

## FACULTAD DE INFORMÁTICA

DEPARTAMENTO DE TECNOLOXÍAS DA INFORMACIÓN E AS COMUNICACIÓNS

## TESIS DOCTORAL

TÍTULO

MODELO ADAPTATIVO PARA LA GESTIÓN AMBIENTAL Y  
ENERGÉTICA DE INMUEBLES DE USO RESIDENCIAL Y TERCIARIO

DOCTORANDO:	JOSÉ ANTONIO ÁLVAREZ DÍAZ
DIRECTORES:	D. JUAN RAMÓN RABUÑAL DOPICO
	DÑA. DOLORES GARCÍA VIDAURRÁZAGA
FECHA:	MARZO 2017

D. JUAN RAMÓN RABUÑAL DOPICO, Doctor en Informática y Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos por la Universidad de A Coruña;

Dña. DOLORES GARCÍA VIDAURRÁZAGA, Doctora en Arquitectura y Patrimonio por la Universidad Alfonso X EL SABIO

HACEN CONSTAR QUE:

La memoria de investigación “MODELO ADAPTATIVO PARA LA GESTIÓN AMBIENTAL Y ENERGÉTICA DE INMUEBLES DE USO RESIDENCIAL Y TERCARIO” ha sido realizada por D. JOSÉ ANTONIO ÁLVAREZ DÍAZ, bajo nuestra dirección en el Departamento de TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LAS COMUNICACIONES , y constituye la Tesis que presenta para optar al Grado de Doctor de la Universidade da Coruña.

A Coruña, 14 de marzo de 2017

Fdo: Dr. Juan Ramón Rabuñal Dopico  
Director de Tesis

Fdo: Dra. Dolores García Vidaurrázaga  
Directora de Tesis

## DEDICATORIA

---

*A mis padres y a mi hermano;*

## AGRADECIMIENTOS

---

*A mis padres y hermano;*

*Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor, por los ejemplos de perseverancia y constancia que me han infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante; por su bondad, amor y comprensión.*

*A mis directores y Tutor de Tesis;*

*Por su gran apoyo y motivación para la culminación de este propósito, por su paciencia, por su tiempo, por su colaboración, por su trabajo compartido y por impulsar el desarrollo de mi formación académica e investigadora y por haberme demostrado una enorme dosis de paciencia y comprensión.*

*A mis amigos;*

*Que nos apoyamos mutuamente en nuestras experiencias vitales y profesionales, la verdad es que tener alguien que te escuche con interés y comparta los buenos momentos desde la juventud es un verdadero privilegio, por haber mantenido intacta esa actitud durante tantos años y por soportarme en los momentos más complicados.*

*A mis profesores y compañeros de trabajo en la Universidad da Coruña;*

*Que dedicaron su tiempo y esfuerzo en intentar convertirme en un buen profesional y en una persona decente. Espero no haberles defraudado. A los que comparten la pasión por la labor docente e investigadora, aun en momentos de adversidad, siempre tienen la mejor actitud y el mayor esfuerzo.*

*A mis alumnas y alumnos;*

*Con los que he compartido tiempo, conocimientos y experiencias; que colaboraron en mi aprendizaje y formación como docente e investigador; su esfuerzo es mi recompensa.*

*A todos ellos muchas gracias.*

## RESUMEN

---

Desde la entrada en vigor de la Directiva Europea 91 del 2002, relativa a la eficiencia energética de los edificios, la cual obligaba a los Estados miembros de la Unión Europea a establecer una metodología para determinar la eficiencia energética de los edificios mediante su trasposición a la legislación local; la evaluación del comportamiento energético y ambiental de los edificios, especialmente los que integran en parque de edificios existentes, ha adquirido una gran relevancia.

Para cumplir estos objetivos de aumento de la eficiencia energética y de reducción de emisiones de dióxido de carbono en el sector de la edificación, es necesario disponer de la mayor cantidad de información posible sobre el comportamiento energético y ambiental de los edificios existentes.

En España, el proceso de implantación de esta metodología para evaluar la eficiencia energética de los edificios existentes se ha producido con un cierto retraso, dándose dos circunstancias que dificultan su aplicación; por un lado no hay acceso público a los resultados de la labor certificadora realizada hasta la fecha, no disponiendo de información referente al comportamiento energético de estos edificios, que son los que presentan el comportamiento energético y ambiental más desfavorable. Por otro lado, no se dispone de modelos específicos que permitan predecir su comportamiento energético y ambiental en las distintas zonas climáticas de España.

Por tal motivo, ante este grave y complejo problema, el empleo de nuevas técnicas de estudio de simulación energética para establecer el comportamiento energético y ambiental de los distintos tipos de edificios, resultan indispensables; tales como la utilización de técnicas y procedimientos de Inteligencia Artificial (en adelante IA) como son las Redes de Neuronas Artificiales y la Programación Genética.

La presente investigación tiene por objeto demostrar la aplicabilidad de las Redes de Neuronas Artificiales y la Programación Genética al estudio del comportamiento energético y ambiental del edificio, así como de su eficiencia energética, proporcionando una potente y eficaz herramienta de apoyo a la labor certificadora.

En este caso, se realiza el estudio sobre una muestra representativa del parque de edificios existentes, compuesta por inmuebles situados en el Noroeste de España y con diferentes características constructivas.

### **Palabras clave:**

Inteligencia Artificial / Redes de Neuronas Artificiales / Programación Genérica / Eficiencia Energética / Calidad de Aire Interior

---

*“El científico no tiene por objeto un resultado inmediato. Él no espera que sus ideas avanzadas sean fácilmente aceptadas. Su deber es sentar las bases para aquellos que están por venir, y señalar el camino.”*

*“El desarrollo del hombre depende fundamentalmente de la invención. Es el producto más importante de su cerebro creativo”.*

***Nikola Tesla (1.856 – 1.943)***

# ÍNDICE GENERAL

---

ÍNDICE DE FIGURAS (Pág. 8 -11)

INDICE DE TABLAS (Pág. 12 - 14)

ÍNDICE DE ECUACIONES (Pág. 15)

LISTADO DE ACRÓNIMOS (Pág. 16 - 17)

INTRODUCCIÓN (Pág. 18 - 21)

CAPÍTULO 1.- CONTEXTO ENERGÉTICO Y AMBIENTAL EN LA EDIFICACIÓN (Pág. 22 - 59)

- 1.1.- Proceso urbanizador en España y regulación del sector de la edificación
- 1.2.- Relación entre clima, edificación y medioambiente
- 1.3. Situación energética en la Unión Europea y en España
- 1.4.- Dependencia energética en Europa
- 1.5.- Situación socio-política en países proveedores de productos energéticos
- 1.6.-Consumo energético por sectores por fuentes y por sectores
- 1.7.- Situación del sector inmobiliario en la Unión Europea y España (Residencial y Terciario)
- 1.8.- Consumo energético del sector residencial y terciario en España

CAPÍTULO 2.- ESTADO DEL ARTE: FUNDAMENTOS Y EXIGENCIAS NORMATIVAS (Pág. 60 - 189)

- 2.1.- Conceptos y requisitos básicos de los edificios
- 2.2.- Resumen de las diferentes normativas técnicas aplicables al comportamiento térmico de la envolvente de los edificios y su influencia sobre la eficiencia energética
- 2.3.- Calificación de la eficiencia energética en los edificios y su certificación
- 2.4.- Consumo energético y rendimiento de los equipos térmicos de los edificios
- 2.5.- Fundamentos y exigencias normativas relacionados con la calidad del aire interior en los edificios
- 2.6.- Factores ambientales de riesgo en el ambiente interior de los edificios
- 2.7.- Relación entre la eficiencia energética y la calidad de aire interior en los edificios
- 2.8.- Inteligencia artificial, redes neuronales artificiales y sistemas adaptativos
- 2.9.- Computación evolutiva

CAPÍTULO 3.- HIPÓTESIS DE PARTIDA Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN (Pág. 190 - 191)

CAPÍTULO 4.- RECURSOS Y METODOLOGÍA (Pág. 192 - 225)

- 4.1.- Metodología para la calificación de la eficiencia energética en edificios existentes
- 4.2.- Metodología para establecer el ahorro de energía potencial, mediante la simulación energética de implementación de medidas de ahorro pasivas y activas
- 4.3.- Metodología para realizar el análisis de regresión lineal simple de los datos obtenidos
- 4.3.- Metodología para el desarrollo de una aplicación web que permita el registro de datos obtenidos de la calificación de la eficiencia energética y ambiental del edificio
- 4.4.- Descripción del sistema desarrollado para modelar el comportamiento energético y ambiental de los edificios, mediante la aplicación de Redes Neuronales Artificiales
- 4.5.- Metodología para medir “in situ” parámetros relacionados con la calidad de aire interior en edificios de uso terciario

## CAPÍTULO 5.- ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS (Pág. 226 - 270)

- 5.1.- Análisis de los resultados obtenidos relacionados con el OBJETIVO 1
- 5.2.- Análisis de los resultados obtenidos relacionados con el OBJETIVO 2
- 5.3.- Análisis de los resultados obtenidos relacionados con el OBJETIVO 3
- 5.4.- Análisis de los resultados obtenidos relacionados con el OBJETIVO 4

## CAPÍTULO 6.- CONCLUSIONES DE LA INVESTIGACIÓN (Pág. 271 - 279)

- 6.1.- Conclusiones relativas a la eficiencia energética y calidad de aire interior de los edificios evaluados
- 6.2.- Herramienta informática para el registro de los datos obtenidos en el estudio del comportamiento energético y ambiental de los edificios residenciales y terciarios
- 6.3.- Aplicabilidad las Redes Neuronales Artificiales para modelar el comportamiento energético y ambiental de los edificios
- 6.4.- Verificación de la veracidad de la hipótesis de la investigación

## CAPÍTULO 7.- FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN (Pág. 280 - 281)

- 7.1.- Ampliación del alcance de la investigación de la eficiencia energética en edificios destinados a otros usos.
- 7.2.- Relacionadas con la eficiencia energética de la edificación
- 7.3.- Relacionado con calidad de aire interior
- 7.4.- Nuevos desarrollos informáticos para mejorar el registro centralizado de datos
- 7.5.- Aplicación de las Redes Neuronales Artificiales para modelar el comportamiento ambiental interior de los edificios existentes
- 7.6.- Adaptación del algoritmo de PG para una extracción de conocimiento más adaptado

## ANEXOS:

- ANEXO 1: Resultados obtenidos evaluación: eficiencia energética de los edificios evaluados
- ANEXO 2: Resultados obtenidos: Calidad de aire interior en los edificios de usos terciarios evaluados
- ANEXO 3: Modelo de informe de evaluación y certificación de la eficiencia energética de un edificio existente generado con documento reconocido (CE3x)
- ANEXO 4: Glosario
- ANEXO 5: Fuentes de información



## ÍNDICE DE FIGURAS

Núm.	TÍTULO DE LA FIGURA	Pág.
1	Mapa de dependencia energética (Eurostat, 2012)	25
2	Mapa europeo de dependencia energética de gas natural y vías de transporte (La gaceta de los negocios, Viernes, 11. Julio 2014)	28
3	Evolución del consumo de energía primaria en el mundo (1990-2001). (Fuente: <i>B.P Statistical Review of World Energy</i> )	29
4	Distribución consumo de energía primaria en el mundo por fuentes, 2011. (Fuente: <i>B.P Statistical Review of World Energy</i> )	30
5	Consumo de energía final en la Unión Europea por sectores (Eurostat 2011)	30
6	(Fuente: eurostat): Evolución de las emisiones en UE-15 y UE-28 de 1990 a 2011.	31
7	(Fuente: eurostat): Evolución del consumo de energía primaria en UE-15 y UE-28 de 1990 a 2011	31
8	Evolución del consumo de energía final en España por fuentes (1990-2012). (Fuente: <i>MINETUR</i> )	32
9	Consumo de energía final en España por sectores (Eurostat 2011)	32
10	Fig.10.- Zonas climáticas en España (INTEF)	37
11	Evolución del número de viviendas en España (período 2001-2015)	40
12	Evolución del número de viviendas en Comunidades Autónomas (Período 2001 – 2015)	40
13	Evolución del número de viviendas en Galicia (período 2001-2015)	41
14	Zonas climáticas establecidas en el informe del proyecto SPAHOUSEC	42
15	Evolución histórica de la SBA de los Centros Comerciales en España (1981-2015) (AECC)	46
16	Densidad de superficie básica alquilable por comunidades autónomas (m2/1.000 habitantes) (datos suministrados por la AECC) (Gráfico realizado por el autor con el programa Excel – Microsoft)	48
17	Número de centros comerciales y SBA (m2) por comunidades autónomas (datos suministrados por la AECC) (Gráficos realizados por el autor con el programa Excel – Microsoft)	48
18	Número de hoteles por comunidades autónomas 2014 (Sector hotelero en España 2015 – EAE Business School) (Gráfico realizado por el autor con el programa Excel – Microsoft)	52
19	Hoteles por categorías 2008-2014 (Sector hotelero en España 2015 – EAE Business School) (Gráfico realizado por el autor con el programa Excel – Microsoft)	53
20	Consumo anual de energía en Hoteles por categorías 2014 (Sector hotelero en España 2015 – EAE Business School) (Gráfico realizado por el autor con el programa Excel – Microsoft)	54
21	Subsectores terciarios (Grandes consumidores de energía) Serie1: Sup. Hab (m2) / Serie 2: Consumo anual de energía (MWh/año) (Gráfico realizado por el autor con el programa Excel – Microsoft)	59
22	Fachada edificio sede del Banco Pastor (proyectado por los arquitectos Antonio Tenreiro y Peregrín Estellés) fue construido en 1922 y el edificio más alto de España hasta 1929.	91
23	Edificio sede Banca Viñas Aranda (proyectado por el arquitecto D. Antonio Palacios Ramilo) situado en la rúa Reconquista esquina Marqués de Valladares, ayuntamiento de Vigo (Pontevedra) finalizada su construcción en 1944.	92
24	Torre Benita (Plaza San José, A Coruña) su promotor fue D. Benito Pérez, inicialmente proyectada con 18 plantas y finalmente se construyó con 14 plantas (proyectada por el arquitecto D. Andrés Fernández-Albalat Lois) finalizada su construcción en 1.970	93
25	Torre HERCON (calle Costa Rica, A Coruña) con 119 m de altura (proyectada por el arquitecto D. José Antonio Franco Taboada) fue construido desde el 1973 hasta 1975	94
26	Zonificación climática por temperaturas mínimas medidas en enero (Mapa 2 – NBE CT 79)	95
27	Edificio de viviendas de protección autonómica en A Choupana (Cangas – Pontevedra). Proyecto de los arquitectos D. Fermín Bescansa López y D. Javier Estévez Cimadevila (2004)	97
28	Comercial Dolce Vita (Fachada de la Avda. Newton (prefabricado de hormigón blanco) y la de la calle Severo Ochoa (Muro cortina policromático) – A Coruña). Proyecto arquitectónico redactado por Chapman Taylor España (Diciembre 2005)	97
29		

30	Mapa de zonas climáticas planteadas por el CTE – Documento Básico de Ahorro de Energía HE (ver. 2013) (Asociación Nacional de Fabricantes de Materiales Aislantes)	99
31	Registro de documentos reconocidos para la certificación de la eficiencia energética de los edificios (Ministerio de energía, turismo y agenda digital) <a href="http://www.minetad.gob.es/energia/ desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica /DocumentosReconocidos/Paginas/documentosreconocidos.aspx">http://www.minetad.gob.es/energia/ desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica /DocumentosReconocidos/Paginas/documentosreconocidos.aspx</a> )	106
32	Hoja resumen del certificado de eficiencia energética de un inmueble (formato oficial R.D. 235/2013)	107
33	Ejemplo de Etiqueta Energética para vivienda unifamiliar situada en Santiago de Compostela (formato oficial R.D. 235/2013)	108
34	Ejemplo de calificación de eficiencia energética obtenida del programa Herramienta Unificada Lider-Calener	109
35	Fig.35: Ejemplo de certificado de eficiencia energética alemán (se utiliza la escala energética HERS (RESNET), al igual que en los EEUU)	114
36	Ejemplo de etiqueta energética alemana para edificios no residenciales (EnEV 2014 <sup>14</sup> )	116
37	Gráfico de la evolución prevista para el consumo energético. Fuente: Guía explicativa de la RT 2012.	118
38	Ejemplo de certificado de eficiencia energética DPE en Francia (RT 2012)	119
39	Escala francesa de niveles de eficiencia para etiquetas energética y climática (RT 2012)	121
40	Ejemplo de certificado de eficiencia energética en Reino Unido EPC (formato oficial)	124
41	Valores de la escala energética inglesa. Tabla 14 del SAP 2012	129
42	Ejemplo de etiqueta energética en Reino Unido	129
43	Diagrama del método de cálculo establecido para documentos reconocidos para determinar la calificación de eficiencia energética para edificios existentes ( <a href="http://www.certificadosenergeticos.com/como-calcula-escala-calificacion-energetica">http://www.certificadosenergeticos.com/como-calcula-escala-calificacion-energetica</a> )	138
44	Modo de trabajo con Redes de Neuronas Artificiales	163
45	Esquema de Neurona Artificial	164
46	RNA alimentada hacia delante	167
47	RNA con retroalimentación	167
48	Diagrama de funcionamiento general del Algoritmo Genético	180
49	Diagrama de flujo de la Programación Genética	183
50	Árbol para la expresión $2*(3+x)$	184
51	Equipo multifunción Testo 435-2 utilizado en la investigación para la medición de flujo térmico a través de muros y medición de parámetros ambientales interiores.	202
52	Imagen de la fachada, estancia 1 y estancia 2 de la vivienda en las que se realiza la medición	206
53	Sección constructiva del cerramiento vertical del edificio en el que se realiza la medición (detalle constructivo incluido en el proyecto de ejecución)	206
54	Transmitancia térmica medida en el muro de fachada ejemplo vivienda en bloque (estancia 1)	208
55	Transmitancia térmica medida en el muro de fachada ejemplo vivienda en bloque (estancia 2)	208
56	Pantalla de calificación energética de edificios (Documento reconocido CE3x versión 1.3)	210
57	Pantalla de selección de medidas de ahorro energético para la mejora de la eficiencia energética (Documento reconocido CE3x versión 1.3)	211
58	Pantalla de conjunto de medidas mejora con estimación de la eficiencia energética mejorada (Documento reconocido CE3x versión 1.3)	211
59	Página de inicio (Aplicación SGEtech /TFG D. Miguel Sanjurjo Rouco/Prof. Tutor D. Juan Ramón Rabuñal Dopico)	214
60	Fases del Proceso Unificado ( <a href="http://kasyles.blogspot.com/2008/10/integrando-el-pmbok-al-proceso.html">http://kasyles.blogspot.com/2008/10/integrando-el-pmbok-al-proceso.html</a> )	215
67	Sonda IAQ (Indoor Aire Quality) multifunción de testo. Características	224
68	Determinación del número de puntos de muestreo según norma UNE 171.330 – 2: 2009	225
69	Relación de inmuebles que constituyen la muestra de estudio por tipologías de uso (Gráfico realizado por el autor con el programa Excel – Microsoft)	226
70	Relación de superficies por tipologías de uso (Gráfico realizado por el autor con el programa Excel – Microsoft)	227
71	Gráfico de dispersión para los valores de U opaco y Demanda de energía calorífica en los edificios de usos terciarios (Gráfico realizado por el autor con el programa Excel – Microsoft)	233
72	Gráfico de dispersión para los valores de U hueco y Demanda de energía calorífica en los edificios de usos terciarios (Gráfico realizado por el autor con el programa Excel – Microsoft)	233
73	Gráfico de dispersión para los valores de año de construcción y transmitancia térmica U opaco en los edificios de usos terciarios (Gráfico realizado por el autor con el programa Excel – Microsoft)	234

74	Gráfico de dispersión para los valores de año de construcción y demanda de energía calorífica en los edificios de usos terciarios (Gráfico realizado por el autor con el programa Excel – Microsoft)	234
75	Gráfico de dispersión para los valores de Emisividad CO <sub>2</sub> y demanda de energía calorífica en los edificios de usos terciarios (Gráfico realizado por el autor con el programa Excel – Microsoft)	235
76	Gráfico de dispersión para los valores de Emisividad CO <sub>2</sub> y Consumo de energía primaria en los edificios de usos terciarios (Gráfico realizado por el autor con el programa Excel – Microsoft)	235
77	Gráfico de dispersión para los valores de U opaco y Consumo de energía primaria en los edificios de usos terciarios (Gráfico realizado por el autor con el programa Excel – Microsoft)	236
78	Gráfico de dispersión para los valores de U en huecos del cerramiento exterior y Consumo de energía primaria en los edificios de usos terciarios (Gráfico realizado por el autor con el programa Excel – Microsoft)	236
79	Gráfico de dispersión para los valores de Año de construcción y Consumo de energía primaria en los edificios de usos terciarios (Gráfico realizado por el autor con el programa Excel – Microsoft)	237
80	Gráfico de dispersión para los valores de demanda de energía calorífica y consumo de energía primaria en los edificios de usos terciarios (Gráfico realizado por el autor con el programa Excel – Microsoft)	237
81	Gráfico de dispersión para los valores de U opaco y Demanda de energía calorífica en los edificios de uso residencial (Gráfico realizado por el autor con el programa Excel – Microsoft)	238
82	Gráfico de dispersión para los valores de U hueco y Demanda de energía calorífica en los edificios de uso residencial (Gráfico realizado por el autor con el programa Excel – Microsoft)	238
83	Gráfico de dispersión para los valores de año de construcción y transmitancia térmica U opaco en los edificios de uso residencial (Gráfico realizado por el autor con el programa Excel – Microsoft)	239
84	Gráfico de dispersión para los valores de año de construcción y demanda de energía calorífica en los edificios de uso residencial (Gráfico realizado por el autor con el programa Excel – Microsoft)	239
85	Gráfico de dispersión para los valores de Emisividad CO <sub>2</sub> y demanda de energía calorífica en los edificios de uso residencial (Gráfico realizado por el autor con el programa Excel – Microsoft)	240
86	Gráfico de dispersión para los valores de Emisividad CO <sub>2</sub> y Consumo de energía primaria en los edificios de uso residencial (Gráfico realizado por el autor con el programa Excel – Microsoft)	240
87	Gráfico de dispersión para los valores de U opaco y Consumo de energía primaria en los edificios de uso residencial (Gráfico realizado por el autor con el programa Excel – Microsoft)	241
88	Gráfico de dispersión para los valores de U en huecos del cerramiento exterior y consumo de energía primaria en los edificios de uso residencial (Gráfico realizado por el autor con el programa Excel – Microsoft)	241
89	Gráfico de dispersión para los valores de año de construcción y consumo de energía primaria en los edificios de uso residencial (Gráfico realizado por el autor con el programa Excel – Microsoft)	242
90	Gráfico de dispersión para los valores de demanda de energía calorífica y consumo de energía primaria en los edificios de uso residencial (Gráfico realizado por el autor con el programa Excel – Microsoft)	242
91	Pantalla de registro de usuarios (Aplicación SGEtech /PFC D. Miguel Sanjurjo Rouco / Prof. Tutor D. Juan Ramón Rabuñal Dopico)	245
92	Diagrama de flujo del proceso de carga individual de los datos de un edificio (Aplicación SGEtech / PFC D. Miguel Sanjurjo Rouco / Prof. Tutor D. Juan Ramón Rabuñal Dopico)	246
93	Plantilla para la carga múltiple de edificios (Aplicación SGEtech / PFC D. Miguel Sanjurjo Rouco / Prof. Tutor D. Juan Ramón Rabuñal Dopico)	247
94	Pantalla Detalles del edificio – datos relativos a la eficiencia energética y calidad de aire interior (Aplicación SGEtech / PFC D. Miguel Sanjurjo Rouco / Prof. Tutor D. Juan Ramón Rabuñal Dopico)	248
95	Pantalla Detalles del edificio – datos relativos a la eficiencia energética y calidad de aire interior (Aplicación SGEtech / PFC D. Miguel Sanjurjo Rouco / Prof. Tutor D. Juan Ramón Rabuñal Dopico)	249
96	Pantalla Detalles del edificio con mapa de localización del inmueble (Aplicación SGEtech / PFC D. Miguel Sanjurjo Rouco / Prof. Tutor D. Juan Ramón Rabuñal Dopico)	249
97	Pantalla Detalles del edificio – Imágenes asociadas (Aplicación SGEtech / PFC D. Miguel Sanjurjo Rouco / Prof. Tutor D. Juan Ramón Rabuñal Dopico)	250
98	Imagen expandida Fancybox (Aplicación SGEtech / PFC D. Miguel Sanjurjo Rouco / Prof. Tutor D. Juan Ramón Rabuñal Dopico)	251
99	Función de Activación que mejores resultados produce	255
100	U-Opaco a partir de las 4 entradas (año construcción, superficie de la vivienda, Latitud, Longitud. (Predicción del U-Opaco)	256
101	U-Opaco a partir de sólo el año construcción (predicción del U-Opaco)	257
102	U-Opaco a partir de solo superficie útil habitable de la vivienda (predicción del U-Opaco)	257
103	U-Opaco a partir de la Latitud y Longitud (predicción del U-Opaco)	258

104	U-Opaco a partir del año de construcción y la superficie útil de la vivienda (predicción del U-Opaco)	258
105	Resultados del entrenamiento de una RNA para la predicción del U-Opaco de las viviendas en bloque residencial	259
106	Resultados del entrenamiento de una RNA para la predicción del U-opaco de las viviendas en bloque residencial	260
107	Comparativa entre los valores obtenidos de la medición del U-Opaco y la predicción realizada por la RNA en las viviendas en bloque	260
108		
109	Resultados del entrenamiento de una RNA para la predicción del U-opaco de las viviendas unifamiliares	261
110	Comparativa entre los valores obtenidos de la medición del U-Opaco y la predicción realizada por la RNA en las viviendas unifamiliares	261
111	Resultados del entrenamiento de una RNA para la predicción del U-Opaco de las viviendas unifamiliares y en bloque	262
112	Resultados del entrenamiento de una RNA para la predicción del U-opaco de las viviendas unifamiliares y en bloque (incluido una entrada adicional a la RNA que indique la tipología de edificio)	263
113	Comparativa entre los valores obtenidos de la medición del U-Opaco y la predicción realizada por la RNA en las viviendas en bloque y viviendas unifamiliares	263
114	Ejecución del software GeneXprotocols donde se visualiza la comparativa de ajuste de la ecuación obtenida con los valores reales del u-opaco para los casos de viviendas unifamiliares.	268
115	Resultados del proceso de extracción de conocimiento en forma de ecuación matemática para la predicción del U-Opaco de las viviendas unifamiliares mediante expresiones Genéticas.	268
116	Resultados del proceso de extracción de conocimiento en forma de ecuación matemática para la predicción del U-opaco de las viviendas unifamiliares mediante Programación Genética	269
117	Comparativa entre los valores obtenidos de la medición del U-Opaco y la predicción realizada por la ecuación matemática en las viviendas unifamiliares	270

## ÍNDICE DE TABLAS

Núm.	TÍTULO DE LA TABLA	Pág.
1	Comparativa entre la dependencia europea y la española (Eurostat, 2012)	27
2	Evolución del parque inmobiliario residencial en España (período 2001-2015) Ministerio de Fomento	39
3	Evolución del parque inmobiliario residencial en Galicia (período 2001-2015) Ministerio de Fomento	41
4	Distribución de viviendas en España por zonas climáticas y tipología. (Ministerio de Fomento)	42
5	Consumo (Gj) de energía por vivienda según zonas climáticas y tipología. (IDAE)	43
6	Consumo (kW.h) de energía por vivienda según zonas climáticas y tipología. (IDAE)	43
7	Clasificación de los edificios de uso comercial en función de su superficie y uso (Asociación Española de Centros Comerciales)	46
8	Ratio de superficie básica alquilable por cada 1000 habitantes en algunos países de la Unión Europea (Eurostat)	47
9	Evolución histórica del número y superficie básica alquilable (SBA) en los centros comerciales en España (Asociación Española de Centros Comerciales)	47
10	Porcentajes medios de consumo energético por servicios técnicos implementados en los centros comerciales	49
11	Evolución del número de hoteles 2008 – 2014 por CC.AA. (Sector hotelero en España 2015 – EAE Business School)	52
12	Evolución del número de hoteles 2008 – 2014 por categorías (Sector hotelero en España 2015 – EAE Business School)	53
13	Estimación del consumo anual en hoteles por categorías (Elaboración propia)	54
14	Centros docentes no universitarios en España, CC.AA. y provincias zona Noroeste – Ministerio de Educación (Secretaría de estado de educación, formación profesional y universidades) (elaboración propia)	55
15	Centros docentes universitarios en España, CC.AA. y provincias zona Noroeste Ministerio de Educación (Secretaría de estado de educación, formación profesional y universidades) (elaboración propia)	56
16	Centros hospitalarios en España Centros hospitalarios en España (datos extraídos del Catálogo Nacional de Hospitales 2015 – Ministerio de Sanidad. Servicios sociales e Igualdad) (estimación de superficie y consumo energético - elaboración propia)	57
17	Edificios administrativos de la Administración General del Estado (Fuente: Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital – Inventario energético de los edificios de la Administración General del Estado – dic 2016)	58
18	Resumen de consumos anuales de energía por tipologías de inmueble (elaboración propia)	59
19	Objetivo y documentos secciones del Documento Básico de ahorro de energía HE (elaboración propia)	64
20	Objetivo y documentos secciones del Documento Básico de salubridad HS (elaboración propia)	64
21	Tabla 21. Criterios para los parámetros de Temperatura, Humedad Relativa y Velocidad del aire, en lugares interiores de trabajo (R.D. 486/1997)	65
22	Criterios del RD 486/1997 para la renovación mínima del aire de los locales de trabajo	66
23	Criterios del RD 2429/79 (NBE CT 79) Valores máximos de los coeficientes de transmisión para los cerramientos exteriores del edificio	71
24	Demanda energética máxima para refrigeración de los locales habitables en función de la carga interna (CTE – DB HE1)	75
25	Clasificación de los locales habitables en función de la carga interna (CTE – DB HE1-2013)	75
26	Porcentaje de ahorro de la demanda conjunta (calefacción y refrigeración) (CTE – DB HE1- 2013)	75
27	Requisitos básicos que debe cumplir la envolvente térmica de los edificios (CTE – DB HE1 - 2013)	76
28	Valores límite de eficiencia energética de la instalación (Tab. 2.1 Sección HE3 del CTE - 2013)	77

29	Contribución solar mínima anual en % por zonas climáticas para edificios (tabla 2.1 CTE DB HE4 - 2013)	78
30	Contribución solar mínima anual en % por zonas climáticas para piscinas cubiertas (tabla 2.2 CTE DB HE4-2013)	78
31	Demanda de ACS de referencia a 60°C para edificios según uso al que se destine (CTE – DB HE4-2013)	78
32	Caudales de ventilación mínimos exigidos para viviendas en l/s (Apartado 2.1 del CTE DB HS 3 – 2009)	80-151
33	Índice de la primera parte del Reglamento de Instalaciones térmicas en los edificios (RITE – R.D. 1027/2007)	82
34	Índice de la segunda parte del Reglamento de Instalaciones térmicas en los edificios (RITE – R.D. 1027/2007)	82
35	Requisitos de temperatura y humedad relativa para ambientes interiores (RITE – R.D. 1027/2007)	83
36	Clasificación de la calidad de aire interior y caudales mínimos de aire exterior (RITE – R.D. 1027/2007)	83
37	Clasificación de la calidad de aire interior y contenidos máximos de concentración de CO <sub>2</sub> (RITE – R.D. 1027/2007)	83
38	Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con aire exterior en m <sup>2</sup> .K/W (Tabla E1- CTE DB HE1 – Apéndice E)	86
39	Temperaturas del ambiente interior (Tabla 3 – NBE CT 79)	95
40	Valor límite máximo del KG en kCal/h.m <sup>2</sup> .°C (W/m <sup>2</sup> .K) por zonas climáticas (Tabla 1 - NBE CT 79)	96
41	Valores máximos de los coeficientes de transmisión para los cerramientos exteriores del edificio (Criterios del RD 2429/79 - NBE CT 79)	96
42	Transmitancia térmica máxima de cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica U (W/m <sup>2</sup> .°K) (tabla 2.1 CTE documento básico de ahorro de energía HE - sección HE1 2006)	98
43	Transmitancia térmica máxima y permeabilidad al aire de los elementos de la envolvente térmica (Tabla 2.3 CTE documento básico de ahorro de energía HE - sección HE1 Limitación de la demanda energética 2013)	99
44	Comparación entre valores límite de U (W/m <sup>2</sup> .K) recomendados en el estudio EURIMA/ECOFYS VII para óptimo económico y los valores contemplados en el CTE HE1 (ver. 2013) para las distintas zonas climáticas.	100
45	Valor base y factor corrector por superficie del consumo energético (Tabla 2.1 del CTE-DB HE0 – 2013)	103
46	Valor base y factor corrector por superficie de la demanda energética de calefacción (Tabla 2.1 del CTE-HE1- 2013)	103
47	Tabla I y Tabla II con los valores de calificación energética de edificios destinados a vivienda y otros usos respectivamente obtenidas del RD 45/2007, de 19 de enero, por el que se aprueba el Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción	108
48	Herramientas informáticas asociadas a documentos reconocidos para la certificación de la eficiencia energética en edificios (Ministerio de Industria, Turismo y Agenda Digital).	111
49	Transmitancia térmica máxima U (W/m <sup>2</sup> .K) para edificios residenciales y de otros usos en base a los datos de la norma EnEV 2014	113
50	Transmitancia térmicas máximas U (W/m <sup>2</sup> .K) para edificios residenciales y de otros usos que se rehabiliten en base a los datos de la norma EnEV 2014	113
51	Tabla del anexo 10 de la EnEV 2014 con los valores de calificación energética de edificios destinados a vivienda	116
52	Variación de valores de transmitancia térmica máximas U (W/m <sup>2</sup> .K) para edificios, según BR 2012 (Reglamentos de construcción del Reino Unido).	123
53	Comparación entre los valores máximos de transmisión térmica U (W/m <sup>2</sup> .K) exigidos para cada cerramiento (según Normativas técnicas de cada país)	131
54	Niveles de eficiencia energética de un edificio residencial en función del índice de calificación (R.D. 47/2007)	137
55	Niveles de eficiencia energética de un edificio terciario en función del índice de calificación (R.D. 47/2007)	138
56	Factores de emisión de CO <sub>2</sub> para las diferentes fuentes de energía final utilizadas en los edificios (IDAE, marzo 2014)	139
57	Contribuciones máximas recomendadas para producción de agua caliente sanitaria mediante sistemas de captación solar térmica, teniendo en cuenta su viabilidad económica (recomendaciones del autor en base a cálculos realizados con el método CENSOLAR, elaboración propia).	147

58	Caudal mínimo de aire exterior y concentración máxima de CO <sub>2</sub> para locales en edificios por categoría de ambiente interior (Instrucción técnica 1.1 Exigencia de bienestar e higiene)	152
59	Intervalo de temperatura operativa y humedad relativa exigibles para ambientes interiores en los edificios (RITE tabla 1.4.1.1 – Confort Ambiental).	156
60	Métodos de control y criterios para la valoración de parámetros relacionados con la calidad de aire interior (según norma UNE 171330-2:2009, artículo 5.3 Métodos de análisis y criterios de valoración)	156
61	Exigencia de recuperación de calor del aire de extracción (I.T. 1.2.4.5 Eficiencia de la recuperación del RITE)	159
62	Lista de ítems del modelo tipo de informe de evaluación del edificio para recopilar datos de cerramientos, cubiertas y equipos térmicos (Anexo II del R.D. 233/2013)	198
63	Características de la sonda de superficie 0614 1635 para determinar la temperatura en la cara interior de la pared (web fabricante TESTO)	202
64	Factor solar y Transmitancia para soluciones comerciales de acristalamientos	203
65	Valores aproximados de transmitancias (W/m <sup>2</sup> .K) para los marcos más frecuentes utilizados en la edificación.	203
66	Transmitancias térmicas teóricas estimadas con el CE3x para un muro de fachada similar al del edificio en el que se realiza la medición.	207
67	Valores máximos para el coeficiente de transmisión térmica para cerramientos K in Kcal/h m <sup>2</sup> °C (W/m <sup>2</sup> .°C) (según artículo 5 de la NBE CT 79)	209
68	Selección de datos de eficiencia energética iniciales y mejorados en edificios de uso comercial (Elaboración propia con programa Excel de Microsoft)	211
72	Distancia mínima desde la cara interior del elemento al punto de muestreo (según norma UNE 171.330 – 2: 2009 tabla 1).	225
73	Relación de inmuebles que constituyen la muestra de estudio por tipologías de uso (Elaboración propia)	226
74	Resumen de parámetros relacionados con el comportamiento energético y ambiental de los edificios que componen la muestra seleccionada (Elaboración propia)	232
75	Resumen de los resultados obtenidos en la medición de parámetros de calidad ambiental interior en edificios en bloque de uso residencial (Elaboración propia)	243
76	Resumen de los resultados obtenidos en la medición de parámetros de calidad ambiental interior en edificios de usos terciarios residencial (Elaboración propia).	243
77	Resumen de los datos obtenidos mediante la simulación energética de la implantación de medidas de ahorro energético pasivas y activas (Elaboración propia)	244
78	Resumen comparativo entre los resultados obtenidos para las Transmitancias de los edificios por tipologías y los valores máximos admisibles establecidos por la normativa actual (CTE DB HE1)	271
79	Resumen por tipologías de la reducción de la demanda de energía calorífica con la simulación energética de la implantación de medidas de ahorro energético (valores obtenidos con el módulo de simulación del CE3x).	272
80	Resumen por tipologías de la reducción de las emisiones de CO <sub>2</sub> con la simulación energética de la implantación de medidas de ahorro energético (valores obtenidos con el módulo de simulación del CE3x).	272
81	Resumen por tipologías de la reducción del consumo de energía primaria no renovable con la simulación energética de la implantación de medidas de ahorro energético (valores obtenidos con el módulo de simulación del CE3x)	273
82	Estimación del impacto económico anual que se produciría con la implantación de las medidas de ahorro energético previstas en las distintas tipologías de edificios	273
83	Resumen de coeficientes de correlación lineal simple entre distintas variables relacionadas con la demanda y el consumo energético de los edificios destinados a uso terciario que conforman la muestra	274
84	Resumen de coeficientes de correlación lineal simple entre distintas variables relacionadas con la demanda y el consumo energético de los edificios destinados a uso residencial que conforman la muestra	275
85	Valores promedio de parámetros IAQ medidos en edificios destinados a uso residencial y terciario	277

## ÍNDICE DE ECUACIONES

ID	ECUACIÓN	Ref. Pág.
1	Calor necesario mantener una temperatura interior $T_i$ en un edificio	66
2	Cálculo del valor límite para el consumo de energía primaria no renovable de un edificio (según documento básico de ahorro de la energía HE – sección HE0)	74
3	Cálculo del valor límite para demanda energética de calefacción de un edificio (según documento básico de ahorro de la energía HE – sección HE0)	74-75
4	Cálculo del Valor de Eficiencia Energética de la Instalación (VEEI) (CTE Documento Básico HE – sección HE3)	77
5	Cálculo de la potencia eléctrica mínima que produce el sistema solar fotovoltaico según documento básico de ahorro de la energía HE – sección HE5)	79
6	Cálculo de la transmitancia térmica de un elemento constructivo	86
7	Cálculo de la resistencia térmica de un muro compuesto por varias capas	86
8	Cálculo de la resistencia térmica de un material en función de su espesor y conductividad	87
9	Cálculo de la resistencia térmica de un material en función de su espesor y conductividad o a partir de su transmitancia U	89
10	Cálculo del consumo en función de la demanda energética y el rendimiento de los equipos térmicos	136
11	Cálculo de índices de calificación de eficiencia energética C1 y C2 en función de la emisión de Dióxido de Carbono $CO_2$ asociada a los distintos equipos térmicos	137
12		
13	Cálculo del rendimiento conjunto de equipos fraccionados	145
14	Cálculo del porcentaje (%) de aire exterior en función del contenido de $CO_2$	157
15	Combinación de señales de una Neurona	164
16	Función de Activación	165
17.1	Función tangente hiperbólica	166
17.2	Función sigmoide	
17.3	Función tangente hiperbólica	
18	Operador %	185
19	Fórmula de ajuste	189
20	Fórmula de ajuste normalizado	189
21	Transmitancia del hueco del cerramiento en función de las Transmitancias del marco y del acristalamiento y del % de superficie que ocupa cada uno de ellos	202
22	Transmitancia de un muro multicapa en función de la resistencia térmica global de los materiales que lo componen	205
23	Resistencia térmica del muro en función de las resistencias térmicas de cada capa que lo conforman	205
24	Resistencia térmica de una capa en función del espesor (m) y de la conductividad térmica de diseño (UNE EN IS 456:2001)	205
25	Cantidad de calor transferido a través de un muro en función de las temperaturas interior y exterior	205
26	Función genérica para establecer la relación entre un dato a partir de otro, considerando el error aleatorio	213
27	Función genérica para establecer la recta que relacionan las variables x e y	213
28	Función de ajuste usando parsimonia	222
29	Número de puntos de muestreo para medir parámetros IAQ en función de la superficie construida (según norma UNE 171.330 – 2: 2009).	224



## LISTADO DE ACRÓNIMOS

---

**AC:** Aire Acondicionado

**AECC:** Asociación Española de Centros Comerciales

**AENOR:** Asociación Española de Normalización y Certificación

**ASHRAE:** American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers (Sociedad Americana de Ingenieros en Calefacción, Refrigeración y Aires Acondicionados)

**ASTM:** American Society for Testing and Materials

**BOE:** Boletín Oficial del Estado

**BRS:** Building Research and Standards Office (DOE)

**CENSOLAR:** Centro de Estudios de la Energía Solar

**CTE:** Código Técnico de la Edificación

**CO:** Monóxido de carbono

**CO<sub>2</sub>:** Dióxido de carbono

**COP:** coefficient of performance (coeficiente de desempeño)

**DB:** Documento básico del Código Técnico de la Edificación

**DB-HE:** Documento básico del CTE de Ahorro de Energía.

**DB-HS:** Documento básico del CTE de Salubridad.

**DB-SI:** Documento básico del CTE de Seguridad en caso de incendio

**EPA:** Environmental Protection Agency

**EPACT:** Acta de Política Energética (EU)

**IA:** Inteligencia Artificial

**INSHT:** Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo

**LFC:** lámpara fluorescente compacta

**LED:** light-emitting diode

**LEED:** Leadership in Energy & Environmental Design

**LOE:** Ley de Ordenación de la Edificación

**MAEC:** Ministerio de Asuntos Exteriores y de Cooperación

**MAPAMA:** Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente

**MECD:** Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

**MEYSS:** Ministerio de Empleo y Seguridad Social

**MFOM:** Ministerio de Fomento

**MINECO:** Ministerio de Economía, Industria y Competitividad

**MINETAD:** Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital

**MINHAFP:** Ministerio de Hacienda y Función Pública

**MIR:** Ministerio del Interior

**MJUSTICIA:** Ministerio de Justicia

**MPR:** Ministerio de la Presidencia y para las Administraciones Territoriales

**MSSSI:** Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad

**Mtep:** Millón de toneladas equivalentes de petróleo.

**NBE:** Norma básica de la Edificación

**NBE CT 79:** Norma básica de la Edificación de Condiciones Térmicas en los Edificios (1979).

**NTP:** Nota técnica de prevención

**PG:** Programación Genética

**PVC:** Policloruro de vinilo

**RITE:** Reglamento de Instalaciones Técnicas de los Edificios

**RNA:** Red de Neuronas Artificiales

**RR.NN.AA.:** Redes de Neuronas Artificiales

**UE:** Unión Europea

**UNE:** Una Norma Española. Son un conjunto de normas, normas experimentales e informes (estándares) creados en los Comités Técnicos de Normalización (CTN) de la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR).

**UNFPA:** United Nations Fund for Population Activities

**UTA:** Unidad de tratamiento de aire

## INTRODUCCIÓN

---

En la actualidad, la evolución y la estabilidad de los países, en gran medida, está condicionada al contexto energético y ambiental, por lo que la mayoría de los países desarrollados han tenido que aplicar estrategias con un doble objetivo: el primero, lograr un ansiado ahorro energético, así como la diversificación de las fuentes energía utilizadas que permitan incrementar su independencia energética; y en segundo reducir de forma drástica la producción de gases de efecto invernadero que contribuyen a la aceleración del cambio climático.

A raíz de la primera crisis energética mundial que comenzó el 23 de agosto de 1973, por el que la Organización de Países Árabes Exportadores de Petróleo adoptan la decisión de no suministrar petróleo a Estados Unidos y a los países de la Europa Occidental, en la que se produce un rápido encarecimiento del precio del petróleo, lo cual produjo un efecto devastador en las economías de los países desarrollados y supuso que se tomaran las primeras medidas encaminadas a reducir los consumos energéticos en todos los sectores productivos, especialmente en subsectores como el de los edificios existentes<sup>1</sup>.

Esta primera crisis petrolera ha supuesto el inicio de una serie de crisis que se han producido periódicamente (como la del “viernes negro” en Teherán 1979; o la de la guerra de Irán e Irak en 1980, o la más reciente año 2011 en la que el precio del barril de Brent supera la barrera de los 111 dólares); por lo que la mayor parte de los países europeos han adoptado una serie de normativas que regulaban el comportamiento energético de los edificios y las condiciones térmicas de las soluciones constructivas que se utilizaban en sus cerramientos; con un objetivo final: reducción drástica de la energía consumida por el parque de edificios existentes.

A esta problemática de carácter energético, se le añade una segunda de carácter ambiental, derivada del efecto que causan en la atmósfera los gases de efecto invernadero que inciden en la aceleración del cambio climático, gases entre los que se encuentra el dióxido de carbono, cuyo contenido en la atmósfera ha aumentado considerablemente en los últimos años y que se produce, en parte, como consecuencia de actividades productivas, como la combustión de productos derivados de los combustibles fósiles en los equipos térmicos encargados de mantener las condiciones ambientales en el interior de los edificios.

---

<sup>1</sup> Barcelo Rico-Avello G: La energía en la Edificación: Política energética y ahorro de energía. (2ª Edición). Madrid: Editorial Index, (1.978)

Si tenemos en cuenta que en Europa, el sector de la edificación y servicios (que incluyen los edificios de uso residencial y terciarios) son responsables del 36% del total de las emisiones de CO<sub>2</sub> y de aproximadamente el 40% del consumo total de energía primaria, es razonable pensar que las intervenciones en los edificios existentes, ya sean residenciales o terciarios, orientadas a reducir la energía consumida y las emisiones de CO<sub>2</sub>; tienen una especial relevancia.

Como respuesta a esta situación y como medio para dar una solución a todos estos problemas, se acuerdan protocolos internacionales, encaminados a la reducción de las emisiones de estos gases de efecto invernadero, como consecuencia de la Convención del Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), como el protocolo de Montreal (1.987), el protocolo de Kioto (1.997), conferencia de Bali (2007).

Como consecuencia de estas actuaciones mundiales, a partir de 2002, la mayoría de los países europeos adoptan una visión integral de las dos problemáticas energética y ambiental, por lo que se redacta la primera directiva europea relativa a la eficiencia energética de los edificios, los edificios mediante la implantación de una metodología para establecer la eficiencia energética en los edificios nuevos y existentes; que permita determinar:

- Las características térmicas del edificio y su demanda energética.
- El rendimiento real de los equipos térmicos y su consumo de energía.
- Utilización de sistemas de alta eficiencia y otros basados en Energía Renovables.
- El nivel de emisiones de CO<sub>2</sub> producidas por el edificio.

A través es esta sistemática, en las sucesivas directivas que regulan este ámbito tecnológico, se ha venido aumentando el nivel de exigencia, implantando acciones encaminadas al incremento progresivo de la eficiencia energética en los edificios, que permitan alcanzar los dos objetivos propuestos, reducir el consumo de energía y reducir las emisiones de gases como el CO<sub>2</sub>.

En los acuerdos adoptados recientemente por el Consejo Europeo en materia de cambio climático, como el marco de actuación en materia de clima y energía hasta el año 2030 (2014), el acuerdo de París (2015); se han propuesto algunos objetivos concretos, tales como:

- El compromiso de seguir reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero, fijando para 2030 un objetivo de reducción del 40% con respecto a los niveles de 1990
- Un objetivo de energía renovable de al menos el 27% del consumo energético, con flexibilidad para que los Estados miembros establezcan objetivos nacionales.
- Una mejora de la eficiencia energética mediante posibles modificaciones de la Directiva sobre eficiencia energética.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Consejo de la Unión Europea: Lucha contra el cambio climático (<http://www.consilium.europa.eu/es/policies/climate-change/2030-climate-and-energy-framework>)

Para lograr cumplir estos objetivos, es necesario disponer de la mayor cantidad de información posible sobre el comportamiento energético y ambiental de los edificios que integran el patrimonio inmobiliario existente, diferenciando entre los perfiles energéticos y ambientales en función de los usos a los que se destinan, así como entre las distintas épocas en las que se construyen o rehabilitan, ya que de estos dos factores depende el tipo de solución constructiva que se adopte como cerramiento en la envolvente térmica del edificio y de las características energéticas de los equipos térmicos necesarios para acondicionar su ambiente interior y para producir el agua caliente sanitaria necesaria.

Por tal motivo, ante este grave y complejo problema, el empleo de nuevas técnicas de estudio de simulación energética para establecer el comportamiento de los distintos tipos de edificios, resultan indispensables; tales como la utilización de técnicas y procedimientos de Inteligencia Artificial (en adelante IA) como son las Redes de Neuronas Artificiales para realizar predicciones del comportamiento energético y ambiental, cuando aún es posible adoptar soluciones eficientes.

También resulta útil establecer nuevas metodologías en la evaluación de la eficiencia energética de los edificios existentes, en las que se realiza la medición “in situ” de parámetros térmicos indicativos de la transmisión térmica real en los cerramientos o los valores reales de infiltración de aire procedente del exterior; así como aquellos que permitan determinar parámetros energéticos en los equipos térmicos, tales como el rendimiento.

Es evidente que la utilización de distintos equipos de medición aportan al técnico certificador o al responsable de la gestión de la explotación del inmueble un nivel de información más precisa, especialmente en los grandes edificios de usos terciarios, obtener datos más fiables para realizar las simulaciones energéticas, que permitirán determinar el tipo de intervención más conveniente para mejorar la eficiencia energética del edificio en cuestión.

La investigación llevada a cabo en la presente tesis, pretende realizar aportaciones en el citado sentido.

La presente memoria está estructurada en varios capítulos de forma que se propicie una aproximación por fases a la problemática objeto del estudio y a los materiales y métodos utilizados para llevar a cabo la fase de experimentación y el análisis de los resultados del mismo. Se estructura como sigue:

- *Análisis contextual:* se comienza por una exposición de la situación actual en el sector de la edificación, aportando una evaluación del consumo energético en cada tipología de edificios de uso residencial y terciario, exponiendo el estado del arte del sector.
- *Avances Tecnológicos y metodologías:* se exponen los métodos y técnicas existentes actualmente para analizar y calificar el comportamiento energético y ambiental de los edificios, así como nuevas aproximaciones basadas en técnicas y procedimientos de Inteligencia Artificial, en concreto los existentes para desarrollar herramientas basadas en Redes de Neuronas Artificiales (en adelante RR.NN.AA.), aplicadas a la Ingeniería de la Edificación.

Se describe qué son las RR.NN.AA., tanto desde la perspectiva biológica como desde la perspectiva artificial de sus componentes y la interrelación entre ellos.

Se mostrará cual es el proceso de entrenamiento de estas RR.NN.AA. y los tipos, así como las características específicas de las redes con arquitectura recurrente.

También se aportarán nociones acerca de otras técnicas de IA, conocidas como son la Computación Evolutiva (CE), Algoritmos Genéticos y Programación Genética, su funcionamiento y la forma en la que se realiza el algoritmo de extracción de expresiones aritméticas que obtenga todas las ventajas de la CE en la resolución de problemas vinculados a la Ingeniería de la Edificación.

- *Aplicación de las tecnologías a la muestra de estudio:* una vez determinada la muestra sobre la que se realiza el estudio (edificios de diferentes tipologías), se aplican los métodos y las técnicas previamente expuestas para determinar las características energéticas y ambientales de los edificios.
- *Resultados obtenidos:* se exponen y comparan los resultados obtenidos al aplicar las técnicas anteriormente descritas sobre la muestra de estudio, con el objeto de establecer modelos de eficiencia energética de los inmuebles.
- *Conclusiones de la investigación:* se enumeran las conclusiones extraídas de los resultados obtenidos relativos a los objetivos establecidos para la confirmación o refutación de la hipótesis formulada para esta investigación llevada a cabo.
- *Futuras líneas de investigación:* para concluir se explican varios enfoques de interés, para futuros trabajos de investigación, relativos a estudio del comportamiento energético y ambiental en el sector de la edificación.
- *Anexos:* se acompaña a esta memoria de una serie de anexos con información detallada de los estudios de campo realizados y sus resultados, así como las fuentes de información consultadas por el autor, entre otros.

# CONTEXTO ENERGÉTICO Y AMBIENTAL EN EL SECTOR DE LA EDIFICACIÓN

---

En este capítulo, se realiza una aproximación a la situación energética actual de la Unión Europea y a la generada por el parque inmobiliario en España, que se encuentra caracterizado por su antigüedad y escasa eficiencia energética. Utilizando los datos estadísticos proporcionados por diversas instituciones (como entes administrativos, asociaciones sectoriales y empresas de consultoría especializada en el sector terciario), se realiza una estimación del consumo de energía por tipologías edificatorias, que permite establecer el punto de partida para el análisis posterior.

### 1.1. Proceso urbanizador en España y regulación del sector de la edificación

El contexto general de esta investigación se enmarca en el sector de la edificación, y por lo tanto resulta inevitable hacer mención de las razones por las cuales la inversión inmobiliaria en España ha adquirido en los últimos 15 años una intensidad y magnitud extraordinarias (especialmente significativo en el período que abarca desde 1.995 hasta 2.007)

Entre otras razones, la rápida revalorización de los activos inmobiliarios, las ventajas fiscales otorgadas a este tipo de inversiones y los bajos tipos de interés hipotecario, son los factores que ha provocado la focalización y la escasa diversificación de las inversiones realizadas por las familias, empresas, entidades bancarias; no quedando exentas de este riesgo un número considerable de administraciones (locales, autonómicas y estatales); provocando una evidente sobredimensión de la actividad inmobiliaria - constructiva y consecuentemente del nivel de endeudamiento público y privado.

El colapso de este proceso inversor, provocado entre otras razones, por el cambio de tendencia en el sector, ya que la demanda de vivienda ha caído bruscamente, lo que unido a un stock elevado de vivienda sin comercializar (cabe destacar, que según el Ministerio de Fomento en su informe sectorial "*Informe sobre el stock de vivienda 2015*", estima que existe el stock de inmuebles pendientes de comercialización, asciende en diciembre 2015 a 513.848 viviendas), ha supuesto una reducción drástica de la actividad productiva, que se extenderá hasta que el mercado no comercialice una buena parte de dicho stock, lo que implica que esta situación se prolongue al menos hasta el año 2022.

El alto nivel de ingresos a que nos tenía habituada esta situación excepcional, ha venido acentuando un "efecto riqueza" derivado de las plusvalías inmobiliarias y la pujante actividad constructiva, factores que acentuaron la euforia consumista en el sector privado y propiciaron una falta de criterio a la hora de abordar las inversiones del sector público, habituándose las administraciones a un elevado nivel de gasto, basado en la recaudación asociada a esta actividad económica.

Como consecuencia de este comportamiento anómalo del sector inmobiliario-constructivo, la inversión realizada en edificios de uso público, tanto por parte de las administraciones que disponían de ingresos excepcionales debido al hecho edificatorio que impuso la práctica de promover "proyectos colosales" de escaso interés funcional, como por parte de los agentes privados que vieron en la inversión en el sector comercial, de oficinas y hotelero, una extensión de la actividad inmobiliaria (una vez saturado el mercado de vivienda) permitiendo realizar un aprovechamiento de suelos ya adquiridos (la cuál ha sido especialmente intensa en los últimos 10 años).

Estas circunstancias ha provocado una consecuencia: España dispone en la actualidad de un enorme patrimonio inmobiliario de reciente adquisición, en el cuál la proporción integrada por edificios de uso público tiene una especial relevancia. Estos inmuebles se caracterizan por ser grandes consumidores de energía, además de presentar una tipología arquitectónica determinada e incorporar instalaciones de acondicionamiento interior que influyen sobre los parámetros de calidad de ambiente interior, lo que supone que cualquier estrategia que tenga como objetivo mejorar las condiciones ambientales interiores y el uso eficiente de la energía consumida, puede influir favorablemente en el coste de la explotación de este tipo de inmuebles y en la calidad de vida de sus ocupantes.

Con el fin de encuadrar el entorno sectorial en el que se desarrolla el hecho edificatorio que constituye el ámbito de la presente investigación, se entiende conveniente hacer mención de una parte del prefacio del *REAL DECRETO 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación*, ya que coincide en gran manera con la motivación última de esta investigación:

*"Durante la segunda mitad del siglo XX unos procesos de urbanización y edificación acelerados han configurado la realidad actual de una gran parte del patrimonio edificado de nuestro país. Estos grandes procesos de urbanización han generado unos entornos edificados que dan satisfacción razonable a las necesidades básicas de la mayoría de la población española.*

*Sin embargo, la gran cantidad de nueva edificación construida en los últimos años y en décadas anteriores no siempre ha alcanzado unos parámetros de calidad adaptados a las nuevas demandas de los ciudadanos. Efectivamente, la sociedad española, como ocurre en los países de nuestro entorno, demanda cada vez más calidad en los edificios y en los espacios urbanos.*

*Esta demanda de una mayor calidad de la edificación responde a una concepción más exigente de lo que implica la calidad de vida para todos los ciudadanos en lo referente al uso del medio construido. Responde también a una nueva exigencia de sostenibilidad de los procesos edificatorios y urbanizadores, en su triple dimensión ambiental, social y económica.*



*El proceso de la edificación, por su directa incidencia en la configuración de los espacios habitados, implica un compromiso de funcionalidad, economía, armonía y equilibrio medioambiental, de evidente relevancia desde el punto de vista del interés general y, por tanto, de las políticas del Gobierno.*

*“El sector de la edificación es además uno de los principales sectores económicos con importantes repercusiones en el conjunto de la sociedad y en los valores culturales y medioambientales que entraña el patrimonio arquitectónico. Con los objetivos de mejorar la calidad de la edificación, y de promover la innovación y la sostenibilidad, el Gobierno aprueba el Código Técnico de la Edificación.*

*Se trata de un instrumento normativo que fija las exigencias básicas de calidad de los edificios y sus instalaciones. A través de esta normativa se da satisfacción a ciertos requisitos básicos de la edificación relacionados con la seguridad y el bienestar de las personas, que se refieren, tanto a la seguridad estructural y de protección contra incendios, como a la salubridad, la protección contra el ruido, el ahorro energético o la accesibilidad para personas con movilidad reducida.....”.*

De las numerosas exigencias fijadas en numerosas normativas y reglamentos técnicos relacionados con la edificación [AMJV 09], se centrará la atención en los requisitos relativos a la salubridad, habitabilidad y ahorro energético aplicables a los edificios residenciales y terciarios, por estar relacionados directamente con el modelo de gestión que se desarrollará, así como el análisis de la interdependencia de los distintos parámetros exigidos.

## **1.2. Relación entre clima, edificación y medioambiente**

La relación entre clima, edificación y medioambiente, es un aspecto clave en el proceso de diseño arquitectónico, pues el edificio proyectado se beneficia de los aspectos positivos del clima y busca protegerse de sus inclemencias [ERUC 12]. Siguiendo estos preceptos, es de vital importancia entender al proceso de la edificación como un modificador del sistema natural, que es a su vez modificado por las características del medio ambiente en el que se inserta.

Cuanto más severas sean las condiciones climáticas en un emplazamiento, el edificio tiene que adaptar su ambiente interior a las condiciones adecuadas de confort para que sus ocupantes puedan desarrollar, en condiciones saludables y con la mejor calidad de vida, el uso previsto para el inmueble.

Evidentemente, cuanto más adversas sean las condiciones climatológicas, mayor esfuerzo tendrán que realizar los sistemas pasivos y activos del edificio para mantener el nivel de confort interior. Esta circunstancia, generalmente, conlleva un aumento del consumo de energía y, consecuentemente, un aumento de la emisividad de CO<sub>2</sub>, afectando negativamente al entorno medioambiental.

### 1.3. Situación energética en la Unión Europea y en España

Durante la crisis provocada por la escalada de precios del petróleo a comienzos de los años 70, se evidenció que factores como el desarrollo y la estabilidad económica de los países desarrollados, están condicionados al contexto energético. Desde entonces, se han puesto en marcha un número significativo de iniciativas, cuyo objetivo primordial es la reducción de esta dependencia energética.

Es preciso tener en cuenta que la Unión Europea (en adelante UE) importa el 53% de la energía que consume (porcentaje que se desglosa en casi el 90 % del petróleo, el 66 % del gas natural y el 42 % de combustibles sólidos como el carbón) y que la factura por importación energética se elevó en 2013 a alrededor de 400.000 millones de euros, lo que equivale a más de una quinta parte del total de las importaciones de la Unión Europea (*Parlamento Europeo, 2014, servicio de prensa - Número de referencia:20140718STO53032*) [EEDE 14].

La estrategia mediante la cual la UE intenta reducir su dependencia y, por tanto, reforzar su seguridad energética, consiste en diversificar las fuentes de energía y los suministradores, reducir el consumo energético, mejorar la producción de energía y la cooperación entre sus países, e invertir en fuentes de energías renovables. Esta estrategia está contemplada en las numerosas Directivas Europeas, especialmente en las que se han publicado en los últimos 15 años, referidas a la promoción de fuentes de energía alternativas y a la mejora de la eficiencia energética en los distintos sectores productivos, cuyo contenido se expone en detalle, en los apartados subsiguientes.

Tal y como se puede observar en el mapa de la Fig.1, los porcentajes de dependencia energética varían entre los distintos países miembros de forma considerable, siendo esta dependencia mayor en los países más industrializados de la Unión, destacando los casos de Italia, Alemania, Reino Unido y España.

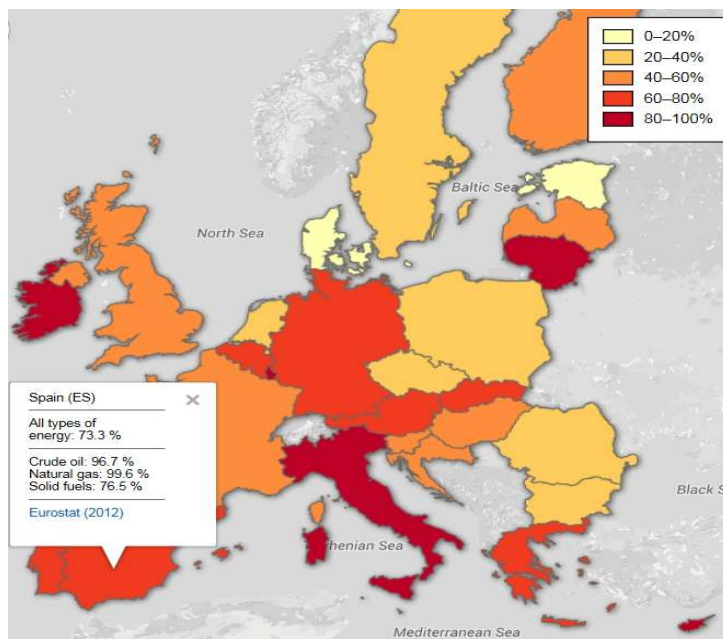


Fig.1.- Mapa de dependencia energética (Eurostat, 2012) [CEIP 12]

En la actualidad, el consumo energético ha descendido coyunturalmente por efecto de la crisis y la recesión, el consumo energético de la Unión Europea (UE) cayó en 2013 a niveles de los años 90, hasta los 1.666

millones de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep); según los datos publicados por la oficina comunitaria de estadística, Eurostat [EUST 17] .

Este umbral supone un retroceso del 9,1% en comparación con el nivel más alto de consumo de 1.832 Mtep registrado en 2006, y deja la tasa de dependencia comunitaria de las importaciones energéticas en el 53% del consumo [EPEC 13].

Del total de energía interior bruta producida en 2013 en los Veintiocho, el 29% fue energía nuclear, frente al 24% de renovables; el 20% de combustibles sólidos, el 17% de gas, 9% de petróleo y el 1% de residuos no renovables.

La producción primaria española fue 34,2 Mtep de producción primaria se distribuyeron en el 5,1 % de combustibles sólidos; 1,1 % de petróleo; 0,1 % de gas; 42,7% de nuclear, 50,5% de renovables y 0,4% de residuos no renovables.

#### **1.4. Dependencia energética en Europa**

Para su abastecimiento de energía, la Unión Europea depende del exterior, como segunda economía mundial, consume una quinta parte de la energía que se produce en el mundo, pero cuenta con muy escasas reservas. Los activos (lo que se denomina «combinación energética») están muy diversificados a lo largo y ancho de la Unión Europea: numerosos embalses en Austria, minas de carbón en Polonia, centrales nucleares en Francia, extracciones petrolíferas en el mar del Norte y yacimientos de gas en Dinamarca y los Países Bajos [CEES 14]. En Europa no hay dos países iguales, lo cual dista de ser una desventaja. Siempre y cuando, por supuesto, cada uno sea solidario con los demás para aprovechar al máximo su diversidad. La dependencia energética de Europa tiene enormes consecuencias para nuestra economía. Se compra el petróleo a Rusia y a los países de la OPEP (Organización de los Países Exportadores de Petróleo), y el gas a Argelia, Noruega y Rusia. Todo eso representa una pérdida de riqueza para Europa de más de 350.000 millones de euros al año, que no deja de aumentar [CEES 14].

Por lo tanto, ante necesidades crecientes de energía y escasez de recursos propios, la única estrategia posible en los países de la UE se debe basar en el aumento de la eficacia energética, en la incorporación de soluciones técnicas que requieran un nivel bajo de energía y en la utilización de sistemas basados en energías renovables. Estonia (11,9%) y Dinamarca (12,3%) fueron los países menos dependientes de las importaciones de energía [CEIP 12], mientras que los más dependientes fueron Malta (104%) y Luxemburgo (96,9 %). Entre los cinco países que consumen más energía, los menos dependientes fueron el Reino Unido (46,4 %) y Francia (47,9 %); por contra los más dependientes fueron Alemania (62,7 %), España (70,5 %) e Italia (76,9 %) [CEIP 12]. El mayor productor de energía fue Francia, con 135 Mtep, lo que equivale a un 17% de la producción total de la UE, seguida de Alemania (121 Mtep, 15%), Reino Unido (110 Mtep, 14%), Polonia (71 Mtep, 9 %) y Holanda (70 Mtep, 9%). La producción total de estos cinco países supuso dos tercios del total de la UE. En 13 estados miembros, el 70% o más de la energía, procede de una sola fuente [EXEN 15].

Después de Chipre y Malta (100%, ambos), las cuotas más elevadas de producción energética procedente de renovables se registraron en Letonia (99,7 %), Portugal (97,5 %), Lituania (91,1 %), Austria (78,2 %) y Luxemburgo (76,4 %).

Los combustibles sólidos, en cambio, fueron predominantes en Polonia (80,5 %), Estonia (78,3 %) y Grecia (72,3 %), mientras que Francia (80,9 %) y Bélgica (75,2 %) fueron los más dependientes de la producción de energía nuclear. Con un 88,7 %, el gas fue la principal fuente de suministro en Holanda [CEIP 12].

La situación de España es todavía más preocupante, ya que su dependencia energética alcanza el **73,3** por ciento de la energía que consume (porcentaje que se desglosa en casi el 96,7 por ciento del petróleo, el 99,6 por ciento del gas natural y el 76,5 por ciento de combustibles sólidos como el carbón).

PAÍS	Dependencia (%)	D. Petróleo (%)	D. Gas Natural (%)	D. Comb. Sólidos (%)
Europa	53	90	66	42
España	73.3	96.7	99.6	76.5
Diferencia	20.3	6.7	33.6	34.5

Tab.1.- Comparativa entre la dependencia europea y la española (Eurostat, 2012)

Si comparamos los datos de dependencia energética entre Europa y España, se observa que en las fracciones correspondientes a la utilización de gas natural y combustibles sólidos en el caso español es considerablemente mayor, con una diferencia que llega a superar el 30%, en el caso del gas natural.

Este dato adquiere una importancia significativa en el ámbito de estudio de esta investigación, ya que la inmensa mayoría de los equipos utilizados en el sector terciario para producción de calor en los edificios están basados en la utilización de gas natural como combustible.

### 1.5. Situación socio-política en países proveedores de productos energéticos

En los últimos 25 años, la UE ha seleccionado como países proveedores de los combustibles en zonas cercanas, con el objeto de abaratar los costes de transporte [EUST 17].

Concretamente en el caso del gas natural, la posibilidad de construir gaseoductos transnacionales que permitan conectar el origen del suministro con las zonas en la Unión Europea donde se produce el mayor consumo, ha sido considerada una línea de acción estratégica en la que se han invertido una cantidad de recursos considerable. Las tres zonas seleccionadas para el suministro de gas natural, han sido Rusia, Países árabes y el Magreb.

A estos valores de dependencia energética elevados, debe sumarse un factor inestabilidad socio-política que ocasiona una doble incertidumbre, referente a la continuidad del suministro y al mantenimiento del precio pactado [GADE 14].

En la siguiente imagen se muestran los orígenes de la energía importada por la UE y los grandes de transporte que se utilizan para suministrar los distintos combustibles a los países miembros.

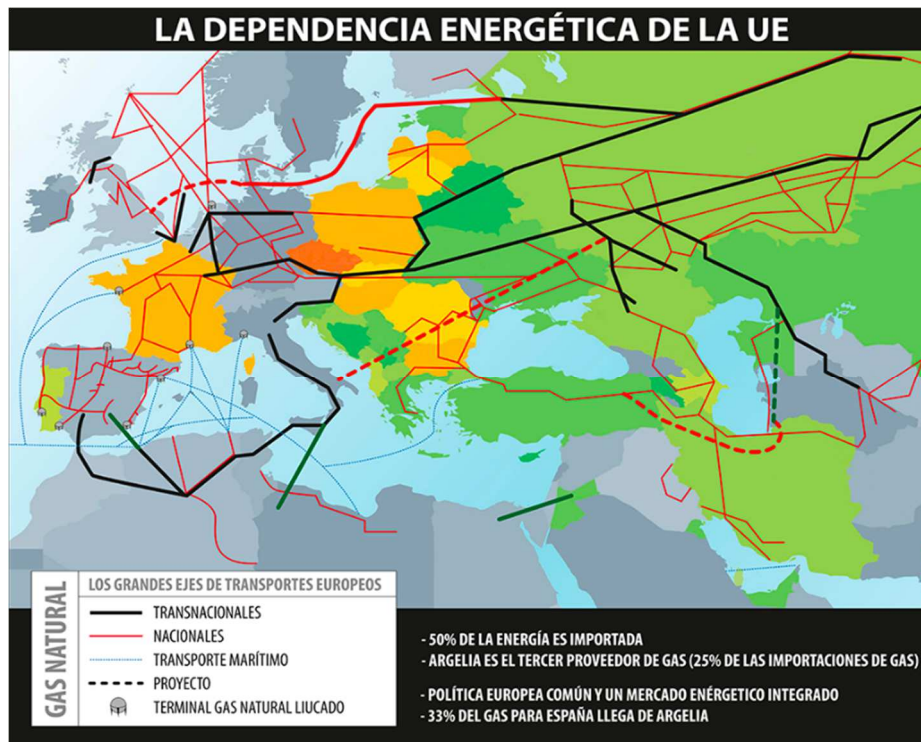


Fig.2.- Mapa europeo de dependencia energética de gas natural y vías de transporte (La Gaceta, 11 julio 2014)

En la actualidad, en numerosos países proveedores de combustibles (especialmente en los casos de suministro de petróleo y gas), se manifiesta una profunda inestabilidad política en unos casos, y en otros un escenario bélico, como es el caso de Argelia, Túnez, Libia, Egipto, Sudán, Iraq o Siria; lo cual complica esta situación de dependencia externa, provocando una fluctuación imprevisible de precios energéticos y en una falta de garantía de los suministros<sup>3</sup>.

Evidentemente, para los sectores productivos de la UE, esta situación de incertidumbre, influye negativamente en la competitividad de las empresas europeas, especialmente cuando se produce un alza en los costes energéticos, lo cual incide directamente en los costes de explotación y mantenimientos en el sector terciario, en el parque inmobiliario existente, tanto en el uso residencial como en el terciario (oficinas y comercial).

La combinación entre una elevada dependencia energética exterior y la inestabilidad socio-política en un número importante de países proveedores de productos energéticos, unida a la dificultad de encontrar suministradores alternativos en otras zonas del planeta (con unos costes de transporte razonables) ha llevado a la UE a establecer estrategias específicas en el sector terciario, con el objeto de diversificar la producción de energía mediante la utilización de fuentes renovables y estableciendo condiciones para la reducción del consumo energético e incrementar la eficiencia energética en este sector.

<sup>3</sup> La Gaceta (Diario de Información y Análisis de Intereconomía): Europa y España: la dependencia energética (artículo de prensa especializada). Edición de fecha viernes 11 de julio de 2014.

## 1.6. Consumo energético por sectores y por fuentes

### 1.6.1. Situación mundial

Desde comienzo de los años setenta, el consumo de energía mundial se ha más que duplicado, llegando a un consumo de 12.274,6 Mtep de energía primaria total en 2011. Particularmente, los niveles de consumo de la región de Asia aumentaron espectacularmente en los últimos quince años, debido a los incrementos de demanda de energía primaria de China y la India<sup>4</sup>.

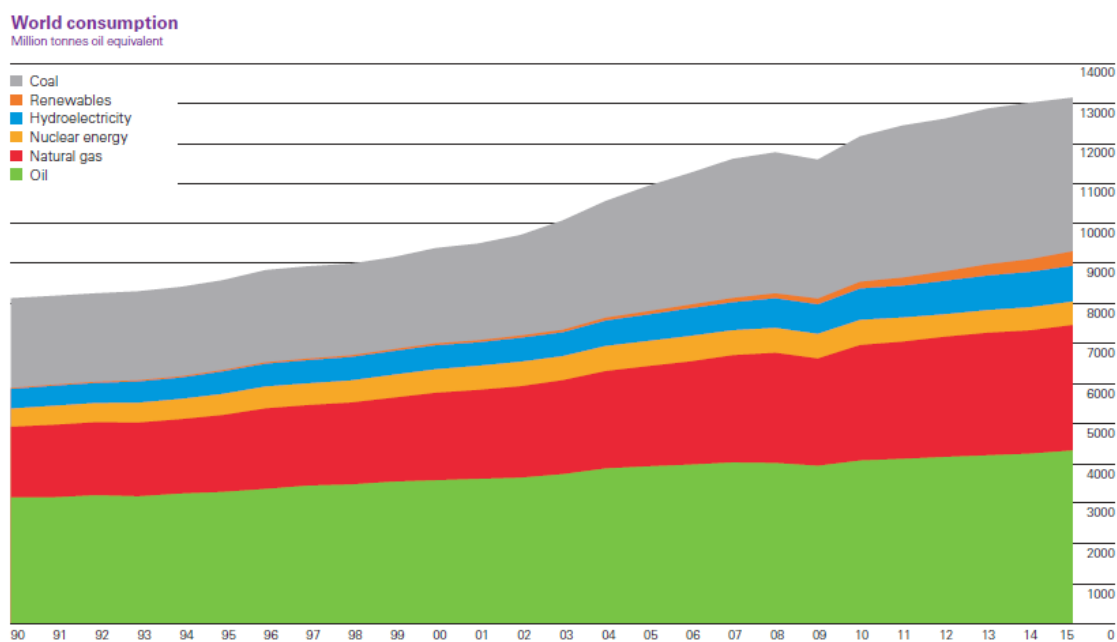


Fig.3.- Evolución del consumo mundial de energía primaria (1990-2015). (Fuente: B.P Statistical Review of World Energy2016)

### 1.6.2. Distribución del consumo energético mundial por fuentes

Por un lado, en las zonas más desarrolladas, las diferentes energías utilizadas tienen una presencia relativamente equitativa en el total [ENSE 14].

Es decir, estas regiones cuentan con la opción de optar por una diversificación de las fuentes, lo cual asegura el suministro energético. Eso significa, también, que pueden seleccionar fuentes energéticas más eficientes y menos contaminantes.

Por otro lado, en las zonas menos desarrolladas, las diferentes energías que se usan vienen determinadas por factores económicos y geográficos.

Estas diferencias entre regiones se explican, básicamente, por el hecho de que las zonas más ricas tienen acceso a tecnologías más desarrolladas, lo cual les ofrece la posibilidad de obtener suministro energético en lugares más remotos; mientras que los países más pobres están más limitados tecnológicamente y sujetos, pues, a los recursos de su entorno.

<sup>4</sup> BP Distribution Services: BP Statistical Review of World Energy. Editado por BP p.l.c. Londres. 2016.

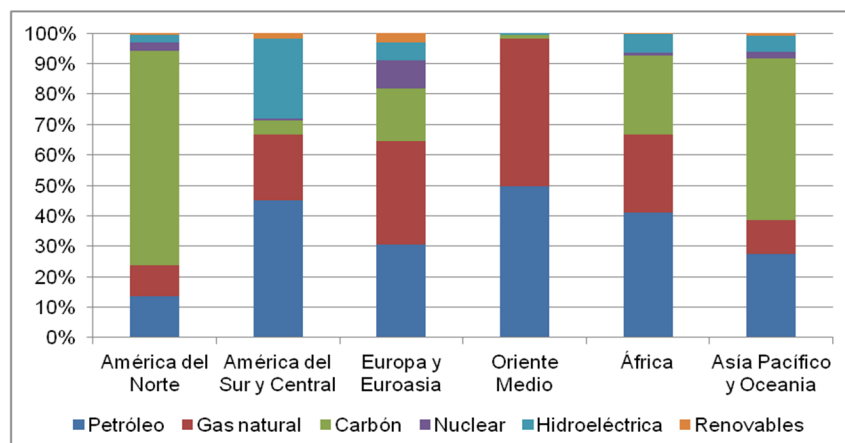


Fig.4.- Distribución consumo de energía primaria en el mundo por fuentes, 2011. (Fuente: B.P Statistical Reviv of World Energy 2012)

En el gráfico anterior, se pueden observar las diferencias que existen entre las diferentes zonas, en cuanto a la distribución del consumo de energía primaria según su origen; concretamente en Europa y Euroasia destaca un consumo relevante en derivados del petróleo y gas natural.

### 1.6.3. Consumo de energía final en Europa por sectores

Según el informe sectorial elaborado por Eurostat (2012), se ha producido en los últimos años un aumento progresivo del consumo de energía final en el sector “Doméstico y Servicios”, al igual que en el sector “Transporte” [CEIP 12].

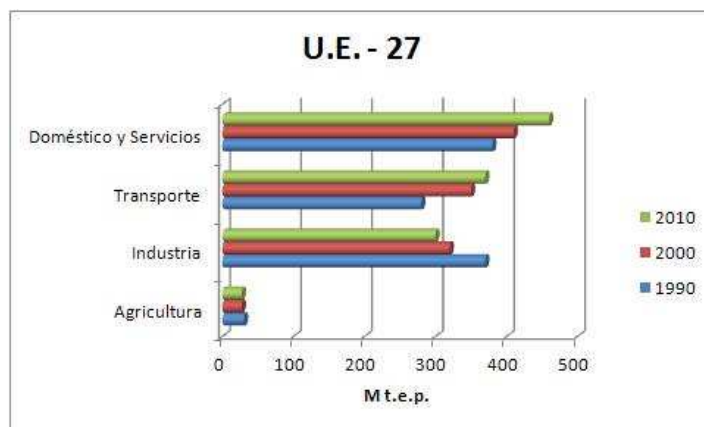


Fig.5.- Consumo de energía final en la Unión Europea por sectores (Eurostat 2012)

La evolución de los niveles de emisión de CO<sub>2</sub> asociados al consumo de energía en la UE, tomando como referencia el nivel de emisiones en el 1.990, resulta en que han disminuido de forma progresiva desde el año 2005, esta reducción se ha producido de forma significativa desde finales del año 2007. Parte de esta reducción se puede explicar por las distintas estrategias adoptadas en la UE desde el 2002 para la reducción de emisiones (alguna de las cuales afectan directamente al parque inmobiliario destinado al sector residencial y al terciario). Además, también ha influido la reducción de actividad empresarial provocada por la crisis surgida en el 2007.

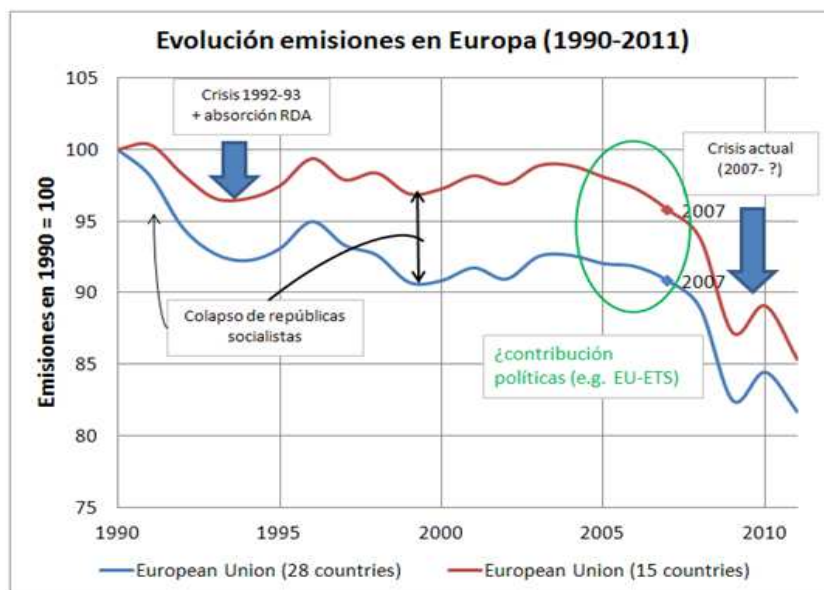


Fig. 6.- (Fuente: Eurostat): Evolución de las emisiones en UE-15 y UE-28 de 1990 a 2011. Puesto que para el año 1990 se asigna el índice "100", una reducción del 20% equivale a alcanzar el índice "80". Recuperado de <http://www.eis.uva.es/energiasostenible/?tag=union-europea#sthash.JyoBOYif.dpuf>

Evidentemente, esta reducción en el consumo de energía se ve reflejado en la reducción de la emisividad de CO2 de forma proporcional.

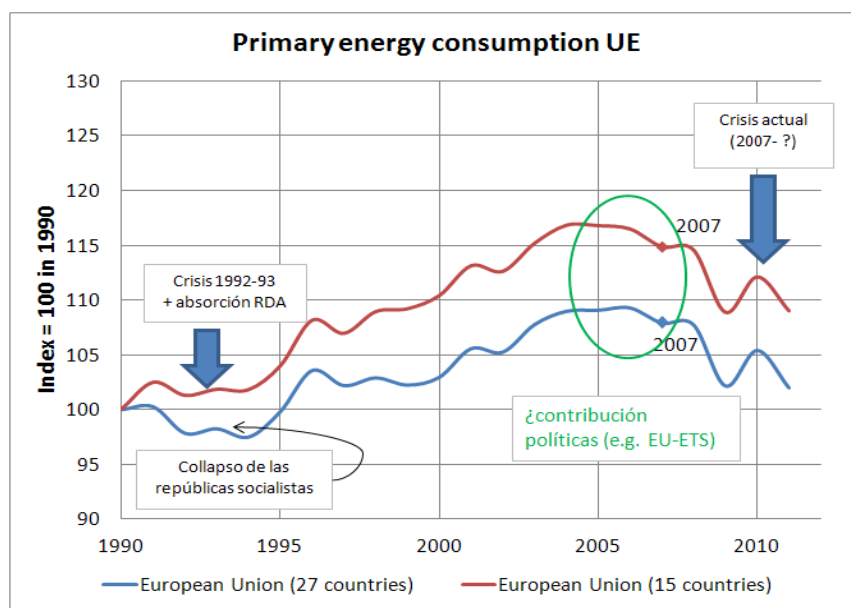


Fig. 7.- (Fuente: Eurostat): Evolución del consumo de energía primaria en UE-15 y UE-28 de 1990 a 2011. Recuperado de <http://www.eis.uva.es/energiasostenible/?tag=union-europea#sthash.5l3KOIAi.dpuf>

#### 1.6.4. Consumo de energía final en España

En España, la distribución de fuentes energéticas en el consumo final de energía pone de relieve la presencia de los derivados del petróleo (60%), seguidos de la electricidad (20%) y del gas natural (16%). El gas natural es el que ha crecido más a lo largo de los últimos años y el carbón y sus gases derivados son los que han ido reduciendo su presencia.



La evolución del consumo de energía final en España desde 1990 hasta 2012, ha tenido variantes, tanto en aumentos como en decrecimientos.

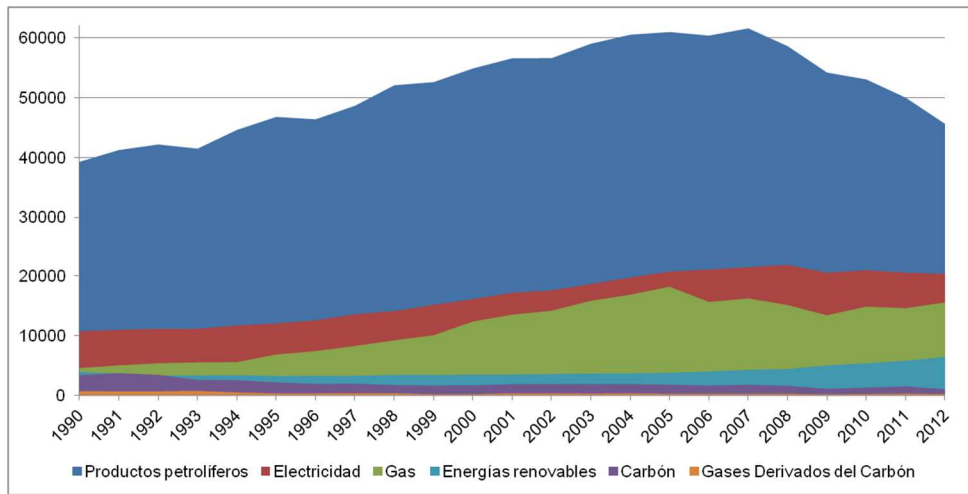


Fig.8.- Evolución del consumo de energía final en España por fuentes (1990-2012). (Fuente: MINETUR)

Se ha disminuido el consumo de los productos petrolíferos en 2012 casi a niveles de 1990, y parece que la tendencia es la de continuar menguando, y todo a causa de la concienciación de la población, y también a causa del coste que tiene esta fuente de energía.

El consumo de gas natural es el que ha crecido más a lo largo de los últimos años, debido a la proliferación de equipos individuales de producción de calor y agua caliente sanitaria en el uso residencial, sin embargo el carbón y sus gases derivados son los que han ido reduciendo su presencia.

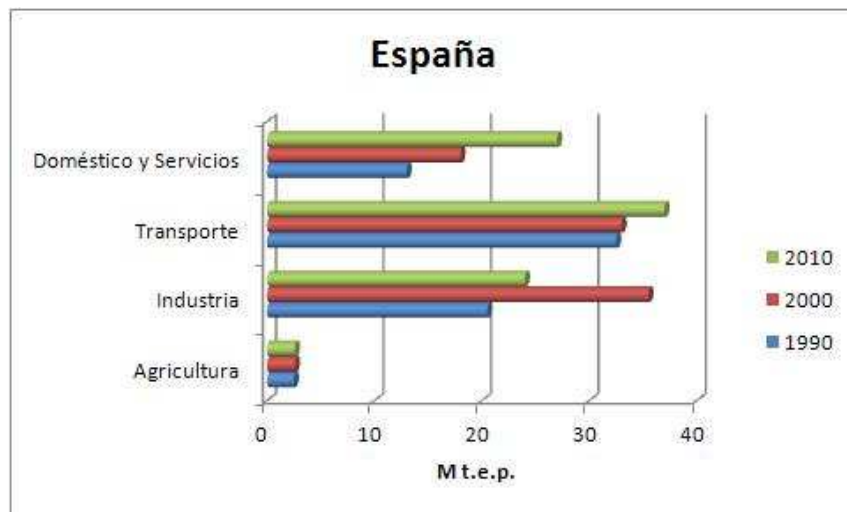


Fig.9.- Consumo de energía final en España por sectores (Eurostat 2012)

### 1.7.- Situación del sector inmobiliario en la Unión Europea y España (Residencial y Terciario)

El sector residencial es el responsable de aproximadamente una cuarta parte del consumo de energía de Europa. La Comisión Europea en el 25% [CEIP 12].

Este consumo junto al resto de edificios, mayormente del sector terciario, suman el 40% del consumo final de energía (Directive 2010/31/EU, 2010) y el 36% de las emisiones de CO<sub>2</sub>. A nivel mundial, los edificios representan alrededor del 10% de las emisiones directas de CO<sub>2</sub>, sin embargo, al incluir las emisiones del uso de electricidad, se incrementa esta proporción hasta el 30% (International Energy Agency, 2010)<sup>5</sup>.

Un nuevo camino en dirección hacia la sostenibilidad se planteó, por primera vez, mediante la directiva relativa a la eficiencia energética de los edificios (Directive 2010/31/EU, 2010), que pretende que todos los edificios nuevos sean de consumo de energía casi nulo a partir del año 2021.

Sin embargo, algunos estudios recientes, determinan que los edificios ya construidos constituyen un mayor gran potencial de ahorro energético que la relativa baja proporción de los edificios nuevos [UEEE 06].

La Agencia Internacional de la Energía (International Energy Agency, 2010) expone [IEAW 10] que, debido a la baja tasa de demolición y a un relativo bajo crecimiento, el mayor potencial de ahorro de energía y emisiones recae en la rehabilitación y en el cambio a nuevas tecnologías de los edificios existentes.

A pesar que actualmente el uso de energía en este sector continúa aumentando, es factible un potencial de ahorro para el año 2020 del 30%, equivalente a una reducción del 11% del uso de energía final de la UE [UPEE 11].

La Comisión Europea (2010b) prevé un aumento del 17% del consumo de energía final de España en el año 2030, respecto el año 2005, siendo este aumento para Europa prácticamente nulo en el mismo intervalo de tiempo. En cambio, para el CO<sub>2</sub> se prevé una reducción del 13% para España y del 17% para Europa debido a una mejora de la intensidad de CO<sub>2</sub> del 26% para España y del 17% para Europa.

Desde un punto de vista global, la Agencia Internacional de la Energía (International Energy Agency, 2010) [IEAW 10] predice que en el año 2050 las emisiones de CO<sub>2</sub> para el sector de la edificación mundial se doblarán.

---

<sup>5</sup> International Energy Agency (IEA): World Energy Outlook 2010. Editado por OECD/IEA. Copenhagen. 2010

### 1.7.1.- Definición del edificio según el uso al que se destine

Es necesario definir el tipo de edificio al que se está refiriendo y los tipos de usos relacionados con los inmuebles que integran la muestra seleccionada sobre la que se realizará la investigación, por lo que se utilizará normativa técnica como el Código Técnico de la Edificación<sup>6</sup>, concretamente el Documento Básico de requisitos relacionados con la seguridad en caso de incendio (SI) (anexo SI A – Terminología) o la Ley General de Sanidad para aportar una descripción precisa de algunos de los usos principales:

#### a. Sector Residencial

- Uso residencial vivienda: Edificio o zona destinada a alojamiento permanente, cualquiera que sea el tipo de edificio: vivienda unifamiliar, edificio de pisos o de apartamentos, etc.

#### b. Sector Terciario

- *Uso Administrativo*: Edificio, *establecimiento* o zona en el que se desarrollan actividades de gestión o de servicios en cualquiera de sus modalidades, como por ejemplo, centros de la administración pública, bancos, despachos profesionales, oficinas, etc.
- *Uso Comercial* Edificio o *establecimiento* cuya actividad principal es la venta de productos directamente al público o la prestación de servicios relacionados con los mismos, incluyendo, tanto las tiendas y a los grandes almacenes, los cuales suelen constituir un único *establecimiento* con un único titular, como los centros comerciales, los mercados, las galerías comerciales, etc.. También se consideran de *uso Comercial* aquellos *establecimientos* en los que se prestan directamente al público determinados servicios no necesariamente relacionados con la venta de productos, pero cuyas características constructivas y funcionales, las del riesgo derivado de la actividad y las de los ocupantes se puedan asimilar más a las propias de este uso que a las de cualquier otro. Como ejemplos de dicha asimilación pueden citarse las lavanderías, los salones de peluquería, etc.
- *Uso Docente*: Edificio, *establecimiento* o zona destinada a docencia, en cualquiera de sus niveles: escuelas infantiles, centros de enseñanza primaria, secundaria, universitaria o formación profesional. No obstante, los *establecimientos* docentes que no tengan la característica propia de este uso (básicamente, el predominio de actividades en aulas de elevada densidad de ocupación) deben asimilarse a otros usos [AQTX 14].
- *Uso Hospitalario*: según la Ley General de Sanidad, Art. 56.2.b: “En el nivel de asistencia especializada, a realizar en los hospitales y centros de especialidades dependientes funcionalmente de aquellos se prestará la atención de mayor complejidad a los problemas de salud y se desarrollarán las demás funciones propias de los hospitales” Art. 65.2: “El hospital es el establecimiento encargado tanto del internamiento clínico como de la asistencia especializada y complementaria que requiera su zona de influencia.

---

<sup>6</sup> Ministerio de Fomento: *Código Técnico de la Edificación - Documento básico de seguridad en caso de incendio SI*. Editado por Ministerio de Fomento – Secretaría General Técnica. Madrid 2013.

### 1.7.2.- Controversia relativa al anteriormente denominado "Uso Pública Concurrencia"

El Código Técnico de la Edificación (2006) definía en su primera versión el inmueble destinado al uso de Pública Concurrencia como: *"Edificio o establecimiento destinado a alguno de los siguientes usos: cultural (destinados a restauración, espectáculos, reunión, deporte, esparcimiento, auditorios, juego y similares), religioso y de transporte de personas."*

Sin embargo, después de la controversia derivada de la falta de coherencia entre distintos textos normativos, se resuelve a través de la sentencia del TS de 4/5/2010 anula la definición del uso de pública concurrencia del Anejo A del DB SI, dada la discrepancia existente entre diversas normas y reglamentos, lo cual resulta ciertamente ambiguo, ya que otros textos legales, normativas y reglamentos utilizan esta definición.

Para resolver esa ambigüedad, a los efectos de la presente investigación, se ha adoptado la definición de **edificio de uso público** contemplada en la Ley 8/1997, de 20 de agosto, de accesibilidad y supresión de barreras en la Comunidad Autónoma de Galicia (capítulo 2, sección 1, apartado 4), por considerarla adecuada<sup>7</sup>:

*"Se consideran incluidos dentro de este apartado de edificios de uso público, junto a otros de naturaleza análoga, los siguientes:*

- *Edificios públicos y de servicios de las Administraciones Públicas.*
- *Centros sanitarios y asistenciales o cualquier otro centro social.*
- *Estaciones ferroviarias, de metro y de autobuses.*
- *Puertos, aeropuertos y helipuertos.*
- *Centros de enseñanza.*
- *Garajes y aparcamientos colectivos.*
- *Centros de trabajo.*
- *Embarcaciones marítimas y fluviales.*
- *Centros sindicales.*
- *Museos, archivos, bibliotecas y salas de exposiciones.*
- *Teatros, salas de cine y espectáculos.*
- *Casas de cultura.*
- *Instalaciones deportivas.*
- *Lonjas, mercados, plazas de abastos y establecimientos comerciales y bancarios de superficie igual o superior a 500 metros cuadrados.*
- *Centros religiosos.*
- *Instalaciones hoteleras y hosteleras, a partir del número de plazas que reglamentariamente se determine."*

---

<sup>7</sup> Sentencia de 4 de mayo de 2010, de la Sala Tercera del Tribunal Supremo, por la que se declara la nulidad del artículo 2.7 del Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación, así como la definición del párrafo segundo de uso administrativo y la definición completa de uso pública concurrencia, contenidas en el documento SI del mencionado Código.

En resumen, considerará como edificios de uso público, las unidades arquitectónicas independientes, cuyos espacios y dependencias exteriores e interiores son en su totalidad de utilización colectiva o concurrencia pública, o constituyen un centro de trabajo, generalmente caracterizados por disponer de una elevada superficie útil (consecuentemente elevados volúmenes de aire para acondicionar), alta ocupación temporal e implementar sistemas de climatización centralizados en los que se utiliza la reutilización del aire acondicionado para reducir el volumen de aire exterior sin acondicionar y por lo tanto reducir el consumo de energía en equipos térmicos para su acondicionamiento térmico e higrométrico.

Se consideran igualmente de uso público aquellos edificios que en su mayor parte son de utilización colectiva aunque tengan algunas dependencias de uso privado o vivienda para las personas que ejerzan las funciones de guarda, portería, vigilancia o mantenimiento del edificio.

A pesar de esta estrategia en el diseño de los sistemas de acondicionamiento térmico interior, que tiene por objeto mejorar su eficiencia energética, debido a sus dimensiones, son considerados como “grandes consumidores de energía” con niveles de emisividad en CO<sub>2</sub> elevados.

A modo de ejemplo se ha incluido en el presente estudio a edificios de uso o dominio público, también denominados “grandes terciarios”, que son representativos de los usos asociados a edificios que consumen una gran cantidad de energía de forma permanente, con intensidades medias o elevadas, tales como:

- Centros docentes
- Centros comerciales
- Edificios administrativos
- Hoteles
- Hospitales

## 1.8.- Consumo energético del sector residencial y terciario en España

Para que un edificio conserve en su interior las condiciones ambientales necesarias para la realización de las actividades propias del uso al que se destina, resulta imprescindible que interactúe con su entorno desde el punto de vista energético y ambiental. A través de su envolvente o piel, intercambia calor con el ambiente exterior, lo cede o lo acumula, según las condiciones climáticas exteriores.

También su forma, volumen, orientación, situación geográfica, distribución de espacios, materiales constitutivos utilizados en los cerramientos, color de la fachada, tamaño de las aberturas o huecos, tipo de aislamiento aplicado, tipo de acristalamiento empleado en los huecos, etc., son características que influyen sobre su comportamiento térmico y las condiciones de confort naturales que ofrece a sus usuarios, por lo que estos aspectos han de ser contemplados desde el proyecto y, sobre todo, adaptados a cada zona climática. Sin duda alguna, el uso residencial constituye uno de los fines mayoritarios a los que se destinan los edificios existentes, por lo que resulta interesante realizar un análisis de su comportamiento energético y ambiental.

### 1.8.1.- Consumo energético del sector residencial vivienda

Para poder establecer una estimación fiable del nivel de consumo energético del sector residencial en España es necesario disponer de los siguientes datos:

- Zonas climáticas en España
- Número de viviendas por cada zona climática (diferenciando las viviendas unifamiliares de las viviendas en bloque, ya que poseen un comportamiento energético diferencial).
- Consumo energético por tipo de vivienda y zona climática

#### Zonas climáticas

Cualquier modelización de consumo energético válida, debe tener en cuenta las condiciones climáticas en la península ibérica, por lo que es deberán diferenciarse las distintas zonas con variaciones climáticas sustanciales que influyan en el comportamiento energético del sector residencial.



Fig.10.- Zonas climáticas en España (Instituto nacional de tecnologías educativas y de formación del profesorado- INTEF)

Uno de los factores que influye en el consumo energético es la temperatura exterior, ya que incide en la demanda energética necesaria para mantener las condiciones de confort térmico en la vivienda y por lo tanto guarda relación directa con el consumo de los equipos térmicos instalados en el inmueble<sup>8</sup>.

#### Estimación del número de viviendas en España

Como ya se ha explicado en la introducción del presente documento, el crecimiento del parque inmobiliario residencial en España en los últimos 15 años ha sido espectacular y debido al número de viviendas construidas en nuestro país, para realizar una estimación de la energía consumida por el sector residencial vivienda en España, resulta imprescindible realizar una estimación del número de viviendas por zonas y tipologías.

La evolución del parque de viviendas en España y Galicia (zona en la que se centra mayoritariamente nuestro estudio), puede ser dimensionada tomando como referencia datos del Ministerio de Fomento actualizados al mes de diciembre del 2015. Esta base de datos nos permite estimar de forma fiable el número de viviendas por provincias y comunidades autónomas.

Para poder realizar una estimación del consumo energético sectorial, se ha realizado una estimación del número de las viviendas que integran el parque inmobiliario nacional, por zona y tipología, de acuerdo con los datos proporcionados por el Ministerio de Fomento, a diciembre de 2015.

Los datos seleccionados se corresponden con el período que va desde el 2001 al 2015, abarcando en éste período desde el auge producido en el sector por la burbuja inmobiliaria hasta la situación de estancamiento en el sector debido crisis sectorial (cese de la actividad inmobiliaria en numerosas zonas de nuestro país) y a la mala situación económica y financiera. Por lo tanto, es un período representativo, lo que lo hace interesante para centrar nuestro estudio.

En esta base de datos, el número de viviendas está agrupado por provincias, por lo que resulta sencillo realizar un análisis de la zona climática a la que se refiere el presente estudio, lo que representa una ventaja a la hora de establecer factores de influencia referidos a una zona con factores climáticos similares.

---

<sup>8</sup> Ministerio de Industria, Energía y Turismo - Secretaría de Estado de Energía: Plan Nacional de Acción de Eficiencia Energética 2014-2020. Abril 2014

## Evolución de la vivienda en España

Tomando como referencia los datos proporcionados por el ministerio de Fomento, a diciembre 2015 en España, se estima el parque inmobiliario en la tabla adjunta<sup>9</sup>:

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
TOTAL NACIONAL	21.033.759	21.487.307	21.926.409	22.417.950	22.927.382	23.493.772	24.034.966	24.569.715	24.908.126	25.106.251	25.249.053	25.382.415	25.441.306	25.492.335	25.541.915
ANDALUCÍA	3.554.198	3.661.570	3.772.509	3.869.035	3.957.925	4.067.012	4.159.934	4.248.653	4.299.768	4.330.256	4.362.573	4.384.954	4.394.515	4.401.817	4.407.793
ARAGÓN	657.555	671.516	685.787	696.640	709.810	722.305	734.445	752.169	765.180	773.915	779.117	785.857	787.938	790.341	792.179
ASTURIAS (PRINCIPADO DE )	524.336	532.501	541.156	552.308	564.047	576.333	586.204	596.656	602.723	609.935	615.163	619.310	621.278	621.859	622.383
BALEARS (ILLES)	504.041	515.076	525.645	534.557	544.303	553.224	564.062	574.529	581.969	585.687	587.234	590.085	591.709	592.963	594.469
CANARIAS	855.022	880.598	903.527	926.062	947.794	971.043	990.993	1.016.495	1.030.507	1.038.700	1.042.320	1.044.637	1.045.619	1.046.356	1.047.307
CANTABRIA	286.901	293.927	302.467	310.948	317.211	327.094	336.277	344.226	352.750	356.094	358.666	360.627	361.673	362.356	363.195
CASTILLA Y LEÓN	1.455.050	1.484.464	1.509.014	1.535.677	1.565.865	1.604.424	1.640.191	1.674.758	1.696.219	1.709.658	1.720.382	1.730.724	1.735.314	1.739.251	1.742.855
CASTILLA-LA MANCHA	988.555	1.002.094	1.016.706	1.035.607	1.058.347	1.092.393	1.141.265	1.187.002	1.219.348	1.240.554	1.247.642	1.256.651	1.260.106	1.262.964	1.265.793
CATALUÑA	3.328.120	3.389.370	3.449.165	3.527.738	3.597.700	3.662.511	3.732.762	3.807.445	3.835.854	3.851.957	3.869.267	3.882.901	3.888.233	3.893.959	3.899.624
COMUNITAT VALENCIANA	2.558.691	2.622.936	2.681.679	2.751.137	2.839.518	2.922.289	3.000.215	3.078.014	3.125.409	3.142.938	3.149.218	3.157.657	3.161.095	3.164.586	3.170.272
EXTREMADURA	575.284	581.973	591.382	598.303	605.750	612.085	622.663	632.010	640.603	646.269	650.098	654.789	656.783	658.494	660.012
<b>GALICIA</b>	<b>1.312.496</b>	<b>1.345.625</b>	<b>1.374.478</b>	<b>1.407.723</b>	<b>1.440.998</b>	<b>1.475.077</b>	<b>1.512.422</b>	<b>1.550.411</b>	<b>1.575.449</b>	<b>1.595.995</b>	<b>1.606.880</b>	<b>1.613.132</b>	<b>1.616.838</b>	<b>1.619.573</b>	<b>1.620.454</b>
MADRID (COMUNIDAD DE)	2.482.885	2.517.059	2.552.919	2.612.769	2.675.087	2.741.442	2.792.090	2.831.768	2.867.105	2.885.861	2.900.061	2.923.510	2.932.915	2.941.996	2.951.813
MURCIA (REGIÓN DE)	595.319	606.145	617.967	636.440	656.319	693.797	722.252	750.719	769.138	778.071	779.493	783.002	783.875	784.981	785.723
NAVARRA (COMUNIDAD FORAL DE)	261.147	266.064	270.159	274.267	279.563	287.056	293.066	300.192	305.484	307.189	309.418	312.305	314.691	316.444	317.420
PAIS VASCO	892.009	908.604	919.083	931.408	944.680	957.045	971.426	983.247	994.459	1.003.676	1.019.564	1.028.524	1.033.938	1.038.954	1.044.572
RIOJA (LA)	156.769	160.891	164.544	168.166	172.723	178.439	183.619	190.047	194.533	197.274	198.973	200.183	200.805	201.216	201.553
CEUTA Y MELILLA	45.381	46.894	48.222	49.165	49.742	50.203	51.080	51.374	51.628	52.222	52.984	53.567	53.981	54.225	54.498

Tabla 2.- Evolución del parque inmobiliario residencial en España (período 2001-2015) Ministerio de Fomento

<sup>9</sup> Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo (Ministerio de Fomento): Observatorio de vivienda y suelo. Boletín anual año 2015. Editado por Secretaría general técnica (M. Fomento). Madrid. 2016



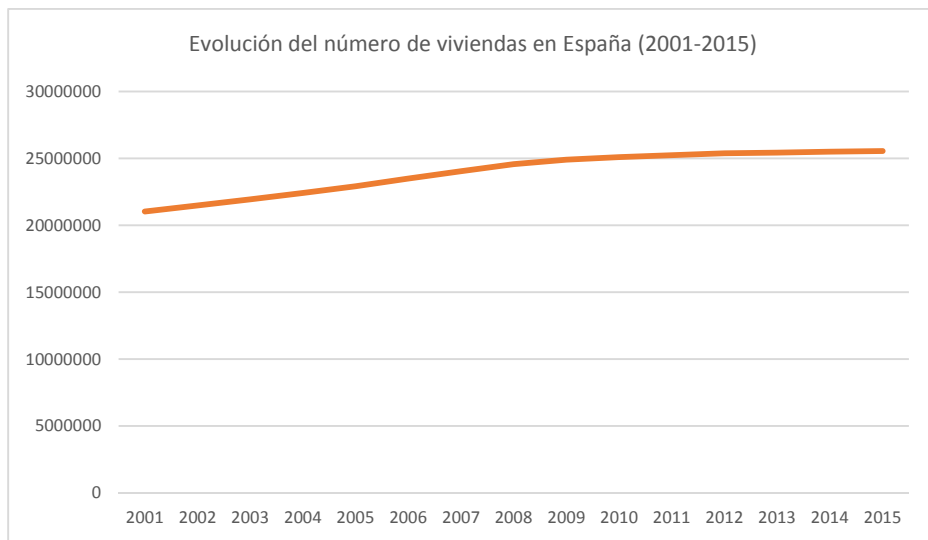


Fig.11.- Evolución del número de viviendas en España (período 2001-2015)

(Gráficos realizados por el autor con el programa Excel – Microsoft)

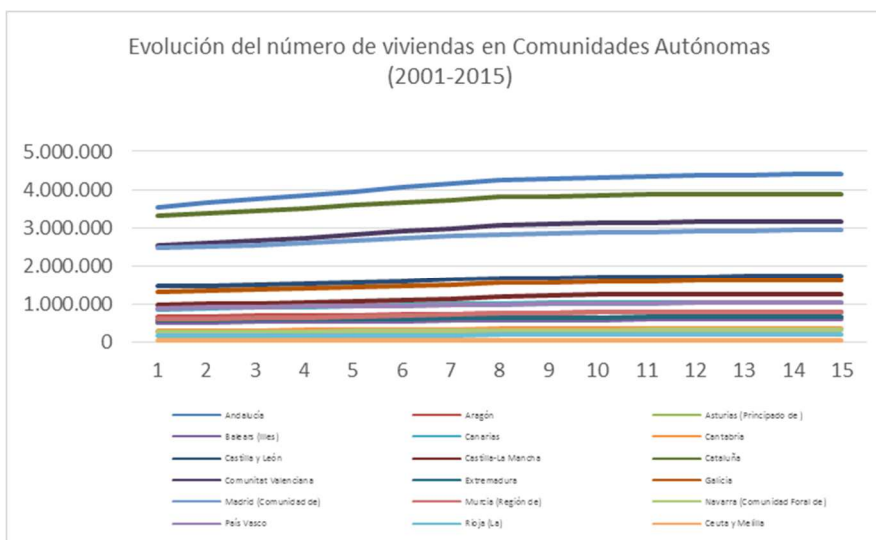


Fig.12.- Evolución del número de viviendas en Comunidades Autónomas (Período 2001 – 2015)

Por un lado, se han extractado los datos correspondientes al número de viviendas en España, por provincias y comunidades autónomas. Por otro se han segmentado los datos correspondientes a la comunidad autónoma gallega, ámbito en el que centraremos nuestra investigación; con una doble finalidad, establecer de forma fiable el consumo energético del sector residencial en Galicia con el objeto de analizar la repercusión de medidas de mejora en la eficiencia energética de las viviendas, según los datos obtenidos en los procesos de auditoría energética realizados.

