elegido, usuario 1. Edificio 1 mejorado

<i>Usuario 2.</i> <i>Edificio mejorado</i>		<i>Temperatura de consigna (°C)</i>																									
		20							21			22				23					24						
		0	1	2	3	4	5	6	3	5	6	4	5	6	7	2	4	5	6	7	0	3	4	5	6	7	
<i>Horas PC/Horas VN</i>	0	1	2	3	4	5	6 <td>3</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>2</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>0</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>7</td>	3	5	6	4	5	6	7	2	4	5	6	7	0	3	4	5	6	7		
0	2%	1%	2%	2%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
1	0%	0%	7%	13%	22%	5%	0%	2%	2%	1%	2%	2%	4%	1%	1%	1%	2%	7%	2%	1%	3%	2%	6%	3%	4%		
2	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
3	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		

Tabla 0-7. Porcentaje del número de días que toma la decisión de hacer diferentes horas de precooling y la temperatura de consigna correspondientes, combinado con el número de horas de ventilación nocturna elegido, usuario 2. Edificio 1 mejorado.

## ANEXO II. BLOQUE I-EDIFICIO 2

### Estrategias de Preheating

Estadística de número de días que toma la decisión de hacer tantas horas de preheating y la temperatura de consigna correspondientes.

<i>Usuario 1</i>	<i>Temperatura de consigna (°C)</i>					
<i>Horas</i>	20	21	22	23	24	25
0	94%	0%	0%	0%	0%	0%
1	5%	1%	0%	0%	0%	0%
2	0%	0%	0%	0%	0%	0%
3	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tabla 0-8. Porcentaje de días que toma la decisión de hacer tantas horas de preheating y la temperatura de consigna correspondiente, tanto para el usuario 1. Edificio 2

<i>Usuario 2</i>	<i>Temperatura de consigna (°C)</i>					
<i>Horas</i>	20	21	22	23	24	25
0	100%	0%	0%	0%	0%	0%
1	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2	0%	0%	0%	0%	0%	0%
3	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tabla 0-9. Porcentaje de días que toma la decisión de hacer tantas horas de preheating y la temperatura de consigna correspondiente, tanto para el usuario 2. Edificio 2

<i>Usuario 1. Edificio mejorado</i>	<i>Temperatura de consigna (°C)</i>					
<i>Horas</i>	20	21	22	23	24	25
0	85%	0%	0%	0%	0%	0%
1	7%	3%	4%	0%	0%	0%
2	1%	0%	0%	0%	0%	0%
3	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tabla 0-10. Porcentaje de días que toma la decisión de hacer tantas horas de preheating y la temperatura de consigna correspondiente, tanto para el usuario 1. Edificio mejorado 2

<i>Usuario 2. Edificio mejorado</i>	<i>Temperatura de consigna (°C)</i>					
<i>Horas</i>	20	21	22	23	24	25
0	100%	0%	0%	0%	0%	0%
1	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2	0%	0%	0%	0%	0%	0%
3	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tabla 0-11. Porcentaje de días que toma la decisión de hacer tantas horas de preheating y la temperatura de consigna correspondiente, tanto para el usuario 2. Edificio mejorado 2

### ***Estrategias de Precooling + Ventilación Nocturna***

Estadística de número de días que toma la decisión de hacer tantas horas de precooling y la temperatura de consigna correspondientes, combinado con el número de horas de ventilación nocturna elegido.

		<b>Temperatura de consigna (°C)</b>				
		20		24	25	
<b>Usuario 1</b>						
<b>Horas PC/Horas VN</b>		0	1	0	0	1
0		61%	27%	0%	0%	0%
1		0%	0%	7%	4%	2%
2		0%	0%	0%	0%	0%
3		0%	0%	0%	0%	0%

Tabla 0-12. Porcentaje del número de días que toma la decisión de hacer diferentes horas de precooling y la temperatura de consigna correspondientes, combinado con el número de horas de ventilación nocturna elegido, usuario 1. Edificio 2