El parque de viviendas en España (a diciembre del 2015) asciende a un total de **25.541.915** viviendas y en Galicia asciende a un total de **1.620.454** viviendas (**6,345%** del total nacional).

## Evolución del número de viviendas en Galicia

Tomando como referencia los datos proporcionados por el ministerio de Fomento, a diciembre 2015 en la comunidad autónoma de Galicia, se estima el parque inmobiliario en la tabla adjunta:

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
<b>GALICIA</b>	<b>1.312.496</b>	<b>1.345.625</b>	<b>1.374.478</b>	<b>1.407.723</b>	<b>1.440.998</b>	<b>1.475.077</b>	<b>1.512.422</b>	<b>1.550.411</b>	<b>1.575.449</b>	<b>1.595.995</b>	<b>1.606.880</b>	<b>1.613.132</b>	<b>1.616.838</b>	<b>1.619.573</b>	<b>1.620.454</b>
<b>CORUÑA (A)</b>	527.877	542.156	554.572	568.788	583.302	597.309	612.717	627.888	637.487	644.022	647.370	650.612	652.291	653.614	653.764
<b>LUGO</b>	186.437	189.997	192.965	196.247	200.097	203.591	209.292	216.552	221.307	223.367	224.352	225.124	225.717	226.000	226.175
<b>OURENSE</b>	197.027	201.359	205.886	211.240	216.158	221.725	227.284	233.074	237.366	242.332	246.038	246.448	246.902	247.123	247.416
<b>PONTEVEDRA</b>	401.155	412.113	421.055	431.448	441.441	452.452	463.129	472.897	479.289	486.274	489.120	490.948	491.928	492.836	493.099

Tabla 3.- Evolución del parque inmobiliario residencial en Galicia (período 2001-2015) Ministerio de Fomento

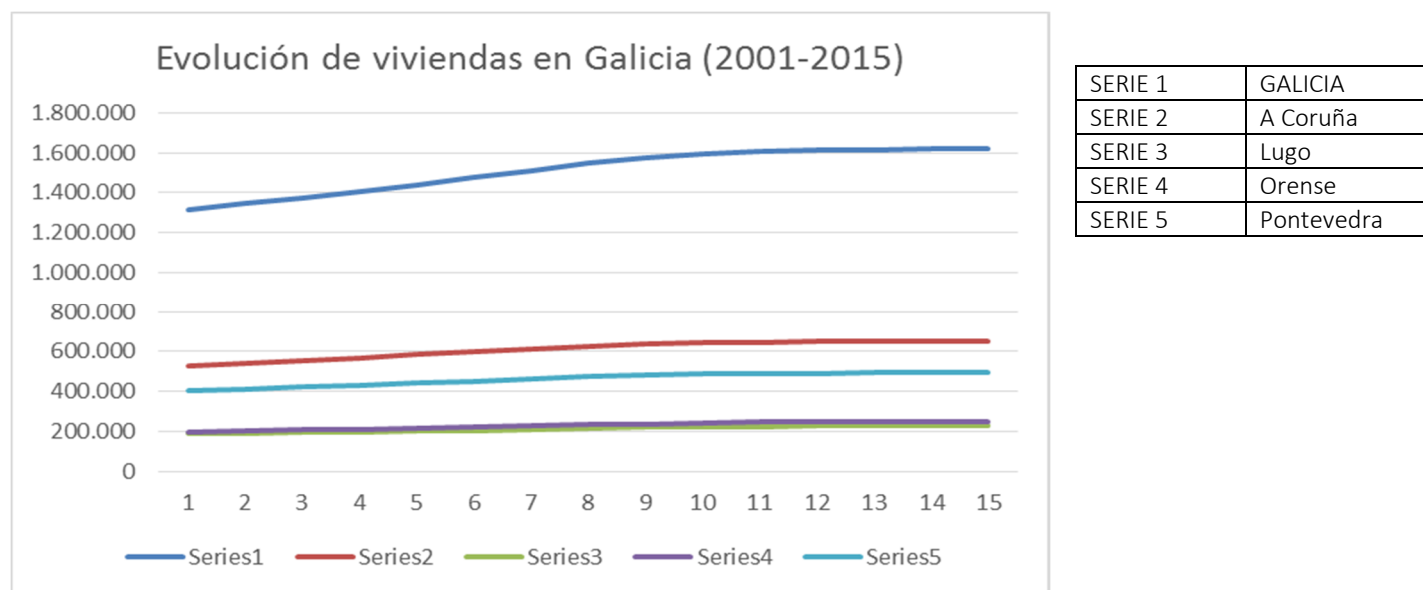


Fig.13.- Evolución del número de viviendas en Galicia (período 2001-2015) (Gráficos realizados por el autor con el programa Excel – Microsoft)

### Consumo de energía en el sector residencial vivienda

La preocupación por el consumo energético del sector residencial también existe en el ámbito europeo; por ello la Comisión Europea, a través del Eurostat, planteó a los Estados Miembros, en la reunión del Grupo de Trabajo de Estadísticas de Eurostat de 29 de junio de 2009, el proyecto SECH (Development of detailed Statistics on Energy Consumption in Households) cuyo objetivo es el desarrollarlo de estadísticas energéticas en el sector residencial mediante metodologías Bottom-Up, de mediciones y de modelización. El organismo encargado de realizar dicho estudio fue el Instituto de diversificación y ahorro de la energía (IDAE), el cuál elabora un estudio basado en 6.390 encuestas telefónicas a propietarios de viviendas tanto unifamiliares como viviendas en bloque (proyecto SPAHOUSEC)<sup>10</sup>.

En este estudio realizó una simplificación de zonas con factores climáticos diversos en la península ibérica, por lo que se establecieron las muestras en tres zonas climáticas (Atlántico Norte, Continentales y Mediterráneo) realizando en cada zona un número similar de encuestas (2.130, de las cuales 1.065 se corresponden con la tipología de unifamiliar y otras tantas para la tipología en bloque).



Fig.14.- Zonas climáticas establecidas en el informe del proyecto SPAHOUSEC

Este tipo de agrupación permite realizar un análisis del comportamiento energético por tipos de viviendas (unifamiliar y en bloque):

Zona climática	Viviendas unifamiliares	%	Viviendas en bloque	%	Viviendas totales	%
Atlántico norte	861.672	3,37	2.484.719	9,73	3.346.391	13,10
Continental	2.448.872	9,59	6.138.793	24,03	8.587.665	33,62
Mediterráneo	4.258.980	16,67	9.348.879	36,60	13.607.859	53,28
<b>Total</b>	<b>7.569.524</b>	<b>29,64</b>	<b>17.972.391</b>	<b>70,36</b>	<b>25.541.915</b>	<b>100</b>

Tabla 4.- Distribución de viviendas en España por zonas climáticas y tipología. (Ministerio de Fomento).

<sup>10</sup> Instituto de Diversificación y Ahorro Energético (Departamento de Planificación y Estudios) IDAE: PROYECTO SECH-SPAHOUSEC - Análisis del consumo energético del sector residencial en España (INFORME FINAL). Editado por IDAE. Madrid. 2011.

Tomando como referencia el informe sectorial realizado en junio del 2011 por el IDAE titulado “Análisis del consumo energético del sector residencial en España”, se estima que el sector residencial tiene un enorme peso en el consumo energético español, y en términos de consumo de energía final, supone el 17% del consumo final total y el 25% de la demanda de energía eléctrica.

Utilizando estos datos de consumo (ya que el tipo de servicios técnicos que se implementan en las viviendas y el régimen de uso al que están sometidas no han variado sustancialmente desde el 2011 hasta la actualidad), y estableciendo que en el ámbito geográfico del estudio, las condiciones climáticas y el número de horas de sol disponibles se corresponden con las de la zona Atlántico Norte; se puede realizar una estimación de los niveles de consumo energético para cada tipo de viviendas en cada zona climática.

Zona climática	Viviendas unifamiliares	Consumo (GJ/hogar)	Viviendas en bloque	Consumo (GJ/hogar)	Viviendas totales	Consumo (GJ/hogar)
Atlántico norte	861.672	54	2.484.719	26.3	3.346.391	33.4
Continental	2.448.872	70.8	6.138.793	35.3	8.587.665	45.4
Mediterráneo	4.258.980	47.7	9.348.879	22.1	13.607.859	30.1
Total	7.569.524	55.2	17.972.391	27.3	25.541.915	35.7

Tabla 5.- Consumo (Gj) de energía por vivienda según zonas climáticas y tipología. (IDAE)

Si se utilizara, en términos de consumo de energía kW.h en lugar de Gigajulios (1 GJ = 277.778 kW.h), se obtendrán los siguientes valores de consumo por cada tipo de vivienda y zona climática:

Zona climática	Viviendas unifamiliares	Consumo (kW.h/hogar)	Viviendas en bloque	Consumo (kW.h/hogar)	Viviendas totales	Consumo (kW.h/hogar)
Atlántico norte	861.672	15.000,12	2.484.719	7.305,56	3.346.391	9.277,78
Continental	2.448.872	19.666,68	6.138.793	9.805,56	8.587.665	12.638,99
Mediterráneo	4.258.980	13.250,01	9.348.879	6.138,89	13.607.859	8.361,12
Total	7.569.524	15.333,35	17.972.391	7.583,54	25.541.915	9.916,67

Tabla 6.- Consumo (kW.h) de energía por vivienda según zonas climáticas y tipología. (IDAE)

Partiendo de los datos de consumo de energía por vivienda y los datos actualizados de viviendas en España (a diciembre 2015) se puede estimar que el consumo asociado al uso residencial privativo en España asciende a un total de **253.290.742,22 MW.h**, de los cuales a la zona climática denominada Atlántico Norte corresponden **31.047.079,49 MW.h**. lo que supone un **12,26%** del consumo total del sector residencial en España.

Por tipos de vivienda, el consumo energético conjunto por tipo de vivienda, es mayor en las viviendas en bloque frente a las unifamiliares, lo que responde al mayor tamaño del parque de viviendas en bloque; ya que en conjunto las viviendas en bloque suponen el 53, 81% del consumo del sector, frente al 46,19% que representa el consumo asociado a las viviendas unifamiliares.

### 1.8.2.- Consumo energético en el subsector de los Centros Comerciales

Los edificios destinados al uso de centros comerciales tienen influencia creciente en el sector logístico y distributivo español durante las tres últimas décadas. Su impacto ha ido más allá de la actividad comercial y de ocio, pues se han convertido en aglutinadores de una parte importante de la actividad de la población, especialmente durante los fines de semana, propiciando una transformación urbanística y económica en sus áreas de influencia.

Durante este tiempo, los centros comerciales han sufrido una evolución importante, incorporando nuevas configuraciones en función de su dimensión o de su especialización, elementos arquitectónicos, sistemas técnicos, incrementando notablemente los servicios que presta, así como las actividades comerciales y de ocio que alberga. Los profesores CASARES, J. y REBOLLO, A. (2005) en su publicación "Distribución Comercial" indican que el término "centro comercial" engloba una gran variedad de factores asociados al contexto distributivo (concentración, mercados franquistas, franquicias, servicios); pero, además, aparecen otros elementos que son propios de actividades terciarias y que complementan los recursos y capacidades de los centros comerciales (restauración, bares, cafeterías, agencias de viajes, farmacias y servicios médicos ambulatorios, espacios de ocio, esparcimiento y recreo infantil)<sup>11</sup>.

Debido a esta gran variedad de actividades que se desarrollan en su interior, sus sistemas de acondicionamiento térmico y ambiental, han ido evolucionando conjuntamente al grado de complejidad que adquiriría este tipo de complejos (desde los sistemas de renovación de aire basados en la renovación natural a través de aperturas directas al exterior hasta los sofisticados sistemas de climatización con capacidad para regular la temperatura y la humedad, con capacidad para establecer artificialmente diversas configuraciones de clima interior en el interior del complejo, en función del tipo de actividad que se realiza).

Por ello, este tipo de inmuebles se han convertido en grandes consumidores de energía, ya que los volúmenes de aire interior que es necesario acondicionar son enormes, provocando un nivel de emisividad elevado; este comportamiento energético conjuntamente con su régimen de funcionamiento, los hace especialmente interesantes a la hora de implementar modelos de gestión que permitan optimizar los recursos energéticos que consumen.

Al igual que en el apartado anterior, para poder establecer una estimación fiable del nivel de consumo energético del sector terciario de centros comerciales en España, es necesario disponer de los siguientes datos:

- Número de centros comerciales que operan en España
- Ratio del consumo energético por unidad de superficie básica alquilable

---

<sup>11</sup> Casares Ripoll, J. y Rebollo Arévalo, A.: "Distribución Comercial". Editado por CIVITAS EDICIONES. Madrid. 2005.

### Situación actual del sector inmobiliario destinado a centros comerciales

En las últimas dos décadas ha tenido en nuestro país un espectacular crecimiento en el número de centros comerciales, promovidos por grupos inmobiliarios privados generalmente multinacionales, destinados fundamentalmente al arrendamiento de espacio acondicionado interiormente a distintos operadores e impulsados por tres razones fundamentales:

- Aparición de una nueva forma de distribución comercial y logística.
- Transformación de las pautas de consumo y ocio, siendo necesaria la disposición de espacios que permitan la realización de estas actividades de forma conjunta.
- Un planeamiento urbanístico favorable en el que se cedían grandes superficies de suelo urbanizado, en la periferia de los núcleos urbanos grandes y medianos para destinarlos a este uso, para atender a la demanda del área metropolitana próxima.

Esta actividad promotora se incrementó notablemente a partir del 2007, cuando el sector comenzó a detectar los primeros síntomas de agotamiento en los productos inmobiliarios que estaban destinados al uso residencial vivienda.

Este tipo de inmueble que posee unas características arquitectónicas específicas, que les permite atender adecuadamente los usos asociados a la actividad comercial y de ocio, entre las cuales podemos destacar las siguientes:

- Superficie en planta mayor que en otros usos
- Ocupación elevada temporal (restringida al horario de actividad comercial que generalmente se centra en los fines de semana).
- Generalmente no superan las tres plantas comerciales, no poseen gran altura.
- En el interior del inmueble se puede hacer una diferenciación en tres tipos de sub-usos (Aparcamiento, Zonas comunes o mal y locales destinados al alquiler por parte de los operadores).
- Su envolvente se caracteriza por tener una gran parte de la superficie opaca y resolver la entrada de luz natural con lucernarios y muros cortina traslúcidos.
- Disponen de equipos térmicos de gran potencia, cuya misión es acondicionar térmicamente los espacios comunes y presta climatización primaria a los locales comerciales de los operadores.
- El consumo eléctrico de los sistemas de iluminación, tanto de zonas comunes como de locales comerciales, es considerablemente superior a otros usos.

### Clasificación de los centros comerciales

La clasificación de este tipo de edificios se realiza habitualmente en base a dos criterios, por superficie básica alquilable (SBA) y por el tipo de uso mayoritario al que se destina su superficie útil, siguiendo el criterio establecido por la AECC, podemos establecer su clasificación según distintas categorías en adjunta en la siguiente tabla:

Denominación	Descripción
Muy Grande	SBA superior a 79.999 m <sup>2</sup>
Grande	SBA desde 40.000 hasta 79.999 m <sup>2</sup>
Mediano	SBA desde 20.000 hasta 39.999 m <sup>2</sup>
Pequeño	SBA desde 5.000 hasta 19.999 m <sup>2</sup>
Hipermercado	Galería Comercial fundamentada en un hipermercado
Parque Comercial	Parque de Actividades Comerciales
Parque de Fabricantes	Centro de Tiendas de Fabricantes (Factory Outlet)
Centro de Ocio	Centro especializado en ocio, restauración y tiempo libre

Tabla 7.- Clasificación de los edificios de uso comercial en función de su superficie y uso (Asociación Española de Centros Comerciales)

### Número de centros comerciales en España

Según la información suministrada por la Asociación Española de Centros Comerciales (AECC) a diciembre 2015 el número de centros comerciales en nuestro país ascienden a un total de 546 con una superficie básica alquilable total aproximada de 15,5 millones de metros cuadrados<sup>12</sup>.

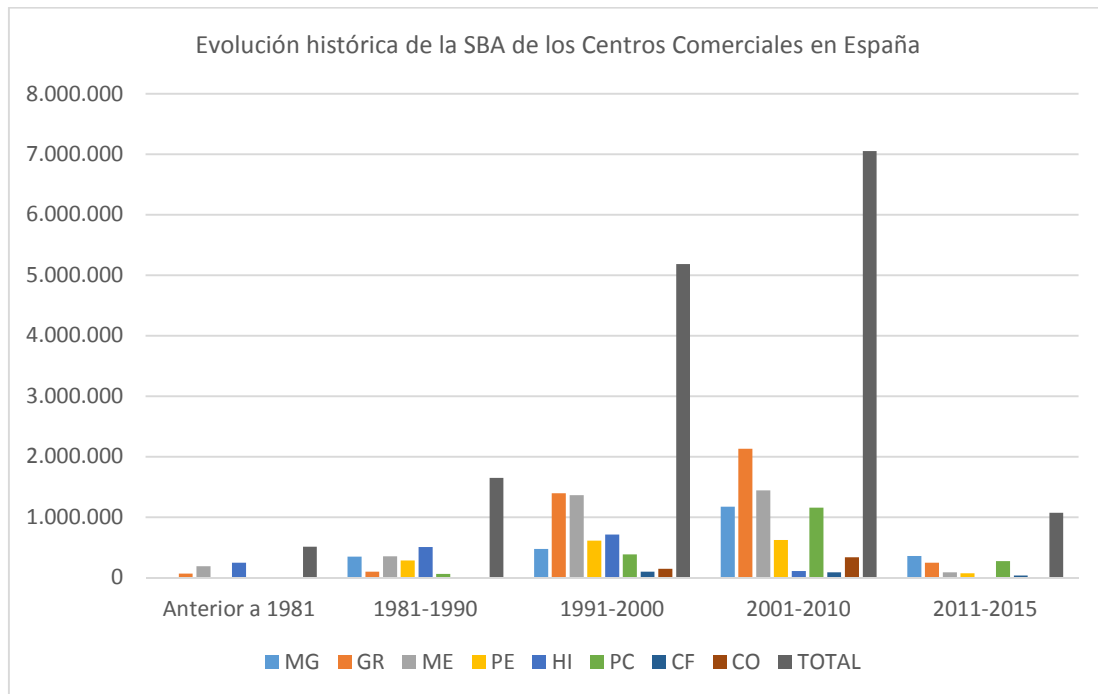


Fig.15.- Evolución histórica de la SBA de los Centros Comerciales en España (1981-2015) (datos de la AECC) (Gráficos propios realizados con el programa Excel – Microsoft)

Este grado de implantación asigna a España en un ratio de 330,7 m<sup>2</sup> de SBA por cada 1.000 habitantes, por lo que sitúa a nuestro país en un nivel de implantación elevado, si lo comparamos con ratios de implantación en otros países de nuestro entorno geográfico cercano. En el siguiente cuadro, se pueden observar los ratios de países con desarrollos económicos similares al de España en el entorno europeo:

<sup>12</sup> Asociación Española de Centros Comerciales: Directorio de Centros y Parques Comerciales de España 2015. Editado por AECC. Madrid. 2016

PAÍS	m <sup>2</sup> SBA por cada 1.000 habitantes
Suecia	400,8
Luxemburgo	378,3
Finlandia	349,1
Holanda	345,8
España	330,7
Italia	218
Alemania	166,8
Bélgica	112,5
Grecia	56,3

Tabla 8.- Ratio de superficie básica alquilable por cada 1000 habitantes en algunos países de la Unión Europea (Eurostat,2014)

Este proceso de implantación ha sido especialmente relevante en los últimos 25 años. Esta evolución ha provocado que en el territorio nacional se hayan implantado 546 centros en los que se oferta un total de 15.469.219 m<sup>2</sup> de SBA (datos actualizados hasta diciembre 2015).

Se puede apreciar la evolución de su grado de implantación por tipos en el cuadro que se adjunta a continuación:

TIPO DE CENTRO	Anterior a 1981		1981-1990		1991-2000		2001-2010		2011-2015		TOTAL a 30/06/2015	
	nº	SBA (m <sup>2</sup> )	nº	SBA (m <sup>2</sup> )	nº	SBA (m <sup>2</sup> )	nº	SBA (m <sup>2</sup> )	nº	SBA (m <sup>2</sup> )	nº	SBA (m <sup>2</sup> )
MUY GRANDE			3	348.700	4	473.280	10	1.171.089	3	357.200	20	2.350.269
GRANDE	1	64.708	2	98.004	27	1.396.043	42	2.129.759	4	244.600	76	3.933.114
MEDIANO	7	189.964	12	351.527	46	1.366.098	50	1.444.602	3	86.486	118	3.438.677
PEQUEÑO	1	5.163	27	282.955	51	613.480	53	621.622	6	71.939	138	1.595.159
BASADO EN HIPERMERCADO	11	249.680	29	506.468	48	711.087	10	108.070			98	1.575.305
PARQUE COMERCIAL			3	63.089	8	382.716	40	1.156.767	10	276.101	61	1.878.673
CENTRO DE FABRICANTES					6	98.327	5	86.635	2	33.921	13	218.883
CENTRO DE OCIO					7	144.418	15	334.721			22	479.139
TOTAL	20	509.515	76	1.650.743	197	5.185.449	225	7.053.265	28	1.070.247	546	<b>15.469.219</b>
DENSIDAD (m <sup>2</sup> /1.000 hab.)		13,4		53,1		175,7		303,1		330,7		

Tabla 9.- Evolución histórica del número y superficie básica alquilable (SBA) en los centros comerciales en España (Asociación Española de Centros Comerciales).

No obstante, en España, la dispersión que se produce en el valor de densidad de superficie por cada 1.000 habitantes entre las comunidades autónomas es considerable comparándolo con la media nacional. Se adjuntan en el siguiente gráfico los ratios autonómicos actualizados:



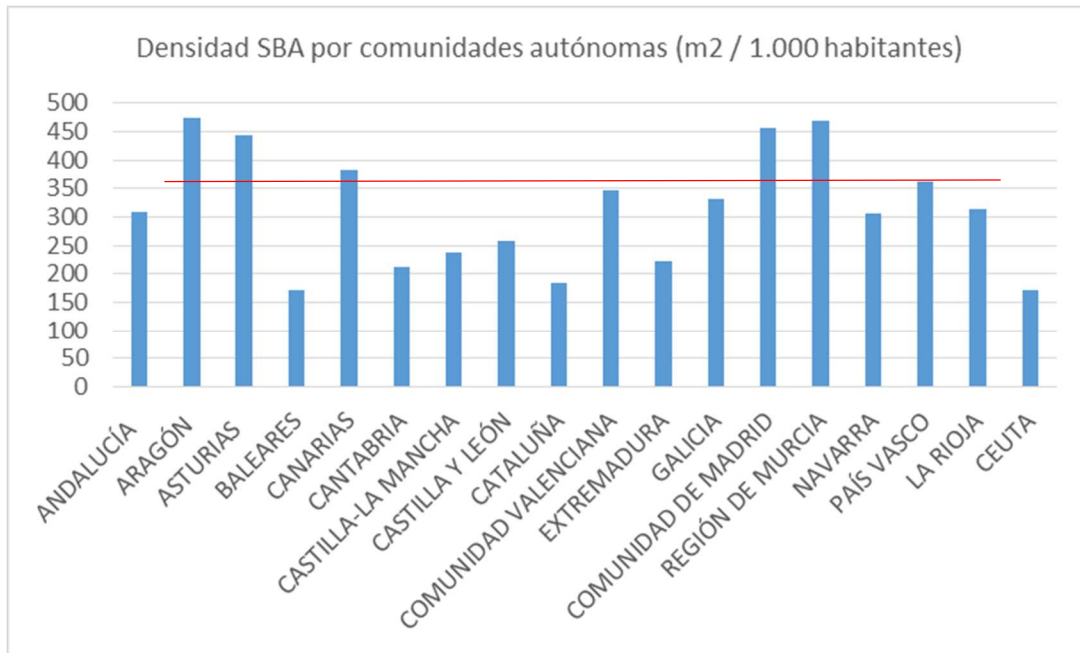


Fig.16.- Densidad de superficie básica alquilable por comunidades autónomas (m<sup>2</sup>/1.000 habitantes) (datos suministrados por la AECC) (Gráficos realizados por el autor con el programa Excel – Microsoft)

Si se analiza la SBA ofertada en cada comunidad autónoma, así como el número de centros comerciales en cada región, se obtendrán algunos valores destacables. Así pues, la distribución de centros comerciales y la SBA ofertada por comunidades autónomas es dispar entre las comunidades autónomas. Presentando valores destacables como los de Andalucía (que posee casi el 20% de los centros comerciales nacionales y el 17,2% de la SBA del total ofertado en España) o el caso de Madrid (que cuenta con el 17,6% de los centros comerciales nacionales y un 19,7% de la SBA total ofertada en España). Su distribución se contempla en el siguiente gráfico:

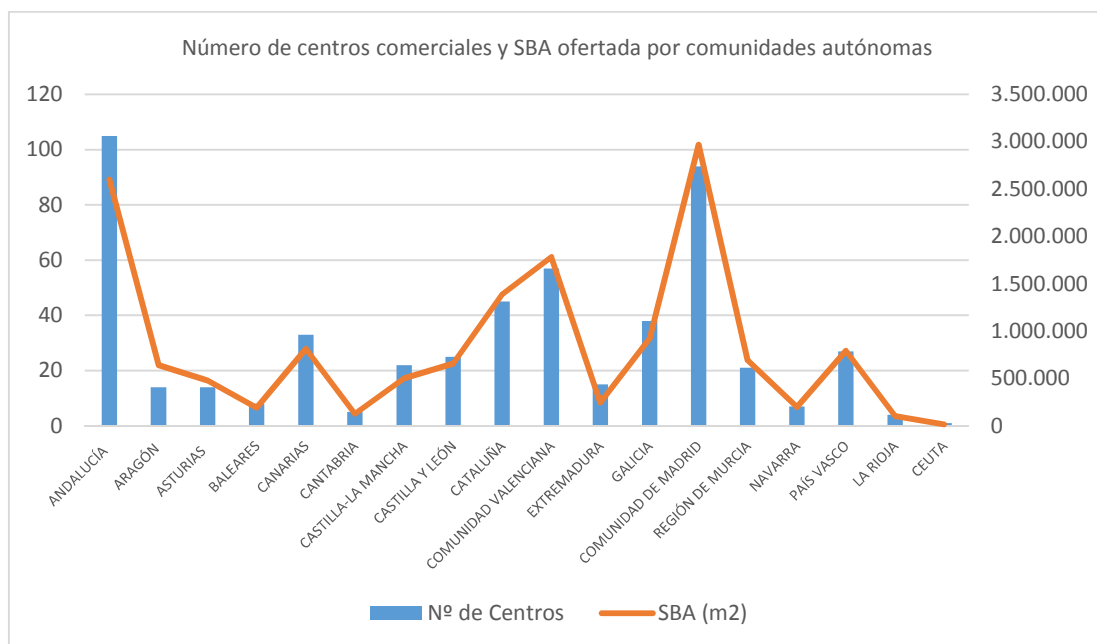


Fig.17.- Número de centros comerciales y SBA (m<sup>2</sup>) por comunidades autónomas (Gráficos propios realizados con el programa Excel – Microsoft)

### Consumo energético en el sector de centros comerciales

El consumo energético de un inmueble destinado a centro comercial se debe fundamentalmente a los siguientes servicios técnicos que implementa. En el cuadro adjunto se indican los servicios técnicos más frecuentes y el porcentaje de consumo energético que provocan sobre el total:

SERVICIO TÉCNICO	% CONSUMO ENERGÉTICO
ILUMINACIÓN	41.5%
CLIMATIZACIÓN	49%
TRANSPORTE MECÁNICO	4.5%
FRÍO INDUSTRIAL	1%
OTROS USOS	4%

Tabla 10.- Porcentajes medios de consumo energético por servicios técnicos implementados en los centros comerciales (según datos suministrados por la AECC)

La instalación de iluminación utiliza para la iluminación general soluciones tradicionales, en las cuales se establece el objetivo de aportar un nivel de iluminancia mínimo a nivel de suelo en los grandes pasillos a través de los que se desplazan los visitantes, en los locales comerciales se utilizan sistemas tradicionales de iluminación, consistentes en un sistema de iluminación general y un sistema de refuerzo para zonas concretas ( escaparates, estanterías, entre otras).

Estos sistemas han optimizado su consumo eléctrico incorporando lámparas led, sistemas de regulación y control, así como la mayor utilización de lucernarios para aportar luz natural la mayor cantidad de horas posible. El consumo eléctrico de este tipo de instalaciones supone aproximadamente el 41,5% de la energía primaria total demandada por el inmueble.

El transporte mecánico se resuelve con la utilización de tres soluciones técnicas: elevadores verticales, escaleras mecánicas y rampas inclinadas o escalators. Estos sistemas han optimizado su consumo de energía en los últimos tiempos utilizando detectores de presencia y sistemas de dos velocidades. El consumo eléctrico de este tipo de instalaciones, supone aproximadamente un 4,5% del total demandado por el inmueble.

Sin embargo, las instalaciones térmicas que utilizan los Centros Comerciales existentes son características de este tipo de edificios y se caracterizan por disponer de dos grandes sistemas: uno dedicado al acondicionamiento interior del aire en las zonas comunes del edificios y el otro destinado a la distribución de agua atemperada y agua tratada a los locales, con el objeto de facilitar el acondicionamiento del aire interior en los locales comerciales. Se describe a continuación, los sistemas de distribución de agua y el fin al que se destinan:

- Mediante el término **agua atemperada** se hace referencia al agua suministrada para la realización del proceso de condensación de los equipos de climatización de los inquilinos del Centro Comercial (temperatura variable entre 21 y 31 °C). Cabe destacar que esta agua se genera en sistemas con torres de refrigeración y calderas.

- El concepto de **agua tratada** hace referencia al agua suministrada para alimentación de *fancoils* o climatizadores (temperatura de calor de 50 a 70 °C y de frío de 7 a 9 °C). La generación del calor se origina, normalmente, con calderas y para la producción de frío se suelen emplear enfriadoras de distinto tipo.

Estos sistemas basados en agua atemperada son económicamente muy rentables en la promoción de un Centro Comercial, ya que los equipos de climatización se instalan por cuenta del arrendatario del local, pero muy poco eficientes energéticamente, ya que las pérdidas de temperatura en el proceso de distribución del agua en los anillos son elevadas.

No obstante, los sistemas de agua tratada permiten su integración en cualquier proceso de gestión energética, introduciendo contadores de energía individuales para cada uno de los locales. El rendimiento de la instalación es mejor y su rendimiento con el tiempo no se hace crítico. La generación se hace desde equipos como calderas y enfriadoras de tornillo de alto rendimiento.

Tomando como referencia las auditorías realizadas en la Comunidad de Madrid (región en la que se concentran un buen número de centros comerciales, que por su diversidad podemos considerar representativos de los valores medios de consumo energético a nivel nacional), los valores de consumo varían desde los 118 hasta los 333 kWh/m<sup>2</sup>. Para poder realizar una estimación del consumo energético en el sector, estimaremos un consumo energético de 275 kWh/m<sup>2</sup> de SBA.

Por lo que el consumo energético correspondiente a los centros comerciales, se estima en unos **4.254.035 MWh**, de los cuales a la zona climática denominada Atlántico Norte le corresponden unos 385.760 MWh. lo que supone el 9,7% del consumo total del sector de centros comerciales en España.

### 1.8.3.- Consumo de energía en el subsector Residencial Colectivo (Hoteles)

El sector turístico en general es uno de los sectores más dinámicos y que mayor crecimiento ha experimentado en las últimas décadas en España, de tal forma que por el volumen de empleo de recursos humanos y de ventas producidas, por lo que constituyen uno de los motores significativos de nuestra economía nacional y, a nivel local, en un número importante de municipios de la zona Norte de la península.

Entre otros recursos, los establecimientos hoteleros utilizan una importante cantidad de energía, se puede considerar que en algunos casos son grandes consumidores de energía primaria no renovable, ya que precisan suministrar los servicios y el confort que ofrece a sus clientes.

Es por ello que las estrategias y recomendaciones relativas al control de la demanda y el ahorro de energía se convierten en compromisos que debe asumir el sector hotelero, donde existe todavía un gran potencial para el ahorro energético.

Concretamente, en inmuebles destinados a uso residencial colectivo de más de 15 años de antigüedad, no se realiza un seguimiento riguroso del consumo energético, careciendo de sistemas específicos para la regulación y control, tanto para las instalaciones térmicas como para las de iluminación. Por ello, aunque el consumo de energía es uno de los principales costes del establecimiento, presentan niveles de eficiencia energética relativamente bajos.

#### Situación actual del sector residencial colectivo

En el año 2015, el sector hotelero español alcanzó un crecimiento del 8,6%, superando holgadamente el 4,3% registrado el año anterior, hasta situarse en 13.250 millones de euros, según el informe sectorial elaborado en 2016 por la consultora DBK informa – observatorio sectorial [DBKH 16].

Se puede resumir la actividad del sector con los siguientes datos:

- Número de establecimientos en el 2015: 16.702
- Número de plazas: 1.766110
- Cuatro Comunidades Autónomas concentran el 50 % del total de hoteles en España: (Andalucía, Cataluña, Galicia y Castilla y León).
- El número total de hoteles en España durante el período 2008 – 2014 se ha mantenido estable, asciende en el 2014 a 14.728 establecimientos.

En el siguiente cuadro se resumen los datos relativos a la evolución de instalaciones hoteleras en el período que abarca desde 2008 hasta el año 2014 [SAEA 15]:

CC. AA.	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
<b>TOTAL</b>	<b>14.695</b>	<b>14.824</b>	<b>14.838</b>	<b>14.997</b>	<b>14.995</b>	<b>14.822</b>	<b>14.728</b>
Andalucía	2.393	2.437	2.382	2.404	2.421	2.378	2.404
Aragón	746	777	807	810	804	769	780
Asturias	639	623	607	589	573	538	545
Baleares	770	734	708	717	719	739	731
Canarias	494	490	502	523	513	512	504
Cantabria	366	372	362	360	356	332	331
Castilla y León	1.432	1.411	1.387	1.377	1.379	1.372	1.326
Castilla La Mancha	800	814	825	839	839	811	801
Cataluña	1.976	2.007	2.077	2.103	2.086	2.130	2.117
C. Valenciana	1.011	1.010	1.001	996	1.001	998	960
Extremadura	370	380	390	429	444	441	440
Galicia	1.497	1.533	1.543	1.534	1.548	1.523	1.524
Madrid	1.177	1.184	1.167	1.161	1.182	1.159	1.145
Murcia (Región de)	196	190	189	186	182	177	172
Navarra (C. Foral de)	252	272	259	288	302	276	276
País Vasco	417	529	465	503	504	509	516
Rioja (La)	135	137	141	142	133	135	134
Ceuta	13	15	14	13	12	13	12
Melilla	11	11	11	11	11	11	11

Tabla 11.- Evolución del número de hoteles 2008 – 2014 por CC.AA. (Sector hotelero en España 2015 – EAE Business School)

En el siguiente gráfico se muestra la distribución de establecimiento hoteleros por CC.AA.

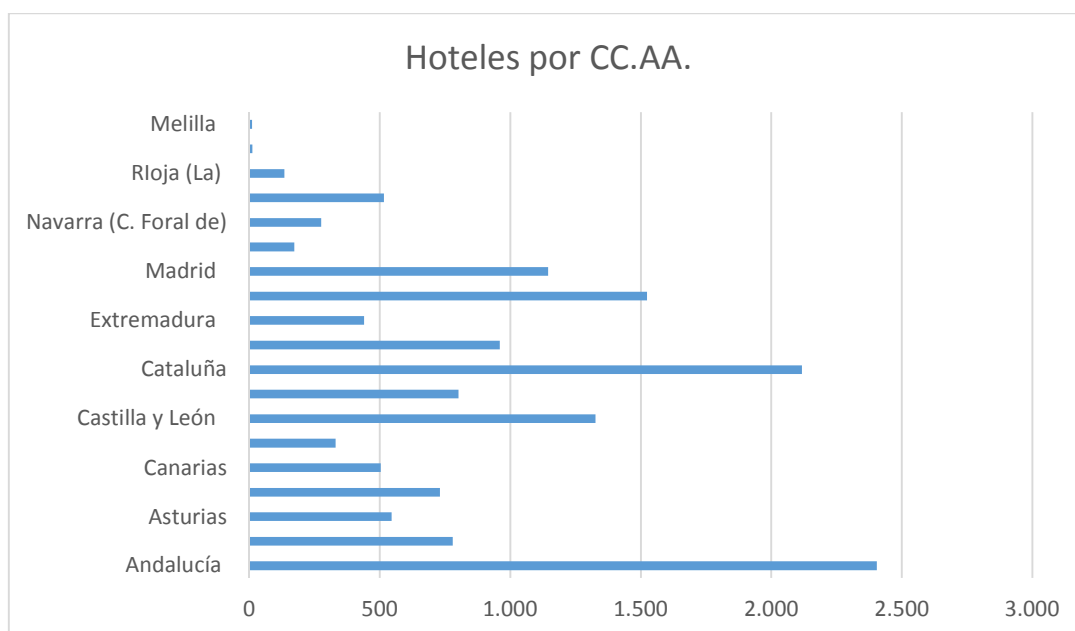


Fig. 18.- Número de hoteles por comunidades autónomas 2014 (Sector hotelero en España 2015 – EAE Business School) (Gráfico propio realizado con el programa Excel – Microsoft)

Distribución y evolución de hoteles por categorías:

Hoteles	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2014-2013 (%)	2014-2008 (%)
5 estrellas	208	222	238	251	256	251	251	0 %	21 %
4 estrellas	1.617	1.719	1.830	1.929	1.986	2.030	2.064	2%	28%
3 estrellas	2.342	2.397	2.466	2.515	2.506	2.504	2.487	-1%	6%
2 estrellas	1.830	1.849	1.860	1.890	1.890	1.865	1.875	1%	2%
1 estrella	1.189	1.203	1.194	1.189	1.188	1.160	1.163	0%	-2%
Hostales									
Tres y dos estrellas	2.972	3.000	3.033	3.083	3.077	3.033	3.018	-1%	2%
Una estrella	4.538	4.436	4.217	4.140	4.093	3.980	3.870	-3%	-15%
<b>TOTALES</b>	<b>14.695</b>	<b>14.824</b>	<b>14.837</b>	<b>14.997</b>	<b>14.996</b>	<b>14.822</b>	<b>14.728</b>	<b>-0,6%</b>	<b>0,2%</b>

Tabla 12.- Evolución del número de hoteles 2008 – 2014 por categorías (Sector hotelero en España 2015 – EAE Business School)

En el siguiente gráfico, se puede observar la distribución por categorías de los distintos tipos de establecimiento hotelero, según los datos obtenidos del informe sectorial [SAEA 15] elaborado por la consultora EAE Business School<sup>13</sup>:

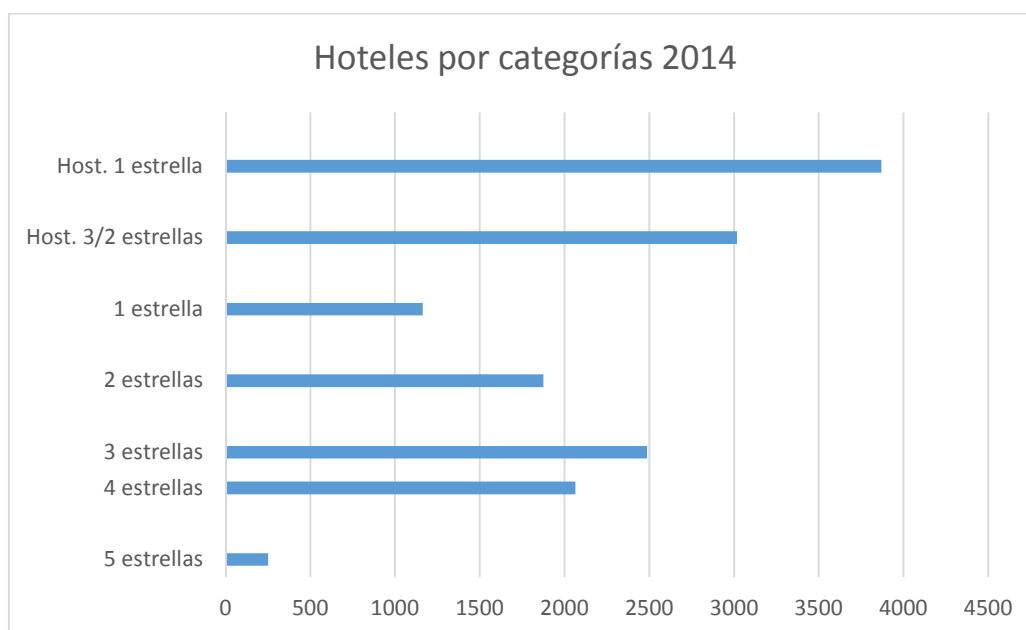


Fig. 19.- Hoteles por categorías 2008-2014 (Sector hotelero en España 2015 – EAE Business School) (Gráfico propio realizado con el programa Excel – Microsoft)

<sup>13</sup> EAE Business School: El sector hotelero en España 2015: Macrocifras y evolución. Editado EAE. Barcelona. 2015.

Utilizando como datos de partida, los consumos medios mensuales estimados para hoteles de las distintas categorías, se puede obtener los datos que se recopilan en la siguiente tabla:

Categoría	Nº hoteles	Consumo anual (kW.h)	Consumo anual categoría (kW.h)	Consumo anual categoría (MW.h)
5 estrellas	251	2.460.900	617.685.900	617.686
4 estrellas	2.064	1.914.500	3.951.528.000	3.951.528
3 estrellas	2.487	1.276.700	3.175.152.900	3.175.153
2 estrellas	1.875	470.000	881.250.000	881.250
1 estrella	1.163	230.700	268.304.100	268.304
Host. 2/3 estrellas	3.018	173.350	523.170.300	523.170
Host. 1 estrella	3.870	123.200	476.784.000	476.784
<b>Totales</b>	<b>14.728</b>	<b>6.649.350</b>	<b>9.893.875.200</b>	<b>9.893.875</b>

Tabla 13.- Estimación del consumo anual en hoteles por categorías (Elaboración propia)

En el siguiente gráfico, se pueden observar la estimación del consumo de energía final de hoteles en España por categorías:

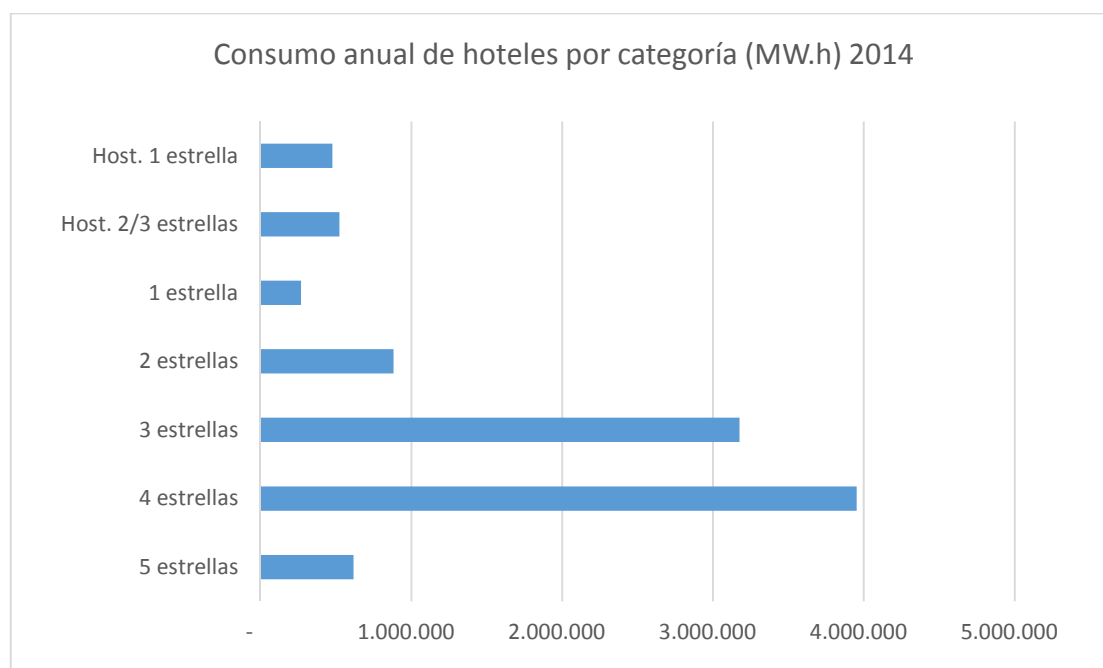


Fig. 20.- Consumo anual de energía en Hoteles por categorías 2014 (Sector hotelero en España 2015 – EAE Business School) (Gráfico propio realizado con el programa Excel – Microsoft)

En resumen, se puede estimar que, como mínimo, el consumo anual de energía final en el sector hotelero español asciende a un total de **9.893.875 MW.h** y que corresponde su mayor parte al consumo de hoteles con categorías de 3 y 4 estrellas (aproximadamente un 72% del total consumido por el sector).

#### 1.8.4.- Consumo de energía en el subsector de Edificios Públicos

En los edificios de dominio o uso público, se incluye un número elevado de inmuebles destinados a diversas actividades en todo el territorio nacional; en el caso que nos ocupa, se centrará la atención en edificios cuyas características hacen que se puedan clasificar como grandes consumidores de energía, por lo que se analizarán inmuebles destinados a los siguientes usos:

- Edificios de Uso Docente
- Edificios de Uso Sanitario (Hospitales)
- Edificios Administrativos

##### 1.8.4.1.- Edificios de Uso Docente

En su mayoría, los centros docentes son edificios de gran superficie y con menos de tres plantas, disponen de sistemas de calefacción y producción de A.C.S. centralizados en los que prevalecen las calderas de gasoil (especialmente en aquellos centros que poseen una antigüedad superior a los 15 años).

Sus cerramientos verticales opacos están configurados por soluciones técnicas multicapa, con cámara de aire que dispone lámina aislante en su interior.

Los huecos constituyen una parte importante de la superficie (con el objeto de aprovechar la luz solar) llegando a ocupar hasta un 40% del total del cerramiento vertical.

Para poder cuantificar los edificios que pertenecen a éste ámbito y estimar la cantidad de energía que consumen, se clasifican en dos tipos:

- Centros de enseñanza no universitarios (primaria, secundaria obligatoria, formación profesional, educación especial, escuelas oficiales de idiomas y enseñanzas deportivas).
- Centros de enseñanza universitarios (Públicos y privados)

A los efectos de la estimación de superficie, solo se considerará la superficie de los espacios habitables (acondicionados térmicamente), con el propósito de estimar la energía total consumida por el inmueble.

- a) Centros de enseñanza no universitarios (Fuente: Ministerio de Educación – Secretaría de Estado de Educación, Formación Profesional y Universidades / Registro estatal de centros de enseñanza no universitarios 2016)

TIPO DE CENTRO	ESPAÑA	GALICIA	ASTURIAS	LEÓN	CANTABRIA	P. VASCO
Primaria	14.123	1.021	305	155	192	611
Secundaria obligatoria	7.399	519	152	75	93	346
Formación profesional	4.112	281	109	32	74	225
Educación especial	3.887	9	18	6	14	233
Escuela oficial de idiomas	415	12	9	4	13	15
Enseñanzas deportivas	285	25	9	2	9	9
TOTAL	30.221	1.867	602	274	395	1.439

Tabla 14.- Centros docentes no universitarios en España, CC.AA. y provincias zona Noroeste – Ministerio de Educación (Secretaría de estado de educación, formación profesional y universidades) (elaboración propia)



- Alumnos en enseñanzas del Régimen General no universitarias (curso 2015-2016): 8.108.884
- Ratio de superficie por alumno en centros de enseñanza no universitarios: 1,5 m<sup>2</sup>/alumno
- Estimación de la superficie total centros enseñanza no universitaria: 12.163.326 m<sup>2</sup>
- Consumo medio de referencia: 65,0 kW.h/m<sup>2</sup>.año
- Estimación del consumo anual de energía final: 790.616,19 MW.h

b) Centros de enseñanza universitarios (Fuente: Ministerio de Educación – Secretaría de Estado de Educación, Formación Profesional y Universidades / Registro estatal de centros de enseñanza universitarios 2016)<sup>14</sup>.

DATO	ESPAÑA	GALICIA	ASTURIAS	CASTILA Y LEÓN	CANTABRIA	PAÍS VASCO
Universidades	85	3	1	8	2	2
Centros	1.827	113	27	151	24	82
Alumnos (2015-16)	1.329.109	53.648	19.127	71.801	9.972	48.589

Tabla 15.- Centros docentes universitarios en España, CC.AA. y provincias zona Noroeste Ministerio de Educación (Secretaría de estado de educación, formación profesional y universidades) (elaboración propia)

- Alumnos en enseñanzas del Régimen General universitarias (curso 2015-2016): 1.329.109
- Ratio de superficie por alumno en centros de enseñanza universitaria: 1,75 m<sup>2</sup>/alumno
- Estimación de la superficie total centros enseñanza universitaria: 2.325.940 m<sup>2</sup>
- Consumo medio de referencia: 65,0 kW.h/m<sup>2</sup>.año
- Estimación del consumo anual de energía final: 151.186,1 MW.h

En resumen, para centros de uso docente (universitarios y no universitarios) se estima un consumo anual de energía final de: **941.802, 29 MW.h**

<sup>14</sup> Ministerio de Educación, Cultura y Deportes (Subdirección General de Estadística y Estudios): Datos y cifras del Curso escolar 2015/2016. Editado por la Secretaría General Técnica. Madrid. 2015.

#### 1.8.4.2.- Edificios de uso Sanitario (Hospitales)

Para cuantificar el consumo de energía en Hospitales, hemos utilizado como fuente de información el Catálogo Nacional de Hospitales 2015, editado por el Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad (actualizado a diciembre 2014)<sup>15</sup>.

Comunidad Autónoma	Hospitales	Camas	Superficie	kW.h	MW.h
Andalucía	106	20.869	3.172.088	255.540.905	255.541
Aragón	29	5.375	817.000	65.816.875	65.817
P. de Asturias	20	3.759	571.368	46.028.955	46.029
Islas Baleares	24	3.869	588.088	47.375.905	47.376
Canarias	38	7.620	1.158.240	93.306.900	93.307
Cantabria	7	2.018	306.736	24.710.410	24.710
Castilla y León	36	9.542	1.450.384	116.841.790	116.842
Castilla - La Mancha	28	5.768	876.736	70.629.160	70.629
Cataluña	212	34.694	5.273.488	424.828.030	424.828
Comunidad Valenciana	60	13.621	2.070.392	166.789.145	166.789
Extremadura	19	4.128	627.456	50.547.360	50.547
Galicia	38	9.638	1.464.976	118.017.310	118.017
Madrid	80	21.667	3.293.384	265.312.415	265.312
Región de Murcia	27	4.829	734.008	59.131.105	59.131
Comunidad Foral de Navarra	11	2.256	342.912	27.624.720	27.625
País Vasco	43	8.187	1.244.424	100.249.815	100.250
La Rioja	7	1.035	157.320	12.673.575	12.674
Ceuta	1	252	38.304	3.085.740	3.086
Melilla	1	170	25.840	2.081.650	2.082
<b>Total Nacional</b>	<b>787</b>	<b>159.297</b>	<b>24.213.144</b>	<b>1.950.591.765</b>	<b>1.950.592</b>

Tabla 16.- Centros hospitalarios en España (datos extraídos del Catálogo Nacional de Hospitales 2015 – Ministerio de Sanidad, Servicios sociales e Igualdad) (estimación de superficie y consumo energético de elaboración propia)

A los efectos de la estimación de superficie, solo se considerará la superficie de los espacios habitables (acondicionados térmicamente), con el propósito de estimar la energía total consumida por el inmueble.

El consumo anual de energía final estimado para el sector hospitalario, se estima en **1.950.592 MW.h**

<sup>15</sup> Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad: Catálogo de Centros de Atención Primaria del SNS. Editado por la Secretaría General Técnica. Madrid. 2016.

### 1.8.4.3.- Edificios Administrativos

Al igual que en otros apartados, se analizarán edificios de gran superficie destinados a uso administrativo, que por sus características energéticas puedan ser considerados como grandes consumidores.

Para este caso, se evaluará el consumo de energía en edificios administrativos de dominio público, concretamente aquellos que pertenecen al dominio de la Administración General del Estado, utilizando como fuente de información la publicación del Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital, “Inventario energético de los edificios de la Administración General del Estado” editado el 15 diciembre 2016; de la cuál extraemos los datos siguientes<sup>16</sup>:

MINISTERIO	Edificios	Superficie (m <sup>2</sup> )	Consumo anual (kW.h)	Consumo anual (MW.h)
Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA)	33	149.277	14.835.055	14.835,06
Ministerio de Asuntos Exteriores y de Cooperación (MAEC)	3	6.743	455.440	455,44
Ministerio de Economía, Industria y Competitividad (MINECO)	154	924.542	154.215.686	154.215,69
Ministerio de Educación, Cultura y Deporte (MECD)	54	382.453	19.838.856	19.838,86
Ministerio de Empleo y Seguridad Social (MEYSS)	763	1.926.181	151.188.776	151.188,78
Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital (MINETAD)	10	295.284	22.857.535	22.857,54
Ministerio de Fomento (MFOM)	83	212.163	8.927.127	8.927,13
Ministerio de Hacienda y Función Pública (MINHAFP)	405	1.371.161	94.400.547	94.400,55
Ministerio del Interior (MIR)	580	5.055.801	504.884.874	504.884,87
Ministerio de Justicia (MJUSTICIA)	9	33.684	7.375.595	7.375,60
Ministerio de la Presidencia y para las Administraciones Territoriales (MPR)	5	116.866	18.248.812	18.248,81
Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad (MSSSI)	40	336.715	40.959.860	40.959,86
<b>TOTAL</b>	<b>2.139</b>	<b>10.810.870</b>	<b>1.038.188.163</b>	<b>1.038.188,16</b>

Tabla 17.- Edificios administrativos de la Administración General del Estado (Fuente: Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital – Inventario energético de los edificios de la Administración General del Estado – dic 2016)

El consumo de energía anual para el grupo de edificios gestionados por la Administración General del Estado, lo se estima en **1.038.188,16 MW.h**

<sup>16</sup> Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital (Secretaría de Estado de Energía): Inventario energético de los edificios de la Administración General del Estado – Trasposición del artículo 5 de la D.E. 2012/27/UE. Editado por Secretaría General Técnica. Madrid. 2016

### 1.8.5.- Resumen de datos energéticos obtenidos por tipologías de inmuebles

En este apartado se resume los datos de la estimación del consumo energético, realizado en los apartados anteriores, para cada tipología de inmuebles:

TIPOLOGÍA	Nº Inmuebles	Superficie hab. (m <sup>2</sup> )	Consumo anual conj. (kW.h)	Consumo anual conj. (MW.h)	Ratio año (kW.h/m <sup>2</sup> )
Residencial vivienda	25.541.915	2.579.733.415	253.290.742.220	253.290.742,22	98,18
Centros comerciales	546	15.469.219	4.254.035.000	4.254.035	274,9
Hoteles	14.728	32.759.970	9.893.875.200	9.893.875	302,10
Centros docentes	32.048	14.489.266	941.802.290	941.802,29	65,00
Hospitales	787	24.213.144	1.950.591.765	1.950.592	80,56
Edf. Administrativos	2.139	10.810.870	1.038.188.163	1.038.188,16	96,03

Tabla 18.- Resumen de consumos anuales de energía por tipologías de inmueble (elaboración propia)

En el siguiente gráfico se contempla la situación energética de los edificios seleccionados del sector terciario, comparando la superficie habitable con el consumo de energía anual.

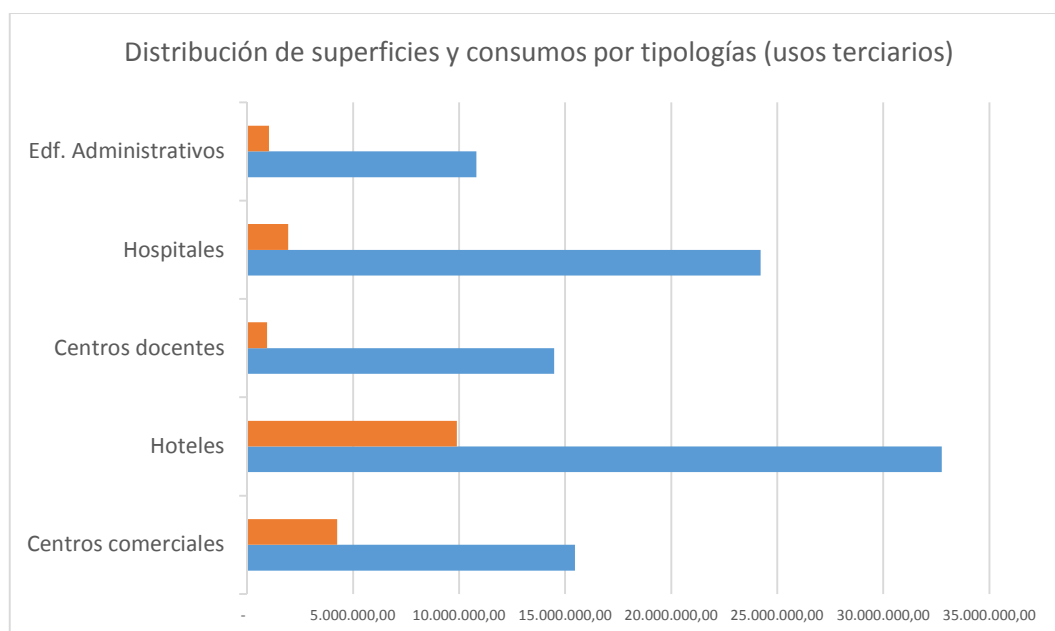


Fig. 21.- Subsectores terciarios (Grandes consumidores de energía) Serie1: Sup. Hab (m<sup>2</sup>) / Serie 2: Consumo anual de energía (MWh/año) (Gráfico propio realizado con el programa Excel – Microsoft)

La estimación del consumo de energía por cada tipología de edificio, además de establecer la situación energética actual, también sirve al propósito de establecer un dato de partida necesario para evaluar la repercusión energética y económica que podrían producir las mejoras propuestas para cada tipo de edificio, al objeto de elevar su nivel de eficiencia energética.

# ESTADO DEL ARTE: FUNDAMENTOS Y EXIGENCIAS NORMATIVAS

---

En este capítulo, se expone el estado del arte relacionado con la investigación, por lo tanto se exponen los aspectos relevantes relacionados con el objeto de la investigación y se resumen los resultados obtenidos hasta la fecha en los siguientes ámbitos tecnológicos:

- La edificación sostenible, pensada como la tecnología y las técnicas de intervención en el patrimonio inmobiliario que pretende resolver o mitigar los efectos de las problemáticas provocadas por el agotamiento de los recursos energéticos y del calentamiento global asociado a la producción de energía a través de los combustibles fósiles.
- La evaluación del comportamiento energético de los edificios, como una disciplina que utiliza conceptos de la física, de la arquitectura y de la ingeniería para calcular el consumo y la emisividad teórica de los edificios.
- La simulación energética de los edificios, mediante la utilización de herramientas de computación avanzada e inteligencia artificial, que permiten evaluar los efectos de posibles técnicas de intervención que mejoren el comportamiento energético del edificio.
- La calificación energética de los edificios y su certificación, como estrategia de ahorro de energía y de reducción de las emisiones de gases contaminantes, a nivel mundial, europeo y español.
- Los estudios sobre el acondicionamiento interior del edificio (calidad de aire interior), como disciplina que utiliza conceptos físicos, psicológicos, sociológicos para definir las características relacionadas con el bienestar de los usuarios y su relación con las estrategias para incrementar la eficiencia energética del edificio.
- Implementación de la aplicabilidad de los Sistemas Conexionistas y la Computación Evolutiva a la Ingeniería de Edificación. Para ello se desarrolla una herramienta informática que permitirle al ingeniero la aplicación de estas técnicas en diversos campos de una forma cómoda y práctica sin necesidad de un conocimiento profundo de estas técnicas informáticas [RATD 08]. Uno de los problemas que se le plantean al ingeniero de edificación se centra en el campo del comportamiento energético del edificio. El planteamiento de la formulación de la demanda y el consumo de energía del edificio, para establecer el nivel de eficiencia energética a partir de parámetros conocidos.

## 2.1. Conceptos y requisitos básicos de los edificios

El objetivo de este apartado es aportar aquellos conceptos básicos relevantes que guardan una estrecha relación con el análisis realizado, facilitando la comprensión de los términos y parámetros utilizados, así como algunos valores representativos de las exigencias o requisitos establecidos por diferentes normativas técnicas aplicables a las tipologías de edificios que conforman la muestra seleccionada para su estudio. Se ha estructurado la información en los siguientes apartados:

- Resumen de las tipologías de exigencias básicas para los Edificios
- Fundamentos y exigencias normativas relacionadas con la eficiencia energética en los edificios:
  - o Relativos al comportamiento de la envolvente térmica
  - o Relativos al rendimiento de los equipos térmicos
  - o Relativos a la contribución mínima de las energías renovables a la reducción del consumo
- Fundamentos y exigencias normativas relacionados con la calidad del aire interior en los edificios

### 2.1.1. Resumen de las exigencias básicas para los Edificios

Debido a la creciente preocupación por las problemáticas ambientales que han surgido o agravado en los últimos dos siglos, como consecuencia directa del agotamiento de los recursos fósiles que han sido utilizados como combustible para generar energía térmica y, a la aparición de fenómenos climáticos adversos asociados al proceso de calentamiento global, los Estados, han desarrollado estrategias de intervención, con el objeto de limitar la demanda energética y reducir el consumo en todos los sectores productivos, también en el de la edificación. Al mismo tiempo, las tecnologías cuya misión era desarrollar nuevos materiales y nuevas fuentes de energía renovable aplicables al edificio y sirvieran al propósito de reducir sensiblemente el consumo de energía y por ende la emisión de CO<sub>2</sub> a la atmósfera provocada por los procesos de combustión.

Una prueba de ello es que el planteamiento medio ambiental y sostenible afecta tanto a los agentes intervinientes en el proceso de la edificación, como a la totalidad de las fases de la vida útil del inmueble:

- Los planes de formación de los profesionales que intervienen como responsables del proceso edificatorio: Arquitectos, Ingenieros de Edificación y Arquitectos Técnicos: inicialmente en las universidades a sus estudiantes en las titulaciones de Grado y Máster, como las empresas a empleados y colaboradores para gestionar los procesos teniendo en cuenta y proponiendo soluciones técnicas para tratar adecuadamente la temática energética.
- En el extenso ámbito normativo técnico aplicable al proceso de diseño y construcción del edificio, que está en constante evolución y que establece un número importante de requisitos obligatorios en materia ambiental y energético.
- En la supervisión técnica del proyecto arquitectónico: consultoras, auditorías, Colegios Profesionales y los mismos Estados ponen en marcha programas de supervisión y certificación de las prestaciones de los edificios, mediante sistemas de evaluación y calificación energética.

- En el proceso constructivo: verificando la correcta aplicación de la normativa técnica tanto a las instalaciones térmicas y a los materiales empleados en la conformación de la envolvente térmica del edificio, que deben tener las características técnicas adecuadas, conforme a la normativa técnica y disponer de las homologaciones y certificaciones ambientales necesarias para poder ser utilizados para esa misión.
- Durante la explotación del edificio: el período de utilización del edificio contemporáneo, generalmente es prolongado, llegando en algunos casos a superar el medio siglo, por lo que también debe las rutinas de control y adecuación están presentes en esta fase de la vida útil del inmueble.
- Finalmente, en el proceso de demolición y reutilización de los materiales y equipos que sean susceptibles de ser reciclables.

Al resumir las exigencias que deben cumplir los edificios destinados a distintos usos, resulta inevitable referirnos a la Ley de Ordenación de la Edificación y del Código Técnico de la Edificación, en los cuáles se establecen los requisitos básicos de carácter obligatorios, que deben cumplir todos los edificios de nueva construcción y los que sean objeto de reforma, rehabilitación o ampliación, ya sea ésta total o parcial. En atención a lo expuesto en el capítulo 2 (Exigencias técnicas y administrativas de la edificación) de la Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación<sup>17</sup>, estos requisitos básicos exigidos para las distintas tipologías de edificios, entre los cuáles se incluyen los inmuebles que son objeto de estudio en la presente investigación, estos requisitos básicos se agrupan en tres ámbitos: funcionalidad, seguridad y habitabilidad, por lo que se describen a continuación:

a) Relativos a la *funcionalidad*:

- Utilización, de tal forma que la disposición y las dimensiones de los espacios y la dotación de las instalaciones faciliten la adecuada realización de las funciones previstas en el edificio [AQIT 15].
- Accesibilidad, de tal forma que se permita a las personas con movilidad y comunicación reducidas el acceso y la circulación por el edificio en los términos previstos en su normativa específica.
- Acceso a los servicios de telecomunicación, audiovisuales y de información de acuerdo con lo establecido en su normativa específica.
- Facilitación para el acceso de los servicios postales, mediante la dotación de las instalaciones apropiadas para la entrega de los envíos postales, según lo dispuesto en su normativa específica.

b) Relativos a la *seguridad*:

- Seguridad estructural, de tal forma que no se produzcan en el edificio, o partes del mismo, daños que tengan su origen o afecten a la cimentación, los soportes, las vigas, los forjados, los muros de carga u otros elementos estructurales, y que comprometan directamente la resistencia mecánica y la estabilidad del edificio.

---

<sup>17</sup> Gobierno de España – Jefatura de Estado: Ley 38/1999, de 05 de noviembre, de ordenación de la edificación (LOE). BOE núm. 266, de 06/11/1999.

- Seguridad en caso de incendio, de tal forma que los ocupantes puedan desalojar el edificio en condiciones seguras, se pueda limitar la extensión del incendio dentro del propio edificio y de los colindantes y se permita la actuación de los equipos de extinción y rescate.
- Seguridad de utilización, de tal forma que el uso normal del edificio no suponga riesgo de accidente para las personas.

c) Relativos a la *habitabilidad*

- Higiene, salud y protección del medio ambiente, de tal forma que se alcancen condiciones aceptables de salubridad y estanqueidad en el ambiente interior del edificio y que éste no deteriore el medio ambiente en su entorno inmediato, garantizando una adecuada gestión de toda clase de residuos.
- Protección contra el ruido, de tal forma que el ruido percibido no ponga en peligro la salud de las personas y les permita realizar satisfactoriamente sus actividades.
- Ahorro de energía y aislamiento térmico, de tal forma que se consiga un uso racional de la energía necesaria para la adecuada utilización del edificio.
- Otros aspectos funcionales de los elementos constructivos o de las instalaciones que permitan un uso satisfactorio del edificio.

Esta investigación se centra en el estudio de edificios y el desarrollo de un modelo de gestión que permita verificar el grado de cumplimiento de los requisitos básicos relativos a la seguridad (calidad de aire interior) y habitabilidad (ahorro de energía). Si establecemos una relación entre los requisitos exigibles a los edificios que constituyen el objetivo del estudio y los documentos básicos del Código técnico de la edificación que los desarrollan, podremos realizar un resumen de aquellos requisitos que deben cumplir los inmuebles de uso residencial vivienda como los de uso terciario o público.

La organización de los requisitos prestacionales exigibles a los edificios, según lo dispuesto en el REAL DECRETO 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación<sup>18</sup> y posteriores modificaciones, que fija las exigencias básicas que están recopiladas y organizadas en documentos básicos de la siguiente forma:

- Exigencias básicas de seguridad estructural (SE)
- Exigencias básicas de seguridad en caso de incendio (SI)
- Exigencias básicas de seguridad de utilización y accesibilidad (SUA)
- Exigencias básicas de higiene, salud y protección del medio ambiente (HS)
- Exigencias básicas de protección frente al ruido (HR)
- Exigencias básicas de ahorro de energía (HE)

---

<sup>18</sup> Gobierno de España – Ministerio de Vivienda: Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. BOE núm. 74, de 28 de marzo de 2006, páginas 11816 a 11831.



Dos de los cuáles, se describen brevemente aquellos que guardan relación directa con la investigación y que contemplan parámetros o exigencias que condicionan el comportamiento energético y ambiental interior del edificio (calidad del aire interior del edificio):

- El primero contempla las requisitos prestacionales relativos al ahorro de energía, se denomina Documento Básico HE – Ahorro de energía, en el cuál se incluyen cinco secciones que tratan las limitaciones de consumo y demanda de energía de los edificios, estableciendo criterios para su cálculo; requisitos relativos al rendimiento en los equipos térmicos y eficiencia energética en sistemas de iluminación; establece las exigencias referentes a la contribución energética de sistemas solares térmicos y fotovoltaicos.


Exigencias básicas de ahorro de energía (HE)	
	<p>El objetivo del requisito básico “Ahorro de energía” consiste en conseguir un uso racional de la energía necesaria para la utilización de los <i>edificios</i>, reduciendo a límites sostenibles su consumo y conseguir asimismo que una parte de este consumo proceda de fuentes de energía renovable, como consecuencia de las características de su <i>proyecto, construcción, uso y mantenimiento</i>.</p>
Exigencia básica HE 0: Limitación del consumo energético	
Exigencia básica HE 1: Limitación de demanda energética	
Exigencia básica HE 2: Rendimiento de las instalaciones térmicas	
Exigencia básica HE 3: Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación	
Exigencia básica HE 4: Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria	
Exigencia básica HE 5: Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica	

Tabla 19.- Objetivo y documentos secciones del Documento Básico de ahorro de energía HE (elaboración propia)

- El segundo, denominado Documento Básico HS de Salubridad,


Exigencias básicas de higiene, salud y protección del medio ambiente (HS)	
	<p>El objetivo del requisito básico “Higiene, salud y protección del medio ambiente”, tratado en adelante bajo el término salubridad, consiste en reducir a límites aceptables el <i>riesgo</i> de que los <i>usuarios</i>, dentro de los edificios y en condiciones normales de utilización, padezcan molestias o enfermedades, así como el <i>riesgo</i> de que los <i>edificios</i> se deterioren y de que deterioren el medio ambiente en su entorno inmediato, como consecuencia de las características de su <i>proyecto, construcción, uso y mantenimiento</i>.</p>
Exigencia básica HS 1: Protección frente a la humedad	
Exigencia básica HS 2: Recogida y evacuación de residuos	
Exigencia básica HS 3: Calidad del aire interior	
Exigencia básica HS 4: Suministro de agua	
Exigencia básica HS 5: Evacuación de aguas	

Tabla 20.- Objetivo y documentos secciones del Documento Básico de salubridad HS (elaboración propia)

## 2.1.2.- Fundamentos técnicos y exigencias normativas relacionadas con la eficiencia energética en los edificios

Una condición indispensable para que los usuarios de un edificio puedan realizar las actividades previstas en sus espacios interiores habitables, es que éstos tengan la capacidad para ser acondicionados con el objeto de permitir que dichas actividades se realicen en condiciones higiénicas y saludables.

Según el CTE, se entiende por Espacio habitable, aquel espacio formado por uno o varios recintos habitables contiguos con el mismo uso y condiciones térmicas equivalentes agrupados a efectos de cálculo de la demanda energética.

Aunque son numerosos los parámetros que determinan el nivel de la calidad del ambiente interior en el edificio, se pueden destacar la temperatura y la humedad interior, que dependen (en función de las condiciones de la zona climática en la que se ubique el inmueble) del correcto diseño y funcionamiento de los equipos térmicos del edificio, responsables de aportar el calor y el frío necesarios para conseguir las condiciones deseadas.

Otro factor relacionado con el nivel de confort térmico es la velocidad del aire, este factor es especialmente relevante en aquellos sistemas térmicos que utilizan en aire para distribuir la temperatura generada por los equipos térmicos.

El *Real Decreto 486/1997 sobre Lugares de Trabajo*<sup>19</sup> establece en su Anexo III una serie de criterios para los parámetros Temperatura, Humedad Relativa y Velocidad del aire, que resumimos en la siguiente tabla:

PARÁMETRO	CRITERIOS 1	CRITERIOS 2
Temperatura	Trabajos sedentarios: 17-27 ° C	Trabajos ligeros: 14-25 ° C
Humedad Relativa	Locales en general: 30-70%	Locales con riesgo por electricidad estática: 50-70%
Velocidad del aire	Trabajos en ambientes no calurosos: 0,25 m/s	Trabajos en ambientes calurosos: - Sedentarios: 0,5 m/s - No sedentarios: 0,75 m/s

Tabla 21. Criterios para los parámetros de Temperatura, Humedad Relativa y Velocidad del aire, en lugares interiores de trabajo (R.D. 486/1997)

Pero no basta el acondicionamiento termo-higrométrico de aire interior existente en las estancias para garantizar la calidad del ambiente interior del edificio, es necesario realizar una renovación del aire interior y para ello se disponen de sistemas de ventilación (natural o forzada), que permitan la entrada de aire limpio en las instancias.

Por lo tanto, los sistemas térmicos del edificio, además de acondicionar el aire interior, también deben tener la capacidad para acondicionar el aire procedente del exterior, lo cual supone un incremento en la demanda térmica necesaria para acondicionar el aire interior de las estancias y mantener los parámetros de temperatura y humedad en los valores considerados óptimos.

<sup>19</sup> Gobierno de España - Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales: Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo. Publicado en el BOE núm. 97, de 23/04/1997.

Este mismo *Real Decreto 486/1997 sobre Lugares de Trabajo* establece en su Anexo III unos valores de renovación mínima del aire de los locales de trabajo que se resumen en la siguiente tabla:

RENOVACIÓN MÍNIMA DEL AIRE DE LOS LOCALES DE TRABAJO (m <sup>3</sup> de aire limpio/ hora x trabajador)	
Trabajos sedentarios en ambientes no calurosos ni contaminados por humo de tabaco	30
Casos restantes	50

Tabla 22. Criterios del RD 486/1997 para la renovación mínima del aire de los locales de trabajo

Por lo que los sistemas térmicos del edificio tienen que acondicionar el aire existente en las estancias y el aire procedente del exterior para permitir la renovación, pero también tienen que compensar las pérdidas energéticas que se producen a través de la envolvente térmica del edificio; es decir, de la cantidad energía que se pierde a través de los cerramientos verticales, cubierta y suelos que la constituyen.

Cuanta más energía calorífica se pierda a través de la envolvente térmica, mayor energía tendrán que aportar los sistemas térmicos del edificio, incidiendo negativamente en el consumo de energía final de los equipos térmicos de los mismos.

Según el CTE se define como *Energía final*, aquella energía tal y como se utiliza en los puntos de consumo. Es la que compran los consumidores, en forma de electricidad, carburantes u otros combustibles usados de forma directa [FLCD 17].

En el caso de régimen de invierno, se puede determinar la cantidad de calor necesario para acondicionar el interior del edificio con la siguiente fórmula:

$$Q = (T_i - T_e) \times G - I - D$$

En donde:

**Q** (W/m<sup>3</sup>) es el calor necesario a mantener la temperatura interior  $T_i$

**$T_i$**  (°C) es la temperatura interior deseada

**$T_e$**  (°C) es la temperatura exterior

**G** (W/m<sup>3</sup>.°C) es el coeficiente de pérdida de energía por unidad de volumen del edificio que depende del comportamiento térmico de la envolvente.

**I** (W/m<sup>3</sup>) son las ganancias de por energía de radiación solar directa y difusa

**D** (W/m<sup>3</sup>) son las aportaciones internas de calor

*Ecuación 1.- Calor necesario mantener una temperatura interior  $T_i$  en un edificio*

Este comportamiento térmico de los edificios, sustentado por un diseño que hasta ahora se consideraba tradicional, en el que se dimensionaban los equipos térmicos sin considerar limitaciones al consumo de energía, ha tenido que someterse a una profunda revisión, con el objeto de reducir de forma sensible la dependencia energética del inmueble.

Ante esta urgente exigencia de reducir el consumo de energía no renovable, como la de reducir la emisión de gases contaminantes cuyo origen está relacionado con los procesos de combustión que se producen en los equipos térmicos, se plantean cinco posibles estrategias de intervención en el patrimonio edificatorio:

- Mejorar el comportamiento térmico de la envolvente
- Utilizar combustibles menos contaminantes
- Implementar sistemas basados en energías renovables
- Incrementar el rendimiento de los equipos térmicos utilizando sistemas de alta eficiencia.
- Instalar sistemas de regulación y control, que permitan optimizar el tiempo de funcionamiento y las condiciones prestacionales de los equipos.

El objetivo de reducir de forma apreciable el consumo y emisividad de edificio es difícilmente alcanzable con una sola de las estrategias, por lo que resulta inevitable que se adopten de forma simultánea dos o más de ellas en los procesos de rehabilitación energética.

Por ello se dedican los próximos apartados a exponer las características técnicas y los condicionantes normativos de cada una de ellas, así como su relación con el incremento de la eficiencia energética del inmueble.

#### 2.1.2.1.- Resumen de Normativa Europea relativa a la eficiencia energética en Edificios

En 2006 la Comisión activó su «Plan de acción para la eficiencia energética: realizar el potencial» (COM(2006)0545)<sup>20</sup>, cuyo objetivo era movilizar a la opinión pública, a los responsables políticos y a los actores del mercado, y transformar el mercado interior de la energía de modo que los ciudadanos de la UE pudieran contar con las infraestructuras (edificios incluidos), los productos (incluidos dispositivos y vehículos) y los sistemas de energía más eficientes desde el punto de vista energético de todo el mundo.

El objetivo del Plan de acción es controlar y reducir la demanda de energía, y tomar medidas específicas relativas al consumo y el suministro para ahorrar un 20 % en el consumo anual de energía primaria de aquí a 2020 (frente a las previsiones de consumo de energía para ese mismo año).

Sin embargo, dado que cálculos recientes apuntan a que la UE solo alcanzará a cumplir la mitad de ese objetivo del 20 %, la Comisión ha respondido elaborando un nuevo y exhaustivo Plan de Eficiencia Energética 2011 (PEE) (COM(2011)0109)<sup>21</sup>.

En la Unión Europea estas estrategias están descritas en varias Directivas Europeas específicas, cuya aplicación en los países miembros ha sido desigual. A continuación, se enumeran cronológicamente estos documentos y sus objetivos principales:

---

<sup>20</sup> Comisión Europea (UE): *Plan de acción para la eficiencia energética: realizar el potencial* (Communication from the Commission - Action plan for Energy Efficiency: Realising the Potential). 2006

<sup>21</sup> Comisión Europea (UE): *Plan de Eficiencia Energética 2011* (Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions Energy Efficiency Plan). 2011

A.- DIRECTIVA 93/76/CEE (SAVE) – PROGRAMA SAVE II (2000):

El objetivo de esta directiva<sup>22</sup> es la limitación de las emisiones de dióxido de carbono mediante la mejora de la eficiencia energética, orientada al sector residencial por la relevancia que tiene sobre el consumo total de energía.

En ella se obliga a los Estados miembros a la aplicación y establecimiento de programas encaminados a la mejora de la eficiencia energética en los edificios (preferentemente actuaciones de mejora sobre el grado de aislamiento térmico de los edificios y el rendimiento de los equipos térmicos, estableciendo la necesidad de realizar inspecciones periódicas).

En el año 2000 aparece el programa SAVE II, que preserva el objetivo del fomento del uso racional y eficiente de los recursos energéticos. Con éste programa se pretende estimular la implantación de medidas de mejora de la eficiencia energética, tales como:

- Estudios relativos a la eficiencia energética con el objeto de establecer los criterios que serán utilizados para otros programas comunitarios con el mismo objetivo y que tengan como consecuencia una reducción del coste energético en el producto final.
- Promover acciones piloto sectoriales y campañas de divulgación dirigidas a crear hábitos de consumo energético racionales, que contribuyan a la reducción del coste energético en la fase de utilización.
- Medidas propuestas por la Comisión o por asesores, para promover el intercambio de experiencias que hayan resultado favorables y que repercutan positivamente en la reducción del consumo de energía primaria de origen no renovable.
- Supervisión de los avances conseguidos en materia de eficiencia energética y evaluación de las actividades adoptadas con arreglo a lo contemplado en el programa.
- Acciones específicas dirigidas a mejorar la gestión de la energía a nivel regional y urbano y a favorecer la cohesión de los Estados miembros y las regiones.

B.- DIRECTIVA 2002/91/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, DE 16 DE DICIEMBRE DE 2002 (DENOMINADA EPBD<sup>1</sup> – ENERGY PERFORMANCE BUILDINGS DIRECTIVE)

Con la publicación de esta directiva<sup>23</sup> se pretendía fomentar la eficiencia energética de los edificios, teniendo en cuenta las condiciones climáticas exteriores y las particularidades locales, así como la relación coste-eficacia.

El ámbito de aplicación se refiere a edificios nuevos y existentes, tanto residenciales como del sector terciario. No obstante, hay una serie de excepciones, como los edificios históricos, de culto, provisionales, etc. Los puntos principales tratados son los siguientes:

---

<sup>22</sup> Consejo Europeo: Directiva 93/76/CEE del Consejo, de 13 de septiembre de 1993, *relativa a la limitación de las emisiones de dióxido de carbono mediante la mejora de la eficacia energética (SAVE)*. Publicada en el DOUE núm. 237, de 22 de septiembre de 1993

<sup>23</sup> Parlamento Europeo: Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2002, *relativa a la eficiencia energética de los edificios*. Publicada en el DOUE núm. 1, de 4 de enero de 2003

- Desarrollar una metodología de cálculo de la eficiencia energética integrada de los edificios en la que se tiene en cuenta aspectos como las características de los edificios, instalaciones, orientación, etc.
- Establecer unos requisitos mínimos de eficiencia energética de los edificios nuevos y evaluar mejoras del mismo estilo en los existentes que se reformen y que tengan una superficie superior a los 1.000,00 m<sup>2</sup>.
- Introducción de los mecanismos para realizar la Certificación energética de los edificios, estableciendo el contenido y el periodo de vigencia de la misma.
- Regular las inspecciones periódicas para las calderas y sistemas de aire acondicionado de los edificios, teniendo una especial atención en aquellos en los que la instalación de calefacción cuente con calderas de más de 15 años.
- Supervisión y control de las certificaciones realizadas, comprobando que las mismas se realicen por técnicos cualificados o acreditados.

#### C.- DIRECTIVA 2010/31/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, DE 19 DE MAYO DE 2010 (EPBD 2)

La presente Directiva<sup>24</sup> viene a refundir y completar la anterior normativa, estableciendo unos requisitos más exigentes en materia de eficiencia energética de los edificios situados en la Unión Europea.

Los cambios más significativos son los que se muestran a continuación:

- Una metodología de cálculo más completa, incluyendo un indicador de la eficiencia energética y un indicador numérico del consumo de energía primario.
- Se introduce el concepto de alcance de niveles óptimos de rentabilidad para establecer los requisitos mínimos de eficiencia energética, estableciendo una metodología de cálculo para obtener estos niveles.
- Se elimina la restricción del límite de los 1.000,00 m<sup>2</sup> en los edificios existentes.
- A efectos de optimizar el consumo de energía de las instalaciones técnicas de los edificios, se prevé fijar unos requisitos en relación con la eficiencia energética general, el dimensionado, control y ajuste adecuados de dichas instalaciones presentes en los edificios existentes, introduciendo sistemas de medición inteligentes.
- A partir del 31 de diciembre de 2020, todos los edificios nuevos tienen que ser de consumo de energía casi nulo. En el caso de edificios nuevos que estén ocupados y cuya propiedad sea de autoridades públicas, la fecha se adelanta al 31 de diciembre de 2018.
- Los certificados de eficiencia energética deben incluir información sobre la eficiencia energética y recomendaciones para la mejora de los niveles óptimos. Así mismo, se expedirán cuando sea un edificio de nueva construcción o existente si se pone a la venta o en alquiler, exigiendo que se hagan constar en los anuncios publicitarios. En edificios en donde la autoridad pública ocupe una superficie superior a los 250,00 m<sup>2</sup>, el certificado se colocará en una zona claramente visible.

---

<sup>24</sup> Parlamento Europeo: Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, *relativa a la eficiencia energética de los edificios*. Publicada en el DOUE núm. 153, de 18 de junio de 2010.

- Se establecen nuevas condiciones para las inspecciones de las instalaciones de climatización dependiendo de la potencia instalada, exigiendo la emisión de un informe incluyendo los resultados obtenidos.

D.- DIRECTIVA 2012/27/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, DE 25 DE OCTUBRE DE 2012, RELATIVA A LA EFICIENCIA ENERGÉTICA, POR LA QUE SE MODIFICAN LAS DIRECTIVAS 2009/125/CE Y 2010/30/UE, Y POR LA QUE SE DEROGAN LAS DIRECTIVAS 2004/8/CE Y 2006/32/CE.

Esta nueva Directiva<sup>25</sup> fue publicada debido a la constancia que la Unión Europea no iba a alcanzar el objetivo de aumentar en un 20% la eficiencia energética en 2020.

En las conclusiones del Consejo Europeo de 4 de febrero de 2011 se indica que las previsiones realizadas en 2007 mostraban un consumo de energía primaria en 2020 de 1842 Mtep.

Con una reducción del 20% la cifra de consumo sería de 1474 Mtep en 2020, es decir, una disminución de 368 Mtep respecto a las previsiones, comprobando que hasta ese momento, el objetivo no se iba a cumplir.

Por todo ello, se establecen una serie de exigencias que vienen a intentar revocar dicha situación y poder llegar de esta forma a alcanzar los objetivos marcados para el 2020. Las principales exigencias son las siguientes:

- Los Estados miembros tienen la obligación de establecer una estrategia para renovar el parque nacional de edificios residenciales y comerciales, tanto públicos como privados.
- El 3 % de la superficie total de los edificios con calefacción y/o sistema de refrigeración que tenga en propiedad y ocupe la Administración central se tendrá que renovar cada año, aplicándose a los de más de 250,00 m<sup>2</sup> de superficie.
- Los Estados miembros garantizarán que las Administraciones centrales adquieran solamente productos, servicios y edificios que tengan un alto rendimiento energético, en la medida en que ello sea coherente con la rentabilidad, la viabilidad económica, la sostenibilidad y la idoneidad técnica.
- Medidas para el acceso a auditorías energéticas por parte de los clientes y la instalación de contadores digitales que muestren el consumo real de energía en tiempo real.

---

<sup>25</sup> Parlamento Europeo: Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE. Publicada en el DOUE núm. 315, de 14 de noviembre de 2012

### 2.1.2.2.- Normativa Española relativa a la eficiencia energética en Edificios

En este apartado, se resumen cronológicamente, los preceptos contemplados en las normativas que regularon o regulan aspectos técnicos relativos al comportamiento energético del edificio,

#### A.- REAL DECRETO 2429/79 DE 6 DE JULIO POR EL QUE SE APRUEBA LA NORMA BÁSICA DE LA EDIFICACIÓN – CONDICIONES TÉRMICAS EN LOS EDIFICIOS (NBE CT 79)

Este Real Decreto<sup>26</sup> entra en vigor tres meses después de su publicación (6/11/1979) y se deroga por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo.

Objetivo: Esta Norma tiene como objeto establecer las condiciones térmicas exigibles a los edificios, así como los datos que condicionan su determinación. Es de aplicación en todo tipo de edificios de nueva planta.

A los efectos de esta NBE, los edificios quedan definidos térmicamente por los siguientes conceptos:

- La transmisión global de calor a través del conjunto del cerramiento, definida por su coeficiente KG.
- La transmisión de calor a través de cada uno de los elementos que forman el cerramiento, definida por sus coeficientes K.
- El comportamiento higo-térmico de los cerramientos.
- La permeabilidad al aire de los cerramientos.

NBE CT 79 – Limitación de pérdidas. Art. 5º.- Coeficiente K transmisión térmica de cerramientos					
Valores máximos de K expresados en kcal/h.m².ºC (W/m².ºC)					
Tipo de cerramiento		Zonas climáticas			
Cerramiento	Tipo	V y W	X	Y	Z
Cerramientos exteriores	Cubiertas	1.20 (1.40)	1.03 (1.20)	0.77 (0.90)	0.6 (0.70)
	Fachadas ligeras	1.03 (1.20)	1.03 (1.20)	1.03 (1.20)	1.03 (1.20)
	Fachadas pesadas	1.55 (1.80)	1.38 (1.60)	1.20 (1.40)	1.20 (1.40)
	Forjados sobre espacios abiertos	0.86 (1.00)	0.77 (0.90)	0.69 (0.80)	0.60 (0.70)
Cerramientos con locales no calefactados	Paredes	1.72 (2.00)	1.55 (1.80)	1.38 (1.60)	1.38 (1.60)
	Suelos o techos	-	1.20 (1.40)	1.03 (1.20)	1.03 (1.20)
Recomendaciones anexo 6.1.2 limitación de ganancias de calor permitidas por cubiertas		Valor máximo de K expresado en kcal/h.m².ºC (W/m².ºC)			
Cubierta	Ventilada	1 (1.16)			
	Ligera no ventilada	0.6 (0,70)			
	Pesada no ventilada	0.8 (0.93)			

Tabla 23. Criterios del RD 2429/79 (NBE CT 79) Valores máximos de los coeficientes de transmisión para los cerramientos exteriores del edificio

Factores de conversión:

1 kcal / h = 1,163 W (vatio)
1 W = 0,868 kcal / h

<sup>26</sup> Gobierno de España – Presidencia del Gobierno: Real Decreto 2429/1979, de 6 de julio, por el que se aprueba la norma básica de edificación NBE-CT-79, sobre condiciones térmicas en los edificios. Publicado en el BOE núm. 253, de 22 de octubre de 1979



B.- REAL DECRETO 314/2006 POR EL QUE SE APRUEBA EL NUEVO CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN (CTE), que contempla medidas concretas en materia de eficiencia energética e integración de las energías renovables

El Código Técnico de la Edificación da cumplimiento a los requisitos básicos de la edificación establecidos en la Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación, con el fin de garantizar la seguridad de las personas, el bienestar de la sociedad, la sostenibilidad de la edificación y la protección del medio ambiente.

La Ley 38/1999, en su Disposición final segunda, autoriza al Gobierno para que, mediante Real Decreto, apruebe un Código Técnico de la Edificación en el que se establezcan las exigencias básicas que deben cumplirse en los edificios, en relación con los requisitos básicos relativos a la seguridad y a la habitabilidad, establecidos en el art. 3.

El CTE se configura como un nuevo marco normativo estructurado que:

- Identifica, ordena y completa la reglamentación técnica existente que pretende facilitar su aplicación y cumplimiento,
  - Garantiza la armonización con la normativa europea.
  - Mediante un enfoque basado en prestaciones, trata de fomentar la innovación y el desarrollo tecnológico en la edificación.
- a) Por un lado, la aprobación del Código Técnico de la Edificación supone la modernización del vigente marco normativo de la edificación en España, regulado por el RD 1650/1977 sobre normativa de la edificación, que estableció las Normas Básicas de la Edificación, como disposiciones de obligado cumplimiento en el proyecto y la ejecución de los edificios, y dentro de este marco jurídico, se aprobaron diversas Normas Básicas desde 1979, que han conformado un conjunto abierto de disposiciones que ha venido atendiendo las diversas demandas, pero que no ha llegado a constituir en sí mismo un conjunto coordinado, en la forma de un Código Técnico de la Edificación, similar a los existentes en otros países. Este marco estaba compuesto por:
- Normas Básicas de la Edificación (NBE), de obligado cumplimiento, dando rango de NBE a las entonces vigentes normas básicas MV.
  - Normas Tecnológicas de la Edificación (NTE), sin carácter obligatorio, aprobadas en esa misma década, que servían como el desarrollo operativo de las NBE.
  - Soluciones Homologadas de la Edificación (SHE), cuyo desarrollo no ha tenido lugar, que hubieran complementado en el campo de las soluciones constructivas convencionales o tradicionales a los Documentos de Idoneidad Técnica (DIT), evaluaciones técnicas favorables para las soluciones innovadoras otorgadas por el Instituto Eduardo Torroja.
- b) Por otro, el Código Técnico de la Edificación crea un marco normativo homologable al existente en los países europeos y armoniza la reglamentación nacional existente en la edificación con las disposiciones de la Unión Europea vigentes en esta materia [CTE 06]:

- Directiva 89/106/CEE, relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados Miembros sobre los productos de construcción, transpuesta al Derecho interno mediante el RD 1630/1992 sobre disposiciones para la libre circulación de productos de construcción, modificado por el RD 1395/95, que crean el Mercado CE de los productos a utilizar.
  - Directiva 2002/91/CE, relativa a la eficiencia energética de los edificios, en virtud de la cual se han incorporado al Código Técnico de la Edificación [CTE 06] las exigencias relativas a los requisitos de eficiencia energética de los edificios.
- c) En el Código Técnico de la Edificación, además de ordenarse y completarse la reglamentación básica de la edificación relacionada con los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad establecidos en la Ley 38/1999 de Ordenación de la Edificación, se plantea un enfoque orientado hacia exigencias básicas, que se alinea con el denominado “enfoque basado en prestaciones”, propugnado por las principales Organizaciones Internacionales relacionadas con códigos de edificación, y que permite, frente a códigos prescriptivos, la apertura del sector a mercados cada día más globales y una mayor apertura a la innovación. Esto se materializa en que para justificar que un edificio cumple las exigencias básicas que se establecen en el CTE [CTE 06], podrá optarse por:
- adoptar soluciones técnicas basadas en los DB, cuya aplicación en el proyecto, en la ejecución de la obra o en el mantenimiento y conservación del edificio, es suficiente para acreditar el cumplimiento de las exigencias básicas relacionadas con dichos DB; o
  - soluciones alternativas, entendidas como aquéllas que se aparten total o parcialmente de los DB. El proyectista o el director de obra pueden, bajo su responsabilidad y previa conformidad del promotor, adoptar soluciones alternativas, siempre que justifiquen documentalmente que el edificio proyectado cumple las exigencias básicas del CTE porque sus prestaciones son, al menos, equivalentes a los que se obtendrían por la aplicación de los DB

Desde su entrada en vigor en el año 2006, el CTE ha sufrido un número importante de actualizaciones y modificaciones, las cuáles se han producido en los años 2007, 2008, 2009, 2010 y 2013. En lo relativo al ámbito de la presente investigación, se han producido dos modificaciones relevantes, que han incluido la variación de requisitos básicos exigibles:

- Orden VIV/984/2009 de 15 de abril, por la que se modifican determinados documentos básicos del Código Técnico de la Edificación aprobados por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, y el Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre. (BOE 23-abril-2009).
- Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE «Ahorro de Energía», del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo.
- Corrección de errores de la Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE «Ahorro de Energía», del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo (BOE 08-noviembre-2013) [WKAB 15].

Documento básico de ahorro de energía HE (2013 versión corregida)<sup>27</sup>. A continuación se resume los aspectos relevantes relacionados con la presente investigación:

A.- Se incorpora una nueva sección **HE0**.- Limitación del consumo energético, estableciendo un criterio para determinar la limitación del consumo de *energía primaria* no renovable del edificio, por lo que no se debe superar el valor límite  $C_{ep,lim}$  que se calcula mediante la siguiente expresión:

$$C_{ep,lim} = C_{ep,base} + F_{ep,sup} / S$$

donde,

$C_{ep,lim}$  es el valor límite del *consumo energético* de *energía primaria* no renovable para los servicios de calefacción, refrigeración y ACS, expresada en  $\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2\cdot\text{año}$ , considerada la superficie útil de los *espacios habitables*;

$C_{ep,base}$  es el valor base del *consumo energético* de *energía primaria* no renovable, dependiente de la *zona climática* de invierno correspondiente a la ubicación del edificio, que toma los valores de la tabla 2.1;

$F_{ep,sup}$  es el factor corrector por superficie del *consumo energético* de *energía primaria* no renovable, que toma los valores de la tabla 2.1;

	Zona climática de invierno					
	$\alpha$	A*	B*	C*	D	E
$C_{ep,base}$ [ $\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2\cdot\text{año}$ ]	40	40	45	50	60	70
$F_{ep,sup}$	1000	1000	1000	1500	3000	4000

S es la superficie útil de los *espacios habitables* del edificio, o la parte ampliada, en  $\text{m}^2$ .

Ecuación 2.- Cálculo del valor límite para el consumo de energía primaria no renovable de un edificio (según documento básico de ahorro de la energía HE – sección HE0)

B.- Se actualiza y modifica la sección **HE1**.- Limitación de la demanda energética, incorporando por primera vez el criterio para el cálculo del valor límite de la demanda energética del edificio:

Para edificios de “uso residencial privado”: Sistema de **calefacción**: La *demandas energética* de calefacción del edificio o la parte ampliada, en su caso, no debe superar el valor límite  $D_{cal,lim}$  obtenido mediante la siguiente expresión:

$$D_{cal,lim} = D_{cal,base} + F_{cal,sup} / S$$

donde,

$D_{cal,lim}$  es el valor límite de la *demandas energética* de calefacción, expresada en  $\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2\cdot\text{año}$ , considerada la superficie útil de los *espacios habitables*;

$D_{cal,base}$  es el valor base de la *demandas energética* de calefacción, para cada *zona climática* de invierno correspondiente al edificio, que toma los valores de la tabla 2.1;

$F_{cal,sup}$  es el factor corrector por superficie de la *demandas energética* de calefacción, que toma los valores de la tabla 2.1;

<sup>27</sup> Gobierno de España – Ministerio de Fomento: Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE “Ahorro de Energía”, del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo. Publicada en el BOE núm. 97, de 23/04/1997

	Zona climática de invierno					
	$\alpha$	A	B	C	D	E
$D_{cal,base}$ [kW·h/m <sup>2</sup> ·año]	15	15	15	20	27	40
$F_{cal,sup}$	0	0	0	1000	2000	3000

S es la superficie útil de los *espacios habitables* del edificio, en m<sup>2</sup>

Ecuación 3.- Cálculo del valor límite para demanda energética de calefacción de un edificio (según documento básico de ahorro de la energía HE – sección HE0)

Sistema de **refrigeración**: La *demanda energética* de refrigeración del edificio o la parte ampliada, en su caso, no debe superar los siguientes valores límite:

Demanda energética máxima	Zonas climáticas
$D_{ref,lim} = 15 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2\cdot\text{a}$	para las <i>zonas climáticas</i> de verano 1, 2 y 3
$D_{ref,lim} = 20 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2\cdot\text{año}$	para la <i>zona climática</i> de verano 4

Tabla 24: Demanda energética máxima para refrigeración de los locales habitables en función de la carga interna (CTE – DB HE1-2013)

Para edificios de “otros usos”: Los edificios que sean asimilables al uso residencial privado, debido a su uso continuado y baja carga de las fuentes internas, pueden justificar la limitación de la demanda energética mediante los criterios aplicables al uso residencial.

Según el CTE se define como **Carga interna**: conjunto de solicitudes generadas en el interior del edificio, debidas, fundamentalmente, a los aportes de energía de los ocupantes, los equipos eléctricos y la iluminación. (Fomento, 2013). En función de su *densidad de las fuentes internas* la carga interna de los *espacios habitables*, se clasifican de la siguiente forma:

Carga interna	Densidad de las fuentes internas, $C_{FI}$ [W/m <sup>2</sup> ]
Baja	< 6
Media	6 – 9
Alta	9 – 12
Muy alta	> 12

Tabla 25: Clasificación de los locales habitables en función de la carga interna (CTE – DB HE1-2013)

Para otros usos distintos al residencial, el *porcentaje de ahorro de la demanda energética conjunta* de calefacción y refrigeración, respecto al edificio de referencia del edificio o la parte ampliada, en su caso, debe ser igual o superior al establecido en la tabla 2.2.

Zona climática de verano	Carga de las fuentes internas			
	Baja	Media	Alta	Muy alta
1, 2	25%	25%	25%	10%
3, 4	25%	20%	15%	0%*

Tabla 26: Porcentaje de ahorro de la demanda conjunta (calefacción y refrigeración) (CTE – DB HE1-2013)

- Se actualizan los valores de transmitancia térmica y permeabilidad al aire de los huecos y la transmitancia térmica de las zonas opacas de muros, cubiertas y suelos, que formen parte de la envolvente térmica del edificio, las cuales no deben superar los valores establecidos en la tabla 2.3. de la sección HE1:

Parámetro	Zona climática de invierno					
	$\alpha$	A	B	C	D	E
Transmitancia térmica de muros y elementos en contacto con el terreno <sup>(1)</sup> [W/m <sup>2</sup> ·K]	1,35	1,25	1,00	0,75	0,60	0,55
Transmitancia térmica de cubiertas y suelos en contacto con el aire [W/m <sup>2</sup> ·K]	1,20	0,80	0,65	0,50	0,40	0,35
Transmitancia térmica de huecos <sup>(2)</sup> [W/m <sup>2</sup> ·K]	5,70	5,70	4,20	3,10	2,70	2,50
Permeabilidad al aire de huecos <sup>(3)</sup> [m <sup>3</sup> /h·m <sup>2</sup> ]	≤ 50	≤ 50	≤ 50	≤ 27	≤ 27	≤ 27

Tabla 27: Requisitos básicos que debe cumplir la envolvente térmica de los edificios (CTE – DB HE1 – 2013)

- **Permeabilidad al aire:** propiedad de una ventana o puerta de dejar pasar el aire cuando se encuentra sometida a una presión diferencial. La permeabilidad al aire se caracteriza por la capacidad de paso del aire [CEPA 14], expresada en m<sup>3</sup>/h, en función de la diferencia de presiones. Los valores de permeabilidad al aire de la tabla 2.3 de la sección HE1 están medidas con una sobrepresión de 100 Pa. En esta sección HE1, también se fijan las exigencias técnicas relativas al comportamiento térmico de la envolvente, se contemplan criterios para las siguientes cuestiones:

- Sistema de verificación y justificación del cumplimiento de la exigencia
- Datos mínimos que se deben considerar para el cálculo de la demanda
- Procedimiento de cálculo de la demanda energética para calefacción y refrigeración
- Productos de la construcción: características y condiciones de puesta en obra
- Condiciones constructivas: control de ejecución, control de obra terminada
- Zonas climáticas y los datos térmicos correspondientes
- Perfiles de uso en función de la intensidad de uso

C.- Sección **HE2** – Rendimiento de las instalaciones térmicas (se limita a remitirse al Reglamento de Instalaciones térmicas del Edificio (RITE) que se describe en un apartado específico posterior).

D.- Sección **HE3** – Eficiencia Energética de las Instalaciones de Iluminación, incorporando el apartado 2.2.- Potencia instalada en edificio, en el que se establecen los criterios para el cálculo de la potencia máxima de iluminación en función del tipo de uso al que se destina el edificio:

Uso del edificio	Potencia máxima instalada [W/m <sup>2</sup> ]
Administrativo	12
Aparcamiento	5
Comercial	15
Docente	15
Hospitalario	15
Restauración	18
Auditorios, teatros, cines	15
Residencial Público	12
Otros	10
Edificios con nivel de iluminación superior a 600lux	25

Tabla 28.- Valores límite de eficiencia energética de la instalación (Tab. 2.1 Sección HE3 del CTE)

Por lo que las soluciones técnicas que el proyectista adopte para el sistema de iluminación (lámparas y equipos auxiliares), deberán cumplir con el valor máximo establecido en la tabla 2.2 Potencia máxima de iluminación expresada en W/m<sup>2</sup>, lo que permite determinar (conociendo la superficie útil de los espacios habitables) la potencia eléctrica total máxima destinada al sistema.

En esta sección HE3, también se fijan las exigencias técnicas relativas a:

- Cálculo del Valor de Eficiencia Energética de la Instalación (VEEI): valor que mide la eficiencia energética de una instalación de iluminación de una zona de actividad diferenciada, cuya unidad de medida es (W/m<sup>2</sup>) por cada 100 lux. Se calcula con la siguiente fórmula:

$$VEEI = \frac{P \cdot 100}{S \cdot E_m}$$

Donde:

**P** la potencia de la lámpara más el equipo auxiliar [W];

**S** la superficie iluminada [m<sup>2</sup>];

**Em** la iluminancia media horizontal mantenida [lux]

*Ecuación 4.- Cálculo del Valor de Eficiencia Energética de la Instalación (VEEI) (CTE Documento Básico HE – Sección HE3)*

Se establecen los valores límites para el VEEI según el uso al que se destine el espacio interior del inmueble en la tabla 2.1:

Zonas de actividad diferenciada	VEEI límite
administrativo en general	3,0
andenes de estaciones de transporte	3,0
pabellones de exposición o ferias	3,0
salas de diagnóstico <sup>(1)</sup>	3,5
aulas y laboratorios <sup>(2)</sup>	3,5
habitaciones de hospital <sup>(3)</sup>	4,0
recintos interiores no descritos en este listado	4,0
zonas comunes <sup>(4)</sup>	4,0
almacenes, archivos, salas técnicas y cocinas	4,0
aparcamientos	4,0
espacios deportivos <sup>(5)</sup>	4,0
estaciones de transporte <sup>(6)</sup>	5,0
supermercados, hipermercados y grandes almacenes	5,0
bibliotecas, museos y galerías de arte	5,0
zonas comunes en edificios no residenciales	6,0
centros comerciales (excluidas tiendas) <sup>(7)</sup>	6,0
hostelería y restauración <sup>(8)</sup>	8,0
religioso en general	8,0
salones de actos, auditorios y salas de usos múltiples y convenciones, salas de ocio o espectáculo, salas de reuniones y salas de conferencias <sup>(9)</sup>	8,0
tiendas y pequeño comercio	8,0
habitaciones de hoteles, hostales, etc.	10,0
locales con nivel de iluminación superior a 600lux	2,5

*Tabla 28.- Valores límite de eficiencia energética de la instalación (Tab. 2.1 Sección HE3 del CTE)*

- Características de los sistemas de control y regulación
- Procedimiento de verificación y justificación del cumplimiento de la exigencia
- Método de cálculo y dimensionado del sistema de iluminación
- Condiciones de mantenimiento y conservación del sistema de iluminación interior

E.- Sección **HE4** – Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria (ACS), en el que se establece una contribución mínima de energía solar térmica obligatoria para todos los edificios cuyos usos se correspondan con lo contemplado en el CTE, en función de la zona climática y de la demanda de ACS o de climatización de piscina del edificio. La contribución solar mínima para producción de ACS se define en el apartado 2.2 Cuantificación de la exigencia, en la que se establecen los % mínimos para cada zona climática y diferentes niveles de demanda de ACS a una temperatura de referencia de 60°C:

- Para el sistema solar de tratamiento térmico para la producción de ACS:

Demanda total de ACS del edificio (l/d)	% de contribución solar mínima de ACS por zona climática				
	I	II	III	IV	V
5-5.000	30	30	40	50	60
5.000-10.000	30	40	50	60	70
> 10.000	30	50	60	70	70

Tabla 29: Contribución solar mínima anual en % por zonas climáticas para edificios (tabla 2.1 CTE DB HE4- 2013)

- Para los sistemas de climatización de piscinas cubiertas:

Descripción sistema o instalación	% de contribución solar mínima de ACS por zona climática				
	I	II	III	IV	V
Piscina cubierta	30	30	40	50	60

Tabla 30: Contribución solar mínima anual en % por zonas climáticas para piscinas cubiertas (tabla 2.2 CTE DB HE4- 2013)

En esta sección HE4, también se fijan las exigencias técnicas relativas a:

- Verificación y justificación del cumplimiento de la exigencia
- Cálculo de la demanda energética: Para valorar las demandas se tomarán los valores de caudal unitarios que aparecen en la siguiente tabla (Demanda de referencia a 60 °C):

Uso al que se destina	Litros/día. Unidad	Criterio – Unidad seleccionada
Vivienda	28	Por persona
Hospitales y clínicas	55	Por persona
Ambulatorio y centros de salud	41	Por persona
Hotel 5*	69	Por persona
Hotel 4*	55	Por persona
Hotel 3*	41	Por persona
Hotel / Hostal 2*	34	Por persona
Camping	21	Por persona
Hotal/Pensión 1*	28	Por persona
Residencia	41	Por persona
Centro Penitenciario	28	Por persona
Albergue	24	Por persona
Vestuarios / Duchas colectivas	21	Por persona
Escuela sin ducha	4	Por persona
Escuela con ducha	21	Por persona
Cuarteles militares	28	Por persona
Fábricas y talleres	21	Por persona
Oficinas	2	Por persona
Gimnasios	21	Por persona
Restaurantes	8	Por persona
Cafeterías	1	Por persona

Tabla 31: Demanda de ACS de referencia a 60°C para edificios según uso al que se destine (CTE – DB HE4-2013)

- Condiciones de mantenimiento y conservación del sistema solar térmica para la producción de ACS.
- Componentes que integran el sistema solar térmico para la producción de ACS

F.- Sección **HE5** – Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica, en la que se establecen los requisitos técnicos que deben cumplir los sistemas solares fotovoltaicos para la producción de electricidad. Solo aplicable a edificios con usos específicos y cuya superficie construida supera los 5000 m<sup>2</sup>, según la tabla 1.1.- Ámbito de aplicación:

- Hipermercado
- Multi-tienda y centros de ocio
- Nave de almacenamiento y distribución
- Instalaciones deportivas cubiertas
- Hospitales, clínicas y residencias asistidas
- Pabellones de recintos feriales

El método establecido de cálculo para determinar la potencia eléctrica mínima que debe satisfacer como mínimo el sistema solar fotovoltaico mediante la siguiente fórmula:

$$P = C \cdot (0,002 \cdot S - 5) \quad (2.1)$$

Siendo

**P** la potencia nominal a instalar [kW];

**C** el coeficiente definido en la tabla 2.1 en función de la zona climática establecida en el apartado 4.1;

**Tabla 2.1 Coeficiente climático**

Zona climática	C
I	1
II	1,1
III	1,2
IV	1,3
V	1,4

**S** la superficie construida del edificio [m<sup>2</sup>]:

*Ecuación 5.- Cálculo de la potencia eléctrica mínima que produce el sistema solar fotovoltaico según documento básico de ahorro de la energía HE – sección HE5)*

En esta sección HE5, se recopilan los requisitos técnicos necesarios para:

- Verificación y justificación del cumplimiento de la exigencia
- Condiciones generales de la instalación
- Método del cálculo y dimensionado de componentes de la instalación
- Condiciones de mantenimiento y conservación



## Documento básico de Salubridad HS (2009)

Este documento básico<sup>28</sup> tiene por objeto establecer reglas y procedimientos que permiten cumplir las exigencias básicas de salubridad en los edificios.

Las secciones que componen este DB se corresponden con las exigencias básicas HS1 a HS5

- Exigencia básica HS 1: Protección frente a la humedad
- Exigencia básica HS 2: Recogida y evacuación de residuos
- Exigencia básica HS 3: Calidad del aire interior
- Exigencia básica HS 4: Suministro de agua
- Exigencia básica HS 5: Evacuación de aguas

Por su relación con la presente investigación, se resumen a continuación los requisitos contemplados en la Sección **HS3** – Calidad de Aire Interior

- Ámbito de aplicación:* Esta sección se aplica, en los edificios de viviendas, al interior de las mismas, los almacenes de residuos, los trasteros, los aparcamientos y garajes; y, en los edificios de cualquier otro uso, a los aparcamientos y los garajes.
- Clasificación y cuantificación de las exigencias:* El caudal de ventilación mínimo para los locales se obtiene en la tabla 2.1;

Locales	Caudales de ventilación mínimos exigidos para $q_v$ en l/s		
	Por ocupantes	Por m <sup>2</sup> útil	En función de otros parámetros
Dormitorios	5	-	-
Salas de estar y comedores	3	-	-
Aseos y cuartos de baño	-	-	15 por local
Cocinas	-	2	50 por local
Trasteros y sus zonas comunes	-	0,7	
Aparcamientos y garajes	-		120 por plaza
Almacenes de residuos	-	10	

Tabla 32: Caudales de ventilación mínimos exigidos para viviendas en l/s (CTE HS 3 – 2009)

- Diseño:* se fijan los requisitos que deben disponer los sistemas de ventilación (natural, híbrida o mecánica) referentes a las aperturas (admisión y extracción), conductos, accesorios y equipos de impulsión.
- Dimensionado:* se fijan las secciones mínimas de paso para aperturas y conductos, en función del uso al que se destine el local o estancia; tanto para sistemas de ventilación natural, híbrida o mecánica.
- Construcción:* se fijan los requisitos exigibles durante el proceso constructivo, control de ejecución y control de obra terminada.
- Mantenimiento y conservación:* se fijan el plan de mantenimiento mínimo al que deben someterse todos los sistemas de ventilación del edificio, para preservarlo en condiciones óptimas de higiene y operatividad.

<sup>28</sup> Gobierno de España – Ministerio de Vivienda: Orden VIV/984/2009, de 15 de abril, por la que se modifican determinados documentos básicos del Código Técnico de la Edificación aprobados por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, y el Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre. Publicada en el BOE núm. 99 del 23 de abril de 2009

C.- REAL DECRETO 1027/2007 POR EL QUE SE APRUEBA EL REGLAMENTO DE INSTALACIONES TÉRMICAS EN LOS EDIFICIOS (RITE) (Publicado en el BOE núm. 207, de 29 de agosto de 2007).

Modificaciones:

- Corrección de errores del Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (BOE 28/02/2008)
- Real Decreto 1826/2009, de 27 de noviembre, por el que se modifica el Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios, aprobado por Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio (BOE 11/12/2009)
- Corrección de errores del Real Decreto 1826/2009, de 27 de noviembre, por el que se modifica el Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios, aprobado por Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio (BOE 12/02/2010)
- Corrección de errores del Real Decreto 1826/2009, de 27 de noviembre, por el que se modifica el Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios, aprobado por Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio (BOE 25/05/2010)
- Real Decreto 249/2010, de 5 de marzo, por el que se adaptan determinadas disposiciones en materia de energía y minas a lo dispuesto en la Ley 17/2009, de 23 de noviembre, sobre el libre acceso a las actividades de servicios y su ejercicio, y la Ley 25/2009, de 22 de diciembre (BOE 18/03/2010).
- Real Decreto 238/2013, de 5 de abril, por el que se modifican determinados artículos e instrucciones técnicas del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, aprobado por Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio (BOE 13/04/2013)
- Corrección de errores del Real Decreto 238/2013, de 5 de abril, por el que se modifican determinados artículos e instrucciones técnicas del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, aprobado por Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio (BOE 05/09/2013)
- Nota aclaratoria sobre la aplicación del Real Decreto 238/2013, de 5 de abril, para aquellas instalaciones térmicas de edificios en ejecución en el momento de entrada en vigor del citado Real Decreto.

Objetivo:

El RITE<sup>29</sup> establece las condiciones que deben cumplir las instalaciones destinadas a atender la demanda de bienestar térmico e higiene a través de las instalaciones de calefacción, climatización y agua caliente sanitaria, para conseguir un uso racional de la energía.

Establece los parámetros que definen el nivel de confort, bienestar e higiene de los usuarios que viven o realizan actividades en los edificios. Las instalaciones térmicas se han de diseñar, calcular, ejecutar, y usar de modo que se cumplan cuatro exigencias: Calidad térmica del ambiente, Calidad del aire del interior, Higiene, Calidad del ambiente acústico.

---

<sup>29</sup> Gobierno de España - Ministerio de la Presidencia: Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios. Publicado en el BOE núm. 207, de 29 de agosto de 2007.

## Estructura del RITE:

RITE se ordena en dos partes:

*Parte I – Disposiciones Generales:* contiene las condiciones generales de aplicación del RITE y las exigencias de bienestar e higiene, de eficiencia energética y de seguridad que han de cumplir las instalaciones térmicas. En esta parte también se encuentran las condiciones relativas a la documentación técnica, la ejecución de las instalaciones térmicas [OVCE 12], su puesta en servicio, uso y mantenimiento e inspección.

Capítulo I. Disposiciones generales
Capítulo II. Exigencias técnicas
Capítulo III. Condiciones administrativas
Capítulo IV. Condiciones para la ejecución de las instalaciones
Capítulo V. Condiciones para la puesta en servicio de la instalación
Capítulo VI. Condiciones para el uso y mantenimiento de la instalación
Capítulo VII. Inspección
Capítulo VIII. Empresas instaladoras y mantenedoras
Capítulo IX. Régimen sancionador
Capítulo X. Comisión Asesora

*Tabla 33: Índice de la primera parte del Reglamento de Instalaciones térmicas en los edificios (RITE – R.D. 1027/2007)*

*Parte II – Instrucciones Técnicas:* Contiene la caracterización de las exigencias técnicas y su cuantificación, de acuerdo con el desarrollo actual de la técnica. Se establecen niveles o valores límites y procedimientos expresados en forma de métodos de verificación o soluciones sancionadas para la práctica, la utilización de los cuales permite acreditar su cumplimiento. Hay cuatro Instrucciones Técnicas (IT) que se corresponden a las fases de la instalación:

1.IT Diseño y dimensionamiento.
2.IT Montaje.
3.IT Mantenimiento y uso.
4.IT Inspección.
Apéndice 1. Términos y definiciones.
Apéndice 2. Normas de referencia.
Apéndice 3. Conocimientos de instalaciones térmicas en edificios.

*Tabla 34: Índice de la segunda parte del Reglamento de Instalaciones térmicas en los edificios (RITE – R.D. 1027/2007)*

Las mayores exigencias en eficiencia energética que establece [SEST 17] la modificación del Real Decreto 238/2013, de 5 abril se plasman en:

- Mayor Rendimiento Energético en los equipos de generación de calor y frío, así como los destinados al movimiento y transporte de fluidos.
- Mejor aislamiento en los equipos y conducciones de los fluidos térmicos.
- Mejor regulación y control para mantener las condiciones de diseño previstas en los locales climatizados.
- Utilización de energías renovables disponibles, en especial la energía solar y la biomasa.
- Incorporación de subsistemas de recuperación de energía y el aprovechamiento de energías residuales.
- Sistemas obligatorios de contabilización de consumos en el caso de instalaciones colectivas. Desaparición gradual de combustibles sólidos más contaminantes.
- Desaparición gradual de equipos generadores menos eficientes.

Requisitos establecidos para ambientes interiores en edificios:

*I.- Condiciones interiores de diseño:*

Estación	Temperatura operativa °C	Humedad relativa %
Verano	23 – 25	45 – 60
Invierno	21 – 23	40 – 50

*Tabla 35: Requisitos de temperatura y humedad relativa para ambientes interiores (RITE – R.D. 1027/2007)*

*II.- Categorías de calidad del aire interior en función del uso de los edificios*

En función del uso del edificio o local, la categoría de calidad del aire interior (IDA) varía, por lo que se deberá alcanzar será, como mínimo, la siguiente [AIRT 16]:

- IDA 1 (aire de óptima calidad): hospitales, clínicas, laboratorios y guarderías.
- IDA 2 (aire de buena calidad): oficinas, residencias (locales comunes de hoteles y similares, residencias de ancianos y de estudiantes), salas de lectura, museos, salas de tribunales, aulas de enseñanza y asimilables y piscinas.
- IDA 3 (aire de calidad media): edificios comerciales, cines, teatros, salones de actos, habitaciones de hoteles y similares, restaurantes, cafeterías, bares, salas de fiestas, gimnasios, locales para el deporte (salvo piscinas) y salas de ordenadores.
- IDA 4 (aire de calidad baja).

*III.- Caudales de aire exterior para cada categoría de IDA, en dm<sup>3</sup>/s por persona:*

Categoría	Caudal (dm <sup>3</sup> /s por persona)
IDA 1	20
IDA 2	12.5
IDA 3	8
IDA 4	5

*Tabla 36: Clasificación de la calidad de aire interior y caudales mínimos de aire exterior (RITE – R.D. 1027/2007)*

*IV.- Valor límite para la concentración de CO<sub>2</sub>:*

Categoría	Concentración (p.p.m.)
IDA 1	350
IDA 2	500
IDA 3	800
IDA 4	1200

*Tabla 37: Clasificación de la calidad de aire interior y contenidos máximos de concentración de CO<sub>2</sub> (RITE – R.D. 1027/2007)*

*V.- Condiciones de filtración del aire exterior mínimo de ventilación:*

- El aire exterior de ventilación, se introducirá debidamente filtrado en los edificios.
- Las clases de filtrado mínimas a emplear, en función de la calidad del aire exterior (ODA) y de la calidad del aire interior requerida (IDA), serán las que se indican en la tabla 1.4.2.5
- La calidad del aire exterior (ODA) se clasificará de acuerdo con los siguientes niveles:
  - o ODA 1: aire puro que se ensucia sólo temporalmente (por ejemplo polen).
  - o ODA 2: aire con concentraciones altas de partículas y, o de gases contaminantes.
  - o ODA 3: aire con concentraciones muy altas de gases contaminantes (ODA 3G) y, o de partículas (ODA 3P).

D.- REAL DECRETO 235/2013, DE 5 DE ABRIL, POR EL QUE SE APRUEBA EL PROCEDIMIENTO BÁSICO PARA LA CERTIFICACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LOS EDIFICIOS. Entrada en vigor: 14 de abril de 2013

Objetivos del Real Decreto<sup>30</sup>:

- Transpone parcialmente a la legislación española, la Directiva 2010/31/UE, en lo relativo a la Certificación de Eficiencia Energética de Edificios (Nuevos y Existentes)
- Refunde el Real Decreto 47/2007, incorporando el Procedimiento básico para la certificación de edificios existentes, ya que el texto inicial del 2007 solo contemplaba el procedimiento de certificación para edificios de nueva construcción.

ARTÍCULO ÚNICO. Aprobación del Procedimiento Básico para la Certificación de la Eficiencia Energética de los Edificios.

- Se aprueba el Procedimiento Básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios, cuyo texto se incorpora en este Real Decreto.
- Se establece que, cuando se construyan, vendan o alquilen edificios o unidades de éstos, el certificado de eficiencia energética o una copia de éste se deberá mostrar y, en su caso, entregar al comprador o nuevo arrendatario potencial.

DISPOSICIONES ADICIONALES

*Primera.- Certificaciones de edificios pertenecientes y ocupados por las Administraciones Públicas.*

- Los certificados, controles externos y la inspección de los citados edificios podrán realizarse por técnicos competentes de cualquiera de los servicios de esas Administraciones Públicas.

*Segunda.- Edificios de consumo de energía casi nulo.*

- Todos los edificios nuevos que se construyan a partir del 31 de diciembre de 2020 serán edificios de consumo de energía casi nulo.
- Todos los edificios nuevos cuya construcción se inicie a partir del 31 de diciembre de 2018, que vayan a estar ocupados y sean de titularidad pública, serán edificios de consumo de energía casi nulo.

*Tercera.- Comisión Asesora para la certificación energética de edificios.*

- La Comisión Asesora, creada por el artículo 14 del Procedimiento Básico para la Certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción, aprobado por el Real Decreto 47/2007, seguirá existiendo, quedando regulados su objeto, funciones, composición y organización en los artículos 15 a 17 del Procedimiento Básico que se aprueba en este Real Decreto 235/2013.

*Cuarta.- Otros técnicos habilitados.*

---

<sup>30</sup> Gobierno de España - Ministerio de la Presidencia: Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios. Publicado en el BOE núm. 89, de 13/04/2013.

- Las cualificaciones profesionales requeridas para suscribir los certificados de eficiencia energética, así como los medios de acreditación se determinarán mediante orden conjunta de los titulares de los Ministerios de Industria, Energía y Turismo y de Fomento.

#### DISPOSICIONES TRANSITORIAS

##### *Primera.- Adaptación al Procedimiento*

- Antes del 1 de junio de 2013, el IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), pondrá a disposición del público los programas informáticos de calificación de eficiencia energética para edificios existente. Estos programas serán de aplicación en todo el territorio nacional y tendrán la consideración de documento reconocido.
- La presentación o puesta a disposición de los compradores o arrendatarios del certificado de eficiencia energética de la totalidad o parte de un edificio, según corresponda, será exigible para los contratos de compraventa o arrendamiento celebrados a partir de 1 de junio de 2103.

##### *Segunda.- Obtención del certificado y obligación de exhibir la etiqueta de eficiencia energética en edificios de pública concurrencia*

- Los edificios o partes de edificios existentes, ocupados por una autoridad pública, que sean frecuentados habitualmente por el público, deberán obtener un certificado de eficiencia energética y tendrán la obligación de exhibir su etiqueta de eficiencia energética a partir del:
  - 1 de junio de 2013, cuando su superficie útil total sea superior a 500 m<sup>2</sup>
  - 9 de julio de 2015, cuando su superficie útil total sea superior a 250 m<sup>2</sup>
  - 31 de diciembre de 2015, cuando su superficie útil total sea superior a 250 m<sup>2</sup> y esté en régimen de arrendamiento.
- Los edificios de titularidad privada que sean frecuentados habitualmente por el público, con una superficie útil total superior a 500 m<sup>2</sup>, cuando les sea exigible su obtención, tendrán la obligación de exhibir la etiqueta de eficiencia energética en lugar destacado y bien visible, a partir del:
  - 1 de junio de 2013.

##### *Tercera.- Registro de los certificados de eficiencia energética*

- A la entrada en vigor de este Real Decreto el órgano competente de cada Comunidad Autónoma en materia de certificación energética de edificios, habilitará el Registro de Certificaciones en su ámbito territorial. Este Registro:
  - Permitirá realizar las labores de inspección y control técnico y administrativo.
  - Pondrá a disposición del público registros actualizados, periódicamente, de técnicos competentes o de empresas que ofrezcan los servicios de expertos de este tipo, y servirá de acceso a los ciudadanos para obtener información sobre los certificados.

DISPOSICIÓN DEROGATORIA.- Queda derogado el Real Decreto 47/2007, por el que se aprueba el Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción.

### 2.1.2.3.- Conceptos relativos al comportamiento de la envolvente térmica

La envolvente térmica tiene una influencia directa sobre la demanda energética del edificio, que es la energía necesaria para mantener el interior del inmueble en condiciones de confort térmico, que está condicionada por dos factores, el uso al que se destina el edificio y la zona climática en la que se ubique. Se utilizan varios parámetros para caracterizar el comportamiento térmico de la envolvente, entre los cuales se destacan por su relevancia:

- Transmitancia térmica
- Inercia térmica
- Ventilación y permeabilidad
- Transparencia

a) *Transmitancia térmica (U)*: Flujo de calor, en régimen estacionario, dividido por el área y por la diferencia de temperaturas de los medios situados a cada lado del elemento que se considera (CTE-HE1). Se mide en W/m<sup>2</sup>K. Y viene dada por la siguiente fórmula

$$U = 1 / R_i$$

Siendo  $R_i$  la resistencia térmica total del elemento constructivo (m<sup>2</sup>K/W).

*Ecuación 6.- Cálculo de la transmitancia térmica de un elemento constructivo*

La resistencia térmica total  $R_i$ , de un componente compuesto por capas (solución constructiva tradicional para la conformación de cerramientos verticales) se calcula de con la siguiente fórmula:

$$R_i = R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + \dots R_n + R_{se}$$

$R_{si}$  y  $R_{se}$  las resistencias térmicas superficiales interior y exterior,

$R_1 \dots R_n$ , las resistencias térmicas de cada capa, tomadas de la tabla E1 (DB-HE1-Apéndice E, de acuerdo con la posición del cerramiento y la dirección del flujo del calor y su situación en el edificio.

*Ecuación 7.- Cálculo de la resistencia térmica de un muro compuesto por varias capas*

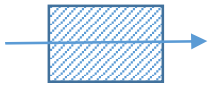
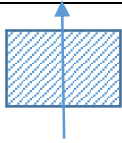
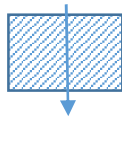
POSICIÓN DEL CERRAMIENTO / SENTIDO FLUJO DEL CALOR		R <sub>se</sub>	R <sub>si</sub>
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal >60° y flujo horizontal		0.04	0.13
Cerramientos horizontales o pendiente sobre la horizontal <60° y flujo ascendente		0.04	0.10
Cerramientos horizontales y flujo descendente		0.04	0.17

Tabla nº 38: Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con aire exterior en m<sup>2</sup> K/W (Tabla E1- CTE DB HE1 – Apéndice E)

- La resistencia térmica ( $R_n$ ) es la resistencia que opone un material al paso del calor por conducción. El flujo energético se produce cuando hay diferencia de temperatura entre el interior y el exterior y se define por la ecuación siguiente:

$$R = E / \lambda$$

Siendo;  $E$  el espesor de la capa en m (en caso de una capa de espesor variable se considerará el espesor medio. Y  $\lambda$  es la conductividad térmica de diseño del material que compone la capa, calculada a partir de los valores térmicos declarados en la norma UNE EN ISO 10456:2001 (W/mK).

*Ecuación 8: Cálculo de la resistencia térmica de un material en función de su espesor y conductividad*

- b) *Cámaras de aire:* En la solución constructiva tradicional más frecuente incluye la cámara de aire en su interior, básicamente de dos tipos:
- Cámara de aire sin ventilar: Son aquellas en las que no existe ningún sistema específico para el flujo del aire a través de ella. Su resistencia térmica está indicada en la tabla E2 del CTE HE1, en función de su espesor.
  - Cámaras de aire ligeramente ventiladas: son aquellas en las que no existe un dispositivo para el flujo de aire limitado a través de ella desde el ambiente exterior, pero con apertura dentro de los rangos especificados en el CTE HEE1, para este tipo de cámaras la resistencia térmica es la mitad de los valores de la tabla E2, anteriormente mencionada.
- c) *Aislamientos térmicos:* son los materiales que oponen mayor resistencia al paso del calor a través de ellos, porque tienen una resistencia térmica elevada. Se consideran como material aislante térmico aquellos que presenten simultáneamente una conductividad térmica inferior  $\lambda < 0.06 \text{ W/m}^2\text{K}$  y una resistencia térmica superior a  $0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$ .
- d) *Puente térmico:* Son aquellas zonas de la envolvente del edificio en las que se produce una variación de la uniformidad de la solución constructiva que conforma el cerramiento, ya sea por un cambio del espesor, de los materiales utilizados, por penetración de elementos constructivos con diferente conductividad; en el que se produce una reducción de la resistencia térmica respecto del resto del cerramiento, en los que además pueden producirse condensaciones superficiales en períodos fríos.
- e) *Inercia térmica:* es la capacidad de un material para acumular o ceder calor. Esta propiedad se utiliza en construcción para conservar la temperatura interior de los locales habitables más estable a lo largo del día, mediante muros multicapa de masa elevada. Esta solución se adopta tradicionalmente en zonas de clima continentales (durante el día los muros se calientan y por la noche ceden calor al ambiente del local). Para la consideración de la inercia térmica en la rehabilitación de edificios existentes se deberán tener en cuenta los siguientes parámetros (clima, uso del edificio, orientación del cerramiento).



- f) *Ventilación e infiltración*: estos dos parámetros influyen directamente en la demanda energética del edificio, ya que el aire que entra directamente del exterior, se mezcla con el aire interior, produciendo un descenso de la temperatura interior en el local.
- a. *Ventilación*: este proceso consiste en la renovación de aire de los locales para evitar el descenso de calidad en el aire interior de las zonas habitables. Desde la entrada en vigor del código técnico de la edificación en el año 2006, es obligatorio incorporar un sistema de ventilación (generalmente natural) en las viviendas, trasteros, almacén de residuos y sistemas híbridos en aparcamientos (los cuales cumplen una doble función, renovación de aire y mitigación del riesgo de ambientes inflamables). Existe en este requisito una cierta controversia, ya que el exceso de ventilación o de infiltraciones en invierno, ocasiona que parte del aire caliente del interior salga hacia el exterior, con la consecuente repercusión en el consumo final de energía del edificio. Con anterioridad a la entrada en vigor de la actual normativa, el planteamiento era contrario, ya que se propiciaba la utilización de sistemas de acristalamiento estancos y la renovación de aire para garantizar las condiciones de salubridad, dependía de la voluntad del usuario de abrir y cerrar las ventanas.
- b. *Permeabilidad al aire*: es la propiedad del cerramiento (especialmente en puertas y ventanas) para dejar pasar el aire procedente del exterior cuando se encuentra sometido a una presión diferencial. La permeabilidad al aire se caracteriza por la capacidad de paso de aire expresado en caudal por unidad de superficie de cerramiento ( $\text{m}^3 / \text{h} \times \text{m}^2$ ). Según el CTE – HE1, se consideran válidos los huecos y lucernarios clasificados según la norma UNE 12 2017: 2000:
- Para las zonas climáticas Ay B: huecos y lucernarios de clase 1, 2, 3 y 4
  - Para las zonas climáticas C,D y E: huecos y lucernarios de clase 2, 3 y 4
- g) *Transparencia*: Otro de los aspectos que inciden en la temperatura interior del inmueble es la transparencia o la capacidad de un cerramiento de dejar pasar la radiación solar hacia su interior y por tanto está relacionado con las aperturas y las protecciones solares.
- a. *Factor de sombra*: es el efecto producido por el bloqueo de la radiación incidente sobre un cerramiento debido a la presencia de obstáculos (situación muy frecuente en las tramas urbanas) o también debido a elementos arquitectónicos de la fachada (tales como voladizos, salientes laterales, retranqueos o dispositivos de protección solar (laminas o persianas).
- b. *Factor solar*: “es el cociente entre la radiación solar a incidencia normal que se introduce en el edificio a través de los huecos y la que se introduciría si el acristalamiento se sustituyese por un hueco perfectamente transparente” (CTE- HE1). Es un concepto ligado a las propiedades del acristalamiento. Resulta evidente que la utilización de protecciones solares es una solución técnica efectiva para disminuir la demanda energética de refrigeración. Por lo tanto un diseño incorrecto

o el mal uso de las protecciones solares puede ocasionar un incremento del consumo de energía, especialmente en régimen de verano.

h) Relación entre Resistencia, conductividad y transmitancia térmica:

$$R = \frac{E}{\lambda} = \frac{1}{U}$$

Siendo;

**R:** Resistencia técnica del material ( $\text{m}^2 \cdot \text{°K} / \text{W}$ )

**E:** Espesor del cerramiento (m)

**$\lambda$ :** conductividad térmica de diseño, calculada a partir de los valores térmicos declarados en la norma UNE EN ISO 10456:2001 ( $\text{W}/\text{mK}$ ).

**U:** Transmitancia térmica ( $\text{W} / \text{m}^2 \cdot \text{°K}$ )

*Ecuación 9: Cálculo de la resistencia térmica de un material en función de su espesor y conductividad o a partir de su transmitancia U*

## 2.2.- Resumen de las diferentes normativas técnicas aplicables al comportamiento térmico de la envolvente de los edificios y su influencia sobre la eficiencia energética

En este apartado, se resumen las exigencias técnicas térmicas contempladas en las normativas técnicas aplicables más importantes y se expone como inciden en la calificación de la eficiencia energética del edificio.

### 2.2.1.- Influencia del año de construcción sobre las exigencias térmicas de los cerramientos en edificios

A lo largo del tiempo, el nivel de exigencia normativa referente al comportamiento térmico de la envolvente del edificio se ha modificado, produciéndose un incremento progresivo del nivel de exigencia (hacia una menor conductividad térmica), como consecuencia de la aplicación de distintas normativas técnicas.

Por ello, un dato relevante a la hora de analizar de forma preliminar la envolvente térmica del inmueble existente, es el año en que fue construido el edificio, ya que está relacionado con las distintas soluciones constructivas que se han adoptado para resolver la función del cerramiento exterior y con el tipo de materiales que se utilizan para su conformación (especialmente sensible en el caso del material aislante que se incorpora y su posición en el cerramiento); lo cual afecta a la cantidad de energía que se pierde a través de la envolvente térmica<sup>31</sup>.

A la hora de analizar esta evolución en el nivel de exigencia térmica en los cerramientos que se emplean habitualmente para edificios de uso residencial y administrativos, en las distintas normativas, se puede diferenciar en tres períodos, debido al tipo de valores de transmitancia asociados a las soluciones constructivas utilizadas y a los materiales empleados:

- **Anterior a 1979:** Período anterior a la aplicación de la Norma básica de la edificación de Condiciones Térmicas (NBE CT 79).
- **Desde 1979 hasta 2006:** Período de aplicación de la NBE CT 79
- **Desde 2006 hasta la actualidad:** Período de aplicación del Código Técnico de la Edificación, en referencia a las exigencias térmicas a los cerramientos podemos dividir en dos sub-períodos
  - o *Del 2006 al 2013*
  - o *Del 2013 hasta la actualidad*

El incremento progresivo en la exigencia térmica en la envolvente que se contempla en las distintas normativas existentes a lo largo del tiempo, además de influir en la calidad del comportamiento térmico del edificio, tiene consecuencias a la hora de evaluar la eficiencia energética del edificio, ya que determina la cantidad de energía térmica que se pierde a través de la superficie de la envolvente (especialmente de la parte que está en contacto con aire exterior).

---

<sup>31</sup> Pérez Cobos, S.: Certificación energética en edificios existentes: Criterios para la identificación de la envolvente térmica. Editorial Marcombo. Barcelona. 2013. (págs. De 35 a 43)

## 2.2.2.- Evolución histórica de la normativa técnica relativa al comportamiento térmico de los cerramientos en España

a) **Período anterior a 1979:** En función de la normativa aplicable se puede distinguir cuatro sub-períodos:

*Período anterior a 1940:* caracterizado por la utilización de soluciones constructivas tradicionales en los cerramientos opacos de los edificios, resueltos con muros monolíticos de una sola hoja (sin cámara de aire ni aislamiento térmico), conformados en su mayoría por fábricas de ladrillo macizo o perforado o mampostería, cuyo grosor dependía de la localización geográfica del edificio.

En este período resulta frecuente que la fachada tuviese una doble función: estructural y como cerramiento exterior. Esta doble función implicaba la aparición de numerosos puentes térmicos en la envolvente, así como la aparición de numerosos puntos de condensación, especialmente en los encuentros entre el cerramiento opaco con el hueco.

El comportamiento térmico del cerramiento depende fundamentalmente del grosor del muro y de la conductividad térmica del material con el que se conforma el muro, por lo que los valores de transmitancia en superficie opaca adquiere valores superiores a los  $0.85 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ; para los huecos, debido al uso frecuente del acristalamiento simple, la transmitancia térmica adquiriría valores superiores a los  $5.75 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ .

Debido a las soluciones constructivas utilizadas para cerramientos exteriores, se producen numerosos puentes térmicos.



Fig 22 .- Fachada edificio sede del Banco Pastor (proyectado por los arquitectos D. Antonio Tenreiro Rodríguez y D. Peregrín Estellés) fue construido en 1922 y el edificio más alto de España hasta 1929.

*Sub-Período desde 1937 a 1957* (aplicación de varias instrucciones: la de hormigón y el reglamento que desarrollaba la Ley sobre la reducción de impuestos y contribuciones en la construcción de casas de renta para la llama “clase media”): En 1939 aparece la primera instrucción sobre hormigón, que regula la utilización de estructura de hormigón y en 1942 aparece el Reglamento sobre las restricciones del hierro en la edificación, que conjuntamente con la orden que regula los sistemas de forjados en la edificación, provoca la sustitución de viguetas de hierro en forjados por las viguetas de hormigón o de cerámica armada, ambas inciden sobre las soluciones constructivas de cerramientos en contacto con las estructuras.

Debido a esto, la mayoría de las fachadas proyectadas para edificios residenciales y administrativos, abandonan su función estructural, para asumir únicamente la función de cerramiento exterior, al igual que la cubierta; constituyendo parte de la envolvente térmica del edificio.

En 1945, se publica el Reglamento que desarrollaba la Ley de 25 de noviembre de 1944 sobre reducción de contribuciones e impuestos en la construcción de casas de renta para la denominada clase media. Publicada en BOE nº 332 el 25 de noviembre de 1944, que establece tres grupos en función de la superficie útil:

- El primer grupo, para viviendas con más de 110 m<sup>2</sup> de superficie útil.
- El segundo grupo, con superficie útil entre los 80 y 110 m<sup>2</sup>.
- El tercer grupo, con una superficie útil entre los 70 y 80 m<sup>2</sup>.

Para este tipo de fachadas se suelen obtener valores de transmitancia térmica para la zona opaca del muro entre 1.20 y 1.85 W/m<sup>2</sup>.°K; para los huecos adquiere valores superiores a los 5,0 W/m<sup>2</sup>.°K.



Fig. 23.- Edificio sede Banca Viñas Aranda (proyectado por el arquitecto D. Antonio Palacios Ramilo) situado en la rúa Reconquista esquina Marqués de Valladares, ayuntamiento de Vigo (Pontevedra) finalizada su construcción en 1944.

*Sub-Periodo desde 1957 hasta 1973* (aplicación de las normas MV): aparecen las primeras normativas técnicas que regulaban el sector de la edificación, aunque ninguna de ellas regulaba específicamente el comportamiento térmico de la envolvente, si establecían metodologías para el dimensionado de las estructuras que repercutían sobre los cerramientos exteriores.

Durante este período se produce un incremento en el número de viviendas construidas, con el objeto de atender una demanda creciente, producida en buena parte por la migración de la población de zonas agrícolas a las ciudades. Debido a esta demanda y a la influencia de soluciones habitacionales que se estaban promoviendo en otros países europeos, prolifera la solución arquitectónica de edificio en altura en polígonos residenciales situados en la periferia de los núcleos urbanos existentes.

Esta tipología arquitectónica estaba asociada a la utilización de soluciones constructivas en los cerramientos verticales conformados por varias hojas, introduciendo cámara de aire y utilizando la persiana enrollable de madera en los huecos (debilitando parcialmente el dintel del hueco para alojar parte del capialzado). Este tipo de cerramientos verticales reducía el peso del cerramiento y mejoraba su comportamiento térmico; por el contrario la solución tradicional de incorporar la persiana enrollable en los cerramientos verticales tenía como consecuencia frecuente la aparición de numerosos puentes térmicos.



*Fig. 24.- Torre Benita (Plaza San José 1, A Coruña) su promotor fue D. Benito Pérez, inicialmente proyectada con 18 plantas y finalmente se construyó con 14 plantas (proyecto del arquitecto D. Andrés Fernández-Albalat Lois) finalizada su construcción en 1.970 y actualmente en proceso de rehabilitación energética.*

*Sub-Período desde 1973 hasta 1979* (aplicación de las normas tecnológicas de la edificación – NTE): un conjunto de 155 normas establecidas por el Decreto 3565/1972<sup>32</sup> de diciembre del Ministerio de la Vivienda, publicadas en el Boletín Oficial del Estado del 15/01/1973, estableciendo su aplicación voluntaria en los proyectos de edificación, pero que fueron adoptadas como parte de la inmensa mayoría de los pliegos de condiciones técnicas de los proyectos, adquiriendo así un carácter de obligado cumplimiento en cada obra.

En este conjunto de normas se establecían y describían con detalles soluciones constructivas para los distintos tipos de cerramientos que se utilizaban en la época, en los que extiende el empleo de material aislante en el interior de las cámaras de aire, situado en el intradós de la hoja exterior, lo que producía frecuentemente la aparición de condensaciones en el interior de ésta, incrementando su nivel de humedad e incrementando su conductividad térmica.

En opinión de numerosos autores, estas normas constituyen un precedente del actual Código Técnico de la Edificación. La consecuencia de su aplicación, a los efectos térmicos, impermeabilizantes y acústicos de la envolvente, es una mejora sustancial de la calidad de la construcción y la resolución del origen de numerosas patologías edificatorias existentes hasta la fecha.



*Fig. 25.- Torre HERCON (calle Costa Rica, A Coruña) con 119 m de altura (proyectada por el arquitecto D. José Antonio Franco Taboada) fue construido desde el 1973 hasta 1975*

---

<sup>32</sup> Gobierno de España -Ministerio de la Vivienda: Decreto 3565/1972, de 23 de diciembre, por el que se establecen las normas tecnológicas de la edificación, NTE. Publicado en el BOE núm. 13, de 15 de enero de 1973.

- b) **Desde 1979 hasta 2006:** Período de aplicación de la NBE CT 79: entra en vigor en el año 1979, es una normativa específica cuyo objetivo era establecer las condiciones térmicas en los edificios, fue promulgada en el Real Decreto 2429/1979 del 6 de julio; tiene como objetivo la reducción de la reducción de consumo energético (motivado por el incremento de los precios del petróleo y de sus derivados producida a partir del 1973).

Esta normativa técnica supuso que por primera vez, para cualquier tipo de inmuebles de nueva construcción, que se regulase el comportamiento térmico del edificio de forma obligatoria, basándose en los siguientes aspectos:

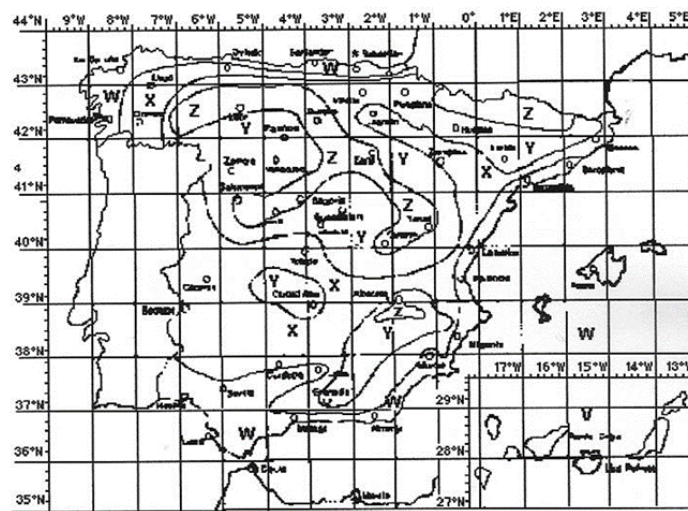
- o *Temperaturas del ambiente interior:* Las temperaturas a mantener en el ambiente interior de los edificios y que servirán para los cálculos de predicción de condensaciones y de la temperatura superficial interior del cerramiento se expone en su Tabla 3:

Edificio o local	Temperatura mínima (seca) en °C
Destinados a vivienda, enseñanza, comercio, trabajo sedentario y cultura.	18
Salas de actos, gimnasios y locales para trabajo ligero	15
Locales para trabajo pesado	12
Espacios para almacenamiento general	10

Tabla 39: Temperaturas del ambiente interior (Tabla 3 – NBE CT 79)

- o *Zonas Climáticas:* Introduce por primer vez la diferenciación del territorio español en básicamente establecía cinco zonas climáticas. Ésta zonificación descrita en el Mapa 2, está basada en los valores de las temperaturas mínimas medias de mes de enero :

Zona Climática Mapa 2	V	W	X	Y	Z
Temperatura exterior para cálculo de condensaciones en °C	10	5	3	0	-2



Mapa de zonificación por temperaturas mínimas medidas en enero

Fig.26: Zonificación climática por temperaturas mínimas medidas en enero (Mapa 2 – NBE CT 79)



- *Transmisión térmica global del edificio:* Se establece el valor máximo admisible para el coeficiente de transmisión térmica global ( $K_G$ ), que se calculaba en función del factor de forma, de la zona climática en la que se situaba el edificio y del tipo de energía empleada para calefacción.

Tipo de energía para calefacción	Factor de forma $f$ ( $m^{-1}$ )	Zonas climáticas según Mapa 1 (art. 13)				
		A	B	C	D	E
Caso I: Combustibles, sólidos, líquidos o gaseosos	$\leq 0.25$	2.10 (2.45)	1.61(1.89)	1.40(1.61)	1.26(1,47)	1.19 (1.40)
	$\geq 1.00$	1.20(1.40)	0.90(1.08)	0.80(0.92)	0.72(0.84)	0.68(0.80)
Caso II: Edificios sin calefacción o calefactados con energía eléctrica directa por efecto Joule	$\leq 0.25$	2.10 (2.45)	1.40(1.61)	1.05(1.19)	0.91(1.05)	0.77(0.91)
	$\geq 1.00$	1.20(1.40)	0.80(0.92)	0.68(0.80)	0.52(0.60)	0.45(0.52)

Tabla 40: Valor límite máximo del  $K_G$  en  $kCal/h.m^2.^\circ C$  ( $W/m^2.^\circ K$ ) por zonas climáticas (Tabla 1 – NBE CT 79)

- *Transmisión térmica de cerramientos:* Se establece el valor máximo admisible para el coeficiente de transmisión térmica ( $K$ ) que se calculaba según el tipo de cerramiento exterior y la zona climática en la que se situaba el edificio.

NBE CT 79 – Limitación de pérdidas. Art. 5º.- Coeficiente K transmisión térmica de cerramientos					
Valores máximos de K expresados en $kCal/h.m^2.^\circ C$ ( $W/m^2.^\circ C$ )					
Tipo de cerramiento		Zonas climáticas			
Cerramiento	Tipo	V y W	X	Y	Z
Cerramientos exteriores	Cubiertas	1.20 (1.40)	1.03 (1.20)	0.77 (0.90)	0.6 (0.70)
	Fachadas ligeras	1.03 (1.20)	1.03 (1.20)	1.03 (1.20)	1.03 (1.20)
	Fachadas pesadas	1.55 (1.80)	1.38 (1.60)	1.20 (1.40)	1.20 (1.40)
	Forjados sobre espacios abiertos	0.86 (1.00)	0.77 (0.90)	0.69 (0.80)	0.60 (0.70)
Cerramientos con locales no calefactados	Paredes	1.72 (2.00)	1.55 (1.80)	1.38 (1.60)	1.38 (1.60)
	Suelos o techos	-	1.20 (1.40)	1.03 (1.20)	1.03 (1.20)
Recomendaciones anexo 6.1.2 limitación de ganancias de calor permitidas por cubiertas		Valor máximo de K expresado en $kCal/h.m^2.^\circ C$ ( $W/m^2.^\circ C$ )			
Cubierta	Ventilada	1 (1.16)			
	Ligera no ventilada	0.6 (0,70)			
	Pesada no ventilada	0.8 (0.93)			

Tabla 41: Valores máximos de los coeficientes de transmisión para los cerramientos exteriores del edificio (Criterios del RD 2429/79 – NBE CT 79)

Durante el prolongado periodo de aplicación de la NBE CT 79 (aproximadamente 27 años), se produjo una evolución en los sistemas constructivos utilizados en fachadas, ya sea por la utilización de otras soluciones técnicas (como por ejemplo fachadas ventilada) o por el empleo de nuevos materiales aislantes.

Se consolida la utilización en edificios de uso residencial vivienda, de la fachada resuelta con dos fábricas de ladrillo y cámara de aire intermedia, incorporando aislante en su interior, pero situado en el extradós de la hoja interior, lo que permite resolver correctamente la aparición de condensaciones, evitando que se produzcan en el interior de la fábrica exterior, captándolas en la cámara de aire y facilitando su evaporación por ventilación.

En los huecos, cuya tendencia es incrementar el porcentaje de la superficie que ocupa en la envolvente, para permitir, entre otras misiones, el paso de más luz natural al interior de las estancias; se utiliza de forma sistemática el doble acristalamiento. Además de la perfilaría de aluminio, se utilizan perfiles fabricados con

materiales plásticos extruidos, con el objeto de mejorar los valores de transmitancia en los huecos. En general, se siguen utilizando sistemas estancos, lo que implica que la ventilación es responsabilidad del usuario, apareciendo condensaciones en aquellos casos en los que no se realiza correctamente dicha ventilación.



Fig.27: Edificio de viviendas de protección autonómica en A Choupana (Cangas – Pontevedra). Proyecto de los arquitectos D. Fermín Bescansa López y D. Javier Estévez Cimadevila (2004) (Imagen extraída de Google Streetview)

En edificios de uso comercial, debido a sus características específicas, se hace un uso más intenso de fachadas compuestas de fábrica de bloque de hormigón, trasdosada por el exterior con panel sándwich conformado por aislante térmico y chapa metálica prelacada, fijada sobre perfilaría metálica; así como elementos prefabricados de hormigón armado, acabados con diferentes texturas fijados a una estructura metálica auxiliar; muros cortina y lucernarios de grandes dimensiones para facilitar la entrada de luz en las zonas comunes.



Fig. 28 y 29: Comercial Dolce Vita (Fachada de la Avda. Newton (prefabricado de hormigón blanco) y la de la calle Severo Ochoa (Muro cortina policromático) – A Coruña). Proyecto arquitectónico redactado por Chapman Taylor Arquitectos y de ejecución redactado por el arquitecto D. Ramón Corrochano Casares (Diciembre 2005) (fotos extraídas de La Voz de Galicia – edición de A Coruña – 21-01-2014).

- c) **Desde 2006 hasta la actualidad:** Entrada en vigor del Real Decreto 314/2006 de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. (BOE 28-marzo-2006) como consecuencia de lo establecido en la Ley de Ordenación de la Edificación. Se trata de un conjunto de normas que regulan las exigencias básicas aplicables a los edificios, que tienen carácter prestacional y que son de cumplimiento obligatorio, que han sido modificadas en varias ocasiones desde su entrada en vigor.

En lo referente al documento básico que establece las exigencias térmicas (Documento básico de ahorro de energía HE – Sección HE1) en los cerramientos y particiones interiores que conforman la envolvente térmica, se pueden considerar dos sub-períodos:

- *Del 2006 al 2013*
- *Del 2013 hasta la actualidad*

Novedades introducidas por el documento básico HE en su sección HE1, referente a las exigencias térmicas para cerramientos:

- o Cambia la denominación y se modifica el mapa de zonas climáticas
- o Desaparece como exigencia el coeficiente global de transmisión térmica del edificio  $K_G$  (kCal/h.m<sup>2</sup>.°C (W/m<sup>2</sup>.°K).
- o El parámetro exigido para cerramientos y particiones que conforman la envolvente, pasa a ser la transmitancia  $U$  (W/m<sup>2</sup>.°K), en lugar del coeficiente de transmisión térmica  $K$  (kCal/h.m<sup>2</sup>.°C (W/m<sup>2</sup>.°C)) que utilizaba la NBE CT 79.

*Del 2006 al 2013:* El documento básico se modifica en dos ocasiones (la primera en 23/10/2007 y la segunda en 25/01/2008), no obstante, los valores máximos de transmitancia térmica exigibles para cerramientos y particiones que formen parte de la envolvente térmica del edificio se mantienen y se exponen en la tabla 2.1 de la sección HE1:

Cerramientos y particiones interiores	Zona Climática				
	A	B	C	D	E
Muros de fachada, particiones interiores en contacto con espacios no habitables, primer metro de muros apoyados sobre el terreno y primer metro de muros en contacto con el terreno	1.22	1.07	0.95	0.86	0.74
Suelos	0.69	0.68	0.65	0.64	0.62
Cubiertas	0.65	0.59	0.53	0.49	0.46
Vidrios y marcos	5.70	5.70	4.40	3.50	3.10
Medianeras	1.22	1.07	1.00	1.00	1.00

Tabla 42: Transmitancia térmica máxima de cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica  $U$  (W/m<sup>2</sup>.°K)  
(Tabla 2.1 CTE documento básico de ahorro de energía HE – sección HE1 2006)

Del 2013 hasta la actualidad: las modificaciones introducidas por la versión actual del HE1 (12/09/2013) relacionan a continuación:

- Se incorpora al mapa de zonas climáticas, una zona climática específica para las Islas Canarias, Ceuta y Melilla.

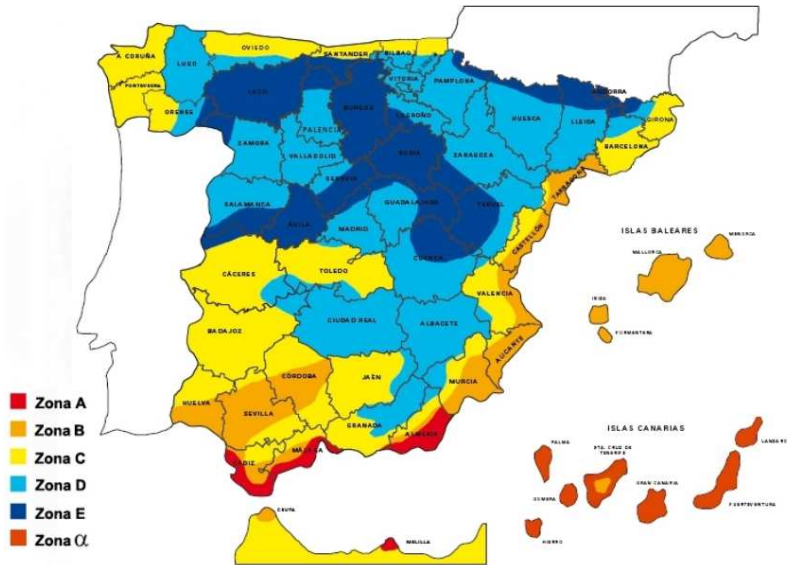


Fig.30: Mapa de zonas climáticas planteadas por el CTE – Documento Básico de Ahorro de Energía HE (ver. 2013) (Asociación Nacional de Fabricantes de Materiales Aislantes)

- Se incrementa el nivel de exigencia térmica para los cerramientos y particiones que conforman la envolvente térmica, estableciendo valores menores de transmitancia para zonas opacas y para huecos en la mayoría de las zonas climáticas, (tal y como se expuso en el apartado 2.1.2.2), según se contempla en la tabla 2.3 de la sección HE1:

Parámetro	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Transmitancia térmica de muros y elementos en contacto con el terreno <sup>(1)</sup> [W/m <sup>2</sup> ·K]	1,35	1,25	1,00	0,75	0,60	0,55
Transmitancia térmica de cubiertas y suelos en contacto con el aire [W/m <sup>2</sup> ·K]	1,20	0,80	0,65	0,50	0,40	0,35
Transmitancia térmica de huecos <sup>(2)</sup> [W/m <sup>2</sup> ·K]	5,70	5,70	4,20	3,10	2,70	2,50
Permeabilidad al aire de huecos <sup>(3)</sup> [m <sup>3</sup> /h·m <sup>2</sup> ]	≤ 50	≤ 50	≤ 50	≤ 27	≤ 27	≤ 27

(1) Para elementos en contacto con el terreno, el valor indicado se exige únicamente al primer metro de muro enterrado, o el primer metro del perímetro de suelo apoyado sobre el terreno hasta una profundidad de 0,50m.

(2) Se considera el comportamiento conjunto de vidrio y marco. Incluye lucernarios y claraboyas.

(3) La permeabilidad de las carpinterías indicada es la medida con una sobrepresión de 100Pa.

Tabla 43: Transmitancia térmica máxima y permeabilidad al aire de los elementos de la envolvente térmica (Tabla 2.3 CTE documento básico de ahorro de energía HE – sección HE1 Limitación de la demanda energética 2013)

En relación a las consecuencias que producirá la aplicación del Código Técnico de la Edificación, de forma más concreta el documento básico de ahorro de energía HE a partir del 2013 hasta la actualidad, en el comportamiento térmico y el consumo energético final del edificio, se pueden destacar los siguientes aspectos:

I. *Consecuencias referentes a los materiales y soluciones constructivas (envolvente térmica):*

En referencia a los materiales utilizados para conformar los cerramientos de la envolvente térmica, debido al mayor nivel de exigencia, algunos materiales y soluciones técnicas que se han utilizado tradicionalmente, se han quedado obsoletas, ya que no permiten cumplir los valores planteados por la nueva normativa HE1, por lo que deberán ser modificadas o sustituidas por otras que logren un valor de transmitancia térmica igual o inferior a los exigidos por la norma.

Este grado de obsolescencia, se verá incrementado si, como es previsible, se aumenta el nivel de exigencia normativa, ya que se plantea que para el año 2020 que todos los edificios de nueva construcción y rehabilitados integralmente puedan ser calificados de “consumo de energía casi nulo”; por lo que se reducirán los valores máximos de transmitancia térmica.

En el estudio realizado en el año 2012 por la consultoría energética europea ECOFYS para la Asociación de fabricantes de lana mineral EURIMA, denominado EURIMA/ECOFYS VII<sup>33</sup>, se establecen los valores óptimos para transmitancias térmicas límite  $U_{LIM}$  ( $W/m^2 \cdot K$ ) en las distintas zonas climáticas:

Valores límite de U ( $W/m^2 \cdot K$ ) Óptimo económico recomendado por EURIMA(ECOFYS VII)			
Zona climática	Muros exteriores	Suelos	Cubiertas
Zona A	0.32 (1.25)	1.06 (1.20)	0.24 (1.20)
Zona B	0.30 (1.00)	0.69 (0.80)	0.24 (0.80)
Zona C	0.30 (0.75)	0.59 (0.65)	0.22 (0.65)
Zona D	0.23 (0.60)	0.46 (0.40)	0.18 (0.40)
Zona E	0.20 (0.55)	0.31 (0.34)	0.16 (0.34)

Tabla 44: Comparación entre valores límite de U ( $W/m^2 \cdot K$ ) recomendados en el estudio EURIMA/ECOFYS VII para óptimo económico y los valores contemplados en el CTE HE1 (ver. 2013) para las distintas zonas climáticas.

Basándose en los valores recomendados de transmitancia térmica, resulta inevitable deducir que el nivel de exigencia térmica de la sección HE1 Limitación de la demanda energética, con toda seguridad, tendrá que incrementarse de forma sustancial, especialmente en los casos de los muros exteriores y de las cubiertas.

Este incremento progresivo del nivel de exigencia, nos llevará a establecer valores límite de transmitancia U ( $W/m^2 \cdot K$ ) que suponen en la práctica constructiva, para las zonas climáticas más severas, duplicar prácticamente el espesor de la membrana de material aislante y por lo tanto incrementar el espesor de la sección del cerramiento.

<sup>33</sup> Ecofys: Ecofys VII – U-Valores para un mejor rendimiento energético de los edificios (U-VALUES for better energy performance of buildings). Editado por EURIMA. Bruselas. 2007

II. *Problemática por la aplicación de las exigencias planteadas por las secciones del CTE HE1 limitación de la demanda energética y el HS3:*

En aplicación de los criterios contemplados en la sección HS3 Calidad de aire interior, del documento básico de Salubridad del CTE, los huecos dejan de ser estancos, al tener que incorporar aireadores de forma obligatoria, para facilitar la entrada de aire procedente del exterior, lo cual supone una perturbación térmica del ambiente interior<sup>34</sup>.

Esta problemática, se incrementa al establecer en la sección HS3, un criterio erróneo de dimensionado, basado en el número de personas (que en teoría ocupan simultáneamente todas las estancias de la vivienda, lo cual resulta improbable) y no en la fijación de un caudal mínimo de renovación de aire, que sería lo correcto. La consecuencia es el sobredimensionamiento de las aberturas de admisión de aire y las conducciones.

La consecuencia de la infiltración de aire frío (invierno) para ventilar, en el ambiente interior de las estancias de noche, generan la necesidad de aportar más calor para compensar el descenso de la temperatura que se produce en los volúmenes de aire próximos al cerramiento.

Complementariamente, en los casos que esta ventilación se produzca de forma natural mediante la incorporación de aireadores directos en la perfilera de las ventanas y puertas exteriores, que es la solución más utilizada para edificios de uso residencial vivienda, en situaciones de presión de viento aplicada sobre la superficie exterior de la fachada, además del descenso de la temperatura, pueden llegar a producir molestias provocadas por la velocidad del aire o por el ruido producido por la infiltración del aire, para los ocupantes de la estancia.

Por lo tanto, se hace necesaria una reflexión sobre las soluciones técnicas más adecuadas para resolver esta problemática, lo más razonable es plantear soluciones basadas en sistemas de admisión y extracción mecánicas a través de conductos, evitando la entrada de aire frío directamente en las estancias de las viviendas.

---

<sup>34</sup> Linares Alemparte, M.P.: *La ventilación y el CTE* (ponencia en jornadas “La ventilación en los edificios y sus consecuencias en la demanda de energía, la acústica y la calidad del aire”). Editado por Laboratorio de control de calidad en la edificación del Gobierno Vasco. Vitoria-Gasteiz. 2011

### 2.3.- Calificación de la eficiencia energética en los edificios y su certificación

En este apartado, se resume el actual marco normativo aplicable a la evaluación de la eficiencia energética en los edificios, así como el procedimiento establecido para realizar la calificación y la certificación de la misma; que tiene su primer referente normativo en la aparición de la Directiva 2002/91/CE<sup>24</sup>, la legislación española relativa a la eficiencia energética en el sector de la edificación era casi inexistente, siendo la NBE-CT-79<sup>27</sup> la única norma que regulaba una parte de las exigencias térmicas de los cerramientos que constituyen la envolvente térmica del edificio. Con la publicación de esta Directiva, se procede a actualizar la normativa, lo que da lugar a la aparición en el año 2006 del Código Técnico de la Edificación<sup>35</sup>. Como ya se ha expuesto en el apartado anterior, éste incluye un Documento Básico que establece las prestaciones del edificio referentes al ahorro de energía (HE) y que recogen algunas de las exigencias marcada por la Directiva Europea.

Así mismo y con el fin de establecer las exigencias que deben cumplir las instalaciones térmicas de los edificios, se implantó el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios<sup>30</sup>; así como la exigencia de que se califique la eficiencia energética de los edificios, pero solo de los de nueva construcción.

Después de la entrada en vigor de la Directiva 2010/31/UE<sup>25</sup>, resultaba evidente que era necesario trasponer de nuevo al ordenamiento legislativo español las modificaciones que se introducen en el mismo. En lugar de proceder a la ampliación del R.D. 47/2007<sup>36</sup>, se decidió por parte de la Administración derogarlo y proceder a la promulgación de uno nuevo que contemplara la mayor parte de las modificaciones, lo que finalizó con la publicación del R.D. 235/2013<sup>37</sup>. Una de los aspectos contemplados en esta nueva normativa, es la ampliación de ámbito de aplicación a todos los edificios, incluidos los existentes.

Debido a la tardía trasposición de estas directivas europeas relativas a la eficiencia energética en los edificios, España es uno de los últimos países de la Unión Europea en los se ha implantado legalmente una metodología para la evaluación y certificación de la eficiencia energética, tanto para edificios de nueva construcción o rehabilitados, como para edificios existentes. Si bien, para edificios de nueva planta, el proceso de evaluación y certificación de la eficiencia energética se activó en el año 2007; para los edificios existentes, este proceso no comienza hasta mediados del año 2013, es decir con un retraso de 12 años con respecto a la entrada en vigor de la primera directiva europea relativa a la eficiencia energética de los edificios. Si se tiene en cuenta, que aproximadamente el 59% del parque edificatorio existente, fue construido antes año 1981 y por lo tanto, estos edificios disponen de cerramientos con una baja calidad térmica (transmitancias reales superiores a los valores límites de  $U$  ( $W/m^2 \cdot K$ ) en muros exteriores y cubiertas); podemos deducir que la aplicación tardía de las estrategias para la rehabilitación energética de los edificios existentes, ha tenido un coste energético y ambiental enorme.

---

<sup>35</sup> Gobierno de España – Ministerio de Vivienda: *Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación*. Publicado en el BOE núm. 74, de 28 de marzo de 2006.

<sup>36</sup> Gobierno de España – Ministerio de la Presidencia: *Real Decreto 47/2007, de 19 de enero, por el que se aprueba el Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción* (Derogado). Publicado en el BOE núm. 27, de 31 de enero de 2007

<sup>37</sup> Gobierno de España – Ministerio de la Presidencia: *Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios*. Publicado en el BOE núm. 89, de 13/04/2013

### 2.3.1.- Comportamiento energético del edificio

El proceso de regulación del comportamiento energético de los edificios, establecido a partir de las modificaciones introducidas en el 2013, tanto en el documento básico de ahorro de energía HE, como en el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) es el siguiente<sup>30</sup>:

- I. **Limitación del consumo energético:** El CTE-HE0 establece una serie de limitaciones para edificios nuevos o ampliaciones de edificios existentes de uso residencial privado en cuanto al consumo de energía primaria no renovable que viene marcado principalmente por el valor base y por el factor corrector. Los valores dependen de la zona climática de invierno y van desde **40 a 70 kW.h/m<sup>2</sup>año** (Fig. 2). En el caso de edificios nuevos o ampliaciones de edificios existentes de otros usos, el consumo energético de energía primaria no renovable debe ser igual o superior a la **clase B**.

Parámetro	Zona climática de invierno					
	$\alpha$	A	B	C	D	E
$C_{ep,base}$ (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	40	40	45	50	60	70
$F_{ep,sup}$	1000	1000	1000	1500	3000	4000

Tabla 45: Valor base y factor corrector por superficie del consumo energético (Tabla 2.1 del CTE-DB HE0 – 2013)

- II. **Limitación de la demanda energética para calefacción:** Por otro lado, el CTE-HE1 establece una serie de limitaciones para edificios nuevos o ampliaciones de edificios existentes de uso residencial privado en cuanto a la demanda energética de calefacción que viene marcado principalmente por el valor base y por el factor corrector. Los valores dependen de la zona climática de invierno y van desde **15 a 40 kWh/m<sup>2</sup>año** (Fig. 3).

Parámetro	Zona climática de invierno					
	$\alpha$	A	B	C	D	E
$D_{cal,base}$ (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	15	15	15	20	27	40
$F_{cal,sup}$	0	0	0	1000	2000	3000

Tabla 46: Valor base y factor corrector por superficie de la demanda energética de calefacción (Tabla 2.1 del CTE-HE1- 2013)

- III. **Limitación de la demanda energética para refrigeración:** En el caso la demanda energética de refrigeración, el CTE HE1 establece que no se puede superar el valor límite de **15 kWh/m<sup>2</sup>año** para las zonas climáticas de verano 1, 2, 3 ; y **20 kWh/m<sup>2</sup>año** para la zona climática de verano 4. Por lo cual, en el proceso de diseño de una obra nueva o de una rehabilitación integral, quedan fijados por normativa la cantidad de energía máxima que pueden consumir los sistemas térmicos del edificio y la cantidad de energía máxima que demandará el edificio, tanto para el sistema de calefacción, como el de refrigeración.
- IV. **Limitación de la demanda energética para sistemas de iluminación:** En la sección HE3 – Eficiencia Energética de las Instalaciones de Iluminación, en el apartado 2.2.- “Potencia instalada en el edificio” establece la demanda máxima de energía para los sistemas de iluminación, mediante el establecimiento del valor máximo de potencia eléctrica según el uso al que se destine, adquiriendo ésta valores que comprendidos entre los 5 y 25 W/m<sup>2</sup>.



- V. **Limitación de la demanda para sistemas de producción de agua caliente sanitaria:** En la sección HE4 – Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria (ACS); establece los criterios para calcular la demanda máxima de energía para el sistema térmico para la producción de agua caliente sanitaria (en función del uso al que se destine el inmueble), así como la contribución mínima que deben aportar los sistemas solares térmicos a la producción de ACS.

Por lo tanto, después de la modificación realizada en el 2013, el documento básico HE establece a través de los preceptos contenidos en sus distintos documentos básicos, los criterios de cálculo necesarios para determinar la demanda límite necesaria para los distintos sistemas térmicos y lumínicos del inmueble.

De esta forma, se condicionan las características energéticas de los principales sistemas térmicos desde la fase inicial de diseño; la consecuencia directa de su aplicación es limitar la demanda energética del edificio de nueva construcción o rehabilitado integralmente, incrementando su nivel de eficiencia energética.

### 2.3.2.- Calificación de la eficiencia energética de los edificios y su certificación en España

Una vez fijada por normativa la demanda límite, la siguiente fase en la estrategia fijada por la Administración para incrementar la eficiencia energética del parque edificatorio, es establecer un método para evaluarla y establecer una sistemática de registro de datos que permita su seguimiento y mejora durante la vida útil del inmueble.

Para una adecuada comprensión de lo que se expone a continuación, es necesario aclarar previamente varios conceptos básicos asociados a la calificación de la eficiencia energética de los edificios:

- *Calificación de la eficiencia energética de un edificio o parte del mismo:* Expresión de la eficiencia energética de un edificio o parte del mismo que se determina de acuerdo con la metodología de cálculo establecida en el documento reconocido correspondiente al Procedimiento Básico y se expresa con indicadores energéticos mediante la etiqueta de eficiencia energética.
- *Certificación de eficiencia energética del edificio terminado o de parte del mismo:* Proceso por el que se verifica la conformidad de la calificación de eficiencia energética obtenida por el proyecto de ejecución con la del edificio terminado o parte del mismo, y que conduce a la expedición del certificado de eficiencia energética del edificio terminado.
- *Certificación de eficiencia energética de edificio existente o de parte del mismo:* Proceso por el que se verifica la conformidad de la calificación de eficiencia energética obtenida con los datos calculados o medidos del edificio existente o de parte del mismo, y que conduce a la expedición del certificado de eficiencia energética del edificio existente.
- *Etiqueta de eficiencia energética:* Distintivo que señala el nivel de calificación de eficiencia energética obtenida por el edificio o unidad del edificio.

Con el objeto de promover el incremento de la eficiencia energética de los edificios, se promulga el Real Decreto 235/2013 de 5 de abril, por el que se aprueba el Procedimiento Básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios<sup>38</sup>, que fija la metodología a seguir para la calificación, certificación y registro de los valores de eficiencia energética de los edificios de proyecto, de nueva construcción y los ya existentes. La medida que garantiza su aplicación, es simple a la par que eficaz, ya que se obliga a presentar el certificado de la calificación de la eficiencia energética del edificio como parte de la documentación contractual en los procesos de venta y arrendamiento de inmuebles.

Este certificado de carácter obligatorio, proporciona a los compradores y usuarios la información necesaria en relación con las características energéticas de los edificios y sus sistemas térmicos, lo cual permite valorar y comparar sus prestaciones.

El objetivo de este procedimiento básico es doble:

- En primer lugar, establece las condiciones técnicas y administrativas para realizar las certificaciones de la eficiencia energética de los edificios y la metodología de cálculo de su calificación de eficiencia energética, considerando aquellos factores que más incidencia tienen en el consumo de energía de los edificios.
- En segundo lugar, se adopta un modelo único de etiqueta de eficiencia energética como distintivo común en todo el territorio nacional.

Su ámbito de aplicación es amplio y afecta a los siguientes tipos de inmuebles:

- Edificios de nueva construcción
- Edificios o parte de edificios existentes que se vendan o alquilen a un nuevo arrendatario, siempre que no se disponga de un certificado en vigor
- Edificios o parte de edificios en los que una autoridad pública ocupe una superficie útil total superior a 250 m<sup>2</sup> y que sean frecuentados habitualmente por el público.

Se crean los denominados “documentos reconocidos” para la certificación de eficiencia energética, que se definen como documentos técnicos, sin carácter reglamentario, que cuenten con el reconocimiento conjunto del Ministerio de Industria, Energía y Turismo y del Ministerio de Fomento para ser utilizados para obtener la calificación de la eficiencia energética de un edificio o parte del mismo<sup>38</sup>.

En el Ministerio de Industria, Energía y Turismo y adscrito a la Secretaría de Estado de Energía, se crea el Registro general de documentos reconocidos para la certificación de eficiencia energética, que tendrá carácter público e informativo y se habilita una página web para recopilar toda la información actualizada sobre los documentos reconocidos:

---

<sup>38</sup> Gobierno de España – Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital: Registro de documentos reconocidos para la certificación de la eficiencia energética en edificios.

The screenshot shows the official website of the Spanish Ministry of Energy, Tourism and Digital Agenda. The header includes the Spanish coat of arms and the text 'GOBIERNO DE ESPAÑA', 'MINISTERIO DE ENERGÍA, TURISMO Y AGENDA DIGITAL', and 'SECRETARÍA DE ESTADO DE ENERGÍA'. Navigation links for 'Inicio', 'Contactar', 'Mapa Web', and 'Versión móvil' are present. A search bar with the placeholder 'Introduzca texto' is also visible. The main navigation menu includes 'Inicio', 'El Ministerio', 'Energía', 'Sociedad de la Información y Agenda Digital', '(Industria y PYME)', and 'Turismo'. The breadcrumb trail reads: 'Estás en: Energía > Energía y desarrollo sostenible > Eficiencia Energética > Certificación de eficiencia energética de los edificios > Registro de documentos reconocidos'. The page title is 'Energía y desarrollo sostenible'. The main content area is titled 'Eficiencia Energética' and 'Certificación de eficiencia energética de los edificios: Registro de documentos reconocidos'. It includes a sub-section 'Procedimiento para la Certificación de Eficiencia Energética' and a link to a PDF document: 'Nota informativa modificación procedimiento certificación [PDF] [276 KB]'. Below this, it states: 'A continuación se relacionan los distintos procedimientos para la certificación de edificios en proyecto y terminados: Procedimiento General para la Certificación Energética de edificios en proyecto, terminados y existentes.'

Fig.31: Registro de documentos reconocidos para la certificación de la eficiencia energética de los edificios (Ministerio de energía, turismo y agenda digital) (<http://www.minetad.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/Paginas/documentosreconocidos.aspx>)

Los procedimientos para la calificación de eficiencia energética de un edificio, deben ser calculados utilizando documentos reconocidos, que deberán estar inscritos en el Registro General correspondiente.

El promotor o propietario del edificio o de parte del mismo, ya sea de nueva construcción o existente, será el responsable de encargar la realización de la certificación de eficiencia energética del edificio, o de su parte, en los casos que venga obligado por el Real Decreto y de conservar la correspondiente documentación.

La certificación de viviendas unifamiliares podrá basarse en la evaluación de otro edificio representativo de diseño y tamaño similares y con una eficiencia energética real similar, si el técnico competente que expide el certificado de eficiencia energética puede garantizar tal correspondencia.

El certificado de eficiencia energética del edificio debe presentarse, por el promotor, o propietario en su caso, al órgano competente de la Comunidad Autónoma en materia de certificación energética de edificios, para el registro de estas certificaciones en su ámbito territorial.

Los certificados de eficiencia energética deberán estar a disposición de las autoridades competentes en materia de evaluación de eficiencia energética que así lo exijan por inspección o cualquier otro requerimiento.

El certificado de eficiencia energética del edificio o de la parte del mismo contendrá, entre otros aspectos, la siguiente información:

- Identificación del edificio o de la parte del mismo que se certifica, incluyendo su referencia catastral.
- Indicación del procedimiento autorizado utilizado para obtener la calificación de eficiencia energética.
- Descripción de las características energéticas del edificio.
- Calificación de eficiencia energética del edificio demostrada mediante la etiqueta energética.
- Para los edificios existentes, documento de recomendaciones para la mejora de los niveles óptimos o rentables de la eficiencia energética de un edificio o de parte de este, a menos que no exista ningún

potencial razonable para una mejora de esa índole en comparación con los requisitos de eficiencia energética vigentes.

- Otro tipo de informaciones referentes a la inspección realizada y los medios de auscultación utilizados por el técnico certificador (que deberá estar en posesión de una titulación competente).

La certificación de eficiencia energética de un edificio de nueva construcción, constará de dos fases:

- Certificación de eficiencia energética del proyecto
- Certificación energética del edificio terminado

El certificado de eficiencia energética de un edificio existente o parte del mismo, será único y recopilará la información anteriormente descrita, en este tipo de certificados resulta especialmente interesante la simulación energética de la implantación de las mejoras propuestas por el técnico en función de las características del inmueble, ya que tiene el objeto de orientar al propietario sobre las medidas que puede adoptar para poder incrementar el nivel de eficiencia energética del edificio o de parte del mismo.

**CERTIFICADO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE EDIFICIOS**

**IDENTIFICACIÓN DEL EDIFICIO O DE LA PARTE QUE SE CERTIFICA:**

Nombre del edificio	
Dirección	Código Postal
Municipio	Comunidad Autónoma
Provincia	Año construcción
Zona climática	
Normativa vigente (construcción / rehabilitación)	
Referencias catastrales	

**Tipo de edificio o parte del edificio que se certifica:**

<input type="checkbox"/> Edificio de nueva construcción	<input type="checkbox"/> Edificio Existente
<input type="checkbox"/> Vivienda	<input type="checkbox"/> Tercero
<input type="checkbox"/> Unifamiliar	<input type="checkbox"/> Edificio completo
<input type="checkbox"/> Bloque	<input type="checkbox"/> Local
<input type="checkbox"/> Bloque completo	
<input type="checkbox"/> Vivienda individual	

**DATOS DEL TÉCNICO CERTIFICADOR:**

Nombre y Apellidos	NIF/NIE
Razón social	NIF
Domicilio	
Municipio	Código Postal
Provincia	Comunidad Autónoma
E-mail	Teléfono
Titulación habilitante según normativa vigente	
Procedimiento reconocido de calificación energética utilizado y versión:	

**CALIFICACIÓN ENERGÉTICA OBTENIDA:**

CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE (kWh/m <sup>2</sup> ·año)	EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año)
<b>236,80 E</b>	<b>28,20 E</b>

El técnico abao firmante declara responsablemente, que ha realizado la certificación energética del edificio o de la parte que se certifica de acuerdo con el procedimiento establecido por la normativa vigente y que son ciertos los datos que figuran en el presente documento, y sus anexos.

Fecha: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Firma de técnico certificador:

Anexo I. Descripción de las características energéticas del edificio.  
Anexo II. Calificación energética del edificio.  
Anexo III. Recomendaciones para la mejora de la eficiencia energética.  
Anexo IV. Pruebas, comprobaciones e inspecciones realizadas por el técnico certificador.

Registro del Órgano Territorial Competente: \_\_\_\_\_

Incluye (de generación del documento)  del Contorno Página 3 de 3

Fig.32: Hoja resumen del certificado de eficiencia energética de un inmueble (formato oficial R.D. 235/2013)

El órgano competente de la Comunidad Autónoma en materia de certificación energética de edificios establecerá y aplicará un sistema de control independiente de los certificados de eficiencia energética, así como un registro oficial.

- El certificado de eficiencia energética tendrá una validez máxima de diez años.
- El órgano competente de la Comunidad Autónoma establecerá las condiciones específicas para proceder a su renovación o actualización.
- El propietario del edificio será responsable de la renovación o actualización del certificado de eficiencia energética y podrá proceder voluntariamente a su actualización, cuando considere que existen variaciones que puedan modificar dicho certificado.

La obtención del certificado de eficiencia energética otorgará el derecho de utilización, durante el periodo de validez del mismo, de la etiqueta de eficiencia energética. La etiqueta se incluirá en toda oferta, promoción y publicidad dirigida a la venta o arrendamiento del edificio o unidad del edificio.



Fig.33: Ejemplo de Etiqueta Energética para vivienda unifamiliar situada en Santiago de Compostela (formato oficial R.D. 235/2013)

En el territorio español se indica una escala energética que va desde la letra A hasta la letra G, siendo este último el de menor eficiencia. En ella se incluyen los siguientes indicadores principales:

- Consumo de energía primaria no renovable en kWh/m<sup>2</sup>año.
- Emisiones de CO<sub>2</sub> expresado en KgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> año.

Calificación de eficiencia energética del edificio	Índices de calificación de eficiencia energética	Calificación de eficiencia energética del edificio	Índice de calificación de eficiencia energética
A	C1 < 0,15	A	C < 0,40
B	0,15 ≤ C1 < 0,50	B	0,40 ≤ C < 0,65
C	0,50 ≤ C1 < 1,00	C	0,65 ≤ C < 1,00
D	1,00 ≤ C1 < 1,75	D	1,00 ≤ C < 1,3
E	C1 > 1,75 y C2 < 1,00	E	1,3 ≤ C < 1,6
F	C1 > 1,75 y 1,00 ≤ C2 < 1,5	F	1,6 ≤ C < 2
G	C1 > 1,75 y 1,50 ≤ C2	G	2 ≤ C

Tabla 47: Tabla I y Tabla II con los valores de calificación energética de edificios destinados a vivienda y otros usos respectivamente obtenidas del RD 45/2007, de 19 de enero, por el que se aprueba el Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción

Estos indicadores principales incluyen el impacto de los servicios de calefacción, refrigeración, producción de agua caliente sanitaria y, en usos distintos al residencial privado (vivienda), de iluminación, así como la reducción de emisiones o consumo de energía primaria no renovable derivada del uso de fuentes de energía renovables.

También se evalúan varios **indicadores complementarios** de eficiencia energética que son:

- La demanda energética anual de calefacción;
- La demanda energética anual de refrigeración;
- El consumo anual de energía primaria no renovable desagregada por servicios;
- Las emisiones anuales de CO<sup>2</sup> desagregadas por servicios;
- Las emisiones anuales de CO<sup>2</sup> desagregadas por consumo eléctrico y por otros combustibles.

Los servicios considerados en los indicadores complementarios son los de calefacción, refrigeración, producción de agua caliente sanitaria y, en edificios de uso distinto al residencial privado (vivienda), también el de iluminación para uso terciario. El procedimiento de cálculo de la demanda energética, el consumo energético y otros indicadores de eficiencia energética del edificio se ajustará a lo establecido en el Documento Reconocido de Condiciones técnicas de los procedimientos para la evaluación de la eficiencia energética de los edificios

Es obligatorio exhibir la etiqueta de eficiencia energética, en lugar destacado y bien visible, en:

- Edificios o unidades de edificios de titularidad privada que sean frecuentados habitualmente por el público, con una superficie útil total superior a 500 m<sup>2</sup>, cuando les sea exigible su obtención.
- Edificios o partes de los mismos ocupados por las autoridades públicas y que sean frecuentados habitualmente por el público con una superficie útil total superior a 250 m<sup>2</sup>, según calendario establecido en la Disposición Transitoria Segunda del Real Decreto.
- Cuando el edificio o local se venda o se alquile antes de su construcción, debe de facilitarse, por parte del vendedor o el arrendador, la calificación energética del proyecto, expidiéndose el certificado del edificio construido una vez terminado el proyecto.
- Cuando se efectúe una compraventa, bien de la totalidad o de parte de un edificio existente, deberá ponerse a disposición del adquirente el certificado de eficiencia energética.

El método de cálculo a emplear se basa en la aplicación del sistema denominado «auto-referente», mediante el cual el edificio a certificar se compara con otro denominado de referencia.

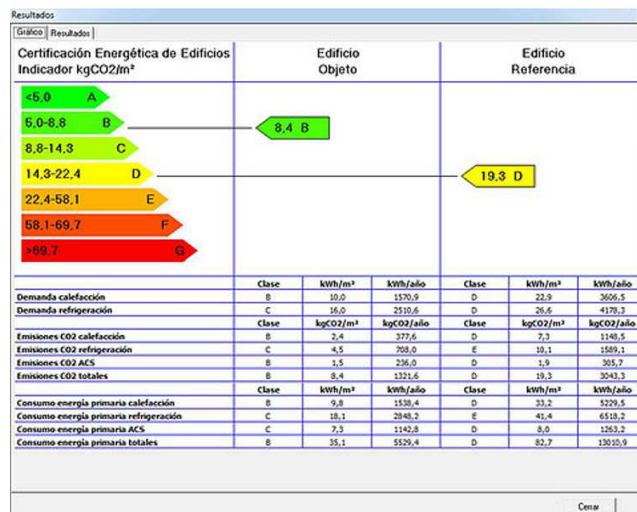


Fig.34: Ejemplo de calificación de eficiencia energética obtenida del programa Herramienta Unificada Lider-Calener

Para ello, se tienen que cumplir unas determinadas condiciones normativas y se analiza si se alcanza la misma o superior eficiencia energética; la cual se determina con el cálculo el consumo de energía que se necesita para satisfacer anualmente la demanda de energía del edificio en unas condiciones normales de funcionamiento y ocupación.

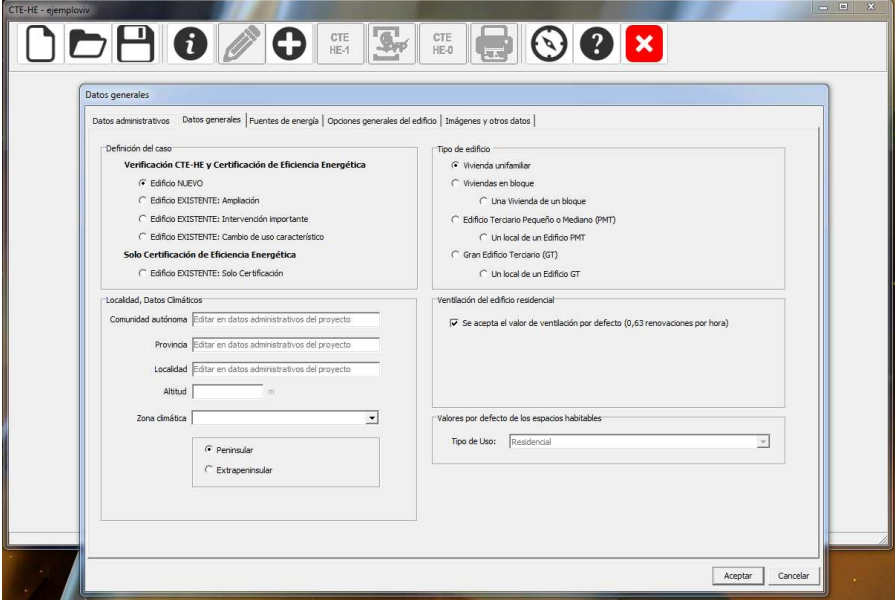
Aunque los fundamentos en los que se basan los cálculos para determinar el nivel de eficiencia energética de un edificio son únicos, desde la puesta en marcha del proceso de certificación energética, se han utilizado dos métodos de cálculo:

- Opción general: que se utiliza generalmente para edificios en fase de proyecto o terminados, con soluciones constructivas no tradicionales y cuya complejidad implica la evaluación de características específicas de los sistemas energéticos simulando unas condiciones de uso y funcionamiento especiales.
- Opción simplificada: se utiliza básicamente para edificios existentes, con soluciones constructivas tradicionales, en los cuales el porcentaje de huecos en fachada no supera el 60% y de lucernarios en cubierta es inferior al 5% y con sistemas energéticos cuyos rendimientos y operatividad son habituales (por uso, zona climática, características de la envolvente térmica y sistemas térmicos). Es la que utilizará para el análisis de los datos obtenidos en la presente investigación.

Dependiendo del tipo de vivienda o edificio a certificar, se pueden utilizar distintas herramientas informáticas de calificación de eficiencia energética. Todos ellos son de uso libre y gratuito, siendo la mayoría de ellas promovidas por el Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital a través del IDAE y por Ministerio de Fomento.

**Procedimiento General para la Certificación Energética de edificios en proyecto, terminados y existentes.**

El Programa informático **Herramienta Unificada Lider-Calener** es una herramienta informática promovida por el Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital, a través del IDAE, y por el Ministerio de Fomento, que permite obtener la certificación de eficiencia energética de un edificio, tanto en su fase de proyecto como del edificio terminado. El programa consta de dos herramientas informáticas para una utilización más fácil por el usuario.



### Procedimientos Simplificados para la Certificación Energética de edificios existentes.

Los Programas informáticos **CE3** y **CE3X**, son herramientas informáticas promovidas por el Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital, a través del IDAE, y por el Ministerio de Fomento, que permite obtener la certificación de eficiencia energética de un edificio existente.

The screenshot shows the CE3X software interface with the following data entered:

Localización e identificación del edificio			
Nombre del edificio	Corubión 3		
Dirección	Corubión 3, 2ª Izqda		
Provincia/Ciudad autónoma	A Coruña	Localidad	A Coruña
Código Postal	15010		
Referencia Catastral	7213304NU4071S0080XJ		

Datos del cliente			
Nombre o razón social	Juan Carlos Álvarez Díaz		
Dirección	Avda. Conchiñas 13, 5º B		
Provincia/Ciudad autónoma	A Coruña	Localidad	A Coruña
Código Postal	15010		
Teléfono	98 1144250	E-mail	jcad201@hotmail.com

Datos del técnico certificador			
Nombre y Apellidos	José Antonio Álvarez Díaz	NIF	32757940Y
Razón social	Gestón técnica de proyectos e inversiones S.L.	CIF	B15852619
Dirección	Avda. Conchiñas 8 4º A		
Provincia/Ciudad autónoma	A Coruña	Localidad	A Coruña
Código Postal	15010		
Teléfono	98 1263291	E-mail	jaad2000@hotmail.com
Titulación habilitante según normativa vigente	Arquitecto Técnico / Ingeniero de Edificación		

### Procedimientos Simplificados para la Calificación de Eficiencia Energética de edificios de viviendas.

El Programa informático **CERMA**, es una herramienta informática que ha sido reconocida por el Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital y por el Ministerio de Fomento, y que permite obtener, de forma simplificada, la calificación de eficiencia energética de edificios de viviendas.

The screenshot shows the CERMA software interface with the following data entered:

Edificio (campos obligatorios)				
Nombre edificio:				
Ref. catastral/s:				
Año construcción:	Legislación aplicable			
Dirección:				
Provincia:	Valencia/Valencia	Municipio:	Valencia	
Comunidad Autónoma:	Comunidad Valenciana			
a.s.n.m.:	23	latitud(º):	39,47	
Zona climática:	Temperatura (HE1)	B3	Radiación (HE4)	IV

Certificador (campos obligatorios)				
Nombre apellidos			NIF:	
Razón social:			CIF:	
Domicilio:				
Provincia:	Valencia/Valencia	Municipio:	Valencia	
Comunidad Autónoma:	Comunidad Valenciana			
e-mail:			Titulación habilitante:	Arquitecto
Comunidad Autónoma:	Comunidad Valenciana			
Telefono:				

(campos NO obligatorios)				
Nº de expediente:			Tel.fijo:	
Nº de expediente ICE + Fecha inspección (ICE)				
NºColegiado:	Colegio profesional:			

Tabla 48: Herramientas informáticas asociadas a documentos reconocidos para la certificación de la eficiencia energética en edificios (Ministerio de Industria, Turismo y Agenda Digital).



### 2.3.2.- Calificación de la eficiencia energética de los edificios y su certificación en Europa

Tras la descripción de la situación en la que se encuentra el proceso de certificación de la eficiencia energética en España, que se caracteriza por la tardía implementación de esta sistemática, resulta inevitable realizar una breve descripción de la situación en la que se encuentra el proceso de certificación en algunos países de nuestro entorno próximo, cuyo nivel de desarrollo socio-económico es similar al español (Alemania, Francia y Reino Unido) y una breve exposición de la situación en Estados Unidos.

#### 2.3.2.1.- Normativa y procedimiento para la certificación de la eficiencia energética en Alemania

La normativa de eficiencia energética alemana, data del año 2002, la norma de referencia para edificación eficiente es la Energy Conservation Ordinance (Energieeinsparverordnung) EnEV 2002<sup>39</sup>. Esta ordenanza tiene como finalidad contribuir a garantizar las políticas energéticas y fomentar el ahorro de energía y que posteriormente fue actualizada con la EnEV 2004<sup>40</sup>. Con el fin de adecuarse a la Directiva 2002/91/CE<sup>1</sup>, se realiza una nueva modificación que da lugar a la aparición de la EnEV 2007<sup>41</sup>. La mayor parte de la normativa no ha sufrido importantes modificaciones, centrándose principalmente en los siguientes aspectos:

- Requisitos en edificios no residenciales.
- Elaboración de un método para la evaluación del consumo energético en edificios no residenciales.
- Uso de sistemas de energía alternativa.
- Inspección de las instalaciones de aire acondicionado.
- Método de elaboración de certificados de eficiencia energética en los edificios existentes.

A raíz del cambio normativo que se establece en el país, con un objetivo de alcanzar una reducción del 30% del consumo energético de calefacción y ACS, se elabora la EnEV 2009<sup>42</sup>. Los puntos más destacados son los siguientes:

- Limitar la demanda de energía primaria máxima en un 30% en los edificios de nueva construcción y en los existentes que se reformen.
- Incremento de un 15% en el nivel de aislamiento térmico de los edificios de nueva construcción.
- Obligación de que en los áticos se instale aislamiento térmico antes de finalizar el año 2011.

En estos momentos está en vigencia la EnEV 2014<sup>43</sup> las exigencias expuestas por la Directiva 2010/31/UE<sup>2</sup>. Las principales modificaciones al respecto se detallan a continuación:

- Sustitución de calderas con más de 30 años de antigüedad.
- Se establecen controles aleatorios de los certificados de eficiencia energética e informes sobre la inspección de los sistemas de aire acondicionado.
- Modificación de la escala de eficiencia energética por letras de A – G.
- Obligación de presentar la etiqueta energética en los anuncios de venta o alquiler de viviendas.

<sup>39</sup> Agencia Alemana de Energía: Energieeinsparverordnung - EnEV 2002. (Ordenanza de ahorro de energía EnEV 2002).

<sup>40</sup> Agencia Alemana de Energía: Energieeinsparverordnung - EnEV 2004. (Ordenanza de ahorro de energía EnEV 2004).

<sup>41</sup> Agencia Alemana de Energía: Energieeinsparverordnung - EnEV 2007. (Ordenanza de ahorro de energía EnEV 2007).

<sup>42</sup> Agencia Alemana de Energía: Energieeinsparverordnung - EnEV 2009. (Ordenanza de ahorro de energía EnEV 2009).

<sup>43</sup> Agencia Alemana de Energía: Energieeinsparverordnung - EnEV 2014. (Ordenanza de ahorro de energía EnEV 2014).

La EnEV 2014<sup>15</sup> establece una serie de exigencias para la transmitancia térmica máxima para las nuevas edificaciones y que varían si se trata de edificios residenciales o de otros usos.

En el caso de la demanda de energía primaria, existen dos métodos para determinarla:

- Método simplificado (método de balance periódico): si el porcentaje de ventanas respecto a la envolvente es menor al 30%.
- Método de Balance mensual: si el porcentaje de ventanas respecto a la envolvente es mayor al 30%. El consumo máximo permitido es 120 kWh/m<sup>2</sup>año.

Los valores máximos de transmitancia térmica de los edificios no pueden superar los siguientes valores (Tab. 2):

ELEMENTO	TRANSMITANCIA TÉRMICA MÁXIMA (W/m <sup>2</sup> K)		
	Edificios residenciales	Edificios no residenciales	
		Temperatura interior ≥ 19°C	Temperatura interior 12°C < 19°C
Muros exteriores	0,28	0,28	0,35
Muros en contacto con el terreno	0,35	0,35	0,35
Muros cortina	-	1,40	1,90
Techos	0,20	0,20	0,35
Lucernarios	-	2,40	2,40
Ventanas	1,30	1,30	1,90
Tragaluces	1,40	1,40	1,90
Claraboyas	2,70	2,70	2,70
Puertas exteriores	1,80	1,80	2,90

Tabla 49: Transmitancia térmica máxima U (W/m<sup>2</sup>K) para edificios residenciales y de otros usos en base a los datos de la norma EnEV 2014

En el caso de **edificios existentes** en los que se renueven partes de sus componentes, la normativa alemana exige unas transmitancias térmicas máximas dependiendo de las actuaciones a realizar:

ELEMENTO	TRANSMITANCIA TÉRMICA MÁXIMA (W/m <sup>2</sup> K)	
	Edificios residenciales y edificios no residenciales con temperaturas interiores ≥ 19°C	Edificios no residenciales Temperatura interior 12°C < 19°C
Muros exteriores	0,24	0,35
Muros en contacto con el exterior	0,50	0,35
Ventanas	1,30	1,90
Tragaluces	1,40	1,90
Acristalamientos	1,10	-
Muros cortina	1,50	1,90
Techos de vidrio	2,00	2,70
Techos al exterior	0,24	0,35

Tabla 50: Transmitancia térmicas máximas U (W/m<sup>2</sup>K) para edificios residenciales y de otros usos que se rehabiliten en base a los datos de la norma EnEV 2014

#### Tipos de certificados energéticos y su contenido

En Alemania el certificado energético se denomina “**Energieausweis**” (Fig. 13), pero al contrario de lo que ocurre en otras zonas de Europa, existen dos tipos de certificados:

- Certificado de Demanda Energética.
- Certificado de Consumo Energético.

La principal diferencia entre ambos es que el primero de ellos se utiliza en viviendas de nueva construcción y el de consumo para las viviendas existentes (en este caso también se puede utilizar el de demanda, salvo para edificios construidos antes del año 1977).

El certificado de demanda se basa en cálculos teóricos en base a la tipología constructiva y las instalaciones, mientras que el de consumo estudia los costes reales de energía que se producen en la vivienda.



Fig.35: Ejemplo de certificado de eficiencia energética alemán (se utiliza la escala energética HERS (RESNET), al igual que en los EEUU)

El contenido del certificado de eficiencia energética es el siguiente:

- Número de registro.
- Datos del edificio (localización, dirección, año de construcción, etc.).
- Notas sobre la información de la calidad energética del edificio.
- Notas sobre el uso del certificado de eficiencia energética.
- Cálculo de la demanda/consumo de energía del edificio.
- Recomendaciones del evaluador energético.
- Explicaciones.

El certificado de eficiencia energética es obligatorio en edificios de nueva construcción y en los existentes que se pongan a la venta o en alquiler. En el resto de edificios existentes es válido el certificado de consumo de energía.

En el caso de anuncios publicitarios de viviendas en venta o en alquiler, tiene que figurar claramente la siguiente información:

- Demanda de energía o consumo de energía del edificio.
- Demanda de Energía necesaria para calefactar el edificio.
- Año de emisión de certificado de eficiencia energética en el caso de edificio de viviendas.

- En el caso de edificios de titularidad pública con una superficie de más de 250 m<sup>2</sup>, también es necesario el certificado de eficiencia energética y situado en un lugar visible.
- Existen otros supuestos en los que el certificado de eficiencia energética podría ser necesario dependiendo del año de construcción de los edificios y de la normativa en la que fue elaborado.
- Al igual que ocurre en el resto de países a nivel europeo, la validez del certificado de eficiencia energética es de 10 años.

#### Metodología de cálculo y niveles de eficiencia energética

La metodología de cálculo en el caso de certificados de consumo, ha incorporado una serie de medidas a mayores en la última normativa. En el caso de edificios de viviendas con sistema de calefacción individual, se debe aumentar el consumo en 20 kW.h/m<sup>2</sup> de superficie. En el caso de refrigeración, este aumento será de 6 kW.h/m<sup>2</sup>. Para determinar el consumo de energía se utilizan los siguientes datos:

- Facturas con los gastos de calefacción.
- Declaración de los proveedores de energía o mediciones de consumo realizados.
- Combinación de ambas opciones.

El periodo solicitado para llevar a cabo estos cálculos es relativo a los últimos 36 meses.

La metodología a seguir es bastante similares a lo que a España se refiere ya que se marcan una serie de valores máximos que no se pueden superar (consumo de energía, transmitancia térmica, calefacción, etc.). Se basa en comparar la demanda anual estimada de energía primaria de una vivienda con respecto a una línea base de referencia, establecida en función del coeficiente de forma (área de envolvente/volumen de la vivienda).

En el caso de la demanda de energía primaria, existen dos métodos para determinarla:

- Método simplificado (método de balance periódico): si el porcentaje de ventanas respecto a la envolvente es menor al 30%.
- Método de Balance mensual: si el porcentaje de ventanas respecto a la envolvente es mayor al 30%. El consumo máximo permitido es 120 kW.h/m<sup>2</sup>.

Para llevar a cabo toda esta metodología, existen herramientas comerciales para calcular la certificación energética de los edificios residenciales de acuerdo a la EnEV 2014<sup>15</sup>.

Todos los certificados llevan un código de registro que los hace únicos y que tiene que figurar perfectamente visible para su correcta identificación. El certificador inicia un trámite electrónico para la asignación de ese número en que se tienen que incluir el nombre, la dirección del solicitante, el código postal del edificio e indicar la fecha de emisión del certificado de eficiencia energética.

Así mismo, se incluye la naturaleza del certificado energético (demanda de energía o certificado de consumo de energía) y el tipo de edificio (residencial o no residencial) y si es de nueva construcción o edificio existente.

En lo que hace referencia a la etiqueta energética, con la publicación de la EnEV 2014<sup>14</sup> se ha introducido la exigencia marcada por la Directiva Europea en la que la escala energética va desde la letra A<sup>+</sup> hasta la letra H, siendo este último el de menor eficiencia (Fig. 17). En ella se incluyen los siguientes datos (Fig. 18):

- La demanda final de energía del edificio en kWh/m<sup>2</sup>año.
- La demanda de energía primaria del edificio en kWh/m<sup>2</sup>año.

Energieeffizienz-klasse	Endenergie [kWh/(m <sup>2</sup> ·a)]
A+	< 30
A	< 50
B	< 75
C	< 100
D	< 130
E	< 160
F	< 200
G	< 250
H	> 250

Tabla 51: Tabla del anexo 10 de la EnEV 2014 con los valores de calificación energética de edificios destinados a vivienda.

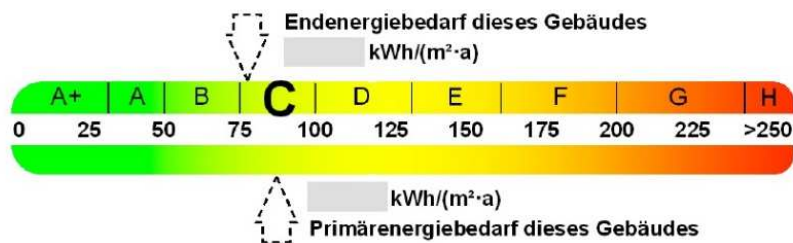


Fig. : Ejemplo de etiqueta energética para edificios residenciales (EnEV 2014<sup>14</sup>)

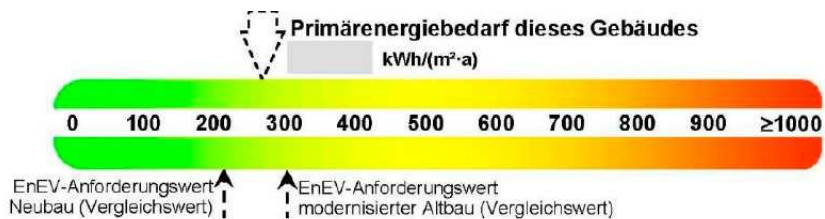


Fig.36: Ejemplo de etiqueta energética alemana para edificios no residenciales (EnEV 2014<sup>14</sup>)

### 2.3.2.2.- Normativa y procedimiento para la certificación de la eficiencia energética en Francia

Los primeros reglamentos se remontan al año 1974 con el RT 1974<sup>44</sup>. Dicho reglamento surgió debido a la primera crisis del petróleo y en la que se marcaban una serie de exigencia a los edificios de nueva construcción, principalmente en lo referido a la instalación de aislamiento térmico y a la regulación de los sistemas de calefacción.

Las segundas regulaciones térmicas se actualizaron con las RT 1988<sup>45</sup>, en las que las medidas se empiezan a aplicar tanto a los nuevos edificios residenciales como a los no residenciales.

Con la aparición de la RT 2000<sup>46</sup>, se empezó a tomar una mayor conciencia y se dieron pasos importantes en cuanto a la reducción del consumo de energía en los edificios de nueva construcción y edificios del sector terciario (reducción de 20% y del 40% respectivamente en comparación con el RT 1988<sup>18</sup>).

El RT 2005<sup>47</sup> sustituyó al RT 2000<sup>19</sup> en el que la mejora del rendimiento térmico fue del 15%, incluyendo medidas que iban enfocadas a la renovación de los edificios existentes.

Las directrices aprobadas al finalizar el foro “Grenelle” del medio ambiente en el otoño de 2007, ayudaron a cambiar la mentalidad de la normativa de eficiencia energética en Francia.

La implementación de los comités operativos permitió definir las formas, medios y condiciones necesarios para la entrada en vigor de las conclusiones de la ley “Grenelle de l’Environnement”, incluyendo la regulación térmica que vino a mejor a partir de 2012, todos los tipos de edificios que están sujetos a la misma.

Estas directrices han supuesto las bases para el desarrollo de todas las medidas necesarias para la ejecución de la política energética de Francia, y en particular los principios de la RT 2012<sup>48</sup>.

Los objetivos concretos marcados en la Ley Grenelle fueron los siguientes:

- Construcción de edificios de bajo consumo para el 2012 y edificios de energía positiva para el 2020.
- Auditorías para los edificios de titularidad pública con el fin de reducir el consumo de energía y las emisiones de CO<sub>2</sub> entre un 40 y 50%.
- Políticas para la rehabilitación de edificios existentes para alcanzar reducción de consumo de energía en torno al 40% para el año 2020.

El RT 2012<sup>21</sup> establece una gran modificación con respecto al consumo de energía primario, en el que se establece un valor máximo de **50 kW.h/m<sup>2</sup>año** para las edificaciones de nueva construcción.

---

<sup>44</sup> Ministère de l’Environnement, de la Energie et de la Mer: Réglementation thermique 1974 (Reglamento Térmico de los edificios 1974).

<sup>45</sup> Ministère de l’Environnement, de la Energie et de la Mer: Réglementation thermique 1988 (Reglamento Térmico de los edificios 1988).

<sup>46</sup> Ministère de l’Environnement, de la Energie et de la Mer: Réglementation thermique 2000 (Reglamento Térmico de los edificios 2000).

<sup>47</sup> Ministère de l’Environnement, de la Energie et de la Mer: Réglementation thermique 2005 (Reglamento Térmico de los edificios 2005).

<sup>48</sup> Ministère de l’Environnement, de la Energie et de la Mer: Réglementation thermique 2012 (Reglamento Térmico de los edificios 2012).

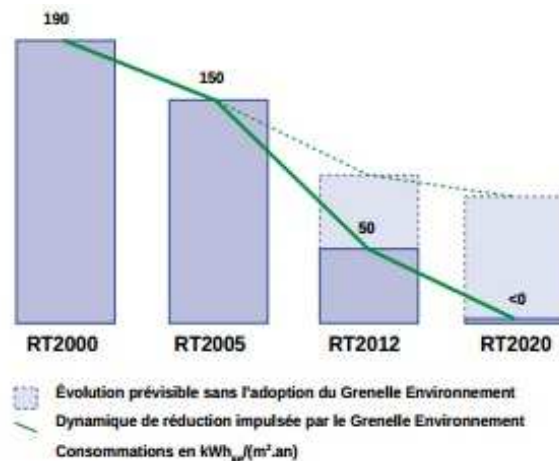


Fig. 37: Gráfico de la evolución prevista para el consumo energético. Fuente: Guía explicativa de la RT 2012.