		<b>Temperatura de consigna (°C)</b>														
		20			21			22			23			24		
<b>Usuario 2</b>																
<b>Horas PC/Horas VN</b>		0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2
0		30%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
1		0%	8%	0%	1%	16%	0%	2%	16%	0%	3%	3%	0%	21%	0%	0%
2		0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
3		0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tabla 0-13. Porcentaje del número de días que toma la decisión de hacer diferentes horas de precooling y la temperatura de consigna correspondientes, combinado con el número de horas de ventilación nocturna elegido, usuario 2. Edificio 2

		<i>Temperatura de consigna (°C)</i>									
		20		21		22		23		25	
<i>Usuario 1. Edificio mejorado</i>	<i>Horas PC/Horas VN</i>	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	0	17%	51%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	1	2%	8%	0%	5%	1%	7%	2%	3%	2%	3%
	2	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	3	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tabla 0-14. Porcentaje del número de días que toma la decisión de hacer diferentes horas de precooling y la temperatura de consigna correspondientes, combinado con el número de horas de ventilación nocturna elegido, usuario 1. Edificio mejorado 2

		<i>Temperatura de consigna (°C)</i>									
		20			21		22		23		24
<i>Usuario 2. Edificio mejorado</i>	<i>Horas PC/Horas VN</i>	0	1	2	0	1	0	1	0	1	0
	0	3%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	1	2%	64%	6%	2%	7%	1%	5%	0%	3%	6%
	2	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	3	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tabla 0-15. Porcentaje del número de días que toma la decisión de hacer diferentes horas de precooling y la temperatura de consigna correspondientes, combinado con el número de horas de ventilación nocturna elegido, usuario 2. Edificio mejorado 2

## ANEXO III. BLOQUE I-EDIFICIO 3

### Estrategias de Preheating

Estadística de número de días que toma la decisión de hacer tantas horas de preheating y la temperatura de consigna correspondientes.

<i>Usuario 1</i>	<i>Temperatura de consigna (°C)</i>					
<i>Horas</i>	20	21	22	23	24	25
0	57%	0%	0%	0%	0%	0%
1	3%	7%	13%	4%	6%	10%
2	0%	0%	0%	0%	0%	0%
3	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tabla 0-16. Porcentaje de días que toma la decisión de hacer tantas horas de preheating y la temperatura de consigna correspondiente, tanto para el usuario 1. Edificio 3

<i>Usuario 2</i>	<i>Temperatura de consigna (°C)</i>					
<i>Horas</i>	20	21	22	23	24	25
0	100%	0%	0%	0%	0%	0%
1	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2	0%	0%	0%	0%	0%	0%
3	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tabla 0-17. Porcentaje de días que toma la decisión de hacer tantas horas de preheating y la temperatura de consigna correspondiente, tanto para el usuario 2. Edificio 3

<i>Usuario 1. Edificio mejorado</i>	<i>Temperatura de consigna (°C)</i>					
<i>Horas</i>	20	21	22	23	24	25
0	70%	0%	0%	0%	0%	0%
1	0%	0%	3%	1%	4%	22%
2	0%	0%	0%	0%	0%	0%
3	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tabla 0-18. Porcentaje de días que toma la decisión de hacer tantas horas de preheating y la temperatura de consigna correspondiente, tanto para el usuario 1. Edificio mejorado 3

<i>Usuario 2. Edificio mejorado</i>	<i>Temperatura de consigna (°C)</i>					
<i>Horas</i>	20	21	22	23	24	25
0	100%	0%	0%	0%	0%	0%
1	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2	0%	0%	0%	0%	0%	0%
3	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tabla 0-19. Porcentaje de días que toma la decisión de hacer tantas horas de preheating y la temperatura de consigna correspondiente, tanto para el usuario 2. Edificio mejorado 3

### Estrategias de Precooling + Ventilación Nocturna

Estadística de número de días que toma la decisión de hacer tantas horas de precooling y la temperatura de consigna correspondientes, combinado con el número de horas de ventilación nocturna elegido.