La reglamentación incluye tres exigencias relativas a las prestaciones de los edificios:

- **La eficiencia energética de los edificios:** el requisito mínimo de la eficiencia energética se define por el coeficiente “Bio<sub>max</sub>” (Balance Bioclimático del edificio). Este requisito impone una limitación simultánea de la energía necesaria para los componentes relacionados con el diseño de los edificios (calefacción, refrigeración e iluminación), imponiendo así la optimización de sistemas de energía implementado de forma independiente.
- **El consumo de energía del edificio:** se define por el coeficiente “Cep<sub>max</sub>” (Consumo de Energía Primaria) y analizar el consumo de calefacción, refrigeración, iluminación, agua caliente sanitaria y equipos auxiliares (bombas y ventiladores).
- **Comodidad de verano en edificios sin aire acondicionado:** al igual que el RT 2005<sup>20</sup>, el RT 2012<sup>21</sup> define las categorías de edificios en los que es posible asegurar un buen nivel de confort en verano sin tener que recurrir a un sistema de refrigeración activa. Para estos edificios, las regulaciones requieren que la temperatura más cálida alcanzada en el local, no supera los umbrales de una secuencia de los 5 días más calurosos del verano. Este parámetro es conocido como “Tic” (Temperatura Interior Convencional).

#### Características y contenido del certificado de eficiencia energética del edificio:

El certificado de eficiencia energética en Francia se denomina DPE<sup>49</sup>. Este certificado sirve para obtener información sobre el rendimiento energético de una vivienda o edificio, la evaluación de su consumo de energía y su impacto en términos de emisiones de gases de efecto invernadero. Con ello se puede obtener la cantidad de energía consumida de forma real o estimada y una clasificación basada en valores de referencia que permiten la comparación entre edificaciones de similares características, acompañado todo ello de recomendaciones para una mejora en materia de eficiencia energética.

<sup>49</sup> Ministère de l'Environnement, de la Energie et de la Mer: Diagnostic de Performance Énergétique (DPE).

Diagnostic de performance énergétique			
N° :		Date :	
Variable jusqu'au :		Diagnostiqueur :	
Type de bâtiment :		Signature :	
Année de construction :			
Surface habitable :			
Adresse :			
Propriétaire :		Propriét. des installations communes (s'il y a lieu) :	
Nom :		Nom :	
Adresse :		Adresse :	
Consommations annuelles par énergie			
obtenues par la méthode ..... version ..... prix moyens des énergies indexés au			
	Consommations en énergies finales	Consommations en énergie primaire	Frais annuels d'énergie
	détail par énergie et par usage en kWh <sub>ep</sub>	détail par usage en kWh <sub>ep</sub>	
Chauffage	kWh <sub>ep</sub>	kWh <sub>ep</sub>	C TTC
Eau chaude sanitaire	kWh <sub>ep</sub>	kWh <sub>ep</sub>	C TTC
Refroidissement	kWh <sub>ep</sub>	kWh <sub>ep</sub>	C TTC
CONSUMMATIONS D'ÉNERGIE POUR LES USAGES RECENSÉS	kWh <sub>ep</sub>	kWh <sub>ep</sub>	C TTC
Consommations énergétiques (en énergie primaire) pour le chauffage, la production d'eau chaude sanitaire et le refroidissement		Émissions de gaz à effet de serre (GES) pour le chauffage, la production d'eau chaude sanitaire et le refroidissement	
Consommation conventionnelle : kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup> .an		Estimation des émissions : kg CO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> .an	

Fig. 38: Ejemplo de certificado de eficiencia energética DPE en Francia (RT 2012)

El contenido del DPE<sup>50</sup> es el siguiente:

- Características del edificio o de la parte de construcción certificada, además de una descripción de los equipos instalados (calefacción, ACS, refrigeración, ventilación, etc.).
- Para cada categoría de equipo instalado, se indica el importe anual de energía consumida o estimada y una evaluación de los gastos anuales como resultado de este consumo.
- La evaluación de la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero relacionadas con la energía anual consumida o estimada.
- La evaluación de la cantidad de energía procedente de fuentes de energía renovables utilizadas.
- La clasificación del edificio o parte del edificio certificado, con la escala de referencia para la etiqueta energética y climática.
- Recomendaciones para el control de consumo de energía, en particular la labor que se podría hacer para mejorar el rendimiento energético del edificio, acompañado de una evaluación de su coste y su efectividad. Como ocurre en el resto de los países, las recomendaciones no son obligatorias, sino que el objetivo es fomentar un mejor rendimiento energético del edificio, no forzar a la ejecución de obras.

El DPE<sup>50</sup> es válido por 10 años, siendo obligatoria desde el 1 noviembre de 2007 para todas las viviendas residenciales, excepto:

- Construcciones provisionales con un plazo previsto de utilización menor de dos años.
- Edificaciones independientes con una superficie construida de menos de 50 m<sup>2</sup>.
- Edificios agrícolas, artesanales o industriales no utilizados como zona residencial.



- Edificios de culto, monumentos históricos o los recogidos bajo el Código de Patrimonio de Francia.
- Edificios sin calefacción y viviendas destinadas a utilizarse menos de cuatro meses al año.
- Así mismo se debe adjuntar el DPE<sup>50</sup> en el contrato de venta, o en su defecto, en la escritura de compraventa si ya se realizó la venta, y en el contrato de alquiler. De igual forma, cuando el vendedor o arrendador realiza un anuncio inmobiliario para la venta o alquiler de la vivienda debe, desde el 1 de enero del 2011.
- Mencionar la escala de eficiencia energética (A – G) y mantener las etiquetas cuando el anuncio aparece en internet. La etiqueta debe ser legible, en color y ocupar al menos un 5% de la superficie del anuncio, o al menos respetar las proporciones de 180 píxeles por 180 píxeles.
- Cuando el anuncio es impreso, hay que mencionar la escala de eficiencia energética (A – G) precedido por las palabras “CLASE ENERGÉTICA”.

#### Método de cálculo y herramientas informáticas para la certificación de la eficiencia energética

Desde el 1 de junio de 2013, los certificadores deben usar una herramienta aprobada por el Ministerio de Energía para poder llevar a cabo el DPE<sup>50</sup>. Para ello, se ha facilitado un motor de cálculo en el que se basan los programas comerciales para su elaboración, siendo necesario pasar por un proceso de validación. En listado de programas comerciales validados es publicado regularmente<sup>50</sup>.

De igual forma, todos los DPE<sup>50</sup> realizados a partir del 1 de junio del 2013, son enviados a una base de datos gestionada por ADEME<sup>51</sup>. El contenido de la certificación no es accesible, aunque aparece información sobre el certificador, ubicación, etc. No obstante, todos los emitidos con fecha anterior, no está registrados en la aplicación. Los gobiernos regionales son los encargados de velar por el cumplimiento y seguimiento de la validez de los certificados emitidos.

De acuerdo a la legislación europea, se plantean una serie de sanciones en el caso de que no exista el DPE<sup>50</sup>:

- Vendedor: en el ámbito de la responsabilidad civil, la ausencia de DPE<sup>50</sup> puede ser considerado un fraude. La sanción aplicable es la anulación del acto de la venta o la reducción en el precio de venta. En el derecho penal, si el anuncio incluye información falsa sobre el DPE o que puedan inducir a error al comprador, el departamento de fraude de la Dirección General de Competencia, Consumo y la represión Fraude (DGCCRF) podrá imponer una multa de 37.500 € y una pena de 2 años de prisión.
- Arrendador: en la normativa no se especifica ninguna sanción concreta contra el arrendador que no respete su obligación de informar al posible inquilino. Sin embargo, puede dar lugar a sanciones de derecho común. En el lado civil, la ausencia de DPE<sup>50</sup> puede considerarse fraude. La sanción aplicable es la anulación del contrato de arrendamiento o la reducción de la renta.

---

<sup>50</sup> Registro de aplicaciones informáticas validadas para el cálculo del DPE: <http://www.rt-batiment.fr/batiments-existants/dpe/evaluation-des-logiciels.html>

<sup>51</sup> ADEME: Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (Agencia de Medio Ambiente y Gestión de la Energía). Recuperado de <http://www.ademe.fr>

- En el derecho penal, si el anuncio incluye información falsa sobre el DPE o que puedan inducir a error al comprador, el departamento de fraude de la Dirección General de Competencia, Consumo y la represión Fraude (DGCCRF) podrá imponer una multa de 37.500 € y una pena de 2 años de prisión.
- Certificador: al certificador que no cumpla con su obligación de proporcionar el DPE<sup>50</sup> en la ADEME<sup>25</sup>, se le podrá imponer una multa de 1500 €.

El DPE genera dos tipos de etiquetas energéticas que nos muestran diferentes aspectos:

- **Etiqueta energética** para determinar el consumo de energía primaria en una escala de A (bajo consumo, menos de 50 kW.h/m<sup>2</sup>año) a G (alto consumo, más de 450 kW.h/m<sup>2</sup>año).
- **Etiqueta climática** que indica el impacto anual de esta energía en las emisiones de gases de efecto invernadero de CO<sub>2</sub> en una escala de A (baja emisión, a menos de 5 kg de carbono equivalente/m<sup>2</sup>) a G etiqueta (emisión importante, más de 80 kg de carbono equivalente/m<sup>2</sup>).

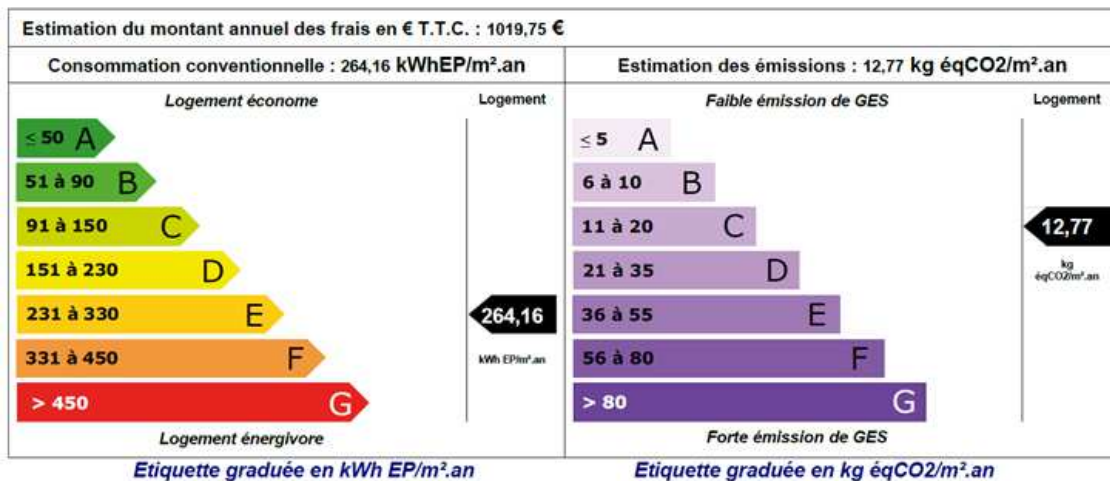


Fig.39: Escala francesa de niveles de eficiencia para etiquetas energética y climática (RT 2012)

### 2.3.2.3.- Normativa y procedimiento para la certificación de la eficiencia energética en Reino Unido

Los Reglamentos de Construcción (Building Regulations)<sup>52</sup>, constituyen la base normativa del sector de la edificación en el Reino Unido, contienen las reglas para el trabajo de construcción en edificios nuevos y reformados, para hacerlos seguros y accesibles, limitar la generación de residuos y evitar su impacto ambiental. Estos Reglamentos de Construcción (Building Regulations) que se aplican en Inglaterra y Gales desde la entrada en vigor de la Ley de Construcción en 1984, mientras que los que se aplican en Escocia, se establecen a partir de la entrada en vigor de la Ley de Edificación escocesa de 2003.

Estos Reglamentos se han actualizado periódicamente, reescrito o consolidado; siendo la versión más reciente la que se corresponde con el texto aprobado en el año 2010, en el que se realizó una profunda revisión de todas sus partes. Sin embargo, dado que las prácticas constructivas, la tecnología aplicada y las técnicas de construcción están en constante evolución, las distintas partes que lo componen, han sido objeto de varias modificaciones y actualizaciones en el período comprendido entre el año 2010 y el 2016; por tal motivo, se han añadido apéndices y enmiendas a los mismos en 2011, 2012, 2013, 2014 y 2016.

Los Reglamentos de Construcción, están compuestos por varios documentos separados o partes, que están organizados por ámbitos tecnológicos relacionados con los requisitos esenciales de un edificio, de forma muy similar a la organización que sigue el Código Técnico español; constan básicamente de 14 epígrafes separados cada uno de ellos e identificados por una letra (De la parte “A” a la “Q”) que cubren diversos campos, los cuales se detallan a continuación:

- Part A (structure)
- Part B (fire safety) – volume 1: dwellinghouses
- Part B (fire safety) – volume 2: buildings other than dwellinghouses
- Part C (resistance to contaminants and moisture)
- Part D (toxic substances)
- Part E (resistance to sound)
- Part F (ventilation)
- Part G (sanitation, hot water safety and water efficiency)
- Part H (drainage and waste disposal)
- Part J (combustion appliances and fuel storage systems)
- Part K (protection from falling)
- Part L (conservation of fuel and power)
- Part M (access to and use of buildings) volume1: dwellinghouses
- Part M (access to and use of buildings) volume 2: buildings other than dwellinghouses
- Part P (electrical safety)
- Part Q (security)

---

<sup>52</sup> Gobierno del Reino Unido: Gobierno del Reino Unido: *Building Regulations (Reglamentos de Construcción)*. Recuperado de <https://www.gov.uk/government/publications/2010-to-2015-government-policy-building-regulation/2010-to-2015-government-policy-building-regulation>

Siendo las partes “J” y “L”, las que están relacionadas con el comportamiento energético del edificio y la “F” la relacionada con los requisitos prestacionales de calidad de aire interior.

Para garantizar su aplicación, se ha establecido la obligatoriedad legal de que el trabajo realizado por los distintos agentes intervinientes en el proceso constructivo, especialmente el realizado por el proyectista y por el contratista, sea objeto de verificación por parte de un tercero independiente (inspector de construcción), con el objeto de asegurar que los trabajos realizados cumplan con los estándares requeridos por la normativa. Para ello, se ha establecido un sistema obligatorio de acreditación para los inspectores de construcción.

En referencia al comportamiento de la envolvente térmica del edificio, la normativa británica de construcción del año 1965 fue la primera que introduce límites en la cantidad de energía que podrían perder a través de los cerramientos exteriores del edificio. Esta limitación se expresó como la cantidad máxima de calor que se pierde por metro cuadrado de muro, por cada grado centígrado de diferencia de temperatura entre el interior y el exterior (transmitancia térmica U).

Al igual que en otros lugares de Europa, estos límites se actualizaron a raíz de la crisis del petróleo de la década de los 70. No obstante en el año 2006 fue cuando la política energética del Reino Unido cambió radicalmente, lo que provocó un endurecimiento importante de los requisitos energéticos en los Reglamentos de Construcción.

Se marcaba un horizonte en el que se buscaba una reducción de las emisiones globales en un 60% en el año 2050 y un 80% en el 2100. No obstante, se fijó un objetivo concreto de reducir un 20% el consumo de energía de las nuevas edificaciones en comparación con un edificio de similares características construido con la reglamentación del año 2002.

Fue en el 2006, cuando el valor de transmitancia U fue reemplazado por la Tasa de Emisión de Dióxido de Carbono de la Vivienda (DER). Con ello se buscaba obtener una estimación de las emisiones de dióxido de carbono por m<sup>2</sup> de superficie construida.

Además de los niveles de aislamiento proporcionados por la envolvente de la edificación, se tiene en cuenta la estanqueidad del inmueble, la eficiencia de las distintas instalaciones y cualquier otro ahorro energético producido por fuentes de energía alternativas.

Aunque el valor de transmitancia térmica U dejó de ser la única exigencia objeto de consideración en 2006, todavía se aplican los valores de la normativa 2002; que están incluidos en el cuadro siguiente;

ELEMENTO	TRANSMITANCIA TÉRMICA MÁXIMA (W/m <sup>2</sup> K)					
	BR 1965	BR 1976	BR 1985	BR 1990	BR 1995	BR 2002
Muros exteriores	1,70	1,00	0,60	0,45	0,45	0,35
Muros semi-expuestos	-	1,70	1,00	0,60	0,60	-
Cubiertas	1,40	0,60	0,35	0,25	0,25	0,16-0,25
Suelos	-	-	-	-	-	0,25
Puertas y ventanas metálicas	-	-	-	-	-	2,2

Tabla 52: Variación de valores de transmitancia térmica máximas U (W/m<sup>2</sup>K) para edificios, según BR 2012 (Reglamentos de construcción del Reino Unido).

### Características y contenido del certificado de eficiencia energética del edificio:

El Reino Unido es uno de los países de la UE que antes impuso el proceso de certificación de la eficiencia energética. Su normativa es aplicable a viviendas existentes y nuevas construcciones, siendo la denominación del certificado de eficiencia energética EPC<sup>53</sup> y tiene por objeto proporcionar a los posibles compradores e inquilinos de un edificio la adecuada información sobre la eficiencia energética del mismo e incorporar una serie de consejos prácticos sobre cómo mejorarla (para reducir los costes de consumo energéticos), junto con una indicación del periodo de amortización.

La finalidad es indicar una escala de la eficiencia energética del edificio que se está estudiando, proporcionando un índice de eficiencia energética de la "A" a la "G", donde "A" es el grado de mayor eficiencia y "G" es el menor.

Cuanto mejor sea la calificación, más eficiente será el edificio y menor será el gasto energético. Cada calificación de eficiencia energética se basa en las características del edificio en sí (la envolvente) y en sus instalaciones (tales como calefacción, ventilación e iluminación).

El EPC<sup>54</sup> incluye recomendaciones para ayudar a los propietarios y ocupantes a mejorar la eficiencia energética del edificio. Estas recomendaciones aportan mejoras rentables desde el punto de vista económico y otras mejoras con las que se alcanzan los estándares más elevados, pero no necesariamente igual de rentables. Para cada recomendación se enumeran los costes de su implantación, el ahorro que producen y la calificación obtenida tras su hipotética aplicación.

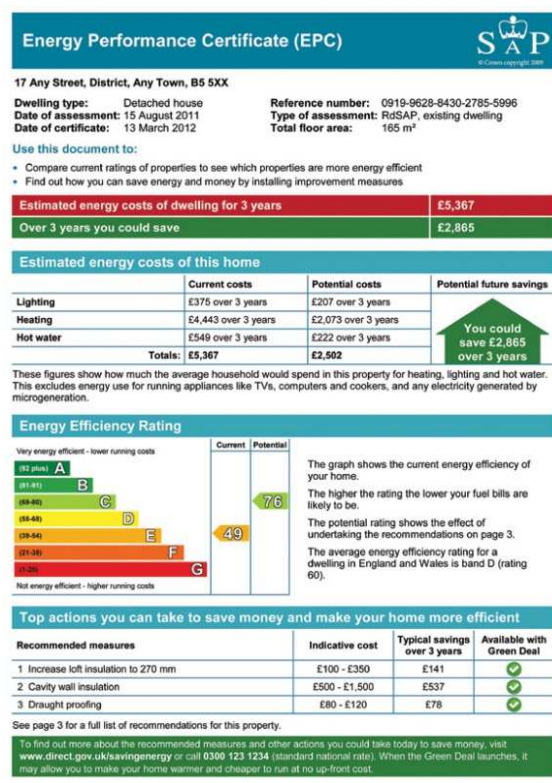


Fig. 40: Ejemplo de certificado de eficiencia energética en Reino Unido EPC (formato oficial)

<sup>53</sup> Gobierno del Reino Unido: Energy Performance Certificate (Certificado de Eficiencia Energética) EPC. Recuperado de <https://www.gov.uk/energy-performance-certificate-commercial-property>

El contenido del EPC<sup>54</sup> es el siguiente:

- La calificación energética de la construcción.
- Un valor de referencia.
- Un informe con las recomendaciones para mejorar la calificación, a menos que se haya obtenido la máxima letra.
- Un número de referencia identificativo.
- La dirección del edificio.
- Una estimación de la superficie útil total del edificio.
- La fecha en que se emitió el certificado.

El EPC es necesario en aquellos edificios de nueva construcción y en los existentes cuando se vaya a producir una venta o alquiler del mismo. No obstante, hay excepciones en las que no es obligada su elaboración:

- Edificios protegidos oficialmente debido a su valor arquitectónico, histórico, etc. Y donde el cumplimiento de unos requisitos mínimos de eficiencia energética podrían alterar de manera inaceptable el aspecto del mismo.
- Edificios provisionales con un uso previsto inferior a dos años.
- Edificios de viviendas que van a ser utilizados menos de 4 meses al año o si se prevé que el consumo energético será inferior al 25% de todo el uso durante todo el año.
- Edificios independientes con una superficie total de menos de 50 m<sup>2</sup>.
- El periodo de validez del EPC en Reino Unido es de 10 años.

Una de las novedades que se han ido introduciendo en todos los países es la necesidad de que anteriormente a la puesta en venta o alquiler de un edificio o una vivienda, se exige la presentación de una copia del EPC<sup>54</sup> al posible comprador o inquilino, siempre de forma gratuita. El indicador de la calificación energética tiene que estar siempre visible en cualquier anuncio publicitario, pudiendo llegar a una multa de 200 £ por anuncio en el caso de no figurar presente.

Para los edificios existentes, el evaluador energético debe realizar una inspección física de la construcción para reunir la información necesaria. En las nuevas construcciones, toda esta información será facilitada por el proyecto de ejecución.

Durante la visita, se tiene que acceder a todas las habitaciones, la caldera y a la cubierta, siempre que haya unos accesos adecuados. En ocasiones no se podrá obtener toda la información con la inspección visual, siendo necesario la realización de pruebas, ensayos, etc.

Si aun así no es posible conocer algunos datos, se realizarán los cálculos en base al año de construcción de la edificación.

Los datos necesarios que el evaluador energético necesita para poder llevar a cabo la EPC<sup>54</sup> son principalmente los siguientes:

- Año de construcción del edificio.
- Posibles ampliaciones del mismo.
- Si las carpinterías y vidrios se han cambiado.
- Si la envolvente cuenta con aislamiento térmico por el interior, exterior o en la cámara de aire.
- Año de instalación de las calderas y depósitos de ACS, con su marca y el modelo.
- Ubicación de termostatos y temporizadores de calefacción.
- Ubicación de los contadores de gas y electricidad.
- Tipo de combustible utilizado en la instalación de calefacción.

#### Método de cálculo y herramientas informáticas para la certificación de la eficiencia energética

El SAP<sup>54</sup> es la metodología utilizada para evaluar y comparar el rendimiento energético y medioambiental de las viviendas en Reino Unido (*Fig. 42*).

SAP fue desarrollado por el Building Research Establishment (BRE) para el antiguo Departamento de Medio Ambiente en 1992, como una herramienta para ayudar a cumplir sus políticas de eficiencia energética. La metodología SAP se basa en el Modelo de Energía Doméstica BRE (BREDEM), que proporciona un marco para el cálculo del consumo energético de las viviendas. En 1994, SAP fue citado en la Parte L del Reglamento de la Edificación como medio de evaluar el rendimiento energético de la vivienda.

Su propósito es proporcionar evaluaciones precisas y fiables sobre las actuaciones energéticas de las viviendas que son necesarias para sustentar las iniciativas de energía y de política ambiental. La calificación de energía de un edificio es un cálculo complejo que se basa en una combinación de factores:

- La tipología del edificio.
- Año de construcción
- El número de recintos habitables (con exclusión de las cocinas, pasillos de acceso a baños, escaleras y terrazas)
- Superficie de construcción y áticos.
- Las dimensiones del edificio y el número de plantas.
- La cantidad y el tipo de acristalamiento (simple o doble)
- Materiales utilizados en la envolvente
- Aislamiento existente en la envolvente.
- Composición de la cubierta y si dispone de aislamiento.
- Número de chimeneas y conductos de ventilación existentes.
- Los sistemas de calefacción y el tipo de combustible utilizado.

---

<sup>54</sup> Gobierno del Reino Unido: Standard Assessment Procedure (SAP). Recuperado de <https://www.gov.uk/guidance/standard-assessment-procedure>

En el caso de edificios existentes, al no estar siempre la información necesaria disponible, el método para evaluar la eficiencia energética fue adaptado para incluir un conjunto de supuestos acerca de la construcción basado en el momento de la construcción del edificio.

Este método simplificado se llama RdSAP<sup>55</sup> (Procedimiento de Evaluación Estándar de datos Reducido). Esta versión del SAP (RDSAP) se introdujo en 2005 como un método simplificado de evaluar el rendimiento energético de las viviendas existentes. Ha sido modificada en el año 2012 y en el 2015. Su versión actual es la 9.92.

En general, para los edificios que se comercializan para la venta o alquiler, RdSAP<sup>56</sup> es el método adecuado para la evaluación. Para ciertos tipos de edificio, sin embargo, el método SAP<sup>55</sup> dará una clasificación más precisa. Los tipos de edificación donde el método SAP podría dar una clasificación más precisa incluyen edificios construidos para la normativa actual de construcción, o aquellos que han sido renovados con medidas de eficiencia energética avanzadas.

Los diversos sistemas se utilizan para favorecer las medidas de ahorro energético y de política medioambiental, favoreciendo los siguientes campos:

- Regulación de los edificios para Inglaterra y Gales y las administraciones autónomas.
- Exención de impuestos para las viviendas con emisiones de carbono casi nulo.
- Certificados de Eficiencia Energética.
- Códigos para viviendas sostenibles

El método evalúa la cantidad de energía que una vivienda va a consumir al incluir una serie de premisas con un nivel definido de comodidad y condiciones ambientales. La evaluación se basa en suposiciones estandarizadas en base a la ocupación de la vivienda y el comportamiento normal de sus usuarios.

Con ello se puede realizar una comparación de igual a igual entre el rendimiento energético de viviendas de similares características. Uno de los beneficios que se obtiene con este sistema de evaluación es que se pueden obtener de forma bastante precisa los costes de combustible y las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) producidos por la vivienda anualmente.

Se cuantifica el rendimiento de una vivienda en términos de:

- Uso de energía por unidad de superficie
- Una clasificación basada en los costes y eficiencia energética del sistema de calefacción y las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> se calculan en base al cálculo del TER<sup>56</sup>, que es el índice de emisiones de CO<sub>2</sub> de la vivienda objeto respecto a la vivienda de referencia y se expresa en kg de CO<sub>2</sub> por m<sup>2</sup> de superficie por año.

---

<sup>55</sup> Gobierno del Reino Unido: Reduced data Standard Assessment Procedure (Procedimiento de Evaluación Estándar de datos Reducido) (RdSAP). Versión 9.92 (2015). Recuperado de <http://www.elmhurstenergy.co.uk/software/rdsap-software-for-android-and-online>.

<sup>56</sup> Gobierno del Reino Unido: Target Emission Rate (Tasa de Emisión Obetivo) (TER). Recuperado de [https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Target\\_emission\\_rate\\_TER](https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Target_emission_rate_TER).



En esta clasificación no se valora la localización del edificio, su climatología, ni consumo de iluminación y electrodomésticos. Para evaluar correctamente la demanda energética, se debe considerar las siguientes variables: energía consumida por la calefacción y agua caliente, además de la energía utilizada por bombas y ventiladores.

El SAP 2012 es la última revisión del documento en vigencia. Esta versión 2012 de SAP ha sido publicada para apoyar la enmienda 2013 a la Parte L del Reglamento de Construcciones para Inglaterra, en la que se espera ofrecer una mejora de la eficiencia energética de 6% en las viviendas de nueva construcción, el objetivo del Reino Unido es que las nuevas viviendas deben ser de consumo casi nulo a partir de 2016, lo que representa un desafío en términos de poder evaluar.

Un aspecto clave del desarrollo futuro de SAP<sup>41</sup> será reflejar con exactitud la reducción de las emisiones de carbono.

La calificación se calcula en función de la superficie del edificio. La calificación es independiente del número de personas que viven en su hogar, de cuántos aparatos domésticos cuenta el propietario y lo eficientes que son. Esto permite a los compradores o inquilinos potenciales comparar la calificación energética de los edificios de similares características.

Para realizar el EPC, es necesario utilizar un software comercial, aprobado y validado por el gobierno; al igual que ocurre en España con las aplicaciones informáticas asociadas a los documentos reconocidos. Una vez introducidos los datos en la aplicación, por parte del técnico evaluador y junto con las tablas de rendimiento estándar, se genera el EPC y las recomendaciones.

El SAP se utiliza durante el proceso de construcción para demostrar que un edificio de nueva construcción cumple con los objetivos de eficiencia energética. La mayoría de los nuevos edificios que cumplan con las normas de construcción actuales del Reino Unido lograrán una calificación "C" o "B".

Sólo los evaluadores energéticos acreditados pueden registrar los EPC a través de su sistema de acreditación. Una vez que los datos se han presentado con éxito en el registro, el evaluado debe proporcionar al vendedor o arrendador una copia de la EPC.

Una vez que los datos del EPC han sido registrados, no pueden ser modificados. Los datos se mantienen en el registro durante 20 años, por lo que un edificio puede tener certificados para todo el edificio o para cada vivienda, siendo únicamente válido el último EPC para cada vivienda.

Las penas y sanciones que se aplican en el Reino Unido por incumplimientos de las anteriores condiciones son las siguientes (200 £):

- En venta o alquiler cuando el vendedor o arrendador no disponga del EPC.
- En la venta o en alquiler, cuando el vendedor o arrendador no haya encargado previamente el EPC antes de que el edificio o vivienda fuera puesto a la venta.

En lo referente a la etiqueta energética de Reino Unido los valores que se ofrecen son:

- Escala energética que va desde la letra “A” hasta la letra “G”, tanto para el consumo de energía como para las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Rating	Band
1 to 20	G
21 to 38	F
39 to 54	E
55 to 68	D
69 to 80	C
81 to 91	B
92 or more	A

Fig. 41: Valores de la escala energética inglesa. Tabla 14 del SAP 2012

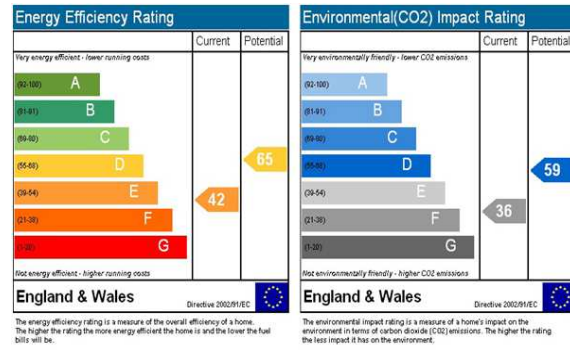


Fig. 42: Ejemplo de etiqueta energética EPC en el Reino Unido

#### 2.3.2.4.- Comparativa entre las exigencias térmicas y energéticas entre los cuatro países (España, Alemania, Francia y Reino Unido)

En los cuatro países cuyos marcos prestacionales hemos resumido, han puesto en vigor normativas de regulación del comportamiento térmico de los cerramientos de los edificios, tras la crisis del petróleo de 1973, con una diferencia de 5 años entre la primera (Francia, 1974) y la última (España, 1979). Si se consideran las normativas previas existentes en Inglaterra (1965) y Alemania (1969) esa diferencia aumenta a 14 años.

La evolución que han tenido estas normativas desde entonces hasta la trasposición de la EPBD 2002/91 a la normativa de cada país, es muy desigual. Mientras que en Francia la normativa térmica ha sido actualizada 2 veces (1988 y 2000), en Inglaterra 5 (1976, 1985, 1991, 1995 y 2002) y en Alemania otras 5 (1977, 1984, 1995, 2002 y 2004), en España la NBE-CT 79 ha estado vigente durante 27 años sin modificaciones hasta el año 2006.

Si además se tiene en cuenta que la transposición de la EPBD 2002/91 fue parcial, quedando fuera del marco de regulación y evaluación de la eficiencia energética los edificios existentes hasta el año 2013, se puede afirmar que la implantación de la sistemática de certificación energética en España ha sido escasa, en comparación con los países de su entorno próximo.

En cuanto a las zonas climáticas, solo las normas (RT) francesas y el Código Técnico de la Edificación (CTE) en España, han establecido zonas climáticas. Por lo que al realizar una comparación de los valores térmicos exigidos por cada normativa, supone una mayor dificultad a la hora de establecer una correspondencia entre los distintos valores exigidos en cada país.

Del análisis realizado se extraen tres conclusiones:

- I. Falta de armonización entre los requisitos térmicos planteados por las distintas normativas consultadas, no atribuible al rigor climático de cada país.
- II. Existe una disparidad importante en los valores de transmitancia térmica exigidos a los muros de fachada (tanto en la zona opaca, como en los huecos, considerablemente más elevados en el caso español, lo que se explica por el retraso en la aplicación de la EPBD).
- III. El consumo de energía límite (kW.h/m<sup>2</sup>año) también presenta diferencias importantes, con valores muy superiores a los 15 kW.h/m<sup>2</sup>año, limitación que se utiliza como referencia para los edificios de consumo de energía casi nulo.

En el cuadro que se adjunta a continuación, se expresan los valores máximos exigibles de transmitancia térmica (W/m<sup>2</sup>K) para cada tipo de cerramiento, según la normativa de cada país.

Comparación de exigencias térmicas para cerramientos en los distintos países:

DESCRIPCIÓN PARÁMETRO	ALEMANIA	REINO UNIDO		FRANCIA			ESPAÑA				
<i>Normativa</i>	EnEV 2014	Building Regulations 2012		RT 2012			CTE – HE1 (2013)				
<i>Tipo de actuación</i>	Rehabilitación o ampliación	Ampliación	Renovación	Rehabilitación o ampliación			Nueva construcción o rehabilitación				
<i>Zonas climáticas</i>				H1	H2	H3	A	B	C	D	E
<i>U max. Fachadas (W/m<sup>2</sup>K)</i>	0.24	0.28	0.55 con aislamiento en cámara; 0.3 por int. o ext.	0.435	0.435	0.5	1.22	1.07	0.95	0.86	0.74
<i>U max. Medianeras (W/m<sup>2</sup>K)</i>							1.22	1.07	1	1	1
<i>U max. Ventanas (W/m<sup>2</sup>K)</i>	1.3 – 2.0	1.6		3.1			5.7	5.7	4.4	3.5	3.1
<i>U max. Techos y cubiertas inclinadas (W/m<sup>2</sup>K)</i>	0.24	0.16 con aislamiento techo (hoja interior) 0.18 con aislamiento en hoja exterior.		0.25 pendiente <60º 0.50 pendiente >60º			0.65	0.59	0.53	0.49	0.46
<i>U max. Cubiertas planas (W/m<sup>2</sup>K)</i>	0.2	0.18		0.4			0.65	0.59	0.53	0.49	0.46
<i>U max. Forjado (W/m<sup>2</sup>.K)</i>		0.22	0.25	0.22 forjado de ático 0.435 forjado con garaje y con ext.; 0.5 forjado con zona no calefactada			0.69	0.68	0.65	0.64	0.62
<i>U max. Part. A espacio no calefactado (W/m<sup>2</sup>K)</i>	0.3			0.5							
<i>Consumo de energía (kWh/m<sup>2</sup>año)</i>	120	35 – 45		50			40 – 70				

Tabla 53: Comparación entre los valores máximos de transmisión térmica U (W/m<sup>2</sup>K) exigidos para cada cerramiento (según Normativas técnicas de cada país).

De la comparación anterior, en referencia a las limitaciones establecidas por el CTE con respecto a las contempladas en países de nuestro entorno, se pueden extraer varias consideraciones:

- Los valores de transmitancia térmica máxima exigible para la envolvente térmica planteados por el CTE (tanto para zona opaca como huecos), son apreciablemente superiores a los exigibles en otros países con condiciones climatológicas similares al caso español.
- La falta de adecuación de las exigencias normativas a una zonificación climática en las normativas de algunos países, resulta inexplicable, ya que no permite el cálculo ajustado de la demanda energética del edificio considerando las condiciones climáticas que le corresponden a su situación.
- Los valores planteados para el consumo máximo de energía primaria de origen no renovable, son dispares y apreciablemente superiores a lo recomendable para edificios de consumo de energía casi nulo (aprox. 15 kW.h/m<sup>2</sup>.año). Resulta evidente que será necesario un ajuste de esta exigencia antes del año 2020.

### 2.3.3. Certificación de la eficiencia energética en Estados Unidos

Durante los últimos 30 años, en los Estados Unidos se ha realizado una intensa labor para reducir el consumo energético en diferentes sectores productivos, también en la edificación; las estrategias que se han adoptado están encaminadas a introducir y fomentar la eficiencia energética en los edificios existentes y los que son objeto de reforma o rehabilitación<sup>57</sup>.

Un ejemplo de estas acciones es la Política de Eficiencia Energética del 2005, que ofrece a los consumidores y las empresas federales, créditos tributarios (beneficios tributarios) por la construcción y remodelación de edificaciones y la compra de equipos térmicos de alta eficiencia o que utilicen biocombustibles con bajo impacto ambiental, como la biomasa.

En Estados Unidos, a diferencia de los países de la Unión Europea, no existe un Etiquetado Energético en forma obligatoria, sino que existen regulaciones sobre los mínimos de eficiencia energética con los que deben cumplir las edificaciones nuevas y las reformadas.

No obstante, existen certificaciones voluntarias como Energy Star, LEED<sup>58</sup> (Leadership in Energy and Environmental Design) y otras, las que se han desarrollado e implementado debido al aumento del precio de la energía y por incentivos económicos gubernamentales enfocados a la mejora en eficiencia energética en las edificaciones. Todo esto para la finalidad principal de asegurar el abasteciendo energético del país [EFUS 16].

El sistema de certificación LEED, Green Building Rating System: Leadership in Energy and Environmental Design (LEED Sistema de clasificación de edificios verdes: orientaciones para el diseño energético y medioambiental); dispone de 35 criterios y 7 prerrequisitos estructurados en 6 categorías [EFUS 16]. De las cuales 5 se consideran básicas las siguientes:

- Emplazamiento sostenible
- Eficiencia del uso del agua
- Eficiencia energética, energías renovables y emisiones a la atmósfera
- Materiales y recursos naturales
- Calidad del ambiente interior

Energy Star es un programa de certificación privado en conjunto con U.S. Environmental Protection Agency's (EPA) y U.S. Department Of Energy's (DOE) Building America Program, y que garantiza que vivienda 15% más eficiente que una vivienda construida considerando los requerimientos mínimos [EFUS 16].

Además, este programa dispone de mejoras complementarias, que al ser implementadas, aumentan la eficiencia energética en un 20 a 30%.

---

<sup>57</sup> Zabalza, I.; Díaz, S.; Aranda, A.: Metodologías de Análisis Para la Calificación Energética de Edificios (Serie Eficiencia Energética). Editado por Publicaciones de la Universidad de Zaragoza. Zaragoza. 2010

<sup>58</sup> Website del U.S. Green Building Council. Recuperado de <http://www.usgbc.org/leed>

Una calificación Energy Star toma en cuenta 6 aspectos: Aislamiento efectivo, ventanas de alta eficiencia, espesor de construcción y ductos, eficiencia de equipos de calefacción y refrigeración, iluminación y equipos.

Los técnicos certificadores están registrados en una institución independiente y sin ánimo de lucro como la RESNET (Residential Energy Services Network) que fue fundada en 1995; que asesora desinteresadamente a los propietarios de inmuebles para reducir su coste energético, recomendando estrategias para incrementar la eficiencia energética de los edificios.

En el ámbito de la energía y la atmósfera<sup>59</sup>, el sistema de certificación LEED fija tres prerequisites relacionados con la eficiencia energética:

- I. *Prerrequisito EYA 1 (Recepción de los Principales Sistemas de Energía del Edificio)*: El propósito de esta exigencia es verificar que los sistemas del edificio relacionados con la energía se han instalado, calibrado y tienen la eficiencia adecuada según los requisitos del propietario para el edificio, las bases del proyecto y los documentos de construcción.
- II. *Prerrequisito EYA2 (Mínima Eficiencia Energética)*: Su propósito es establecer el mínimo nivel de eficiencia energética para los sistemas y el edificio propuesto.
- III. *Prerrequisito EYA3 (Gestión de los Refrigerantes Principales)*: Reducir el ozono, contribuir a su reducción drástica.

En cuanto a los créditos requeridos para obtener la puntuación en este ámbito, este sistema de certificación fija 6 categorías, que son las siguientes:

- I. *Crédito EYA.1. Optimización de la Eficiencia Energética (de 1 a 10 puntos)*: Consiste en conseguir un incremento en los niveles de eficiencia energética por encima de la línea base de la norma del prerequisite para reducir los impactos económicos y medioambientales asociados con un uso excesivo de energía.
- II. *Crédito EYA.2. Energía Renovable In-Situ (de 1 a 3 puntos)*: Pretende favorecer y reconocer el incremento de niveles de auto-suministro de energía renovable in situ para reducir los impactos medioambientales y económicos asociados con el uso de energía obtenida de combustibles fósiles.
- III. *Crédito EYA.3. Recepción Mejorada (1 punto)*: Comenzar el proceso de recepción desde la fase de inicio actuando durante la fase de proyecto y llevar a cabo actividades adicionales después de que se ha completado la verificación de la eficiencia de los sistemas.
- IV. *Crédito EYA.4. Gestión Mejorada de los Refrigerantes (1 punto)*: Reducir el ozono, ayudar a su reducción drástica y apoyar el cumplimiento temprano del Protocolo de Montreal mientras que se minimizan las contribuciones directas al calentamiento mundial.

---

<sup>59</sup> LEED v4 for Building Design and Construction (version 4). 2013. Recuperado de <http://www.usgbc.org/resources/leed-v4-building-design-and-construction-current-version>

- V. *Crédito EYA.5. Medición y Verificación (1 punto):* Proporcionar medios para la contabilidad permanente del consumo de energía del edificio en el tiempo.
- VI. *Crédito EYA.6. Energía Verde (1 punto):* Favorecer el desarrollo y el uso de tecnologías de energía renovable con fuente en la red eléctrica en base a conseguir contaminación cero en la red.

## 2.4.- Consumo energético y rendimiento de los equipos térmicos de los edificios

En este apartado se resumen los aspectos relevantes relacionados con en el marco normativo que regula los equipos térmicos y el papel que desempeñan como origen de la mayor parte del consumo energético del edificio.

Para conocer la trascendencia del consumo de energía originado por el funcionamiento de los sistemas térmicos de un edificio, se puede como ejemplo el caso de una vivienda tipo, en la que el equipo térmico cuya misión es el de calefacción consume aproximadamente un 40% del total, Y en el caso de la producción de agua caliente sanitaria el consumo supone aproximadamente el 26% del total.

Debido a las características de las zonas climáticas en España, por lo que respecta a la refrigeración, su período de funcionamiento se produce fundamentalmente en julio y agosto, siendo éste aproximadamente un 6% para el caso de uso vivienda considerablemente inferior a los de calefacción y producción de agua caliente sanitaria.

### 2.4.1.- Relación entre el consumo y la demanda energética del edificio

Resulta frecuente que los términos de consumo y demanda energética se utilicen indistintamente, pero a pesar de expresarse en las mismas unidades, son dos conceptos diferentes y que guardan relación con el modo en que se produce el funcionamiento del equipo térmico.

En este punto, se debe definir el concepto de demanda energética, como la *“energía útil necesaria que tendrían que proporcionar los sistemas técnicos para mantener en el interior del edificio unas condiciones termo-higrométricas definidas reglamentariamente; se expresa en kW·h/m<sup>2</sup>.año, considerada la superficie útil de los espacios habitables del edificio”* (CTE documento básico HE – Ahorro de Energía).

La demanda energética no depende de la instalación térmica, los factores que la determinan son los siguientes:

- Las características climatológicas que se produzcan en la localidad geográfica donde se ubique el Edificio (temperatura y humedad exteriores).
- El comportamiento de los cerramientos y particiones que conforman la envolvente térmica (transmitancia térmica).
- Características de ocupación y funcionales del edificio, en función del uso al que se destine (temperatura y humedad interiores).

Conviene introducir el concepto de consumo energético<sup>60</sup>, *“es la energía necesaria para satisfacer la demanda energética de los servicios de calefacción, refrigeración, ACS y, en edificios de uso distinto al residencial privado, de iluminación, del edificio, teniendo en cuenta la eficiencia de los sistemas empleados, se expresa en kW·h/m<sup>2</sup>.año, considerada la superficie útil de los espacios habitables del edificio”*.

---

<sup>60</sup> Gobierno de España – Ministerio de Fomento: Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE "Ahorro de Energía", del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo. Publicado en BOE núm. 219. Madrid. 2013. Recuperado de [https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2013-9511](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2013-9511) – Apéndice A Terminología.



Así pues, el consumo energético del edificio depende de la demanda energética del mismo y de la eficiencia de sus sistemas o instalaciones, por lo que la relación entre la demanda y el consumo energético de un edificio, tiene que ver con el rendimiento de los equipos térmicos (y de iluminación en el caso de usos terciarios).

Por lo tanto, se puede calcular el consumo de energía de un edificio como el cociente entre la demanda energética y el rendimiento medio estacional de las instalaciones que intervienen en el acondicionamiento interior<sup>61</sup>, estableciendo la siguiente fórmula

$$C = D/\mu$$

En donde:

**C** es el consumo energético

**D** es la demanda energética

**μ** es el rendimiento medio estacional de los equipos

*Ecuación 10.- Cálculo del consumo en función de la demanda energética y el rendimiento de los equipos térmicos*

Por lo que existen tres formas de reducir el consumo energético de un edificio, incrementando el rendimiento medio estacional de los equipos, reduciendo la demanda de energía, o ambas de forma simultánea.

Este nuevo enfoque no está dirigido exclusivamente a los edificios de nueva construcción, también afecta a los numerosos edificios que constituyen el parque inmobiliario ya existente, por ello una buena parte de las estrategias que han adoptado los Estados, consisten en evaluar la eficiencia energética de estos inmuebles, adoptar medidas de mejora para reducir la energía final consumida y el nivel de emisión de CO<sub>2</sub>.

Como consecuencia de la aplicación de estas estrategias para incrementar la eficiencia energética en los edificios existentes son los programas de ayudas a la rehabilitación energética de edificios, que se viene desarrollando desde hace algunos años, que se ha producido de forma especialmente intensa desde la modificación del CTE y del RITE que se llevó a cabo en el 2013, con el objeto transponer la Directiva Europea 2013/31 relativa a la eficiencia energética de los edificios.

2.4.2.- Emisividad de CO<sub>2</sub>: Factores de emisión de CO<sub>2</sub> para los distintos combustibles y niveles de calificación de la eficiencia energética en función de la Emisividad.

Como ya se expuso en el capítulo anterior, en España, desde la aparición del R.D. 47/2007 que regulaba la certificación energética de los edificios de nueva construcción, y desde el 2013 con el R.D. 235/2013 que incluye también los edificios existentes; es obligatorio clasificar la eficiencia energética de los edificios con una letra dentro de una escala.

---

<sup>61</sup> Ministerio de Industria, Turismo y Comercio - IDAE: *Guía práctica sobre instalaciones centralizadas de calefacción y agua caliente sanitaria (ACS) en edificios de viviendas. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía*. Madrid, 2008

La escala de calificación energética mide el consumo de energía que se considera necesario para satisfacer la demanda energética de un edificio, así como sus emisiones de CO<sub>2</sub>, en condiciones normales de uso.

La justificación de este sistema de calificación de la eficiencia energética según el nivel de emisión o emisividad de CO<sub>2</sub>, se expone en la publicación del IDAE “Escala de calificación energética: Edificios existentes” (mayo 2011). En apartado 4 del Anexo II del Real Decreto 47/2007<sup>37</sup> se fijaba la escala tanto para edificios destinados a vivienda, como para otros usos (terciarios); estas escalas son las siguientes:

a) Para edificios destinados a **uso vivienda**:

Calificación de eficiencia energética del edificio	Índices de calificación de eficiencia energética
A	C1 < 0.15
B	0.15 ≤ C1 < 0.50
C	0.50 ≤ C1 < 1.00
D	1.00 ≤ C1 < 1.75
E	C1 > 1.75 y C2 < 1.00
F	C1 > 1.75 y 1.00 ≤ C2 < 1.5
G	C1 > 1.75 y 1.50 ≤ C2

Tabla 54: Niveles de eficiencia energética de un edificio residencial en función del índice de calificación (R.D. 47/2007)

Los índices de calificación de eficiencia energética C1 y C2 de las viviendas unifamiliares o en bloque se obtienen respectivamente mediante las fórmulas siguientes:

$$C1 = \frac{\left(\frac{I_o}{I_r} R\right) - 1}{2(R - 1)} + 0.6 \qquad C2 = \frac{\left(\frac{I_o}{I_s} R'\right) - 1}{2(R' - 1)} + 0.5$$

donde:

**I<sub>o</sub>**: son las emisiones de CO<sub>2</sub> del edificio objeto calculadas de acuerdo con la metodología descrita en el anexo I y limitadas a los servicios de calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria.

**I<sub>r</sub>**: corresponde al valor medio de emisiones de CO<sub>2</sub> de los servicios de calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria de los edificios nuevos de viviendas que cumplen estrictamente con los apartados HE1, HE2, HE3 y HE4 de la sección HE del Código Técnico de la Edificación.

**R**: ratio entre el valor de I<sub>r</sub> y el valor de emisiones de CO<sub>2</sub> de los servicios de calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria, correspondiente al percentil del 10% de los edificios nuevos de viviendas que cumplen estrictamente con los apartados HE1, HE2 HE3 y HE4 de la sección HE del Código Técnico de la Edificación.

**I<sub>s</sub>**: corresponde al valor medio de las emisiones de CO<sub>2</sub> de los servicios de calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria, para el parque existente de edificios de viviendas en el año 2006.

**R'**: es el ratio entre el valor I<sub>s</sub> y el valor de emisiones de CO<sub>2</sub> de los servicios de calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria, correspondiente al percentil del 10% del parque existente de edificios de viviendas en el año 2006.

*Ecuaciones 11 y 12: Cálculo de índices de calificación de eficiencia energética C1 y C2 en función de la emisión de Dióxido de Carbono CO<sub>2</sub> asociada a los distintos equipos térmicos*

b) Para edificios destinados a otros usos (terciarios):

Calificación de eficiencia energética del edificio	Índices de calificación de eficiencia energética
A	$C < 0.40$
B	$0.40 \leq C < 0.65$
C	$0.65 \leq C < 1.00$
D	$1.00 \leq C < 1.3$
E	$1.3 \leq C < 1.6$
F	$1.6 \leq C < 2$
G	$2 \leq C$

Tabla 55: Niveles de eficiencia energética de un edificio terciario en función del índice de calificación (R.D. 47/2007)

El método de cálculo establecido para los documentos reconocidos, para determinar los índices de calificación de eficiencia energética C, C1 y C2, se puede explicar en el siguiente diagrama [CEPA 13]:

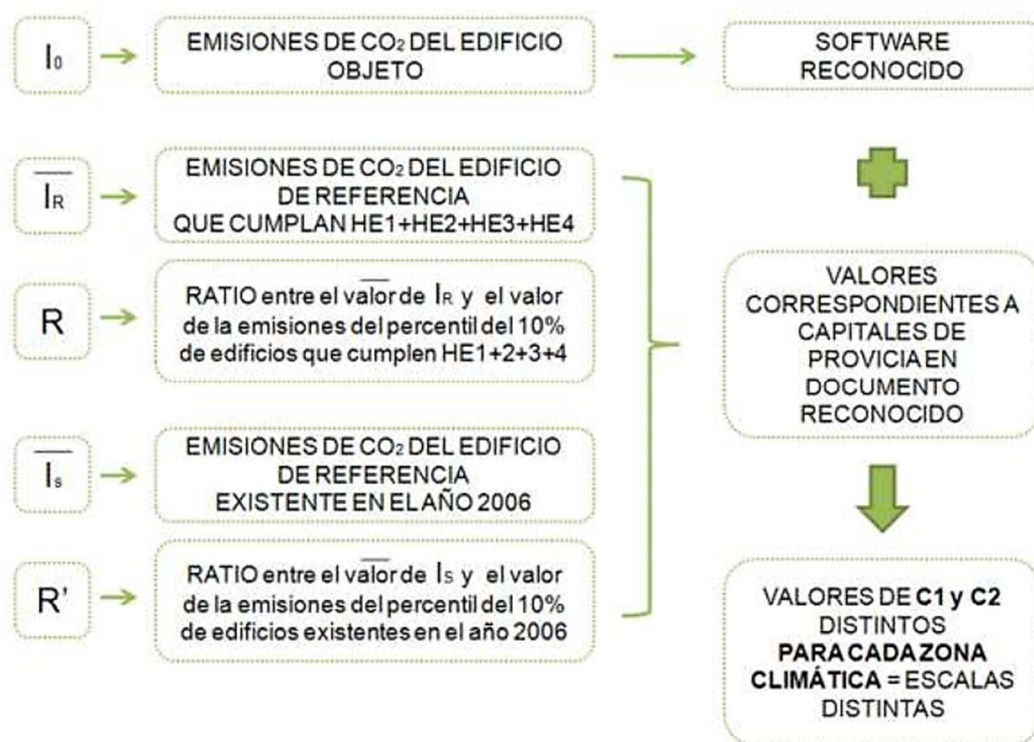


Fig. 43: Diagrama del método de cálculo establecido para documentos reconocidos para determinar la calificación de eficiencia energética para edificios existentes (<http://www.certificadosenergeticos.com/como-calcula-escala-calificacion-energetica>)

Una vez determinados los valores C1 y C2 o C (según el tipo de uso al que se destine el edificio) correspondientes para la zona climática en la que se sitúe el edificio evaluado, se determina el nivel de calificación para la eficiencia energética, según la escala que se aplique en función del uso.

Al multiplicar estos valores IEE calculados por su correspondiente R o R' –dispersiones de los IEE-, se obtienen los valores que nos servirán para determinar la LETRA de Calificación correspondiente para cada indicador: emisiones para calefacción, para refrigeración y consumo energía primaria total.

El análisis de los factores de emisión, debe realizarse en dos parámetros, en función del tipo de energía final que se consume:

- Energía final térmica (combustibles fósiles y biomasa)
- Energía final eléctrica

Para el caso de los factores de emisión<sup>62</sup>, si la energía final consumida es térmica, el procedimiento básico vigente, utiliza los *datos publicados por el Joint Research Center (JRC) de la Unión Europea en el documento “Well to tank Report – versión 4.0”*.

Para el caso específico de las emisiones de CO<sub>2</sub> en relación al consumo de electricidad, existen datos publicados por dos documentos independientes:

- Documento La Energía en España 2015. (Fuente: Secretaría de Estado de Energía)<sup>63</sup>
- Informes sobre el sistema de garantía en origen y etiquetado de electricidad (Fuente: Comisión Nacional de la Energía)

Estos factores actuales de emisión de CO<sub>2</sub> tienen carácter oficial y son los que se describen a continuación:

Factores de emisión de CO <sub>2</sub>	Emisiones (gr CO <sub>2</sub> /kWh <sub>t</sub> )
<b>ENERGÍA TÉRMICA</b>	
Gas Natural	204
Gasóleo C	287
GLP	244
Carbón de uso doméstico	347
Biomasa	Neutro
Biocarburantes	Neutro
Solar térmica a baja temperatura	0
<b>ELECTRICIDAD</b>	
Electricidad convencional peninsular	649
Electricidad convencional extra-peninsular (Baleares, Canarias, Ceuta y Melilla)	981
Solar fotovoltaica	0
Electricidad convencional en horas valle nocturnas (0-8h) para sistemas de acumulación eléctrica peninsular	517
Electricidad convencional en horas valle nocturnas (0-8h) para sistemas de acumulación eléctrica extra-peninsular	981

Tabla 56: Factores de emisión de CO<sub>2</sub> para las diferentes fuentes de energía final utilizadas en los edificios (IDAE, marzo 2014)

<sup>62</sup> Ministerio de Industria, Turismo y Comercio - IDAE: *Propuesta de documento reconocido – Factores de emisión de CO<sub>2</sub> y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector edificios en España. Versión 03/03/2014*. Publicado por Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Madrid, 2014

<sup>63</sup> Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital – Secretaría de Estado para la Energía: *La Energía en España 2015*. Publicado por Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Madrid. 2016.

#### 2.4.3.- Medidas de ahorro energético para incrementar la eficiencia en los edificios

Los procesos constructivos cuyo objetivo es la rehabilitación energética de un edificio, casi siempre tienen la misma secuencia: Evaluación de la eficiencia energética, Propuesta de intervención para mejorar el nivel de eficiencia (que incluye la realización de las simulaciones del comportamiento energético, estimando el nuevo nivel de eficiencia una vez que se han implantado) y finalmente la implementación de dichas mejoras en el edificio.

Las técnicas de intervención orientadas al ahorro energético, se pueden clasificar en dos categorías: medidas de mejora pasivas y medidas de mejora activas.

##### 2.4.3.1.- Medidas pasivas de ahorro energético

Las medidas pasivas de ahorro energético inciden directamente sobre la demanda energética, actuando sobre los cerramientos y particiones que constituyen la envolvente térmica del edificio. Generalmente la técnica de intervención que se propone, tiene como misión disminuir el valor de transmitancia asociado al muro. Como ejemplos de medidas pasivas de ahorro energético podemos considerar las siguientes<sup>64</sup>:

###### *a. Incremento del nivel de aislamiento térmico en muros de fachada*

Se pretende reducir la demanda energética mediante la reducción de las pérdidas de energía calorífica que se producen a través de los muros verticales en contacto con aire exterior, mediante la incorporación de más capas, provocando un descenso en el valor de transmitancia térmica  $U$  ( $W/m^2 \cdot ^\circ K$ ) del muro.

Esta reducción de pérdidas energéticas, provoca una reducción de la demanda calorífica del edificio, que es mayor en invierno que en los meses de verano. Esta medida está orientada a edificios antiguos, generalmente anteriores al 2006, en los que es necesario reducir la cantidad de energía que se pierde a través del muro por transmisión térmica.

###### *b. Incremento del nivel de aislamiento térmico en cubiertas*

Es similar a la anterior, pero aplicada a la cubierta del edificio. En este caso también se pretende reducir la demanda energética del edificio mediante la reducción de las pérdidas de energía calorífica que se producen a través de la cubierta, mediante la incorporación de capas o membranas, provocando un descenso en el valor de la transmitancia de la cubierta  $U$  ( $W/m^2 \cdot ^\circ K$ ).

Esta medida es efectiva para edificios que no disponen de planta de amortiguación térmica (como por ejemplo una planta bajo cubierta destinada a trasteros o a cuartos de instalaciones), dado que hay espacios habitables delimitados en la cara superior por los elementos constructivos en los que se propone la intervención.

---

<sup>64</sup> Ministerio de Industria, Turismo y Comercio – IDEA: Manual de usuario de calificación energética de edificios existentes CE3x. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Madrid, 2013.

*c. Incremento del nivel de aislamiento en suelos*

Consiste en añadir una capa de aislamiento térmico a los suelos existentes (aislamiento inferior o superior en función del grado de accesibilidad).

Esta medida pretende resolver reducir las pérdidas caloríficas que se producen a partir del suelo (generalmente un forjado o una solera de hormigón) que está en contacto con aire o en contacto con terreno (ejemplos: solera de hormigón en contacto directo con el terreno, forjado sanitario en contacto con aire exterior por su cara exterior, partición interior horizontal que separa zona habitable en planta baja con zona no habitable en sótano), mediante la incorporación de una membrana aislante, con el objeto de reducir su valor de transmitancia térmica  $U$  ( $W/m^2 \cdot K$ ).

*d. Modificación de huecos en fachada (elementos acristalados)*

Como se ha expuesto con anterioridad, la pérdida energética que se produce a través de las superficies acristaladas (huecos), es mayor que la que se produce a través de las zonas opacas; debido a la conductividad térmica del vidrio, llegando en algunos casos a quintuplicar el valor de transmitancia de las zonas opacas.

Este tipo de intervención consiste en reducir la demanda de energía mediante la sustitución de los acristalamientos existentes y carpinterías sin rotura de puente térmico, la instalación de doble ventana, cuya misión es disminuir el valor de transmitancia del conjunto  $U$  ( $W/m^2 \cdot K$ ). Es una medida eficaz tanto en régimen de invierno como de verano, ya que generalmente al implantar esta mejora, además de reducir la transmisión térmica se reduce el efecto causado por la radiación solar directa que incide sobre la superficie acristalada. La utilización de acristalamiento bajo emisivo y perfilería metálica con rotura de puente térmico, son los tipos de mejoras más frecuente para edificios en los que se disponen de sistemas de acristalamiento poco eficaces térmicamente, generalmente anteriores a año 1979.

Otro de los aspectos que deben ser analizados, es el grado de resistencia al viento, permeabilidad al aire y estanqueidad al agua que deben cumplir los sistemas de acristalamiento que se incorporen al cerramiento, ya que para su caracterización deberán superar los requisitos planteados en los ensayos a los que se tienen que someter, según diversas normas UNE (EN 12207<sup>65</sup>, EN 1026<sup>66</sup>, EN 12208<sup>67</sup>, EN 1027<sup>68</sup>, EN 12210<sup>69</sup>, EN 12211<sup>70</sup>).

---

<sup>65</sup> AENOR: Norma UNE-EN 12207:2000. Ventanas y puertas. Permeabilidad al aire. Clasificación. Publicado por Asociación Española de Normalización y Certificación. Madrid, 2000.

<sup>66</sup> AENOR: Norma UNE-EN 1026:2000. Ventanas y puertas. Permeabilidad al aire. Método de ensayo. Publicado por Asociación Española de Normalización y Certificación. Madrid, 2000.

<sup>67</sup> AENOR: Norma UNE-EN 12208:2000. Ventanas y puertas. Estanqueidad al agua. Clasificación. Publicado por Asociación Española de Normalización y Certificación. Madrid, 2000.

<sup>68</sup> AENOR: Norma UNE-EN 1027:2000. Ventanas y puertas. Estanqueidad al agua. Método de ensayo. Publicado por Asociación Española de Normalización y Certificación. Madrid, 2000.

<sup>69</sup> AENOR: Norma UNE-EN 12210:2000. Ventanas y puertas. Resistencia al viento. Clasificación. Publicado por Asociación Española de Normalización y Certificación. Madrid, 2000.

<sup>70</sup> AENOR: Norma UNE-EN 12211:2000. Puertas y ventanas. Resistencia a la carga de viento. Método de ensayo. Publicado por Asociación Española de Normalización y Certificación. Madrid, 2000.

Al intervenir en los huecos de fachada, también deben dar solución al cumplimiento de los requisitos establecidos en<sup>71</sup> la sección HS3 Calidad de aire interior del documento básico de Salubridad (CTE), referentes a la calidad de aire interior, ya que los nuevos sistemas de acristalamiento, incorporan aireadores que permiten la admisión controlada de aire procedente del exterior, en el interior de la vivienda, permitiendo que se produzca la ventilación deseada con el caudal adecuado.

*e. Instalación de sistemas de protección solar*

Con esta medida se pretende reducir la demanda de energía de refrigeración durante el verano, mediante la mejora la incorporación de elementos de protección solar que provoquen sombra sobre las superficies acristaladas orientadas preferentemente al Sur.

*f. Reducción del caudal de infiltración de aire procedente del exterior*

Son varias las causas por las cuales se producen infiltraciones de aire a través del cerramiento vertical, por ejemplo las uniones entre los marcos y las hojas de las ventanas, uniones entre perfiles que constituyen el marco, aireadores para ventilar, entre otros.

Esta medida pretende reducir la demanda energética, por los efectos térmicos producidos por la entrada descontrolada de aire frío del exterior, debido a las circulaciones de aire vertical que se producen en las fachadas en determinadas condiciones de viento.

El grado de eficacia de este tipo de medida, está directamente relacionado con el porcentaje de superficie acristalada con respecto a la zona opaca, dado que cuantas más ventanas existan en la fachada orientada en la dirección del viento predominante, mayor será el grado de infiltración de aire en el interior.

La infiltración de aire frío en el interior de las estancias habitables, constituye una parte significativa de la demanda de calor, por lo que medidas como la renovación de juntas de goma, colocación de burletes o ajustes de apertura y cierre en las hojas practicables, reducen considerablemente la distorsión térmica producida por el aire frío infiltrado. Estas medidas de ahorro energético se pueden clasificar siguiendo el criterio contemplado en diversas guías técnicas para la Rehabilitación de la Envoltura Térmica de los Edificios<sup>72</sup>, publicadas por el IDAE.

#### 2.4.3.2.- Medidas activas de ahorro energético

Por otro lado, las medidas activas de ahorro energético inciden directamente sobre el rendimiento de los equipos térmicos y su régimen de funcionamiento (al igual que en los sistemas lumínicos en el caso de edificios de uso terciario).

---

<sup>71</sup> Gobierno de España – Ministerio de Vivienda: Orden VIV/984/2009 de 15 de abril, por la que se modifican determinados documentos básicos del Código Técnico de la Edificación aprobados por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, y el Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre. (BOE 23-abril-2009). Madrid, 2009.

<sup>72</sup> Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital – IDAE: Guía Técnica para la Rehabilitación de la Envoltura Térmica de los Edificios con Sistemas Compuestos de Aislamiento Térmico por el Exterior (SATE). Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Madrid, 2012.

Este tipo de intervenciones tienen una mayor eficacia energética, ya que inciden directamente sobre el consumo de energía. Generalmente, tienen un coste inferior que la mayoría de las medidas pasivas utilizadas con mayor frecuencia, por lo que pueden amortizarse en un período de tiempo más corto.

Su eficacia también depende del grado de centralización del sistema, siendo más elevada en los sistemas colectivos y centralizados. Según la Norma UNE 100.000 – 1995 “*Climatización Terminología*”<sup>73</sup>, las definiciones de instalación unitaria, individual, colectiva y centralizada son las siguientes:

- *Instalación Unitaria*: Aquella en la que la producción de frío y/o calor es independiente para cada local.
- *Instalación Individual*: Aquella en la que la producción de frío o de calor es independiente para cada usuario.
- *Instalación centralizada*: Aquella en la que la producción de calor y/o frío se realiza en una central desde la cual se transporta la energía térmica a diversos subsistemas o unidades terminales por medio de un fluido calo-portador.
- *Instalación colectiva*: instalación centralizada que produce de frío y/o calor y, sirve a un conjunto de usuarios dentro de un mismo edificio [ATEC 08].

Como ejemplos de medidas activas de ahorro energético podemos considerar las siguientes:

*a. Adaptar o Sustituir una caldera existente por otra de mayor rendimiento*

Se pretende reducir el consumo energético mediante el incremento del rendimiento del equipo. En los casos de adaptación, generalmente se sustituye el grupo quemador, en el caso de sustitución se suele optar por equipos con rendimientos más elevados denominados de alta eficiencia, o también por el uso de nuevas tecnologías como sistemas de cogeneración o calderas de baja temperatura para suelo radiante.

Esta medida se adopta en los casos en los que se detecte un bajo rendimiento nominal del equipo térmico, este descenso tiene como consecuencia directa que el equipo quema más combustible para producir la misma energía calorífica.

*b. Sustitución de equipos autónomos por otros de mejor rendimiento*

Es una medida similar a la anterior, pero aplicada sobre equipos térmicos autónomos, que generalmente utilizan el efecto Joule para producir calor. También aplicable para equipos de producción de frío.

En este caso es fácil determinar el rendimiento nominal o la calificación energética del equipo, ya que suelen incorporar una etiqueta con las características energéticas. Un ejemplo es la sustitución de radiadores eléctricos directos por radiadores térmicos de aceite con regulación termostática.

La sustitución debe considerarse en este tipo de equipos autónomos, cuando se detecten equipos obsoletos, antiguos y que carecen de sistemas de regulación termostática.

---

<sup>73</sup> AENOR: Norma UNE 100000:1995. Climatización. Terminología. Publicado por Asociación Española de Normalización y Certificación. Madrid, 1995.



El efecto es la reducción del consumo eléctrico, ya sea por incremento del rendimiento del equipo nuevo o por la mejor regulación de su funcionamiento.

*c. Sustitución de plantas enfriadoras por otras de mejor rendimiento*

Es similar a las dos anteriores, pero aplicada sobre equipos centralizados de refrigeración, utilizados habitualmente en grandes edificios terciarios (hoteles, centros comerciales, etc.). Este tipo de medida, una vez conocido el rendimiento nominal del equipo, consiste en la sustitución de la planta enfriadora obsoleta (ya sea por antigüedad o por tecnología) que presenta un rendimiento real sensiblemente inferior al nominal. El incremento del rendimiento logrado con el nuevo equipo, reduce el consumo de electricidad proporcionalmente.

*d. Fraccionamiento de potencia*

Consiste en la producción escalonada de energía térmica, ya sea por la incorporación de sistemas de regulación variable en el equipo térmico, o bien por la utilización de dos o más equipos, los cuales funcionan de forma simultánea cuando se requiere atender la demanda máxima prevista.

Es aplicable tanto a edificios de uso residencial como los de uso terciario.

El objetivo de esta medida es mejorar el rendimiento medio estacional anual mediante el ajuste de la potencia necesaria para la producción de calor o frío según la demanda requerida a lo largo del año.

En el caso de los equipos de producción de calor, este tipo de medida está orientada a los siguientes casos:

- Equipos de potencia elevada que satisfacen la demanda energética de los servicios de calefacción y agua caliente sanitaria; por lo que se puede proponer el fraccionamiento en dos equipos para atenderlos independientemente.

De esta forma el equipo encargado de la calefacción solo funciona los meses de invierno, y el equipo de agua caliente sanitaria (que posee una potencia considerablemente inferior) atiende la demanda de agua caliente sanitaria durante todo el año.

- En las instalaciones térmicas cuyos generadores utilicen el efecto Joule, y en los que se hayan detectado periodos amplios de operación a baja carga parcial.

En el caso de la refrigeración, esta medida se aplica en instalaciones donde se haya detectado una diferencia importante oferta y demanda frigorífica, lo que produce que el equipo utilice secuencias de ciclo corto en la producción frigorífica.

Tanto para el caso de producción de calor como para refrigeración, se consigue una disminución importante en el consumo energético, ya que se ajusta la potencia a la demanda variable a lo largo del año; con la correspondiente mejora del rendimiento estacional de la producción de calor y frío.

Este tipo de intervención corrige la tendencia a sobredimensionar el equipo térmico, ya que se debe atender la demanda punta generada por las situaciones más desfavorables en las que la demanda energética es alta (generalmente esta variación de la demanda está ocasionada por las condiciones climáticas, por el régimen de uso o por el número de usuarios que utilizan de forma simultánea el inmueble).

La mejora del fraccionamiento de potencia, permite una mayor adaptación de la potencia consumida por los equipos térmicos a la curva de carga necesaria para satisfacer las necesidades reales del inmueble, con la consiguiente mejora del rendimiento estacional.

Para medir el ahorro en consumo de energía que provoca la mejora, se puede calcular el rendimiento medio de la instalación mediante la siguiente ecuación:

$$\mu = \frac{\mu_1.C_1 + \mu_2.C_2}{C_1+C_2}$$

Donde:

$\mu_1$ : es el rendimiento medio estacional del sistema 1.

$\mu_2$ : es el rendimiento medio estacional del sistema 2.

$C_1$ : es el consumo del sistema 1.

$C_2$ : es el consumo del sistema 2.

*Ecuación 13: Cálculo del rendimiento conjunto de equipos fraccionados*

*e. Incorporación de evaporación a condensadores de aire*

Este tipo de medida logra el aumento del coeficiente de eficiencia energética de la planta enfriadora.

Es aplicable a cualquier equipo frigorífico, siendo más interesante cuanto mayor sea la potencia del equipo. En este caso se reduce la temperatura de condensación, por lo que se mejora el rendimiento medio estacional del equipo térmico y se reducen significativamente el consumo energético.

*f. Mejora del aislamiento de las redes hidráulicas*

Con esta medida se pretende reducir el consumo de energía mediante la reducción de las pérdidas de calor producidas a través de la red de distribución de agua caliente sanitaria y/o calefacción.

Esta medida es aplicable en redes hidráulicas que carecen de aislamiento térmico, que atraviesan o discurren por estancias no habitables o habitables no acondicionadas térmicamente, en las cuales se produce una cesión de calor no productivo al ambiente no acondicionado térmicamente.

Se deben generalmente a un diseño no adecuado o a una ejecución incorrecta de las redes, los efectos que causan son los siguientes:

- Un excesivo enfriamiento en la red de impulsión por la cesión de calor a ambientes no calefactados, se traduce en un incremento del tiempo de funcionamiento del equipo térmico y por lo tanto un incremento del consumo energético.
- Al intentar corregir el enfriamiento de la red de impulsión mediante un aumento de la temperatura de salida en el equipo, para compensar la pérdida térmica producida, también produce un incremento del consumo.
- En los sistemas dedicados a la producción de agua caliente sanitaria, esta pérdida térmica en la red hidráulica se compensa aumentando la cantidad de agua caliente utilizada, por lo que se incrementa el consumo energético de forma proporcional.
- En los casos de distribución por conductos de aire de gran longitud, a la problemática de la falta de aislamiento térmico en la impulsión o que éste sea insuficiente, adquiere mayor relevancia, ya que la superficie expuesta a un ambiente con una temperatura inferior es mayor.

La solución técnica a implementar consiste en revestir la tubería o el conducto con una lámina aislante, cuyo espesor varía en función de la diferencia térmica existente entre el fluido térmico y del ambiente no calefactado que atraviesa.

*g. Enfriamiento por infiltración directa de aire exterior*

El empleo deliberado de aire exterior en el acondicionamiento interior del edificio a través de aireadores directos, aberturas de admisión o de conductos conectados con el exterior, se ha utilizado con más intensidad en los últimos años. Esta medida consiste en infiltrar aire del exterior en el interior de las estancias, cuando sus condiciones termo-higrométricas permiten satisfacer total o parcialmente la carga térmica requerida para los locales.

En este caso, la energía de refrigeración que proporciona el aire exterior, reduce directamente la energía consumida por el equipo térmico, especialmente en las UTA, ya que las baterías térmicas permanecen desconectadas (total o parcialmente) y solo intervienen los sistemas de impulsión de aire.

*h. Enfriamiento evaporativo del aire de ventilación*

Esta medida consiste en utilizar el enfriamiento evaporativo del aire primario durante los meses de verano en los que se requiera de refrigeración. Se aplica tanto a equipos térmicos de caudal fijo, como de caudal variable. Generalmente se aplica cuando las condiciones de temperatura y humedad exterior permiten la reducción de temperatura, bien de forma adiabática o directa mediante el aumento de humedad en el interior del local.

Eliminación total o parcial de la carga de ventilación que supone en la batería el tratamiento del aire exterior, supone una fuente de refrigeración natural, por lo que produce una reducción del consumo de energía.

*i. Utilización de la energía solar como apoyo a la producción térmica*

Desde la entrada en vigor del Código Técnico de la Edificación en el año 2006, los edificios deben disponer de sistemas solares de apoyo a la producción de agua caliente sanitaria. Esta contribución depende de la zona climática en la que se ubique el inmueble. No obstante, los sistemas solares térmicos pueden utilizarse en cualquier tipo de inmueble, en el que se disponga de una superficie suficiente que permita la instalación de captadores solares térmicos orientados preferentemente al Sur.

Los sistemas solares térmicos generalmente sirven al propósito de producir agua caliente sanitaria, pero también pueden atender otras demandas caloríficas, como por ejemplo apoyo a la producción de agua caliente para sistemas de calefacción por suelo radiante. En este caso, esta medida reduce el consumo de energía primaria de origen no renovable, por lo que repercute directamente sobre el consumo de energía térmica.

Evidentemente cuanto mayor sea la potencia instalada en el sistema de captación, mayor será el ahorro energético que se produce; pero debido a su elevado coste, es necesario realizar un análisis realista para determinar la viabilidad económica de la inversión y su período de amortización.

En las instalaciones solares térmicas destinadas a la producción de agua caliente sanitaria en edificios de uso residencial vivienda, esta viabilidad económica se reduce de forma apreciable para contribuciones que superen en aproximadamente en un 20% las mínimas recomendadas por la sección HE4 del documento básico HE de ahorro de energía del CTE[DBHE13], en el siguiente cuadro, se contemplan las recomendaciones del autor, basadas en su experiencia en intervenciones similares en numerosos proyectos cuyo dimensionado se comprobó con el método F-chart y aplicaciones CENSOLAR<sup>74</sup>:

Demanda total de ACS del edificio (l/d)	ZONAS CLIMÁTICAS									
	I		II		III		IV		V	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
50-1000	30	<b>36</b>	30	<b>36</b>	40	<b>48</b>	50	<b>57</b>	60	<b>68</b>
1000-5000	30	<b>36</b>	30	<b>36</b>	40	<b>48</b>	50	<b>57</b>	60	<b>68</b>
5000-10000	30	<b>36</b>	40	<b>48</b>	50	<b>57</b>	60	<b>68</b>	70	<b>79</b>
>1000	30	<b>36</b>	50	<b>57</b>	60	<b>68</b>	70	<b>79</b>	70	<b>79</b>

*Tabla 57: Contribuciones máximas recomendadas para producción de agua caliente sanitaria mediante sistemas de captación solar térmica, teniendo en cuenta su viabilidad económica (recomendaciones del autor en base a cálculos realizados con el método F-Chart CENSOLAR, elaboración propia).*

*j. Utilización de sistemas de regulación y control automáticos en equipos térmicos*

Esta medida tiene por objeto optimizar el funcionamiento de los equipos térmicos del edificio (en tiempo e intensidad), mediante la utilización de sistemas electrónicos que puedan intervenir en la gestión del sistema de generación de calor o frío, mediante el uso de centralitas de regulación, sondas que midan las condiciones de temperatura y humedad en diversos puntos del exterior y del interior del edificio, así como de electroválvulas (dos o tres vías) que permitan direccionar el flujo del fluido térmico hacia las zonas en las que hay más demanda térmica.

<sup>74</sup> Centro de Estudios de la Energía Solar (CENSOLAR): Aplicación web CenSOL5. <http://www.censolar.es/censol50.htm>

Estos sistemas automáticos de regulación y control, varían su complejidad dependiendo del número de parámetros que se controle y del grado de intervención que el sistema tenga sobre los equipos de generación térmica.

Soluciones tan simples como la instalación de válvulas termostáticas en los radiadores de un sistema de calefacción tradicional, permitiendo un control de cada una de las estancias, por lo que permitirá la circulación del fluido a los radiadores de los locales en los que no se haya llegado a la temperatura deseada, y corta el flujo en aquellos radiadores donde la temperatura ambiente iguala o supera la temperatura interior de consigna, de tal forma que se puede reducir el consumo energético que puede llegar valores en el entorno del 10-12%.

Pero también existen sistemas automáticos de regulación y control complejos, en los que se implantan numerosas sondas para medir condiciones ambientales interiores y exteriores, con centralitas con capacidad para intervenir en los sistemas de calefacción o refrigeración e incluso dependiendo del grado de radiación solar captada por una fachada, accionar el cierre automático de persianas, con el objeto de reducir la distorsión térmica causada en las superficies acristaladas.

En este tipo de sistemas, el ahorro energético logrado es significativo, puede llegar a producir reducciones del consumo energético en valores que oscilen entre el 30 y el 35%.

Por todo ello, es necesario realizar un estudio detallado para determinar los parámetros y zonas a controlar y el nivel de intervención que se requiere en función del tipo de instalación y el uso al que se destine el edificio.

#### *k. Medidas de ahorro energético en sistemas lumínicos*

Consiste en realizar un ajuste del nivel de iluminancia, incorporar detectores de presencia y sustituir lámparas obsoletas por otras con un rendimiento lumínico más elevado (lm/W).

En algunos casos se puede plantear de forma complementaria sistemas de captación fotovoltaica, para producir energía eléctrica destinada específicamente al sistema de iluminación.

Este tipo de intervenciones generalmente se adoptan en los sistemas de alumbrado general en los cuales se utilicen lámparas con un rendimiento bajo.

La sustitución de lámparas, la incorporación de sistemas de regulación por presencia o temporizadas, o la adopción de ambas medidas de forma simultánea; suponen el tipo de intervenciones más frecuentes (por ejemplo: sustitución de lámparas incandescentes o de vapor por lámparas led).

Además de lograr un considerable ahorro energético, también se reducen los costes de reposición, ya que generalmente se instalan lámparas nuevas mayor duración (una lámpara incandescente tiene una duración de 2.000 a 5.000 horas, y una lámpara de vapor para interior tiene una duración de 8.000 a 12.000 horas; una lámpara led suele tener una vida útil superior a las 20.000 horas).

## 2.5.- Fundamentos y exigencias normativas relacionados con la calidad del aire interior en los edificios

Desde finales del siglo XIX, se ha producido un movimiento migratorio incesante, en los países con economías desarrolladas, desde las zonas rurales a las ciudades. Este éxodo rural, ha sido especialmente intenso en Europa; lo que ha supuesto un cambio drástico en el entorno social, económico y medioambiental para millones de seres humanos.

Este entorno urbano, entre otros efectos, ha causado que mayoría de las actividades cotidianas de las personas, se desarrollen en espacios cerrados en el interior de los edificios, la magnitud de esta realidad se puede describir con los siguientes datos:

- La sociedad actual es fundamentalmente urbana, según el informe<sup>75</sup> “Estado de la población mundial de la ONU de 2014” el 54% de la población mundial vive en ciudades, siendo la perspectiva para el año 2050 que el 66% de la población mundial vivirá en núcleos urbanos.
- Según el INSHT, en la publicación “Control ambiental en interiores”<sup>76</sup>, el ciudadano urbano pasa entre el 80% y el 90% de su tiempo realizando actividades sedentarias, tanto durante el trabajo como durante el tiempo de ocio.
- Según la OMS, En los últimos 50 años, se ha producido un incremento considerable de enfermedades relacionadas con ambientes interiores que presentan condiciones ambientales inadecuadas.

Estos datos evidencian que las personas pasan la mayor parte de su tiempo, tanto laboral como de ocio, en el interior de los edificios, respirando el aire que se encuentra confinado en el interior de sus estancias. Este aire que respiran los usuarios que viven o trabajan dentro del edificio, debe cumplir una serie de requisitos de salubridad e higiene.

Según la norma UNE 171.330 Calidad ambiental en interiores; se puede definir como “ambiente interior” como el *ambiente delimitado por la envolvente de los recintos destinados a cualquier uso excepto industrial y/o agrícola*.

Esta definición resulta excesivamente genérica, pues dentro del edificio existen numerosos tipos de recintos y no todos tienen la necesidad de ser acondicionados para la presencia humana, pues se destinan a usos secundarios o que no tienen asociada una ocupación permanente.

Por lo que una definición más adecuada del término “ambiente interior” podría ser: *el ambiente habitable, delimitado por la envolvente térmica de un edificio*. Es decir, constituye el ambiente en el que los usuarios desarrollan las actividades características del uso al que se destina el inmueble.

Por lo tanto el término “aire interior”, describe el volumen de aire que se encuentra confinado por la envolvente térmica del edificio.

---

<sup>75</sup> Das Gupta, M., Engelman, R., Levy, J. (UNFPA): El estado de la población mundial 2014. Editado por United Nations Population Fund. New York, 2014

<sup>76</sup> Hernández Calleja, A.; Adán Liébana, E.; Guash Farrás, J.: Control ambiental en interiores. Publicado por Instituto Nacional de la Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). Madrid, 1997

Así llegamos a la definición de lo que considera “*calidad de aire interior*” que se refiere a las condiciones ambientales en los espacios habitables adecuadas al usuario y su actividad; definida por los niveles de contaminación físico-química y microbiológica del aire.

La calidad del aire interior en edificios puede ser modificada por la variación de condiciones ambientales o por la interacción con sustancias que producen diversos efectos y consecuencias sobre la salud de las personas.

Por lo que la modificación de condiciones ambientales (especialmente las termo-higrométricas) como la aparición de elevados índices de algunas sustancias, constituyen una amenaza para la salud de los ocupantes.

El estudio de las posibles soluciones a este problema ha dado lugar a un nuevo campo de conocimiento denominado Calidad de ambientes Interiores o IEQ (Indoor Environmental Quality), esta calidad se determina mediante la medición de algunos parámetros relacionados con los factores ambientales y con los contenidos de las sustancias existentes en el ambiente interior de las distintas zonas del edificio que están relacionadas con los factores de riesgo.

En relación a los efectos que sobre la salud tiene estos factores ambientales, los organismos internacionales como la Organización Mundial de la Salud, la Comisión Europea, y los nacionales, tienen ya legislación, informes y estudios relacionados con la contaminación del aire interior:

- La acción 12 del “*Plan de acción europeo de Medio ambiente y Salud*” (2004-2010) hace referencia explícita a la mejora de la calidad del aire en el interior de los edificios.
- “*La Estrategia española de calidad del aire*” también hace referencia a la calidad del aire interior y lo menciona especialmente dentro del grupo de trabajo de calidad de aire y salud.
- La Organización Mundial de la Salud estima en uno de sus informes [GUEL 14] que la contaminación ambiental debida a partículas es responsable de 1,4% de todas las muertes en el mundo.
- La contaminación atmosférica en interiores tendría un efecto aún mayor, especialmente en países en vías de desarrollo debido al uso de combustibles fósiles en los hogares para cocinar y calentarse.

En este apartado se exponen brevemente, algunos conceptos básicos y exigencias normativas relacionadas con la calidad de aire interior de los edificios.

#### 2.5.2.- Normativa técnica aplicable a la calidad de aire interior en edificios

En este apartado se revisa el marco normativo aplicable para establecer las exigencias relativas a la IAQ.

##### 2.5.2.1.- CTE Código Técnico de la Edificación – Documento básico HS – Requisitos relativos a la salubridad (sección HS3 – Requisitos relativos a la calidad de aire interior).

En esta sección de la norma, se fijan los requisitos que los edificios de uso residencial y uso terciario relativos a la calidad de aire interior de las viviendas, los almacenes de residuos, los trasteros, los aparcamientos y garajes.

En esencia, se fijan los caudales mínimos de ventilación para cada tipo de espacio estancia y establece criterios generales de diseño para las redes de ventilación, que ya fue expuesta anteriormente y que para facilitar la lectura del presente documento se incorpora de nuevo:

Tipo de estancia	Caudal de ventilación mínimo exigido $q_v$ en l/s		
	Por ocupante	Por $m^2$ útil	Otros parámetros
Dormitorios	5		
Salas de estar y comedores	3		
Aseos y cuartos de baño			15 por local
Cocinas		2	50 por local
Trasteros y sus zonas comunes		0,7	
Aparcamientos y garajes			120 por plaza
Almacenes de residuos		10	

Tabla 32: Caudales de ventilación mínimos exigidos para viviendas en l/s (Apartado 2.1 del CTE DB HS 3 – 2009)

El sistema de ventilación que establece la sección HS3 Calidad de Aire Interior, del documento básico de Salubridad del CTE, varía en función del tipo de uso al que se destine la estancia o local, de la forma en que se describe a continuación:

*Para viviendas:* El sistema de ventilación propuesto está basado en la infiltración de aire procedente del exterior en dormitorios y salones, mediante aberturas de admisión directa en el cerramiento vertical; y la extracción se realiza a través de cocinas y cuartos de baño, a través de aberturas de extracción conectadas a un sistema de conductos en los que se produce un tiro natural o forzado. Sirviendo los pasillos y distribuidores cámaras de conexión entre las estancias en las que se produce la admisión de aire y los cuartos húmedos en los que se produce la extracción. Si se tiene en cuenta lo expuesto en el Reglamento de Instalaciones Térmicas (RITE), en referencia a las categorías de aire; el sistema de ventilación propuesto por el HS3 para las viviendas (teniendo en cuenta el criterio de ocupación simultánea en dormitorios y salón) se corresponde con un ambiente interior de categoría IDA3 (con un caudal unitario de 8 l/s.persona y un máximo admisible de 800 p.p.m. de concentración de  $CO_2$ ), valores que nos servirán de referencia para el trabajo de campo.

#### 2.5.2.2.- Calidad de Aire Interior en el Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios

El Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios y *Real Decreto 238/2013, de 5 de abril, por el que se modifican determinados artículos e instrucciones técnicas del RITE.*

En este reglamento técnico, se establecen las condiciones termo-higrométricas requeridas en el ambiente interior de los edificios, así como las exigencias de eficiencia energética y seguridad, que deben cumplir las instalaciones térmicas y de ventilación de los edificios, sistemas destinados a atender la demanda de bienestar e higiene de las personas, estableciendo criterios específicos para el diseño, montaje y mantenimiento. En referencia a la calidad de aire interior, complementa lo expuesto en el documento básico HS del CTE en su sección HS3 Calidad de Aire Interior, estableciendo los requisitos para las distintas calidades de aire interior, los cuales resumimos en la tabla adjunta:



Categoría	Descripción	dm <sup>3</sup> /s por persona	Concentración de CO <sub>2</sub> en ppm
IDA 1	aire de óptima calidad	20	350
IDA 2	aire de buena calidad	12.5	500
IDA 3	aire de calidad media	8	800
IDA 4	aire de calidad baja	5	1200

Tabla 58: Caudal mínimo de aire exterior y concentración máxima de CO<sub>2</sub> para locales en edificios por categoría de ambiente interior (Instrucción técnica 1.1 Exigencia de bienestar e higiene)

### 2.5.2.3.- Normas UNE relacionadas con la calidad ambiental en interiores

#### a) NORMA UNE 171330 – CALIDAD AMBIENTAL EN INTERIORES

Esta norma se desarrolla con el objeto de establecer un sistema paso a paso de diagnóstico, inspección y gestión de los ambientes interiores. El campo de aplicación de esta norma es el ambiente interior de todo tipo de recintos, instalaciones y edificaciones, exceptuando aquellos que se destinan a actividades desarrolladas en procesos industriales y agrícolas. Consta de 3 partes:

*Parte 1 – Diagnóstico de calidad ambiental interior (2008):* Esta parte de la norma tiene como objeto describir una metodología para la elaboración de un diagnóstico inicial de la calidad y salud ambiental en interiores. Dicho diagnóstico tiene implicaciones en la prevención de riesgos ambientales para la salud en general y, en concreto, para la salud pública en edificios e instalaciones urbanas. El diagnóstico inicial de la calidad y salud ambiental en interiores es el primer paso para establecer un sistema de gestión de la calidad ambiental en interiores en un edificio.

*Parte 2 – Procedimientos de inspección de calidad ambiental interior (2009):* Esta parte de la norma describe la parte de valoración e inspección como continuación al proceso de diagnóstico descrito en la norma UNE 171330-1, aportando la metodología a aplicar en la valoración de los aspectos ambientales mediante la inspección y toma de muestras de contaminantes del ambiente interior.

*Parte 3 – Sistema de gestión de los ambientes interiores (2010):* Esta parte de la norma establece requisitos para la implantación de un sistema de gestión de la calidad de los ambientes interiores de cara a las auditorías y a la certificación de una adecuada calidad ambiental en un edificio.

#### b) NORMA UNE 171210 – CALIDAD AMBIENTAL EN INTERIORES – BUENAS PRÁCTICAS EN LOS PLANES DE DESINFECCIÓN, DESINSECTACIÓN Y DESRATIZACIÓN (2008)

Esta norma va dirigida a los titulares de edificios, instalaciones o actividades, servicios de control de plagas, empresas de asesoría y control, usuarios de instalaciones y colectivos profesionales interesados. El campo de aplicación de la norma son los ambientes interiores y el área de influencia exterior de las instalaciones interiores. Esta norma consta de una parte general, donde se establecen los procedimientos comunes en las operaciones de desinfección, desinsectación y desratización, y de varios anexos en los que se desarrollan aspectos específicos para las diferentes actuaciones que se llevan a cabo.

- c) NORMA UNE 171212 – CALIDAD DE AIRE INTERIOR – BUENAS PRÁCTICAS EN LAS OPERACIONES DE LIMPIEZA (2008)

Esta norma tiene como objeto definir los sistemas, procedimientos y productos de limpieza a utilizar con el fin de evitar que las operaciones de limpieza comprometan la calidad del aire interior.

Dependiendo del tipo de superficie a limpiar, se deben aplicar unos sistemas, procedimientos y productos determinados con el fin de conseguir el nivel de limpieza deseado y no difundir en el aire interior partículas en suspensión procedentes de la realización de una incorrecta operación de limpieza.

- d) NORMA UNE- EN 15251 – PARÁMETROS DEL AMBIENTE INTERIOR A CONSIDERAR PARA EL DISEÑO Y LA EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE EDIFICIOS INCLUYENDO LA CALIDAD DEL AIRE INTERIOR, CONDICIONES TÉRMICAS, ILUMINACIÓN Y RUIDO (2008)

Esta norma define cómo establecer y definir los principales parámetros para utilizarse como datos de partida para el cálculo energético del edificio y para la evaluación a largo plazo del ambiente interior.

La norma es aplicable principalmente a edificios no industriales, donde los criterios para el ambiente interior se establecen por la ocupación humana y donde la producción o proceso no tiene un mayor impacto sobre el ambiente interior.

En ella se especifican varias categorías diferentes del ambiente interior, las cuales pueden seleccionarse para el espacio que debe ser acondicionado, en función de diversos requisitos. Las diferentes categorías de criterios pueden seleccionarse dependiendo del tipo de edificio, tipo de ocupantes, tipo de clima y diferencias a nivel nacional.

- e) NORMA UNE-EN 13779 – VENTILACIÓN DE LOS EDIFICIOS NO RESIDENCIALES. REQUISITOS DE PRESTACIONES DE SISTEMAS DE VENTILACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DE RECINTOS (2008)

Esta norma proporciona directrices, especialmente para los proyectistas, propietarios y usuarios de edificios de uso no residencial pero con ocupación humana (excluyéndose las aplicaciones relacionadas con los procesos industriales), sobre los sistemas de ventilación, acondicionamiento de aire y climatización de recintos, con el fin de lograr un ambiente interior confortable y saludable en todas las estaciones, con costes de instalación y funcionamiento aceptables.

#### 2.5.2.4. Normativa del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), relativas a la calidad de aire interior.

El Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), es un organismo dependiente del Ministerio de Empleo y Seguridad Social, elaborado una serie de documentos técnicos, denominados Notas Técnicas de Prevención, que abordan aspectos metodológicos, relacionados con la problemática surgida por la falta de calidad del aire en los espacios interiores de los edificios:

- *NTP 243: Ambientes cerrados: calidad del aire* [BEMA 89] (proporciona fundamentos y conceptos relacionados con la calidad del aire en ambientes interiores de edificios y describe de forma simple los diversos tipos de contaminantes que intervienen en el proceso de contaminación del ambiente interior del edificio).
- *NTP 289: Síndrome del edificio enfermo: factores de riesgo* [BERE 91] (enumera y define los factores que provocan la sintomatología relacionada con el síndrome del edificio enfermo).
- *NTP 290: El síndrome del edificio enfermo: cuestionario para su detección* [SOLE 89] (tiene como objetivo proponer un modelo de cuestionario, preparado y utilizado por el Grupo de trabajo sobre el Síndrome del Edificio Enfermo del Centro Nacional de Condiciones de Trabajo, y cuya finalidad es recoger la información necesaria sobre las quejas planteadas por los ocupantes del Edificio Patógeno buscando la definición precisa de las mismas, así como su magnitud y distribución. El análisis de los datos así obtenidos permitirá decidir la estrategia de actuación posterior.)
- *NTP 315: Calidad del aire: gases presentes a bajas concentraciones en ambientes cerrados* [FREI 93] (indica los contenidos máximos admisibles para este tipo de contaminantes).
- *NTP 343: Nuevos criterios para futuros estándares de ventilación de interiores* [HECA 92] (recomendaciones para realizar una renovación del aire en espacios interiores).
- *NTP 380: El síndrome del edificio enfermo: cuestionario simplificado* [SOGO 94] (modelo de encuesta simplificado para la detección del síndrome del edificio enfermo).
- *NTP 431: Caracterización de la calidad del aire en ambientes interiores* [BERE 94] (En esta NTP se presenta un esquema para efectuar, de forma ordenada y efectiva, una investigación básica de calidad de aire interior en un edificio).
- *NTP 521: Calidad de aire interior: emisiones de materiales utilizados en la construcción* [BERE 99] (En esta NTP, se revisan los diferentes tipos de materiales utilizados con más frecuencia en un edificio con el fin de proporcionar información que permita evaluar su impacto en el ambiente interior del mismo).
- *NTP 549: El dióxido de carbono en la evaluación de la calidad del aire interior* [BERE 00] (explica los efectos de la presencia del dióxido de carbono en ambientes interiores y las concentraciones máximas admitidas).
- *NTP 607: Guías de calidad de aire interior: contaminantes químicos* [BASA 01] (El objetivo de esta NTP es orientar sobre la disponibilidad de valores de referencia que puedan ser utilizados como guía para la evaluación de la calidad del aire en ambientes interiores).
- *NTP 972: Calidad de aire interior: compuestos orgánicos volátiles, olores y confort* [GAPI 13] (En esta NTP, se consideran las diferentes fuentes y tipos de contaminación por compuestos orgánicos volátiles en edificios y se presentan las metodologías para determinar los olores y el confort, y las bases para la evaluación de la calidad del aire interior).

## 2.6.- Factores ambientales de riesgo en el ambiente interior de los edificios

Son numerosos los factores ambientales, que existen en el ambiente interior del edificio, que pueden incidir negativamente en la salud de sus ocupantes, el riesgo de que provoquen algún síntoma o dolencia, es proporcional a la cantidad de sustancia que existe en el ambiente interior y al tiempo de exposición de la persona a esa sustancia contaminante.

Debido a las características de los ambientes interiores en los edificios, los contaminantes están dispersos en el aire interior o son propagados a las estancias por los conductos de climatización, depositándose en la epidermis, introduciéndose en el tracto respiratorio de los ocupantes o afectando a mucosas expuestas al ambiente interior; en algunos casos algunas sustancias pueden ser absorbidas o acumularse, afectando a tejidos y órganos internos.

La exposición prolongada de los usuarios a ambientes interiores en los que la presencia de algunos agentes contaminantes que superen los valores máximos recomendados, provocan un cuadro sintomático complejo; algunos de los síntomas más frecuentes relacionados con una pobre calidad de aire son: cefaleas, irritación de ojos y garganta, mareos, fatiga, piel seca, náuseas, congestión nasal y tos.

Debido a la exposición prolongada a este ambiente y a que estos síntomas dificultan las tareas habituales que realizan las personas en el interior de los edificios; además de los síntomas fisiológicos, también aparecen síntomas psicológicos producidos por la ausencia de confort ambiental, por lo que pueden situaciones de estrés, irritabilidad, cambios en el estado de ánimo; afectando negativamente a las relaciones interpersonales.

### 2.6.1.- Factores que inciden en la calidad de aire interior

Debido al gran número de factores que pueden desencadenar un cuadro sintomatológico tan complejo, es conveniente prestar atención a aquellos que presentan una mayor incidencia sobre el deterioro del ambiente interior, que dependerá del número de ocupantes y del tipo de actividades que se desarrollan en el ambiente interior del edificio.

Los factores ambientales y las sustancias contaminantes que más frecuentemente están involucradas en la producción de estos síntomas aparentes, han sido identificados en numerosos estudios, y se pueden agrupar según su origen en las siguientes categorías:

- a) Factores ambientales de origen físico: Temperatura y humedad inadecuada, nivel de iluminación insuficiente, nivel de ruido elevado.
- b) Contaminantes de origen inorgánico: Monóxido de carbono, dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, partículas, fibras minerales, ozono, óxidos de azufre, ambientadores, desinfectantes e insecticidas.
- c) Contaminantes de origen orgánico: Compuestos orgánicos volátiles (COV)
- d) Contaminantes de origen biológico: Virus, hongos, bacterias, ácaros. Hongos, mohos, ácaros insectos, polen de plantas.

2.6.2.- Criterios de valoración para medir los factores ambientales relacionados con la calidad de aire interior

En este apartado se exponen los criterios de valoración normativos para factores ambientales de origen físico y para sustancias contaminantes.

En el caso de los factores ambientales (temperatura y humedad), los criterios a considerar son los contemplados en el Reglamento de Instalaciones Térmicas de los edificios (2013), en el que se establece, por una parte, las condiciones interiores requeridas en los edificios (temperatura y humedad relativa) y por otra parte los requerimientos que debe cumplir el aire interior en cuanto a calidad del aire, determinada por la presencia de elementos contaminantes en el mismo.

Las condiciones interiores que se recogen en la tabla 1.4.1.1. RITE exponen los rangos de valores para temperaturas y humedades de confort ambiental de diseño:

Época	Temperatura operativa (°C)	Humedad relativa (%)
Verano	23-25	45-60
Invierno	21-23	40-50

Tabla 59: Intervalo de temperatura operativa y humedad relativa exigibles para ambientes interiores en los edificios (RITE tabla 1.4.1.1 – Confort Ambiental).

Para los contaminantes más habituales, los parámetros, los métodos de control y los criterios de valoración, se fijan en la norma UNE 171.330-2:2009 Calidad ambiental en interiores: Procedimientos de inspección de calidad ambiental interior, concretamente en su artículo 5.3 “Métodos de análisis y criterios de valoración” (tabla 2):

PARAMETRO	MÉTODO	CRITERIO DE VALORACIÓN	
		CALIDAD DE AIRE	NORMA/REGLAMENTO
Temperatura y humedad relativa	Equipos de medición directa	Verano: 23-25°C / 30-70% Invierno: 21-23°C / 30-70% Máximo año: 17-27%	RITE (R.D. 1027/2007) Valores max. (R.D.486/1997)
Dióxido de carbono CO <sub>2</sub>	Medición directa con sonda infrarrojos	Interior-exterior < 600ppm Valor límite máx. 2500 ppm	UNE EN 13779:2005
Monóxido de carbono CO	Célula electroquímica	Recomendado < 5ppm Máximo: 19ppm	R.D. 1073/2002
Partículas en suspensión	Gravimetría NIOSH Medición directa	Recomendado < 50 µ/m <sup>3</sup> Máximo: 1.000 µ/m <sup>3</sup>	R.D. 1073/2002
Conteo de partículas	Equipo de difracción rayos laser	Clase ISO 9: < 35.200.000 part. De 0.5 µ/m <sup>3</sup>	UNE EN 14.644:1999
Bacterias y hongos en suspensión	SAS (por impactación)	800 ufc/m <sup>3</sup>	UNE 100012
		200 ufc/m <sup>3</sup>	

Tabla 60: Métodos de control y criterios para la valoración de parámetros relacionados con la calidad de aire interior (según norma UNE 171330-2:2009, artículo 5.3 Métodos de análisis y criterios de valoración)

Se han seleccionado los siguientes parámetros para verificar la calidad de aire interior en los edificios públicos: Temperatura, humedad relativa y dióxido de carbono.

### 2.6.3.- El dióxido de carbono en la evaluación de la calidad del aire interior

El dióxido de carbono es un gas incoloro e inodoro, generalmente su origen está en procesos en los que tiene lugar la combustión de sustancias que contienen carbono. En ambientes interiores no industriales sus principales focos son la respiración humana, de animales, fotosíntesis en plantas y arbustos jóvenes; aunque los niveles de dióxido de carbono también pueden incrementarse por la existencia de otras combustiones (cocinas y calefacción) o por la proximidad de vías de tráfico, garajes o determinadas industrias. La concentración de dióxido de carbono en un ambiente interior puede aportar información sobre distintos aspectos y circunstancias de un edificio tales como posibilidad de efectos sobre la salud de sus ocupantes, correlación con problemas y quejas por olor o como dato para estudiar la ventilación de un local.

El dióxido de carbono es un asfixiante simple que actúa básicamente por desplazamiento del oxígeno y que a elevadas concentraciones (>30.000 ppm) puede causar dolor de cabeza, mareos, somnolencia y problemas respiratorios, dependiendo de la concentración y de la duración de la exposición [HECA 13]. Es un componente del aire exterior en el que se encuentra habitualmente a niveles entre 300 y 400 ppm, pudiendo alcanzar en zonas urbanas con tráfico intenso y lento, valores de hasta 550 ppm.

La emisión de dióxido de carbono en la respiración humana está ligada a la de otros productos procedentes del metabolismo humano (agua, aerosoles biológicos, partículas, alcoholes, aldehídos, etc.) llamados bioefluentes y responsables de la carga de olor por ocupación humana de un local. Para establecer valores de referencia se han realizado estudios con personas a distintas tasas de ventilación y aunque existen datos que sugieren que a 600 ppm los individuos más sensibles ya manifiestan quejas y molestias [BERE 00], en la práctica se acepta que no debe superarse una concentración de 1.000 ppm de dióxido de carbono con el fin de evitar problemas de olor y para que el aire sea considerado aceptable para aproximadamente el 80% de los visitantes del local.

Estudiar el funcionamiento de un sistema de ventilación implica, básicamente, la medición del caudal de ventilación. Este dato puede conocerse midiendo directamente el flujo de aire pero a menudo es más fácil realizar estimaciones a través de mediciones de dióxido de carbono; este método consiste en medir las concentraciones de dióxido de carbono en el aire exterior, en el aire saliente de las unidades de tratamiento del aire (aire de suministro) y en el aire de retorno. El porcentaje o cantidad de aire exterior se obtiene a partir de la expresión:

$$\text{Aire exterior (\%)} = \frac{Cr - Cs}{Cr - Co} \times 100$$

Donde:

Cs = ppm de CO<sub>2</sub> en el aire de suministro (si se mide en un local) o ppm de CO<sub>2</sub> en el aire de mezcla (si se mide en la unidad de tratamiento de aire)

CR = ppm de CO<sub>2</sub> en el aire de retorno

Co = ppm de CO<sub>2</sub> en el aire exterior

*Ecuación 14: Cálculo del porcentaje (%) de aire exterior en función del contenido de CO<sub>2</sub> (Según criterio establecido en la NTP 549)*

## 2.7.- Relación entre la eficiencia energética y la calidad de aire interior en los edificios

Como ya se expuso en el apartado 2.3 del presente documento, El Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios [RITE 07], contiene tres exigencias técnicas que deben cumplir las instalaciones térmicas de los edificios: de bienestar e higiene, de eficiencia energética y de seguridad.

En el artículo 12 del RITE en lo referente a la exigencia de “Eficiencia Energética”, definen los requisitos de deben cumplir las instalaciones térmicas, entre las que se encuentran los sistemas de climatización en edificios públicos:

*“Las instalaciones térmicas deben diseñarse y calcularse, ejecutarse, mantenerse y utilizarse de tal forma que se reduzca el consumo de energía convencional de las instalaciones térmicas y, como consecuencia, las emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes atmosféricos, mediante la utilización de sistemas eficientes energéticamente, de sistemas que permitan la recuperación de energía y la utilización de las energías renovables y de las energías residuales, cumpliendo los requisitos siguientes:*

*1. Rendimiento energético: los equipos de generación de calor y frío, así como los destinados al movimiento y transporte de fluidos, se seleccionarán en orden a conseguir que sus prestaciones, en cualquier condición de funcionamiento, estén lo más cercanas posible a su régimen de rendimiento máximo.*

*2. Distribución de calor y frío: los equipos y las conducciones de las instalaciones térmicas deben quedar aislados térmicamente, para conseguir que los fluidos portadores lleguen a las unidades terminales con temperaturas próximas a las de salida de los equipos de generación.*

*3. Regulación y control: las instalaciones estarán dotadas de los sistemas de regulación y control necesarios para que se puedan mantener las condiciones de diseño previstas en los locales climatizados, ajustando, al mismo tiempo, los consumos de energía a las variaciones de la demanda térmica, así como interrumpir el servicio.*

*4. Contabilización de consumos: las instalaciones térmicas deben estar equipadas con sistemas de contabilización para que el usuario conozca su consumo de energía, y para permitir el reparto de los gastos de explotación en función del consumo, entre distintos usuarios, cuando la instalación satisfaga la demanda de múltiples consumidores.*

*5. Recuperación de energía: las instalaciones térmicas incorporarán subsistemas que permitan el ahorro, la recuperación de energía y el aprovechamiento de energías residuales.*

*6. Utilización de energías renovables: las instalaciones térmicas aprovecharán las energías renovables disponibles, con el objetivo de cubrir con estas energías una parte de las necesidades del edificio”.*

Con referencia al requisito número 5 de “Recuperación de energía”, la Instrucción técnica 1.2.4.5 establece diversas estrategias para el diseño de las instalaciones térmicas, en concreto, entre las que se contempla realizar el aprovechamiento del aire de la red de extracción, con el objeto de realizar un aprovechamiento térmico.

Esta medida de ahorro energético, está descrita en el apartado 1.2.4.5.2. “Recuperación de calor del aire de extracción”, y consiste en lo siguiente:

1. En los sistemas de climatización de los edificios en los que el caudal de aire expulsado al exterior, por medios mecánicos, sea superior a 0,5 m<sup>3</sup>/s, se recuperará la energía del aire expulsado.
2. Sobre el lado del aire expulsado se instalará un aparato de enfriamiento adiabático, salvo que se justifique, con un aumento de la eficiencia del recuperador, que se superan los resultados de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>.
3. Las eficiencias mínimas en calor sensible sobre el aire exterior (%) y las pérdidas de presión máximas (Pa) en función del caudal de aire exterior (m<sup>3</sup>/s) y de las horas anuales de funcionamiento del sistema deben ser como mínimo las indicadas en la tabla 2.4.5.1.

Horas anuales de funcionamiento	Caudal de aire exterior (m <sup>3</sup> /s)									
	> 0,5 ... 1,5		> 1,5 ... 3,0		> 3,0 ... 6,0		> 6,0 ... 12		> 12	
	%	Pa	%	Pa	%	Pa	%	Pa	%	Pa
<2.000	40	100	44	120	47	140	55	160	60	180
>2.000 ... 4.000	44	140	47	160	52	180	58	200	64	220
>4.000 ... 6.000	47	160	50	180	55	200	64	220	70	240
>6.000	50	180	55	200	60	220	70	240	75	260

Tabla 61: Exigencia de recuperación de calor del aire de extracción (I.T. 1.2.4.5 Eficiencia de la recuperación del RITE- Tabla 2.4.5.1).

Como se puede observar, esta recuperación térmica consiste en la reutilización del aire de extracción, mezclarlo con aire procedente del exterior y volverlo a recircular a través de la red de admisión.

Tradicionalmente, en los edificios públicos se han utilizado criterios de diseño para el cálculo de las cargas térmicas que daban como resultado valores entre 90 y 120 W/m<sup>2</sup>, dependiendo de la ganancia térmica a través de la fachada, uso y densidad de ocupación. La modificación del diseño de los sistemas de climatización en los edificios públicos, utilizando criterios basados en la eficiencia energética, ha venido reduciendo el valor de la carga térmica necesaria hasta valores próximos a los 70 W/m<sup>2</sup>.

No obstante, la reutilización del aire procedente de la red de extracción ha provocado una controversia relacionada con el incremento en el número de casos en los cuales la calidad de aire interior se ha visto deteriorada por incidencias relacionadas con errores de diseño o un mantenimiento inadecuado de la instalación. Este tipo de situaciones se ha producido con más intensidad en edificios públicos en los cuales se disponen sistemas centralizados de climatización aire-aire, en los cuales no se utiliza la ventilación natural.

En resumen para determinados sistemas de climatización, el criterio de eficiencia energética de la recuperación de calor del aire extraído y ya usado, incrementa el riesgo de que la calidad de aire interior se vea afectada, deteriorando las condiciones ambientales en las estancias habitables del edificio. En este difícil equilibrio, deben prevalecer las condiciones de salubridad del ambiente interior, garantizando que los usuarios disponen como mínimo, del nivel de calidad de aire previsto en la normativa técnica; por lo que en estos casos debe incentivarse el uso de medidas de ahorro energético pasivas, como el incremento del nivel de aislamiento térmico en la envolvente.



## 2.8. Inteligencia artificial, Redes de Neuronas Artificiales y Sistemas Adaptativos

Se denomina Inteligencia Artificial (IA) a la ciencia que intenta la creación de programas para máquinas que permitan imitar el comportamiento humano. Los primeros desarrollos relacionados con la IA datan de 1950 cuando se propone el “Test de Turing” [TURI 50]. Además, Alan Turing formuló la cuestión “¿Pueden pensar las máquinas?” [TURI 37]. Él aventuró que, en el plazo de un siglo, un ordenador debería ser capaz de pasar un test de inteligencia estándar (conocido como “El test de Turing”) en no menos del 30% de pruebas que se realizasen. Este es el objetivo del trabajo en el campo de los sistemas adaptativos y de la IA.

El término sistemas adaptativos abarca numerosas técnicas que, aplicadas a un problema, ajustan la relativa importancia de los parámetros de entrada de manera autónoma para conseguir la resolución de ese problema. Se quiere conseguir, por tanto, una autonomía en el aprendizaje de las máquinas, lo cual llevaría a un antiguo sueño en el reciente campo de estudio de la Inteligencia Artificial: la Programación Automática. Ya en la década de los 50 Arthur Samuel planteó esta cuestión: “¿Cómo pueden los ordenadores aprender a resolver problemas sin ser explícitamente programados?”. Con esta pregunta se iniciaba la creación de un nuevo campo de investigación basado en copiar estructuras presentes en la naturaleza, con el objetivo de conseguir sistemas que se adaptasen a su entorno de una forma similar a lo que ocurre en la naturaleza, campo de estudio llamado Computación Evolutiva.

Hoy en día, los investigadores sí son más optimistas respecto a la Programación Automática, dado el gran éxito que han tenido las técnicas de computación evolutiva, en concreto los Algoritmos Genéticos (AA.GG.) [HOLL 75] y la Programación Genética (PG) [KOZA 90][KOZA 92], y los buenos resultados que han conseguido en la resolución de problemas para los cuales las técnicas tradicionales no eran válidas.

Sin embargo, tal vez la técnica adaptativa que más éxito ha tenido en el mundo de la Inteligencia Artificial (IA) sean las Redes de Neuronas Artificiales (RR.NN.AA.), y han sido aplicadas con éxito a una gran cantidad de entornos distintos, desde empresariales al mundo de la medicina y a la Ingeniería Civil (tal como se presenta, un ejemplo de su aplicabilidad en la Edificación en esta tesis), dada su gran versatilidad y las ventajas que ofrecen, como pueden ser abstracción, tolerancia a fallos, etc. En el libro “Artificial Neural Networks in Water Supply Engineering” de ASCE [SRIN 05] se ofrece una detallada explicación de su utilización en el ámbito de la hidrología e ingeniería sanitaria y ambiental. Todo este conjunto de técnicas ofrece al experto un panorama en el cual existe una gran variedad de técnicas disponibles para resolver problemas de diversa naturaleza. Sin embargo, la aplicación de estas técnicas no es trivial. A menudo es necesario tener un profundo conocimiento de cada una de las técnicas para ser capaz de aplicarlas de una forma satisfactoria [RABU 08].

Este es el caso, por ejemplo, de las RR.NN.AA., en las cuales tienen un proceso de desarrollo que está fuertemente marcado por la intervención humana, y que está basado en la experiencia previa del experto que las utilice. Esto convierte este desarrollo en un proceso lento y repetitivo.

Desde el punto de vista de un ingeniero de edificación o de un arquitecto técnico, posiblemente no muy familiarizado con los conceptos relacionados con el mundo de la IA, lo deseable es tener un sistema que funcione de forma totalmente automatizada, en el cual se puedan obtener resultados con una mínima participación, o incluso sin ella, lo cual sería el mejor caso.

Para poder desarrollar una RNA existe diverso software que permite realizar los procesos de entrenamiento y validación de una RNA, sin embargo, para poder utilizarlo es necesario conocer la técnica con un cierto grado de profundidad. Para ello, se van a exponer los conceptos fundamentales de las neuronas artificiales y su interconexión formando la RNA. El estudio se centrará en explicar aquellas partes relativas al tema que se tratará en esta tesis.

Es necesario conocer las diferentes arquitecturas de RNA, los diferentes tipos de neuronas o elementos de proceso existentes, el proceso de entrenamiento y la puesta en funcionamiento de las mismas. Se explicará en detalle la construcción de los ficheros de entrada-salida para el proceso de entrenamiento y ejecución, incluyendo la normalización de los mismos.

Una técnica de Computación Evolutiva con auge en los últimos años es la Programación Genética (PG), y una forma de utilizar la PG es como algoritmo inductivo mediante regresión simbólica, es decir, al igual que la RNA, intenta extraer el conocimiento de cómo resolver un problema a partir de una serie de datos empíricos obtenidos de dicho problema.

Sin embargo, a diferencia de una RNA, que funciona como un sistema de caja negra, es decir, a partir de unos datos de entrada la RNA produce unas salidas, pero sin conocer el proceso interno, la PG utiliza un proceso de extracción de expresiones aritméticas utilizando el descubrimiento de conocimiento en los patrones de datos de entrada y salida de los datos empíricos.

Para poder realizar esta tarea es preciso conocer cómo funcionan los métodos evolutivos, los operadores genéticos y cómo se pueden codificar los problemas en forma de individuos y material genético, y cómo actúa el proceso de evolución natural en la búsqueda de soluciones.

### 2.8.1. Redes de Neuronas Artificiales

El primer modelo de neurona artificial fue propuesto por McCulloch y Pitts donde modelizaban una estructura y un funcionamiento simplificado de las neuronas del cerebro, considerándolas como dispositivos con " $m$ " entradas, una única salida y sólo dos estados posibles: activa o inactiva [MCCL 43].

Una RNA era, en ese planteamiento inicial, una colección de neuronas de McCulloch y Pitts, todas sincronizadas, donde las salidas de unas neuronas estaban conectadas a las entradas de otras.

Algunos de los planteamientos de McCulloch y Pitts se han mantenido desde 1943 sin modificaciones, otros por el contrario han ido evolucionando, pero todas las formalizaciones matemáticas que se han realizado desde entonces sobre las RR.NN.AA., aún sin procurar ser una modelización estricta de las redes de neuronas biológicas, sí han servido como punto de partida útil para su estudio.

Una de las definiciones que se estima más certera de RNA es la siguiente: “Las redes neuronales son conjuntos de elementos de cálculo simples, usualmente adaptativos, interconectados masivamente en paralelo y con una organización jerárquica que le permite interactuar con algún sistema del mismo modo que lo hace el sistema nervioso biológico” [KOHO 88].

Su aprendizaje adaptativo, tolerancia a fallos, operación en tiempo real y fácil implantación dentro de la tecnología existente, ha hecho que su utilización se haya desarrollado en áreas como la biología, finanzas, industrial, medio ambiente, militar, salud, etc. [HILE 95].

Están funcionando en aplicaciones que incluyen identificación de procesos [GONZ 98], detección de fallos en sistemas de control [ANDR 95] modelación de dinámicas no lineales [MEER 98] [WANG 98], control de sistemas no lineales [BLOC 97] [LEVI 93] y optimización de procesos [OLLE 98] [ALTI 98] [AGUI 98].

En general, se puede encontrar que una RNA se suele caracterizar por tres partes fundamentales: *la topología de la red, la regla de aprendizaje y el tipo de entrenamiento.*

Los investigadores intentan emular el funcionamiento del cerebro mediante el desarrollo de las RRNNAA, para ello es necesario simular tanto su estructura como su funcionamiento, se han desarrollado numerosos modelos de RNA [FREE 93], entre los que se pueden mencionar: Perceptron (1957), Adeline y Madeline (1960), Avalancha (1967), Retropropagación (1974), Hopfield y SOM (1980), ART (1986), etc.

De los modelos anteriores se puede apreciar que esta idea tiene más de 50 años, sin embargo, sólo en las últimas décadas se ha desarrollado la tecnología que permita su aplicación de manera eficiente [GESTA 09].

Aunque se han propuesto una gran cantidad de modelos, todos usan una estructura en red en la cual los nodos o neuronas son procesos numéricos que involucran estados de otros nodos según sus uniones.

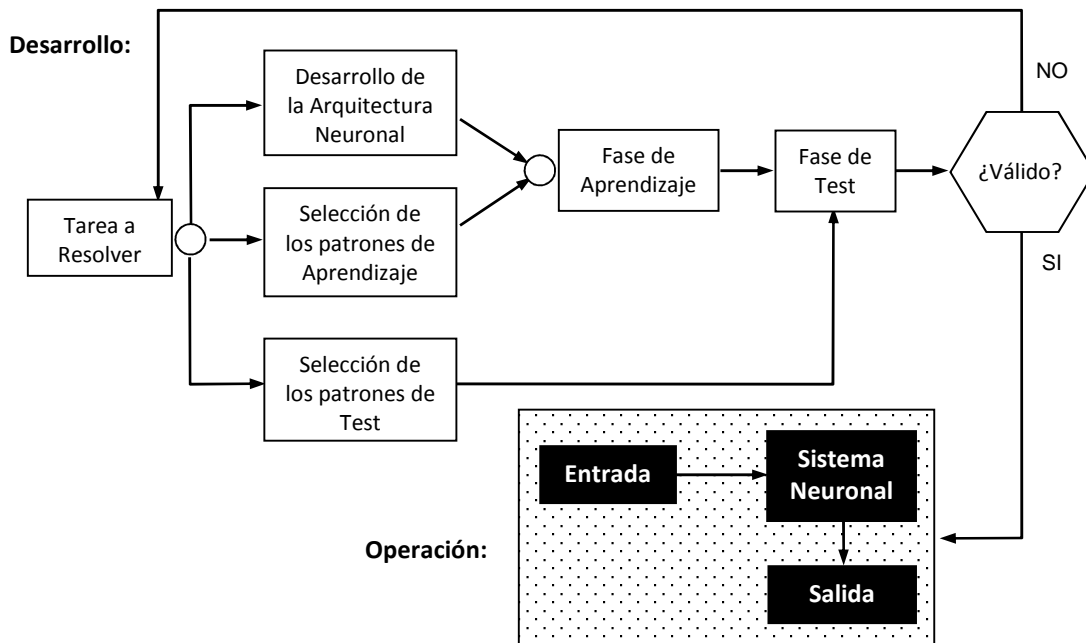


Fig.44: Modo de trabajo con Redes de Neuronas Artificiales.

Las RR.NN.AA. se han hecho muy populares debido a la facilidad en su uso e implementación (ver Figura 44) y la habilidad para aproximar prácticamente cualquier función matemática [KUMA 13].

Las RR.NN.AA., con su marcada habilidad para obtener resultados de datos complicados e imprecisos, pueden utilizarse para extraer patrones y detectar comportamientos que son muy difíciles de apreciar por expertos humanos u otras técnicas computacionales. Una RNA entrenada puede usarse como un “experto” para categorizar la información que se ha dado para su análisis [UTEM 12]. Este experto puede usarse para proveer proyecciones de nuevas situaciones.

Las ventajas más reseñables de las RR.NN.AA. son las siguientes:

1. **Aprendizaje adaptativo.** Capacidad de aprender a realizar tareas basadas en un entrenamiento o una experiencia inicial.
2. **Auto-organización.** Una red neuronal puede crear su propia organización o representación de la información que recibe durante la etapa de aprendizaje.
3. **Tolerancia a fallos gracias a poseer la información distribuida o vía información redundante.** La destrucción parcial de una red puede conducir a una degradación de su estructura; sin embargo, algunas capacidades de la red se pueden retener, incluso sufriendo daños considerables.
4. **Capacidad de generalización.** Ante la entrada de datos nuevos es capaz de producir resultados coherentes de acuerdo con la naturaleza del problema para el cual han sido entrenadas.
5. **Operación en tiempo real.** El cómputo neuronal puede realizarse en paralelo, bien vía software o mediante máquinas especiales para obtener esta ventaja (hardware conexionista o masivamente paralelo).

Estas propiedades hacen atractivas a las RR.NN.AA. para determinadas aplicaciones comerciales, militares e industriales [HERN 93], y por supuesto, para múltiples facetas dentro de la Ingeniería Civil y la Edificación.

### 2.8.1.1 Fundamentos y Conceptos Básicos de las RR.NN.AA.

La neurona artificial o elemento formal está conceptualmente inspirada en la neurona biológica. Esto es, los investigadores están en su inmensa mayoría pensando en la organización cerebral cuando consideran configuraciones y algoritmos de RNA [GESTA 09].

Se va a considerar una neurona como un elemento formal o módulo o unidad básica de la red que recibe información de otros módulos o del entorno; la integra, la computa y emite una única salida que se va a transmitir a múltiples neuronas posteriores [WASS 89].

En una RNA existe un peso o fuerza sináptica que va a ser un valor numérico que pondera las señales que se reciben por sus entradas. Este peso será un valor que determina la fuerza de conexión entre 2 neuronas. Cuando se evalúa una neurona se deben calcular todas las fuerzas o valores (denominado NET) que se reciben por sus entradas. Una vez calculado el valor conjunto de todas las entradas se aplica una función de activación (FA) que determinará el valor del estado interno de la neurona y que será lo que se transmita a su salida.

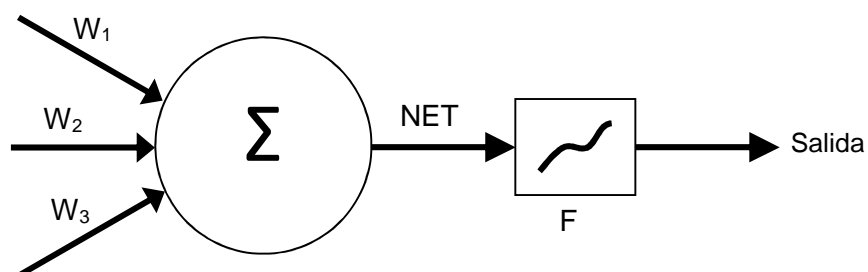
La combinación de las señales que recibe una neurona se puede computar como sigue:

$$NET_i(t) = \sum_{j=0}^{N-1} [W_{ij} * O_j * (t - 1)]$$

$W_{ij}$  = Peso de la conexión entre la neurona  $j$  (que emite) y la neurona  $i$  (que recibe).

*Ecuación 15: Combinación de señales de una Neurona.*

La función de activación y la función de transferencia son las encargadas de definir el nuevo estado de activación interno de la neurona que se determinará por la función de activación utilizada y la respuesta  $O_i$  de la neurona. Tanto el estado de activación como la salida de la neurona van a estar en función de las entradas que recibe en un determinado momento y del estado de activación previo que tenga esa neurona [GESTA 09].



*Figura 45: Esquema de Neurona Artificial.*

### 2.8.1.1. Función de activación de la neurona

Va a relacionar la información de entrada de la neurona con el siguiente estado de activación que tenga esa neurona. Existen dos modelos de función de activación:

- Modelos acotados: El valor de la activación de la neurona puede ser cualquiera dentro de un rango continuo de valores.
- Modelos no acotados: No existe ningún límite para los valores de activación.

Cuando se diseña una RNA debe establecerse como van a ser los valores de activación de cada neurona y se debe decidir la función de activación (FA) con la que cada neurona procesará las entradas. Por lo tanto, la FA va a actuar sobre las señales de entrada, sobre los pesos asociados con cada entrada y sobre el valor de activación que tenía la neurona en el momento de recibir las señales.

$$A_i(t) = FA(A_i(t-1), NET_i(t-1))$$

*Ecuación 16: Función de Activación.*

### 2.8.1.2. Tipos de neuronas

La linealidad de las funciones que definen a los elementos de la red es lo que va a proporcionar la característica más definitoria. Así, se pueden categorizar las neuronas en lineales y no lineales [GESTA 09].

#### 2.8.1.2.1. Neuronas lineales

Una neurona es lineal en el momento que su salida es linealmente dependiente de sus entradas, es proporcional a las funciones de transferencia y de activación [CHUS 13].

Esto conlleva ciertos problemas como la falta de persistencia en las respuestas, de modo que cambios muy pequeños en las entradas pueden producir fluctuaciones bastante grandes en las respuestas, o la falta de adecuación simultánea, pues es imposible que con neuronas lineales la respuesta de una neurona se adapte tanto a señales grandes como a pequeñas.

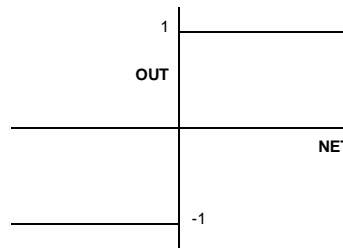
#### 2.8.1.2.2. Neuronas no lineales

En estas neuronas, o bien la función de activación o bien la de transferencia, o ambas, es una función no lineal, ocasionando que la respuesta de la neurona no sea función lineal de sus entradas [CHUS 13].

Este tipo de neuronas van a producir respuestas acotadas, desapareciendo los problemas de fluctuación y la falta de adecuación a señales pequeñas y grandes.

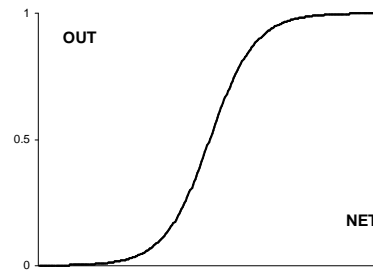
Como funciones no lineales se destacan las siguientes:

$$OUT = \begin{cases} 1 & \text{si } NET > 0 \\ -1 & \text{si } NET < 0 \end{cases}$$



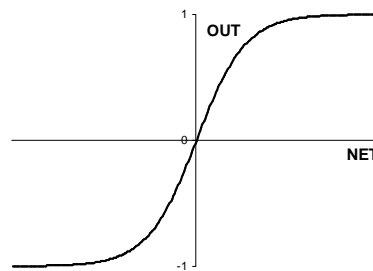
Ecuación 17.1: Función umbral.

$$OUT = \frac{1}{1 + e^{-NET}}$$



Ecuación 17.2: Función sigmoide.

$$OUT = \frac{1 - e^{-NET}}{1 + e^{-NET}}$$



Ecuación 17.3: Función tangente hiperbólica.

## 2.8.2. Arquitecturas de RNA

### 2.8.2.1. Redes alimentadas hacia delante.

Son aquellas en las que la información se desplaza en un único sentido, desde la entrada hacia la salida. Estas redes están clásicamente organizadas en “capas” [GESTA 09]. Cada capa agrupa a un conjunto de neuronas que reciben informaciones de las neuronas de la capa anterior y emiten salidas hacia las neuronas de la capa siguiente. Entre las neuronas de una misma capa no hay conexiones.

En este tipo de redes existe al menos una capa de entrada, formada por las neuronas que reciben las señales de entrada a la red y una capa de salida [GESTA 09], formada por una o más neuronas que emiten la respuesta de la red al exterior. Entre la capa de entrada y la de salida existen una o más capas intermedias.

En redes así construidas es evidente que la información sólo puede moverse en un sentido: desde la capa de entrada hasta la capa de salida, atravesando todas y cada una de las capas intermedias una sola vez [GESTA 09].

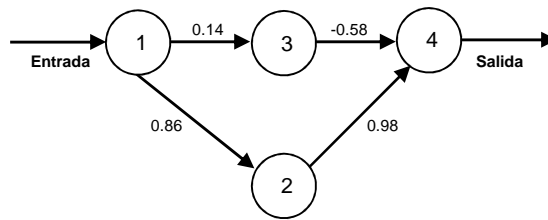


Fig. 46: RNA alimentada hacia delante.

El procesamiento de la información en este tipo de redes se realiza en un tiempo predeterminado e igual para todas las posibles configuraciones de señales de entrada.

El hecho de que no haya conexión entre las neuronas de una misma capa hace que no haya tiempos de espera en los que las neuronas estén interactuando unas sobre otras hasta que toda la capa adquiera un estado estable [GESTA 09]. Se trata por tanto de redes rápidas en sus cálculos.

#### 2.8.2.2. RNA con Retroalimentación total o parcial.

En este tipo de redes los elementos pueden enviar estímulos a neuronas de capas anteriores, de su propia capa o a ellos mismos, por lo que desaparece el concepto de agrupamiento de las neuronas en capas [GESTA 09]. Cada neurona puede estar conectada a todas las demás; de este modo, cuando se recibe información de entrada a la red, cada neurona tendrá que calcular y recalculer su estado varias veces, hasta que todas las neuronas de la red alcancen un estado estable. Un estado estable es aquel en el que no ocurren cambios en la salida de ninguna neurona. No habiendo cambios en las salidas, las entradas de todas las neuronas serán también constantes, por lo que no tendrán que alterar su estado de activación ni su respuesta, manteniéndose así un estado global estable [PEAR 90] [GESTA 09].

En este tipo de redes no hay forma de saber cuánto se tardará en alcanzar un estado estable. Además, unos estímulos de entrada provocarán que se alcance el estado estable en menos tiempo que otros.

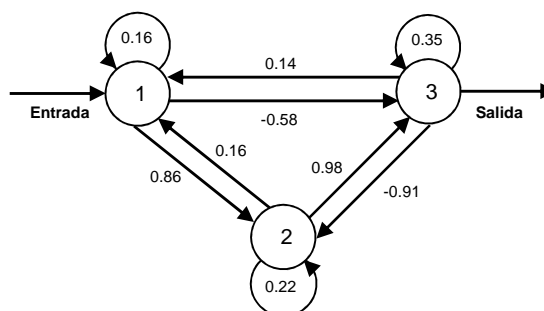


Fig. 17: RNA con retroalimentación.



Las RR.NN.AA. retroalimentadas emulan más fielmente la estructura del cerebro humano, en donde los fenómenos de retroalimentación son fundamentales [GESTA 09].

En una RNA con retroalimentación no hay una relación biunívoca entre una entrada y una salida. Permite considerar la historia previa de información que ha recibido la RNA para evaluar la salida.

### 2.8.3. Manejo de la información en las RR.NN.AA.

En este apartado se presentan los tipos de información que maneja una RNA, así como los métodos para alimentarla con dicha información; en otras palabras, se verá cómo se le presenta a la RNA el problema que debe resolver. También se verán los problemas típicos con los que las redes se enfrentan.

La información de entrada en números tiene que ser adecuada para las funciones de activación y transferencia de la RNA y se deben distribuir esas informaciones  $O_j$  entre las neuronas de la capa de entrada de forma adecuada.

Se observa, por tanto, que a la hora de diseñar una RNA es necesario realizar un análisis tanto de la información de entrada que se le suministra para presentarle el problema [GESTA 09], como de la información de salida que la RNA proporcionará como solución al problema planteado.

Si los datos de entrada, es decir, la información del problema que se desea que la RNA resuelva, no se pueden representar mediante valores dicotómicos, se tendrán que modificar las funciones de la red para hacerla así capaz de trabajar con valores  $O_j$  con los que se puedan representar los datos.

Si, por ejemplo, se trabaja con información incierta, en donde sólo se puede dar un valor de la probabilidad de que un determinado elemento pertenezca a un conjunto, se necesitará que la función sea continua para poder expresar valores de probabilidad y el rango de los  $O_j$  irá de 0 a 1.

Si los valores de  $O_j$  son continuos y los datos también, se tendrán que volver a *normalizar* los datos de entrada para hacerlos corresponder con el rango de valores que los  $O_j$  pueden tomar. Es decir, es necesario reajustar la escala de los datos para que se adapte a la escala de los  $O_j$ . Así, si por ejemplo un dato de entrada es una longitud en metros (desde 0 a 1.000 m.) y los  $O_j$  se mueven desde -1 a 1 se tendrá que establecer una correspondencia en la que a 0 m. le corresponda -1, a 1.000 m. le corresponda +1, a 500 m. le corresponda 0, etc.

En cuanto al proceso de normalización se pueden realizar tres clases de transformación de los datos [SHI 00]: transformación lineal, estandarización estadística y funciones matemáticas. La transformación lineal es la técnica más empleada, en este caso, se escalan los valores al rango [0, 1] o [-1, 1] de forma lineal.

El objetivo es asegurar que todas las variables (entradas de la RNA) reciben igual atención en el proceso de entrenamiento y son escaladas de acuerdo a los límites de las funciones de activación utilizadas en las neuronas de la capa de salida de la RNA.

En la estandarización estadística, el escalado involucra la resta de una cierta medida, como por ejemplo la media aritmética, y dividir por un cierto valor, como por ejemplo la desviación estándar. Cualquier escalado que establezca una tendencia central próxima a cero suele ser beneficioso en el proceso de inicialización de los pesos de la RNA.

La última transformación se basa en funciones matemáticas como por ejemplo aplicar la función logaritmo sobre los datos, con el objetivo de estabilizar la variancia [FARA 98]. El aplicar el logaritmo o la raíz cuadrada, se usa principalmente para aproximar los datos a distribuciones Gausianas con el objetivo de minimizar el efecto de los valores extremos del rango [GESTA 09].

Se ha demostrado [BOWD 03] [SHI 00] que transformar las entradas de la RNA para que sigan una distribución uniforme puede ayudar a un mejor proceso de conversión y transformación en los valores de salida por la RNA y, en consecuencia, un mejor proceso de entrenamiento de la red. Una forma de conversión a una distribución uniforme cuando los datos no siguen ninguna distribución probabilística conocida es la ecualización del histograma [LOON 97].

#### 2.8.4. Entrenamiento de las RR.NN.AA.

Una vez diseñada la arquitectura de la RNA (capas y número de neuronas por capa) y las funciones que la regirán, se tiene que proceder a entrenar la red para que “aprenda” el comportamiento que debe tener; es decir, para que aprenda a dar la respuesta adecuada a la configuración de estímulos o patrón de entrada que se le presente [PAZO 96].

En las RR.NN.AA. se distinguen dos periodos o fases claramente diferenciados. Durante la fase de aprendizaje se entrena a la red para que vaya modificando sus pesos de conexiones, adaptándolos paulatinamente para que la respuesta de la red sea la correcta. Después, viene la fase de funcionamiento real o fase de ejecución, durante la cual la RNA ya es operativa y sus pesos de conexiones no volverán a ser modificados. Durante esta fase se usa la RNA como si se tratara de cualquier otro programa informático convencional [GESTA 09].

##### 2.8.4.1. Proceso de aprendizaje supervisado

En esta técnica de aprendizaje el entrenamiento consiste en presentarle a la RNA repetitivamente patrones de estímulos de entrada pertenecientes a un *juego de ensayo*.

El juego de ensayo está formado por parejas “patrón de estímulos – respuesta correcta” y debe de ser elegido cuidadosamente. Cada pareja se denomina *hecho*. En el juego de ensayo debe estar representada equilibradamente toda la información que la RNA necesite aprender [GESTA 09].

Al realizar el entrenamiento, la respuesta que da la RNA a cada patrón se compara con la respuesta correcta ante dicho patrón y, en virtud de esa comparación, se reajustan los pesos de las conexiones. El reajuste de los pesos de las conexiones está orientado a que, ante el patrón de entrada, la red se acerque cada vez más a la respuesta correcta.

Cuando ante un patrón de entrada la RNA ya responde bien, se pasa al siguiente patrón del juego de ensayo y se procede de la misma manera.

Cuando se termina con el último patrón del juego de ensayo, se tiene que volver a empezar con el primero, ya que los pesos se han seguido modificando.

En casos sencillos, al cabo de unos pocos pasos de entrenamiento completos, con todos los elementos del juego de ensayo, los pesos de conexiones de todas las neuronas se estabilizan en torno a unos valores óptimos. Se dice entonces que el algoritmo de aprendizaje converge. Es decir, después de sucesivas presentaciones de todos los patrones estimulares del juego de ensayo, la RNA responderá correctamente a todos ellos y se puede considerar entrenada y dar por terminada la fase de aprendizaje [GESTA 09].

#### 2.8.4.2. Ejecución

Tras la fase de entrenamiento viene la fase de ejecución, durante la cual se le pedirá a la RNA que responda a estímulos diferentes a los presentados durante la fase de entrenamiento. Gracias a los ejemplos aprendidos del juego de ensayo, la RNA deberá ser capaz de *generalizar* y dar respuestas correctas ante patrones de estímulos nuevos.

Según [GESTA 09], una vez terminado el aprendizaje, una red puede generalizar; es decir, ante entradas similares a las de su juego de ensayo, originará salidas correctas. Hay que tener en cuenta que es muy difícil conseguir la capacidad de generalización de una RNA sin utilizar grandes cantidades de datos y que estos sean muy variados.

Para operar con una RNA entrenada, el proceso es el mismo que cuando se realizaba el entrenamiento: se le sigue suministrando información de entrada a la red, sólo que ahora no se realizará ningún ajuste en los pesos de las conexiones. La RNA reconocerá, evaluará y dará una respuesta.

Para conseguir el mejor rendimiento de generalización, los datos usados para el entrenamiento deben cubrir un rango de hechos suficientemente amplio. En general, cuando aumenta el tamaño y variedad del juego de ensayo disminuye la necesidad de que los datos de entrada durante la fase de trabajo normal se parezcan mucho a los patrones del juego de ensayo; es decir, la red generalizará mejor. Pero si los datos de un problema se diferencian demasiado de todos los patrones del juego de ensayo, la red tendrá dificultades para encontrar la respuesta correcta [GESTA 09].

#### 2.8.4.3. Selección de los elementos del juego de ensayo

A la vista de la enorme cantidad de información que se le puede proporcionar a una RNA, se ha de buscar un criterio de selección para crear el juego de ensayo [GESTA 09].

En el juego de ensayo debe de haber suficientes hechos: parejas “patrones de estímulos – respuesta correcta”. Además, los hechos del juego de ensayo deberán cubrir ampliamente la totalidad de las características del problema al que la RNA debe de enfrentarse.

No se debe desechar alegremente información por pensar que es irrelevante. A menudo, las RR.NN.AA. pueden encontrar asociaciones que nunca se hubiese supuesto que existiesen. Se debe, por el contrario, entrenar a la red con cualquier pieza de información disponible y, simultáneamente, entrenar otra RNA con los hechos mínimos que se consideran imprescindibles, para luego cotejar cuál de las dos redes se comporta mejor. Puede resultar una curiosa experiencia el descubrir cuáles son los hechos realmente importantes.

Por otra parte, a una RNA evaluadora, es importante mostrarle tanto los patrones de entrada que llevan a evaluaciones positivas, como los patrones de entrada que llevan a evaluaciones negativas [GESTA 09]. Es decir, el entrenamiento de la RNA debe incluir situaciones que se evalúen negativamente, pues de lo contrario la red simplemente aprenderá que todo está correcto siempre. También se debe incluir en el juego de ensayo cada uno de los casos en los cuales el valor de una entrada es causa de un “mal” resultado. Por ejemplo, una RNA que evalúe la capacidad de un avión para volar debe saber que un indicador de combustible que marque vacío es definitivamente malo y que el avión no estará en disposición de volar.

Por otra parte, no se puede incluir en el juego de ensayo una colección exageradamente grande de hechos. Es necesario seleccionar aquellos hechos que reflejen claramente cada uno de los patrones a reconocer y las situaciones extremas de evaluación.

Lo ideal es preparar una colección amplia de hechos de entrenamiento que cubran todos los problemas a los que se pueda tener que enfrentar la red. Después de esa amplia colección de hechos, se seleccionarán algunos de ellos para el juego de ensayo, teniendo cuidado de que todos los problemas queden bien representados [GESTA 09].

#### 2.8.5. Problemas que se pueden dar durante el entrenamiento

Los dos problemas más comunes al entrenar una RNA son que la red no se entrene con precisión suficiente; es decir, que tenga un alto porcentaje de “fallos” que no se reduce por más veces que se le pase el juego de ensayo, o que la red tarde mucho tiempo en entrenarse.

Cuando esto sucede, se deberá analizar el diseño de la red y del juego de ensayo. El hecho de cambiar el número de capas ocultas aumentará o disminuirá el tiempo de aprendizaje, pero probablemente no afectará en gran medida a la precisión (proporción de respuestas acertadas de la RNA).

Si los resultados son pobres al presentarle una colección de patrones de entrada, es preciso comprobar el juego de ensayo. Es posible haberse olvidado representar en el juego de ensayo alguno de los problemas tipo con los que la red debe enfrentarse, o la información sea engañosa o contradictoria [GESTA 09].

Se tendrá en cuenta que, cuando se modifica el juego de ensayo añadiendo nuevos hechos o corrigiendo alguno de los existentes, la red debe de ser entrenada de nuevo con la totalidad de los hechos y no tan sólo con los nuevos o con los corregidos.

Una forma de determinar qué hechos están produciendo problemas consiste en entrenar la RNA hasta que responda con un nivel de aciertos aproximadamente del 90%. Luego, al probar la red, se observan los hechos a los cuales la red responde mal. A continuación, se le deberá proporcionar a la red mayor información, similar a la de los hechos no aprendidos, y se entrenará de nuevo.

Si se llega a la conclusión de que se le han dado suficientes hechos a la RNA; es decir, que el juego de ensayo es completo y cubre todos los problemas a resolver y ésta sigue comportándose poco satisfactoriamente, habrá que considerar la posibilidad de cambiar el modo de presentar la información de entrada a la red. Si se están utilizando entradas no distribuidas, se deberá cambiar a distribuidas, lo cual requerirá una estructuración completamente nueva de la red. Existen, por supuesto, problemas tan complejos que una RNA no puede resolver en un tiempo y un espacio razonables. Si este es el caso, se podrá montar una cadena de RR.NN.AA de modo que las salidas de una red alimenten las entradas de otras. Las primeras RR.NN.AA deberán identificar los objetos y sus salidas se utilizarán para alimentar a otra red que realice la evaluación, es decir, descomponer el problema en varias fases. El añadir más capas a una única RNA no produce el mismo efecto.

#### 2.8.6. Ejemplos de utilización de la RNA

Las RR.NN.AA. han confirmado ser una potente herramienta en diferentes aplicaciones, pero tienen un gran problema: el proceso de razonamiento que utilizan resulta inexplicable, por lo que no se puede definir la relación que existe entre las entradas de la RNA y las salidas que produce [GESTA 09]. Sin embargo, se han utilizado en muchas aplicaciones como las mencionadas a continuación.

##### 2.8.6.1. Aplicación de las RR.NN.AA. a la Ingeniería de la Edificación

La aplicación de las RR.NN.AA. a problemas ingenieriles del ámbito del comportamiento energético del edificio se ha desarrollado en los últimos años en tres líneas de trabajo fundamentales. Por un lado, las RR.NN.AA. se han vinculado a problemas de optimización, con mejoras apreciables en la capacidad de cálculo y el análisis de resultados [HADI 03]. Por otro lado, destacan las aplicaciones ligadas al estudio de casos concretos a partir de bases de datos experimentales generadas durante varios años.

En la resolución de problemas utilizando el enfoque estadístico, se tiene que lidiar con un mayor nivel de dificultad matemática, debido al empleo de cálculos en los que se utilizan fórmulas complejas, siendo mayor la probabilidad de error.

Las RR.NN.AA. se han revelado, cuando las bases experimentales son amplias, como verdaderos laboratorios virtuales que han permitido realizar análisis sobre la influencia de diversos parámetros en un fenómeno determinado.

Numerosos estudios realizados en los últimos 10 años, han determinado que las Redes de Neuronas Artificiales pueden usarse para predecir el consumo de energía de una forma más fiablemente que los tradicionales modelos de simulación y técnicas de regresión. Actualmente se aceptan las RR.NN.AA. como una tecnología alternativa que ofrece una manera eficaz de abordar problemas complejos y mal definidos.

No están programadas en la forma tradicional, pero son entrenadas usando datos generados por la realización de auditorías energéticas, como casos de prueba que representan el comportamiento de un sistema.

La evaluación, la estimación y la predicción de una variable a partir de otras, se realiza utilizando a menudo técnicas estadísticas. La mayoría de estas técnicas se basan en algoritmos convencionales tales como el método de mínimos cuadrados, el promedio móvil o las series temporales. Los resultados de estos algoritmos no son recomendables cuando el conjunto de datos es muy grande.

Muchos de los sistemas energéticos del edificio son exactamente los tipos de problemas para los cuales los sistemas basados en RR.NN.AA. parecen ser los más aplicables. Las redes neuronales tienen el potencial de hacer mejores y más rápidas predicciones que cualquiera de los métodos tradicionales.

Varios investigadores [KUAG 13] han demostrado que pueden ser más fiables en la predicción del consumo de energía en un edificio que un enfoque estadístico tradicional debido a su capacidad para establecer patrones no lineales, sin carácter exhaustivo, se mencionan algunos ejemplos:

- Anstett, M.; Kreider, J.F.: *Application of neural networking models to predict energy use (Aplicación de modelos de redes de neuronas artificiales para predecir el uso de energía)*. ASHRAE Transactions (1992) 505–517, Paper No. 3672.
- Aydinalp-Koksal, M.; Ugursal, V.I.: *Comparison of neural network, conditional demand analysis, and engineering approaches for modeling end-use energy consumption in the residential sector (Comparación de redes neuronales, análisis de la demanda condicionada y enfoques de ingeniería para el modelado del consumo final de energía en el sector residencial)*. Appl. Energ. 85 (2008) 271–296.
- Dall’O, G.; Belli, V.; Brolis, M.; Mozzi, I.; Fasano, M.: *Nearly zero-energy buildings of the región of Lombardy (Italy), a case study of high-energy performance buildings (Edificios de consumo de energía casi nula de la región de Lombardía (Italia), estudio del caso de edificios de alta eficiencia energética)*. Energies 6 (2013) 3506–3527.
- Ekici, B.B.; Aksoy, U.T.: *Prediction of building energy consumption by using artificial neural networks (Predicción del consumo energético de edificios mediante el uso de redes neuronales artificiales)*. Adv. Eng. Software 40 (2009) 356–362.
- González, P.A.; Zamarreño, J.M.: *Prediction of hourly energy consumption in buildings based on a feedback artificial neural network (Predicción del horario de consumo de energía en edificios basada en una red neuronal artificial de retroalimentación)*. Energy Build. 37(2005) 595–601.
- Kreider, J.F.; Wan X.A.: *Artificial neural network demonstration for automated generation of energy use predictors for comercial buildings (Demostración de una red de neuronas artificial para la generación automática de predicciones de uso de energía para edificios comerciales)*. ASHRAE Transactions 97 (2) (1991) 775–779.

- Stevenson, W.J.: *Using artificial neural networks to predict building energy parameters (Uso de redes de neuronas artificiales para predecir parámetros energéticos del edificio)* ASHRAE Transactions 100 (2) (1994), Paper No. OR-94-17-4.
- Zhao, H.; Magoulès, F.: *A review on the prediction of building energy consumption. Renew. Sustain. (Una revisión sobre la predicción del consumo energético del edificio, Renovar. Sostener).* Energy Rev. 16 (2012) 3586–3592.

Por lo tanto, las RR.NN.AA. han sido investigadas, por su aplicabilidad en el estudio del comportamiento energético del edificio en los últimos diez años. Se han aplicado varias arquitecturas de redes neuronales en predicciones relacionadas con el consumo y la eficiencia energética.

Estas incluyen el uso del método de aprendizaje por retropropagación del error, redes neuronales recurrentes, redes neuronales auto-asociativas y red neuronal de regresión general que demuestran resultados relativamente acertados con coeficiente de variaciones en la gama del 2-40 %. Estas variaciones en la exactitud de las predicciones dependen principalmente de la arquitectura de la RNA utilizada, de las características del edificio y de la precisión de los equipos de medición.

La clasificación de los diferentes tipos de modelos basados en la utilización de la RNA<sup>77</sup> es la siguiente:

- a) *Modelo Ansett*: En este modelo, los datos de medición de la utilidad del edificio central del campus de una universidad, incluyendo electricidad, gas natural, agua y el uso de vapor. En el estudio se consideró el clima, la ocupación y la actividad en el edificio como las variables independientes. La arquitectura de RNA entrenada con retropropagación del error ha sido la utilizada en este estudio. El foco principal era la comprobación de diferentes métodos de entrenamiento, ponderación y el orden de entrada de datos [ANKR 93].
- b) *Modelo Curtiss (I)*: Curtiss usó una RNA para optimizar el consumo de energía en un sistema centralizado de climatización (HVAC). En este enfoque, parámetros como el tiempo y la ocupación del edificio fueron consideradas como variables independientes, y del sistema HVAC se consideraron como variables dependientes, la temperatura del aire, temperatura del agua enfriada, la presión estática del conducto y el caudal de agua [CUKR 93].
- c) *Modelo Cohen*: Cohen utilizó los datos de consumo de energía generados por el DOE-2.1E (Programa de Análisis de Energía de Construcción) como entrada al modelo de RNA desarrollada. El modelo se basó en redes recurrentes [COKR 95].
- d) *Modelo Kreider*: Kreider investigó la predicción del consumo de energía a corto plazo del edificio y la identificación del sistema sin el conocimiento del consumo de energía pasado. En esta modelización se utilizaron redes neuronales recurrentes. [KUAG 13].
- e) *Modelo Chonan*: Como parte de una competencia de predicción de energía titulada “Gran Energía Predictor Shootout”, Chonan aplicó una RNA bayesiana para estimar el comportamiento energético

---

<sup>77</sup> Kumara, R.; Aggarwal, R.K.; Sharma, J.D.: Energy analysis of a building using artificial neural network: A review (Análisis energético de un edificio utilizando una Red de Neuronas Artificial: Una revisión). Energy and Buildings. Artículo revista especializada. 2013

del edificio. En este método, la relación conocida entre las variables de entrada y la salida, se utilizaron en combinación con el entrenamiento de redes neuronales [CHNM 96].

- f) *Modelo Jang*: Jang utilizó una red neuronal auto-asociativa para predecir el comportamiento del edificio, a partir de datos incompletos de entrada-salida referentes al consumo de energía, basados en la utilización de una RNA SOM [JABN 96].

Este método se utiliza con eficacia cuando los datos del edificio están disponibles solo durante algunos periodos de tiempo y para otros períodos de tiempo no existen o son incompletos. Las capacidades del filtro de ruido de las redes neuronales auto-asociativas, demostró ser eficaz en la fase de pre-procesamiento de los datos del modelo.

- g) *Modelo Curtiss (III)*: Curtiss describió el uso de redes neuronales en control continuo de los bucles de retroalimentación en un sistema de climatización centralizado (HVAC – Heating/Ventilating/Air Conditioning) y la predicción del consumo de energía [CURT 96].

- e) *Modelo de Breekweg*: Breekweg evaluó una serie de técnicas de RNA en el desarrollo de un método generalizado para generar la detección de fallos relacionadas con la energía. Datos en tiempo real de cuatro edificios diferentes y simulación de datos de un edificio fueron modelados en base a una función de base radial (RBF), específicamente se utilizó la GRNN como el RBF normalizado. El coeficiente de variación fue mayor, en el rango de 20-40% para la mayoría de los edificios, excepto dos edificios, que estaban en el rango de 4-8%. Se atribuyeron estas desviaciones mayores en los resultados, a la calidad de la medición de los datos, a la consistencia de las operaciones del edificio y la minimización de elementos de ruido en el conjunto de datos. Este estudio también pretendía probar el modelo de RNA desarrollado con datos de consumo de energía de diferentes edificios, con el fin de garantizar la capacidad de generalización de la RNA [BREK 00].

- f) *Modelo Yalcinatas*: Yalcinatas presenta un modelo para predecir el uso de energía de las plantas enfriadoras en climas tropicales con pequeñas variaciones estacionales y diarias. Fueron creados con éxito basados en datos climáticos y de los equipos enfriadores. Los valores promedio absolutos del entrenamiento para el modelo fue de 9,7%, mientras que el error de validación fue de 10,0% [YALC 07]. Esto indica que el modelo puede predecir con éxito el consumo particular de energía del equipo enfriador en un clima tropical [YAAK 05].

- g) *Modelo Alberto*: Alberto comparó un modelo simple basado en una RNA y un modelo que se basa en principios físicos como una auditoría energética, con el fin de predecir el consumo de energía del edificio [NEFL 08].

- h) *Modelo Baizhan*: Baizhan desarrolló un modelo para consumo de energía del edificio residencial basado en una red neuronal de propagación hacia atrás (BP). Posteriormente, obteniendo datos de consumo correspondientes a edificios residenciales en Chongqing (PR China), en los cuales se miden 16 indicadores del consumo de energía. El sistema obtiene un modelo de predicción de la RNA BP para el consumo de energía del edificio Chongqing. Los resultados obtenidos mediante el modelo son coherentes con los producidos en la realidad [YULL 07].



Los estudios realizados revelan que las RR.NN.AA. se han aplicado en una amplia gama de campos para la modelización, predicción y control del comportamiento energético de los edificios. Lo que se requiere para configurar correctamente estos sistemas, es un conjunto de datos de entrada, a partir de los cuales, el sistema genere valores para las variables deseadas; haciendo posible el entrenamiento de la RNA y la configuración del modelo a desarrollar [KUAG 13].

En el caso que nos ocupa, se genera el conjunto de datos de entrada mediante la evaluación de la eficiencia energética realizada sobre un número representativo de edificios situados en la zona Norte de España, prestando especial interés a los inmuebles destinados a uso residencial (ya que constituyen la mayor parte del parque inmobiliario existente y por lo tanto son los responsables de una buena parte del consumo energético del sector, tal y como se expuso en el capítulo 1 de la presente memoria).

## 2.9. Computación Evolutiva

Los organismos vivos poseen destreza consumada en la resolución de problemas complejos. Manifiestan una versatilidad capaz de “avergonzar” a los programas informáticos más refinados.

Así, para resolver un problema se han de dedicar meses o años de esfuerzo intelectual a preparar un algoritmo, mientras los organismos obtienen sus habilidades a través de mecanismos como la evolución y la selección natural, si bien pueden pasar billones de ensayos y milenios hasta conseguir el resultado adecuado.

El origen de la Computación Evolutiva (CE) se enmarca en las ideas evolucionistas que popularizó Charles Darwin [DARW 59] [DARW 95]. La teoría de la selección de las especies [DARW 95] mantiene que aquellos individuos de una población que posean los caracteres más ventajosos, dejarán proporcionalmente más descendencia en la siguiente generación; y si tales caracteres se deben a diferencias genéticas que pueden transmitirse a los descendientes, tenderá a cambiar la composición genética de la población, incrementando el número de individuos con dichas características.

De esta forma, la población completa de seres vivos se adapta a las circunstancias variables de su entorno. El resultado final es que los seres vivos tienden a perfeccionarse en relación con las circunstancias que los envuelven.

Los Algoritmos Genéticos posibilitan la exploración de un espectro mucho más amplio de soluciones que los programas tradicionales.

La naturaleza ha estado efectuando durante miles de años una combinación de cruzamiento y selección de linajes en la procura mejores cosechas, caballos más veloces, etc. Sin embargo, no resulta igual de sencillo la aplicación de estos métodos a las RR.NN.AA.

El problema principal, en este caso, es la construcción de un “código genético” capaz de representar la estructura del problema a resolver, en forma parecida a como el ADN representa la estructura de un ser vivo como un ratón o de un ser humano y, por ende, de unos sistemas de tratamiento de la información.

La selección constituye un proceso sencillo: cuando un organismo falla en alguna prueba de adaptación, como por ejemplo el reconocimiento y consiguiente huida de un depredador, perece.

Por consiguiente, no existe dificultad en eliminar los algoritmos de funcionamiento deficiente o de bajo rendimiento.

Si, por ejemplo, un programa tiene por objetivo ordenar en sucesión creciente una serie de números, su funcionamiento se verifica comprobando que cada número de la lista de salida sea mayor que el precedente; cuando esto no ocurre, el algoritmo falla y, por tanto, debe eliminarse o modificarse.

### 2.9.1. El Algoritmo Genético (AG)

John H. Holland empezó a estudiar en los años 60 del siglo XX los procesos lógicos involucrados en la adaptación, e inspirado por los estudios de los autómatas celulares [BURK 60] y las redes neuronales [SELF 58], se percató de que el uso de reglas simples podría generar comportamientos flexibles, y visualizó la posibilidad de estudiar la evolución de comportamientos de un sistema complejo [HOLL 75].

Holland vio el proceso de adaptación en términos de un formalismo en el que los programas de una población interactúan y mejoran en base a un cierto ambiente que determina lo apropiado de su comportamiento [HOLL 92]. La combinación de variaciones aleatorias con un proceso de selección (en función de qué adecuado fuese el comportamiento de un programa), debía conducir a un sistema adaptativo general [HOLL 95].

Este sistema fue desarrollado hacia mediados de los años 60 y se dio a conocer en el libro que Holland publicó en 1975 [HOLL 75] donde denominó al sistema como “plan reproductivo genético” y que después se popularizó bajo el nombre de “Algoritmo Genético” (en adelante AG).

Aunque pensado originalmente en el contexto de aprendizaje máquina, el AG ha sido usado frecuentemente en procesos de optimización [QUAG 98], siendo una técnica sumamente popular en los últimos años [HOLL 95].

Un AG es un algoritmo de búsqueda basado en la observación de que la reproducción sexual y el principio de supervivencia del más apto permiten a las especies biológicas adaptarse a su ambiente y competir por los recursos.

Aplicado en ordenadores, el algoritmo funciona mediante la evolución de sucesivas generaciones de individuos a partir de las anteriores. Cada generación formada por un conjunto de individuos (población) con una cadena de valores binarios cada uno.

A esta cadena que forma cada individuo se le denomina  *cromosoma*, cada posición dentro de la cadena se llama  *gen* y el valor dentro de esa posición se denomina  *alelo*.

Una definición bastante completa de un algoritmo genético es la propuesta por John Koza: “Es un algoritmo matemático altamente paralelo que transforma un conjunto de objetos matemáticos individuales con respecto al tiempo usando operaciones modeladas de acuerdo al principio Darwiniano de reproducción y supervivencia del más apto, y tras haberse presentado de forma natural una serie de operaciones genéticas de entre las que destaca la recombinación sexual.

Cada uno de estos objetos matemáticos suele ser una cadena de caracteres (letras o números) de longitud fija que se ajusta al modelo de las cadenas de cromosomas, y se les asocia con una cierta función matemática que refleja su aptitud” [KOZA 92].

### 2.9.2. Funcionamiento

Los Algoritmos Genéticos establecen una analogía entre el conjunto de soluciones de un problema y el conjunto de individuos de una población natural, codificando la información de cada solución en una cadena de valores (bits o números denominados genes), llamada cromosoma. Los cromosomas evolucionan a través de iteraciones, llamadas generaciones.

En cada generación, los cromosomas son evaluados usando alguna medida de aptitud (evaluando los valores que operan como incógnitas y asignando un valor que establece la capacidad de ese individuo para resolver el problema). Las generaciones sucesivas (nuevos cromosomas), llamada descendencia, se crean utilizando dos operadores, de cruzamiento y de mutación.

En la confección de una nueva generación, se denomina reproducción a la creación de nuevos individuos a partir de los existentes en la población que forma la generación anterior.

Un factor muy importante en el funcionamiento de este algoritmo es la selección de individuos para la reproducción. Para que el algoritmo desempeñe su función, los mejores individuos (aquellos cuyo ajuste o nivel de aptitud sea mejor) deberán reproducirse más veces que el resto. Con esta idea, se han desarrollado varios algoritmos de selección [BAKE 87] [BOOK 82] [BRIN 81] [DEJO 75].

Todos los algoritmos de selección existentes se basan en lo mismo: escoger individuos (ya sea de forma probabilística o determinística) dando más posibilidades a los mejores pero posibilitando también que los peores sean seleccionados.

De no ser así, si solamente se escogiesen los mejores, el algoritmo convergería prematuramente haciendo que toda la población sea igual, lo que significa que se dejaría de explorar gran parte del espacio de estados para explorar de forma intensiva solo una pequeña región [DRCO 07].

El funcionamiento general del algoritmo puede verse ilustrado en el diagrama de la Fig. 48.

Ulteriormente a la creación de nuevos individuos, y con una probabilidad baja (1% ~ 5%), cada individuo nuevo es sometido a un proceso de mutación en el que se varía la cadena de bits haciendo un cambio al azar.

Definitivamente, los individuos nuevos son implantados en la nueva generación, generando así una nueva población que conforma la siguiente generación.

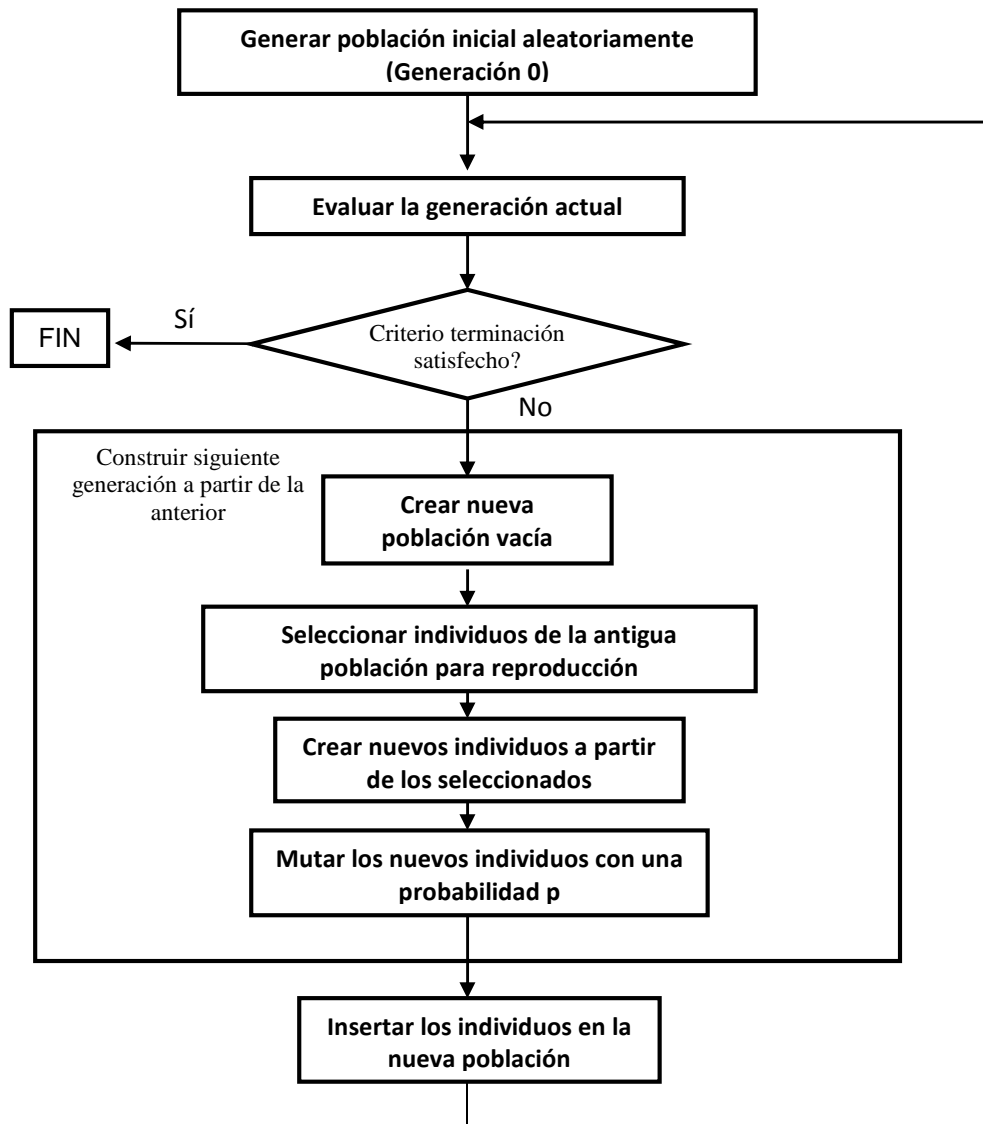


Fig. 48: Diagrama de funcionamiento general del Algoritmo Genético.

Este proceso se reitera hasta que se satisface algún criterio de parada establecido, como podrían ser:

- En la población hay algún individuo que ha alcanzado un ajuste lo suficientemente bueno.
- Se ha producido el número de generaciones máximo prefijado.
- La población ha confluído y todos los individuos (o un porcentaje alto) son iguales.

Dado que cada individuo constituye una posible solución al problema, la existencia de un gran número de individuos en la población implica que el algoritmo realiza una búsqueda en muchas regiones distintas del espacio de estados a la vez.

Una ventaja adicional de los AA.GG. es que la estrategia de resolución de problemas utiliza una medida de ajuste para dirigir la búsqueda, y no se requiere ningún conocimiento específico del espacio de búsqueda, siendo eficientes en espacios que tengan saltos, ruido, valles, etc.

Como cada individuo dentro de la población dirige la búsqueda, el AG realiza una búsqueda en paralelo en numerosos puntos del espacio de estados con numerosas direcciones de búsqueda [FUCH 98].

### 2.9.3. La Programación Genética

La Programación Genética (en adelante PG) surge como una evolución de los Algoritmos Genéticos tradicionales, manteniendo el mismo principio de selección natural. Lo que se pretende es aportar soluciones a los problemas mediante la inducción de programas y algoritmos que los resuelvan. En el caso de un AG, el resultado que facilita el algoritmo es el ajuste de una sucesión de valores numéricos codificados en forma de cromosoma que solucionan el problema.

En el caso de la PG, el resultado que facilita, según la técnica que se utilice, puede ser un programa, otro algoritmo, o incluso una expresión matemática que resuelva el problema. La diferencia básica entre el AG y la PG es la manera de codificar las soluciones, mientras en un AG se realiza mediante una secuencia de valores, en la PG se representa mediante una estructura denominada "árbol", en la que se codifica una fórmula matemática.

Aunque las primeras tentativas por evolucionar programas se produjeron en los años 50 y 60 [FRIE 59] [FOGE 64] no fue hasta los 80 cuando se obtuvieron resultados satisfactorios. Hicklin [HICK 86] y Fujiki [FUJI 86] usaron expresiones en LISP para representar programas cuyo objetivo era resolver problemas de teoría de juegos. Cramer [CRAM 85] y posteriormente Koza [KOZA 89] propusieron de forma independiente el uso de una representación en árbol donde se implementó el operador de cruce intercambiando sub-árboles entre diferentes programas de una población generada al azar.

John R. Koza en su libro "Genetic Programming. On the Programming of Computers by means of Natural Selection" [KOZA 92] sienta las bases de lo que a partir de ese momento se conoce como Programación Genética y que originariamente se ha implementado en lenguaje LISP [KOZA 96] [KOZA 97]. Su técnica es casi independiente del dominio y ha sido utilizada en numerosas aplicaciones como la compresión de imágenes, el diseño de circuitos electrónicos, el reconocimiento de patrones, los movimientos de robots, etc. Posteriormente [KOZA 94] [KOZA 99], Koza extendió su técnica mediante la incorporación de lo que ha denominado Funciones Definidas Automáticamente (FDA), las cuales pueden ser reutilizadas como las subrutinas y sirven para incrementar de forma notable el poder de la PG para generar programas automáticamente.

### 2.9.4. Ventajas de la PG

Son varias las razones por las que la PG se ha mostrado como una técnica potente y sencilla, para la resolución de problemas. Entre otras se pueden destacar:

- Implementa un proceso de búsqueda estocástico, ejecutando búsquedas simultáneas en varias regiones del espacio de estados, con continuas exploraciones en nuevos sectores. Se revela así como un algoritmo eficiente de búsqueda, válido para aquellos problemas en los que su espacio de búsqueda tenga muchos mínimos locales, valles, etc. En los que otros algoritmos, como puedan ser de minimización de gradiente, no llegarían a la solución o les sería muy costoso llegar.

- Al contrario que en los AG tradicionales, la codificación de cada solución particular (que suele tomar el nombre de  *cromosoma* ) se realiza en términos del propio problema, determinando una serie de incógnitas a las que el algoritmo intentará asignar los valores óptimos para resolver el problema. En cambio, en la PG la solución buscada va a ser encontrada en forma de algoritmo y en forma de árbol que posteriormente se transformará en una expresión matemática. Por ejemplo, a partir de una serie de valores empíricos de un fenómeno, el algoritmo intentará buscar la explicación de dicho fenómeno en términos de una expresión matemática.
- Al estar trabajando con este tipo de estructuras se minimiza y se facilita el análisis necesario para la codificación, puesto que ahora se va a realizar de una forma próxima al problema a tratar, lo que también proporciona una gran versatilidad y variedad de problemas que va a poder resolver.
- Son algoritmos inherentemente paralelos, porque se basan en hacer cálculos de forma masiva e independiente (evaluando numerosas soluciones distintas e independientes).
- Posibilita la obtención de soluciones de forma jerárquica, es decir, se puede asignar más importancia a unos factores que a otros a la hora de realizar el proceso de búsqueda de la expresión, así como establecer la complejidad de las soluciones obtenidas.

Un ejemplo en el que se utiliza la PG de forma muy básica (únicamente para la búsqueda de ajuste de parámetros) aplicado el modelo SISO NARMAX propuesto por Rodríguez et al. [RODR 01], que utiliza dicho sistema híbrido para la predicción de series temporales utilizando la técnica de regresión simbólica [DIDE 15]. En este artículo se aplica este sistema híbrido para la predicción de datos meteorológicos.

### 2.9.5. Funcionamiento de la PG

El funcionamiento es similar al de los AG y se basa en la iteración de sucesivas generaciones a partir de las anteriores. Este algoritmo se puede observar en la Fig. 49 [KOZA 92].

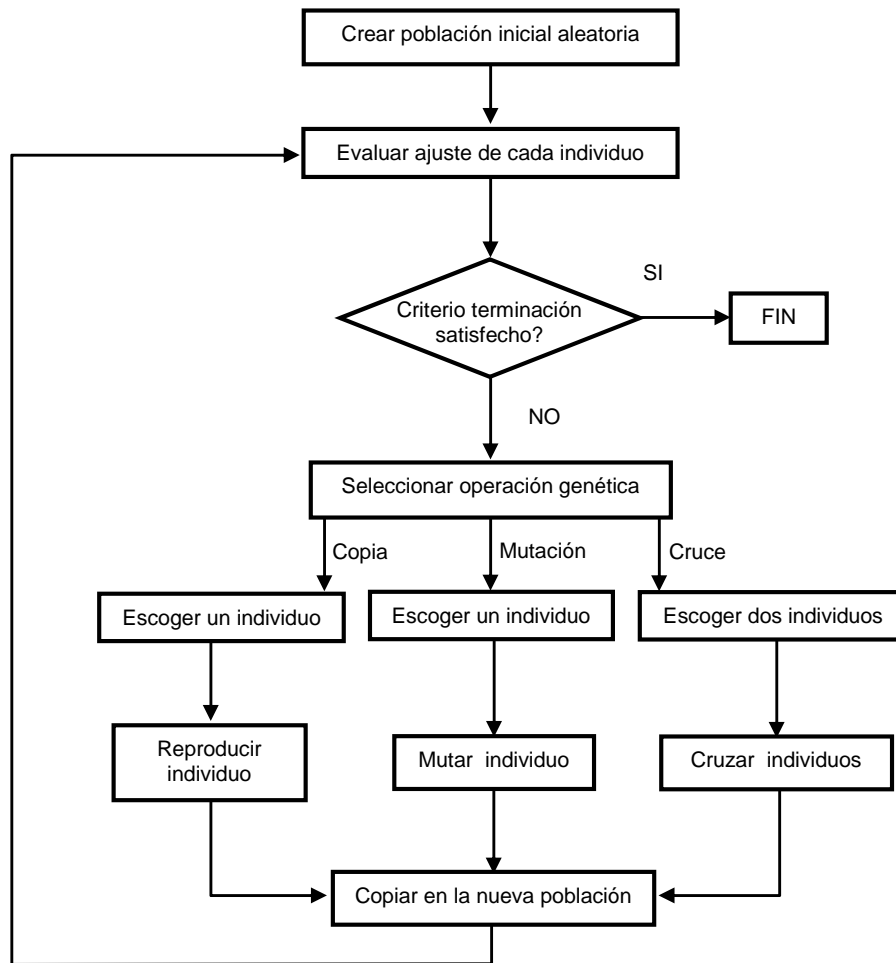


Fig. 49: Diagrama de flujo de la Programación Genética.

Tras la creación inicial de árboles, que generalmente serán aleatorios, se construyen sucesivas generaciones a partir de copias, cruces y mutaciones de los individuos de cada generación anterior.

El primer paso en el funcionamiento del algoritmo es la generación de la población inicial. En la creación de la generación 0, cada árbol se creará de forma más o menos aleatoria, dependiendo del algoritmo, teniendo en cuenta las restricciones que existen en los árboles.

Dado que los árboles son aleatorios, los individuos de esta población, en general, representan soluciones malas al problema.

Para la creación de un árbol existe una gran variedad de algoritmos, pero son tres los más utilizados [KOZA 92]: parcial, completo e intermedio.

- El algoritmo de creación parcial genera árboles cuya altura máxima no supera la especificada.



- El algoritmo completo genera árboles cuyas hojas están todas a un determinado nivel, ya que genera árboles completos.
- El algoritmo de creación intermedio es una mezcla de los dos anteriores, creado para que exista mayor variedad en la población inicial, y con ello mayor diversidad genética. Este algoritmo se basa en ejecutar los anteriores alternándolos y tomando distintas alturas para crear todos los elementos de la población.

Estos algoritmos se basan fuertemente en el azar, y la única intervención del usuario está en la introducción de los elementos terminales y no terminales. Sin embargo, existen muchos más algoritmos en los que la creación de árboles no es tan aleatoria. Por ejemplo, Luke [LUKE 00] asigna una probabilidad de aparición a cada nodo y de esta forma se reduce el carácter aleatorio de la creación y se orientan los árboles a que contengan más nodos de una clase que otra. Los algoritmos serán muy similares, con la salvedad de que la elección de los elementos seguirá siendo aleatoria, pero estará ponderada por esa probabilidad asignada [AGPU 14].

#### 2.9.5.1.1. Elementos del árbol

Al ser una representación en árbol, existirán dos tipos de nodos:

- **Terminales, u hojas del árbol.** Son aquellos que no tienen hijos. Normalmente se asocian con valores constantes o variables.
- **No terminales.** Son aquellos que tienen uno o más hijos. Generalmente se asocian con operadores del algoritmo que se quiere desarrollar.

En la Fig. 50 se puede ver un ejemplo de árbol, que representa la expresión  $f(x) = 2*(3+x)$ . Tiene como nodos no terminales los correspondientes al producto y a la suma, y como terminales los correspondientes a los valores 2 y 3 y la variable x.

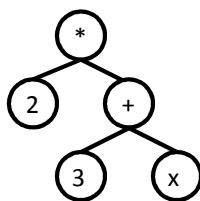


Fig. 50: Árbol para la expresión  $2*(3+x)$ .

Una parte fundamental del funcionamiento de la PG es la especificación del conjunto de elementos terminales y no terminales antes del inicio del proceso evolutivo. Con los nodos que se le especifique, el algoritmo construirá los árboles.

Por tanto, es necesario un mínimo proceso de análisis del problema para configurar el algoritmo, puesto que hay que decirle qué operadores o funciones (seno, coseno, exponencial, etc.) puede utilizar.

Como regla general, resulta conveniente ajustar el número de operadores sólo a los necesarios, puesto que la adición de elementos que no sean necesarios no provocará que no se encuentre la solución, pero sí que el algoritmo tarde más en encontrarla [AGPU 14].

A la hora de especificar los conjuntos de elementos terminales y no terminales, es necesario que estos conjuntos posean dos requisitos, que son *suficiencia* y *completitud* [MONT 95]. El requisito de suficiencia dice que la solución al problema debe poder ser especificada con el conjunto de operadores especificados. El requisito de completitud dice que debe ser posible construir árboles correctos con los operadores especificados [AGPU 14].

Dado que el proceso de construcción de árboles es un proceso basado en el azar, muchos de los árboles construidos no serán correctos, no por no seguir las reglas de la gramática, sino por la aplicación de operadores (nodos no terminales) a elementos que no están en su dominio. Por esta razón no se aplican estos operadores directamente, sino una modificación de ellos en la que se amplía su dominio de aplicación. Un ejemplo claro es el operador de división, cuyo dominio es el conjunto de números reales excepto el valor cero [AGPU 14]. Ampliando su dominio, se define un nuevo operador (%).

$$\%(a,b) \begin{cases} 1 & \text{si } b = 0 \\ \frac{a}{b} & \text{si } b \neq 0 \end{cases}$$

Ecuación 17: Operador %.

A esta nueva operación se denomina *operación de división protegida*, y en general cuando se crea una nueva operación que extiende el dominio de otra se denomina *operación protegida*.

#### 2.9.5.1.2. Restricciones

Existen dos tipos principales de restricciones:

- Tipado.
- Altura máxima del árbol.

Para establecer reglas sintácticas en la creación de árboles, es posible especificar reglas de tipado [MONT 95]. Se establece el tipo de cada nodo (terminales y no terminales), y para los no terminales el tipo que debe tener cada hijo. De esta forma, se especifica la estructura que deben seguir los árboles.

Al especificar el tipo de cada nodo, se está especificando una gramática que va a ser la que siga el algoritmo para la construcción de árboles. Esta gramática permitirá que los árboles tengan la estructura deseada.

Los tipos más usados son los que tienen que ver con la realización de operaciones aritméticas: reales y enteros. Sin embargo, son también muy usados otros como el tipo booleano, o el tipo sentencia, este último se utiliza cuando se quiere desarrollar un programa que sea una secuencia de mandatos, y que designa nodos que no devuelven nada, es decir, que su evaluación se basa en los efectos que provoca su ejecución [AGPU 14].

Por su parte, la restricción de altura evita la creación de árboles demasiado grandes y fuerza una búsqueda de soluciones cuyo tamaño se acota de antemano. Con esta restricción se evita que los árboles posean mucho código redundante y el crecimiento excesivo de los árboles [SOUL 97] [SOUL 98].

#### 2.9.5.1.3. Operadores genéticos

En la creación de una nueva generación se emplean operadores que generan y modifican los árboles [AGPU 14]. Estos operadores son resultado de adaptar los existentes en los AG tradicionales a la PG, modificándolos para adaptarlos a la codificación en forma de árbol. Los operadores más utilizados son:

- Cruce.
- Reproducción (copia).
- Selección.
- Mutación.

##### 2.9.5.1.3.1. *Cruce*

Es el principal operador. En él, dos individuos de la anterior población se combinan para crear otros dos individuos nuevos [AGPU 14]. Después de seleccionar a dos individuos como padres, se selecciona un nodo al azar en el primero y otro en el segundo, de forma que su intercambio no viole ninguna de las restricciones: los nodos deben ser de igual tipo y los árboles nuevos deben seguir manteniendo la altura máxima. El cruce entre los dos padres se efectúa mediante el intercambio de los subárboles seleccionados en ambos padres [LUKE 98].

Existen variantes adaptativas de este operador [ANGE 96] en las que el propio algoritmo se modifica, así como numerosas variantes que tienen como base este algoritmo [AGUI 99] [PERE 99].

##### 2.9.5.1.3.2. *Reproducción (copia)*

La reproducción simplemente es la copia de individuos en la nueva generación. Esta operación es asexual en el sentido en que se genera un individuo a partir de un individuo anterior [AGPU 14].

Esta operación, junto con la de cruce, forman los operadores que se utilizan más frecuentemente, y entre ellos tiene una especial predominancia la de cruce. De hecho, el porcentaje de individuos nuevos generados a partir de cruces suele ser superior al 90%, mientras que el resto son generados mediante copias. El aumento del número de individuos generados por copias aumenta el peligro de predominancia de un individuo sobre el resto de la población, y que finalmente tras varias generaciones toda la población converja hacia ese individuo.

Esta es una situación indeseable, puesto que se ha perdido por completo la diversidad genética que se tenía al principio y ello conlleva que la búsqueda en el espacio de estados sólo se lleve a cabo en una determinada zona, lo cual es lo contrario que se pretende con AG.

El operador de cruce es, por tanto, el principal operador utilizado para la generación de los nuevos árboles y exploración del espacio de estados [POLI 98].

#### 2.9.5.1.3.3. Selección de individuos

Para evitar una predominancia de un individuo en la reproducción, ya sea por cruce o copia, es necesario regular bien la selección de los individuos a los que se aplican estos operadores. Existen muchos algoritmos de selección, pertenecientes a los AG tradicionales, que realizan la tarea de escoger qué individuos se van a reproducir y cuáles no.

En general todos los algoritmos de selección se basan en la misma idea: que los individuos más aptos tengan más posibilidades de ser escogidos para reproducirse pero sin eliminar por completo las posibilidades de los menos aptos, puesto que de ser así la población convergería en pocas generaciones. Para medir la bondad de un individuo [AGPU 14], éste se valora con un nivel de ajuste o aptitud, y en base a ese nivel se puede decidir la elección de individuos. Algunos de los algoritmos más utilizados son la selección por torneo y la ruleta.

En la selección por torneo [WETZ 83], se escoge un número de individuos al azar de la población (típicamente dos individuos) y es seleccionado el mejor de ellos. Este método de selección es muy usado, y puede regular la presión de selección que se ejerce sobre la población variando el número de individuos que participan en el torneo. De esta forma, si participa un número bajo, se ejerce poca presión y se dan más oportunidades de ser seleccionados a los menos aptos. Conforme crece el número de individuos, serán seleccionados los mejores con mayor frecuencia [AGPU 14]. Además, es posible seleccionar un individuo varias veces.

En la selección por ruleta [DEJO 75], todos los individuos de la población son dispuestos en una ruleta ocupando cada uno una parte proporcional al nivel de ajuste del individuo comparado con el nivel de ajuste de toda la población (suma de ajustes); es decir, que ocupan más espacio en la ruleta los mejores individuos. Para realizar la selección, simplemente se hace girar la ruleta y se devuelve el individuo seleccionado por ella. Este método es muy utilizado por su simplicidad y sus buenos resultados. Sin embargo, presenta el problema de que al poder seleccionar el mismo individuo varias veces, el mejor individuo sea escogido muchas veces y acabe predominando en la población.

Existen otros muchos algoritmos, en los que el número de veces que un individuo es seleccionado se realiza de forma determinística. Esto evita problemas de predominancia de un individuo. Cada uno de estos algoritmos presenta variaciones respecto al número de veces que se tomarán los mejores y los peores.

Se impondrá una presión en la búsqueda en el espacio de estados en la zona donde se encuentra el mejor individuo, o bien se tiende a repartir la búsqueda por el espacio de estados, pero sin dejar de tender a buscar en la mejor zona. Algunos de estos algoritmos son: sobranste estocástico [BRIN 81] [BOOK 82], universal estocástica [BAKE 87] o muestreo determinístico [DEJO 75].

#### 2.9.5.1.3.4. Mutación

El operador de mutación incita la variación de un árbol de la población. Este operador suele usarse con probabilidad muy baja (menos del 10%) antes de introducir un individuo en la nueva generación.

Existen dos tipos principales de mutación: mutación en la que se varía un solo nodo y mutación en la que se varía una rama entera del árbol [AGPU 14].

En el primer caso, conocida por mutación puntual, la mutación actúa de la siguiente manera:

1. Se escoge un nodo al azar del árbol.
2. Se escoge al azar un nodo del conjunto de terminales o no terminales, del mismo tipo que el seleccionado, con el mismo número de hijos y de forma que sus hijos sean del mismo tipo.
3. Se intercambia el nodo antiguo del árbol por el nuevo, conservando los mismos hijos que el antiguo.

Dado que cada rama del árbol representa una solución a un sub-problema y el no terminal que las une representa la forma de combinar esas soluciones, si se realiza este tipo de mutación sobre un elemento no terminal se estará provocando que las soluciones se combinen de distinta forma. Este tipo de mutación apenas se usa.

El operador de mutación provoca en el individuo un salto en el espacio de estados, comenzando una búsqueda distinta en otra zona. La mayor parte de las mutaciones son destructivas, es decir, el individuo empeora, y por eso se utilizan con una probabilidad muy baja, para conseguir variedad genética [AGPU 14]. Existen estudios sobre la evolución sin el uso de cruces, en los que la mutación juega un papel fundamental [CHEL 97], en los que se utilizan distintos tipos de mutaciones, pero los resultados siguen siendo peores que utilizando cruces.

#### 2.9.5.1.4. Evaluación

La cuantificación de la bondad de un determinado individuo se realiza por medio del ajuste de ese individuo. Este valor representa lo bien que el árbol soluciona el problema actual.

El ajuste es probablemente el concepto primordial en la evolución darwiniana, se refiere a la habilidad que tiene un individuo de competir en un entorno por los recursos disponibles [AGPU 14]. Goldberg describió la función de ajuste como “una medida de beneficio, utilidad o bondad que queremos maximizar” [GOLD 89].

En el Algoritmo Genético, esta competición se basa en la actuación del cromosoma dentro del dominio del problema. Se determina una escala adecuada a la tarea como “tiempo antes de fallo” [RAND 94], o “tiempo antes de estabilizarse” [KOZA 90]. Después de haber aplicado un cromosoma al problema, se le asigna un valor de ajuste que manifieste su actuación. De esta manera, cuando la población entera haya sido probada, la habilidad relativa de cada cromosoma puede ser identificada [AGPU 14].

Para valorar esta medida de ajuste, existen tres tipos fundamentales [KOZA 92]

- **Estandarizado.** Este tipo de ajuste  $s(i,t)$  mide la bondad de un individuo  $i$  en la generación  $t$ , de tal forma que valores próximos a cero indican un buen valor de ajuste y valores lejanos un mal individuo. Por tanto, en una generación  $t$  un individuo  $i$  será peor que otro  $j$  si  $s(i,t) > s(j,t)$ .

Esta medida es muy útil en problemas en los que la cuantificación del nivel de ajuste de los individuos se basa en penalizaciones, como puede ser el error en inducción de fórmulas, error cuadrático medio, número de ejecuciones necesarias para encontrar la solución, etc.

- **Ajustado.** Este valor se obtiene del estandarizado de la siguiente forma:

$$a(i,t) = \frac{1}{1 + s(i,t)}$$

*Ecuación 19: Fórmula de ajuste.*

Con esta medición la bondad se cuantifica entre 0 y 1, siendo el valor 1 se corresponde con el mejor individuo [AGPU 14].

- **Normalizado.** Es un valor de ajuste comparativo del individuo con la totalidad de la población. Se obtiene de la siguiente expresión, dado el tamaño de población  $M$ :

$$n(i,t) = \frac{a(i,t)}{\sum_{k=1}^M a(k,t)}$$

*Ecuación 20: Fórmula de ajuste normalizado.*

Este valor está comprendido entre 0 y 1. Este tipo de ajuste indica el nivel de bondad dentro de la población [AGPU 14]. En este caso desaparece el componente de objetividad de evaluación de los tipos anteriores, y un valor cercano a 1 ya no indica que ese individuo represente una solución buena al problema, sino que ese individuo representa una solución destacada y notablemente mejor que la del resto de la población.

Este valor es utilizado para realizar las selecciones proporcionales al ajuste, como la ruleta [AGPU 14]. En este caso, la proporción de ruleta ocupada por un individuo será este valor, ya que la suma de todos será la unidad.

# HIPÓTESIS DE PARTIDA Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

---

Desde la entrada en vigor de la Directiva Europea 91 del 2002, relativa a la eficiencia energética de los edificios, la cual obligaba a los Estados miembros de la Unión Europea a establecer una metodología para determinar la eficiencia energética de los edificios mediante su trasposición a la legislación local; la evaluación del comportamiento energético y ambiental de los edificios, especialmente los que integran en parque de edificios existentes, ha adquirido una gran relevancia.

Debido a que en España, el proceso de implantación de la metodología para evaluar la eficiencia energética de los edificios existentes se ha producido con un retraso superior a siete años, y ante la falta de sistemas de información a través de la web para consultar los resultados de la labor evaluadora; no se dispone de información referente al comportamiento energético de estos edificios, que son los que tienen las calificaciones más desfavorables; ni tampoco se disponen de modelos válidos de referencia, que permitan predecir su comportamiento energético y ambiental.

Por tal motivo, la presente investigación, tiene la finalidad de demostrar la aplicabilidad de las Redes de Neuronas Artificiales y la Programación Genética al estudio del comportamiento energético y ambiental del edificio, así como de su eficiencia energética.

Por todo ello, para este trabajo de investigación, se plantea la siguiente hipótesis de partida:

- *Se puede establecer un modelo adaptativo que permita modelar el comportamiento energético y ambiental de los edificios existentes en la zona norte de España, mediante la aplicación de Redes de Neuronas Artificiales y Programación Genética, partiendo de algunas de sus características constructivas, energéticas y ambientales.*

Esta hipótesis de partida, requiere establecer un sistema de objetivos específicos o plan estratégico, que permita la verificación de la hipótesis formulada. Una vez analizada la secuencia de las actividades y su planificación, se establece el siguiente sistema de objetivos para la presente investigación:

1. Analizar el comportamiento energético y ambiental de un número representativo de edificios existentes destinados a uso residencial y terciarios, situados en el norte de España, para generar datos de entrada necesarios para el desarrollo del modelo adaptativo.
2. Determinar mediante simulaciones energéticas, las consecuencias de la implementación de medidas pasivas y activas de ahorro energético el ahorro energético, evaluando su impacto en cada tipología de edificio.

3. Desarrollar una aplicación informática que facilite el registro de los datos obtenidos del análisis de la eficiencia energética de los edificios, que facilite realizar el volcado de datos, el seguimiento del comportamiento energético y ambiental de los inmuebles evaluados durante su vida útil.
4. Modelar el comportamiento de los edificios seleccionados en base a sus perfiles de demanda y consumo energético mediante el uso de Redes de Neuronas Artificiales y Programación Genética.

Por lo tanto, quedan formulados los objetivos planteados para la labor investigadora, los recursos, metodología y el análisis de los resultados obtenidos, se exponen en los siguientes capítulos.



En este apartado se describen los métodos y las técnicas utilizadas en los trabajos de campo y en el tratamiento de los datos obtenidos, relacionados con los objetivos propuestos para la investigación:

- Calificación de eficiencia energética en edificios existentes, utilizando medidor de flujo térmico para verificar el comportamiento de la envolvente (Objetivo 1).
- Realización de una simulación energética para determinar el ahorro de energía potencial y la mejora en la calificación de la eficiencia energética de los edificios existentes, implementando medidas de ahorro pasivas y activas (Objetivo 2).
- Desarrollo de una aplicación web que permita el registro y el seguimiento de los datos obtenidos en el proceso de auditoría energética y ambiental del edificio (Objetivo 3).
- Diseño de un modelo predictivo para el comportamiento energético y ambiental del edificio, basado en la aplicación de Redes de Neuronas Artificiales y Programación Genética (Objetivo 4).

### **4.1. Recursos y metodología para la evaluación y calificación de la eficiencia energética en edificios existentes.**

#### 4.1.1. Metodología para el cálculo de la eficiencia energética (según el Ministerio de Fomento – Nota informativa sobre el procedimiento de certificación de la eficiencia energética en edificios) [NFOC 16]

La eficiencia energética de un edificio se determina calculando o midiendo el consumo de energía necesaria para satisfacer anualmente la demanda energética del edificio en unas condiciones normales de funcionamiento y ocupación.

La eficiencia energética de un edificio suele expresarse de forma cualitativa o cuantitativa de distintas formas: mediante indicadores, índices, calificación o letras de una escala que varía de mayor a menor eficiencia, determinada convencionalmente.

##### 4.1.1.1. Indicadores energéticos

La calificación energética se expresa a través de varios indicadores que permiten explicar las razones de un buen o mal comportamiento energético del edificio y proporcionan información útil sobre los aspectos a tener en cuenta a la hora de proponer recomendaciones que mejoren dicho comportamiento.

Estos indicadores, en base anual y referidos a la unidad de superficie útil del edificio, se obtendrán de la energía consumida por el edificio para satisfacer, en unas condiciones climáticas determinadas, las necesidades asociadas a unas condiciones normales de funcionamiento y ocupación, que incluirá, entre otros aspectos, la energía consumida en calefacción, la refrigeración, la ventilación, la producción de agua caliente sanitaria y en su caso la iluminación, a fin de mantener las condiciones de confort térmico y lumínico y calidad de aire interior.

El indicador energético principal o global se corresponde con la emisión anual de CO<sub>2</sub>, expresada en kg por m<sup>2</sup> de superficie útil del edificio. Los indicadores complementarios serán por orden de prioridad los siguientes [ROBE 13]:

- a) Consumo de energía primaria no renovable anual, en kW.h por m<sup>2</sup> de superficie del edificio.
- b) Consumo de energía primaria total anual, en kW.h por m<sup>2</sup> de superficie útil del edificio.
- c) Porcentaje de energía primaria anual procedente de fuentes de energías renovables respecto a la energía primaria total anual.
- d) Consumo de energía primaria anual procedente de fuentes renovables, en kW.h por m<sup>2</sup> de superficie útil del edificio.
- e) Consumo de energía primaria total anual desagregada por usos de calefacción, refrigeración, producción de agua caliente sanitaria e iluminación, en kW.h por m<sup>2</sup> de superficie útil del edificio.
- f) Demanda energética anual para calefacción, en kW.h por m<sup>2</sup> de superficie útil del edificio.
- g) Demanda energética anual para refrigeración, en kW.h por m<sup>2</sup> de superficie útil del edificio.
- h) Emisiones anuales de CO<sub>2</sub>, expresadas en kg por m<sup>2</sup> de superficie útil del edificio, desagregada por usos de calefacción, refrigeración, producción de agua caliente sanitaria e iluminación.

#### 4.1.1.2. Condiciones normales de funcionamiento y ocupación del edificio

El cálculo de la calificación de eficiencia energética se realizará considerando unas condiciones normales de funcionamiento del edificio, basadas en las solicitudes interiores, solicitudes exteriores y condiciones operacionales; y en las condiciones normales de ocupación del edificio, que están incluidas en el documento reconocido "Condiciones de aceptación de procedimientos alternativos", en función de los distintos usos de los edificios.

#### 4.1.1.3. Cálculo del consumo y la demanda energética

La metodología de cálculo deberá contemplar el cálculo del consumo de energía final horaria, mediante el cálculo de la demanda horaria y el cálculo del rendimiento medio horario de los sistemas que cubren las necesidades anteriormente descritas [CEDF 15].

Para el cálculo se deberá cumplir el nivel mínimo de modelización exigido en el Documento Básico DB HE “Ahorro de energía” del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo.

#### 4.1.1.4. Alcance y características de los sistemas de cálculo

Los sistemas de cálculo deben considerar, bien de forma detallada o bien de forma simplificada, los siguientes aspectos [CEDF 15]:

- a) Diseño, emplazamiento y orientación del edificio.
- b) Condiciones ambientales interiores y condiciones climáticas exteriores.
- c) Características térmicas de los cerramientos, teniendo en cuenta la capacidad térmica, el aislamiento, la calefacción pasiva, los elementos de refrigeración, y los puentes térmicos, etc.)
- d) Sistemas solares pasivos y protección solar.
- e) Instalaciones térmicas de los edificios individuales y colectivas (calefacción, refrigeración y producción de agua caliente) y sistemas de calefacción y refrigeración urbana; incluyendo las características de aislamiento de tuberías y conductos.
- f) Ventilación natural y mecánica
- g) Instalación de iluminación interior artificial.
- h) Iluminación natural.
- i) Sistemas solares activos u otros sistemas de calefacción o producción de electricidad basados en fuentes de energía renovables.
- j) Electricidad producida por cogeneración.

Los programas informáticos deben incluir una documentación técnica suficiente para su correcta utilización, que debe comprender como mínimo lo siguiente [CEDF 15]:

- a) Alcance del programa, incluyendo que tipologías de edificios, sistemas y equipos están incluidos, así como su ámbito de aplicación geográfico.
- b) Limitaciones para la utilización del programa informático, como soluciones constructivas o sistemas que no puedan ser introducidos en el programa informático.
- c) Hipótesis y valores por defecto a tomar para todas aquellas variables que no se soliciten directamente al usuario.
- d) Datos de la zona climática a utilizar por defecto.
- e) Procedimiento, dependiendo del caso, para la generación del edificio de referencia.
- f) Documentación administrativa necesaria.

En España, desde la actualización del Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE) del Código Técnico de la Edificación (CTE) y el Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE) que se llevó a cabo en abril 2013, existen dos procedimientos para la certificación de la eficiencia energética en edificios, uno general y otro simplificado [ICAL 13].

- El *procedimiento general*, es válido para la certificación de la eficiencia energética de edificios en proyecto, terminados y existentes; contemplado en el documento reconocido que lo desarrolla es la Herramienta Unificada Lider-Calener [HULC 16].
- El *procedimiento simplificado* es válido para la certificación de la eficiencia energética de edificios existentes o partes del mismo (por ejemplo una vivienda o un local comercial), los documentos que lo desarrollan son el CE3, el CE3x (para edificios existentes de uso residencial o terciario) y el CERMA (solo para edificios de viviendas).

Por lo tanto, para obtener una certificación de la eficiencia energética acorde con alguno de éstos procedimientos, implica utilizar alguno de los documentos reconocidos anteriormente descritos y sus aplicaciones informáticas asociadas, siendo los más utilizados para edificios existentes, el CE3 y el CE3x.

La utilización del procedimiento simplificado en el que se basan estos dos documentos reconocidos, consiste en la determinación de los parámetros característicos del comportamiento térmico de la envolvente del edificio y en el cálculo del rendimiento de un equipo térmico, lo cual exige del técnico certificador la realización una inspección detallada tanto de los cerramientos y particiones que constituyen la envolvente térmica, como de las características energéticas de los equipos térmicos.

Si bien es cierto que los programas utilizados para obtener las calificaciones energéticas de los edificios adecuadamente contrastados, no parece prudente que los parámetros energéticos se determinen únicamente en base a propiedades teóricas y cálculos aproximados.

Existen diferentes estudios que han demostrado que la diferencia entre la transmitancia térmica teórica (calculada) y la real (medida) puede ser elevada, lo cual tiene como resultado una estimación incorrecta de las pérdidas de energía que se producen por transmisión térmica a través del muro, lo que puede afectar negativamente al resultado del proceso de certificación.

Por tal motivo, es conveniente establecer una metodología de actuación, que proporcione al técnico certificador, una secuencia de actividades y criterios de valoración aplicables en el proceso de evaluación de la eficiencia energética de un edificio, lo que le permite asegurar la calidad del trabajo realizado [IDCE 13].

#### 4.1.2. Información preliminar y recursos necesarios para la labor del técnico certificador

En la inspección de edificios existentes, el reto al que se enfrenta el técnico certificador es doble, por un lado adquirir el conocimiento suficiente de la composición de la envolvente térmica y por otro, conocer las características energéticas de los equipos térmicos responsables de la generación de calor/frío para acondicionar el ambiente interior y de la producción de agua caliente sanitaria.

Con frecuencia en numerosos edificios antiguos cuya eficiencia energética debe ser evaluada, no se dispone de documentación técnica inicial o no se han registrado el alcance de las distintas reformas que se han ejecutado en el inmueble desde el inicio de su vida útil; por lo que no se dispone de una descripción fiable de la composición del cerramiento.

Ante la dificultad de realizar calicatas en el intradós del cerramiento que delimita con estancias habitables, el técnico tiene que estimar la composición y el espesor de las distintas capas, de cámara de aire y material aislante, además de su posición dentro de la misma.

Este tipo de estimaciones, pueden inducir a error en la determinación de la transmitancia térmica  $U$  ( $W/m^2 \cdot ^\circ K$ ) del cerramiento y por lo tanto estimar incorrectamente la cantidad de energía calorífica que se pierde a través del muro en contacto con el aire exterior.

Para establecer de una metodología eficaz de inspección, deben establecerse previamente las partes del cerramiento que van a ser revisadas y los puntos de inspección que serán objeto de reconocimiento detallado por parte del técnico; el objetivo es detectar cualquier síntoma que suponga un comportamiento térmico anómalo del cerramiento, esta metodología se basa en tres elementos:

- Disponer de la mayor cantidad posible de información y documentación técnica sobre los sistemas constructivos de los componentes de la envolvente térmica, para determinar correctamente su comportamiento térmico.
- Disponer de las características energéticas de los equipos térmicos del edificio, así como de su rendimiento real medida durante las inspecciones periódicas realizadas.
- Establecer una sistemática de inspección adaptada a las características del edificio o de la parte del mismo que se desea certificar, accediendo a la totalidad de las estancias del inmueble. La elaboración de listas de chequeo es una herramienta muy útil a la hora de organizar la inspección.
- En los casos que el técnico certificador lo considere necesario, debe disponer de equipos de medición que permitan la determinación in situ de algunos parámetros que condicionen el comportamiento térmico en el ambiente interior del edificio o de la parte a certificar o el rendimiento de los equipos térmicos responsables de satisfacer las demandas de calefacción y agua caliente sanitaria.

#### 4.1.3. Fases del proceso de inspección en la certificación de la eficiencia energética de un edificio

Con el objeto de establecer una sistemática de actuación la evaluación y calificación de la eficiencia energética de un edificio existente, es conveniente determinar las fases en las que se puede subdividir el proceso de forma ordenada.

En las intervenciones en edificios existentes, la casuística ante la que se encuentra el técnico certificador es muy amplia y necesariamente tendrá que adaptar algún aspecto esta propuesta metodológica a las características específicas del inmueble, no obstante se pueden identificar claramente las siguientes fases:

a) *Compilación de los datos del edificio*: Consiste en la recopilación de información que se pueden agrupar en seis categorías:

1. Información general relativa al inmueble: datos del propietario, año de construcción, referencia catastral, superficie de espacios habitables, altura entre plantas, etc.
2. Documentación técnica de proyecto: planos de situación, distribución en plantas, alzados, secciones, esquemas de instalaciones, memoria descriptiva de la envolvente térmica y de los equipos térmicos, entre otros.
3. Características geométricas del edificio: superficie habitable, superficie de muros, huecos, cubierta y suelos, altura total y entre plantas, porcentaje de huecos en proporción con el opaco, espesores totales de cerramientos y particiones que delimitan los espacios habitables, entre otros.
4. Características constructivas de la envolvente y sus componentes: materiales utilizados en las hojas del cerramiento, tipo de acristalamiento y perfilera utilizada en ventanas, huecos, espesores, entre otros
5. Características energéticas de los equipos térmicos: antigüedad, número y tipo de equipos, función que realizan, potencia nominal, tipo de combustible, boletín de últimas inspecciones periódicas, facturas y consumos energéticos reales, etc.).
6. Modificaciones o procesos de reforma integral o parcial del inmueble: recopilación sobre el alcance de las reformas que hubiesen modificado la superficie habitable, las características térmicas iniciales de la envolvente y aquellas reparaciones o sustituciones que hubiesen alterado el rendimiento de los equipos térmicos (generación de calor/frío y producción de agua caliente sanitaria).

b) *Preparación de la inspección*: Consiste en preparar y/o elaborar los recursos que precisa el técnico certificador, en función de la información recabada y de las características del inmueble. Resulta muy útil apoyar la inspección con listas de chequeo específicas, según la tipología constructiva de la envolvente, estableciendo los puntos de inspección que deben ser revisados por el técnico (zonas en las que el muro presenta un comportamiento térmico anómalo); o fichas para recopilar los datos de los equipos térmicos y su estado actual.

En el anexo II del Real Decreto 233/2013<sup>78</sup>, de 5 de abril, por el que se regula el Plan Estatal de fomento del alquiler de viviendas, la rehabilitación edificatoria, y la regeneración y renovación urbanas, 2013-2016; se propone un modelo tipo de informe de evaluación de los edificios, el cuál puede servir como referencia para la elaboración de las listas de chequeo y fichas informativas que requiere el técnico certificador.

---

<sup>78</sup> Gobierno de España – Ministerio de Fomento: Real Decreto 233/2013, de 5 de abril, por el que se regula el Plan Estatal de fomento del alquiler de viviendas, la rehabilitación edificatoria, y la regeneración y renovación urbanas, 2013-2016. Publicado en BOE núm. 86. Madrid, 2013. Anexo II.

Como ejemplo se propone el modelo tipo para los apartados correspondientes a cerramientos exteriores y equipos térmicos:

CERRAMIENTOS VERTICALES Y CUBIERTAS		
<b>Fachada principal</b>	Acabado Visto en Fachada Principal: % sobre Sup. Cerram. Vertical Total:	Acabado Revestido en Fachada Principal: % sobre Sup. Cerram. Vertical Total:
Superficie (m <sup>2</sup> ):	<input type="checkbox"/> Mampostería <input type="checkbox"/> Fábrica bloque hormigón <input type="checkbox"/> Sillería <input type="checkbox"/> Panel prefabr. hormigón <input type="checkbox"/> Fábrica ladrillo <input type="checkbox"/> Panel Metálico/Sandwich <input type="checkbox"/> Fábrica bloque cerámico <input type="checkbox"/> Otros:	<input type="checkbox"/> Enfoscado y pintado <input type="checkbox"/> Chapado piedra <input type="checkbox"/> Revoco <input type="checkbox"/> Chapado metálico <input type="checkbox"/> Mortero monocapa <input type="checkbox"/> Otros : <input type="checkbox"/> Aplacado cerámico
% sobre Sup. Cerram. Vertical Total:	Dispone de Cámara de Aire: <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Se desconoce	Dispone de aislamiento térmico: <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Se
<b>Otras fachadas, fachadas a patios, y medianerías <sup>(6)</sup></b>	Acabado Visto en Otras Fachadas: % sobre Sup. Cerram. Vertical Total:	Acabado Revestido en Otras Fachadas: % sobre Sup. Cerram. Vertical Total:
Superficie (m <sup>2</sup> ):	<input type="checkbox"/> Mampostería <input type="checkbox"/> Fábrica bloque hormigón <input type="checkbox"/> Sillería <input type="checkbox"/> Panel prefabr. hormigón <input type="checkbox"/> Fábrica ladrillo <input type="checkbox"/> Panel Metálico/Sandwich <input type="checkbox"/> Fábrica bloque cerámico <input type="checkbox"/> Otros:	<input type="checkbox"/> Enfoscado y pintado <input type="checkbox"/> Chapado piedra <input type="checkbox"/> Revoco <input type="checkbox"/> Chapado metálico <input type="checkbox"/> Mortero monocapa <input type="checkbox"/> Otros : <input type="checkbox"/> Aplacado cerámico
% sobre Sup. Cerram. Vertical Total:	Dispone de Cámara de Aire: <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Se desconoce	Dispone de aislamiento térmico: <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Se
<b>Carpintería y vidrio en huecos</b>	Tipo de carpintería predominante:	Tipo de vidrio predominante:
Superficie (m <sup>2</sup> ):	<input type="checkbox"/> Madera <input type="checkbox"/> Acero <input type="checkbox"/> Aluminio <input type="checkbox"/> PVC <input type="checkbox"/> Otros:	<input type="checkbox"/> Simple <input type="checkbox"/> Doble acristalamiento <input type="checkbox"/> Triple acristalamiento <input type="checkbox"/> Con capa bajo emisiva <input type="checkbox"/> Con capa de control solar
% sobre Sup. Cerram. Vertical Total:		
<b>Azotea/Cubierta plana</b>	<input type="checkbox"/> Transitable <input type="checkbox"/> No transitable Dispone de aislamiento térmico: <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Se desconoce	<b>Cubierta inclinada</b> Superficie (m <sup>2</sup> ): <input type="checkbox"/> Teja árabe <input type="checkbox"/> Fibrocemento <input type="checkbox"/> Teja plana u otra <input type="checkbox"/> Asfáltica <input type="checkbox"/> Teja cemento <input type="checkbox"/> Chapa acero <input type="checkbox"/> Pizarra <input type="checkbox"/> Chapa cobre/zinc
% sobre Sup. Cerram. Horizontal Total:	Dispone de lámina impermeabilizante: <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Se desconoce	% sobre Sup. Cerram. Horizontal Total: Dispone de aislamiento térmico: <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Se desconoce
Observaciones:		
<b>Calefacción</b>	<input type="checkbox"/> Se dispone de sistema de Calefacción Colectiva/Central: <input type="checkbox"/> Caldera comunitaria <input type="checkbox"/> Bomba de calor <input type="checkbox"/> Otro: Combustible Calefacción Colectiva/Central: <input type="checkbox"/> GLP <input type="checkbox"/> Electricidad <input type="checkbox"/> Gasóleo <input type="checkbox"/> Leña/biomasa <input type="checkbox"/> Gas Natural <input type="checkbox"/> Otros	En caso contrario, indicar: % de viviendas/locales disponen de sistemas individuales de Calefacción: % viviendas con Caldera (Gas canalizado): Indicando: <input type="checkbox"/> Propano <input type="checkbox"/> Gas Natural % viviendas con Caldera Gasóleo: % viviendas con Calefacción eléctrica: Indicando: <input type="checkbox"/> Bomba de calor <input type="checkbox"/> Radiadores % con Otros:
<b>Agua Caliente Sanitaria ACS</b>	<input type="checkbox"/> El edificio dispone de sistema de ACS Central: Combustible para producción ACS: <input type="checkbox"/> GLP <input type="checkbox"/> Electricidad <input type="checkbox"/> Gasóleo <input type="checkbox"/> Leña/biomasa <input type="checkbox"/> Gas Natural <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/> El edificio dispone de captadores solares para la producción de ACS	En caso contrario, indicar: % de viviendas/locales disponen de sistemas individuales de producción de ACS: % viviendas con Calentadores (Gas canalizado): Indicando: <input type="checkbox"/> Propano <input type="checkbox"/> Gas Natural % viviendas con Calentadores (Gas embotellado): Indicando: <input type="checkbox"/> Propano <input type="checkbox"/> Butano % viviendas con Calentadores eléctricos: % con Otros:
<b>Gas canalizado para instalaciones domésticas</b>	% de viviendas/locales que disponen de acometida a red de distribución canalizada de gas para uso doméstico: <input type="checkbox"/> Propano <input type="checkbox"/> Gas Natural	<input type="checkbox"/> Contadores individuales por vivienda/local <input type="checkbox"/> Contadores individuales centralizados
<b>Refrigeración</b>	<input type="checkbox"/> El edificio dispone de sistema colectivo de Refrigeración: <input type="checkbox"/> Con torre de enfriamiento <input type="checkbox"/> Sin torre de enfriamiento	En caso contrario, indicar: % de viviendas/locales disponen de sistemas individuales de refrigeración (aire acondicionado): Nº aparatos de aire acondicionado vistos en fachadas:
<b>Ventilación y renovación de aire</b>	El edificio dispone de los siguientes sistemas de ventilación para los cuartos húmedos (baños y cocinas) de las viviendas: <input type="checkbox"/> Ventanas <input type="checkbox"/> Patinejos <input type="checkbox"/> Shunts <input type="checkbox"/> Otros: <input type="checkbox"/> Existen locales o viviendas cuyos cuartos húmedos no tienen ninguno de los sistemas anteriores de ventilación.	Los apartamientos disponen de sistemas de ventilación: <input type="checkbox"/> Mecánica <input type="checkbox"/> Natural <input type="checkbox"/> Híbrida

Tabla 62: Lista de ítems del modelo tipo de informe de evaluación del edificio para recopilar datos de cerramientos, cubiertas y equipos térmicos (Anexo II del R.D. 233/2013)

c) **Reconocimiento del edificio:** El alcance del reconocimiento está relacionado con el tipo de inmueble cuya eficiencia energética se quiere certificar.