		Temperatura de consigna (°C)														
		20			21			22			23			24		
		0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2
<i>Usuario 1</i>	<i>Horas PC/Horas VN</i>															
	0	10%	34%	4%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	1	2%	10%	2%	0%	9%	0%	0%	10%	1%	0%	7%	1%	2%	7%	0%
	2	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	3	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tabla 0-20. Porcentaje del número de días que toma la decisión de hacer diferentes horas de precooling y la temperatura de consigna correspondientes, combinado con el número de horas de ventilación nocturna elegido, usuario 1. Edificio 3

		Temperatura de consigna (°C)														
		20			21			22			23			24		
		0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2
<i>Usuario 2</i>	<i>Horas PC/Horas VN</i>															
	0	6%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	1	1%	18%	26%	0%	16%	0%	0%	3%	0%	2%	14%	2%	3%	6%	1%
	2	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	3	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tabla 0-21. Porcentaje del número de días que toma la decisión de hacer diferentes horas de precooling y la temperatura de consigna correspondientes, combinado con el número de horas de ventilación nocturna elegido, usuario 2. Edificio 3

		<b>Temperatura de consigna (°C)</b>														
		20			21			22			23			24		
<b>Usuario 1. Edificio mejorado</b>	<b>Horas PC/Horas VN</b>	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2
	0	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	1	0%	22%	66%	0%	5%	1%	0%	1%	1%	0%	2%	0%	0%	2%	0%
	2	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	3	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tabla 0-22. Porcentaje del número de días que toma la decisión de hacer diferentes horas de precooling y la temperatura de consigna correspondientes, combinado con el número de horas de ventilación nocturna elegido, usuario 1. Edificio 3 mejorado

		<b>Temperatura de consigna (°C)</b>										
		20				21			22		23	
<b>Usuario 2. Edificio mejorado</b>	<b>Horas PC/Horas VN</b>	0	1	2	3	0	1	2	0	1	0	1
	0	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	1	0%	9%	65%	7%	0%	7%	4%	0%	2%	0%	2%
	2	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	3	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tabla 0-23. Porcentaje del número de días que toma la decisión de hacer diferentes horas de precooling y la temperatura de consigna correspondientes, combinado con el número de horas de ventilación nocturna elegido, usuario 2. Edificio 3 mejorado

## ANEXO VI. BLOQUE I-EDIFICIO 4

### Estrategias de Preheating

Estadística de número de días que toma la decisión de hacer tantas horas de preheating y la temperatura de consigna correspondientes.

<i>Usuario 1</i>	<i>Temperatura de consigna (°C)</i>					
<i>Horas</i>	20	21	22	23	24	25
0	62%	0%	0%	0%	0%	0%
1	7%	13%	7%	3%	2%	7%
2	0%	0%	0%	0%	0%	0%
3	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tabla 0-24. Porcentaje de días que toma la decisión de hacer tantas horas de preheating y la temperatura de consigna correspondiente, tanto para el usuario 1. Edificio 4

<i>Usuario 2</i>	<i>Temperatura de consigna (°C)</i>					
<i>Horas</i>	20	21	22	23	24	25
0	46%	0%	0%	0%	0%	0%
1	8%	13%	7%	7%	3%	17%
2	0%	0%	0%	0%	0%	0%
3	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tabla 0-25. Porcentaje de días que toma la decisión de hacer tantas horas de preheating y la temperatura de consigna correspondiente, tanto para el usuario 2. Edificio 4

<i>Usuario 1. Edificio mej</i>	<i>Temperatura de consigna (°C)</i>					
<i>Horas</i>	20	21	22	23	24	25
0	78%	0%	0%	0%	0%	0%
1	11%	5%	1%	3%	2%	0%
2	0%	0%	0%	0%	0%	0%
3	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tabla 0-26. Porcentaje de días que toma la decisión de hacer tantas horas de preheating y la temperatura de consigna correspondiente, tanto para el usuario 1. Edificio 4 mejorado

<i>Usuario 2. Edificio mej</i>	<i>Temperatura de consigna (°C)</i>					
<i>Horas</i>	20	21	22	23	24	25
0	72%	0%	0%	0%	0%	0%
1	9%	7%	3%	3%	4%	2%
2	0%	0%	0%	0%	0%	0%
3	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tabla 0-27. Porcentaje de días que toma la decisión de hacer tantas horas de preheating y la temperatura de consigna correspondiente, tanto para el usuario 2. Edificio 4 mejorado

### Estrategias de Precooling + Ventilación Nocturna

Estadística de número de días que toma la decisión de hacer tantas horas de precooling y la temperatura de consigna correspondientes, combinado con el número de horas de ventilación nocturna elegido.