Ya sea un edificio completo o una parte del mismo (vivienda o local comercial), se deben revisar todas las estancias habitables y las salas en las que se alojan los equipos térmicos, para detectar cualquier incidencia que afecte al comportamiento térmico o energético del inmueble.

Alcance para el reconocimiento de la envolvente térmica: el objetivo es detectar cualquier síntoma aparente que guarde relación con el comportamiento térmico anómalo en cerramientos verticales, cubiertas o particiones que delimiten las zonas habitables en cada planta, en concreto deben ser objeto de inspección aquellos puntos que supongan un riesgo de existencia de puente térmico, infiltraciones directas de aire procedentes del exterior y superficies en las que exista moho provocado por humedad persistente (ya sea provocada por condensaciones intersticiales o por infiltración de agua procedente de lluvia). Se mencionan algunos aspectos relacionados con la demanda energética que deben ser revisados por el técnico:

- *Relativos a la envolvente:* Transmitancia térmica en el cerramiento exterior, Existencia de puentes térmicos y Existencia de infiltraciones. Algunos puntos en los que con frecuencia se detectan puentes térmicos son: elementos estructurales integrados en los cerramientos; encuentros de cerramientos, particiones y forjados; encuentros de zona opaca del cerramiento con huecos; Esquinas o encuentros entre fachadas con distintas orientaciones; encuentros de fachada y cubierta.
- *Relativos al uso al que se destina el edificio:* Obras de reforma o rehabilitación desde el inicio de su vida útil, Régimen de ventilación existente, Régimen de uso (usos específicos y horarios), Identificación de estancias no calefactadas o deshabitadas.
- *Relativos a las instalaciones:* En el caso de las instalaciones térmicas, la información que el técnico debe contrastar guarda relación con aquellos aspectos que condicionan el comportamiento energético de los sistemas responsables de generar calor/frío y la producción de ACS, con los siguientes: características de los equipos térmicos (Calefacción, refrigeración, ACS, Piscina climatizada). Deben estar identificados todos los equipos térmicos con su potencia nominal, mantenimiento, reparaciones o sustituciones y antigüedad.
- *Mediciones y Ensayos realizados "in situ":* Durante el reconocimiento del inmueble, en función de sus características arquitectónicas y de su antigüedad, además de la inspección visual encaminada a recabar datos de la envolvente, de los equipos térmicos, para la detección de deficiencias aparentes relacionadas con la demanda y el consumo energético. Los métodos de ensayo en el edificio se realizan en función de la información disponible y de las características constructivas de sus componentes, en un número importante de ocasiones el técnico certificador deberá disponer de medios necesarios para realizar ensayos o equipos de medida para determinar parámetros característicos del comportamiento térmico del cerramiento.

De esta forma puede disponer de valores que le permitan incrementar el grado de precisión en el proceso de cálculo de la transmitancia y por extensión en la calificación de la eficiencia energética del inmueble.



Al igual que los métodos de ensayo en el propio edificio para determinar el rendimiento de los equipos térmicos, en caso de que su antigüedad supere los 15 años (según lo estipulado en la ya derogada Directiva Europea 2002/91 [DEEE 02], así como en la D.E. 2010/31 [DEEE 10]). Algunos de los equipos que pueden ser utilizados durante el reconocimiento son los siguientes:

- o Para la obtención de datos relativos a la envolvente térmica y el confort ambiental interior: Cámara termográfica, Medidor de flujo térmico (transmitancia), Medición de infiltraciones de aire procedente del exterior por el método de presurización por medio de ventilador según UNE-EN 13829:2000<sup>79</sup> (también denominado Blower door), Termohigrómetros; Sonda IAQ para la determinación de la calidad de aire interior
- o Para determinar datos relativos a los sistemas térmicos: Analizadores de combustión, Caudalímetro, Anemómetros.
- o En el caso de instalaciones eléctricas: Analizador de redes, Pinza amperimétrica, Multímetro.

d) *Diagnosis*: Si durante el reconocimiento de la envolvente se detectan síntomas aparentes de un comportamiento térmico incorrecto por parte del cerramiento, es necesario establecer las causas más probables e inferir el efecto que esta deficiencia puede provocar sobre la funcionalidad de la envolvente en esa zona.

En el caso de que los equipos térmicos presenten un rendimiento inadecuado, deberán establecerse las causas más probables del funcionamiento incorrecto de un equipo (como pueden ser la antigüedad, mantenimiento insuficiente o manipulación incorrecta por parte de los usuarios).

e) *Evaluación, calificación y certificación de la eficiencia energética del edificio o parte del mismo*: en esta fase el técnico vuelca los datos obtenidos en las fases anteriores en la herramienta informática asociada al documento reconocido que utilice, evalúa la eficiencia energética del inmueble y genera el certificado. Se puede establecer la siguiente secuencia de acciones a realizar por parte del técnico:

- I. Volcado de datos: Estos datos pueden ser agrupados en cuatro categorías: Datos administrativos, generales del edificio, relativos a la envolvente térmica y relativos a las instalaciones térmicas.
- II. Calificación del nivel de eficiencia energética del edificio en función del grado de emisión (kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>).
- III. Selección de las medidas de ahorro energético o mejoras (activas y/o pasivas) para elevar la eficiencia energética del edificio, mediante la simulación energética del nivel de eficiencia obtenida en el caso de que se ejecuten.
- IV. Análisis de la viabilidad económica de las medidas de ahorro seleccionadas.

---

<sup>79</sup> AENOR: Norma UNE-EN 13829:2002 Aislamiento térmico. Determinación de la estanquidad al aire en edificios. Método de presurización por medio de ventilador. Publicado por Asociación Española de Normalización y Certificación. Madrid, 2002.

- V. Generación del informe para la certificación de la eficiencia energética de la vivienda, local o del edificio, indicando las medidas de ahorro energético recomendadas, documentación utilizada para la inspección, ensayos realizados e incidencias detectadas durante la inspección. Su validez a partir de la fecha de emisión es de 10 años.
- VI. Registro del certificado de eficiencia energética del edificio suscrito por el técnico, generalmente se realiza a través de una aplicación web habilitada por la administración para este fin.
- VII. Entrega de una copia del certificado de eficiencia energética al cliente.

#### 4.1.4. Metodología para medir de la transmitancia térmica de un muro de fachada mediante la utilización de un medidor de flujo térmico

Dentro del ámbito de la investigación realizada por el autor, se ha realizado la calificación de la eficiencia energética de numerosos inmuebles de distintos usos y tipologías arquitectónicas, entre los cuales se han incluido una amplia muestra de viviendas en bloque, cuya antigüedad se corresponde con los distintos periodos normativos (anteriores a 1979, desde 1979 al 2006, del 2006 al 2013 y del 2013 hasta la actualidad), el documento reconocido utilizado para realizar la calificación de la eficiencia energética es el CE3x, en sus distintas versiones.

El equipo que se ha utilizado en el estudio del comportamiento térmico de cerramientos, es un medidor de flujo térmico, cuyo objetivo es el de determinar la transmitancia real en un muro, mediante el empleo de sondas que determinan las temperaturas interiores y exteriores, las cuales son registradas por el equipo.

No obstante, debido a la sensibilidad térmica de la sonda y los termopares, este equipo debe utilizarse siguiendo una sistemática que evite la obtención de valores no representativos o erróneos, que puedan inducir a error en la estimación del valor de transmitancia y en la calificación de la eficiencia energética de la vivienda o del edificio.

Descripción del equipo multifunción utilizado durante la investigación:

Marca: Testo

Modelo: 435-2: equipo que mide el valor U de en un cerramiento ( $W/m^2.K$ ), compuesto por:

- Instrumento testo 435-2 (Ref. 0563 4352)
- Empuñadura inalámbrica para sonda de humedad/temperatura (Ref. 0554 0189)
- Módulo instalable en el instrumento para transmisión inalámbrica (Ref. 0554 0188)
- Alimentador (Ref. 0554 0447)
- Maleta de transporte (Ref. 0516 0035)

Las sondas utilizadas en su aplicación durante la investigación:

- Sonda de transmitancia térmica (valor U) (Ref. 0614 1635)
- Sondas inalámbricas de temperatura (Ref. 0636 9736)



Fig.51: Equipo multifunción Testo 435-2 utilizado en la investigación para la medición de flujo térmico a través de muros y medición de parámetros ambientales interiores.


Sondas de superficie <sup>2)</sup> (testo 435-2/-4)			
Sonda de temperatura para determinar el valor U, sistema de triple sensor para medir la temperatura de la pared, plastilina adhesiva incluida		-20 ... +70 °C Clase 1 <sup>1)</sup> Valor U: ±0,1 ±2% del f.e.*	0614 1635
		Nota: Para medir el valor U se necesita una sonda adicional para determinar la temperatura exterior, p.ej. los modelos 0602 1793, 0613 1001 ó 0613 1002 *cuando se usa con una sonda NTC o inalámbrica de humedad para la medición de temperatura exterior y una diferencia de 20 K entre el ambiente externo y el interno	

Tabla 63: Características de la sonda de superficie 0614 1635 para determinar la temperatura en la cara interior de la pared (web fabricante TESTO)

#### 4.1.5. Determinación de la transmitancia térmica en ventanas

Para determinar el valor de la transmitancia térmica en las ventanas, lo idóneo sería disponer de las especificaciones técnicas del fabricante para cada ventana, pero en el caso de edificios existentes, especialmente en el caso de las viviendas; éstas pueden ser objeto de sustitución durante la vida útil del inmueble y por lo tanto frecuentemente no se dispone de dicha información.

La transmitancia térmica en un hueco  $U_h$  depende de dos parámetros:

- Transmitancia del vidrio  $U_v$  y la Transmitancia del marco  $U_m$
- El porcentaje de superficie que ocupe cada uno de ellos

Por lo tanto podemos determinar la transmitancia del hueco  $U_h$  de la siguiente forma:

$$U_h = F_m \times U_m + F_v \times U_v$$

Donde:

**F<sub>m</sub>** es el porcentaje de la superficie ocupada por el marco o carpintería

**F<sub>v</sub>** es el porcentaje de la superficie ocupada por el acristalamiento (que en el caso de las puertas ocupara el 100%).

**U<sub>m</sub>** es la transmitancia térmica del marco

**U<sub>v</sub>** es la transmitancia térmica del acristalamiento

Ecuación21: Transmitancia del hueco del cerramiento en función de las Transmitancias del marco y del acristalamiento y del % de superficie que ocupa cada uno de ellos

El auditor o inspector se enfrenta a un doble reto a la hora de evaluar el comportamiento térmico de un hueco, ya que le resulta muy difícil determinar la transmitancia térmica del mismo con precisión, debemos tener en cuenta que identificar la composición del acristalamiento a simple vista, es decir, diferenciar que espesores tienen el vidrio y la cámara, es complicado.

El otro reto consiste en conocer el factor solar (g), ya que al carecer de la ficha técnica del acristalamiento, no sabemos el nivel de emisividad del mismo, la solución para este dilema la encontramos utilizando factores de referencia para los espesores de acristalamiento más habituales, que resumimos en la siguiente tabla:

Tipo de vidrio	Espesor (mm)	Factor solar (g)	Transmitancia (W/m <sup>2</sup> K)
Vidrio simple	4	0.87	5.8
Vidrio simple	6	0.84	5.7
Vidrio simple	8	0.82	5.6
Vidrio simple	10	0.80	5.6
Parsol Grey	4	0.66	5.8
Bronce	4	0.68	5.8
Vidrio laminar	4+4	0.79	5.6
Vidrio laminar con Parsol	4+4	0.49	5.6
Vidrio con cámara de aire	4+6+4	0.78	3.3
Vidrio con cámara de aire	4+8+4	0.78	3.1
Vidrio con cámara de aire	4+10+4	0.78	2.9
Vidrio con cámara de aire	4+12+4	0.78	2.8
Vidrio con cámara de aire	4+16+4	0.78	2.7

Tabla 64: Factor solar y Transmitancia (W/m<sup>2</sup>K) para soluciones comerciales de acristalamientos

Podemos hacer un resumen similar para los tipos de marcos usados más frecuentemente y su transmitancia, en la tabla que adjuntamos a continuación:

Tipo de marco o perfilería	Espesor (mm)	Transmitancia (W/m <sup>2</sup> K)
Metálico	4	5.7
Metálico con rotura de puente térmico RPT	4<e<12	4
Metálico RPT	>12	3.2
Madera maciza blanda (pino, cedro, abeto) Densidad aproximada 500 kg/m <sup>3</sup>	60	2.2
Madera maciza dura (roble, castaño, teca) Densidad aproximada 700 kg/m <sup>3</sup>	60	2
Perfil hueco de PVC	2 cámaras	2.2
Perfil hueco de PVC	3 cámaras	1.8

Tabla 65: Valores aproximados de transmitancias (W/m<sup>2</sup>K) para los marcos más frecuentes utilizados en la edificación.

Los valores asignados a la transmitancia en los huecos, para las simulaciones energéticas de mejora, se corresponden con las especificaciones técnicas del proyecto de ejecución, en los casos en los que no se dispone de esta información, se utilizan los valores de referencia de las tablas anteriores.

Dada la experiencia adquirida en los distintos procesos de evaluación de la eficiencia energética de numerosos inmuebles, se ha fijado el proceso para realizar de forma sistemática la medición de la transmitancia en un muro del edificio, en aquellos casos en que la información sobre su composición era insuficiente o inexistente, la metodología establecida se resume a continuación:

- Verificar que los equipos están calibrados y que las baterías tienen carga.
- Conectar la sonda por radio y situarla en el exterior del muro, puede ubicarse en el retranqueo del alfeizar de una ventana, pero utilizando medios para su fijación provisional para que se mueva por acción del viento o evitar su caída a la calzada. Su finalidad es obtener mediciones correctas para lo cual se deben cumplirse los siguientes requisitos:
  1. Una diferencia apreciable entre la temperatura interna y externa (es recomendable que exista un salto térmico  $>10^{\circ}\text{C}$ , cuanto mayor sea el salto térmico, más fiable es la medición).
  2. Condiciones estables (evitar condiciones climatológicas adversas (viento y lluvia) o la radiación solar directa sobre la sonda exterior ya que se produciría una distorsión térmica no deseada).
- Se conecta la sonda de transmitancia al instrumento de medición
- Se pone en marcha el instrumento de medición y se elige el tipo de parámetro a medir, así como el tiempo de medición y la frecuencia con la que se mide el parámetro.
- Se conectan los tres termopares de la sonda de temperatura para cálculo del valor U con la ayuda de la masilla térmica removible a la cara interior del cerramiento (con una separación aproximada de 10cm entre termopares, que se colocarán formando un triángulo). Debemos situar los termopares lo más lejos posible de fuentes de calor interiores, tales como radiadores o rejillas de impulsión de aire, para evitar distorsiones térmicas no deseadas.
- Al estar conectada la sonda para la determinación de la transmitancia (U), en este equipo los canales de medición para el valor U (unidad:  $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ),  $T_w$  (temperatura superficial) y  $T_i$  (temperatura interior) se activan automáticamente.
- Durante la medición, debemos situar el instrumento lejos de fuentes de frío o calor (no debe estar sometido a temperaturas diferentes a las ambientales interiores en la estancia en la que se está realizando el ensayo no situarlo debajo de la ventana ni aguantar con la mano), a una distancia del muro de 30 cm mínimo, y en la medida de lo posible a la misma altura que los tres termopares de la sonda de temperatura.
- La medición se realizará durante un período de tiempo no inferior a 3 o 4 horas, en el cual se realizan mediciones cada 10 o 15 min. Lo recomendable en estos casos es dejar el equipo registrando datos durante toda la noche, si es posible.
- Es recomendable que este proceso se realice al menos en dos estancias diferentes que estén en contacto con el cerramiento de la misma orientación.
- En el caso de que la unidad inmobiliaria a certificar sea una vivienda se realizará una determinación por cada fachada exterior.
- En el caso de que sea un inmueble, nuestra experiencia aconseja determinar previamente las zonas opacas del cerramiento más representativas, realizando al menos, tres mediciones por cada fachada, en estancias diferentes.
- Una vez finalizada las mediciones “in situ” se vuelcan los datos en el ordenador para su análisis e interpretación.

La transferencia de calor se describe mediante la transmitancia térmica del cerramiento (U). Este valor aporta la magnitud de la pérdida de energía calorífica a través del elemento de construcción por unidad de superficie y diferencia de temperatura de los medios situados a cada lado del elemento que se considera ( $W/m^2 K$ ) [23].

El método establecido para determinar la transmitancia térmica U ( $W/m^2 K$ ) dada por la siguiente fórmula (se emplea para hacer la comprobación de que el valor U medido por el equipo, se corresponde con el real para un muro en el que se conoce la composición) :

$$U = 1 / R_T$$

Siendo;

$R_T$ : la resistencia térmica total del componente constructivo [ $m^2 K/ W$ ].

*Ecuación 22: Transmitancia de un muro multicapa en función de la resistencia térmica global de los materiales que lo componen*

La resistencia térmica total  $R_T$  de un componente constituido por capas térmicamente homogéneas debe calcularse mediante la expresión:

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}$$

Siendo;

$R_1, R_2 \dots R_n$ : las resistencias térmicas de cada capa [ $m^2 K/W$ ];

$R_{si}$  y  $R_{se}$  las resistencias térmicas superficiales correspondientes al aire interior y exterior respectivamente, de acuerdo a la posición del cerramiento, dirección del flujo de calor y su situación en el edificio [ $m^2 K/W$ ].

*Ecuación 23: Resistencia térmica del muro en función de las resistencias térmicas de cada capa que lo conforman*

La resistencia térmica de una capa térmicamente homogénea viene definida por la fórmula:

$$R = e / \lambda$$

Siendo;

e: el espesor de la capa [m]. En caso de una capa de espesor variable se considerara el espesor medio.

$\lambda$ : la conductividad térmica de diseño del material que compone la capa, calculada a partir de valores térmicos contemplados en la norma UNE EN ISO 10 456:2001 o tomada de documentos oficialmente reconocidos, [ $W/m K$ ].

*Ecuación 24: Resistencia térmica de una capa en función del espesor (m) y de la conductividad térmica de diseño (UNE EN IS 456:2001)*

Por lo tanto, la cantidad de calor transferido, que es igual a la pérdida de calor transmitido  $\phi_t$ , se determina con la fórmula:

$$\phi_t = U \cdot A \cdot (\theta_i - \theta_e)$$

Siendo;

A: el área de la superficie del elemento de construcción [ $m^2$ ];

$\theta_i - \theta_e$ : la diferencia de temperatura entre el interior y el ambiente exterior[K].

*Ecuación 25: Cantidad de calor transferido a través de un muro en función de las temperaturas interior y exterior*

#### 4.1.6. Ejemplo de medición de transmitancia en muro de fachada en vivienda

Para realizar esta medición se ha seleccionado, un cerramiento basado en la tipología constructiva habitualmente empleada en edificios residenciales y que se corresponde con la mayoría de las soluciones constructivas aplicadas a fachadas de edificios construidos en los últimos 35 años en España; sobre el que se determina el valor teórico y real de la transmitancia térmica.

##### 4.1.6.1. Descripción de la sección constructiva del muro de fachada.

En este caso, hemos seleccionado el **muro de fachada (opaco) en contacto con aire exterior** de 24 cm de espesor, ladrillo cara vista de medio pie de espesor, cámara de aire y aislamiento térmico de lana mineral de 3 cm. El cerramiento está trasdosado con una fábrica de ladrillo dispuesto a panderete y enfoscado por la cara interior.

La construcción del edificio finalizó en el año 2002 está situado en el Barrio La Sierra, Hoznayo (Cantabria) que se corresponde con la zona climática C1, posee una planta baja destinada a uso comercial y tres plantas destinadas a uso residencial privado. La fachada sometida a estudio se corresponde con la vivienda situada en la segunda planta, su cerramiento exterior está orientado al norte.



Fig.52: Imagen de la fachada, estancia 1 y estancia 2 de la vivienda en las que se realiza la medición

En este caso se dispone de documentación técnica en la que se describe la composición del cerramiento y se ha constatado que no ha sufrido modificaciones desde su ocupación inicial.

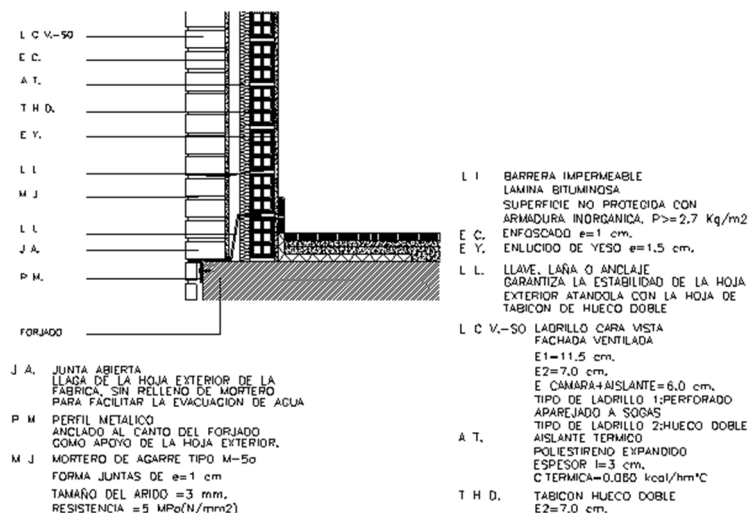


Fig. 53: Sección constructiva del cerramiento vertical del edificio en el que se realiza la medición (detalle constructivo incluido en el proyecto de ejecución)

#### 4.1.6.2. Estimación de las propiedades térmicas del cerramiento con la aplicación CE3x.

Utilizando la aplicación informática asociada al documento reconocido CE3x [20], y con los datos correspondientes a la composición de las distintas capas del muro de fachada sobre el que realizamos la medición, determinamos los valores de la transmitancia térmica teórica para las tres modalidades de estimación de las propiedades térmicas del muro que permite escoger el programa:

Modalidad de estimación	Transmitancia térmica teórica (W/m <sup>2</sup> .K)
Propiedades térmicas por defecto	1.8
Propiedades térmicas estimadas (Doble hoja con cámara de aire)	0.74
Propiedades térmicas conocidas	1.23

Tabla 66: Transmitancias térmicas teóricas estimadas con el CE3x para un muro de fachada similar al del edificio en el que se realiza la medición.

Para el caso que nos ocupa, hemos seleccionado la composición de las capas en la librería de cerramientos del programa, en este caso la solución constructiva que ha utilizado el programa establece un espesor de cámara de aire 2 cm, cuando realmente es de 3 cm. El resto de las capas coincide con el muro real tanto en materiales como en espesores.

Como se puede observar, la diferencia en los valores de transmitancia térmica teórica adoptados en las tres opciones de estimación de la aplicación del documento reconocido CE3x, son elevadas; tomando como referencia el valor de U más bajo, 0,74 W/m<sup>2</sup>.K, que corresponde a la opción de *propiedades térmicas estimadas* para un muro de doble hoja y una cámara de aire con aislante (poliestireno expandido) de 3 centímetros de espesor; obtenemos que en la opción “por defecto” el valor que adopta la aplicación es un 243% mayor. En el caso de la opción “conocidas” el valor que adopta la aplicación es un 166% mayor.

Por lo tanto el resultado del cálculo de las pérdidas de energía calorífica que se producen a través del muro por transmisión térmica, son totalmente diferentes para cada opción.

#### 4.1.6.3. Determinación del valor de transmitancia térmica real con el medidor de flujo térmico.

Para determinar que opción de estimación de propiedades térmicas en el programa es la más precisa, se realizan dos mediciones in situ de la transmitancia térmica con el medidor de flujo térmico, la fecha de la medición es febrero 2014.

Los datos obtenidos por el equipo de medida durante el período de medición son recopilados por el software del sensor TESTO 435-2, obteniendo diferentes valores de temperaturas interiores y exteriores, determinando el valor de transmitancia U de la porción opaca del muro donde se situaron los termopares. La figura 54 muestra los gráficos registrados por los sensores de medida temperatura colocados en el edificio en la estancia 1.



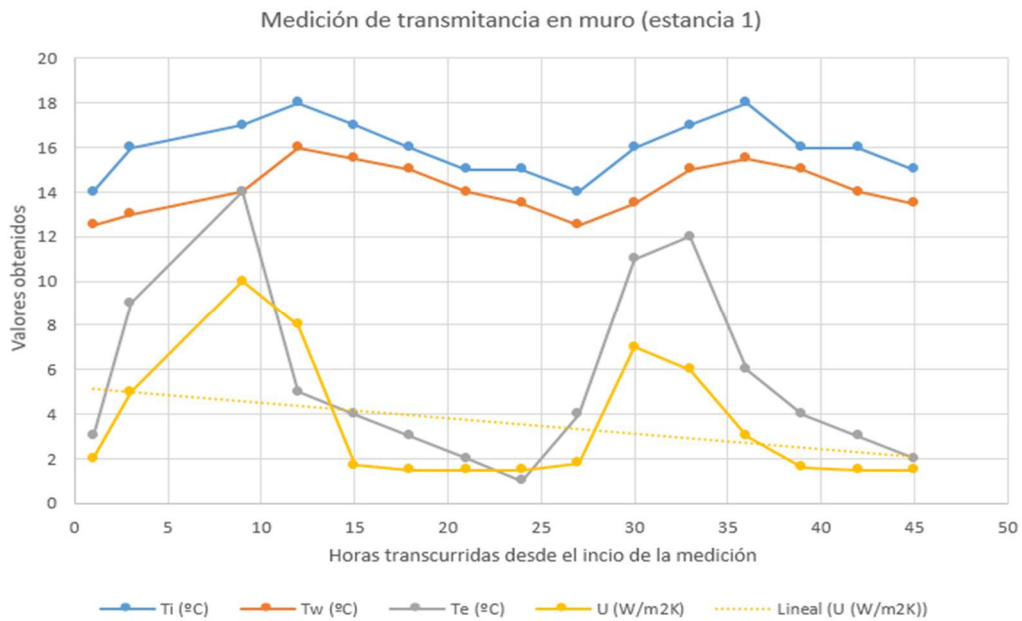


Fig.54: Transmitancia térmica medida en el muro de fachada ejemplo vivienda en bloque (estancia 1)

La figura 55 muestra los gráficos registrados por los sensores de medida temperatura colocados en el edificio en la estancia 2, cuyo cerramiento exterior es el mismo que en el caso de la estancia 1, ambas estancias son continuas y separadas por una partición interior conformada por un tabique de ladrillo de hueco doble, revestido con mortero de cemento por ambas caras.

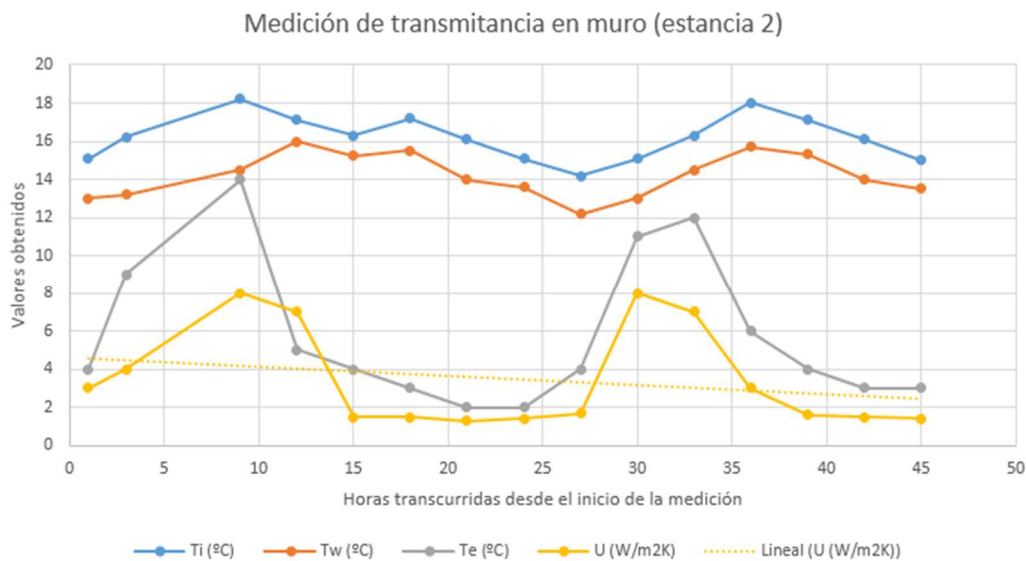


Fig.55: Transmitancia térmica medida en el muro de fachada ejemplo vivienda en bloque (estancia 2)

En las figuras 54 y 55, la curva azul  $T_i$  (°C) representa la temperatura interior de la estancia medida aproximadamente a 1 m. de la cara interior del cerramiento. La curva naranja  $T_w$  (°C) es la temperatura superficial medida en la cara interior del muro. La curva gris  $T_e$  (°C) es la temperatura exterior medida con la sonda inalámbrica. Y la curva de color amarillo  $U$  (W/m<sup>2</sup>.°K) es el valor de transmitancia  $U$  obtenido.

Para este ejemplo, la duración del registro de datos fue de 48 horas, resultando que el período en el que la temperatura exterior es más baja se produce entre las 22:00 y las 8:00 horas (con valores de temperatura exterior e interior próximas a las condiciones de diseño propuesto por el la sección HE1 del Código Técnico de la Edificación), el valor mínimo obtenido de transmitancia térmica U es de **1,603 W/m<sup>2</sup>K**, el cuál puede servir de referencia para este muro de fachada, con orientación norte y zona climática C1.

El valor teórico que más se aproxima al valor real de U medido “in situ”, es el que se corresponde con la opción de propiedades térmicas conocidas, en las que el técnico certificador define la composición del cerramiento a través mediante la base de datos “librería de cerramientos” 1,23 W/m<sup>2</sup>.°K.

4.1.6.4. Comparación del valor de U (W/m<sup>2</sup>.°K) medido con los valores máximos propuestos por la normativa técnica aplicable en el momento de la construcción y las exigencias actuales.

Si tenemos en cuenta los valores límite establecidos por la Norma Básica de Condiciones Térmicas en los edificios del año 1979 [22], aplicable para este inmueble por su año de construcción (2002), al estar en la zona climática W los valores límite que le corresponden son los siguientes:

Tipo de cerramiento vertical		Zonas climáticas			
		V & W	X	Y	Z
Cerramientos exteriores	Fachadas ligeras (< 200 kg/m <sup>2</sup> )	1.03 (1.20)	1.03 (1.20)	1.03 (1.20)	1.03 (1.20)
	Fachadas pesadas (> 200 kg/m <sup>2</sup> )	1.55 (1.80)	1.38 (1.60)	1.20 (1.40)	1.20 (1.40)
Cerramientos con locales no calefactados	Paredes	1.72 (2.00)	1.55 (1.80)	1.38 (1.60)	1.38 (1.60)

Tabla 67: Valores máximos para el coeficiente de transmisión térmica para cerramientos K in Kcal/h m<sup>2</sup> °C (W/m<sup>2</sup>.°C) (según artículo 5 de la NBE CT 79)

El muro de fachada sobre el que se realizó la medición, tiene un peso por unidad de superficie de aproximadamente unos 248 kg/m<sup>2</sup>, por lo que debe considerarse una fachada pesada.

Por ello, el valor máximo del coeficiente de transmisión térmica K para este tipo de fachadas, en la zona climática W es de 1,2 Kcal /h m<sup>2</sup> °C; si lo pasamos las unidades de transmitancia U, obtenemos un valor próximo a 1,79 W/m<sup>2</sup>K, éste sería el valor límite establecido por la normativa aplicable para nuestro caso.

El valor obtenido “in situ” de transmitancia real es **1,603 W/m<sup>2</sup>K**, está por debajo del valor límite establecido por la normativa técnica aplicable en el año en que fue construido el edificio (NBE CT 79) **1,79 W/m<sup>2</sup>K**, por lo que el muro ensayado cumpliría con los requisitos térmicos establecidos en esta norma.

Debemos tener en cuenta, que los requisitos establecidos por la normativa actual (CTE HE1) [15], son más restrictivos, siendo la transmitancia máxima para muros en contacto con aire exterior, en la zona climática en la que se sitúa el edificio (C1) de **0,75 W/m<sup>2</sup>K**; el cuál es considerablemente más bajo que el obtenido con el medidor de flujo térmico (aproximadamente un 50%).

Por lo tanto, se establece que para muros de fachada con características térmicas similares al ejemplo expuesto, la opción más precisa para determinar las propiedades térmicas teóricas, es la opción de “conocidas” en la aplicación CE3x.

#### 4.2. Metodología para establecer el ahorro de energía potencial, mediante la simulación energética de implementación de medidas de ahorro pasivas y activas.

Una vez cargados los datos correspondientes a las características de la envolvente y a los equipos térmicos, se procede a calificar la eficiencia energética del inmueble:

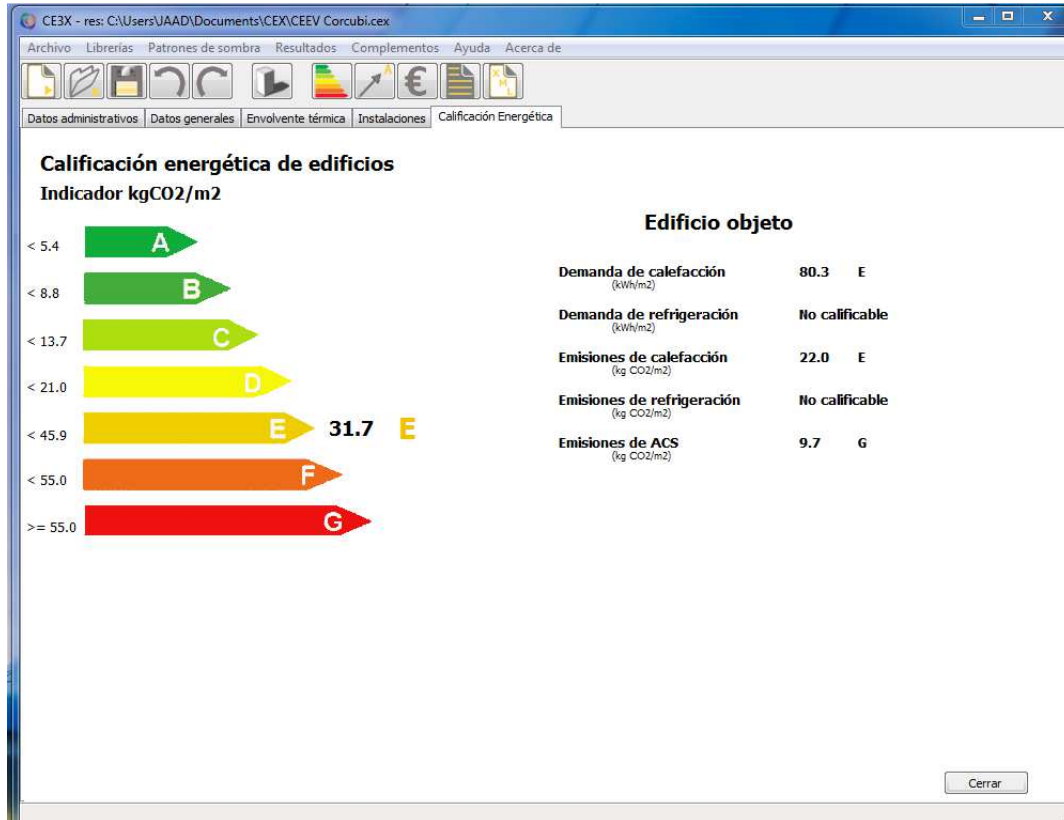


Fig.56: Pantalla de calificación energética de edificios (Documento reconocido CE3x versión 1.3)

Con la ayuda de la aplicación del documento reconocido CE3x, se seleccionan las medidas de ahorro pasivas (referentes a la envolvente térmica) y activas (referidas al rendimiento de los equipos térmicos) que provoquen el efecto deseado en la mejora de la eficiencia energética.

Para ello, en cada uno de los inmuebles evaluados, se seleccionan de la librería de mejoras, las medidas que resuelvan o mitiguen las causas del comportamiento anómalo del edificio, que afecten a la envolvente térmica o al rendimiento de los equipos.

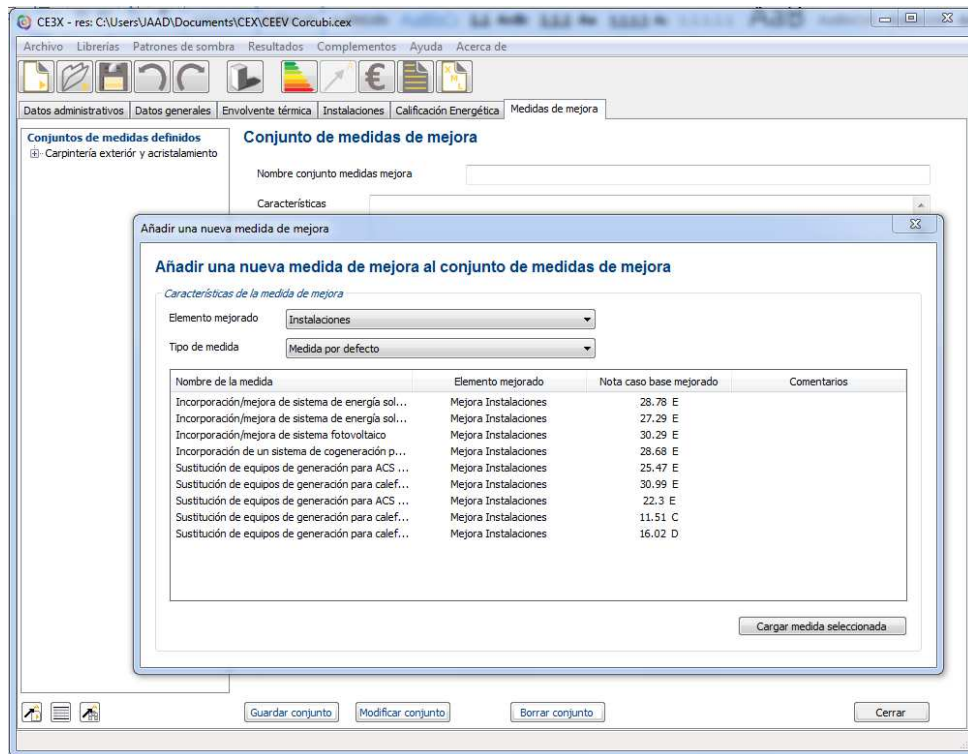


Fig.57: Pantalla de selección de medidas de ahorro energético para la mejora de la eficiencia energética (Documento reconocido CE3x versión 1.3)

La aplicación realiza una simulación energética para cada medida de ahorro y para el conjunto de las medidas seleccionadas, determinando la eficiencia energética resultante de la implantación de las mismas en el edificio objeto de la evaluación.

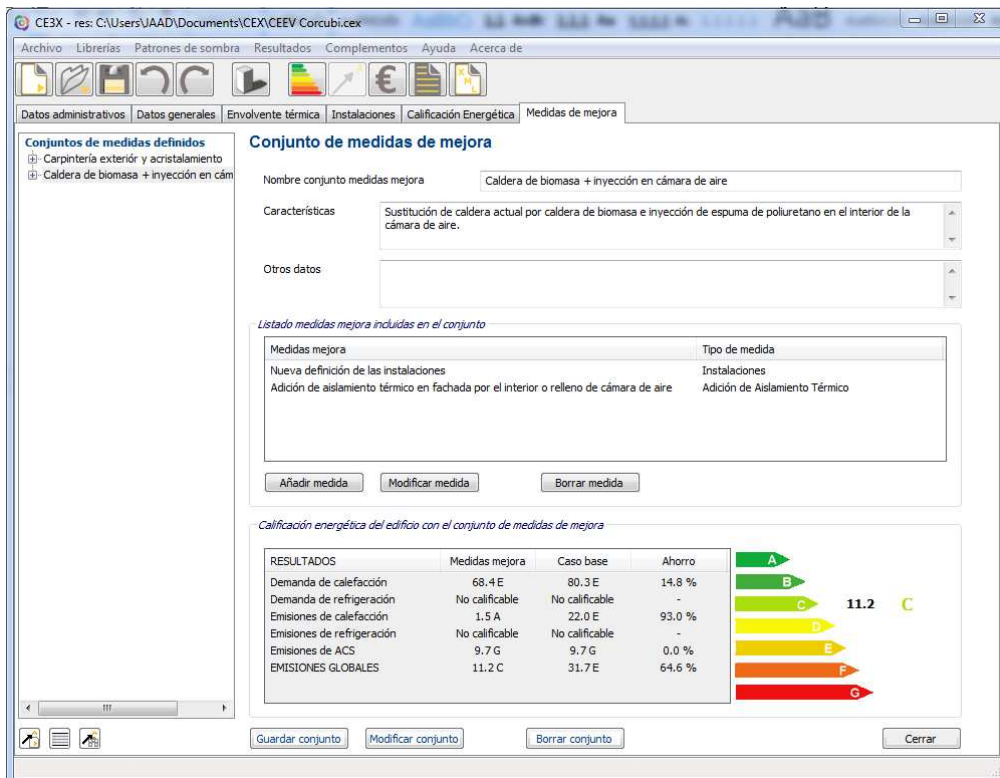


Fig.58: Pantalla de conjunto de medidas mejora con estimación de la eficiencia energética mejorada (Documento reconocido CE3x versión 1.3)

Una vez consignados los valores obtenidos de cada simulación en la hoja de cálculo diseñada para alojar los datos, se realiza un filtrado de inmuebles por categoría y se calculan los valores promedio de cada categoría (emisión de CO<sub>2</sub>, demanda de calefacción y consumo de energía primaria).

COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO ACTUAL DEL INMUEBLE				SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO CON MEJORAS IMPLANTADAS				
CALIFI. GLOBAL	EMISIVIDAD	DEMANDA CALEF	CONS. ENERG. PRIM.	CALIF. MEJORADA	EMISIVIDAD	D. CALEF. MEJ.	CONS. EP MEJ.	% EPM. DIF. CON INICIAL
C	13,4	21,8	79,1	B	10,7	20,4	62,8	20,61
F	15,2	17,4	89,6	E	12,4	13,6	73,4	18,08
D	34,6	121,2	203,8	B	16	111,8	94,1	53,83
D	23,6	65,5	139,2	B	12,6	64,8	74,4	46,55
C	18,5	27,9	109,3	B	17	27,9	100	8,51
C	30,8	79,6	181,8	B	18	79,6	106,1	41,64
	<b>22,68</b>	<b>55,57</b>	<b>133,80</b>		<b>14,45</b>	<b>53,02</b>	<b>85,13</b>	<b>31,54</b>

Tabla 68: Selección de datos de eficiencia energética iniciales y mejorados en edificios de uso comercial (Elaboración propia con programa Excel de Microsoft)

Una vez determinados los valores promedios de Emisividad (kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.año), demanda de calefacción (kW.h/m<sup>2</sup>.año) y consumo de energía primaria (kW.h/m<sup>2</sup>.año); se elabora una tabla resumen con los datos obtenidos para cada tipología, los cuales están consignados en la presente tesis, en el capítulo 5 y en los anexos 2 y 3.

### 4.3. Metodología para realizar el análisis de regresión lineal simple de los datos obtenidos

Una de las facetas más interesantes de la aplicación de métodos estadísticos a estudios similares al que se realiza en esta investigación, es el análisis de la relación o dependencia entre variables; ya que resulta útil conocer el efecto que una o varias variables pueden causar sobre otra, e incluso predecir en mayor o menor grado valores en una variable a partir de otra.

En el caso que nos ocupa, se pretende establecer una relación entre las distintas características que definen el comportamiento térmico, energético y ambiental del edificio; especialmente entre las que relacionan la demanda energética calorífica (régimen de invierno) con el consumo de energía final.

Por lo tanto, el objetivo de este análisis es establecer si estas relaciones existen y son comprendidas, si a través de un modelo estadístico se puede entender el funcionamiento del sistema y, en consecuencia, prever su comportamiento futuro, incluso si las condiciones varían.

Para este tipo de estudio, se consideran dos tipos de relaciones claras entre variables:

- Las relaciones deterministas: si se puede expresar la variable  $y$  en función de  $x$
- Las relaciones no deterministas: la relación entre variables no es fácilmente asignables puede formularse como  $y=f(x)$

La regresión es una técnica estadística que permite generar modelos que representan la dependencia entre variables o predecir una variable  $Y$  en función de las observaciones de otras ( $X_1, \dots, X_p$ ):

$$y=f(x)+\epsilon \quad (2.2)$$

Donde  $Y$ , es la variable respuesta dependiente y  $X_1, X_2, \dots, X_p$ , son las variables explicativas o independientes.  $\epsilon$  es el término de error aleatorio con media cero y varianza constante.

*Ecuación 26: Función genérica para establecer la relación entre un dato a partir de otro, considerando el error aleatorio.*

Se utilizará el modelo de regresión lineal que corresponde al ajuste por una recta, para la comprobación previa, en el cual se considera una única variable explicativa  $X$  y se busca ajustar al modelo de acuerdo a la forma:

$$y=a X+b$$

*Ecuación 27: Función genérica para establecer la recta que relacionan las variables  $x$  e  $y$*

Por lo que se elaborarán gráficos de dispersión con las variables que se desean relacionar, se determinará el coeficiente de correlación lineal existente, mediante el cual estableceremos si es factible establecer un modelo estadístico entre las variables sometidas a estudio.

Los resultados correspondientes a este análisis se consignan en el capítulo 5 de la presente memoria.

#### 4.4. Metodología para el desarrollo de una aplicación web que permita el registro de datos obtenidos de la calificación de la eficiencia energética y ambiental del edificio.

Uno de los aspectos que se pueden mejorar en la labor realizada por los técnicos certificadores y/o los gestores de la explotación de edificios existentes, es el tratamiento de los datos de las distintas intervenciones (auditorías y rehabilitaciones energéticas o ambientales) que se produzcan en el edificio durante su vida útil.

La misión de este sistema de registro de datos, es la de facilitar al técnico certificador y al gestor de la explotación de uno o varios edificios, el acceso a toda la información relacionada con las evaluaciones de eficiencia energética realizadas, así como los parámetros medidos en el ambiente interior del edificio para calificar el nivel de calidad de aire interior.

Por lo que, bajo la supervisión del director de la presente tesis y la colaboración con el autor, el alumno de la Universidade da Coruña D. Miguel Sanjurjo Rouco (Titulación: Ingeniería técnica en informática de sistemas), como Proyecto Final de Carrera, ha desarrollado una aplicación web, que permite el registro de los parámetros de control para la evaluación de la eficiencia energética y ambiental del edificio existente; el resultado de dicho trabajo es una aplicación web, que se denomina **SGEtech** (Sistema de Gestión del Edificio) y cuyas características se resumen a continuación.



Fig.59: Página de inicio (Aplicación **SGEtech** /PFC D. Miguel Sanjurjo Rouco/Prof. Tutor D. Juan Ramón Rabuñal Dopico)

La metodología utilizada para desarrollar esta aplicación se fundamenta en el Proceso Unificado, debido a las ventajas que ofrece para mantener de forma continuada, una versión funcional del sistema sobre el que ir añadiendo nuevas características.

El Proceso Unificado es un marco de desarrollo iterativo incremental, compuesto de cuatro fases: Inicio, Elaboración, Construcción y Transición.

Cada una de estas fases es a su vez dividida en una serie de iteraciones, que serán tantas como funcionalidades se quieran implementar y que ofrecen como resultado un incremento del producto desarrollado y que añade o mejora las funcionalidades del sistema en desarrollo. Asimismo estas iteraciones se dividen en otras subfases (análisis de requisitos, diseño, implementación, pruebas, entre otras).

El Proceso Unificado tiene dos dimensiones [FTAA 11]:

- Un eje horizontal que representa el tiempo y muestra aspectos del ciclo de vida del proceso a lo largo de su desarrollo
- Un eje vertical que representa las disciplinas, que agrupan actividades de una forma lógica de acuerdo a su naturaleza.

La primera dimensión representa el aspecto dinámico del proceso: a medida que se va desarrollando, se expresa en términos de fases, iteraciones e hitos (milestones).

La segunda dimensión representa el aspecto estático del proceso: que describe en términos de componentes del proceso, disciplinas, actividades, flujos de trabajo, artefactos y roles.

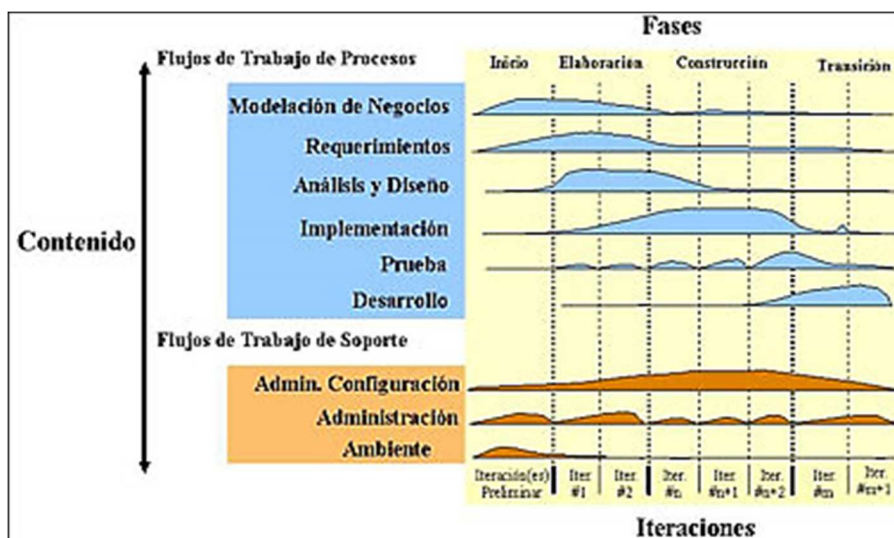


Fig.60: Fases del Proceso Unificado (<http://kasyles.blogspot.com/2008/10/integrando-el-pmbok-al-proceso.html>)

El Proceso Unificado utiliza el Lenguaje de Modelado Unificado (UML) en la preparación de todos los planos del sistema. De hecho, UML constituye una parte integral del Proceso Unificado, fueron desarrollados simultáneamente.

Los aspectos característicos del Proceso Unificado se contemplan en tres conceptos clave: dirigido por casos de uso (use-case driven), centrado en la arquitectura (architecture-centric), iterativo e incremental. Esto es lo que hace único al Proceso Unificado [CAOR 05].



Dado que el desarrollo de este proyecto está estructurado de forma que se le vayan añadiendo nuevas características al mismo, pero conservando una versión funcional, justifica el hecho de que se utilice una metodología que conlleve un ciclo de vida iterativo e incremental, basándose en una división de un sistema completo en subsistemas sobre los que aplicar posteriormente las fases de análisis, diseño, implementación y pruebas.

Entre las características de un ciclo de vida incremental, resultan especialmente interesantes para este proyecto:

- Desarrollo implícito de productos intermedios que facilitan el proceso de evaluación y pruebas.
- Simplificación del desarrollo al implantar en cada incremento un subsistema más pequeño que el sistema original.
- Detección temprana de problemas al efectuar las pruebas de finalización de cada incremento.

Las fases en las que se desarrolló su realización, fueron las siguientes:

- *Estudio de las tecnologías*: aquí se llevó a cabo una primera toma de contacto con una buena parte de las tecnologías relacionadas con la evaluación de la eficiencia energética y de la calidad de aire interior en los edificios.
- *Planificación del proyecto*: en esta fase se analizaron los requisitos así como el diseño y la estructura de cómo debería definirse el sistema.
- *Desarrollo e implementación*: consiste en plasmar en la aplicación todo lo planificado anteriormente.
- *Documentación del proyecto*: en esta fase se recopiló y organizó toda la documentación utilizada para el desarrollo del proyecto.

#### 4.5. Descripción del sistema desarrollado para modelar el comportamiento energético y ambiental de los edificios, mediante la aplicación de Redes de Neuronas Artificiales.

En este apartado se describe la metodología correspondiente al proceso de diseño, entrenamiento y operatividad del modelo basado en una RNA aplicada al estudio de la eficiencia energética de edificios de uso residencial situados en el Norte de España.

##### 4.5.1. Generación del conjunto de datos de entrada

Dado que en España no se divulgan los resultados obtenidos en la evaluación de la eficiencia energética realizada desde finales del año 2013 hasta la actualidad, a diferencia de otros países de la Unión Europea en los que el proceso de certificación energética de edificios existentes lleva implantado más tiempo (como Italia o Dinamarca) en los que se dispusieron aplicaciones web en las que se pueden realizar consultas sobre el comportamiento energético y la calificación de la eficiencia obtenida en los edificios evaluados, el primer obstáculo que se debe superar es la generación de datos relativos al comportamiento energético de los distintos tipos de edificios o inmuebles existentes.

Para esta investigación, el conjunto de datos de entrada para realizar el entrenamiento de la RNA, se genera a partir de la evaluación de la eficiencia energética de inmuebles destinados a distintos usos (residencial y terciarios), de los cuales, se han seleccionado inmuebles de uso residencial, concretamente los edificios seleccionados son viviendas unifamiliares situadas en la zona norte de España.

En la evaluación de la eficiencia energética, según el procedimiento básico establecido, se generan dos tipos de datos:

- a) *Referentes a la envolvente térmica*: los cuales inciden sobre la demanda de energía calorífica, es decir, sobre la cantidad de energía necesaria para acondicionar el ambiente interior en el edificio durante el régimen de invierno.
- b) *Referentes a los equipos térmicos*: los cuales inciden sobre el consumo de energía y que guardan relación con el nivel de emisiones de CO<sub>2</sub>.

La herramienta informática CE3x, es un documento reconocido oficialmente para la certificación de la eficiencia energética de edificios existentes o partes del mismo; etiqueta los edificios dentro de 8 clases diferentes que van de A + a G.

Estas clases o niveles energéticos, representan la eficiencia energética prevista de los edificios, basada en una estimación del consumo de energía del edificio y de su emisividad de CO<sub>2</sub>.

Complementariamente, el CE3x permite realizar varias simulaciones energéticas del inmueble, estimando el impacto de la implementación de medidas de ahorro energético activas y pasivas en la eficiencia energética del edificio, por lo que se puede realizar una estimación el ahorro de energía potencial que se produciría en el edificio, si se ejecutasen las medidas de mejora seleccionadas.

El criterio técnico de selección para las medidas de ahorro energético a implantar, está relacionado con la solución constructiva y las características de la envolvente térmica, así como el tipo equipo térmico propuesto para sustituir a los existentes y su rendimiento o la implantación de sistemas basados en energías renovables (por ejemplo; instalaciones solares térmicas para producción de agua caliente o solares fotovoltaicas para la producción de electricidad).

Como ya se ha expuesto anteriormente, en la labor de certificación de la eficiencia energética de los edificios existentes, una de las dificultades a las que se enfrenta el técnico certificado, es determinar la transmitancia térmica del muro en contacto con aire, especialmente de aquellos que estén orientados preferentemente al norte, ya que son las superficies a través de las cuales se producen las mayores pérdidas de energía calorífica debido a que la temperatura exterior, generalmente es más baja. Esta dificultad surge de la falta de información de la composición del cerramiento exterior (zona opaca), circunstancia frecuente sobre todo en aquellos inmuebles que poseen una mayor antigüedad.

Por tal motivo, se estima que sería bastante útil, el desarrollo de un modelo que permita predecir el valor de la transmitancia térmica  $U$  ( $W/m^2 \cdot K$ ) a partir de otros datos conocidos del inmueble, tales como el año de construcción, superficie útil habitable, entre otros.

#### 4.5.2. Aprendizaje de la RNA

El problema de la predicción del comportamiento energético del edificio, puede ser abordado usando diferentes enfoques. Sin embargo, es posible dividir todos los métodos aplicados en tres categorías principales:

- Métodos de caja blanca (enfoques de ingeniería),
- Métodos de caja negra (métodos de aprendizaje máquina) y
- Métodos de caja gris (enfoques de ingeniería híbrida / aprendizaje máquina) [ZHAO 12].

Cada una de las categorías mencionadas contiene ventajas específicas, pero extraer resultados de modelos complejos de ingeniería puede ser exhaustivo y tomar mucho tiempo. El objetivo de utilizar el aprendizaje automático en problemas de predicción, es simular un modelo basado en datos observados para estimar nuevos resultados. Este enfoque proporciona la oportunidad de realizar predicciones en modelos sofisticados en un tiempo razonable.

Con el fin de predecir nuevas salidas mediante el uso de un aprendizaje máquina (técnicas de Inteligencia Artificial que permiten el diseño de un algoritmo o máquina basada en el aprendizaje), son necesarias series de muestras. Estas muestras son observaciones individuales del modelo pretendido. Cada muestra consta de algunas entradas (características) y una o más salidas. Las muestras se utilizan para entrenar el modelo de aprendizaje para encontrar una relación entre las entradas (variables del problema) y los objetivos.

Los estudios han observado que mediante la aplicación de un algoritmo adecuado de aprendizaje y la recogida de muestras suficientes, es posible replicar casi cualquier modelo deseado independientemente del nivel de complejidad [AMFR 90].

La aplicación del aprendizaje máquina en la predicción del nivel de eficiencia energética del edificio, ha sido ampliamente investigada. En capítulos previos se han mostrado varias aplicaciones en este ámbito, usando RR.NN.AA., y a continuación se indicaran algunas adicionales. Los estudios han intentado predecir el calentamiento [JOVA 15], el enfriamiento [LI 09] y el consumo de energía eléctrica [AZAD 07] de los edificios.

Varios algoritmos de aprendizaje máquina se han aplicado para predecir el comportamiento energético del edificio [AZAD 07], y el alcance de los estudios abarca desde la predicción de la demanda de energía anual [AYDI 08] hasta el consumo de energía [GONZA 14].

Las RR.NN.AA. son una subcategoría del aprendizaje máquina, que han demostrado su fiabilidad en repetidas ocasiones para la resolución de problemas de estimación de variables de rendimiento. Las RR.NN.AA. se utilizan frecuentemente para resolver problemas de predicción del consumo de energía en edificios.

La aplicación de las RR.NN.AA. en diferentes campos de la estimación del consumo de energía de los edificios abarcan una amplia gama de categorías: benchmarking energético de edificios [HONG 14- YALC 07], predicción del consumo de energía eléctrica [PLAT 15- LI 15] y predicción de las cargas de calefacción / refrigeración [HOU 06- FERL 15].

Las RR.NN.AA. se inspiran en el comportamiento de las neuronas biológicas dentro del cerebro, donde cada neurona biológica está representada por un nodo matemático también conocido como una neurona artificial. Generalmente, las RNA se dividen en capa de entrada, capa oculta y capa de salida. Todas las capas de una red neuronal simple, están completamente conectadas, y por lo tanto cada neurona artificial está conectada a todos los valores de la capa adyacente.

Una capa de entrada es una matriz de todas las entradas y sus características. La capa de salida es también una matriz que contiene los valores previstos correspondientes a cada muestra. Entre las capas de entrada y salida, hay una capa intermedia (capa oculta) que consiste en neuronas artificiales. Cada neurona se compone de dos partes principales: la "función de activación" y la "función de transferencia" (Fig. 1). La función de activación contiene valores de peso de las conexiones a partir de los cuales se estima la salida. La función de transferencia es responsable de propagar los valores calculados a la siguiente capa.

Para formar una RNA, se requiere una medida del rendimiento de la red. Esta medida puede calcularse de diferentes maneras, como por ejemplo, el error cuadrático medio (ECM o MSE en inglés), el porcentaje medio de error absoluto (MAPE), el error relativo absoluto medio (MARE), etc. Este error representa la precisión de la red, el cual puede ser reducido utilizando Algoritmos de minimización. Entre los diferentes algoritmos para mejorar el rendimiento de las RNA, los algoritmos de retro-propagación del error han mostrado los mejores resultados [ALPA 10].

El algoritmo de Levenberg-Marquardt es un método sólido de optimización y se encuentra entre las técnicas más rápidas para actualizar pesos en las RNA. Por lo tanto, la RNA implementada en este estudio utiliza el algoritmo de optimización Levenberg-Marquardt para actualizar los pesos de las neuronas ocultas.

#### 4.5.3. Inducción de expresiones mediante PG

Dos de las necesidades más importantes a la hora de buscar una fórmula matemática que permita explicar el funcionamiento de un sistema son, por un lado, el hecho de trabajar con datos empíricos, basados en la experimentación, y por otro, el tamaño de la fórmula, que puede no saberse de antemano.

Por ello, la Programación Genética es la técnica ideal, debido a que la forma de codificar los individuos en forma de árbol no limita el tamaño de éstos (depende de la profundidad del árbol), ya que por naturaleza es una estructura dinámica de tamaño variable.

Además, la representación en árbol es la forma natural de presentación de los análisis léxicos y sintácticos y de la amplia teoría de los autómatas y los compiladores.

Éstos desde siempre han utilizado las reglas representadas en árbol como forma de representar el análisis léxico y sintáctico de los “programas”.

La PG es vista como una especialización de los AG [BÄCK 00]. De manera similar a ellos, la PG se concentra en la evolución de los genotipos. La principal diferencia radica en el esquema de representación usado. Mientras los AG utilizan cadenas de representaciones, la PG representa los individuos como programas que resuelven un determinado problema de forma automática, y para ello se dispone de una serie de símbolos y funciones que estructuradas en forma de árbol representan un programa.

Es por tanto una técnica pensada para que la forma de representación de los programas (reglas) sea fácilmente entendible por el ser humano [RABU 02a] [RABU 04].

La utilización, por tanto, de la PG como algoritmo inductivo puede verse como una de las técnicas potencialmente más prometedoras para alcanzar los mejores resultados en cuanto al proceso de extracción de conocimiento de datos procedentes de la experimentación.

#### 4.5.4. Parámetros del sistema

Los parámetros que se deben configurar en el sistema son de 2 tipos.

En primer lugar los **relativos al proceso evolutivo** que se deben estimar por experimentación, dependiendo de la complejidad del problema a resolver. Los parámetros en cuestión son:

- Algoritmo de creación de población
  - o Completo
  - o Parcial
  - o Intermedio
- Algoritmo de selección
  - o Torneo
  - o Ruleta

- Sobrante estocástico
  - Universal estocástica
  - Muestreo determinístico
- Algoritmo de mutación
  - Subárbol
  - Puntual
- Estrategia elitista
- Utilizar cruces no destructivos
- Tasa de cruces
- Probabilidad de mutación
- Probabilidad de selección de no terminal
- Tamaño de la población
- Nivel de parsimonia (Parámetro de optimización)

Para ajustar los parámetros ideales se debe realizar un análisis empírico probando ciertas combinaciones e ir ajustando progresivamente los diferentes valores hasta alcanzar los mejores resultados.

En segundo lugar, los parámetros **relativos a los nodos terminales y no terminales** que van a intervenir en la ejecución del algoritmo. Aquí interviene el conocimiento “a priori” que se disponga del problema, pues cuanto más acotado esté la información relativa al mismo, mejores resultados se obtendrán, y con mayor rapidez.

Los parámetros a seleccionar en este sentido son:

- Operadores Aritméticos
  - Suma
  - Resta
  - Producto
  - División
  - Cuadrado
  - Raíz Cuadrada
- Funciones Logarítmicas
  - Logarítmica Sigmoidal
  - Exponencial
  - Hip. Tg. Sigmoidal
  - Logaritmo Neperiano
  - Logaritmo en Base 10
- Funciones Trigonómicas
  - Seno
  - Coseno
  - Tangente
  - Arco seno
  - Arco coseno
  - Arco tangente
  - Seno hiperbólico
  - Coseno hiperbólico
  - Tangente hiperbólica

- Constantes
  - o Selección aleatoria en rango o establecidas manualmente
- Variables de Entrada
  - o Determinar una por una si es real o booleana
- Naturaleza de las Salidas
  - o Real
  - o Booleana
  - o Convertir Real a Booleana (especificando el umbral)

Un algoritmo de extracción de expresiones debería poder implementar algún mecanismo que permita la incorporación “a priori” del conocimiento que se tiene del problema, ya que así reducirá de forma considerable el espacio de búsqueda. Con la utilización de la PG esto sí es posible debido a que se puede controlar y determinar el número y el tipo de elementos terminales y no terminales que intervienen en el proceso de búsqueda. Así, por ejemplo, si se sabe que el problema se puede resolver únicamente con funciones aritméticas (sumas y restas), en la configuración de parámetros se prescinde de todas las demás funciones.

Como se puede observar existe una gran variedad de posibles configuraciones, así cuanto más información se disponga del problema más se pueden establecer de antemano los valores de los anteriores parámetros. En otro caso es necesaria la experimentación para determinar cuáles son los mejores.

Al igual que en las RR.NN.AA., el proceso necesita un período de aprendizaje basado en ejemplos, para ello se le debe suministrar el conjunto de datos de entrada y salida para que el algoritmo pueda extraer las relaciones existentes en los mismos en forma de ecuaciones matemáticas.

#### 4.5.5. Optimización

Para evitar redundancia en las expresiones que produce la PG y un crecimiento excesivo de éstas, se incluye un factor de parsimonia (parsimony) en el cálculo del ajuste [SOUL 97] [SOUL 98]. Esta técnica se puede usar para reducir la complejidad del árbol que está siendo evaluado, y funciona mediante la penalización en el ajuste del individuo  $i$  de la siguiente forma:

$$f(i) = P(i) + \alpha \cdot s_i$$

*Ecuación 28: Función de ajuste usando parsimonia.*

Donde  $P(i)$  es una medida de la bondad del individuo (en este caso, peor cuanto más positivo),  $\alpha$  es el nivel de parsimonia y  $S_i$  es el tamaño (número de nodos) del individuo.

Con este coeficiente se penaliza el número de nodos de un árbol [RICE 07], y su valor máximo suele ser de 0.1. Con este valor, se precisará que el árbol tenga 10 nodos para incrementar en una unidad el valor de ajuste. Sin embargo, un valor tan alto ya es muy dañino en la evolución, y se suelen tomar valores menores (0.05, 0.01, etc.), dependiendo del rango de valores en los que se espera que estén los ajustes de los individuos.

Con este parámetro, según evoluciona el algoritmo de PG se seleccionan aquellas ecuaciones que ante un valor de ajuste similar sean más sencillas, lo cual es un factor clave en el resultado final que producirá el sistema, pues seleccionando un valor adecuado se podrán obtener resultados entendibles por el experto.

Así mismo, el usuario podrá decidir si prefiere obtener un valor de ajuste máximo, no utilizando este parámetro (parsimonia=0) y pudiendo obtener una expresión matemática muy compleja [CRWL 94]. O bien, utilizar un valor de parsimonia que permita evolucionar el algoritmo y obtener expresiones simples, aunque con un peor valor de ajuste.



#### 4.6. Metodología para medir “in situ” parámetros relacionados con la calidad de aire interior en edificios de uso terciario.

Los parámetros seleccionados para determinar la calidad de aire interior en los edificios públicos seleccionados son los siguientes:

- Temperatura
- Humedad relativa
- Concentración de CO<sub>2</sub>

Para ello, se ha acoplado al equipo multifunción de la marca TESTO modelo 435-2, una sonda IAQ específica para determinar la calidad del aire interior, cuyas características se describen a continuación:



Marca: TESTO

Modelo: 0632 1535

Denominación: Sonda IAQ (Indoor Air Quality)

Cable de conexión al equipo multifunción TESTO 435-2 de 1,6m

Rango medición	Exactitud
0 ... +50 °C	±0.3 °C
0 ... +100 %HR	±2 %HR (+2 ... +98 %HR)
0 ... +10000 ppm CO <sub>2</sub>	±(75 ppm CO <sub>2</sub> ±3% del v.m.) (0 ... +5000 ppm CO <sub>2</sub> )
+600 ... +1150 hPa	±(150 ppm CO <sub>2</sub> ±5% del v.m.) (+5001 ... +10000 ppm CO <sub>2</sub> )
	±3 hPa

Fig. 67: Sonda IAQ (Indoor Air Quality) multifunción de testo. Características

La metodología empleada para medir los parámetros seleccionados, se realiza según las indicaciones contempladas en la norma UNE 171.330 Parte 2: Procedimientos de inspección de calidad ambiental interior.

Con los parámetros que se han seleccionado, para determinar el número de puntos de muestreo, la norma UNE anteriormente citada establece lo siguiente: El número mínimo de puntos a muestrear depende de la superficie total construida del edificio y de se debe calcular de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$P = 0,15 \times \sqrt{S}$$

Siendo;

P: el número de puntos de muestreo

S: superficie total construida del edificio o local en el que se realiza la evaluación IAQ

*Ecuación 29: Número de puntos de muestreo para medir parámetros IAQ en función de la superficie construida (según norma UNE 171.330 – 2: 2009).*

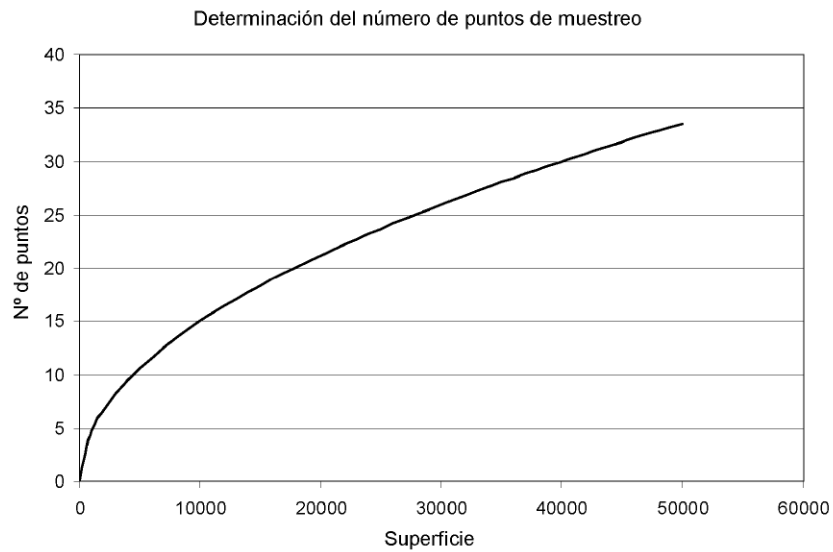


Fig.68: Determinación del número de puntos de muestreo según norma UNE 171.330 – 2: 2009

Por ejemplo: para un local comercial de 1000 m<sup>2</sup> construidos, el resultado de P es igual a 4,74; lo que implica que el número mínimo de puntos de muestreo será 5.

La selección de los puntos de muestreo en las estancias o espacios habitables se realizará respetando las distancias mínimas a elementos constructivos, según se indica en el apartado 5 de la norma:

<b>Distancia desde la superficie interior del elemento (cm)</b>				
Pared exterior con ventanas o puertas			100	
Pared exterior sin ventanas o puertas y pared interior			50	
Suelo	– límite inferior		10	
	– límite superior	– sentado	130	
			– de pie	200

Tabla 72: Distancia mínima desde la cara interior del elemento al punto de muestreo (según norma UNE 171.330 – 2: 2009 tabla 1).

Además deben evitarse puntos singulares en los cuales se produzcan incidencias que distorsionen los resultados (ya sea por influencia térmica o contaminante), como por ejemplo puntos próximos a fotocopiadoras, radiadores, rejillas de admisión de sistemas de climatización, entre otros.

## ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

En este capítulo se realiza el análisis de los resultados obtenidos de la aplicación de los métodos y técnicas descritas en el capítulo anterior, sobre la muestra seleccionada; la cual consta de 453 inmuebles, que se detallan en el Anexo 1 de la presente tesis, con una superficie útil habitable total de 570.438,30 m<sup>2</sup>; en la tabla y gráficos adjuntos se expone la distribución por tipologías de uso al que se destinan actualmente:

TIPO	DESCRIPCIÓN	Nº DE INMUEBLES	SUPERFICIE ÚTIL TOTAL (m <sup>2</sup> )
VU	Vivienda unifamiliar	124	22.283,06
VB	Vivienda en bloque	292	28.178,89
BC	Bloque residencial completo (Edificio de viviendas)	4	19.774,00
EC	Edificio comercial (centros comerciales)	10	321.330,00
EP	Edificio público (edificios administrativos y docentes)	11	72.058,35
RC	Residencial Colectivo (Hoteles)	9	73.204,00
CH	Centro hospitalario (Hospitales, Centros de Salud)	3	33.610,00
SUMA		453	570.438,30

Tabla 73: Relación de inmuebles que constituyen la muestra de estudio por tipologías de uso (Elaboración propia)

En los gráficos siguientes se expone la distribución de inmuebles que integran la muestra según el uso.

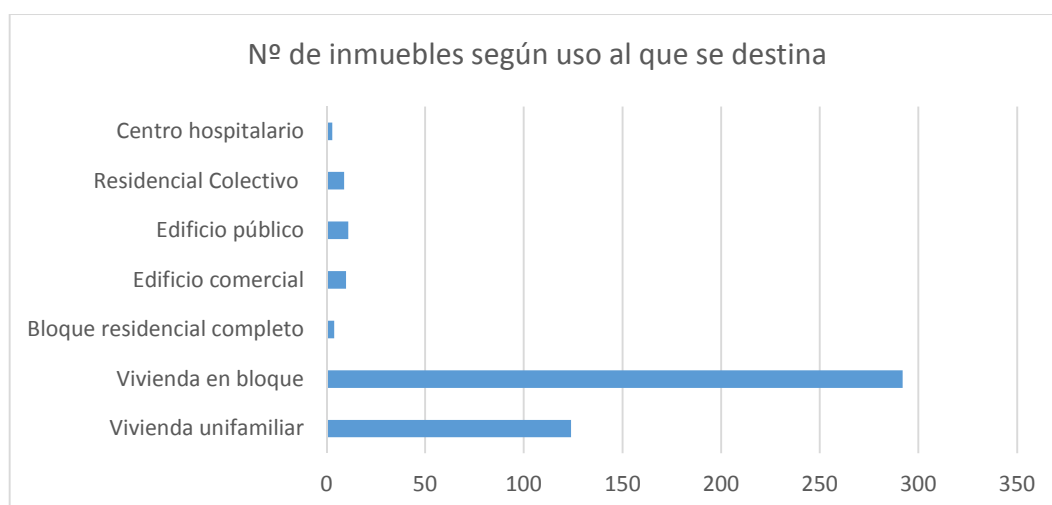


Fig.69: Relación de inmuebles que constituyen la muestra de estudio por tipologías de uso (Gráfico realizado por el autor con el programa Excel – Microsoft)

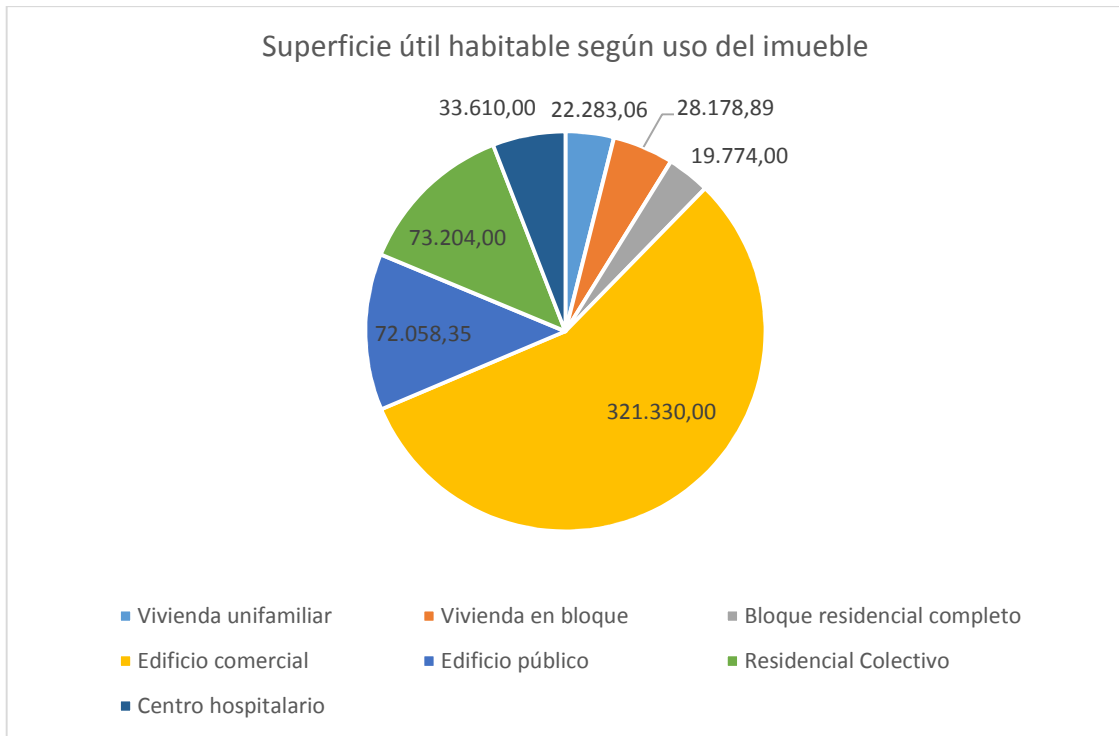


Fig.70: Relación de superficies por tipologías de uso (Gráfico realizado por el autor con el programa Excel – Microsoft)

En los apartados subsiguientes se exponen los resultados obtenidos sobre cada tipología de inmueble según su uso, organizándolos según su relación con los objetivos definidos para la presente investigación.

**5.1. Resultados obtenidos relacionados con el OBJETIVO 1: *Analizar el comportamiento energético y ambiental de un número significativo de edificios existentes con usos residencial y terciario, situados en el norte de España, lo que generan datos necesarios para el desarrollo del modelo adaptativo.***

La relación de todos los datos obtenidos en el proceso de evaluación, están recopilados en el *Anexo 1: Relación de datos obtenidos*. A continuación, se resumen los parámetros energéticos y ambientales relevantes de cada tipología de uso.

**5.1.1. Viviendas unifamiliares**

Nº de viviendas unifamiliares calificadas: 125

Superficie útil habitable total de las viviendas unifamiliares calificadas: 22.283,06 m<sup>2</sup>

Distribución de viviendas unifamiliares según el año de construcción:

- Anteriores a 1979: 33
- De 1979 a 2006: 79
- De 2006 a 2013: 13

Zona climática: mayoritariamente en la zona climática C1 según CTE HE1

Distribución geográfica de las viviendas unifamiliares:

- A Coruña: 67
- Pontevedra: 32
- Asturias: 4
- Lugo: 16
- León: 2
- Ourense: 4

Transmitancias térmicas obtenidas para muros de fachada (valores promedio):

- Zona opaca: 1,14 W/m<sup>2</sup>.°K
- Hueco: 3,55 W/m<sup>2</sup>.°K

Análisis de la eficiencia energética (valores promedio):

- Emisión de CO<sub>2</sub> (valor promedio): 68,54 Kg (CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.año)
- Demanda de energía calorífica (valor promedio): 142,26 (kWh/m<sup>2</sup>.año)
- Consumo de energía primaria no renovable (valor promedio): 322,59 (kWh/m<sup>2</sup>.año)

**5.1.2. Viviendas en bloque residencial**

Nº de viviendas en bloque residencial calificadas: 292

Superficie útil habitable total de las viviendas en bloque calificadas: 28.178,89 m<sup>2</sup>

Distribución de viviendas según el año de construcción:

- Anteriores a 1979: 96
- De 1979 a 2006: 170
- De 2006 a 2013: 26

Zona climática: mayoritariamente en la zona climática C1 según CTE HE1

Distribución geográfica de las viviendas en bloque residencial:

- A Coruña: 230
- Pontevedra: 22
- Asturias: 4
- Lugo: 15

- León: 13
- Ourense: 7
- Zamora: 1

Transmitancias térmicas obtenidas para muros de fachada (valores promedio):

- Zona opaca: 1,21 W/m<sup>2</sup>.°K
- Hueco: 3,64 W/m<sup>2</sup>.°K

Análisis de la eficiencia energética (valores promedio):

- Emisión de CO<sub>2</sub> (valor promedio): 62,22 Kg (CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.año)
- Demanda de energía calorífica (valor promedio): 114,22 (kWh/m<sup>2</sup>.año)
- Consumo de energía primaria no renovable (valor promedio): 270,80 (kWh/m<sup>2</sup>.año)

#### 5.1.3. Bloques residenciales completos

Nº de bloques residenciales completos calificados: 4

Superficie útil habitable total de bloques residenciales calificados: 19.774,00 m<sup>2</sup>

Distribución de viviendas según el año de construcción:

- Anteriores a 1979: 3
- De 1979 a 2006: 1
- De 2006 a 2013: 0

Zona climática: mayoritariamente en la zona climática C1 según CTE HE1

Distribución geográfica de las viviendas en bloque residencial:

- A Coruña: 3
- Ourense: 1

Transmitancias térmicas obtenidas para muros de fachada (valores promedio):

- Zona opaca: 1,17 W/m<sup>2</sup>.°K
- Hueco: 4,50 W/m<sup>2</sup>.°K

Análisis de la eficiencia energética (valores promedio):

- Emisión de CO<sub>2</sub> (valor promedio): 29,94 Kg (CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.año)
- Demanda de energía calorífica (valor promedio): 46,01 (kWh/m<sup>2</sup>.año)
- Consumo de energía primaria no renovable (valor promedio): 133,24 (kWh/m<sup>2</sup>.año)

#### 5.1.4. Edificios Comerciales

Nº de edificios de uso comercial calificados: 10

Superficie útil habitable total de edificios comerciales calificados: 321.330,00 m<sup>2</sup>

Distribución de viviendas según el año de construcción:

- Anteriores a 1979: 1
- De 1979 a 2006: 6
- De 2006 a 2013: 3

Zona climática: mayoritariamente en la zona climática C1 según CTE HE1

Distribución geográfica de edificios comerciales:

- A Coruña: 6
- Pontevedra: 1
- Asturias: 1
- Lugo: 1
- León: 1

Transmitancias térmicas obtenidas para muros de fachada (valores promedio):

- Zona opaca: 0,66 W/m<sup>2</sup>.°K
- Huevo: 3,58 W/m<sup>2</sup>.°K

Análisis de la eficiencia energética (valores promedio):

- Emisión de CO<sub>2</sub> (valor promedio): 28,66 Kg (CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.año)
- Demanda de energía calorífica (valor promedio): 57,44 (kWh/m<sup>2</sup>.año)
- Consumo de energía primaria no renovable (valor promedio): 169,06 (kWh/m<sup>2</sup>.año)

#### 5.1.5. Edificios públicos (usos docente y administrativo)

Nº de edificios públicos de uso docente y administrativo calificados: 11

Superficie útil habitable total de edificios públicos calificados: 72.058,35 m<sup>2</sup>

Distribución de viviendas según el año de construcción:

- Anteriores a 1979: 5
- De 1979 a 2006: 4
- De 2006 a 2013: 2

Zona climática: mayoritariamente en la zona climática C1 según CTE HE1

Distribución geográfica de edificios públicos:

- A Coruña: 8
- Pontevedra: 1
- Ourense: 2

Transmitancias térmicas obtenidas para muros de fachada (valores promedio):

- Zona opaca: 0,91 W/m<sup>2</sup>.°K
- Huevo: 3,53 W/m<sup>2</sup>.°K

Análisis de la eficiencia energética (valores promedio):

- Emisión de CO<sub>2</sub> (valor promedio): 41,59 Kg (CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.año)
- Demanda de energía calorífica (valor promedio): 67,21 (kWh/m<sup>2</sup>.año)
- Consumo de energía primaria no renovable (valor promedio): 204,79 (kWh/m<sup>2</sup>.año)

#### 5.1.6. Residencial colectivo (Hoteles)

Nº de edificios destinados a residencial colectivo (hoteles) calificados: 9

Superficie útil habitable total de los inmuebles destinados a residencial colectivo calificados: 73.204,00 m<sup>2</sup>

Distribución de viviendas según el año de construcción:

- Anteriores a 1979: 4
- De 1979 a 2006: 5
- De 2006 a 2013: 0

Zona climática: mayoritariamente en la zona climática C1 según CTE HE1

Distribución geográfica de los inmuebles de uso residencial colectivo:

- A Coruña: 4
- Pontevedra: 2
- Ourense: 1
- Lugo: 1
- León: 1

Transmitancias térmicas obtenidas para muros de fachada (valores promedio):

- Zona opaca: 0,76 W/m<sup>2</sup>.°K

- Huevo: 3,24 W/m<sup>2</sup>.°K

Análisis de la eficiencia energética (valores promedio):

- Emisión de CO<sub>2</sub> (valor promedio): 34,14 Kg (CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.año)
- Demanda de energía calorífica (valor promedio): 31,77 (kWh/m<sup>2</sup>.año)
- Consumo de energía primaria no renovable (valor promedio): 178,28 (kWh/m<sup>2</sup>.año)

#### 5.1.7. Centros hospitalarios (hospitales)

Nº de edificios destinados uso hospitalario (hospitales) calificados: 3

Superficie útil habitable total de los centros hospitalarios: 73.204,00 m<sup>2</sup>

Distribución de viviendas según el año de construcción:

- Anteriores a 1979: 1
- De 1979 a 2006: 2
- De 2006 a 2013: 0

Zona climática: mayoritariamente en la zona climática C1 según CTE HE1

Distribución geográfica de los centros hospitalarios:

- A Coruña: 3

Transmitancias térmicas obtenidas para muros de fachada (valores promedio):

- Zona opaca: 0,82 W/m<sup>2</sup>.°K
- Huevo: 3,78 W/m<sup>2</sup>.°K

Análisis de la eficiencia energética (valores promedio):

- Emisión de CO<sub>2</sub> (valor promedio): 31,09 Kg (CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.año)
- Demanda de energía calorífica (valor promedio): 26,53 (kWh/m<sup>2</sup>.año)
- Consumo de energía primaria no renovable (valor promedio): 171,13 (kWh/m<sup>2</sup>.año)

#### 5.1.8. Análisis global del uso residencial (viviendas unifamiliares, viviendas en bloque y bloques completos).

Nº de inmuebles destinados a uso residencial calificados: 421

Superficie útil habitable total de inmuebles calificados: 70.235,95 m<sup>2</sup>

Distribución de viviendas según el año de construcción:

- Anteriores a 1979: 133
- De 1979 a 2006: 249
- De 2006 a 2013: 39

Zona climática: mayoritariamente en la zona climática C1 según CTE HE1

Distribución por tipologías de los inmuebles destinados a uso residencial:

- Viviendas unifamiliares: 125
- Viviendas en bloque: 292
- Bloques residenciales: 4

Transmitancias térmicas obtenidas para muros de fachada (valores promedio):

- Zona opaca: 1.19 W/m<sup>2</sup>.°K
- Huevo: 3.62 W/m<sup>2</sup>.°K

Análisis de la eficiencia energética (valores promedio):

- Emisión de CO<sub>2</sub> (valor promedio): 63,79 Kg (CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.año)
- Demanda de energía calorífica (valor promedio): 112,69 (kWh/m<sup>2</sup>.año)



- Consumo de energía primaria no renovable (valor promedio): 284,84 (kWh/m<sup>2</sup>.año)

#### 5.1.9. Análisis global del uso terciario (Edificios públicos, Edificios Comerciales, Residencial colectivo y Centros hospitalarios)

Nº de inmuebles destinados a uso terciario calificados: 33

Superficie útil habitable total de inmuebles calificados: 500.202,35 m<sup>2</sup>

Distribución de viviendas según el año de construcción:

- Anteriores a 1979: 11
- De 1979 a 2006: 17
- De 2006 a 2013: 5

Zona climática: mayoritariamente en la zona climática C1 según CTE HE1

Distribución por tipologías de los inmuebles destinados a uso residencial:

- Edificios comerciales: 10
- Edificios públicos (administrativos y docentes): 11
- Residenciales colectivos (hoteles): 9
- Centros hospitalarios: 3

Transmitancias térmicas obtenidas para muros de fachada (valores promedio):

- Zona opaca: 1.19 W/m<sup>2</sup>.°K
- Hueco: 3.62 W/m<sup>2</sup>.°K

Análisis de la eficiencia energética (valores promedio):

- Emisión de CO<sub>2</sub> (valor promedio): 63,79 Kg (CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.año)
- Demanda de energía calorífica (valor promedio): 112,69 (kWh/m<sup>2</sup>.año)
- Consumo de energía primaria no renovable (valor promedio): 284,84 (kWh/m<sup>2</sup>.año)

#### 5.1.10. Resumen de parámetros energéticos y ambientales (valores promedio) según tipologías del uso al que se destina el inmueble.

En la siguiente tabla se resumen los datos obtenidos en la muestra de inmuebles seleccionados para el estudio:

DESCRIPCIÓN	Transmitancias promedio (W/m <sup>2</sup> .°K)		Valores promedio de eficiencia energética		
	U Opaco	U Hueco	Emisividad CO <sub>2</sub>	Demanda calefacción	Consumo energía primaria
Vivienda unifamiliar	1,14	3,55	68,54	142,26	322,59
Vivienda en bloque	1,21	3,64	62,22	114,22	270,8
Bloque residencial completo	1,17	4,5	29,94	46,01	133,24
Edificio comercial	0,66	3,58	28,66	57,44	169,06
Edificio público	0,91	3,53	41,59	67,21	204,79
Residencial Colectivo	0,76	3,24	34,14	31,77	178,28
Centro hospitalario	0,82	3,78	31,9	26,53	171,13

Tabla 74: Resumen de parámetros relacionados con el comportamiento energético y ambiental de los edificios que componen la muestra seleccionada (Elaboración de autor con programa Excel - Microsoft)

5.1.11. Análisis del grado de correlación lineal entre valores obtenidos en edificios de usos terciarios.

En este apartado se realiza un análisis preliminar para determinar el grado de correlación lineal existente entre los valores obtenidos para la agrupación de edificios destinados a usos terciarios (comerciales, públicos, hoteles y hospitales), la cual 32 edificios y una superficie útil habitable total de 500.202,35 m<sup>2</sup>.

5.1.11.1 Análisis del grado de correlación lineal entre variables que inciden en la demanda de energía calorífica.

a) Transmitancia opaco del cerramiento U<sub>o</sub> (W/m<sup>2</sup>.°K) y demanda de energía calorífica (kWh/m<sup>2</sup>.año).

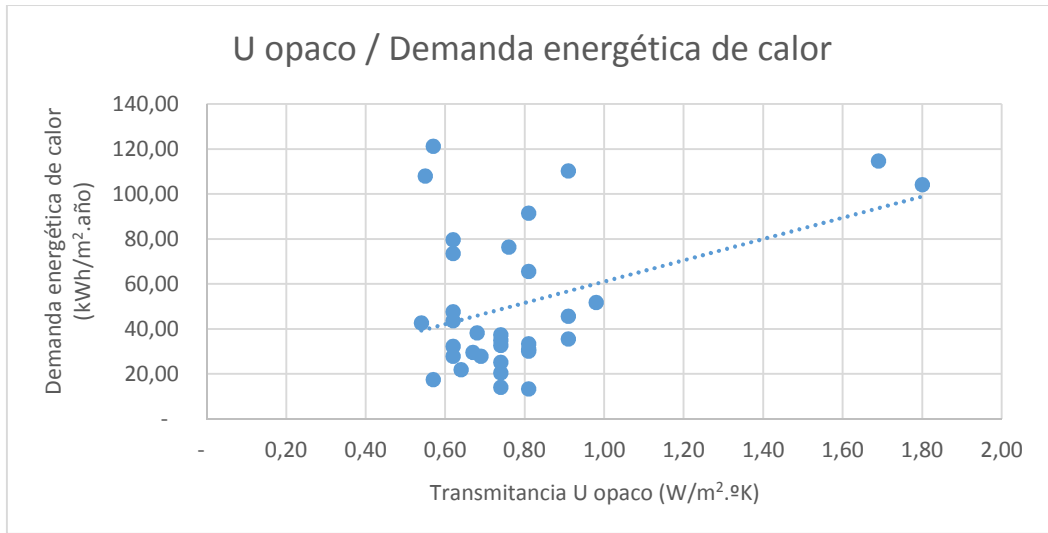


Fig.71: Gráfico de dispersión para los valores de U opaco y Demanda de energía calorífica en los edificios de usos terciarios (Gráfico realizado por el autor con el programa Excel – Microsoft)

Como se puede observar, se trata de una correlación positiva moderada, siendo su coeficiente de correlación lineal **0,4010432**.

b) Transmitancia hueco del cerramiento U<sub>h</sub> (W/m<sup>2</sup>.°K) y demanda de energía calorífica (kWh/m<sup>2</sup>.año).

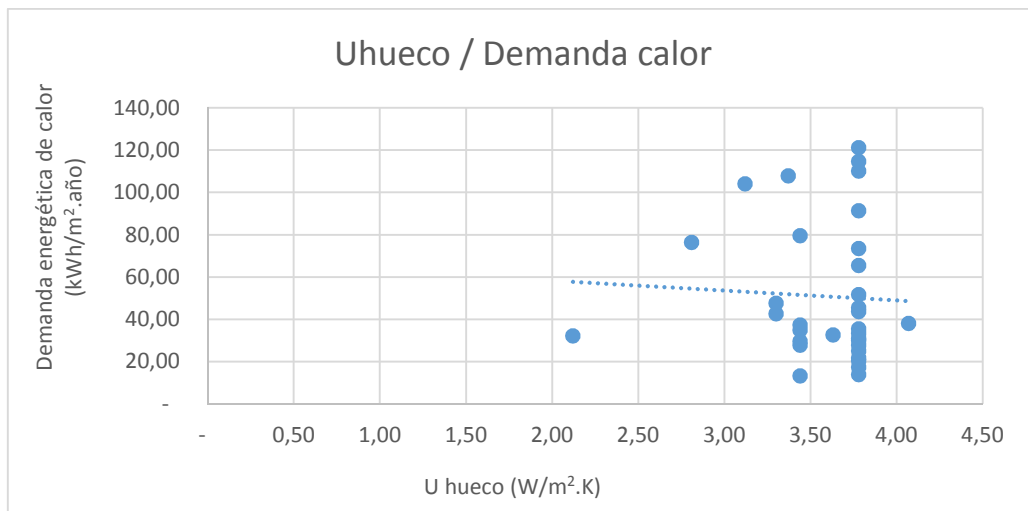


Fig.72: Gráfico de dispersión para los valores de U hueco y Demanda de energía calorífica en los edificios de usos terciarios (Gráfico realizado por el autor con el programa Excel – Microsoft)

Como se puede observar, prácticamente no existe correlación, siendo su coeficiente de correlación lineal **-0,052289233**

c) Año de construcción y Transmitancia de cerramiento opaco U ( $W/m^2 \cdot ^\circ K$ )

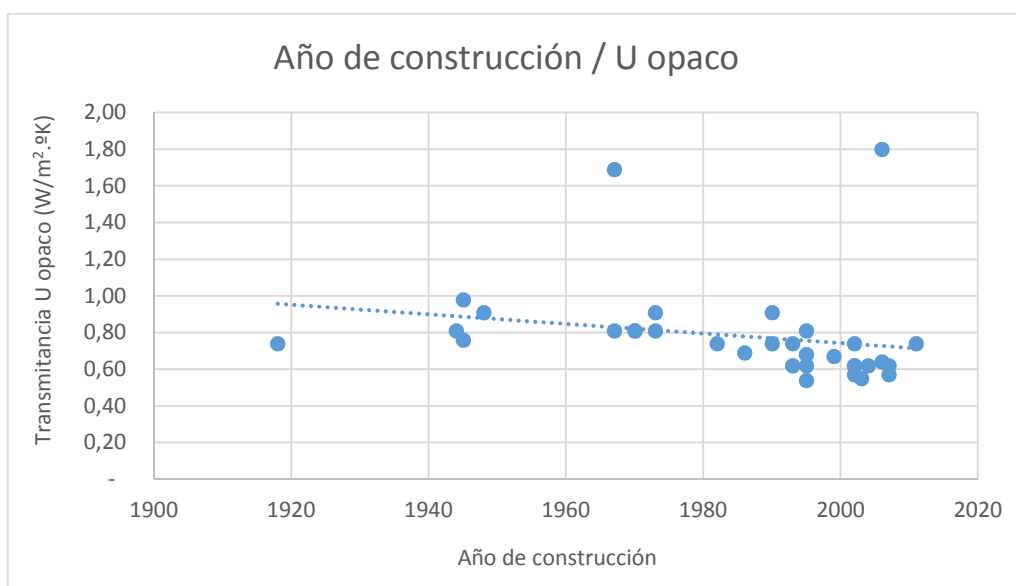


Fig.73: Gráfico de dispersión para los valores de año de construcción y transmitancia térmica U opaco en los edificios de usos terciarios (Gráfico realizado por el autor con el programa Excel – Microsoft)

Como se puede observar, se trata de una correlación negativa débil, siendo su coeficiente de correlación lineal  $-0,22287366$ . No obstante, si no consideramos los datos correspondientes a los dos edificios terciarios que presentan valores de transmisión más elevados, dadas las características arquitectónicas de sus cerramientos exteriores (Edificio administrativo Xoana Capdeville UdC, con una gran superficie acristalada y espacios abiertos interiores; así como el pabellón municipal de Pontevedra, con amplias zonas del cerramiento debilitado térmicamente) pasaría a ser una correlación negativa intensa, un coeficiente de correlación lineal de  $-0,67561093$ .

d) Año de construcción y demanda de energía calorífica ( $kWh/m^2 \cdot año$ ).

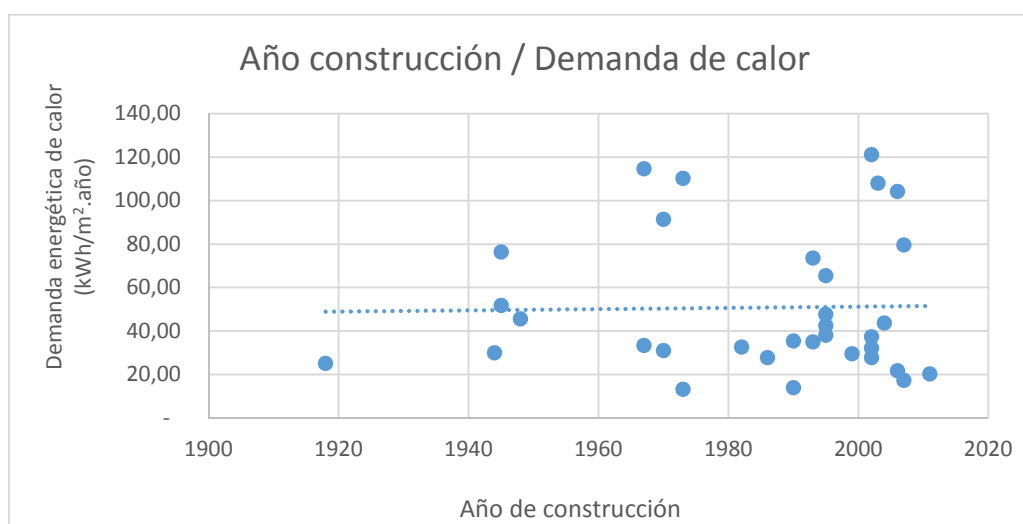


Fig.74: Gráfico de dispersión para los valores de año de construcción y demanda de energía calorífica en los edificios de usos terciarios (Gráfico realizado por el autor con el programa Excel – Microsoft)

Como se puede observar, se trata de una correlación positiva moderada, siendo su coeficiente de correlación lineal  $0,0209304$ .

5.1.11.2. Análisis preliminar del grado de correlación lineal entre otras variables.

a) Emisividad de CO<sub>2</sub> (kCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.año) y demanda de energía calorífica (kWh/m<sup>2</sup>.año)

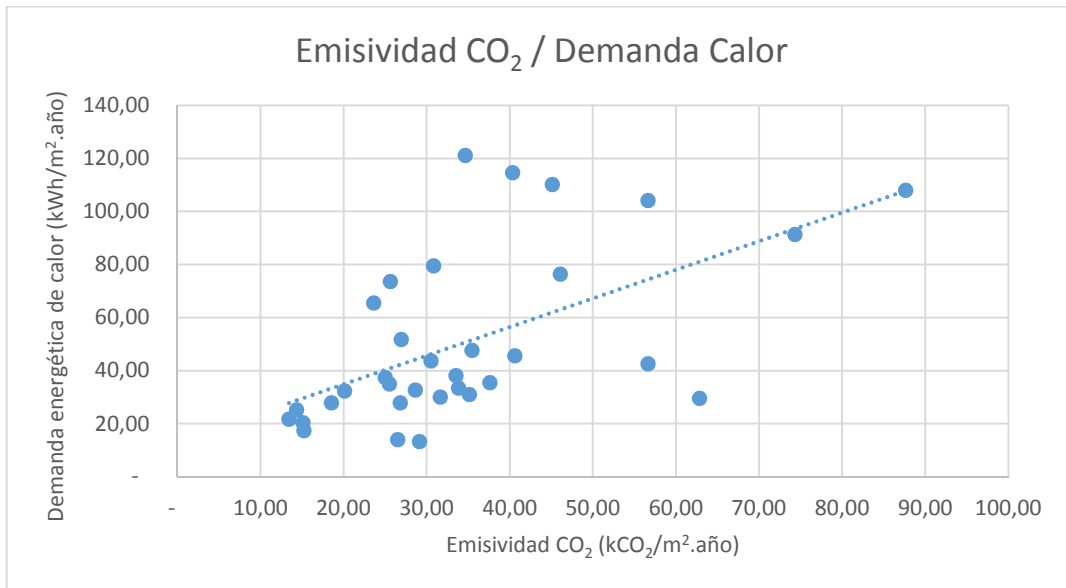


Fig.75: Gráfico de dispersión para los valores de Emisividad CO<sub>2</sub> y demanda de energía calorífica en los edificios de usos terciarios (Gráfico realizado por el autor con el programa Excel – Microsoft)

Como se puede observar, se trata de una correlación positiva moderada, siendo su coeficiente de correlación lineal **0,56871044**.

b) Emisividad de CO<sub>2</sub> (kCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.año) y consumo de energía primaria (kW/m<sup>2</sup>.año)

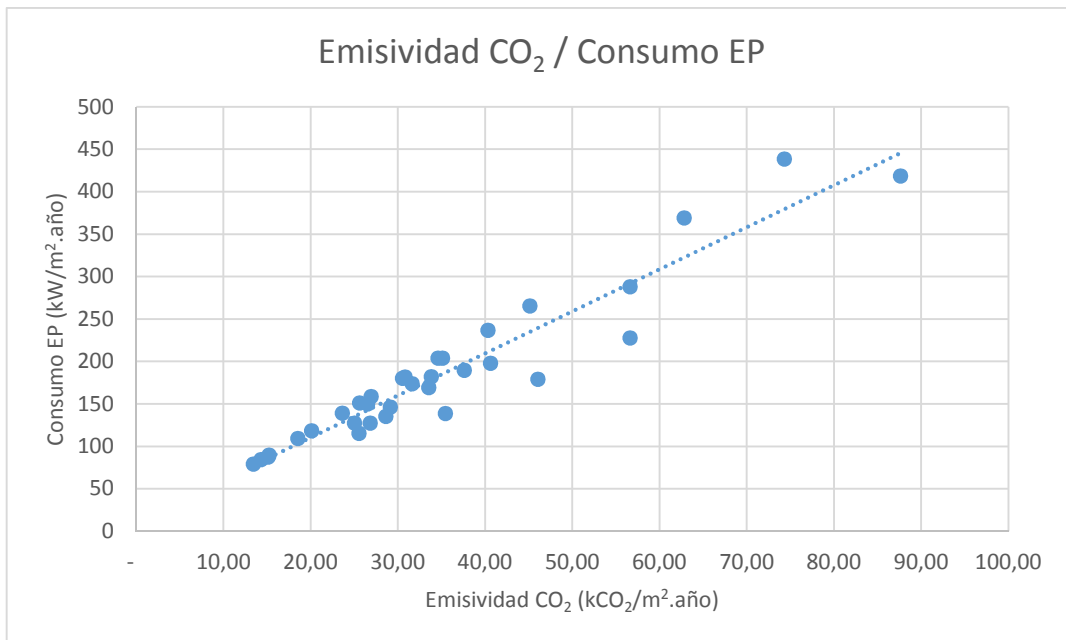


Fig.76: Gráfico de dispersión para los valores de Emisividad CO<sub>2</sub> y Consumo de energía primaria en los edificios de usos terciarios (Gráfico realizado por el autor con el programa Excel – Microsoft)

Como se puede observar, se trata de una correlación positiva intensa, siendo su coeficiente de correlación lineal **0,9551439**.

c) Transmitancia del cerramiento opaco  $U$  ( $W/m^2 \cdot ^\circ K$ ) y Consumo de energía primaria ( $kWh/m^2 \cdot a\tilde{no}$ ).

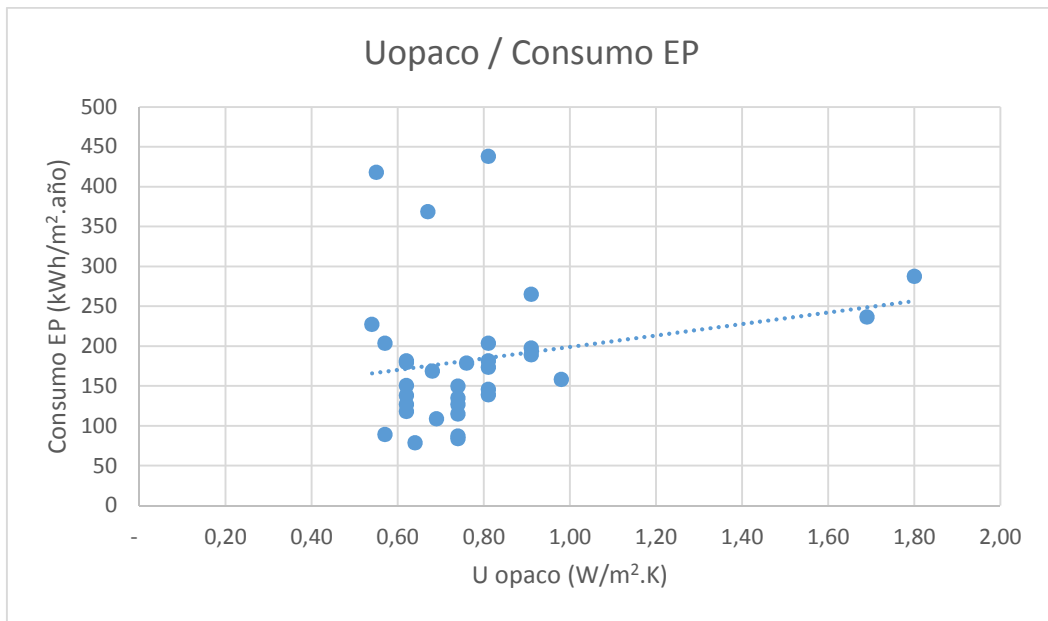


Fig.77: Gráfico de dispersión para los valores de  $U$  opaco y Consumo de energía primaria en los edificios de usos terciarios (Gráfico realizado por el autor con el programa Excel – Microsoft)

Como se puede observar, se trata de una correlación positiva débil, siendo su coeficiente de correlación lineal **0,222037263**.

d) Transmitancia del huecos cerramiento  $U$  ( $W/m^2 \cdot ^\circ K$ ) y Consumo de energía primaria ( $kWh/m^2 \cdot a\tilde{no}$ ).

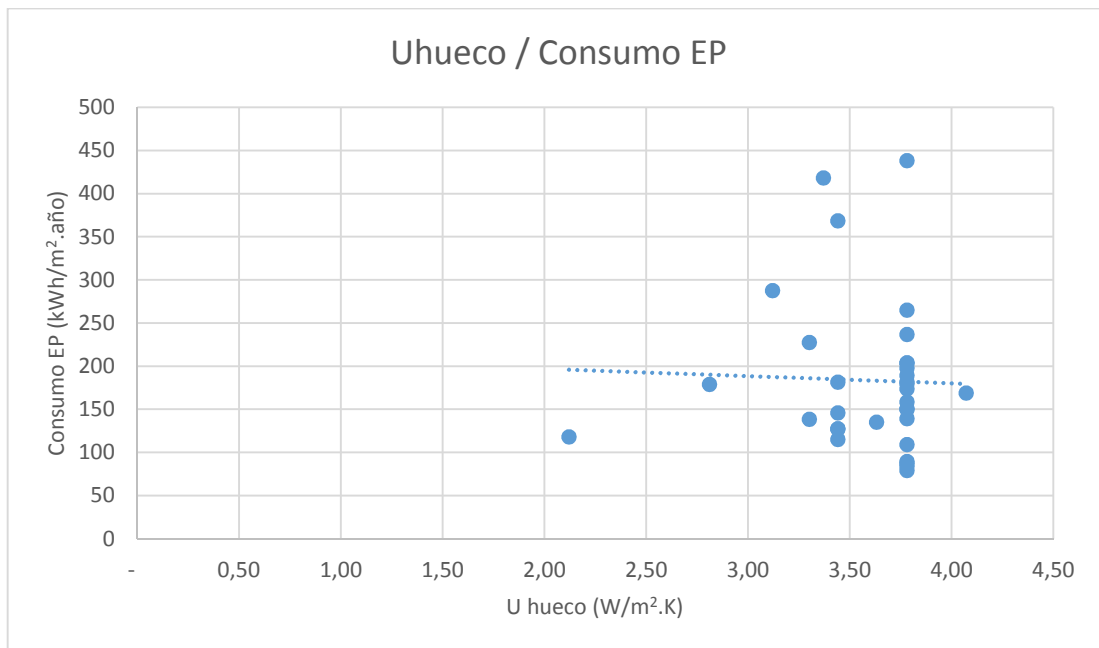


Fig.78: Gráfico de dispersión para los valores de  $U$  en huecos del cerramiento exterior y Consumo de energía primaria en los edificios de usos terciarios (Gráfico realizado por el autor con el programa Excel – Microsoft)

Como se puede observar, prácticamente no existe correlación, siendo su coeficiente de correlación lineal **-0,03533017**.

e) Año de construcción y Consumo de energía primaria (kW.h/m<sup>2</sup>.año).

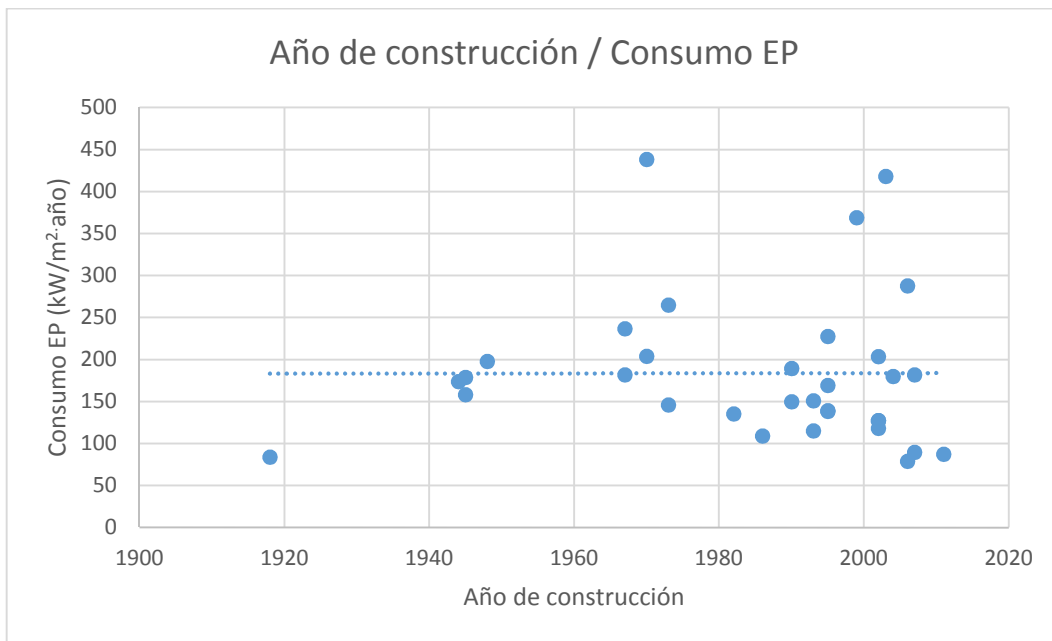


Fig.79: Gráfico de dispersión para los valores de Año de construcción y Consumo de energía primaria en los edificios de usos terciarios (Gráfico realizado por el autor con el programa Excel – Microsoft)

Como se puede observar, prácticamente no existe correlación entre estas variables, siendo su coeficiente de correlación lineal **0,00193129**.

f) Demanda de energía calorífica (kW.h/m<sup>2</sup>.año) y consumo de energía primaria (kW/m<sup>2</sup>.año)

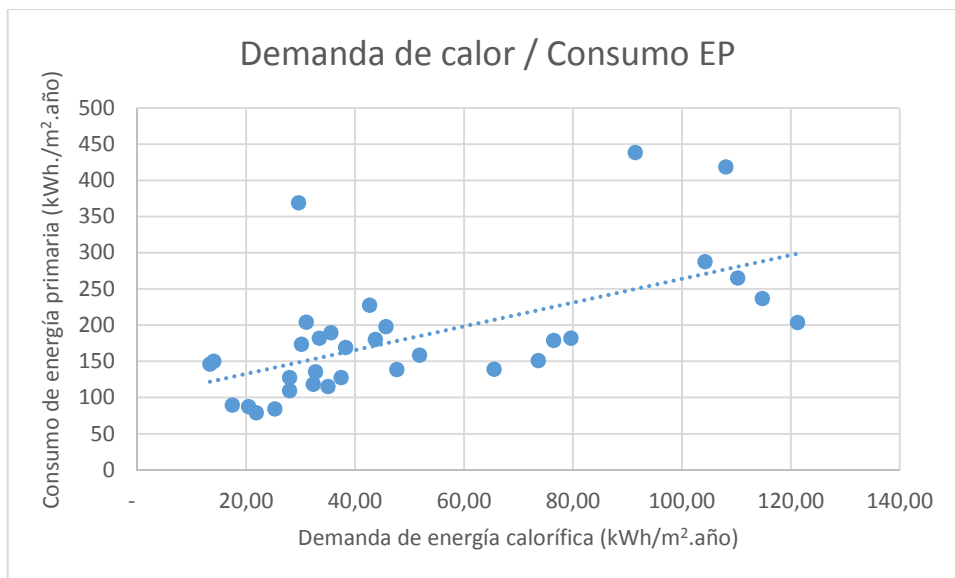


Fig.80: Gráfico de dispersión para los valores de demanda de energía calorífica y consumo de energía primaria en los edificios de usos terciarios (Gráfico realizado por el autor con el programa Excel – Microsoft)

Se observa una correlación lineal positiva moderada, con un coeficiente de correlación lineal de **0,5989188**

5.1.12. Análisis preliminar del grado de correlación lineal entre variables obtenidas en edificios de uso residencial

Se realiza el análisis de los valores obtenidos en los inmuebles destinados a uso residencial (viviendas unifamiliares, viviendas en bloque y bloque residencial completo), constituida por 420 inmuebles, con una superficie útil habitable total de 70.235,95 m<sup>2</sup>.

5.1.12.1. Análisis del grado de correlación lineal entre variables que inciden en la demanda de energía calorífica.

- a) Transmitancia zona opaca del cerramiento  $U_o$  (W/m<sup>2</sup>.°K) y demanda de energía calorífica (kW.h/m<sup>2</sup>.año).

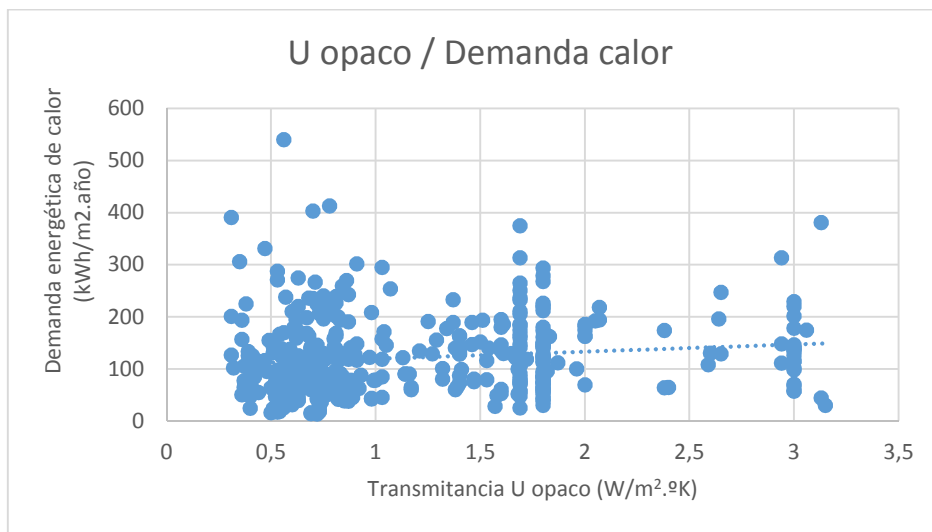


Fig.81: Gráfico de dispersión para los valores de  $U$  opaco y Demanda de energía calorífica en los edificios de uso residencial (Gráfico realizado por el autor con el programa Excel – Microsoft)

Se observa una correlación positiva débil, siendo su coeficiente de correlación lineal **0,12399335**

- b) Transmitancia huecos del cerramiento  $U_h$  (W/m<sup>2</sup>.°K) y demanda de energía calorífica (kW.h/m<sup>2</sup>.año).

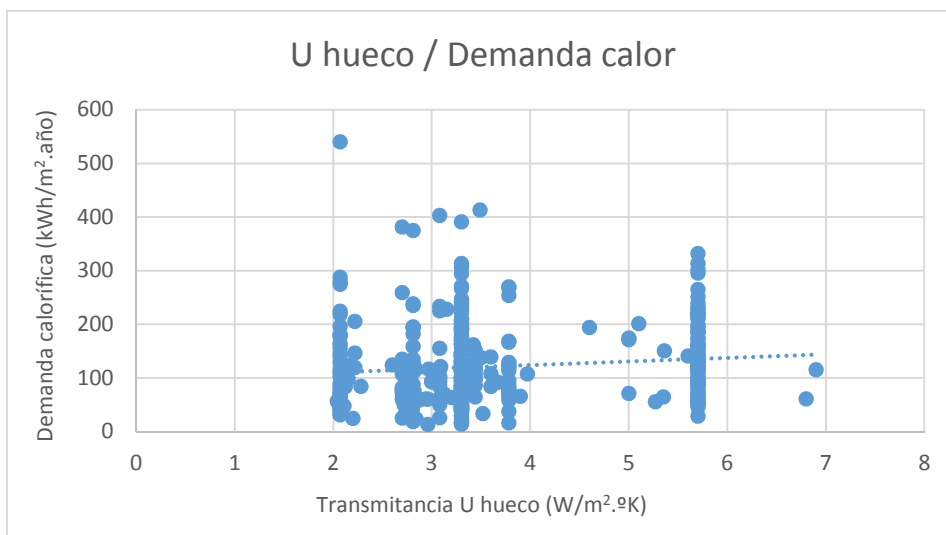


Fig82: Gráfico de dispersión para los valores de  $U$  hueco y Demanda de energía calorífica en los edificios de uso residencial (Gráfico realizado por el autor con el programa Excel – Microsoft)

Se observa una correlación positiva débil, siendo su coeficiente de correlación lineal **0,09929255**

c) Año de construcción y Transmitancia de cerramiento opaco U ( $W/m^2 \cdot ^\circ K$ )

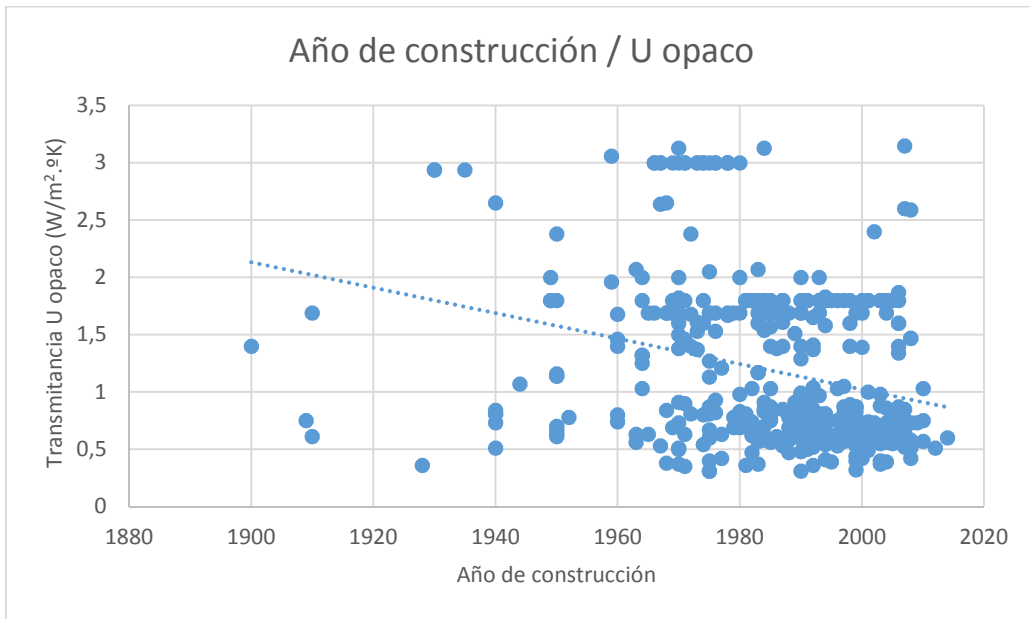


Fig.83: Gráfico de dispersión para los valores de año de construcción y transmitancia térmica U opaco en los edificios de uso residencial (Gráfico realizado por el autor con el programa Excel – Microsoft)

Se observa una correlación lineal negativa débil, cuyo coeficiente de correlación lineal es **-0,28979966**

d) Año de construcción y demanda de energía calorífica ( $kW.h/m^2 \cdot año$ ).

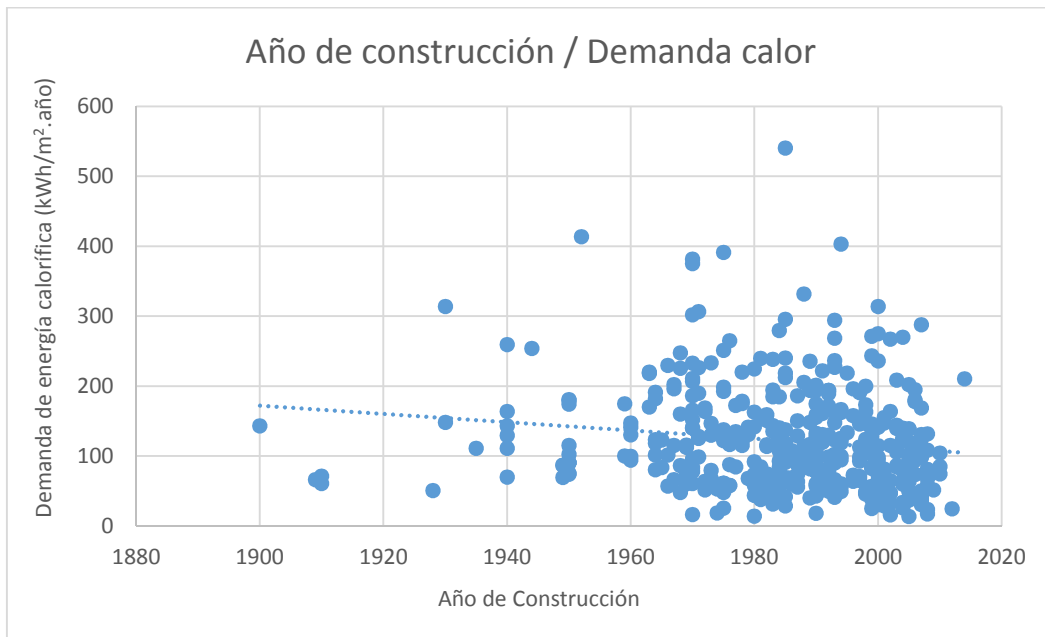


Fig.84: Gráfico de dispersión para los valores de año de construcción y demanda de energía calorífica en los edificios de uso residencial (Gráfico realizado por el autor con el programa Excel – Microsoft)

Se observa una correlación lineal negativa débil, con un coeficiente de correlación lineal de **-0,14574068**



5.1.12.2. Análisis preliminar del grado de correlación lineal entre otras variables

a) Emisividad de CO<sub>2</sub> (kCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.año) y demanda de energía calorífica (kW.h/m<sup>2</sup>.año)

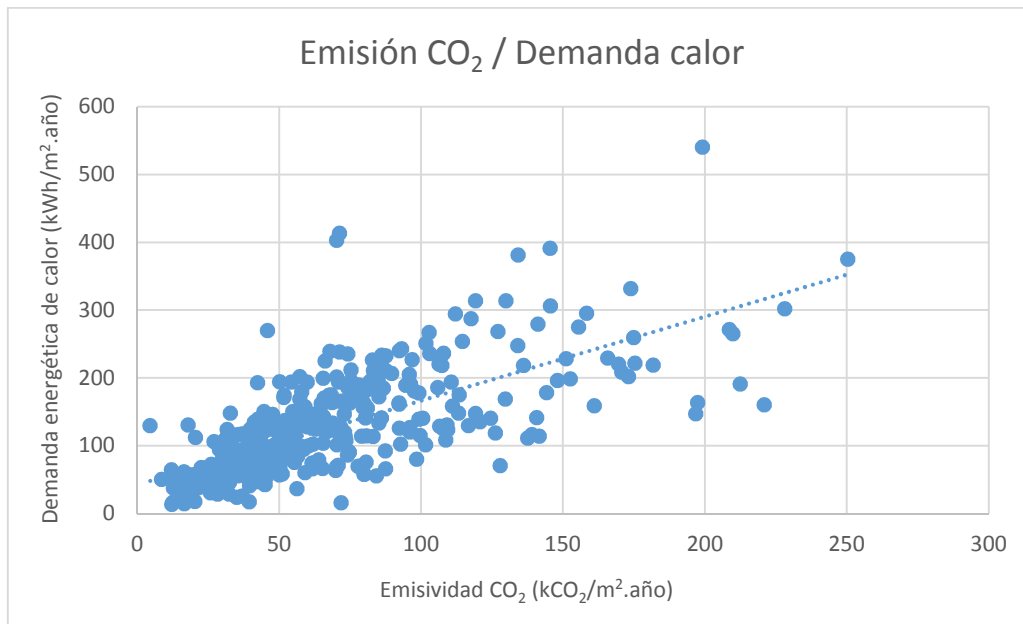


Fig.85: Gráfico de dispersión para los valores de Emisividad CO<sub>2</sub> y demanda de energía calorífica en los edificios de uso residencial (Gráfico realizado por el autor con el programa Excel – Microsoft)

Se observa una correlación lineal positiva moderada, con un coeficiente de correlación lineal de **0,70756098**

b) Emisividad de CO<sub>2</sub> (kCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.año) y consumo de energía primaria (kW/m<sup>2</sup>.año)

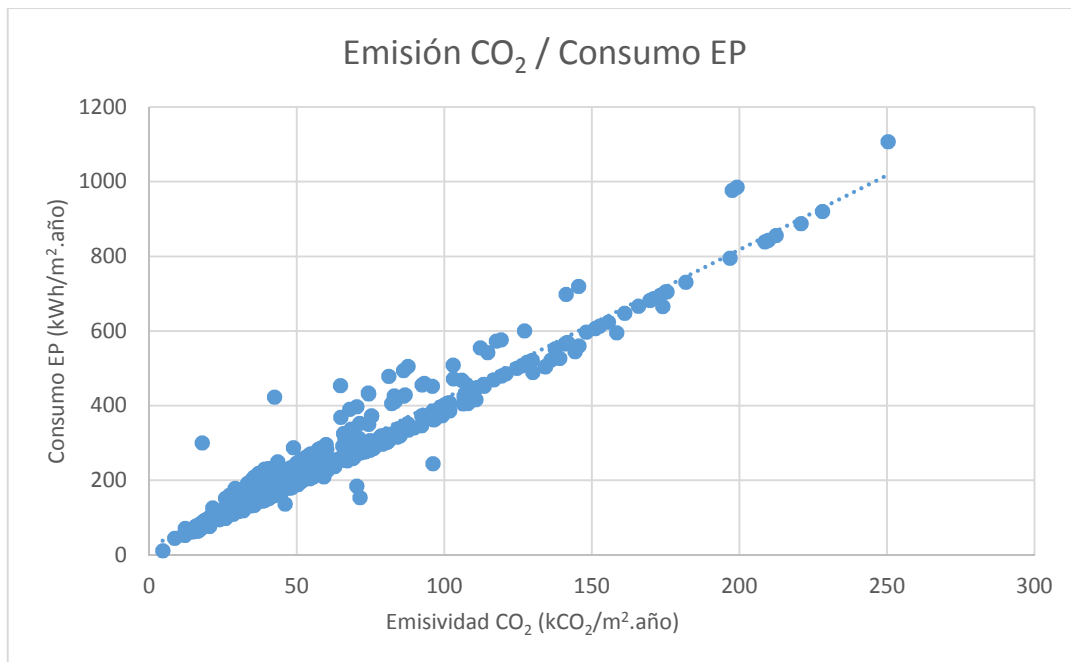


Fig.86: Gráfico de dispersión para los valores de Emisividad CO<sub>2</sub> y Consumo de energía primaria en los edificios de uso residencial (Gráfico realizado por el autor con el programa Excel – Microsoft)

Se observa una correlación lineal positiva intensa, con un coeficiente de correlación lineal de **0,97137197**

c) Transmitancia del cerramiento opaco U (W/m<sup>2</sup>.°K) y Consumo de energía primaria (kW.h/m<sup>2</sup>.año).

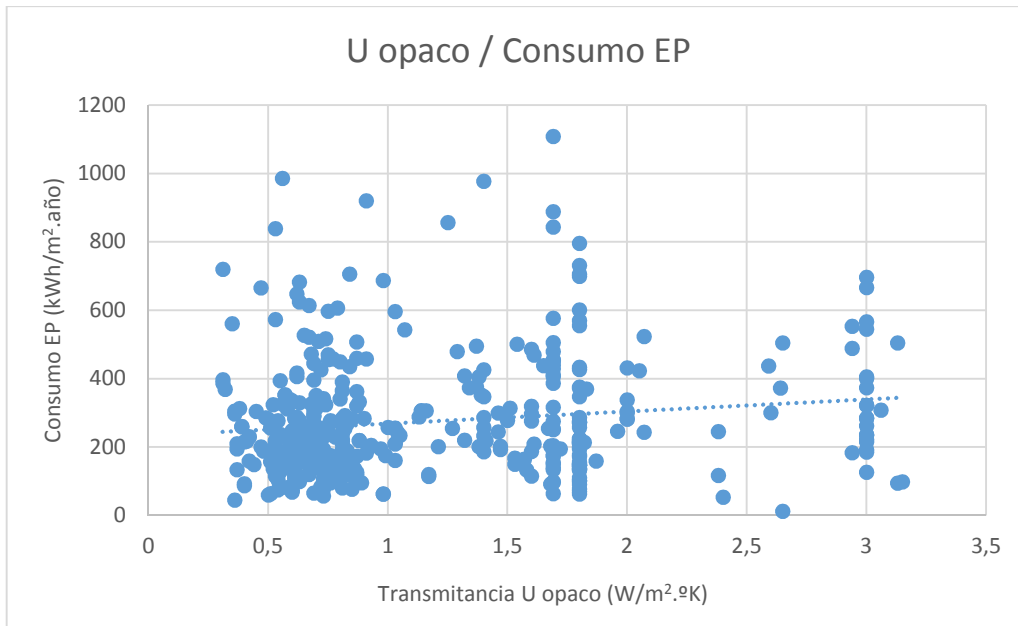


Fig.87: Gráfico de dispersión para los valores de U opaco y Consumo de energía primaria en los edificios de uso residencial (Gráfico realizado por el autor con el programa Excel – Microsoft)

Se observa una correlación lineal positiva débil, con un coeficiente de correlación lineal de **0,144085428**

d) Transmitancia hueco del cerramiento U ( $W/m^2.ºK$ ) y Consumo de energía primaria ( $kW.h/m^2.año$ ).

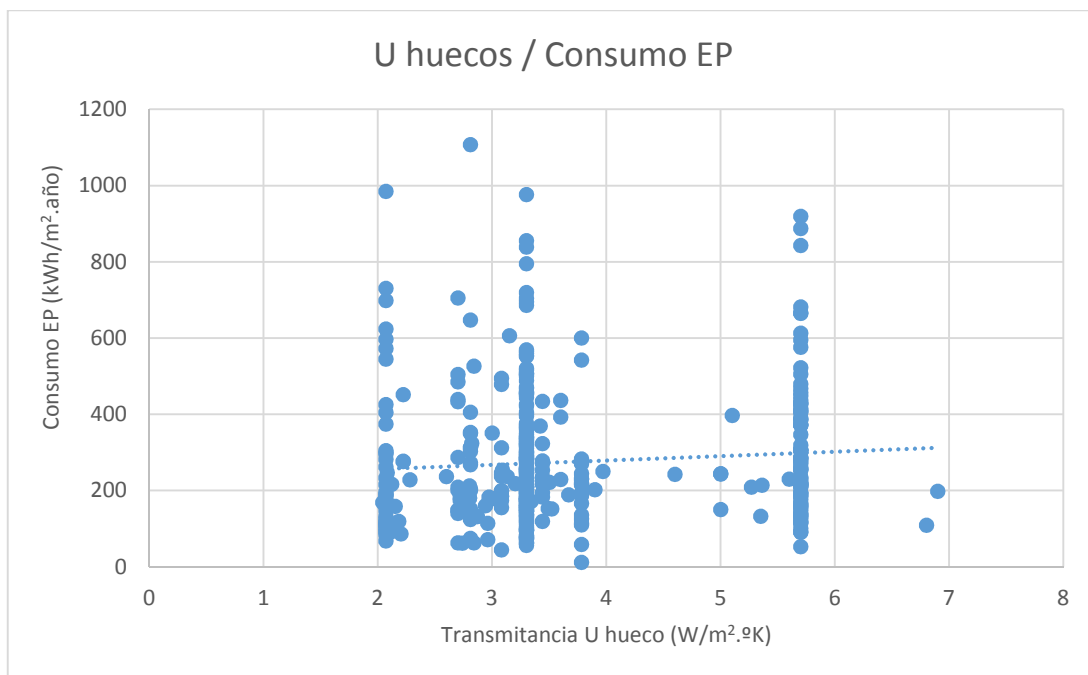


Fig.88: Gráfico de dispersión para los valores de U en huecos del cerramiento exterior y consumo de energía primaria en los edificios de uso residencial (Gráfico realizado por el autor con el programa Excel – Microsoft)

Se observa una correlación lineal positiva débil, con un coeficiente de correlación lineal de **0,076740079**

e) Año de construcción y Consumo de energía primaria ( $kW.h/m^2.año$ ).

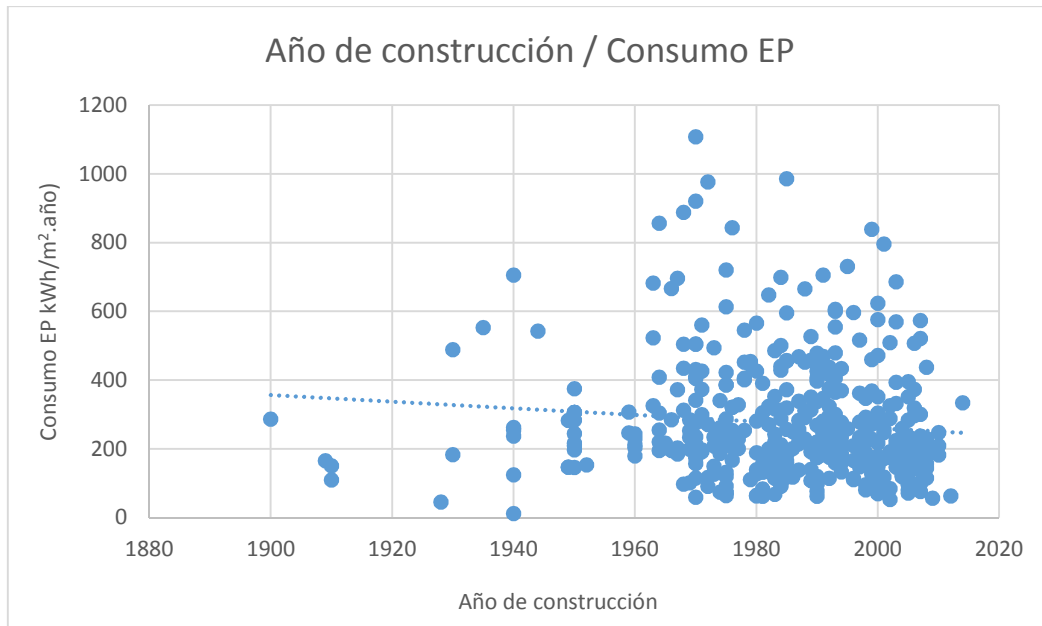


Fig.89: Gráfico de dispersión para los valores de año de construcción y consumo de energía primaria en los edificios de uso residencial (Gráfico realizado por el autor con el programa Excel – Microsoft)

Se observa una correlación lineal negativa débil, con un coeficiente de correlación lineal de **-0,102618551**

f) Demanda de energía calorífica (kW.h/m².año) y consumo de energía primaria (kW/m².año)

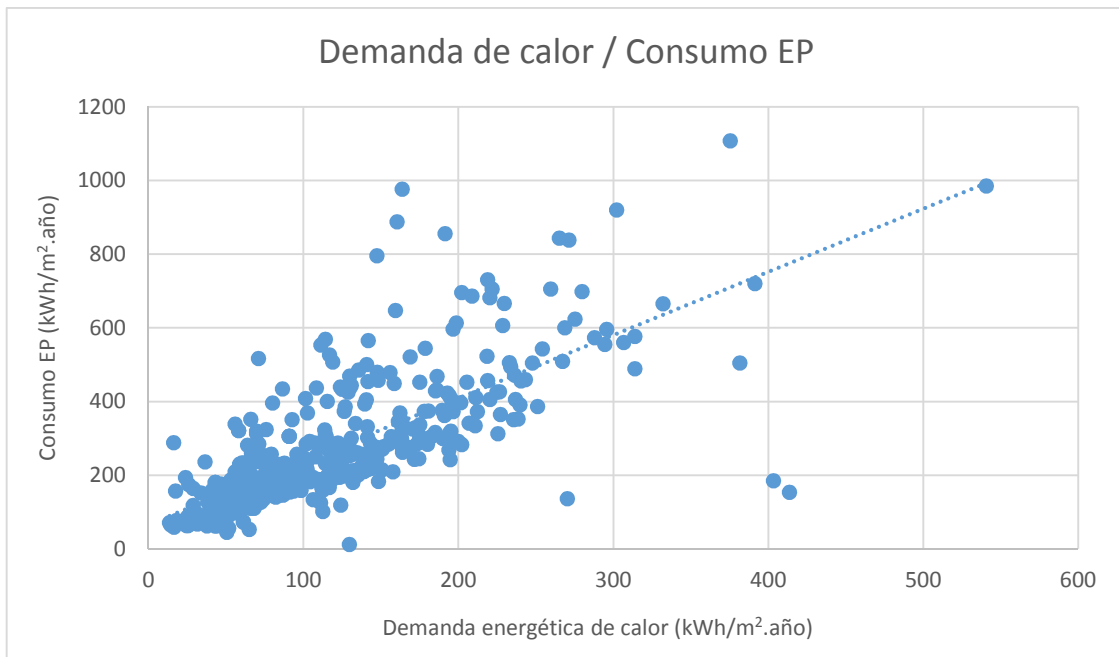


Fig.90: Gráfico de dispersión para los valores de demanda de energía calorífica y consumo de energía primaria en los edificios de uso residencial (Gráfico realizado por el autor con el programa Excel – Microsoft)

Se observa una correlación lineal positiva intensa, con un coeficiente de correlación lineal de **0.732110233**

### 5.1.13. Parámetros relacionados con la Calidad de Aire Interior

Los resultados obtenidos en la comprobación de parámetros relacionados con el interior en edificios con usos diferentes, se exponen a continuación:

5.1.13.1. Medición de parámetros CAI en edificios de uso residencial vivienda: el resumen de los valores promedio obtenidos en la medición realizada en las zonas habitables de los edificios seleccionados, se resumen en el siguiente cuadro;

PROVINCIA	AÑO CONST.	SUPERFICIE	CALIDAD AMBIENTE INTERIOR (valor promedio)		
			TEMP. (°C)	Humedad (%)	CO <sub>2</sub> (ppm)
A Coruña	2001	3.670,00	20,39	60,77	826,09
Ourense	1974	3.288,00	19,01	63,90	726,00
A Coruña	1990	1.968,00	21,35	61,75	655,52
A Coruña	1980	10.848,00	20,70	60,60	1.221,00
			<b>20,36</b>	<b>61,76</b>	<b>857,15</b>

Tabla 75.- Resumen de los resultados obtenidos en la medición de parámetros de calidad ambiental interior en edificios en bloque de uso residencial (Elaboración propia)

5.1.13.2. Medición de parámetros CAI en edificios de usos terciarios: el resumen de los valores promedio obtenidos en la medición realizada en las zonas habitables de los edificios seleccionados, se resumen en el siguiente cuadro;

TIPO	PROVINCIA	AÑO CONST.	SUPERFICIE	CALIDAD AMBIENTE INTERIOR (valor promedio)		
				TEMP. °C	Humedad	CO <sub>2</sub>
EC	A Coruña	2007	66.634,00	19,60	71,40	811,45
EC	A Coruña	1995	19.129,00	18,50	69,80	913,52
EC	A Coruña	1986	45.047,00	20,30	70,20	1.087,96
EC	A Coruña	2007	11.548,00	19,40	65,40	876,11
EP	A Coruña	1995	13.819,00	22,60	53,40	1.146,31
EP	A Coruña	2006	3.905,71	18,30	62,80	68,22
EP	A Coruña	1995	11.403,30	23,40	57,60	1.047,46
EP	A Coruña	1995	2.149,60	18,30	64,20	785,24
EP	A Coruña	2003	7.372,79	21,20	61,20	837,26
RC	A Coruña	1967	9.579,00	23,40	53,30	1.142,52
RC	A Coruña	1948	9.562,00	21,50	56,40	1.035,21
CH	A Coruña	1990	11.037,00	24,10	52,40	1.342,25
CH	A Coruña	1990	4.818,00	23,60	54,60	1.278,63
				<b>21,09</b>	<b>60,98</b>	<b>1.005,55</b>

Tabla 76.- Resumen de los resultados obtenidos en la medición de parámetros de calidad ambiental interior en edificios de usos terciarios residencial (Elaboración propia).

5.2.- Resultados obtenidos relacionados con el OBJETIVO 2: Determinar mediante simulaciones energéticas, el ahorro energético y la mejora de la calificación de la eficiencia energética potencial en las distintas

**tipologías de edificios, implementando medidas de ahorro pasivas y activas** (Los resultados obtenidos de las simulaciones energéticas realizadas en cada edificio, se encuentran consignados en el Anexo 1).

En este apartado se muestran los resultados obtenidos de la realización de las simulaciones energéticas, considerando que en el inmueble se implantan medidas de ahorro energético pasivas y activas. Evidentemente el tipo de medidas a implantar dependerá de las características energéticas y ambientales del edificio, siendo las más frecuentes:

- Incremento del nivel de aislamiento térmico en la envolvente (ya sea en la zona opaca del cerramiento exterior (por ejemplo inyección de cámara de aire con espuma aislante) o en los huecos (como por ejemplo sustitución de acristalamiento por otro bajo emisivo con menor transmisión térmica)).
- Sustitución de los equipos térmicos existentes, por otros de alta eficiencia (por ejemplo, la utilización de bombas de calor de alta eficiencia con un COP superior a 4,5).

En el siguiente cuadro se muestran los parámetros energéticos iniciales, los nuevos parámetros energéticos simulados y el ahorro energético potencial para cada tipología de uso.

DESCRIPCIÓN	Valores promedio de eficiencia energética inicial			Valores promedio de eficiencia energética mejorada			% Ahorro energético
	Emisividad CO <sub>2</sub>	Demanda calefacción	Consumo energía primaria	Emisividad CO <sub>2</sub>	Demanda calefacción	Consumo energía primaria	
Vivienda unifamiliar	68,54	142,26	322,59	36,03	99,73	128,17	50,46
Vivienda en bloque	62,22	114,22	270,8	25,56	74,42	101,1	52,18
Bloque residencial completo	29,94	46,01	133,24	13,18	22,43	36,42	68,38
Edificio comercial	28,66	57,44	69,06	16,96	52,06	99,92	35,17
Edificio público	41,59	67,21	204,79	22,7	63,07	111,28	45,1
Residencial Colectivo	34,14	31,77	178,28	20,7	26,41	118,32	33,72
Centro hospitalario	31,9	26,53	171,13	21,4	19,87	123,57	27,89

Tabla 77: Resumen de los datos obtenidos mediante la simulación energética de la implantación de medidas de ahorro energético pasivas y activas (Elaboración propia)

5.3.- Resultados obtenidos relacionados con el OBJETIVO 3: Desarrollar una aplicación informática que permita registrar los datos obtenidos del análisis de la eficiencia energética de los edificios, que permita realizar el seguimiento de su comportamiento energético y ambiental, durante la vida útil del inmueble (Implementación de la aplicación web SGEtech).

En el ámbito de esta tesis se ha desarrollado una aplicación web, en colaboración con un alumno de la Facultad de Informática de la UDC, que ha servido también como Proyecto Fin de Carrera denominado “Aplicación SGEtech” del alumno D. Miguel Sanjurjo Rouco y tutorizado por el profesor D. Juan Ramón Rabuñal Dopico. Esta aplicación web permite gestionar los datos identificativos de un edificio y elaborar su valoración de eficiencia energética. Mediante esta aplicación web se permite el análisis de resultados de los edificios, generar informes, valoraciones, etc. Así mismo, se ha desarrollado pensando en permitir integrar de forma fácil técnicas de Inteligencia Artificial que permitan modelizar y predecir el comportamiento energético del edificio a partir de los datos identificativos del mismo. De esta forma, la técnicas desarrolladas en los capítulos siguientes de Redes de Neuronas Artificiales y Programación Genética se podrán integrar en el ámbito de este sistema web.

Esta aplicación web está accesible de uso público en la dirección: [http://www.citeec.udc.es/sbs\\_diagnosis](http://www.citeec.udc.es/sbs_diagnosis) En esta aplicación se puede registrar un nuevo usuario o bien utilizar uno existente que en el ámbito de esta tesis se ha creado a modo de ejemplo y se puede iniciar sesión con el nombre de usuario: “*usuario\_tesis*” y clave: “*123456*”. En este usuario existen diversos edificios creados a modo de ejemplo donde se pueden observar las funcionalidades de esta aplicación web.

En este apartado se detalla los puntos más significativos del proceso de implementación de cada una de las funcionalidades del sistema SGEtech.

#### 5.3.1. Registro de usuarios

Para poder hacer uso de la aplicación, es necesario estar en posesión de una cuenta de usuario dada de alta en el sistema. Esta tarea se puede realizar por el propio usuario o por parte del administrador del sistema a través del Panel de Control.

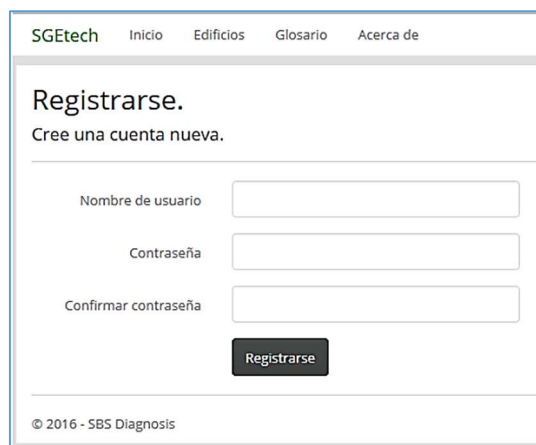


Fig.91: Pantalla de registro de usuarios (Aplicación **SGEtech** /PFC D. Miguel Sanjurjo Rouco / Prof. Tutor D. Juan Ramón Rabuñal Dopico)

Una vez que se accede a la pantalla de registro, simplemente se solicitarán dos datos: un nombre de usuario que lo identifique en la aplicación y una contraseña. Una vez proporcionada esta información el sistema realiza dos tareas:

- *Comprobar si el nombre usuario ya existe:* El nombre del usuario es el que identifica y diferencia al usuario en la aplicación, por lo tanto debe ser único. El sistema hace una comprobación de los nombres antes de dar el registro por válido.
- *Validar la contraseña:* Se podrían poner numerosas restricciones en cuanto a las condiciones necesarias para admitir a una nueva contraseña como válida, exigiendo la presencia de mayúsculas, minúsculas o caracteres especiales, así como la posibilidad de habilitar un sistema de verificación en dos pasos mediante la confirmación por email.

En este caso se consideró que una contraseña es válida empleando una longitud mínima de 6 caracteres, siendo esta la única condición indispensable.

### 5.3.2. Carga de datos del edificio

Dada la finalidad de gestionar datos relativos al comportamiento energético y ambiental del edificio, una de las principales tareas que tiene que realizar el usuario, interactuando con la aplicación es la carga de datos correspondientes a nuevos edificios o de edificios que han sido modificados.

Esta acción de carga de nuevos edificios, se puede hacer de dos maneras; de forma individual o de forma múltiple a través de la importación de datos mediante el uso de una hoja de cálculo [KRHT 10].

- *Carga individual de datos:* Si seguimos el proceso de carga individual de los datos correspondientes a un edificio nuevo, seremos guiados a través de un Wizard que nos irá solicitando los datos del edificio agrupados por categorías.

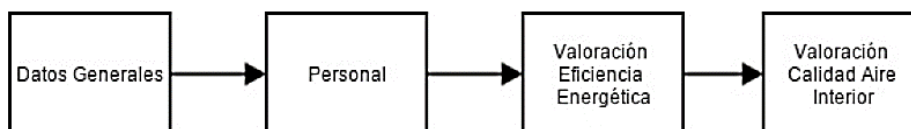


Fig.92: Diagrama de flujo del proceso de carga individual de los datos de un edificio (Aplicación **SGEtech** / PFC D. Miguel Sanjurjo Rouco / Prof. Tutor D. Juan Ramón Rabuñal Dopico)

En este proceso se puede ir hacia adelante o hacia atrás, en cualquier momento del proceso de carga de datos, de forma similar a un proceso de instalación de un programa de escritorio estándar, sin perder información que ya se ha cubierto hasta el momento, gracias al uso del elemento *Session*, que nos permite guardar datos para pasarlos entre dos páginas distintas.

- *Carga múltiple de datos:* Si lo que se desea es importar datos de varios edificios de forma simultánea (por ejemplo la primera vez que haga uso de la aplicación), para evitar tener que cargar edificio a edificio, la aplicación SGEtech permite la carga múltiple de datos relativos a varios edificios utilizando una hoja de cálculo [BRCD 16].

Para ello se pueden cargar esos datos directamente en la hoja modelo, desde la propia aplicación y una vez cubierta, importarla de forma sencilla desde la pantalla de listado de edificios.

Este sistema de importación de datos correspondientes a varios inmuebles realiza las mismas validaciones en el proceso a través del Wizard mencionado en la carga individual.

La hoja de cálculo modelo, contiene los campos identificados para todos los parámetros de control normativos relacionados con la calificación de la eficiencia energética y la calidad de aire interior del edificio; agrupados en diversas categorías (Datos administrativos, datos generales del edificio, datos relativos a la eficiencia energética y datos relativos a la calidad de aire interior).

Permitiendo registrar una parte de los mismos (depende del alcance de la intervención técnica), dejando en blanco aquellos parámetros que no han sido medidos.

Nombre	Dirección	Municipio	Provincia	AV6	Edificio o Construcción	Tipo	Superficie	Propietario	Uso	Régimen de uso	Materiales	Latitud	Longitud	Emissióes	Consumo calefacción/refrigeración	Consumo energía primaria
Central Gómez Zamalloa 9, apartamento	A Coruña	A Coruña		2904	50122229-4675526554	VB	43					58,29			184,5	242,78
Marcos de Figueira	A Coruña	A Coruña		5983	72989594-6173940209PH	VB	118					50,23			208,54	686,08
Falcoeiro	Ribeira	A Coruña		2003	8888959M-808880009P	VB	95					170,7			44,27	215,48
Santo Tomás	A Coruña	A Coruña		2974	8834059M-40835006WT	VB	98					18,47			51,81	93,471
Corredera de Castilla 255, 3D	Ferrol	A Coruña		2972	8796139M-613600014H	VB	93,2					42,1			60,38	289,2
Marexé Margulán 3	A Coruña	A Coruña		2794	003604009M-6100018K	VU	234					42,76			99,57	203,42
Paseo Matulino n.º1	Ponteareas	Pontevedra		5960	1294602G-441950011D	VB	300					71,25			92,86	211,95
Los Andes, nº 14, 1ª derecha	Pontevedra	León		5983	8036432PH-187650010ME	VB	112					21,39			34,32	205,72
Alexandre Boveda 29, 2ºB	Euzen	Pontevedra		2984	7451022HG-1876500009OP	VB	92,7					119,21			58,62	217,06
Alcalde Suárez Ferrín 7, 2ºC	A Coruña	A Coruña		2000	4379480H-2341509212EB	VB	119,21					58,62			96,62	217,06
Sánchez cavalleiro 28 nºB, 3ºC	Ferrol	A Coruña		2984	3433291H-139300398B	VB	87,47					86,07			141,13	332,17
Matilde Bares 6, 2ºC	Euzen	Pontevedra		5987	6364005G-188650037MF	VB	48					86,06			228,81	426,06
Álvarez Cuquerzio 5, 3ºC	Vimianzo	A Coruña		2003	7232808M-877350011EO	VB	125					141,14			279,56	696,74
Salvador de Madariaga, 35, 4ª dcha.	A Coruña	A Coruña		2980	8296602H-498950038D1	VB	46									
Ronda de Nelle	A Coruña	A Coruña		2984	8199524H-9807400423H	VB										

Fig.93: Plantilla para la carga múltiple de edificios (Aplicación **SGEtech** / PFC D. Miguel Sanjurjo Rouco / Prof. Tutor D. Juan Ramón Rabuñal Dopico)

### 5.3.3. Generar informe con los datos del edificio en PDF

Otra característica de la aplicación es la de exportar los datos de un edificio a un archivo PDF con lo que se facilita la tarea como la de compartir a través de correo electrónico o el almacenamiento de los datos en otros dispositivos tales como memorias USB.

Es por esto que desde la pantalla de *Detalles* del edificio el usuario puede solicitar la obtención de un archivo PDF que se abrirá en una nueva pestaña desde el que se puede guardarlo o bien imprimirlo.



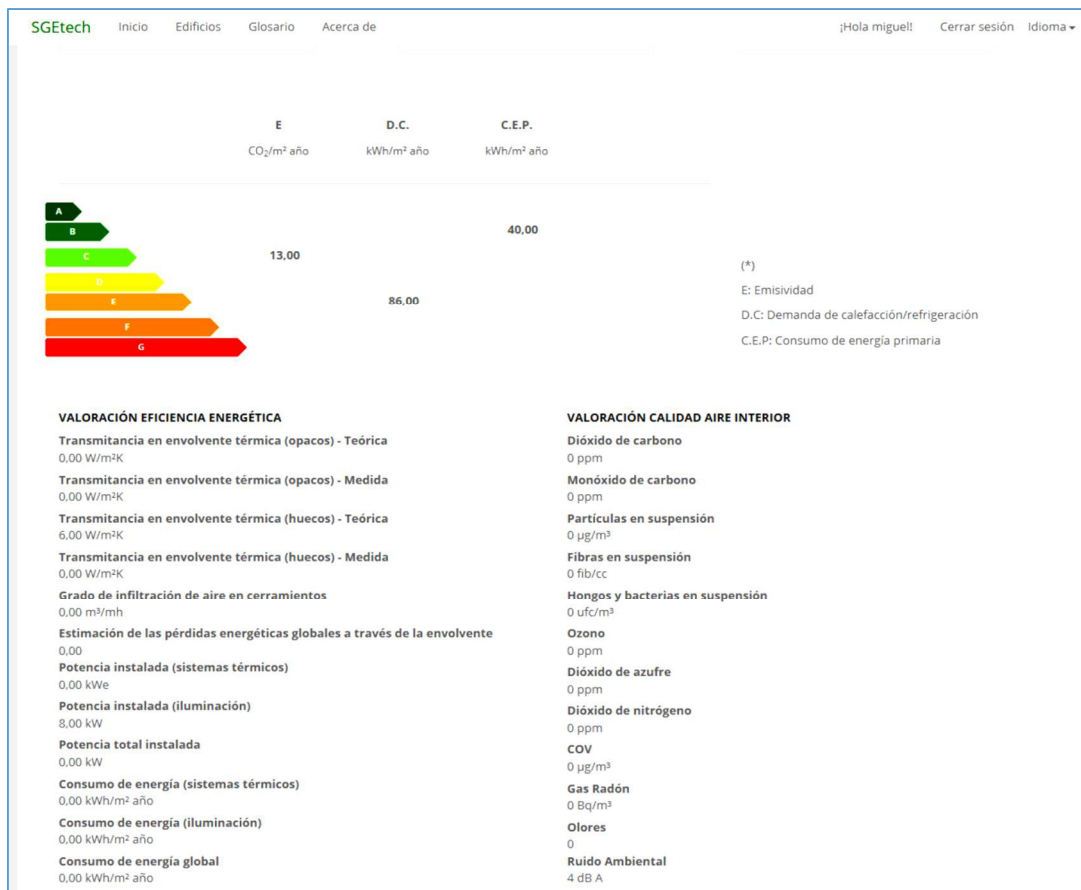


Fig.94: Pantalla Detalles del edificio – datos relativos a la eficiencia energética y calidad de aire interior (Aplicación **SGEtech** / PFC D. Miguel Sanjurjo Rouco / Prof. Tutor D. Juan Ramón Rabuñal Dopico)

Además de las características energéticas y ambientales del edificio, la aplicación incorpora una sección destinada a clasificar las medidas de ahorro energético para los casos en los que se realice una simulación energética de su implantación.

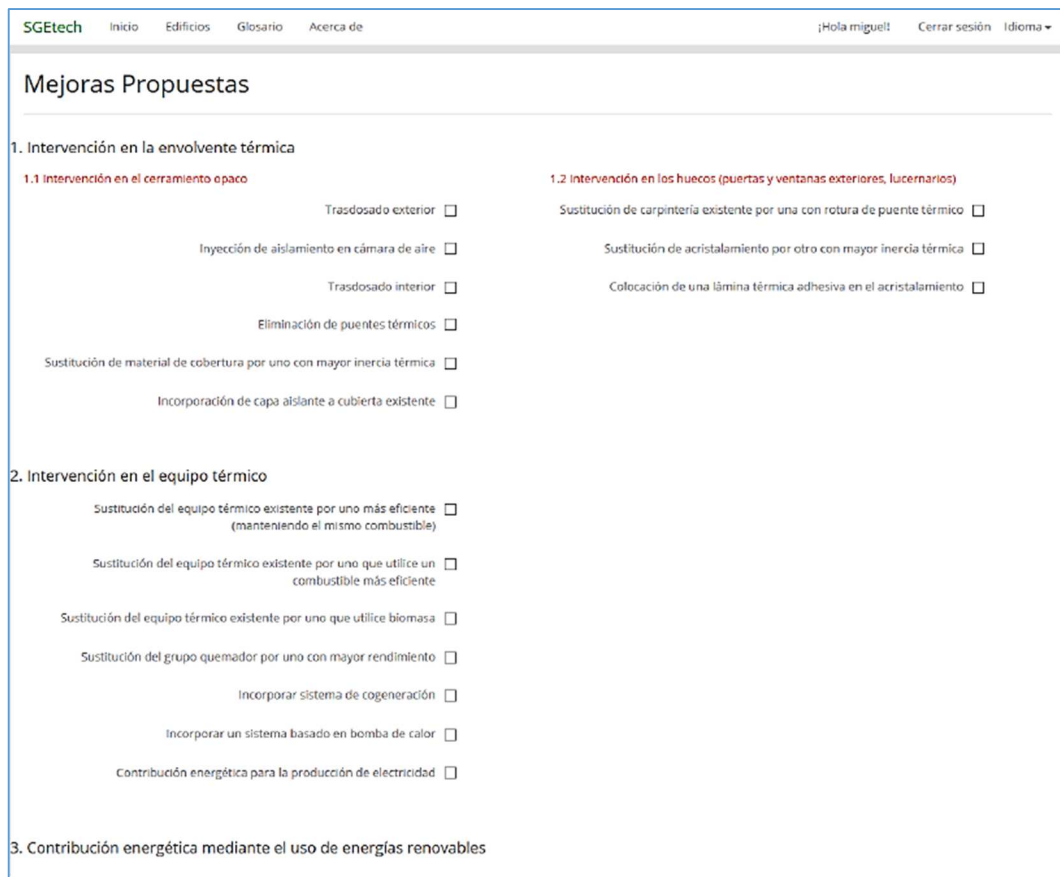


Fig.95: Pantalla Detalles del edificio – datos relativos a la eficiencia energética y calidad de aire interior (Aplicación **SGEtech** / PFC D. Miguel Sanjurjo Rouco / Prof. Tutor D. Juan Ramón Rabuñal Dopico)

#### 5.3.4. Geolocalización de un edificio

Cuando se accede a la página de “*Detalles*” si se disponen de datos de situación del edificio, como latitud o longitud, el sistema utilizará la tecnología de Google Maps, para realizar una representación de la localización del inmueble sobre un mapa interactivo. La encargada de esta misión, es una función Java Script que procesará los datos durante la carga de la página.

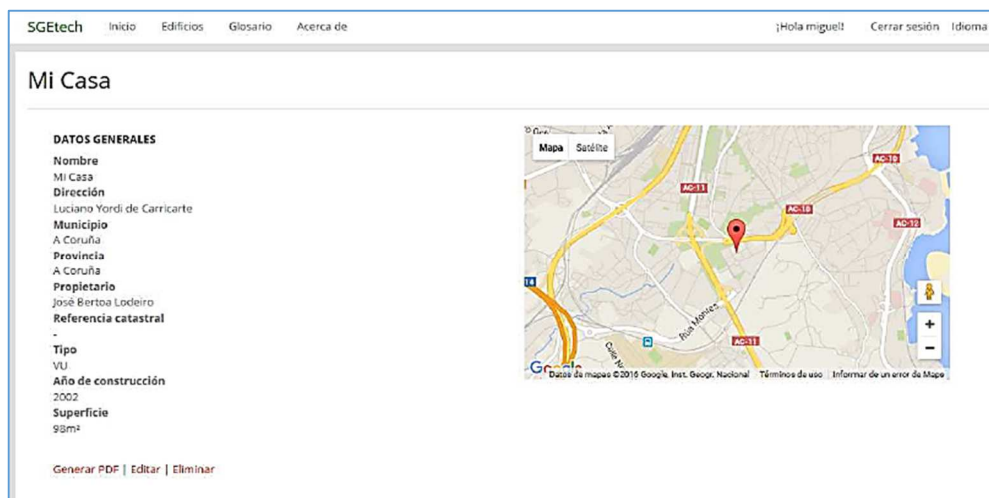


Fig.96: Pantalla Detalles del edificio con mapa de localización del inmueble (Aplicación **SGEtech** /PFC D. Miguel Sanjurjo Rouco / Prof. Tutor D. Juan Ramón Rabuñal Dopico)

### 5.3.5. Carga de imágenes del edificio

Bien sea durante el proceso de carga, o desde la pantalla de Detalles de un edificio, el usuario puede cargar imágenes vinculadas al mismo.

Posteriormente, estas imágenes pueden ser visualizadas a través de la galería que se encuentra al final de la propia pantalla de Detalles del edificio.

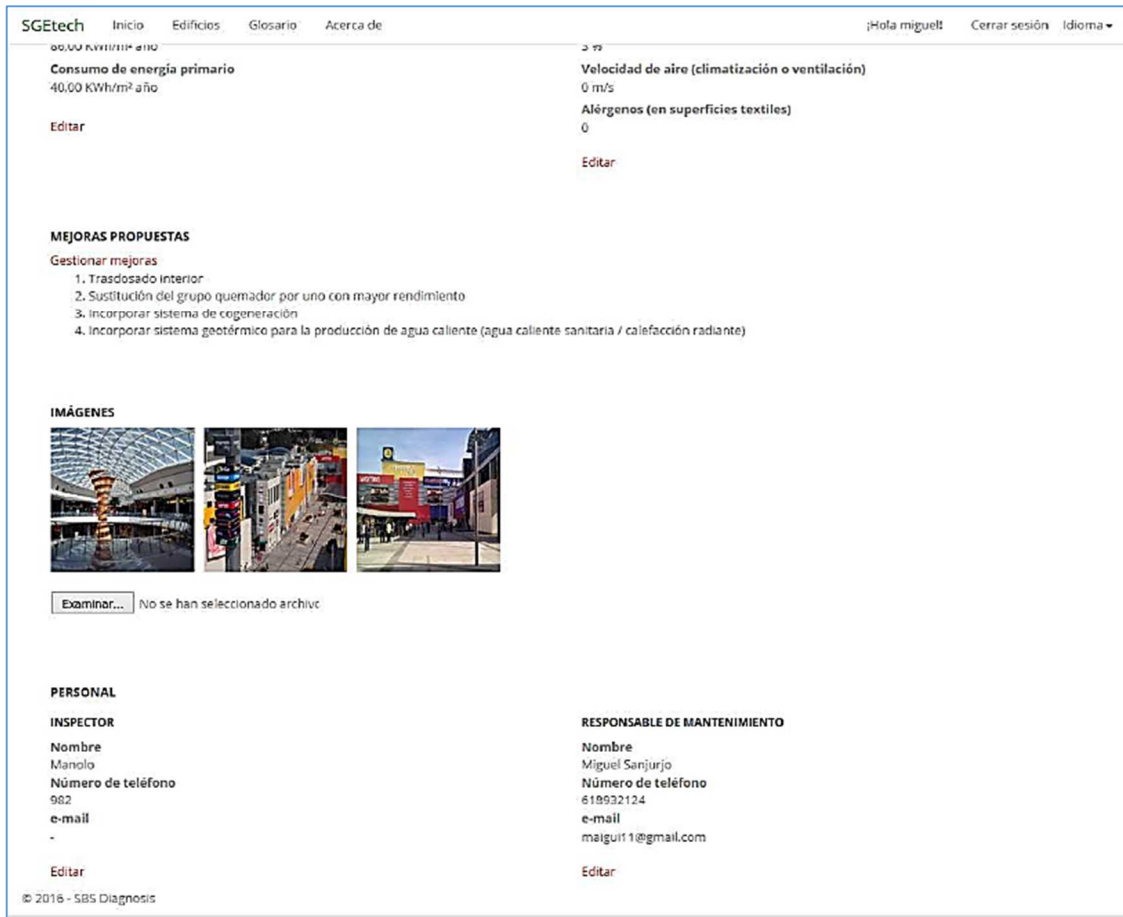


Fig.97: Pantalla Detalles del edificio – Imágenes asociadas (Aplicación **SGEtech** / PFC D. Miguel Sanjurjo Rouco / Prof. Tutor D. Juan Ramón Rabuñal Dopico)

Para la implementación de esta funcionalidad, se hizo uso de la librería *Blueimp Gallery2*, que es una biblioteca programada en Java Script y CSS que permite implementar una galería de imágenes personalizable con funcionalidad *carousel* para la transición de imágenes y *Lightbox* para una vista amplia y sencilla. *Blueimp Gallery* hace uso también de *Fancybox*, que es una herramienta (construida utilizando *jQuery*) para mostrar las imágenes. Al hacer clic en una imagen, ésta es ampliada en una ventana denominada *Lightbox*.



Fig.99: Imagen expandida Fancybox (Aplicación **SGEtech** /PFC D. Miguel Sanjurjo Rouco / Prof. Tutor D. Juan Ramón Rabuñal Dopico)

### 5.3.6. Carga de ficheros

De forma similar al proceso de carga de imágenes, se dispone de un acceso al explorador de ficheros del Sistema Operativo, para escoger un archivo con la información catastral del edificio, que será almacenado y que posteriormente se podrá recuperar en cualquier momento.

#### **5.4.- Resultados obtenidos relacionados con el OBJETIVO 4: Modelar el comportamiento de los edificios seleccionados en base a sus perfiles de demanda y consumo energético mediante el uso de Redes Neuronas Artificiales y Programación Genética.**

En este ámbito de la investigación, se utilizan técnicas de Inteligencia Artificial para predecir el comportamiento térmico y energético del edificio.

En particular la herramienta de IA desarrollada es una Red de Neuronas Artificiales, que es capaz de predecir el comportamiento energético a partir de unas características del edificio. Las RR.NN.AA. han demostrado ser una herramienta muy potente capaz de resolver problemas del mundo real con excelentes resultados [CHEN 12] [KARA 12] [NIU 12] [PAND 12] [CAST 14].

La finalidad de este objetivo científico, es mostrar la capacidad de esta técnica y su adecuación para predecir el comportamiento térmico del edificio.

Una RNA es un sistema de procesamiento de información basado en conceptos biológicos relacionados con el cerebro humano y la biología neuronal [LIPP 87]. Una RNA funciona como una caja negra, produciendo resultados de acuerdo a las entradas que recibe.

Una RNA puede "aprender" cómo modelar un proceso y se ha demostrado que su capacidad predictiva podría ser bastante alta.

Por lo tanto, las RR.NN.AA. son una técnica de la Inteligencia Artificial ampliamente utilizada y de gran utilidad. Existen múltiples tipos de RNA [LIPP 87] y algoritmos de entrenamiento para cada tipo. En el caso de las redes alimentadas hacia delante los algoritmos más utilizados son los derivados del backpropagation.

Las RR.NN.AA. son sistemas de aprendizaje que han resuelto un número importante de problemas complejos relacionados con diferentes disciplinas (clasificación, agrupación, regresión, etc.) [HAYK 99]. Las características interesantes de esta potente técnica han favorecido su uso por parte de los investigadores en diferentes campos científicos [RABU 05].

Sin embargo, el uso de RR.NN.AA. tiene algunos problemas relacionados principalmente con su proceso de desarrollo. Este proceso se puede dividir en dos partes: desarrollo de la arquitectura y entrenamiento y validación. En capítulos previos se ha mostrado en más detalle estos procesos. Como la arquitectura de red depende del tipo de problema, el proceso de diseño de su arquitectura suele ser elaborado manualmente, lo que significa que el experto tiene que probar con diferentes arquitecturas y entrenarlas hasta encontrar la que proporciona los mejores resultados después del proceso de entrenamiento.

Por tanto, como resumen de los conceptos expuestos en los capítulos previos, podemos decir que una RNA [LIPP 87] [HAGA 96], es un sistema de procesamiento de información basado en la biología neuronal capaz de almacenar el conocimiento observado relacionado con algún problema físico y lo hace aplicable a nuevos casos. Consiste en un cierto número de neuronas artificiales conectadas mediante conexiones interneuronales que simulan la estructura de un cerebro humano.

Una RNA aprende de su ambiente a través de un proceso de entrenamiento y almacena los conocimientos adquiridos en las conexiones de las neuronas por medio de pesos sinápticos de la misma manera que hace un cerebro humano.

En esta tesis, se utiliza un tipo específico de RNA denominada *multicapa feedforward* [RABU 07]. Consiste en varias capas de neuronas artificiales (capa de entrada, capas ocultas y capas de salida) enlazadas mediante conexiones feedforward (o hacia delante), permitiendo la transmisión de la información de una capa previa a la siguiente, sin retroalimentación o intercambio de información entre las neuronas de la misma capa o de otra capa previa.

Dentro de cada neurona, la información recibida se modifica por medio de una función de transferencia o activación antes de ser transmitida a la siguiente capa. La función de activación debe ser continua y diferenciable [HAGA 96]. Existen diversas funciones de activación que se utilizan comúnmente, siendo la prueba-error el mecanismo de seleccionar las más adecuadas.

Se deben realizar dos procesos diferentes para desarrollar un modelo de RNA: el proceso de entrenamiento o de aprendizaje y el proceso de prueba. Durante el proceso de entrenamiento el modelo adquiere el conocimiento sobre el problema en cuestión. Este método minimiza el error del modelo a través de un procedimiento iterativo que ajusta progresivamente los pesos sinápticos del modelo de RNA. El método utilizado para formar este tipo de RNA es una técnica de descenso en gradiente conocida como el algoritmo de retropropagación del error [JOHA 91].

Cada iteración consta de dos pasos básicos: primero, se calcula el error entre la salida deseada (el objetivo) y la salida real proporcionada por el modelo; y segundo, el error obtenido se propaga hacia atrás desde la capa de salida a la capa de entrada, ajustando los pesos sinápticos. Este proceso se repite una y otra vez hasta que se alcanza un número máximo de iteraciones o un nivel de error satisfactorio.

Además, con el objetivo de evitar un ajuste excesivo o un ajuste insuficiente, se utiliza la técnica denominada "*Early Stop*" dividiendo los datos utilizados para el entrenamiento en dos subconjuntos: el subconjunto de entrenamiento utilizado para determinar los mejores parámetros del modelo de RNA y el subconjunto de validación.

Durante el proceso de entrenamiento se controlan los errores del subconjunto de entrenamiento y del subconjunto de validación. Inicialmente, el error de validación disminuye como el error de entrenamiento.

Cuando el modelo de RNA comienza a sobreajustar los datos, el error de validación normalmente aumenta. Cuando el error de validación aumenta durante un cierto número de iteraciones, el proceso de entrenamiento se detiene automáticamente, siendo los parámetros del modelo de RNA devueltos los valores correspondientes al error de validación mínimo.

El problema de la predicción energética del edificio puede ser abordado usando diferentes enfoques [KHAY 16].

Sin embargo, es posible dividir todos los métodos aplicados en tres categorías principales: métodos de caja blanca (enfoques de ingeniería), métodos de caja negra (métodos de aprendizaje máquina) y métodos de caja gris (enfoques de ingeniería híbrida / máquina de aprendizaje) [ZHAO 12]. Cada una de las categorías mencionadas contiene ventajas específicas, pero extraer resultados de modelos complejos de ingeniería puede ser exhaustivo y tomar mucho tiempo.

El objetivo de usar el aprendizaje automático en problemas de predicción es simular un modelo basado en datos observados para estimar nuevos resultados. Este enfoque proporciona la oportunidad de realizar predicciones en modelos sofisticados en un tiempo razonable.

Con el fin de predecir nuevas salidas utilizando el aprendizaje automático, se requiere una serie de muestras. Estas muestras son observaciones individuales del modelo deseado. Cada muestra consta de algunas entradas (características) y una o más salidas. Las muestras se utilizan para entrenar el modelo de aprendizaje de máquina para encontrar una relación entre las entradas y los objetivos.

Los estudios han observado que mediante la aplicación de un algoritmo de aprendizaje máquina correcto y la recogida de muestras suficientes, es posible replicar casi cualquier modelo deseado independientemente del nivel de complejidad [MARE 90].

La aplicación del aprendizaje automático para predecir el rendimiento energético del edificio ha sido ampliamente investigada. Los estudios han intentado predecir el calentamiento [JOVA 15], el enfriamiento [LI 09] y el consumo de energía eléctrica [AZAD 07] de los edificios.

Varios algoritmos de aprendizaje máquina se han aplicado a problemas de predicción energética [AHMA 14], y el alcance de los estudios va desde la predicción de la demanda anual de energía [AYDI 08] hasta la predicción del consumo total de energía [GONZA 14].

Las RR.NN.AA. se utilizan frecuentemente para abordar problemas de predicción energética del edificio. La aplicación de RNA en diferentes campos de la estimación de la energía cubren una amplia gama de categorías: banco de pruebas de energía en edificios [HONG 14] [YALC 06] [YALC 07], predicción de la energía eléctrica [PLAT 15] [AYDI 02] [LI 15] y predicción de consumo de calefacción / refrigeración [HOU 06] [EKIC 09] [FERL 15].

Un paso crucial en el desarrollo de un modelo de RNA es la selección de las variables de entrada y salida. El rendimiento de las RR.NN.AA. se ve enormemente afectado por el número de muestras, lo cual constituye un gran potencial para evaluar la base de datos deseada. Los beneficios mencionados junto con su fiabilidad y rapidez, justifica la aplicación de RR.NN.AA. para la predicción del comportamiento energético en los edificios.

En esta tesis se han obtenido diferentes parámetros de los edificios estudiados, por un lado se dispone del U-Opaco medido en la vivienda, el año de fabricación, la superficie de la vivienda y las coordenadas GPS de la vivienda entre otras, identificando estas como las más representativas que no necesitan intervención del experto o equipos de medida y son genéricas para todos los edificios.

Con estos datos disponibles se pretende predecir el U-Opaco que tendría la vivienda a partir de las 4 entradas: año construcción, superficie de la vivienda, Latitud, Longitud. Por lo tanto la RNA tendrá 4 entradas y una salida (predicción del U-Opaco).

Se ha probado inicialmente con un conjunto inicial de viviendas denominadas en bloque para comprobar si la técnica de RNA podría aplicarse de forma satisfactoria. Para ello se ha creado un fichero de entrenamiento formado por 138 casos de viviendas de la zona Noroeste de España.

Para el diseño y entrenamiento de las RR.NN.AA. se ha utilizado el software MATLAB con el *toolbox* de Redes de Neuronas Artificiales, del cual se dispone de una licencia para su uso y desarrollo en investigación. Mediante esta herramienta informática se puede automatizar el proceso de entrenamiento, puesta en ejecución y prueba de una RNA. Se puede obtener más información de esta herramienta en <https://es.mathworks.com/products/matlab.html> y dispone de un tutorial específico para las redes neuronales en <https://es.mathworks.com/products/neural-network.html>.

Inicialmente se ha entrenado una RNA con el 90% de los casos para entrenamiento y el 10% de validación, utilizando las 4 entradas se ha obtenido un alto grado de correlación en los resultados obtenidos.

La configuración utilizada, después de varias pruebas consta de 1 capa de entrada de 2 neuronas, 2 capas ocultas con 40 y 50 neuronas respectivamente y una capa de salida de 1 neurona. La Función de Activación utilizada en las neuronas que mejor capacidad de ajuste produce es la "LOGSIG".

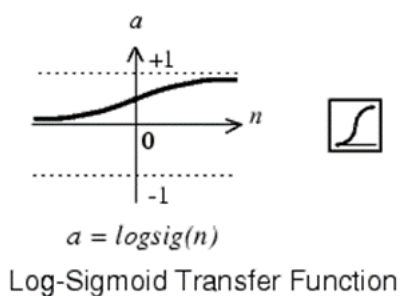


Fig. 99: Función de Activación que mejores resultados produce

Se han probado diferentes arquitecturas de RNA con diferentes capas ocultas, varias configuraciones de neuronas por capa y diversas funciones de activación. Las primeras pruebas son para elegir la función de activación más indicada, para ello se han establecido 2 capas ocultas, la primera con 10 neuronas y la segunda con 5.

Con esta configuración, después de 10 ejecuciones de entrenamiento para la función "TANSIG" se obtiene un promedio de coeficiente de correlación de 0.746, otras 10 ejecuciones cambiando la función a "LOGSIG" obtiene un promedio de coeficiente de correlación de 0.821, lo cual significa que esta última es la más indicada para esta modelización.

Posteriormente se prueba buscar una configuración con una única capa oculta. Para ello se prueba entre 10 y 100 neuronas en dicha capa oculta.



Con 10 neuronas se produce una correlación de 0.56, con 50 una correlación de 0.82 y con 100 se obtiene 0.96. Sin embargo, no es recomendable tal cantidad de neuronas pues se tendría más cantidad que patrones de aprendizaje, por lo que no produciría una capacidad de generalización adecuada.

Se realizan pruebas con 2 capas ocultas variando los valores en la primera desde 5 hasta 30 y para la segunda desde 5 hasta 20 (para un total máximo de 50 neuronas), realizando 10 ejecuciones iguales para cada combinación con el fin de evitar la aleatoriedad del proceso de entrenamiento. Con 5-5 se tiene un R de 0.656, para 10-5 un R de 0.749, para 10-10 un R de 0.901, para 15-10 un R de 0.949, para 15-15 un R de 0.969, para 20-15 un R de 0.987. Todos los valores superiores de números de neuronas se obtienen valores muy similares por lo que se considera esta última configuración como la más adecuada.

La siguiente figura muestra la comparativa entre la predicción y los valores reales del U-opaco así como el valor de correlación obtenido para una arquitectura de 2 capas ocultas con 20-15 neuronas y función de activación *LogSig* para todas ellas.

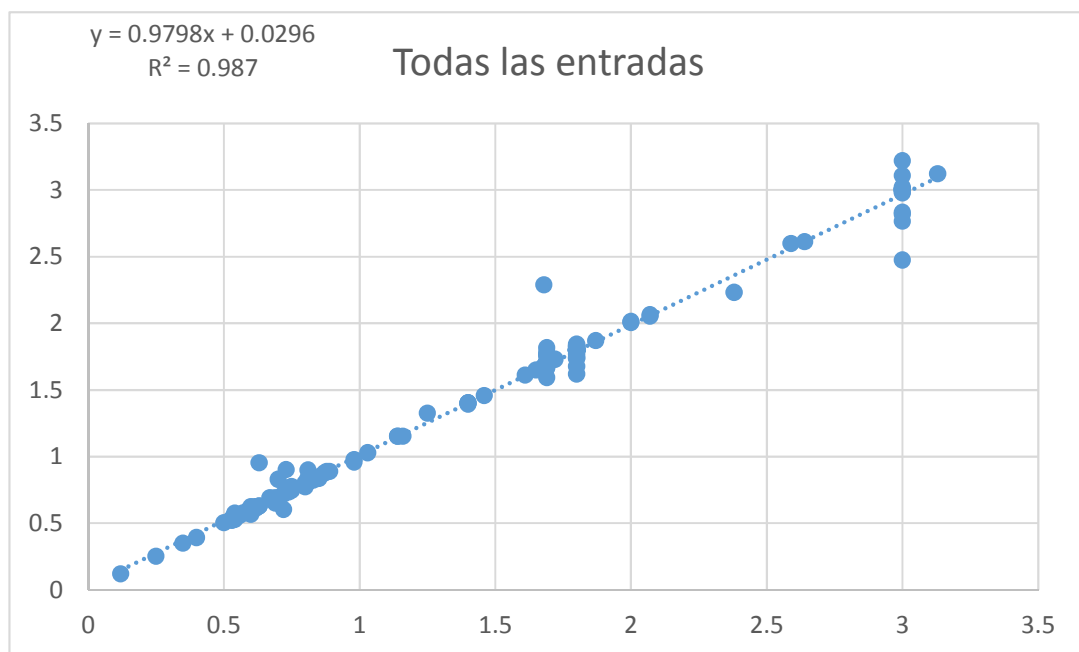


Fig.100: U-Opaco a partir de las 4 entradas (año construcción, superficie de la vivienda, Latitud, Longitud). (Predicción del U-Opaco)

Para analizar la sensibilidad de las entradas utilizadas y seleccionar aquellas más representativas para la obtención de estos buenos resultados se han entrenado varias RNA con la misma arquitectura y diferentes combinaciones de entrada.

En las siguientes figuras se pueden observar los resultados obtenidos.

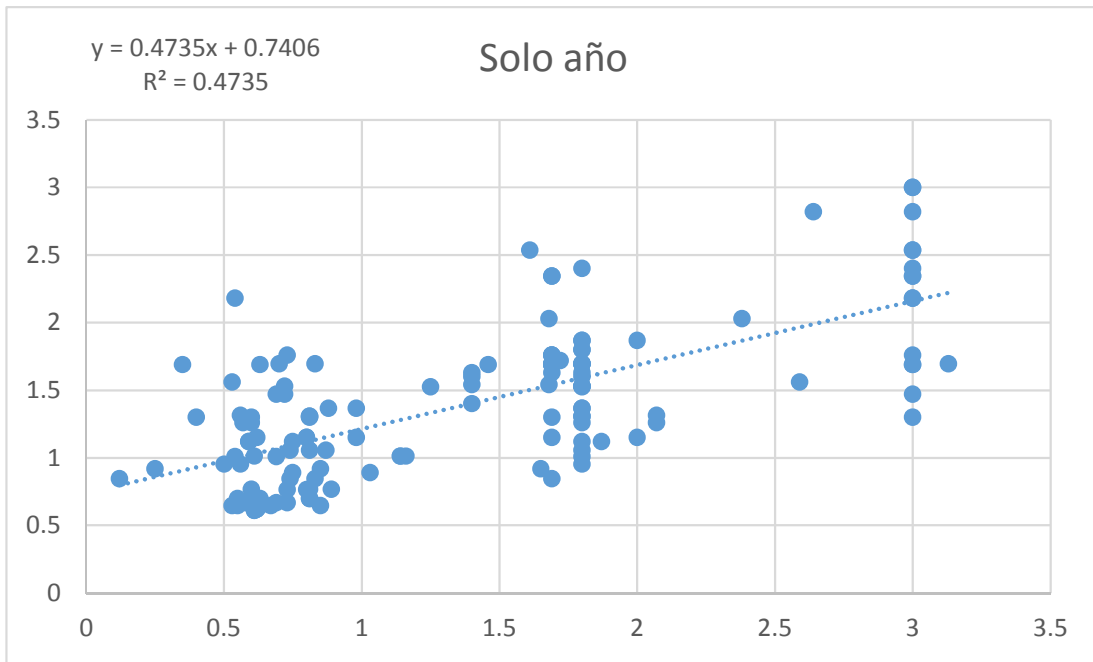


Fig.101: U-Opaco a partir de sólo el año construcción (predicción del U-Opaco)

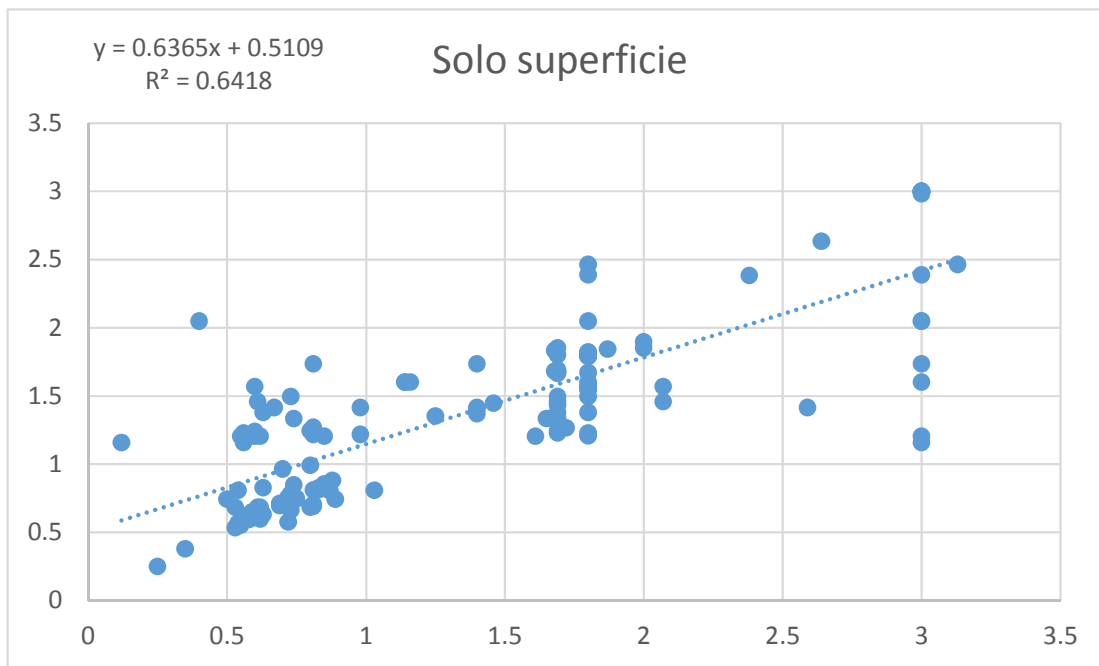


Fig.102: U-Opaco a partir de solo superficie útil habitable de la vivienda (predicción del U-Opaco)

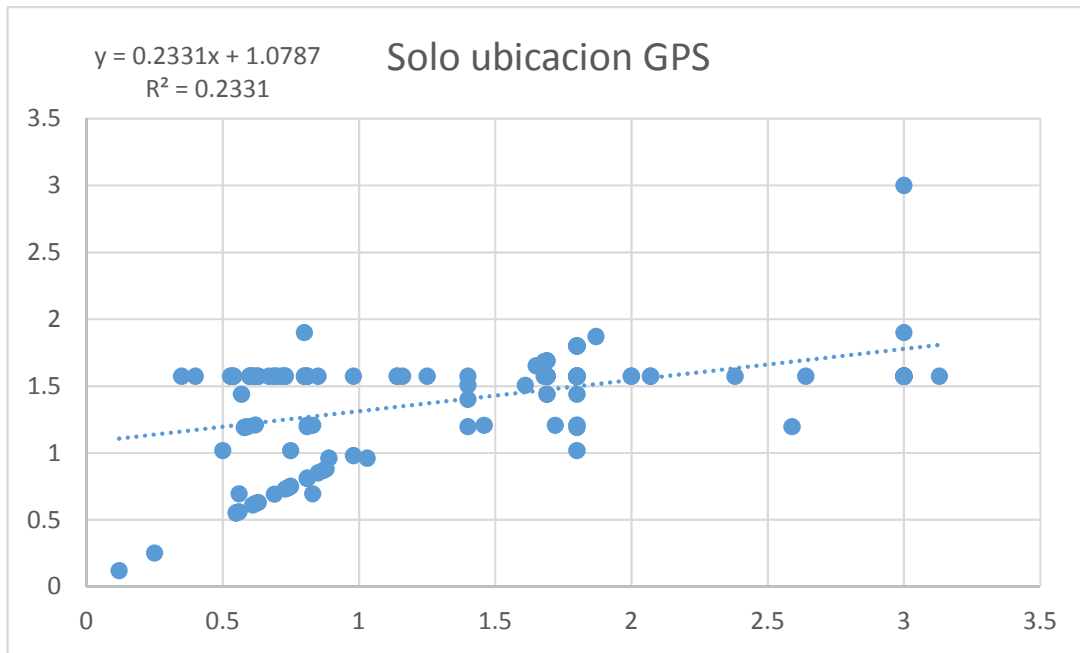


Fig.103: U-Opaco a partir de la Latitud y Longitud (predicción del U-Opaco)

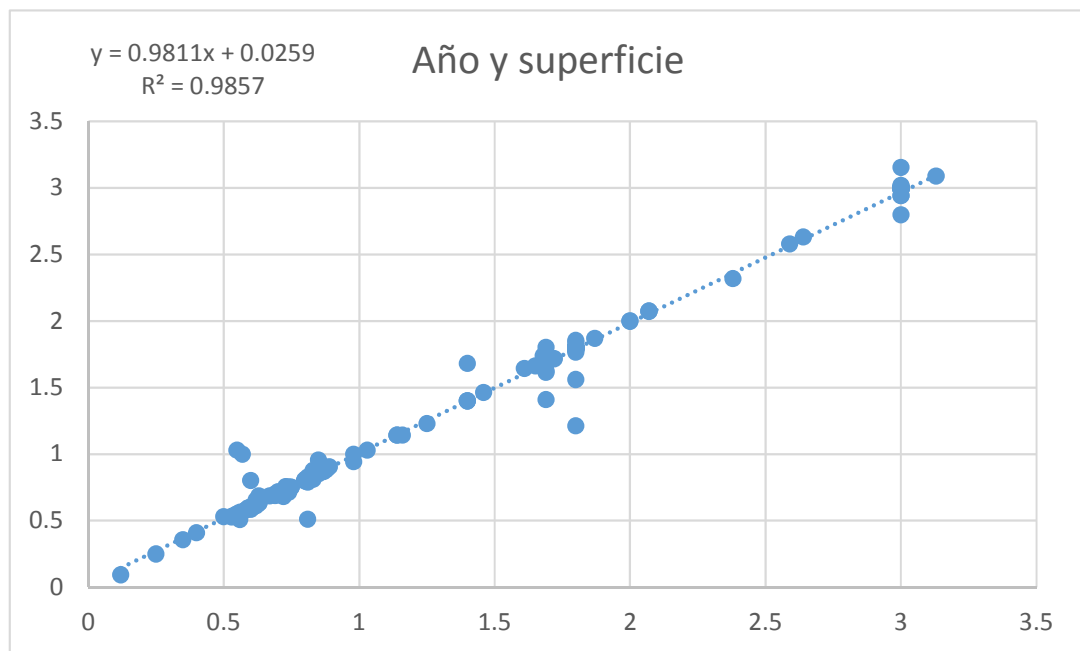


Fig.104: U-Opaco a partir del año de construcción y la superficie útil de la vivienda (predicción del U-Opaco)

Tal como se puede observar en las gráficas, las variables de entrada que representan el año de construcción del edificio y la superficie construida son las variables que mejor modelan el comportamiento de la predicción del U- Opaco, y dentro de estas, la superficie construida representa una mayor incidencia en la modelización.

Una vez realizadas estas pruebas se ha construido una base de datos con un mayor número de casos de entrenamiento y validación y se ha subdividido en 2 categorías, por un lado viviendas en bloque (238 casos de entrenamiento) y por otro las viviendas unifamiliares (94 casos de entrenamiento).

Al igual que en el caso anterior, se ha utilizado la misma arquitectura de RNA y se han realizado 2 pruebas de entrenamiento para comprobar el grado de aprendizaje y generalización de las RNA obtenidas.

Para estas pruebas se han introducido aleatoriamente varios errores (10 en total sobre el valor del U-Opaco real del fichero de entrenamiento) para comprobar la capacidad de la RNA de aislar estos comportamientos anómalos.

En la siguiente gráfica puede observarse esta comparativa de las 2 RR.NN.AA, una de ellas sobre los datos introducidos con errores (representada con los puntos de color azul).

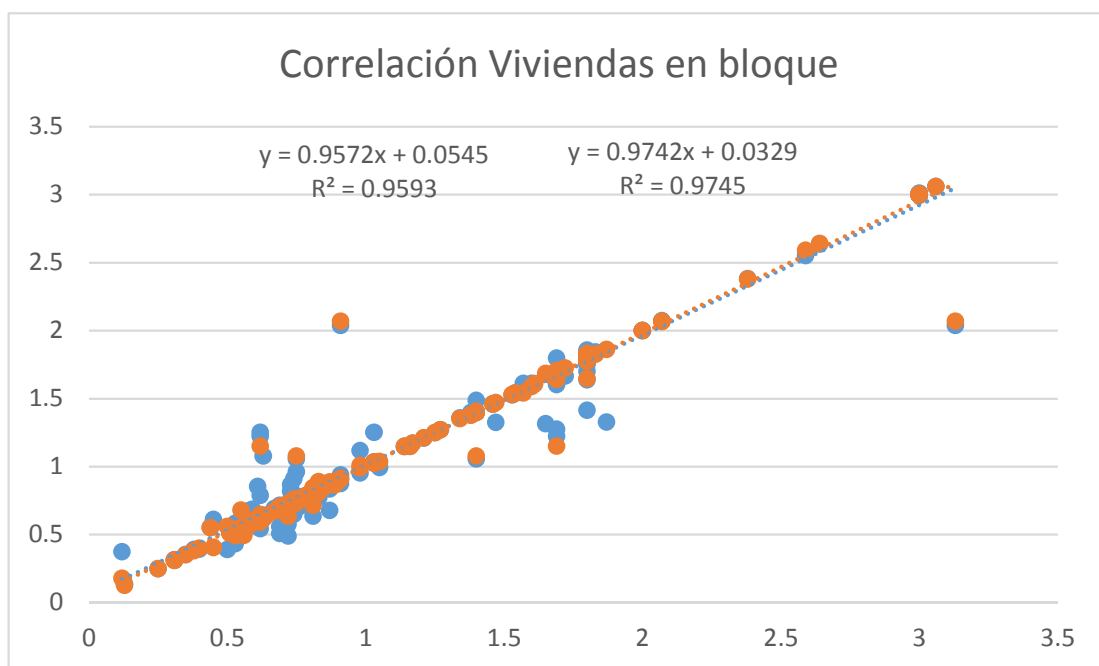


Fig.105: Resultados del entrenamiento de una RNA para la predicción del U-Opaco de las viviendas en bloque residencial

Tal como se puede observar, los resultados son muy similares, y el comportamiento ante los valores más dispares también muy similar.

A continuación puede observarse el comportamiento de la RNA entrenada con los valores reales obtenidos de las mediciones del U-Opaco de las 238 viviendas en bloque estudiadas.

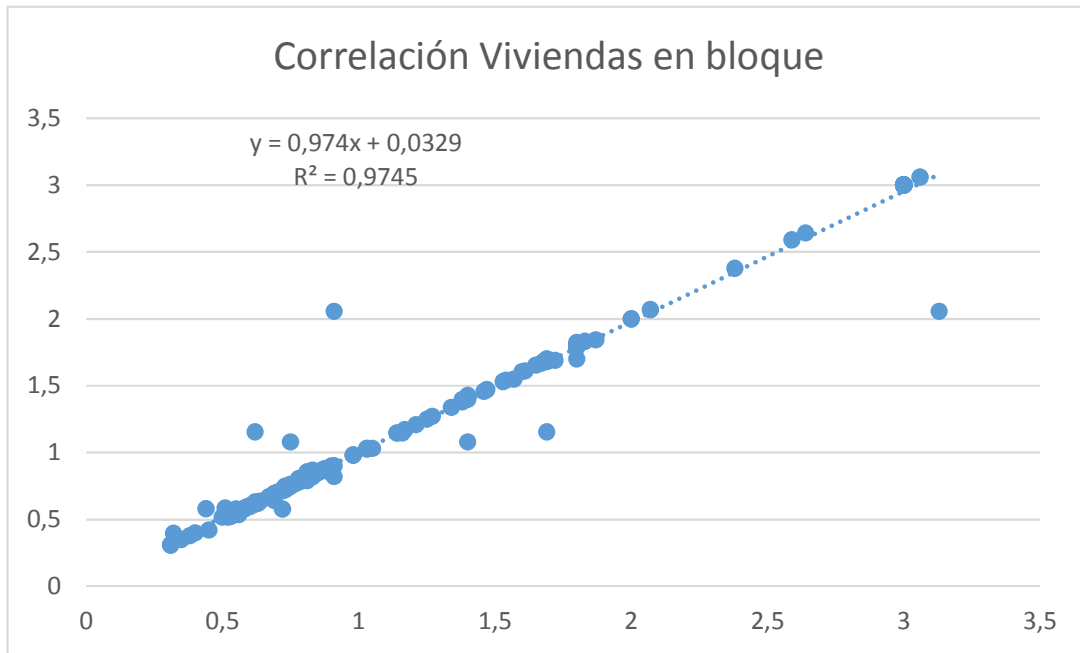


Fig.106: Resultados del entrenamiento de una RNA para la predicción del U-opaco de las viviendas en bloque residencial

La siguiente figura muestra la comparativa entre la medición del U-Opaco real y la predicción realizada por la RNA.

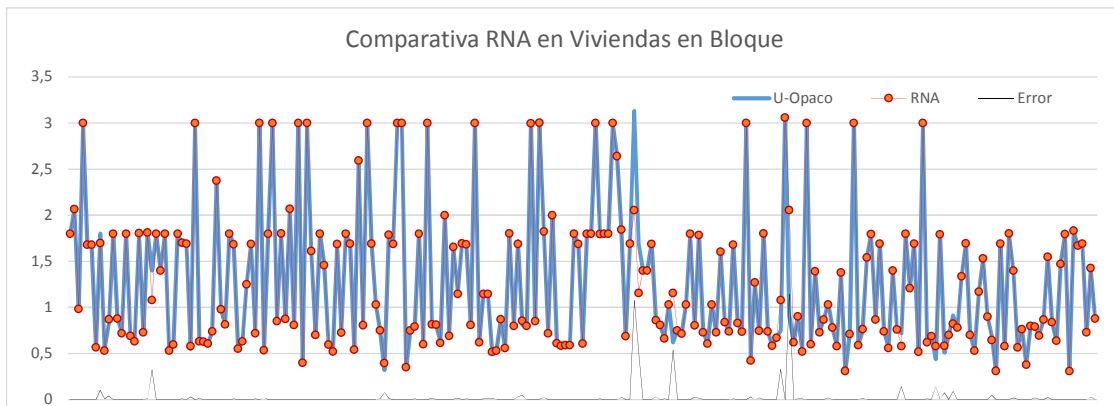


Fig.107: Comparativa entre los valores obtenidos de la medición del U-Opaco y la predicción realizada por la RNA en las viviendas en bloque

El resultado del entrenamiento de una RNA para la predicción del U-Opaco de las viviendas unifamiliares puede observarse en la siguiente figura.

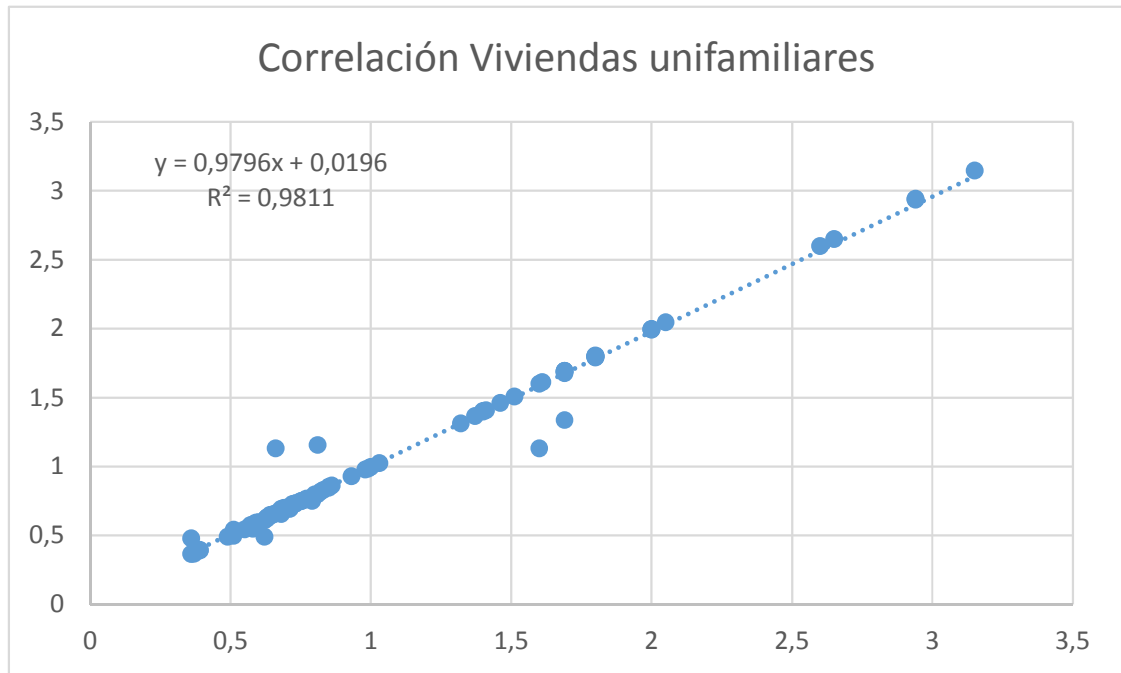


Fig.108: Resultados del entrenamiento de una RNA para la predicción del U-opaco de las viviendas unifamiliares

Como se puede apreciar, se han obtenido RR.NN.AA. que permiten modelizar la predicción del U-Opaco con un alto grado de correlación en ambas tipologías de viviendas.

La siguiente figura muestra la comparativa entre la medición del U-Opaco real y la predicción realizada por la RNA.

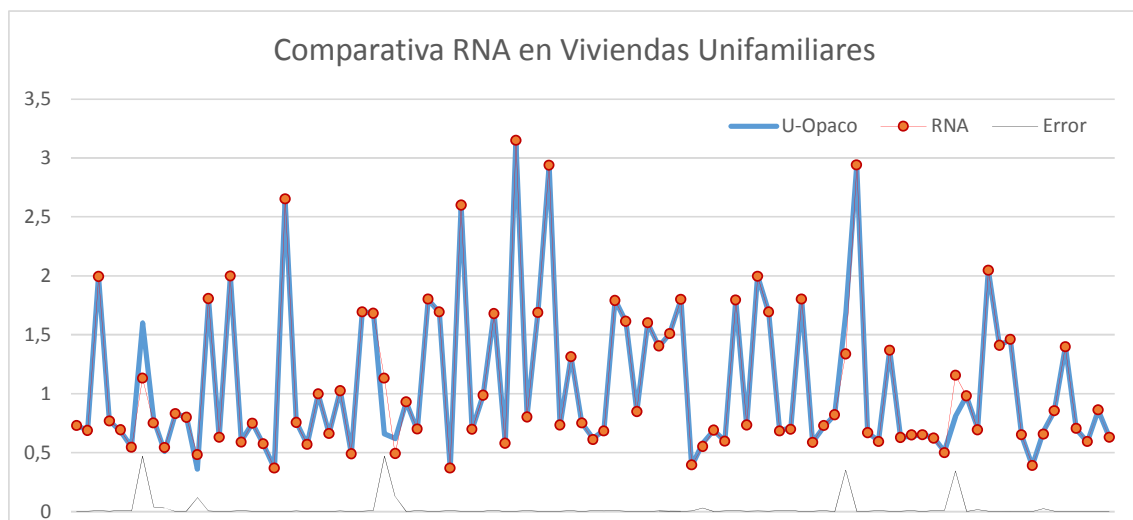


Fig.109: Comparativa entre los valores obtenidos de la medición del U-Opaco y la predicción realizada por la RNA en las viviendas unifamiliares

La siguiente prueba es intentar obtener una misma RNA que permita modelizar la predicción del U-Opaco para ambas tipologías de viviendas. Para ello, como primera prueba se ha construido un único fichero de entrenamiento aglutinando ambas tipologías (con 334 casos de entrenamiento).

El resultado del entrenamiento de la RNA se puede observar en la siguiente figura.

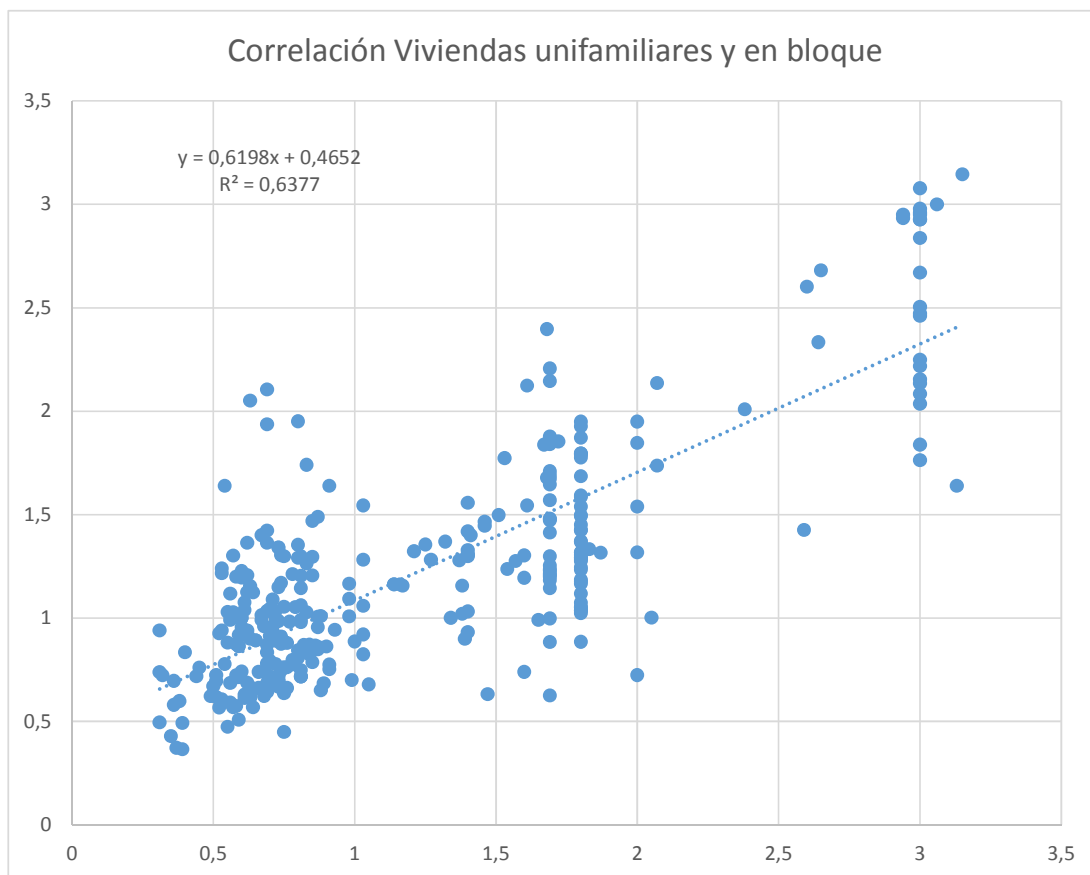


Fig.110: Resultados del entrenamiento de una RNA para la predicción del U-Opaco de las viviendas unifamiliares y en bloque

Tal como se puede observar, los resultados esperados no son satisfactorios porque la RNA no es capaz de diferenciar ante valores similares los distintos comportamientos del U-Opaco debido a la diferencia de tipología de la edificación.

Como se puede observar, por ejemplo, en torno a valores del 1.75 de predicción del U-Opaco, los resultados de predicción son idénticos para valores reales entre 1 y 2 del u-Opaco, debido principalmente a esta indeterminación de la tipología de edificación que la RNA es incapaz de diferenciar.

Por lo tanto, para solventar esta falta de información imprescindible para la RNA, se ha incluido una entrada adicional a la RNA que indique la tipología de edificio, representando con un 0 las viviendas unifamiliares y un 1 las viviendas en bloque. Por tanto la RNA tendrá 3 entradas y una salida.

El resultado del entrenamiento de la RNA se puede observar en la siguiente figura, donde se comprueba la buena capacidad de modelización que aporta esta RNA para la predicción del U-Opaco de ambas tipologías de viviendas.

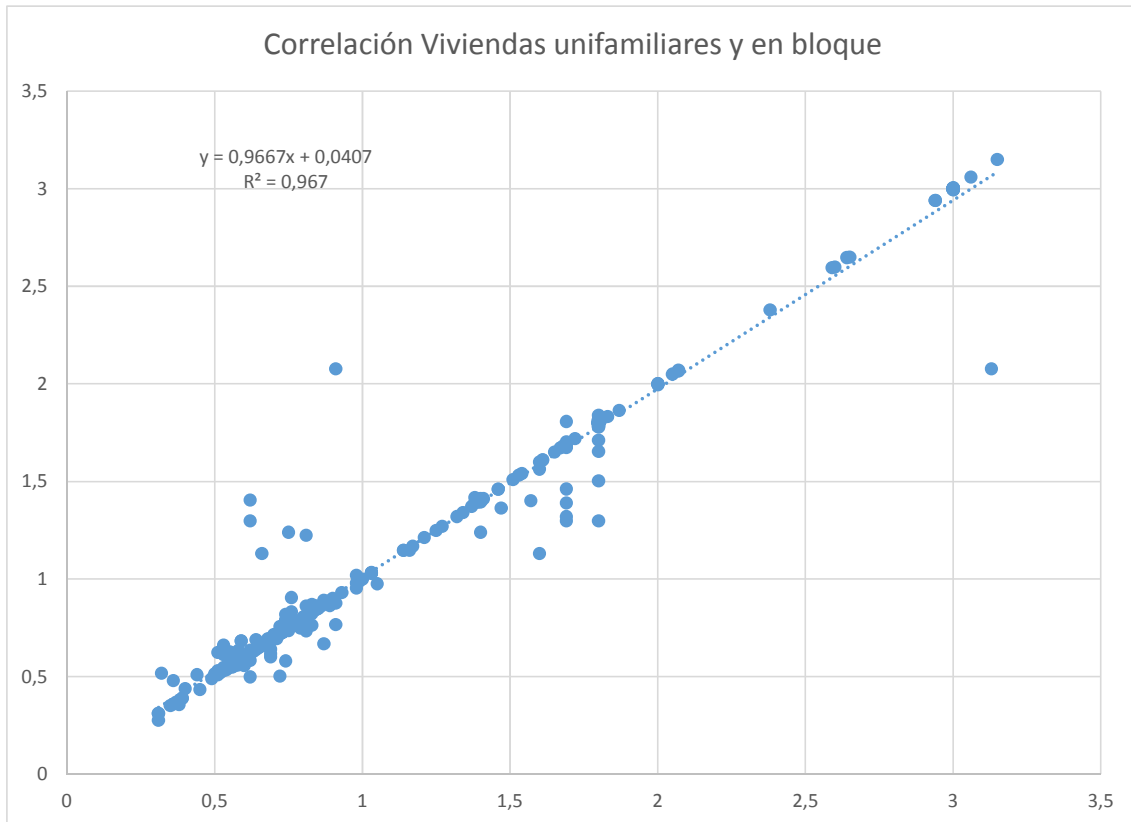


Fig.111: Resultados del entrenamiento de una RNA para la predicción del U-Opaco de las viviendas unifamiliares y en bloque (incluido una entrada adicional a la RNA que indique la tipología de edificio)

La siguiente figura muestra la comparativa entre la medición del U-Opaco real y la predicción realizada por la RNA.