		Temperatura de consigna (°C)																			
		20						21		22						23					
		0	1	2	3	4	5	6	2	3	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
<b>Usuario 1</b>	<b>Horas PC/Horas VN</b>																				
	0	13%	1%	11%	14%	11%	7%	7%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	1	0%	2%	5%	11%	7%	0%	0%	1%	2%	2%	1%	1%	2%	2%	1%	0%	0%	0%	0%	1%
	2	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	3	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tabla 0-28. Porcentaje del número de días que toma la decisión de hacer diferentes horas de precooling y la temperatura de consigna correspondientes, combinado con el número de horas de ventilación nocturna elegido, usuario 1. Edificio 4

		Temperatura de consigna (°C)																					
		20							21	22						23						24	
		0	1	2	3	4	5	6	3	1	2	3	4	5	6	0	1	2	3	4	5	6	6
<b>Usuario 2</b>	<b>Horas PC/Horas VN</b>																						
	0	11%	2%	3%	1%	2%	5%	3%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
	1	0%	0%	7%	17%	22%	2%	0%	2%	1%	0%	2%	2%	4%	1%	1%	1%	3%	0%	1%	2%	3%	1%
	2	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
	3	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	

Tabla 0-29. Porcentaje del número de días que toma la decisión de hacer diferentes horas de precooling y la temperatura de consigna correspondientes, combinado con el número de horas de ventilación nocturna elegido, usuario 2. Edificio 4

<i>Usuario 1. Edificio mejorado</i>		<i>Temperatura de consigna (°C)</i>																			
		20							21			22					23				
		0	1	2	3	4	5	6	7	4	6	7	3	4	5	6	7	3	4	5	6
<i>Horas PC/Horas VN</i>	0	1	2	3	4	5	6	7	4	6	7	3	4	5	6	7	3	4	5	6	7
0	2%	2%	2%	7%	3%	2%	2%	8%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
1	1%	2%	4%	11%	11%	6%	2%	0%	1%	2%	2%	1%	1%	0%	2%	5%	1%	2%	1%	1%	1%
2	1%	1%	1%	0%	2%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%
3	1%	0%	2%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	1%	1%	0%	0%	1%	0%	0%

Tabla 0-30. Porcentaje del número de días que toma la decisión de hacer diferentes horas de precooling y la temperatura de consigna correspondientes, combinado con el número de horas de ventilación nocturna elegido, usuario 1. Edificio 4 mejorado

<i>Usuario 2. Edificio mejorado</i>		<i>Temperatura de consigna (°C)</i>																				
		20							21				22				23				24	
		0	1	2	3	4	5	6	7	4	5	6	7	3	5	6	7	3	4	6	7	3
<i>Horas PC/Horas VN</i>	0	1	2	3	4	5	6	7	4	5	6	7	3	5	6	7	3	4	6	7	3	
0	2%	1%	2%	6%	0%	2%	4%	6%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
1	0%	4%	5%	16%	14%	8%	2%	0%	2%	1%	1%	1%	1%	2%	2%	2%	1%	4%	2%	6%	2%	
2	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
3	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	

Tabla 0-31. Porcentaje del número de días que toma la decisión de hacer diferentes horas de precooling y la temperatura de consigna correspondientes, combinado con el número de horas de ventilación nocturna elegido, usuario 2. Edificio 4 mejorado

## ANEXO V. BLOQUE I- EDIFICIO 5

### *Estrategias de Preheating*

Estadística de número de días que toma la decisión de hacer tantas horas de preheating y la temperatura de consigna correspondientes.

<i>Usuario 1</i>	<i>Temperatura de consigna (°C)</i>					
<i>Horas</i>	20	21	22	23	24	25
0	50%	0%	0%	0%	0%	0%
1	5%	12%	15%	7%	8%	3%
2	0%	0%	0%	0%	0%	0%
3	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tabla 0-32. Porcentaje de días que toma la decisión de hacer tantas horas de preheating y la temperatura de consigna correspondiente, tanto para el usuario 1. Edificio 5

<i>Usuario 2</i>	<i>Temperatura de consigna (°C)</i>					
<i>Horas</i>	20	21	22	23	24	25
0	100%	0%	0%	0%	0%	0%
1	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2	0%	0%	0%	0%	0%	0%
3	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tabla 0-33. Porcentaje de días que toma la decisión de hacer tantas horas de preheating y la temperatura de consigna correspondiente, tanto para el usuario 2. Edificio 5

<i>Usuario 1. Edificio mejorado</i>	<i>Temperatura de consigna (°C)</i>					
<i>Horas</i>	20	21	22	23	24	25
0	64%	0%	0%	0%	0%	0%
1	17%	9%	9%	1%	0%	0%
2	0%	0%	0%	0%	0%	0%
3	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tabla 0-34. Porcentaje de días que toma la decisión de hacer tantas horas de preheating y la temperatura de consigna correspondiente, tanto para el usuario 1. Edificio 5 mejorado

<i>Usuario 2. Edificio mejorado</i>	<i>Temperatura de consigna (°C)</i>					
<i>Horas</i>	20	21	22	23	24	25
0	52%	0%	0%	0%	0%	0%
1	19%	7%	18%	4%	0%	0%
2	0%	0%	0%	0%	0%	0%
3	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tabla 0-35. Porcentaje de días que toma la decisión de hacer tantas horas de preheating y la temperatura de consigna correspondiente, tanto para el usuario 2. Edificio 5 mejorado

### Estrategias de Precooling + Ventilación Nocturna

Estadística de número de días que toma la decisión de hacer tantas horas de precooling y la temperatura de consigna correspondientes, combinado con el número de horas de ventilación nocturna elegido.

<i>Usuario 1</i>		<i>Temperatura de consigna (°C)</i>														
		20			21			22			23			24		
		0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2
<i>Horas PC/Horas VN</i>																
0	26%	31%	3%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
1	5%	0%	0%	5%	2%	1%	2%	3%	2%	4%	5%	1%	2%	5%	2%	
2	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
3	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tabla 0-36. Porcentaje del número de días que toma la decisión de hacer diferentes horas de precooling y la temperatura de consigna correspondientes, combinado con el número de horas de ventilación nocturna elegido, usuario 1. Edificio 5

<i>Usuario 2</i>		<i>Temperatura de consigna (°C)</i>														
		20			21			22			23			24		
		0	1	2	0	1	2	0	1	0	1	0	1	2		
<i>Horas PC/Horas VN</i>																
0	21%	4%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
1	9%	17%	4%	0%	7%	10%	1%	6%	1%	10%	4%	5%	2%			
2	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
3	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tabla 0-37. Porcentaje del número de días que toma la decisión de hacer diferentes horas de precooling y la temperatura de consigna correspondientes, combinado con el número de horas de ventilación nocturna elegido, usuario 2. Edificio 5

		<i>Temperatura de consigna (°C)</i>																	
		20				21		22			23				24				25
<i>Usuario 1. Edificio mejorado</i>	<i>Horas PC/Horas VN</i>	0	1	2	3	0	1	0	1	2	0	1	2	3	0	1	2	3	1
	0	9%	30%	11%	6%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	1	6%	0%	0%	0%	6%	2%	3%	2%	2%	2%	3%	7%	1%	3%	2%	3%	1%	1%
	2	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	3	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tabla 0-38. Porcentaje del número de días que toma la decisión de hacer diferentes horas de precooling y la temperatura de consigna correspondientes, combinado con el número de horas de ventilación nocturna elegido, usuario 1. Edificio 5 mejorado

		<i>Temperatura de consigna (°C)</i>														
		20			21		22			23			24			
<i>Usuario 2. Edificio mejorado</i>	<i>Horas PC/Horas VN</i>	0	1	2	0	1	0	1	2	0	1	2	0	1	2	3
	0	1%	11%	6%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	1	11%	1%	0%	12%	13%	3%	11%	2%	1%	8%	7%	1%	7%	3%	1%
	2	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	3	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tabla 0-39. Porcentaje del número de días que toma la decisión de hacer diferentes horas de precooling y la temperatura de consigna correspondientes, combinado con el número de horas de ventilación nocturna elegido, usuario 2. Edificio 5 mejorado

## ANEXO VI. BLOQUE II

A continuación se presentan los resultados obtenidos, de forma general, para los 8 escenarios planteados a lo largo del Bloque II

### Resultados Generales

CASOS	Electricidad Importada [kWh]	Electricidad Exportada [kWh]	Costes Anuales [€]	Reducción Importación [%]	Reducción Exportaciones [%]	Reducción de costos [%]	Producción FV [kWh]	Consumo Electricidad [kWh]	Consumo Climatización [kWh]	Incremento Consumo Climatización [%]	Ratio Autoconsumo [%]	Ratio Autosuficiencia [%]
INICIAL	85587.8	0.0	14363.4	-	-	-	0.0	77872.3	7715.5	-	0.00%	0.0%
ESCENARIO 1	48471.4	88720.9	3461.5	0.0%	0.0%	0.0%	128650.1	77872.3	7715.5	0.0%	31.04%	46.7%
ESCENARIO 2	48113.8	87735.2	3437.1	0.7%	1.1%	0.7%	128650.1	77872.3	8348.6	8.2%	31.80%	47.5%
ESCENARIO 3	48149.5	87766.5	3443.3	0.7%	1.1%	0.5%	128650.1	77872.3	8351.0	8.2%	31.78%	47.4%
ESCENARIO 4	48182.4	87821.1	3447.0	0.6%	1.0%	0.4%	128650.1	77872.3	8329.0	8.0%	31.74%	47.4%
ESCENARIO 5	34049.5	74151.7	1919.4	29.8%	16.4%	44.6%	128650.1	77872.3	7715.5	0.0%	42.36%	63.7%
ESCENARIO 6	33547.0	72884.6	1880.6	30.8%	17.8%	45.7%	128650.1	77872.3	8546.8	10.8%	43.35%	64.5%
ESCENARIO 7	33604.5	72967.5	1888.2	30.7%	17.8%	45.5%	128650.1	77872.3	8502.6	10.2%	43.28%	64.5%
ESCENARIO 8	33680.0	73109.7	1895.7	30.5%	17.6%	45.2%	128650.1	77872.3	8432.4	9.3%	43.17%	64.4%

Tabla 0-40. Resultados Generales obtenidos Gestión Distrito. Bloque II

### Selección de Estrategias

	PC-250	PC-251	PC-241	PC-231	PC-252	PC-242	PC-232	PC-253	PC-243	PC-233
ESCENARIO 1	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
ESCENARIO 2	39.34%	3.28%	6.56%	0.00%	9.84%	10.66%	0.00%	18.03%	11.48%	0.82%
ESCENARIO 3	36.07%	11.48%	3.28%	0.00%	10.66%	9.84%	0.82%	17.21%	10.66%	0.00%
ESCENARIO 4	33.61%	18.85%	1.64%	0.00%	11.48%	13.11%	0.00%	14.75%	6.56%	0.00%
ESCENARIO 5	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
ESCENARIO 6	33.61%	4.92%	4.10%	0.00%	5.74%	11.48%	2.46%	12.30%	18.03%	7.38%
ESCENARIO 7	32.79%	9.84%	5.74%	1.64%	7.38%	9.02%	0.82%	9.84%	17.21%	5.74%
ESCENARIO 8	31.97%	13.11%	6.56%	1.64%	10.66%	9.02%	0.82%	9.84%	13.93%	2.46%

Tabla 0-41. Resultados Selección Estrategias obtenidos Gestión Distrito. Bloque II

### Importación Mensuales (kWh)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	TOTAL
ESCENARIO 1	3209.5	3548.1	3617.6	2956.7	2331.6	3854.6	5534.3	6635.5	5311.3	4403.6	3910.1	3158.6	48471.5
ESCENARIO 2	3209.5	3548.1	3617.6	2956.7	2330.2	3830.0	5419.6	6500.0	5229.8	4403.6	3910.1	3158.6	48113.8
ESCENARIO 3	3209.5	3548.1	3617.6	2956.7	2330.2	3836.4	5430.4	6516.4	5231.9	4403.6	3910.1	3158.6	48149.5
ESCENARIO 4	3209.5	3548.1	3617.6	2956.7	2331.6	3840.2	5441.5	6524.0	5240.9	4403.6	3910.1	3158.6	48182.4
ESCENARIO 5	2349.3	2567.6	2414.1	1710.3	1527.9	2551.1	4022.6	5036.6	3827.9	2935.0	2789.6	2317.4	34049.6
ESCENARIO 6	2349.3	2567.6	2414.1	1710.3	1526.3	2509.4	3864.7	4844.0	3719.2	2935.0	2789.6	2317.4	33547.0
ESCENARIO 7	2349.3	2567.6	2414.1	1710.3	1526.3	2529.4	3880.5	4852.0	3732.9	2935.0	2789.6	2317.4	33604.5
ESCENARIO 8	2349.3	2567.6	2414.1	1710.3	1526.3	2533.5	3905.0	4886.2	3745.6	2935.0	2789.6	2317.4	33680.0

Tabla 0-42. Resultados Importación Mensual obtenidos Gestión Distrito. Bloque II

### Exportación Mensuales (kWh)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	TOTAL
ESCENARIO 1	5715.8	6941.5	8194.7	9298.2	9832.8	9575.2	7883.8	7371.2	6981.5	7002.3	5797.0	4127.0	88720.9
ESCENARIO 2	5715.8	6941.5	8194.7	9298.2	9831.7	9512.0	7562.7	7010.0	6742.4	7002.3	5797.0	4127.0	87735.2
ESCENARIO 3	5715.8	6941.5	8194.7	9298.2	9831.7	9505.9	7578.3	7040.5	6733.7	7002.3	5797.0	4127.0	87766.5
ESCENARIO 4	5715.8	6941.5	8194.7	9298.2	9832.8	9519.7	7587.3	7040.5	6764.5	7002.3	5797.0	4127.0	87821.1
ESCENARIO 5	4858.2	5944.1	7002.7	8003.5	8987.8	8245.8	6379.1	5748.4	5456.0	5557.7	4678.8	3289.6	74151.7
ESCENARIO 6	4858.2	5944.1	7002.7	8003.5	8986.4	8156.4	5965.1	5269.4	5172.5	5557.7	4678.8	3289.6	72884.6
ESCENARIO 7	4858.2	5944.1	7002.7	8003.5	8986.4	8181.8	6000.5	5255.7	5208.4	5557.7	4678.8	3289.6	72967.5
ESCENARIO 8	4858.2	5944.1	7002.7	8003.5	8986.4	8187.0	6056.2	5320.5	5225.0	5557.7	4678.8	3289.6	73109.7

Tabla 0-43. Resultados Exportación Mensual obtenidos Gestión Distrito. Bloque II

**Costes / Ingresos (-) Mensuales (kWh)**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	TOTAL
ESCENARIO 1	312.2	214.3	118.9	-24.9	-134.5	130.6	514.8	730.8	503.3	388.7	377.4	329.9	3461.5
ESCENARIO 2	312.2	214.3	118.9	-24.9	-134.7	128.3	507.4	721.0	498.6	388.7	377.4	329.9	3437.1
ESCENARIO 3	312.2	214.3	118.9	-24.9	-134.7	130.2	509.0	722.9	499.5	388.7	377.4	329.9	3443.3
ESCENARIO 4	312.2	214.3	118.9	-24.9	-134.5	130.4	510.4	724.4	499.8	388.7	377.4	329.9	3447.0
ESCENARIO 5	184.1	100.5	-1.2	-143.1	-215.6	2.2	368.4	581.0	363.6	221.2	239.3	219.0	1919.4
ESCENARIO 6	184.1	100.5	-1.2	-143.1	-215.8	-2.1	357.3	565.3	356.1	221.2	239.3	219.0	1880.6
ESCENARIO 7	184.1	100.5	-1.2	-143.1	-215.8	0.7	358.8	567.8	357.0	221.2	239.3	219.0	1888.2
ESCENARIO 8	184.1	100.5	-1.2	-143.1	-215.8	1.5	360.8	571.2	358.3	221.2	239.3	219.0	1895.7

*Tabla 0-44. Resultados Costes/Ingresos (-) Mensual obtenidos Gestión Distrito. Bloque II*

# REFERENCIAS

---

- [1] «Horizonte2020,»: [https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/sites/horizon2020/files/H2020\\_ES\\_KI0213413ESN.pdf](https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/sites/horizon2020/files/H2020_ES_KI0213413ESN.pdf).
- [2] «Directiva2010/31,»: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex%3A32010L0031>.
- [3] «Aipex,» [En línea]. Available: [http://www.aipex.es/eficiencia\\_es.php?s=2..](http://www.aipex.es/eficiencia_es.php?s=2..)
- [4] C. Gellings, «The concept of demand-side management for electric utilities,» *Proc. IEE*, n° 73, pp. 1468-1470, 1985.
- [5] L. G. K. Gelazanskas, «Demand Side Management in smart grid: A review and proposals for future direction,» *Sustain. Cities Soc*, n° 11, pp. 22-30, 2014.
- [6] J. Heier, «Energy Efficiency through Thermal Energy Storage,» KTH School of Industrial Engineering and Management, Stockholm, 2013.
- [7] A. a. J.-O. D. J.Kensby, «Potential of Residential Buildings and Thermal Storage in District Heating Systems-Results form a Pilot Test,» *Applied Energy*, vol. 137, pp. 773-781, 2015.
- [8] G. N. T. S. D. Reynders, «Potential of structural thermal mass for demand-side management in dwellings,» *Buil. Environ*, n° 64, pp. 187-199, 2013.
- [9] C. H. T. H.-B. R. Wilson, «Smart homes and their users: a systematic analysis and key challenges,» *Pers. Ubiquitous Comput*, n° 19, pp. 463-476, 2015.
- [10] M. F. M. A. O. Delmas, «Information strategies and energy conservation behavior: A meta-analysis of experimental studies form 1975 to 2012,» *Energy Policy*, n° 61, pp. 729-739, 2013.
- [11] S. W. D. S. W. D. K. Berry, «Finding faults and influencing consumption: the role of in-fome energy feedback displays in managing high-tech homes,» *Energy Effic.*, pp. 1-21.
- [12] A. D. K. Ehrhardt-Martinez, «Advanced Metering Initiatives and Residential Feedback Programs: A Meta-Review for Household Electricity-Saving Opportunities,» *Energy*, pp. 123-128, 2010.
- [13] V. D. M. K. W. L. S. Chen, «What can we learn from high-frequency appliance-level energy metering? results from a field experiment,» *Energy Policy*, n° 77, pp. 164-175, 2015.
- [14] A. S. B. B. B. Podgornik, «Effects of customized consumption feedback on energy efficient behaviour in low-income households,» *J. Clena Prod.*, n° 130, pp. 25-34, 2015.
- [15] J. D. E. W. F. V. I. Campillo, «Is real-time electricity pricing suitable for residential users without demand-side management?,» *Energy*, n° 109, pp. 310-325, 2016.

- 
- [16] P. F. C. Finn, «Demand side management of industrial electricity consumption: Promoting the use of renewable energy through real-time pricing,» *Appl. Energy*, nº 113, pp. 11-21, 2014.
- [17] S. K. W. B. C. C. J. W. C. Gottwalt, «Demand side management- A simulation of household behavior under variable prices,» *Energy Policy*, nº 39, pp. 8163-8174, 2011.
- [18] «Endesa,» [En línea]. Available: <https://www.endesaclientes.com/blog/discriminacion-horaria>.
- [19] «El tiempo de la energía solar fotovoltaica,» *UNEF*, p. 48, 2016.
- [20] «Snapshot of Global Photovoltaic Markets,» *INTERNATIONAL ENERGY AGENCY*, pp. 1-16, 2015.
- [21] F. ISE, «Photovoltaics Report,» 2016.
- [22] «El auge mundial de la fotovoltaica,» *I. Anual*, 2017.
- [23] D. Bank, «Solar Grid Parity in a Low Oil Price Era,» 2015.
- [24] F.-. ISE, «Levelized cost of electricity renewable energy technologies,» 2016.
- [25] «Technology Roadmap,» *I. E. Agency*, 2016.
- [26] Ministerio, *Herramienta Unificada LIDER-CALENER (HULC)*.
- [27] N. J. Judkoff R, «International Energy Agency building energy simulation test (BESTEST) and diagnostic method.,» *Natl Renew Energy Lab* , p. 296, 1995.
- [28] «CTE,»  
<https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/DBHE.pdf>.
- [29] «Helioscope,»  
<https://www.helioscope.com/>.
- [30] «CNMC,»  
<https://www.cnmc.es>.