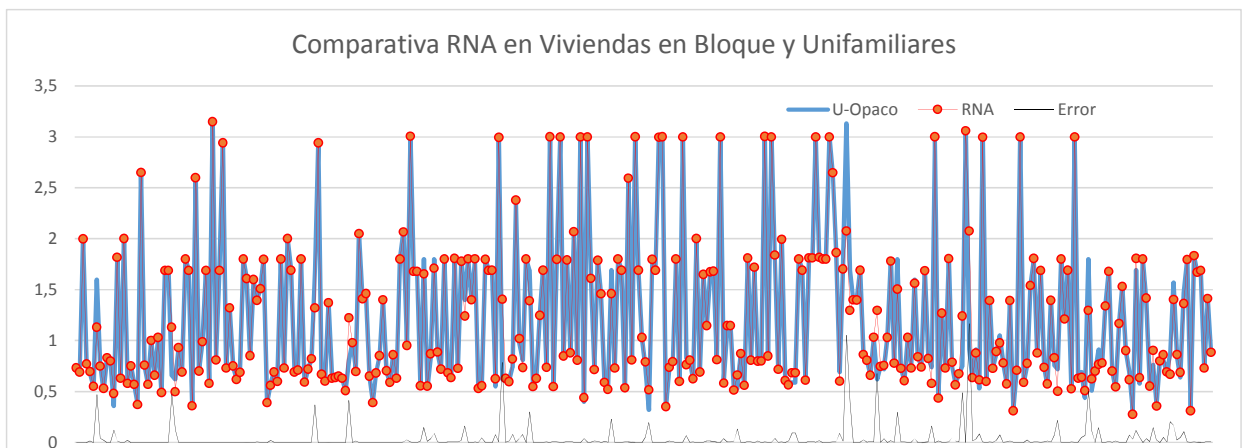


Fig.112: Comparativa entre los valores obtenidos de la medición del U-Opaco y la predicción realizada por la RNA en las viviendas en bloque y viviendas unifamiliares

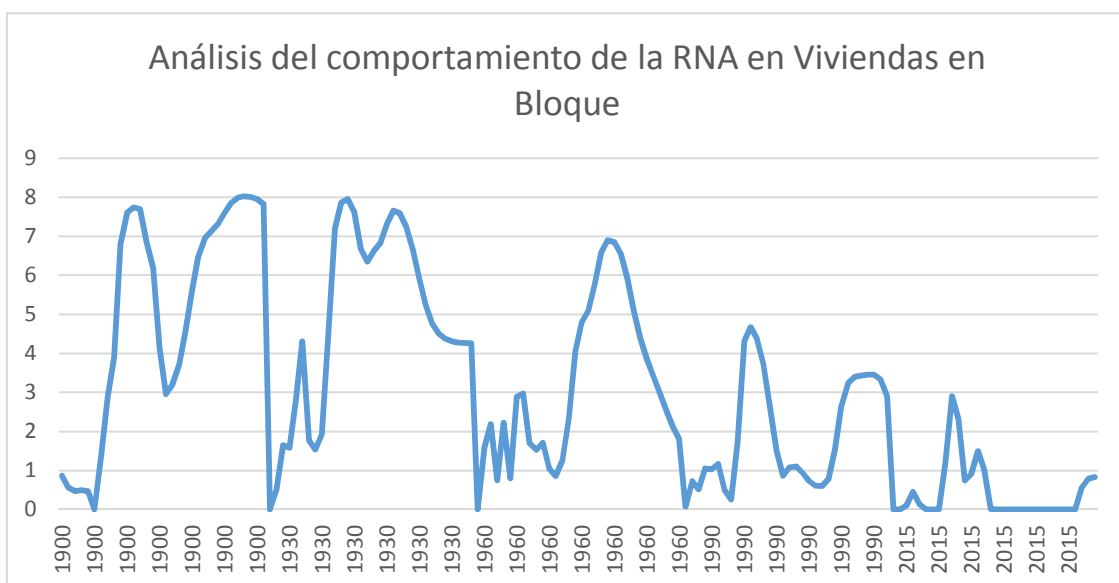
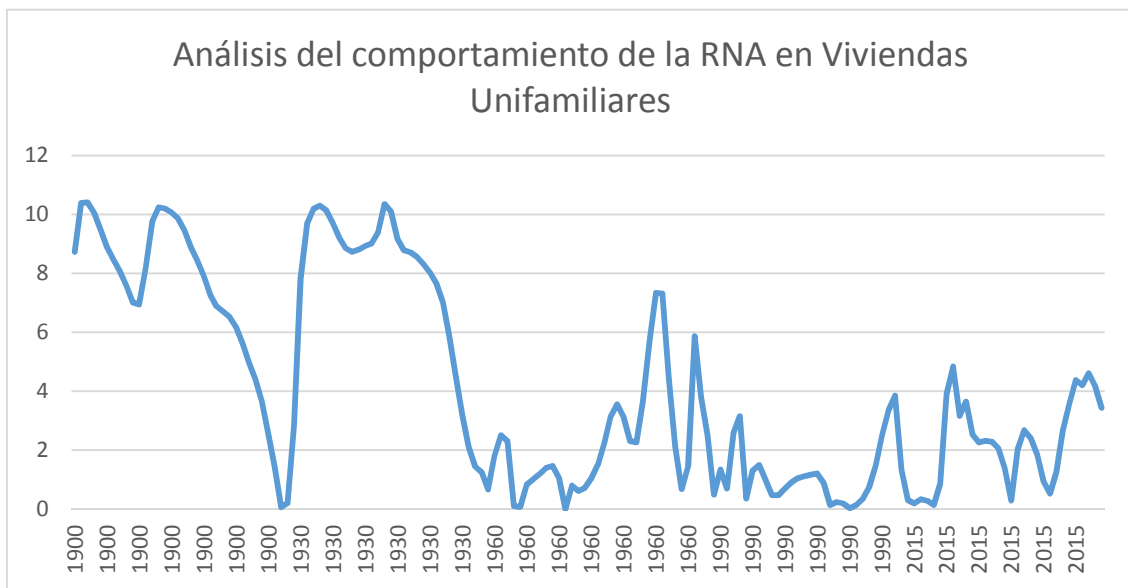
Una vez entrenadas las RR.NN.AA. para las diferentes tipologías de viviendas se ha realizado un análisis de sensibilidad de ambas RR.NN.AA. Para ello se ha construido unas entradas ficticias que intentan simular todas las posibles entradas que pueda tener la RNA en el rango máximo utilizado. Para ello, una vez analizados todos los inmuebles se ha constatado que los años de construcción del edificio varían entre



1900 y 2014, y la superficie del inmueble varía entre 32.5 metros y 654 metros. Con estas características se han utilizado intervalos regulares para ambas entradas, por ejemplo, se han utilizado para el año los valores 1900, 1930, 1960, 1990 y 2015, y la superficie variando en proporciones de 20 metros (30, 50, 70 ... hasta 650).

Cabe resaltar que los rangos de las entradas para las viviendas unifamiliares y las viviendas en bloque son diferentes (por ejemplo, en relación a la superficie del inmueble, para las viviendas unifamiliares el máximo es 654 m. y para las viviendas en bloque el máximo de superficie es 300 m.), sin embargo se ha utilizado esta misma configuración para analizar conjuntamente ambas RR.NN.AA.

El resultado de ambas pruebas se puede observar en los 2 siguientes gráficos.



Como se puede observar en ambas gráficas, el comportamiento de ambas RR.NN.AA. es ciertamente similar, mostrando que a mayor antigüedad del inmueble, los valores medios del U-Opaco son más altos, y a medida que son más recientes las viviendas, el valor del U-Opaco es menor.

Cabe resaltar que en las Viviendas en Bloque, en las pruebas del año 2015 se producen valores de cero en situaciones de superficie mayor de 300 m., lo cual puede entenderse como situaciones en las que la RNA no ha sido entrenada, pues los máximos valores se encuentran por debajo de 300 m.

Así mismo, se comprueba una tendencia descendiente de valor del U-Opaco a medida que la superficie del inmueble aumenta, lo cual puede considerarse un comportamiento coherente, ya que las viviendas de mayor superficie, generalmente se corresponden con un estándar de calidad térmica superior, por lo que los materiales y las soluciones constructivas utilizadas para la composición del cerramiento, poseen un valor de transmitancia menor.

Una vez analizada la información y obtenidos unos resultados satisfactorios utilizando la técnica de RNA, se ha investigado más, intentando extraer más información de los datos existentes. Tal como se ha comentado en capítulos previos, la RNA se considera una caja negra, donde se introducen unas entradas y la RNA una vez entrenada produce unas salidas, sin embargo no se produce explicación alguna del porqué de esas salidas.

En este punto es donde se pueden utilizar otras técnicas de Inteligencia Artificial que pueden aportar más información al proceso. En la tesis doctoral [RABU 02] se propone un sistema de extracción de conocimiento de una RNA entrenada obteniendo el modelo de comportamiento de dicha RNA en términos de ecuación matemática y expresiones algebraicas y/o lógicas, dependiendo de la naturaleza del comportamiento de la RNA y el tipo de información que ella maneja.

Por tanto, de las RR.NN.AA. obtenidas en el capítulo previo se puede aplicar el algoritmo propuesto en esa tesis y extraer la información que ellas han obtenido del proceso de entrenamiento. Una vez analizadas las RR.NN.AA. obtenidas y dado que el grado de correlación obtenido ha sido muy alto, superior al 0.95, en lugar de utilizar los valores de salida de la RNA, parece más adecuado utilizar directamente los resultados experimentales originales (de esta manera se reduce el pequeño porcentaje de error cometido por la RNA en las predicciones).

Para esta posibilidad se aplica directamente los algoritmos de extracción de conocimiento sobre los datos reales. En la tesis doctoral [RABU 08] se propone un algoritmo y un sistema informático que permite extraer ecuaciones matemáticas mediante regresión simbólica directamente sobre los datos experimentales. En esta tesis se proponen 2 casos de ejemplo en el ámbito de la ingeniería civil, el primero en el ámbito de la hidrología y el segundo en el ámbito de la construcción. En este último caso se propone la extracción de conocimiento de formulaciones matemáticas de aplicabilidad al ámbito del hormigón. En este caso se utiliza la técnica de Inteligencia Artificial denominada Programación Genética para la implementación de un algoritmo de extracción de conocimiento basado en regresión simbólica aplicado sobre datos experimentales. En las siguientes publicaciones se encuentran varios ejemplos de aplicabilidad de este algoritmo y sus variantes en varios casos reales en el ámbito del hormigón [PERE 13] [PERE 12] [PERE 10].

La aplicación de PG para modelizar el comportamiento de fenómenos físicos en el ámbito de la ingeniería civil ha sido investigado y aplicado en diversas áreas con un gran éxito al poder obtener ecuaciones matemáticas que permiten modelizar el proceso físico, siendo esta faceta la más importante de esta técnica, pues a diferencia de una RNA, el obtener el resultado en términos de ecuación matemática, permite al experto (ingeniero civil, arquitecto, etc.) analizar en mayor detalle la forma de procesar la información.

Existen diversos ejemplos de aplicación del algoritmo desarrollado, en el ámbito de la construcción han sido expuestos anteriormente, en el ámbito de la hidrología para la predicción del caudal de escorrentía en una cuenca [RABU 11] [RABU 07] y en el ámbito de Puertos y Costas para la predicción del comportamiento de una barrera de contención de contaminantes [CAST 15].

Tal como se ha expuesto en capítulos previos, para la aplicación de Programación Genética, uno de los primeros pasos es seleccionar el conjunto de operadores que podrá utilizar el algoritmo (denominados como elementos no terminales) y el conjunto de datos sobre los que actuará el algoritmo (denominados elementos terminales). En este caso, los elementos terminales serán las variables del proceso y un conjunto de constantes numéricas. Para la modelización de la eficiencia energética del inmueble, las variables del proceso son las 2 entradas: año de edificación y superficie del inmueble (que se pueden denominar como X1 y X2). Luego se selecciona un rango para generación aleatoria de números en ese intervalo. Este parámetro se seleccionará por ensayo-error, es decir, se probarán diferentes rangos y números a generar seleccionando aquel que mejores resultados produce. Y en cierta manera, para seleccionar las funciones (elementos terminales), el proceso es similar, se probarán diferentes conjuntos de funciones y se usarán aquellas que producen mejores resultados.

Como el objetivo es obtener una expresión o ecuación matemática, se seleccionará el conjunto de ellas más simple, pues así se podrán obtener expresiones matemáticas sencillas. Inicialmente se seleccionarán los operadores aritméticos +, - \* y /. En caso de obtenerse resultados satisfactorios, se irán incorporando funciones como la potencia, raíz cuadrada, raíz cúbica, funciones trigonométricas, etc.

Un aspecto importante de la PG aplicada en regresión simbólica es que el resultado es una ecuación matemática, dependiendo de la complejidad del fenómeno físico a modelizar, las ecuaciones resultantes pueden ser más o menos complejas, pero este aspecto se puede controlar, principalmente de maneras, la primera es añadiendo o reduciendo el número de funciones matemáticas a utilizar (tal como se ha explicado anteriormente) y la segunda manera es controlando un parámetro de ejecución del algoritmo de PG. Tal como se ha comentado en capítulos previos, la PG utiliza como representación de las soluciones la forma de una estructura de datos denominada en "árbol", y este árbol puede crecer indefinidamente, cuanto mayor sea la longitud del árbol, mayor complejidad tendrá la ecuación resultante. El parámetro denominado "parsimonia" determina un valor de penalización según el tamaño del árbol, estableciendo adecuadamente este parámetro, el algoritmo intentará buscar un menor tamaño o complejidad de la ecuación que permita modelizar el proceso.

Por otra parte, la estrategia de regresión simbólica, al igual que una RNA, busca a partir de una secuencia de entradas y cómo debería ser la salida, una ecuación que las relacione.

Por lo tanto, se necesita disponer de unos ficheros de entrenamiento, exactamente igual que en el proceso de entrenamiento de una RNA. Por ello, se utilizan los mismos ficheros de entrenamiento que en el capítulo anterior.

En esta tesis se han utilizado 2 algoritmos de extracción de conocimiento basados en *Computación Evolutiva* muy similares, por una lado el algoritmo de PG mediante regresión simbólica desarrollado en el ámbito de la tesis doctoral [RABU 08] y por otro lado la técnica de expresiones genéticas, en este caso se utiliza una representación más acotada de un árbol genético siendo más parecido a un cromosoma de una Algoritmo Genético.

En la publicación [FERR 01] y en el libro [FERR 06] se encuentra una detallada explicación de esta técnica. Inicialmente, para comprobar la validez de esta técnica para los casos estudiados en la presente tesis se ha utilizado el software denominado "GeneXproTools" en su versión demostración que se puede obtener en <http://www.gepsoft.com/GeneXproTools/>.

La principal razón de utilizar esta técnica es que tiene un coste computacional mucho menor que el algoritmo de PG desarrollado en la tesis [RABU 08] y se pueden realizar las pruebas iniciales de una forma más ágil. Una vez obtenidos los parámetros más satisfactorios en cuanto a funciones matemáticas a utilizar y tamaño de las expresiones se puede utilizar la PG para realizar un proceso de búsqueda de una ecuación matemática más adecuada para la modelización del comportamiento energético de un inmueble.

Así mismo, dado el alto coste computacional que poseen estas técnicas se ha limitado su aplicación al caso de Viviendas Unifamiliares debido a que se disponen de menos casos de ejemplo y el tiempo computacional final será mucho menor (el proceso, sin embargo, será idéntico para ambas tipologías de viviendas).

En una primera prueba, se ha utilizado como función de ajuste (Fitness) o forma de evaluar el error cometido por la ecuación, el MSE (Medium Square Error) y como funciones las aritméticas +, -, \* y /. Con esta configuración se obtienen valores de correlación en torno al 0.3. A continuación se muestra una captura de pantalla de ejecución de la versión demostración del software realizando el proceso de obtención de la ecuación matemática.

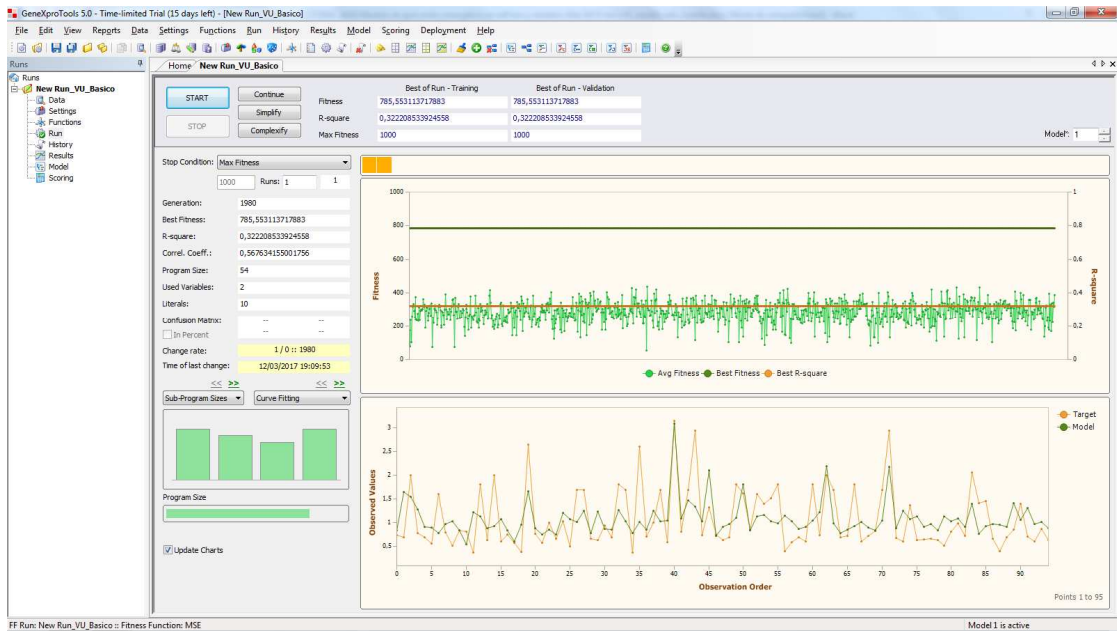


Fig.114: Ejecución del software GeneXprotools donde se visualiza la comparativa de ajuste de la ecuación obtenida con los valores reales del u-opaco para los casos de viviendas unifamiliares.

Las ecuaciones simples obtenidas utilizando únicamente operadores aritméticos obtienen coeficientes de correlación relativamente bajos, entre 0.3 y 0.4. A continuación se muestra un ejemplo de este tipo de ecuaciones y una gráfica comparativa con un  $R^2$  de 0.3222.

$$Y = (((((X1 - (-11.748)) - (X1 + (-5.848))) / ((8.978 * X2) + (-1354.951))) + (-5.848)) + ((-1.218 - (-8.102)) - (((-4.731 * 11.083) / X2) + (2.596 + X1)))) + ((4.6905 / (X1 + ((-5.674 + X2) * (-5.674)))) + 2.0679) + (((X2 / (-8.963)) - (-10.225 / 6.301)) / ((-8.963 * (-7.124)) - X2)) + X1$$

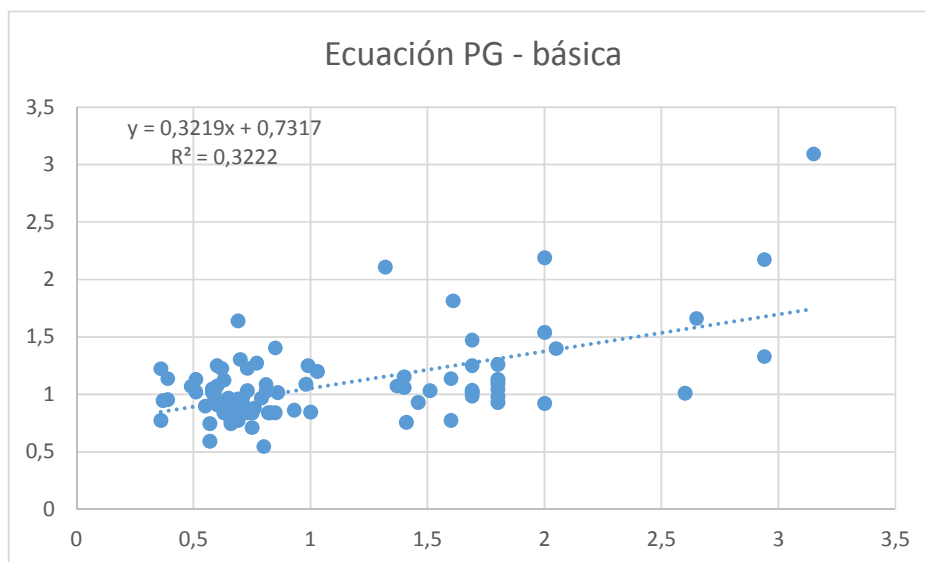


Fig.115: Resultados del proceso de extracción de conocimiento en forma de ecuación matemática para la predicción del U-opaco de las viviendas unifamiliares mediante expresiones Genéticas.

Como se puede observar, el ajuste obtenido dista bastante del obtenido por la RNA, por lo que se hace necesario incorporar más funciones como elementos no terminales y permitir obtener ecuaciones matemáticas mucho más complejas.

Después de varias pruebas, y mediante el software desarrollado en el ámbito de la tesis doctoral [RABU 08] se ha obtenido una expresión mucho más compleja pero con un coeficiente de correlación mucho más próximo a lo obtenido por la RNA. El coeficiente de correlación obtenido es  $R^2$  de 0.8347.

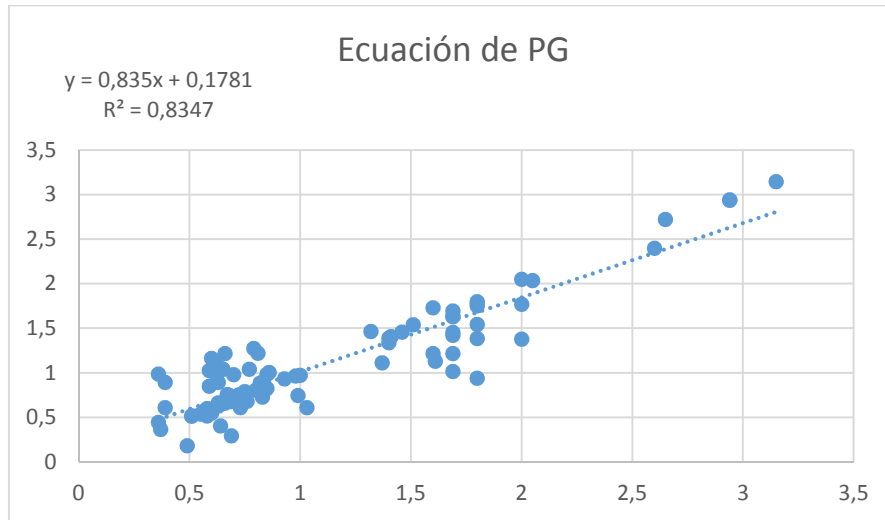


Fig.116: Resultados del proceso de extracción de conocimiento en forma de ecuación matemática para la predicción del U-opaco de las viviendas unifamiliares mediante Programación Genética.

Para esta ejecución se han utilizado como operadores: +, -, \*, /, raíz cuadrada, raíz cúbica, cuadrado, potencia, Arco tangente, Exponencial, Logaritmo y Tangente hiperbólica.

La ecuación matemática obtenida es la siguiente:

$$\begin{aligned}
 Y = & (1.0/((X2-Sqr((X1+((X1+((Sqrt3(X1)*((X1-10.313459877507)-(- \\
 & 5.58016461721367))))+((1.40330836917474+X1)/Atn(X1))))*Exp(0.114031242683187)))))))+ X1+ \\
 & Log((Exp(((Sqr(X2)-Sqr(X1)))/(-4.41930790355694+(Sqr(X2)-Atn(X1)))-((X1-(-5.82140568254646))-(- \\
 & 5.82140568254646))/(-0.151066621906186+X1)))))-(-4.41930790355694)))+ \\
 & (Exp(Tanh((Tanh((2.71402359292886+(-4.60964690084536e-02)))*Tanh(2.71402359292886))))- \\
 & Tanh(((Log(5.67205917538988e-03)*Exp(2.71402359292886))*1.0/(((X2 ^ 2)*0.553392601772103)))))))+ \\
 & (1.0/((Sqrt3((((X2-(-8.95419234558202))*Sqrt3(X1))-X1)-((Sqr(X2)+Atn(X1))-(-8.95419234558202- \\
 & 0.512768224565051)))))-Atn((((X1 ^ 2)-(X2 ^ 2)) ^ 2))))+ ((((-5.271462141789-(- \\
 & 3.21390423291726))*Log(X1))+4.56710257118442)+((Exp(3.26756041330027)*(3.26756041330027-(- \\
 & 1.88518204483569)))/((X2*4.10046715229978)-(-7.2049840814712 ^ \\
 & 2))))+1.0/(((X1/7.2049840814712)+(X1*(-5.271462141789)))+(X2*X2))))+ (((1.0/(((1.0/((- \\
 & 0.475200778756212/X1))) *X2)))*((-8.30877453098819-((X1+X1)+Sqr(X1)))+((X2*(-8.30877453098819))- \\
 & (X1-(-8.30877453098819))*Atn(X1))))*6.30188649686836) ^ 2)+ \\
 & ((Sqrt3(Exp(2.09004115468468))+Tanh(-0.475200778756212))/Tanh(X2))+ (1.0/(((X1- \\
 & (((2.6059755241554+2.93252357554857)/X1)*(X1*X2)))-Sqr(Log((X2+1.24362926114689))))- \\
 & Exp(Sqr((Log(X1)+(9.72608559130528/X2)))))))+ Tanh((10.2493667409284+Atn((X2-Sqrt3(Exp(- \\
 & 9.65675527207251)))))))+ (((((9.89899304208502*0.697347941526536)-(X1-X2))-(X2- \\
 & (1.0/(X2))))*((7.05669957579272*X1)*(X1*5.24492904446547)) ^ (Log(3.41252082888272) ^ \\
 & (9.89899304208502-X2))))-Atn(((7.05669957579272-X2)*(9.89899304208502-X2))))
 \end{aligned}$$

A continuación se muestra una gráfica comparativa del comportamiento predictivo de esta ecuación en relación a los valores reales de U-Opaco registrados para las viviendas unifamiliares analizadas.

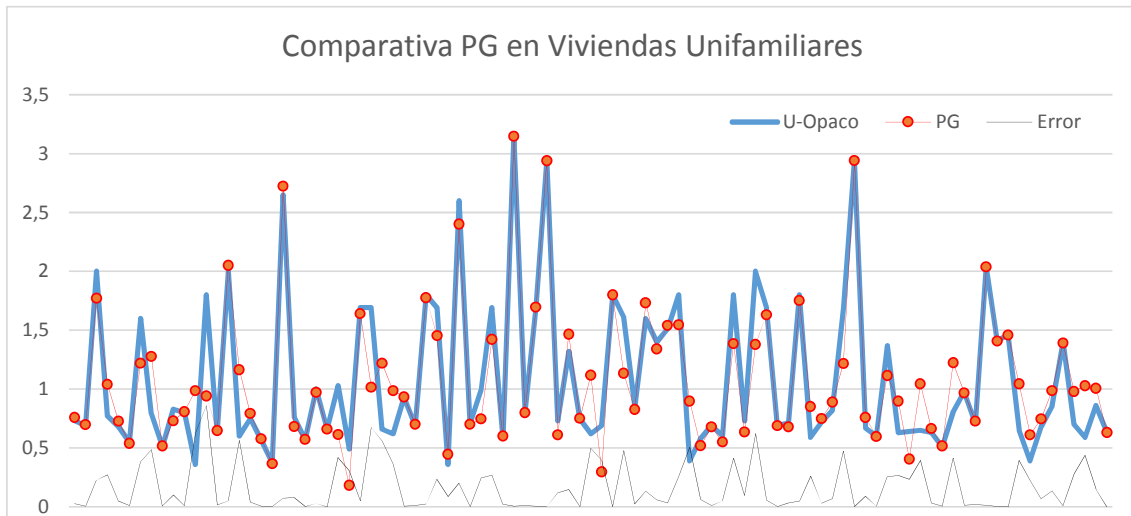


Fig.117: Comparativa entre los valores obtenidos de la medición del U-Opaco y la predicción realizada por la ecuación matemática en las viviendas unifamiliares

## CONCLUSIONES DE LA INVESTIGACIÓN

En este apartado se exponen las conclusiones extraídas del estudio realizado en los edificios que conforman la muestra sobre la que se aplicaron las distintas metodologías y técnicas, para determinar su comportamiento energético y ambiental.

### 6.1. Conclusiones relativas a la eficiencia energética y calidad de aire interior de los edificios evaluados

En este apartado se describen los resultados actuales y mejorados, relacionados con las características de la envolvente térmica y el rendimiento de los equipos térmicos de los edificios.

#### 6.1.1. Comportamiento térmico de la envolvente

El resumen de los valores obtenidos para la transmitancia térmica del opaco y del hueco del cerramiento exterior orientado preferentemente al Norte, se muestra en el siguiente cuadro, comparando los valores obtenidos con los máximos permitidos por la normativa actual CTE HE1.- Limitación de la demanda energética:

DESCRIPCIÓN	Transmitancias promedio (W/m <sup>2</sup> .°K)		Transmitancias max. Norma HE1 (W/m <sup>2</sup> .°K)		Diferencia real - norma HE1 (W/m <sup>2</sup> .°K)		% de reducción necesario para cumplir HE1	
	U Opaco	U Hueco	U Opaco	U Hueco	U Opaco	U Hueco	U Opaco	U Hueco
Vivienda unifamiliar	1,14	3,55	0,75	3,1	0,39	0,45	34,21	12,68
Vivienda en bloque	1,21	3,64	0,75	3,1	0,46	0,54	38,02	14,84
Bloque resid. completo	1,17	4,5	0,75	3,1	0,42	1,4	35,90	31,11
Edificio comercial	0,66	3,58	0,75	3,1	-0,09	0,48	-13,64	13,41
Edificio público	0,91	3,53	0,75	3,1	0,16	0,43	17,58	12,18
Residencial Colectivo	0,76	3,24	0,75	3,1	0,01	0,14	1,32	4,32
Centro hospitalario	0,82	3,78	0,75	3,1	0,07	0,68	8,54	17,99

Tabla 78: Resumen comparativo entre los resultados obtenidos para las Transmitancias de los edificios por tipologías y los valores máximos admisibles establecidos por la normativa actual (CTE DB HE1)

En general, menos en el caso de los edificios destinados a uso comercial y residencial colectivo, los edificios presentan valores de transmitancia en opacos y huecos, apreciablemente superiores a los máximos establecidos en la norma actual (CTE DB HE1 – 2013).



Por lo que se concluye que en las intervenciones tendentes a rehabilitar energéticamente el edificio, deben aplicarse medidas de ahorro energético pasivas, encaminadas a incrementar el nivel de aislamiento térmico del cerramiento, especialmente en los inmuebles destinados a uso residencial vivienda, en los cuales la reducción necesaria para cumplir con los valores establecidos por la normativa sería de un 35%.

De llevarse a cabo, esta reducción implicaría un ajuste de la demanda energética del inmueble para cumplir con las condiciones ambientales interiores, lo que reduciría indirectamente el consumo de energía necesario para satisfacer dicha demanda.

#### 6.1.2. Estimación de la reducción de la demanda energética para calefacción

El efecto que causa la implantación de las medidas de mejora sobre los edificios evaluados, en las simulaciones energéticas realizadas, se muestra en el siguiente cuadro:

DESCRIPCIÓN	Demanda calefacción	Demanda calefacción	Reduc. Dem. Calor. (%)
Vivienda unifamiliar	142,26	99,73	29,90
Vivienda en bloque	114,22	74,42	34,85
Bloque residencial completo	46,01	22,43	51,25
Edificio comercial	57,44	52,06	9,37
Edificio público	67,21	63,07	6,16
Residencial Colectivo	31,77	26,41	16,87
Centro hospitalario	26,53	19,87	25,10

*Tabla 79: Resumen por tipologías de la reducción de la demanda de energía calorífica con la simulación energética de la implantación de medidas de ahorro energético (valores obtenidos con el módulo de simulación del CE3x).*

Esta reducción de la demanda energética, es mayor en los usos destinados a residencial vivienda, por lo que se vería incrementada su eficiencia energética de forma significativa.

#### 6.1.3. Estimación de la reducción de la emisión de CO<sub>2</sub>

Al analizar, mediante la simulación energética, el efecto que causaría la implementación de las medidas de ahorro energético pasivas y activas en los edificios seleccionados, se estima una reducción apreciable en el nivel de emisión de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, esta reducción se muestra en el siguiente cuadro:

DESCRIPCIÓN	Emisividad act. CO <sub>2</sub> (kg/m <sup>2</sup> .año)	Emisividad mej. CO <sub>2</sub> (kg/m <sup>2</sup> .año)	Reduc. Emisiones CO <sub>2</sub> (%)
Vivienda unifamiliar	68,54	36,03	47,43
Vivienda en bloque	62,22	25,56	58,92
Bloque residencial completo	29,94	13,18	55,98
Edificio comercial	28,66	16,96	40,82
Edificio público	41,59	22,7	45,42
Residencial Colectivo	34,14	20,7	39,37
Centro hospitalario	31,9	21,4	32,92

*Tabla 80: Resumen por tipologías de la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> con la simulación energética de la implantación de medidas de ahorro energético (valores obtenidos con el módulo de simulación del CE3x)*

La reducción del nivel de emisiones de CO<sub>2</sub>, simulando la implementación de las distintas medidas de ahorro energético, es significativa en general, pero en los inmuebles evaluados destinados a uso residencial vivienda, es mayor que en los otros usos.

#### 6.1.4. En relación al consumo energético de los edificios

El efecto que causa, la implantación de las medidas de ahorro energético propuestas, según las simulaciones realizadas, en el consumo de energía primaria no renovable, se muestra en el siguiente cuadro:

DESCRIPCIÓN	Consumo energía primaria (kWh/m <sup>2</sup> .año)	Consumo energía primaria (kWh/m <sup>2</sup> .año)	Reduc. Cons. Energ. (%)
Vivienda unifamiliar	322,59	128,17	60,27
Vivienda en bloque	270,8	101,1	62,67
Bloque residencial completo	133,24	36,42	72,67
Edificio comercial	169,06	99,92	40,90
Edificio público	204,79	111,28	45,66
Residencial Colectivo	178,28	118,32	33,63
Centro hospitalario	171,13	123,57	27,79

Tabla 81: Resumen por tipologías de la reducción del consumo de energía primaria no renovable con la simulación energética de la implantación de medidas de ahorro energético (valores obtenidos con el módulo de simulación del CE3x)

Se puede observar que el consumo de energía en los inmuebles destinados a uso residencial vivienda es superior al resto de los usos, debido probablemente al empleo de equipos térmicos individuales con rendimientos muy bajos, que sitúan a esta tipología como objetivo prioritario en la implantación de estrategias de reducción del consumo energético.

Si aplicamos esta reducción potencial del consumo de energía primaria no renovable, sobre los consumos estimados en el capítulo 1 de la presente memoria, partiendo de los datos del 2016 en los que el precio medio de MW.h de origen eléctrico de 52,38€ y de que el MW.h de origen gas natural es de 16,86€, obtendremos una tarifa promedio ponderada de 31,07 € para el MW.h de energía no renovable, la cual se utilizará para realizar una estimación económica del efecto sobre el coste de la energía consumida por los edificios según el uso al que se destine, cuyos resultados se muestran en el cuadro siguiente:

TIPOLOGÍA	Reducción EP potencial (MWh.año)	Estimación económica reduc. Energ. Prim. (€/año)
Residencial vivienda	158.737.308,15	4.931.968.164,20
Centros comerciales	1.739.900,32	54.058.702,79
Hoteles	3.327.310,16	103.379.526,75
Centros docentes	430.026,93	13.360.936,58
Hospitales	542.069,52	16.842.099,89
Edf. Administrativos	474.036,71	14.728.320,70
		5.134.337.750,90

Tabla 82: Estimación del impacto económico anual que se produciría con la implantación de las medidas de ahorro energético previstas en las distintas tipologías de edificios

Esta reducción, supondría un ahorro económico en el coste de la energía primaria no renovable consumida por los edificios destinados a uso residencial y terciario de aproximadamente unos 5.135 millones de euros al año.

Si se compara esta cantidad con el importe total destinado por las administraciones públicas para subvencionar estrategias para incrementar la eficiencia energética en el sector de la edificación, que ascienden aproximadamente a unos 550 millones de euros anuales, resulta claramente insuficiente para lograr cumplir el objetivo propuesto de reducción del 20% del consumo de energía primaria no renovable en el año 2020.

#### 6.1.5. Análisis de correlación lineal entre valores obtenidos

Del análisis de la correlación lineal entre diferentes variables, cuyos resultados se resumen en los cuadros siguientes:

##### 6.1.5.1. Resumen del análisis de la correlación lineal de los resultados obtenidos en edificios de usos terciarios

VARIABLES	TIPO DE CORRELACIÓN	GRADO DE CORRELACIÓN	COEFICIENTE CORR. LINEAL
Transmitancia opaco del cerramiento $U_o$ ( $W/m^2 \cdot ^\circ K$ ) y demanda de energía calorífica ( $kWh/m^2 \cdot año$ )	Lineal Positiva	Moderada	0,4010432
Transmitancia hueco del cerramiento $U_h$ ( $W/m^2 \cdot ^\circ K$ ) y demanda de energía calorífica ( $kWh/m^2 \cdot año$ )	Lineal Negativa	Débil	-0,052289233
Año de construcción y Transmitancia de cerramiento opaco $U$ ( $W/m^2 \cdot ^\circ K$ )	Lineal Negativa	Moderada	-0,67561093
Año de construcción y demanda de energía calorífica ( $kWh/m^2 \cdot año$ )	Lineal Positiva	Débil	0,0209304
Emisividad de $CO_2$ ( $kCO_2/m^2 \cdot año$ ) y demanda de energía calorífica ( $kWh/m^2 \cdot año$ )	Lineal Positiva	Moderada	0,56871044
Emisividad de $CO_2$ ( $kCO_2/m^2 \cdot año$ ) y consumo de energía primaria ( $kWh/m^2 \cdot año$ )	Lineal Positiva	Intensa	0,9551439
Transmitancia del cerramiento opaco $U$ ( $W/m^2 \cdot ^\circ K$ ) y Consumo de energía primaria ( $kWh/m^2 \cdot año$ )	Lineal Positiva	Débil	0,222037263
Transmitancia del huecos cerramiento $U$ ( $W/m^2 \cdot ^\circ K$ ) y Consumo de energía primaria ( $kWh/m^2 \cdot año$ )	Lineal Negativa	Débil	-0,03533017
Año de construcción y Consumo de energía primaria ( $kWh/m^2 \cdot año$ )	Lineal Positiva	Débil	0,00193129
Demanda de energía calorífica ( $kWh/m^2 \cdot año$ ) y consumo de energía primaria ( $kWh/m^2 \cdot año$ )	Lineal Positiva	Moderada	0,5989188

Tabla 83: Resumen de coeficientes de correlación lineal simple entre distintas variables relacionadas con la demanda y el consumo energético de los edificios destinados a uso terciario que conforman la muestra

Se observa una correlación lineal positiva intensa entre la E Emisividad de  $CO_2$  ( $kCO_2/m^2 \cdot año$ ) y consumo de energía primaria ( $kWh/m^2 \cdot año$ ); con un coeficiente de correlación lineal de 0,9551439; lo cual permitiría predecir el nivel de emisividad a partir del consumo de energía primaria (dato que se puede obtener directamente de una auditoría energética detallada).

6.1.5.2. Resumen del análisis de la correlación lineal de los resultados obtenidos en edificios de uso residencial

VARIABLES	TIPO CORRELACIÓN	GRADO CORRELACIÓN	COEFICIENTE
Transmitancia zona opaca del cerramiento $U_o$ ( $W/m^2 \cdot ^\circ K$ ) y demanda de energía calorífica ( $kW \cdot h/m^2 \cdot a\tilde{n}o$ )	Lineal Positiva	Débil	0,12399335
Transmitancia huecos del cerramiento $U_h$ ( $W/m^2 \cdot ^\circ K$ ) y demanda de energía calorífica ( $kW \cdot h/m^2 \cdot a\tilde{n}o$ )	Lineal Positiva	Débil	0,09929255
Año de construcción y Transmitancia de cerramiento opaco $U$ ( $W/m^2 \cdot ^\circ K$ )	Lineal Negativa	Débil	-0,28979966
Año de construcción y demanda de energía calorífica ( $kW \cdot h/m^2 \cdot a\tilde{n}o$ )	Lineal Negativa	Débil	-0,14574068
Emisividad de $CO_2$ ( $kCO_2/m^2 \cdot a\tilde{n}o$ ) y demanda de energía calorífica ( $kWh/m^2 \cdot a\tilde{n}o$ )	Lineal Positiva	Moderada	0,70756098
Emisividad de $CO_2$ ( $kCO_2/m^2 \cdot a\tilde{n}o$ ) y consumo de energía primaria ( $kW/m^2 \cdot a\tilde{n}o$ )	Lineal Positiva	Intensa	0,97137197
Transmitancia del cerramiento opaco $U$ ( $W/m^2 \cdot ^\circ K$ ) y Consumo de energía primaria ( $kW \cdot h/m^2 \cdot a\tilde{n}o$ )	Lineal Positiva	Débil	0,144085428
Transmitancia hueco del cerramiento $U$ ( $W/m^2 \cdot ^\circ K$ ) y Consumo de energía primaria ( $kW \cdot h/m^2 \cdot a\tilde{n}o$ )	Lineal Positiva	Débil	0,076740079
Año de construcción y Consumo de energía primaria ( $kW \cdot h/m^2 \cdot a\tilde{n}o$ )	Lineal Negativa	Débil	-0,102618551
Demanda de energía calorífica ( $kW \cdot h/m^2 \cdot a\tilde{n}o$ ) y consumo de energía primaria ( $kW \cdot h/m^2 \cdot a\tilde{n}o$ )	Lineal Positiva	Moderada	0,732110233

Tabla 84: Resumen de coeficientes de correlación lineal simple entre distintas variables relacionadas con la demanda y el consumo energético de los edificios destinados a uso residencial que conforman la muestra

Al igual que pasaba en la muestra correspondientes a edificios de usos terciarios, en el uso residencial, se observa una correlación lineal positiva intensa entre la E Emisividad de  $CO_2$  ( $kCO_2/m^2 \cdot a\tilde{n}o$ ) y consumo de energía primaria ( $kW/m^2 \cdot a\tilde{n}o$ ); con un coeficiente de correlación lineal de 0,97137197; lo cual confirma la conclusión anterior, por lo que se podría estimar el nivel de emisividad a partir del consumo de energía primaria (dato que se puede obtener mediante la realización de una auditoría energética detallada), con independencia de las distintas fuentes de energía que utilice el edificio y de los factores de emisión de  $CO_2$  asociados a cada tipo de combustible.

Se detecta que entre la demanda de energía calorífica ( $kWh/m^2 \cdot a\tilde{n}o$ ) y consumo de energía primaria ( $kW \cdot h/m^2 \cdot a\tilde{n}o$ ) existe un grado de correlación lineal moderado, con un coeficiente de correlación lineal de 0,732110233 para el uso residencial.

#### 6.1.6. Análisis de los parámetros obtenidos relacionados con la Calidad de Aire Interior

De los resultados obtenidos en las distintas mediciones realizadas en edificios de uso residencial vivienda y terciarios se extraen las siguientes conclusiones:

- a) Resultados obtenidos en el análisis de ambientes interiores en edificios de uso residencial vivienda:
  - a. En comparación con los valores establecidos en la normativa, la temperatura promedio obtenida está por debajo del límite inferior del rango (invierno 21-23°C), aunque la diferencia es pequeña.
  - b. Los valores de humedad relativa cumplen la exigencia normativa (30 – 70%).
  - c. El contenido de CO<sub>2</sub> obtenido en la medición, supera el máximo establecido para ambientes interiores (<800 ppm), pero la diferencia no es relevante.
- b) Resultados obtenidos en el análisis de ambientes interiores en edificios de usos terciarios:
  - a. En comparación con los valores establecidos en la normativa, la temperatura promedio obtenida está dentro del intervalo fijado por la normativa.
  - b. En el caso de la humedad relativa también cumple.
  - c. En el parámetro de contenido de CO<sub>2</sub>, el valor promedio supera ampliamente el límite establecido por la norma, de lo cual se deduce que el caudal de ventilación en estos casos es insuficiente.

En resumen, en los edificios seleccionados para realizar la comprobación de parámetros relacionados con la calidad de aire interior, se han detectado niveles elevados de CO<sub>2</sub>, este contenido es apreciablemente superior en los edificios de usos terciarios, especialmente en la fracción correspondiente a hoteles y hospitales, en los cuáles se evidencia la necesidad de ajustar el contenido de CO<sub>2</sub> mediante el incremento de caudal de renovación de aire.

El tipo de medidas correctoras a implementar serían las siguientes:

- Regulación o ajuste del equipo de climatización para incrementar el caudal de aire procedente del exterior en la admisión, y reducir en caudal de aire de recirculación.
- En los casos en los que el año de construcción sea anterior al 2006, practicar aireadores directos en el marco de las ventanas, permitiendo la entrada de aire directo procedente del exterior de forma controlada, aportando un caudal de aire exterior complementario, que no dependería del ajuste o de la regulación del sistema de climatización central.

El resumen de los resultados obtenidos en las distintas mediciones realizadas, se recopilan en la siguiente tabla:

TIPO	PROVINCIA	AÑO CONST.	SUPERFICIE (m <sup>2</sup> )	CALIDAD AMBIENTE INTERIOR (valor promedio)			CONS. ENERG. PRIM. (kW.h/m <sup>2</sup> .año)
				TEMP. (°C)	Humedad Rel. (%)	Contenido CO <sub>2</sub> (p.p.m)	
EC	A Coruña	2007	66.634,00	19,60	71,40	811,45	89,6
EC	A Coruña	1995	19.129,00	18,50	69,80	913,52	139,2
EC	A Coruña	1986	45.047,00	20,30	70,20	1.087,96	109,3
EC	A Coruña	2007	11.548,00	19,40	65,40	876,11	181,8
EP	A Coruña	1995	13.819,00	22,60	53,40	1.146,31	138,5
EP	A Coruña	2006	3.905,71	18,30	62,80	768,22	287,8
EP	A Coruña	1995	11.403,30	23,40	57,60	1.047,46	169,2
EP	A Coruña	1995	2.149,60	18,30	64,20	785,24	227,65
EP	A Coruña	2003	7.372,79	21,20	61,20	837,26	418,4
RC	A Coruña	1967	9.579,00	23,40	53,30	1.142,52	182
RC	A Coruña	1948	9.562,00	21,50	56,40	1.035,21	197,9
CH	A Coruña	1990	11.037,00	24,10	52,40	1.342,25	150,1
CH	A Coruña	1990	4.818,00	23,60	54,60	1.278,63	189,5
BC	A Coruña	2001	3.670,00	20,39	60,77	826,09	117,72
BC	Ourense	1974	3.288,00	19,01	63,90	726,00	186,63
BC	A Coruña	1990	1.968,00	21,35	61,75	655,52	101,51
BC	A Coruña	1980	10.848,00	20,70	60,60	1.221,00	127,11

Tabla 85: Valores promedio de parámetros IAQ medidos en edificios destinados a uso residencial y terciario

Analizada, en los edificios seleccionados, la relación existente entre el contenido de CO<sub>2</sub> medido en el ambiente interior de los edificios y el consumo de energía primaria no renovable, se obtiene un índice de correlación lineal de -0,1894; por lo que no se puede establecer una relación directa entre ambas variables:

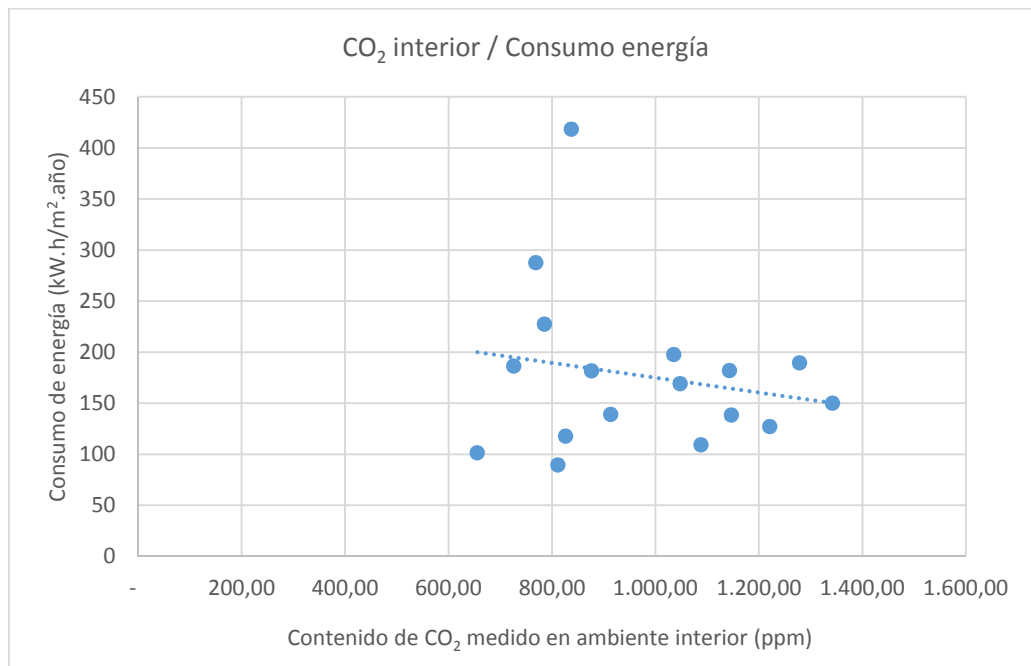


Fig.118: Relación entre el contenido de CO<sub>2</sub> (p.p.m.) medido en ambiente interior y el consumo de energía primaria (kW.h/m<sup>2</sup>.año) (Elaborado por el autor con programa Excel - Microsoft)

## **6.2. Herramienta informática para el registro de los datos obtenidos en el estudio del comportamiento energético y ambiental de los edificios residenciales y terciarios**

Se considera una consecuencia complementaria de la presente investigación el hecho de que se haya desarrollado la aplicación informática SGEtech; que cumple con los requisitos preestablecidos por el autor de la presente tesis, de forma que permite registrar de forma ordenada, eficaz, flexible y clara, todos los datos generados en los procesos de evaluación energética y ambiental del edificio.

La orientación de esta aplicación hacia un sector tecnológico en alza, que cobra paulatinamente una mayor relevancia económica, social y medioambiental, constituye una herramienta valiosa para la gestión de la vida útil de los edificios existentes, por sus aspectos claramente innovadores, tales como:

- Gestión realizada por los propios usuarios (técnicos certificadores y gestores de edificios)
- Obtención de una valoración energética y ambiental en base a los parámetros introducidos
- Actualización de los datos del edificio cada vez que se realiza alguna intervención
- Gestión de las futuras mejoras a implantar, según los resultados de la simulación energética realizada.
- Permite la importación y exportación de datos, utilizando una hoja de cálculo; facilitando su utilización por parte de los usuarios.

Por lo que su utilización, supone una mejora metodológica para la actividad certificadora de la eficiencia energética y de la calidad de aire interior.

## **6.3. Aplicabilidad las Redes de Neuronas Artificiales y la Programación Genética para modelar el comportamiento energético y ambiental de los edificios.**

Tal como se ha constatado en los resultados obtenidos, mediante RR.NN.AA., se puede predecir el u-Opaco de la vivienda utilizando varias características del inmueble, produciendo un buen coeficiente de correlación.

Sin embargo, tal como se ha comentado en los capítulos previos, una RNA se considera un sistema de caja negra, pues se le introducen unas entradas, y la RNA produce una salida, sin conocer cómo se producen estos resultados y sin explicación posible. Por ello, se ha aplicado otra técnica denominada Computación Evolutiva. En este caso se han utilizado algoritmos denominados de expresiones genéticas para extraer el conocimiento en forma de ecuaciones matemáticas.

En un primer momento se han obtenido expresiones sencillas, pero con un bajo índice de correlación o capacidad predictiva. Por lo que, se ha utilizado un algoritmo de Programación Genética con funciones más complejas e introduciendo operadores trigonométricos.

Con este algoritmo se ha podido obtener una ecuación matemática con un buen coeficiente de correlación, aunque la expresión resultante se puede considerar compleja. En cualquier caso, ambas técnicas de IA han demostrado su habilidad para modelar el comportamiento energético de los edificios analizados en esta tesis.

#### 6.4. Verificación de la veracidad de la hipótesis de la investigación

Para esta investigación, se ha formulado la siguiente hipótesis de partida:

- *Se puede establecer un modelo adaptativo que permita modelar el comportamiento energético y ambiental de los edificios existentes en la zona norte de España, mediante la aplicación de Redes de Neuronas Artificiales y Programación Genética, partiendo de algunas de sus características constructivas, energéticas y ambientales.*

Para la aplicación de las Redes de Neuronas Artificiales, se ha generado una base de datos correspondientes al comportamiento energético y ambiental de un número significativo de edificios existentes.

En esta investigación se da un enfoque innovador en la resolución de problemas relacionados con la Ingeniería aplicada en la Edificación, en un ámbito tecnológico muy relevante en la gestión de la vida útil del edificio existente o en explotación, como es el comportamiento energético y ambiental del edificio, explorando el desarrollo de sistemas informáticos que combinan técnicas tan diferentes como son las Redes de Neuronas Artificiales y la Programación Genética. La teórica potencia de estas técnicas se solapa al hecho, muy habitual, de que los datos en muchos casos pueden ser incompletos, imprecisos, inconsistentes o inciertos.

En los apartados anteriores se constata el cumplimiento de los cuatro objetivos propuestos para esta investigación, por lo que se puede considerar que la hipótesis de partida ha quedado verificada.



# FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

---

En este capítulo se enumeran las futuras líneas de investigación que se derivan del presente estudio del comportamiento energético y ambiental en el sector de la edificación:

### **7.1. Ampliación del alcance de la investigación de la eficiencia energética en edificios destinados a otros usos.**

Este estudio se ha realizado sobre edificios de uso residencial y terciarios, pero existen otro tipo de usos en los cuáles resultaría útil realizar el análisis de su comportamiento energético y ambiental, sobre todo en aquellos que por su número y características energéticas sean relevantes, como por ejemplo: instalaciones deportivas, portuarias, aeroportuarias, estaciones de ferrocarril y militares, entre otras.

Para la realización del presente estudio, se han seleccionado inmuebles situados en la zona Norte de España, por su rigor climático en invierno; pero podría realizarse un estudio similar sobre inmuebles que se encuentren situados en otras zonas con un elevado rigor climático en verano.

### **7.2. Relacionadas con la eficiencia energética de la edificación**

Desarrollo de nuevas metodologías de medición o ensayo “in situ” que facilite información al técnico certificador sobre el rendimiento real de los equipos térmicos para incrementar la precisión en la estimación del consumo de energía primaria no renovable.

También puede realizarse un estudio sobre el grado de infiltración de aire procedente del exterior, a través de los distintos sistemas de cerramiento en los huecos de fachada, evaluando cómo afecta realmente este parámetro al comportamiento energético del edificio.

### **7.3. Relacionado con calidad de aire interior**

El análisis de otros parámetros relacionados con la calidad de aire interior, en sistemas de climatización centralizados como son: el contenido de monóxido de carbono CO, el contenido de partículas en suspensión y el contenido de bacterias y hongos en suspensión.

El análisis de parámetros relacionados con la calidad de aire interior en edificios situados en zonas con un elevado rigor climático en verano.

#### **7.4. Nuevos desarrollos informáticos para mejorar el registro centralizado de datos**

Ampliación de los parámetros y funcionalidades de la aplicación SGEtech, ya sea para el registro de datos complementarios a los ya implementados; o incorporar nuevas prestaciones mediante la incorporación de leyes o funciones que sirvan para determinar el nivel de eficiencia energética del edificio o el nivel de calidad de aire interior del mismo.

Una de las primeras prestaciones a incluir es la implementación de la RNA desarrollada para que dados el año de construcción, superficie y tipología de vivienda, produzca una estimación del u-Opaco y de forma automática una estimación de la eficiencia energética de la vivienda. Así mismo, incorporar la expresión obtenida del algoritmo de Programación Genética para realizar la segunda estimación de u-Opaco.

#### **7.5. Aplicación de las Redes Neuronales Artificiales para modelar el comportamiento ambiental interior de los edificios existentes.**

Extender la aplicabilidad de las RR.NN.AA. para modelar el comportamiento ambiental interior del edificio, que permita predecir el nivel de calidad de aire interior, a partir de algunos parámetros medidos “in situ”; su localización, año de construcción y las características de los sistemas de calefacción y refrigeración.

#### **7.6. Adaptación del algoritmo de PG para una extracción de conocimiento más adaptado.**

Tal como se ha constatado el algoritmo de PG produce expresiones bastantes complejas para producir resultados aceptables, y necesitando funciones con cierta complejidad con múltiples combinaciones de funciones trigonométricas. Por ello, una línea de investigación es la adaptación del algoritmo para trabajar sobre ecuaciones que se consideren más adecuadas para este tipo de problemática.

Por ejemplo, si se obtiene una expresión más sencilla que simule el proceso físico analizado, se puede adaptar el algoritmo de PG para que realice una búsqueda centrada en variantes de dicha expresión, pudiendo refinar el proceso de búsqueda y la obtención de una ecuación matemática más simple y con mejor comportamiento predictivo.

#### **7.7.- Diligencia final de la tesis:**

Se concluye la redacción de la presente tesis, a los efectos académicos oportunos, la cual dispone de una memoria principal de 281 páginas, e incluye 5 anexos.

En A Coruña a los 12 días del mes de marzo de 2017.

Fdo.: José Antonio Álvarez Díaz  
DNI: 32.757940Y

### RELACIÓN DE ANEXOS DE LA TESIS DOCTORAL

- ANEXO 1:** Resultados obtenidos evaluación: eficiencia energética de los edificios evaluados
- ANEXO 2:** Resultados obtenidos: Calidad de aire interior en los edificios evaluados
- ANEXO 3:** Modelo de informe de evaluación y certificación de la eficiencia energética de un edificio existente generado con documento reconocido (CE3x)
- ANEXO 4:** Glosario
- ANEXO 5:** Fuentes de información

ANEXO 1

RESULTADOS OBTENIDOS: EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LOS  
EDIFICIOS EVALUADOS

---

ÍNDICE DEL ANEXO 1

**A1.1.- Resultados obtenidos en la evaluación de la eficiencia energética**

**A1.1.1.- Uso residencial**

- A1.1.1.1.- Vivienda unifamiliar
- A1.1.1.2.- Vivienda en bloque
- A1.1.1.3.- Bloque residencial completo
- A1.1.1.4.- Datos utilizados para el entrenamiento de la RNA
- A1.1.1.4.1.- Vivienda unifamiliar RNA
- A1.1.1.4.2.- Vivienda en bloque RNA

**A1.1.2.- Uso terciario**

- A1.1.2.1.- Edificio Comercial
- A1.1.2.2.- Edificio Público
- A1.1.2.3.- Residencial colectivo (hoteles y residencias)
- A1.1.2.4.- Centros hospitalarios

**A1.2.- Resultados obtenidos en las simulaciones energéticas considerando la implementación de medidas pasivas y activas de ahorro energético comparados con la situación inicial del inmueble evaluado.**

**A1.2.1.- Uso residencial**

- A1.2.1.1.- Vivienda unifamiliar
- A1.2.1.2.- Vivienda en bloque
- A1.2.1.3.- Bloque residencial completo

**A1.2.2.- Uso terciario**

- A1.2.2.1.- Edificio Comercial
- A1.2.2.2.- Edificio Público
- A1.2.2.3.- Residencial colectivo (hoteles y residencias)
- A1.2.2.4.- Centros hospitalarios

## A1.1.- Resultados obtenidos en la evaluación de la eficiencia energética

### A1.1.1.- Uso residencial

#### A1.1.1.1.- Vivienda unifamiliar

ID	Tipo	Provincia	Ayuntamiento	Año const.	Superficie (m <sup>2</sup> )	U –Opaco (W/m <sup>2</sup> .K)	U Hueco (W/m <sup>2</sup> .K)	Calificación Efic. Energ.	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Cons. energ. Prim. (kW.h/m <sup>2</sup> .año)
6	VU	A Coruña	A Coruña	1994	324	0,73	3,3	E	42,1	60,38	159,1
23	VU	A Coruña	Miño	1979	78,54	0,69	3,3	G	109,19	130,73	444,34
25	VU	A Coruña	Mugardos	1964	82	2	2,81	G	80,75	182,11	303,89
26	VU	Lugo	Foz	1985	99	0,77	5,7	G	107,3	218,73	457,22
27	VU	A Coruña	Cee	2002	138,72	0,68	3,3	F	65,89	163,68	325,54
32	VU	A Coruña	Bergondo	2003	241,04	0,55	2,6	G	99,17	139,39	393,57
36	VU	Lugo	Lugo	2006	144	1,6	3,3	F	84,88	195,05	319,39
37	VU	Pontevedra	Gondomar	1993	135	0,79	3,15	G	151,04	228,46	606,4
42	VU	Asturias	Coaña	2008	129,52	0,51	3,3	E	48,08	131,78	180,94
47	VU	A Coruña	Teo	1990	327	0,83	2,81	F	54,24	193,81	268,53
54	VU	Pontevedra	Vigo	1960	147	0,8	5,6	E	60,12	141,42	230,23
56	VU	Pontevedra	Vigo	1992	104	0,36	3,3	E	59,82	193,93	296,15
70	VU	Pontevedra	Moaña	1995	115	1,8	2,07	G	181,73	218,77	730,84
76	VU	A Coruña	Ares	1996	254	0,63	3,3	D	23,07	63,87	114,21
79	VU	Pontevedra	Tui	1980	225	2	5,7	F	74,72	162,96	281,16
91	VU	A Coruña	San Sadurniño	1994	123	0,6	3,3	E	52,44	99,87	204,02
93	VU	Ourense	Barbadas	2010	142,2	0,75	3,3	G	61,56	74,49	247,57
94	VU	Ourense	Barbadas	2005	57,85	0,57	3	G	87,37	92,56	351,36
97	VU	A Coruña	Vimianzo	1970	210	0,37	2,7	E	55,46	77,5	209,38
100	VU	Pontevedra	Vigo	1968	154	2,65	3,3	G	134,1	247,63	504,64
104	VU	A Coruña	Culleredo	2005	255	0,76	3,3	C	19,18	50,12	94,98
105	VU	A Coruña	Zas	2005	463	0,57	3,3	E	47,91	95,05	180,84

ID	Tipo	Provincia	Ayuntamiento	Año const.	Superficie (m <sup>2</sup> )	U –Opaco (W/m <sup>2</sup> .K)	U Hueco (W/m <sup>2</sup> .K)	Calificación Efic. Energ.	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Cons. energ. Prim. (kW.h/m <sup>2</sup> .año)
108	VU	Pontevedra	Mos	2001	300	1	3,3	G	63,95	79,09	257,16
111	VU	Pontevedra	Lalín	1998	466	0,66	3,3	E	66,98	121,29	252,37
115	VU	A Coruña	Carballo	1985	106,8	1,03	5,7	G	158,3	295,51	595,69
118	VU	Lugo	Monforte	2001	172,75	0,49	5,7	E	57,85	154,87	284,99
119	VU	A Coruña	Negreira	1983	186	1,69	3,3	G	83,92	184,94	316,38
120	VU	Lugo	Barreiros	1993	101	1,69	3,3	G	107,88	236,64	405,95
122	VU	Lugo	Lugo	2006	144	0,66	3,3	E	60,41	99,95	227,48
123	VU	Pontevedra	Mos	1992	103,74	0,62	5,7	G	110,57	193,95	416,25
132	VU	A Coruña	Trazo	1976	275	0,93	2,81	E	54,3	87,96	204,81
133	VU	Pontevedra	Vila de Cruces	2000	301	0,69	3,3	E	47,48	93,97	179,38
145	VU	A Coruña	Teo	2004	100	1,8	5,7	E	43,43	140,1	214,98
146	VU	A Coruña	Boiro	1970	129,18	1,69	5,7	G	83,17	211,06	410,87
148	VU	A Coruña	Oleiros	1981	144	0,36	2,07	G	79,59	156,68	305,04
149	VU	Pontevedra	Mondariz - Balneario	2007	185	2,6	3,3	C	17,87	130,69	300,37
150	VU	A Coruña	Arteixo	1950	324,18	0,7	3,3	E	38,84	73,9	146,49
152	VU	Lugo	Lugo	1990	101,05	0,99	2,07	D	35,98	78,55	174,85
156	VU	Lugo	Monterroso	2000	129,18	1,69	5,7	G	119,13	313,7	576,6
159	VU	A Coruña	Ponteceso	1984	352	0,58	3,3	E	40,48	84,06	152,33
160	VU	Ourense	Ourense	2007	359	3,15	3,3	D	25,79	30,52	98,17
165	VU	A Coruña	A Coruña	1940	121,25	0,81	3,3	F	68,68	163,78	262,42
166	VU	A Coruña	A Coruña	1980	85	1,69	5,7	E	29,97	73,52	139,34
168	VU	A Coruña	Val do Dubra	1935	94	2,94	3,3	G	137,51	111,21	553,03
169	VU	Pontevedra	A Estrada	2000	180	0,73	2,7	E	39,44	72,83	148,43
170	VU	A Coruña	A Coruña	1964	71	1,32	5,7	G	101,55	101,3	408,4
172	VU	Pontevedra	Pontevedra	1909	654	0,75	3,3	E	43,82	66,26	165,24

ID	Tipo	Provincia	Ayuntamiento	Año const.	Superficie (m <sup>2</sup> )	U –Opaco (W/m <sup>2</sup> .K)	U Hueco (W/m <sup>2</sup> .K)	Calificación Efic. Energ.	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Cons. energ. Prim. (kW.h/m <sup>2</sup> .año)
176	VU	Lugo	Lourenza	1990	139	0,62	3,3	D	30,76	60,16	120,1
177	VU	Pontevedra	Baiona	2000	203	0,69	3,3	G	80,33	141,2	302,27
179	VU	Pontevedra	Bueu	1950	120	1,8	2,07	G	97,6	180,53	374,86
181	VU	A Coruña	Carballo	1987	153,4	1,61	5,7	G	105,84	186,103	468,49
187	VU	A Coruña	Santiago	1987	312,12	0,85	2,07	E	59,63	129,09	282,9
191	VU	Lugo	Lugo	2006	165	1,6	2,07	F	78,9	180,19	296,91
192	VU	Lugo	A Pastoriza	1998	112,32	1,4	3,3	G	92,19	163,45	346,93
195	VU	A Coruña	Ferrol	1989	180	1,51	2,81	F	70,88	193,99	313,72
197	VU	A Coruña	Carral	1998	195	1,8	5,7	F	75,95	173,3	285,81
198	VU	A Coruña	Malpica	1995	164,8	0,39	3,3	F	68,75	133,61	258,69
200	VU	Asturias	Llanes	2008	129,61	0,58	3,3	E	38,28	80,3	144,55
202	VU	Ourense	Ourense	1988	274	0,69	3,3	G	65,53	103,92	291,57
206	VU	Lugo	Villalba	1998	232	0,6	2,08	E	50,16	123,99	247,65
207	VU	Pontevedra	Vigo	1991	177	1,8	2,81	G	71,53	128,42	273,58
209	VU	A Coruña	Sada	2005	160	0,73	3,3	F	48,27	101,16	232,25
217	VU	A Coruña	Oleiros	1993	152,6	2	2,07	G	79,78	163,18	300,21
220	VU	A Coruña	Fisterra	1979	194	1,69	3,3	F	64,69	141,53	454,45
224	VU	Pontevedra	Bueu	1950	144	0,69	2,07	E	50,76	115,07	196,99
227	VU	A Coruña	Ézaro	2000	284	0,71	3,3	E	41,46	59,13	159,53
229	VU	A Coruña	Melide	1991	220	1,8	5,7	G	92,2	161,22	346,95
233	VU	Asturias	Cudillero	1999	130	0,59	5,7	G	59,04	137,78	227,84
235	VU	A Coruña	Santiago	2000	250	0,72	3,3	E	40,36	84,12	152,21
236	VU	Pontevedra	Poio	1985	321	0,82	2,07	D	29,99	42,22	118,12
239	VU	A Coruña	Cerceda	1993	128	1,69	5,7	G	119,22	147,56	479,47
241	VU	Asturias	Boal	1930	70,5	2,94	3,3	G	129,91	313,79	488,87

ID	Tipo	Provincia	Ayuntamiento	Año const.	Superficie (m <sup>2</sup> )	U –Opaco (W/m <sup>2</sup> .K)	U Hueco (W/m <sup>2</sup> .K)	Calificación Efic. Energ.	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Cons. energ. Prim. (kW.h/m <sup>2</sup> .año)
242	VU	Pontevedra	Salvaterra do Miño	2004	262	0,67	3,3	D	25,25	64,87	123,26
248	VU	León	Albarés de la Rivera	2014	101	0,6	3,3	E	87,75	210,59	334,51
249	VU	A Coruña	Teo	1992	123	1,37	3,3	G	94,64	189,43	376,24
250	VU	A Coruña	Mesía	1963	116,09	0,63	5,7	G	169,61	220,16	682,11
251	VU	Pontevedra	Cangas	2000	229	0,64	3,3	E	40,72	85,16	157,77
255	VU	Pontevedra	Barro	1999	200	0,65	3,3	E	34,31	84,2	163,2
261	VU	A Coruña	Oleiros	2000	312	0,63	2,07	G	155,46	275,07	623,93
266	VU	A Coruña	Ferrol	1940	115	0,51	5,7	F	65,57	143,18	255,43
267	VU	Lugo	Friol	1993	128,74	0,81	3,3	G	96,85	226,95	364,64
272	VU	A Coruña	Camariñas	1980	121	0,98	3,3	C	14,62	43,88	62,83
273	VU	A Coruña	Cee	2002	138,72	0,71	3,3	G	102,87	266,96	508,76
274	VU	A Coruña	Betanzos	1975	89,12	2,05	3,3	E	42,38	192,79	422,86
278	VU	Pontevedra	Cangas	1992	414,76	1,41	5,7	E	57,85	98,97	217,71
283	VU	A Coruña	Ferrol	1960	220	1,46	3,3	F	62,75	147,31	243,73
286	VU	Pontevedra	Barro	1999	200	0,65	3,3	E	34,31	84,2	163,52
291	VU	A Coruña	Cambre	2004	207	0,39	3,3	F	69,11	125,79	260,08
292	VU	Pontevedra	Vigo	2000	236,94	0,68	3,3	G	102,99	236,13	471,75
294	VU	Pontevedra	Redondela	1984	156	0,85	2,07	E	35,38	57,14	133,12
297	VU	A Coruña	Carballo	1972	124,76	1,4	3,3	G	197,45	163,68	976,95
298	VU	Lugo	Lourenza	1993	96	0,7	3,3	E	38,55	90,17	168,33
299	VU	A Coruña	Oleiros	1990	200	0,59	2,8	E	43,17	132,83	213,15
303	VU	Pontevedra	Cotobade	2004	130	0,86	3,78	E	45,9	270,1	136,7
307	VU	Pontevedra	Vigo	1950	257,91	0,63	3,3	E	55,34	75,58	209,52
308	VU	A Coruña	A Coruña	1997	179,11	0,63	3,3	F	73,31	113,02	277,88
312	VU	A Coruña	Cerceda	1981	151	0,81	5,7	F	67,9	239,5	390,6



ID	Tipo	Provincia	Ayuntamiento	Año const.	Superficie (m <sup>2</sup> )	U –Opaco (W/m <sup>2</sup> .K)	U Hueco (W/m <sup>2</sup> .K)	Calificación Efic. Energ.	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Cons. energ. Prim. (kW.h/m <sup>2</sup> .año)
313	VU	A Coruña	Oleiros	1978	71,2	1,69	3,3	G	113,4	175,06	452,29
315	VU	A Coruña	A Coruña	1940	213	0,73	2,81	D	31,18	110,92	125,04
318	VU	A Coruña	Culleredo	1973	61,47	1,37	3,08	G	86,1	233,5	494,6
323	VU	Pontevedra	Marín	1930	101	2,94	3,44	E	32,8	148,3	183,1
328	VU	A Coruña	Boimorto	1993	117	1,8	3,3	G	112,09	294,32	554,96
333	VU	A Coruña	Outes	1990	276	1,69	2,07	E	50,26	108,66	189,13
336	VU	A Coruña	Oleiros	1998	164,23	0,64	3,78	E	40,3	114	231,7
338	VU	A Coruña	Pontedeume	1983	65	0,37	5,35	E	26,3	64,5	133,3
343	VU	León	Villaturiel	1970	87	3,13	2,7	G	134,15	381,44	504,8
344	VU	Pontevedra	Poio	1970	254	1,82	5,7	E	54,8	96,2	213,6
349	VU	Lugo	Viveiro	1950	178,2	2,38	5	E	51,7	174,4	244,8
351	VU	Pontevedra	Bueu	1950	144	0,66	2,07	E	56,33	102,37	216,53
352	VU	A Coruña	Mañón	1977	67	0,63	3,3	G	85,16	172,21	328,88
360	VU	A Coruña	Culleredo	1993	164	0,66	3,08	F	61,9	102,3	238,3
361	VU	A Coruña	Padrón	1998	59,95	0,82	3,3	F	65,55	199,74	291,83
366	VU	A Coruña	Monfero	1940	146,76	2,65	3,78	A	4,5	129,5	11,7
372	VU	Lugo	Monforte	1992	190	1,04	5	E	51,6	171,5	243,5
373	VU	Pontevedra	Vigo	2006	92,08	0,66	3,44	E	48,3	100,4	228,1
379	VU	A Coruña	Boimorto	1993	117	1,8	3,78	G	127,1	268,5	600,4
387	VU	A Coruña	Ponteceso	1959	120	1,96	3,08	E	52,2	100,2	246,4
398	VU	A Coruña	Irixoa	2002	195,21	2,4	5,7	B	12	64,8	53
403	VU	A Coruña	Noia	1982	95,75	0,74	3,44	G	83,1	113,7	323,6
404	VU	Lugo	Guitiriz	1994	110,37	0,54	3,78	E	73,1	166,7	277
409	VU	A Coruña	Mañón	1977	102	0,42	2,28	E	41,1	84,7	228,8
411	VU	A Coruña	Coristanco	1928	174,6	0,36	3,08	B	8,5	50,5	45,2

ID	Tipo	Provincia	Ayuntamiento	Año const.	Superficie (m <sup>2</sup> )	U –Opaco (W/m <sup>2</sup> .K)	U Hueco (W/m <sup>2</sup> .K)	Calificación Efic. Energ.	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Cons. energ. Prim. (kW.h/m <sup>2</sup> .año)
412	VU	A Coruña	Santiago	2004	193,93	0,67	2,18	D	31,7	124	119,2
417	VU	Pontevedra	Cangas	2010	224,31	0,57	2,72	E	43,8	104,1	182,1
420	VU	A Coruña	Oleiros	2012	243,5	0,51	1,84	C	15,9	24,4	63,6
					<b>22.283,06</b>	<b>1,12</b>	<b>3,56</b>		<b>68,54</b>	<b>142,26</b>	<b>289,84</b>
					Suma	Valores promedio para Viviendas unifamiliares					

A1.1.1.2.- Vivienda en bloque

ID	Tipo	Provincia	Ayuntamiento	Año const.	Superficie (m <sup>2</sup> )	U –Opaco (W/m <sup>2</sup> .K)	U Hueco (W/m <sup>2</sup> .K)	Calificación Efic. Energ.	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Cons. energ. Prim. (kW.h/m <sup>2</sup> .año)
1	VB	A Coruña	A Coruña	1984	43	1,8	5,7	D	18,39	36,56	91,04
2	VB	A Coruña	A Coruña	1983	118	2,07	4,6	F	50,21	194,5	242,78
3	VB	A Coruña	Ribeira	2003	95	0,98	3,3	G	170,7	208,54	686,48
4	VB	A Coruña	A Coruña	1974	98	3	3,3	E	44,27	86,19	215,48
5	VB	A Coruña	Ferrol	1972	91,3	1,68	5,7	D	18,47	51,81	91,47
7	VB	Pontevedra	Ponteareas	1960	300	1,68	3,3	E	42,76	99,57	203,42
8	VB	León	Ponferrada	1983	81,66	0,57	2,81	E	71,25	238,4	352,76
9	VB	Pontevedra	Bueu	1984	112	1,8	5,7	F	48,13	92,86	211,95
10	VB	A Coruña	A Coruña	2000	92,7	0,54	2,07	D	21,39	54,32	103,72
11	VB	A Coruña	Ferrol	1984	113,7	0,83	2,07	E	26,03	72,42	127,06
12	VB	Pontevedra	Bueu	1987	87,47	1,8	5,7	G	58,4	95,62	257,02
13	VB	A Coruña	Vimianzo	2003	48	0,88	3,3	G	86,07	141,13	332,17
14	VB	A Coruña	A Coruña	1980	125	0,72	2,07	G	86,06	224,81	426,06
15	VB	A Coruña	A Coruña	1984	46	1,8	2,07	G	141,14	279,56	698,76
16	VB	A Coruña	A Coruña	2002	65,1	0,69	3,3	G	71,82	16,09	288,83
17	VB	A Coruña	A Coruña	2007	154	0,63	3,3	D	21,23	41,32	103,53
18	VB	Pontevedra	Tuy	2003	71,21	1,8	3,3	E	30,22	84,66	147,2
19	VB	A Coruña	Sada	1989	54	0,73	3,3	E	26,78	39,99	107,78
20	VB	A Coruña	A Coruña	2001	84,8	1,8	3,3	D	15,66	42,37	77,51
21	VB	A Coruña	Carballo	1985	80,5	1,4	3,3	E	51,91	137,46	257,02
22	VB	A Coruña	Culleredo	2000	155	1,8	2,81	D	17,28	30,4	69,92
24	VB	A Coruña	A Coruña	1960	95	1,4	3,3	F	55,08	130,45	212,01
28	VB	A Coruña	A Coruña	1964	74	1,8	3,3	E	39,68	123,52	195,24
29	VB	A Coruña	A Coruña	2007	105	0,53	2,07	G	117,54	287,66	573,05

ID	Tipo	Provincia	Ayuntamiento	Año const.	Superficie (m <sup>2</sup> )	U –Opaco (W/m <sup>2</sup> .K)	U Hueco (W/m <sup>2</sup> .K)	Calificación Efic. Energ.	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Cons. energ. Prim. (kW.h/m <sup>2</sup> .año)
30	VB	A Coruña	A Coruña	1983	88	0,6	2,07	D	16,87	31,48	68,16
31	VB	A Coruña	A Coruña	1997	70	1,8	2,07	E	30,32	65,56	148,17
33	VB	A Coruña	A Coruña	2004	90	1,69	3,3	E	36,41	79,06	175,04
34	VB	Lugo	Sarria	1970	91	1,69	2,81	G	250,27	375,19	1107,75
35	VB	A Coruña	Ames	2005	88,1	0,55	3,3	E	26,64	71,49	129,34
38	VB	A Coruña	A Coruña	1974	93	3	5,7	F	52,89	134,24	261,88
39	VB	A Coruña	As Pontes	1982	105	0,62	2,81	G	161,02	159,17	647,56
40	VB	A Coruña	A Coruña	1971	84	0,63	3,3	E	40,11	125,39	197,64
41	VB	Lugo	Barreiros	1986	105	0,61	2,07	D	30,26	69,08	118,43
43	VB	A Coruña	Ares	1997	90	0,74	3,3	G	127,91	70,93	516,52
44	VB	A Coruña	A Coruña	1972	83	2,38	5,7	E	30,06	63,91	116,82
45	VB	A Coruña	Corcubión	1990	87	0,98	3,3	C	14,47	42,81	62,24
46	VB	A Coruña	A Coruña	1998	86,22	0,81	3,3	D	16,59	47,56	80,6
48	VB	A Coruña	Cariño	2001	275	1,8	3,3	G	196,75	147,22	795,58
49	VB	A Coruña	A Coruña	1985	80	1,69	5,7	E	40,87	91,12	154,72
50	VB	Lugo	Mondoñedo	2007	162,48	0,55	2,6	E	62,81	124,32	237
51	VB	Pontevedra	Pontevedra	2005	123	0,63	2,07	C	22,69	39,64	110,41
52	VB	A Coruña	A Coruña	1964	72	1,25	3,3	G	212,39	191,18	856,14
53	VB	A Coruña	A Coruña	1975	122	1,69	5,7	G	101,65	251,01	386,24
55	VB	A Coruña	A Coruña	2002	85	0,73	2,07	D	17,42	32,78	84,29
57	VB	A Coruña	A Coruña	1969	150	3	3,3	G	70,79	71,08	284,67
58	VB	Ourense	Ourense	1991	98	0,56	3,3	G	48,67	80,31	183,6
59	VB	A Coruña	A Coruña	1994	77	1,8	3,3	G	70,91	119,07	273,39
60	VB	A Coruña	A Coruña	1966	78	3	3,3	G	70,35	101,57	284,7
61	VB	A Coruña	A Coruña	2007	87,75	0,85	3,3	D	15,57	39,09	76,31

ID	Tipo	Provincia	Ayuntamiento	Año const.	Superficie (m <sup>2</sup> )	U –Opaco (W/m <sup>2</sup> .K)	U Hueco (W/m <sup>2</sup> .K)	Calificación Efic. Energ.	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Cons. energ. Prim. (kW.h/m <sup>2</sup> .año)
62	VB	A Coruña	A Coruña	1981	108	1,8	2,74	D	12,67	37,72	62,72
63	VB	Lugo	Lugo	1997	119,71	0,87	3,3	G	96,27	190,91	362,47
64	VB	A Coruña	A Coruña	1963	60	2,07	5,7	G	136,08	218,39	522,76
65	VB	Lugo	Viveiro	1994	105,16	0,81	3,3	E	45,01	56,29	183,38
66	VB	A Coruña	A Coruña	1971	88	3	5,7	E	40,38	98,86	191,77
67	VB	A Coruña	A Coruña	1975	112	0,4	2,11	D	18,97	47,83	92,26
68	VB	A Coruña	A Coruña	1973	112	3	3,3	E	26,1	68,08	126,26
69	VB	León	León	1973	88,12	1,61	5,7	E	42,51	129,69	208,63
71	VB	A Coruña	A Coruña	1984	96,6	0,7	2,81	G	77,84	69,6	313,04
72	VB	A Coruña	A Coruña	2003	52	1,8	3,3	G	141,6	114,13	569,47
73	VB	A Coruña	Ferrol	1971	65	1,46	3,3	G	77,96	189,8	299,7
74	VB	A Coruña	A Coruña	1998	118	0,6	3,3	F	50,16	112,45	188,75
75	VB	A Coruña	Noia	1992	152,69	0,52	2,82	G	80,6	75,76	324,14
77	VB	León	Ponferrada	1984	90	1,69	5,7	F	86,65	185,02	429,02
78	VB	A Coruña	A Coruña	1970	55	0,73	3,3	G	89,61	206,78	341,21
80	VB	A Coruña	A Coruña	1981	235	1,8	3,3	E	26,94	58,78	132,31
81	VB	A Coruña	A Coruña	1968	60	1,69	3,3	E	24,45	48,15	97,92
82	VB	A Coruña	A Coruña	1974	106	0,54	2,81	D	17,72	18,84	74,71
83	VB	A Coruña	Carballo	2008	95	2,59	3,6	G	108,71	108,33	437,17
84	VB	A Coruña	A Coruña	1975	81,2	0,81	2,87	E	34,23	58,82	131,84
85	VB	A Coruña	A Coruña	1978	179	3	3,3	G	99,66	115,22	400,77
86	VB	A Coruña	A Coruña	1970	91	1,69	5,7	G	71,47	165,6	275,41
87	VB	Pontevedra	Lalín	2010	106	1,03	3,3	E	52,1	85,05	209,51
88	VB	A Coruña	Oroso	1999	81	0,74	2,07	D	18,53	47,34	90,37
89	VB	A Coruña	Padrón	1999	98	0,32	3,3	G	92,74	102,47	369

ID	Tipo	Provincia	Ayuntamiento	Año const.	Superficie (m <sup>2</sup> )	U –Opaco (W/m <sup>2</sup> .K)	U Hueco (W/m <sup>2</sup> .K)	Calificación Efic. Energ.	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Cons. energ. Prim. (kW.h/m <sup>2</sup> .año)
90	VB	Pontevedra	Villagarcía	1985	104	1,8	5,7	G	75,28	212,08	372,73
92	VB	A Coruña	Camariñas	1976	63	1,69	5,7	G	209,78	265,06	843,66
95	VB	A Coruña	A Coruña	1967	64	3	5,7	E	37,69	115,07	185,23
96	VB	A Coruña	A Coruña	1975	76	3	5,7	F	57,31	137,52	221,21
98	VB	A Coruña	A Coruña	1971	56	0,35	3,3	G	145,55	306,49	560,28
99	VB	A Coruña	Culleredo	2006	58	0,75	3,3	E	36,62	93,9	175,36
101	VB	A Coruña	Oleiros	1989	105	0,8	2,7	E	31,84	81,95	140,64
102	VB	A Coruña	A Coruña	1969	111	1,8	5,7	D	20,45	112,48	101,26
103	VB	A Coruña	A Coruña	1975	89,2	0,6	3,3	D	16,42	61,25	73,3
106	VB	A Coruña	Oleiros	1978	79	3	5,7	G	106,26	220,21	405,53
107	VB	Ourense	Ourense	1999	81,9	0,83	2,04	E	44,8	56,75	169,31
109	VB	A Coruña	A Coruña	1997	150	0,81	3,3	F	56,35	98,08	216,92
110	VB	A Coruña	Pontedeume	1993	102	0,62	2,07	G	65,3	66,29	262,6
112	VB	A Coruña	A Coruña	1949	80	2	3,3	G	70,23	69,52	282,45
113	VB	A Coruña	A Coruña	1980	172,9	0,69	3,3	D	16,52	14,3	65,03
114	VB	Asturias	Candás	1992	90	1,65	5,7	G	108,78	129,92	437,47
116	VB	A Coruña	A Coruña	1950	92	1,16	5,7	F	74,64	90,69	306,12
117	VB	A Coruña	A Coruña	1990	85	1,69	3,3	D	19,91	57,59	97,3
124	VB	A Coruña	A Coruña	1970	75	1,69	2,07	E	45,37	83,86	174,17
125	VB	A Coruña	Carballo	2005	73,26	0,81	3,3	F	57,26	201,96	283,49
126	VB	A Coruña	A Coruña	1973	92	3	3,3	G	60,82	146,7	234,43
127	VB	A Coruña	A Coruña	1990	88	0,62	2,81	G	82,07	195,26	406,33
128	VB	A Coruña	A Coruña	1950	92	1,14	5,7	F	74,64	90,69	306,12
129	VB	A Coruña	A Coruña	1950	92	1,14	5,7	F	74,64	90,69	306,12
130	VB	A Coruña	Culleredo	1991	99	0,5	3,3	G	69,89	63,85	281,05

ID	Tipo	Provincia	Ayuntamiento	Año const.	Superficie (m <sup>2</sup> )	U –Opaco (W/m <sup>2</sup> .K)	U Hueco (W/m <sup>2</sup> .K)	Calificación Efic. Energ.	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Cons. energ. Prim. (kW.h/m <sup>2</sup> .año)
131	VB	A Coruña	A Coruña	2008	44	0,53	3,3	E	39,42	17,43	156,8
134	VB	Lugo	Monterroso	1998	127	0,87	3,3	E	41,89	48,54	173
135	VB	Asturias	Gijón	1963	89	0,56	3,3	G	65,78	170,13	325,7
136	VB	A Coruña	Arteixo	2006	89	1,8	3,3	E	40,21	74,24	197,22
137	VB	A Coruña	A Coruña	1990	121	0,8	5,7	E	45,02	84,17	177,06
138	VB	A Coruña	Ferrol	1960	86,25	1,72	5,7	F	50,21	118,98	194,51
139	VB	A Coruña	Ferrol	2005	87	0,81	3,5	E	45,37	138,39	222,21
140	VB	A Coruña	A Coruña	1990	75	0,8	5,7	G	111,04	158,49	448,84
141	VB	A Coruña	A Coruña	1971	79	3	5,7	G	92,28	126,18	373,58
142	VB	Pontevedra	A Estrada	1992	178	0,85	2,07	E	23,3	49,75	114,65
143	VB	A Coruña	Betanzos	1970	78	3	5,7	G	60,98	139,84	235,74
144	VB	A Coruña	A Coruña	1984	84	1,8	3,3	E	34,27	60,1	136,24
151	VB	A Coruña	A Coruña	1981	96	0,72	3,3	D	17,2	42,42	83,72
153	VB	A Coruña	A Coruña	1990	124	2	3,3	G	68,32	174,94	337,52
154	VB	A Coruña	A Coruña	1910	110	0,61	6,8	E	28,34	61	109,7
155	VB	Pontevedra	Vilagarcía	2002	103	0,58	3,3	E	42,15	47,12	175,7
157	VB	A Coruña	Carballo	2006	51,92	0,59	2,8	E	44,98	43,05	180,91
158	VB	A Coruña	Carballo	2006	51,92	0,59	2,8	E	44,98	43,05	180,91
161	VB	A Coruña	Pontedeume	1994	137	1,8	2,7	G	107,77	124,79	433,39
162	VB	A Coruña	A Coruña	1966	73,88	1,69	5,7	F	50,01	57,14	195,45
163	VB	A Coruña	A Coruña	1950	60	0,61	3,3	G	57,95	179,86	283,71
164	VB	Pontevedra	Vigo	1981	93	1,8	3,3	E	45,4	74,9	177,16
167	VB	A Coruña	A Coruña	1991	85	1,8	3,3	G	175,37	221,65	705,24
171	VB	A Coruña	A Coruña	1980	170	3	3,3	G	140,7	141,62	565,85
173	VB	A Coruña	Cambre	1983	83,1	1,8	3,3	E	44,29	143,72	219,28

ID	Tipo	Provincia	Ayuntamiento	Año const.	Superficie (m <sup>2</sup> )	U –Opaco (W/m <sup>2</sup> .K)	U Hueco (W/m <sup>2</sup> .K)	Calificación Efic. Energ.	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Cons. energ. Prim. (kW.h/m <sup>2</sup> .año)
174	VB	A Coruña	A Coruña	1949	118	1,8	3,3	E	30,04	86,79	147,01
175	VB	A Coruña	A Coruña	1949	118	1,8	3,3	E	30,04	86,79	147,01
178	VB	A Coruña	A Coruña	1976	112	3	3,3	G	79,92	58,14	321,41
180	VB	A Coruña	A Coruña	1967	68	2,64	5,7	G	75,22	196,41	372,43
182	VB	A Coruña	Narón	2006	100	1,87	5,7	E	32,22	112,25	158,75
183	VB	Asturias	Oviedo	2000	101	0,69	3,3	E	43,7	141,64	216,37
184	VB	A Coruña	A Coruña	1999	70	1,69	5,7	E	27,01	106,11	133,71
185	VB	A Coruña	A Coruña	1984	111	3,13	2,07	E	23,63	44,76	94,64
186	VB	León	Ponferrada	1984	89	1,69	2,7	G	109,4	123,78	439,94
188	VB	Lugo	Burela	1987	129	1,4	5,7	E	53,51	87,67	232,78
189	VB	León	León	1900	150	1,4	3,3	E	58,23	143,09	286,54
190	VB	A Coruña	A Coruña	1968	84	1,69	5,7	G	220,83	160,25	888,07
194	VB	Pontevedra	Lalín	1998	99	0,89	3,3	C	21,78	45,49	95,65
196	VB	Lugo	Viveiro	1994	105,16	0,81	3,3	E	51,06	58,38	209,54
199	VB	A Coruña	A Coruña	2007	95	0,67	3,3	G	129,65	168,86	521,39
201	VB	A Coruña	A Coruña	1996	150	1,03	3,3	G	59,08	157,6	209,63
203	VB	León	Ponferrada	1984	89	0,62	2,7	E	73,48	107,53	287,37
204	VB	A Coruña	Culleredo	1991	89,2	0,75	3,3	G	116,7	129,74	469,32
205	VB	A Coruña	Culleredo	2002	101	0,72	3,3	E	39,31	115,28	191,86
208	VB	A Coruña	A Coruña	1964	81	1,03	3,3	F	55,48	118,6	255,17
210	VB	A Coruña	Carballo	1987	80	1,8	5,7	E	35,72	73,7	138,8
211	VB	A Coruña	A Coruña	1988	99	0,78	3,6	F	56,43	84,31	229,26
212	VB	A Coruña	A Coruña	1982	106	1,8	3,3	E	38,94	51,21	151,54
213	VB	A Coruña	Oleiros	2009	81	0,73	3,3	C	11,81	51,59	56,59
214	VB	A Coruña	Cambre	1993	88,7	0,61	3,3	E	39,59	40,96	159,21



ID	Tipo	Provincia	Ayuntamiento	Año const.	Superficie (m <sup>2</sup> )	U –Opaco (W/m <sup>2</sup> .K)	U Hueco (W/m <sup>2</sup> .K)	Calificación Efic. Energ.	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Cons. energ. Prim. (kW.h/m <sup>2</sup> .año)
215	VB	A Coruña	A Coruña	1982	142,7	1,03	5,7	D	32,4	45,91	160,43
216	VB	A Coruña	A Coruña	1991	80	0,73	3,3	F	51,62	130,68	255,55
218	VB	A Coruña	Cambre	1983	104,5	1,6	2,7	G	120,75	135,47	485,62
219	VB	A Coruña	A Coruña	1940	70	0,84	2,7	G	174,91	259,41	705,51
221	VB	A Coruña	Santiago	1960	127,5	0,74	3	E	28,99	94,08	179,12
222	VB	A Coruña	A Coruña	1969	80	1,69	3,3	G	62,89	75,48	252,92
223	VB	Pontevedra	Marín	1980	93,5	0,83	3,67	F	49	91,97	189,31
225	VB	A Coruña	Oleiros	2007	40	0,74	3,3	F	56,26	36,49	235,95
226	VB	A Coruña	A Coruña	1966	88	3	5,7	G	165,73	229,56	666,49
228	VB	A Coruña	Oleiros	2000	95,31	0,45	3,3	G	80,77	114,61	304,37
230	VB	A Coruña	A Coruña	1975	130	1,27	5,7	F	51,31	129,59	254,05
231	VB	Ourense	Ourense	1990	101	0,73	3,3	D	20,33	18	77,13
232	VB	A Coruña	A Coruña	1982	121,6	1,8	3,3	E	35,51	74	134,41
234	VB	A Coruña	A Coruña	2001	101	0,74	3,3	G	61,61	65,92	247,77
237	VB	Pontevedra	Villagarcía	2002	103	0,58	3,3	E	42,15	47,12	175,7
238	VB	A Coruña	A Coruña	1975	95	0,67	5,7	G	152,55	198,51	613,49
240	VB	A Coruña	A Coruña	1985	80,5	0,75	3,3	G	92,37	240,3	456,03
243	VB	A Coruña	Carballo	1959	62	3,06	5,7	G	67,5	174,7	307,35
244	VB	A Coruña	A Coruña	1984	111	0,91	3,3	E	36,82	117,28	182,3
245	VB	A Coruña	Carballo	2003	90	0,62	3,3	F	33,52	111,84	165,95
246	VB	A Coruña	Arteixo	1989	97,4	0,91	3,3	G	113,16	148,08	457,65
247	VB	Lugo	Lugo	1999	88	0,53	3,3	G	208,59	271,22	838,86
252	VB	A Coruña	A Coruña	1967	79	3	3,3	G	173,05	202,09	695,94
253	VB	A Coruña	A Coruña	1975	89,2	0,6	3,3	D	16,42	61,25	73,3
254	VB	A Coruña	A Coruña	2000	42	1,39	3,3	G	87,49	65,89	351,84

ID	Tipo	Provincia	Ayuntamiento	Año const.	Superficie (m <sup>2</sup> )	U –Opaco (W/m <sup>2</sup> .K)	U Hueco (W/m <sup>2</sup> .K)	Calificación Efic. Energ.	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Cons. energ. Prim. (kW.h/m <sup>2</sup> .año)
256	VB	A Coruña	A Coruña	2008	130	0,73	3,3	E	35,05	23,74	194,04
257	VB	A Coruña	A Coruña	1999	105	0,87	3,3	G	93,08	243,16	459,83
258	VB	A Coruña	A Coruña	1997	95	1,05	2,07	E	47,7	146,03	233,86
259	VB	A Coruña	A Coruña	1979	100,64	0,78	2,07	D	22,53	67,9	110,54
260	VB	A Coruña	A Coruña	2005	32,5	0,58	3,3	D	16,86	37,06	80,94
262	VB	A Coruña	A Coruña	1986	64	1,38	2,7	F	49,9	60,39	200,67
263	VB	León	León	1975	150	0,31	3,3	G	145,45	391,22	720,14
264	VB	A Coruña	Cambre	1999	46,15	0,71	3,3	E	35,23	82,43	171,33
265	VB	A Coruña	A Coruña	1976	112	3	3,3	G	79,92	58,14	321,41
268	VB	Pontevedra	A Estrada	1987	40	0,59	3,3	G	84,17	55,72	338,51
269	VB	Ourense	Verín	1996	97	0,75	2,07	G	148,04	196,39	597,11
270	VB	A Coruña	Santiago	1984	152	1,54	3,3	G	124,44	140,61	500,46
271	VB	Pontevedra	Tui	2003	71,25	1,8	3,3	E	45,47	143,96	224,09
275	VB	A Coruña	A Coruña	1985	110	0,87	5,7	G	78,52	69,57	319,59
276	VB	A Coruña	A Coruña	1969	87,2	1,69	6,9	F	51,74	115,78	198,87
277	VB	Lugo	Foz	1994	120	0,74	3,3	E	58,58	94,6	234,18
279	VB	León	Ponferrada	1985	100	0,56	2,07	G	199,08	540,52	985,63
280	VB	León	Ponferrada	1990	110	1,4	3,3	G	106,53	128,71	425,86
281	VB	A Coruña	Cambre	2005	40,2	0,76	3,3	E	31,55	66,87	138,61
282	VB	A Coruña	A Coruña	1999	96	0,72	3,3	E	46,15	146,04	227,26
284	VB	A Coruña	Ames	2004	91	1,8	3,3	E	45,34	122,53	224,47
285	VB	A Coruña	Oleiros	1977	82,12	1,21	2,81	E	41,23	135,05	200,9
287	VB	A Coruña	Santiago	1965	117	1,69	3,3	E	41,69	123,21	203,44
288	VB	A Coruña	A Coruña	2007	74	0,52	3,3	E	30,27	47,07	136,86
289	VB	A Coruña	A Coruña	1978	89,8	3	2,07	G	144,25	178,38	545,03

ID	Tipo	Provincia	Ayuntamiento	Año const.	Superficie (m <sup>2</sup> )	U –Opaco (W/m <sup>2</sup> .K)	U Hueco (W/m <sup>2</sup> .K)	Calificación Efic. Energ.	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Cons. energ. Prim. (kW.h/m <sup>2</sup> .año)
290	VB	Pontevedra	Pontevedra	2005	91,67	0,63	2,07	D	20,66	50,15	99,24
293	VB	A Coruña	A Coruña	2005	35,65	0,69	3,3	G	98,46	79,98	395,96
295	VB	Zamora	Zamora	1999	95	0,44	5,7	D	30,53	54,75	148,24
296	VB	A Coruña	A Coruña	1982	104	1,8	5,7	F	54,76	150,7	271,1
300	VB	A Coruña	A Coruña	1970	65	0,51	3,3	E	32,69	93,69	157,48
301	VB	Ourense	Celanova	1992	142	0,7	3,3	E	36,73	77,98	175,95
302	VB	A Coruña	Betanzos	1970	65,63	0,91	5,7	G	228,1	301,91	920,23
304	VB	A Coruña	A Coruña	1952	160	0,78	3,49	G	71,3	413,4	153,6
305	VB	Lugo	Lugo	2006	115	1,34	3,3	G	99,16	177,78	373,16
306	VB	A Coruña	A Coruña	1975	117	1,69	2,7	D	15,1	25,4	63,71
309	VB	A Coruña	Santiago	1994	54,9	0,7	3,08	F	70,2	403,2	184,7
310	VB	Ourense	Ourense	1987	75,37	0,53	3,2	E	37,1	63,6	218,8
311	VB	A Coruña	A Coruña	1983	135	1,17	2,96	E	24,2	60,7	114,2
314	VB	A Coruña	A Coruña	1973	115	1,53	2,7	E	38,57	79,41	149,9
316	VB	León	Ponferrada	1971	180	0,9	3,78	E	60	127,9	283,6
317	VB	A Coruña	Betanzos	2005	88,2	0,69	3,3	E	42,53	138,96	210,58
319	VB	A Coruña	Carballo	1975	110	0,31	5,7	G	96,02	126,8	386,15
320	VB	A Coruña	Sada	1986	86,35	1,69	3,97	E	43,4	107,7	250,4
321	VB	Pontevedra	Sanxenxo	1988	86,5	0,58	3,3	G	79,01	114,02	311,43
322	VB	A Coruña	A Coruña	2005	82	1,8	3,3	E	46,15	63,08	210,99
324	VB	A Coruña	Sada	1970	68,6	1,38	2,07	G	100,62	140,57	405,12
325	VB	A Coruña	A Coruña	2004	75	0,56	3,08	E	37	25,8	174,6
326	VB	A Coruña	A Coruña	2007	37	0,76	2,72	E	30,2	50,2	175,2
327	VB	A Coruña	A Coruña	1968	73	0,38	3,08	G	66,2	225,3	312,4
329	VB	Pontevedra	Vigo	1974	81	0,8	3,3	G	85,16	133,51	340,92

ID	Tipo	Provincia	Ayuntamiento	Año const.	Superficie (m <sup>2</sup> )	U –Opaco (W/m <sup>2</sup> .K)	U Hueco (W/m <sup>2</sup> .K)	Calificación Efic. Energ.	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Cons. energ. Prim. (kW.h/m <sup>2</sup> .año)
330	VB	León	Ponferrada	1989	99	0,81	2,07	D	39,05	89,04	191,35
331	VB	A Coruña	A Coruña	1969	81	0,69	3,3	G	59,06	60,35	233,97
332	VB	A Coruña	Arteixo	2006	51,3	0,87	3,3	G	126,21	118,84	507,54
334	VB	A Coruña	A Coruña	1985	84,5	1,57	5,7	E	32,3	28,7	164,6
335	VB	A Coruña	A Coruña	1968	75	0,84	3,44	G	74,1	86,4	434,7
337	VB	A Coruña	A Coruña	1982	100	0,64	3,78	E	39,9	74,4	188,9
339	VB	A Coruña	A Coruña	2008	41,05	1,47	3,3	E	33,2	75,7	192,4
340	VB	A Coruña	A Coruña	2001	77	1,8	3,34	E	35,08	81,22	172,52
341	VB	A Coruña	A Coruña	1990	138	0,31	5,1	G	70,2	201,4	397,2
342	VB	Pontevedra	O Porriño	1994	82	1,83	3,42	G	64,8	162,2	369,5
345	VB	Lugo	Lugo	1978	96	1,67	3,09	F	66	121,6	254,3
346	VB	A Coruña	Ézaro	1970	130	1,69	5,7	G	87,6	232,8	505,7
347	VB	A Coruña	A Coruña	1991	80	0,73	3,3	F	49,7	125,34	246,05
348	VB	Lugo	Chantada	2006	99	1,4	2,07	D	38,73	73,37	186,29
350	VB	A Coruña	A Coruña	1990	52,25	0,88	3,78	E	41,4	78,3	219,2
353	VB	Ourense	Ourense	1970	131	1,6	5,7	E	23,9	60,8	114,9
354	VB	Pontevedra	Lalín	1998	204	1,6	2,22	G	72,9	146,7	276,3
355	VB	A Coruña	A Coruña	1972	82	0,81	3,78	G	57,3	168,9	270,5
356	VB	A Coruña	A Coruña	2008	109	0,53	3,78	E	24,3	67,6	114,9
357	VB	Pontevedra	Pontevedra	1996	111	0,53	3,78	E	35,3	72,5	166,8
358	VB	A Coruña	A Coruña	2004	85,05	0,57	2,81	E	32,3	59,7	152,4
359	VB	A Coruña	A Coruña	1999	75	0,69	3,44	G	57,4	128,9	272
362	VB	A Coruña	A Coruña	1964	62,95	1,32	5,7	E	38,6	80,5	220,1
363	VB	A Coruña	Fene	2004	43	0,73	3,52	E	25,8	33,7	152,1
364	VB	A Coruña	A Coruña	1981	96,06	1,8	3,08	E	33	84,5	155,8

ID	Tipo	Provincia	Ayuntamiento	Año const.	Superficie (m <sup>2</sup> )	U –Opaco (W/m <sup>2</sup> .K)	U Hueco (W/m <sup>2</sup> .K)	Calificación Efic. Energ.	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Cons. energ. Prim. (kW.h/m <sup>2</sup> .año)
365	VB	A Coruña	Culleredo	1970	66,96	1,5	3,44	G	58,8	151,9	278,1
367	VB	A Coruña	A Coruña	1990	67	0,48	3,78	E	39,8	95,5	187,9
368	VB	A Coruña	A Coruña	1970	51,28	2	5,7	G	74,2	186	431,4
369	VB	A Coruña	Narón	1976	131,7	1,53	5,7	E	35,4	116,6	167,2
370	VB	A Coruña	A Coruña	1983	135	1,17	3,44	E	25,4	64,8	119,9
371	VB	A Coruña	A Coruña	1910	159,45	1,69	5	E	31,8	71,2	150,3
374	VB	Lugo	Palas de Rei	1990	82	1,29	3,08	G	81,1	155,7	478,8
375	VB	A Coruña	A Coruña	1999	47,19	0,4	2,2	D	18,3	25,1	86,6
376	VB	A Coruña	Órdenes	2008	59,8	0,42	3,78	E	39	58,7	230,2
377	VB	A Coruña	A Coruña	1988	370	0,47	5,7	G	173,9	331,8	665,8
378	VB	Lugo	Villalba	2003	149,19	0,37	3,44	E	41,2	105,7	194,9
380	VB	A Coruña	Oleiros	1999	69	0,87	3,78	E	21,4	38,2	126,5
381	VB	A Coruña	Noia	1996	55	1,8	3,78	E	23,4	65,8	110,6
382	VB	A Coruña	Ames	1994	29,95	1,58	5,7	E	27,98	49,34	132,83
383	VB	A Coruña	A Coruña	1990	52,25	0,88	3,78	E	41,4	78,3	219,2
384	VB	A Coruña	A Coruña	1976	95	0,82	3,44	F	53,8	117,6	254,2
385	VB	A Coruña	A Coruña	1982	100	0,47	3,08	E	42,5	116,3	200,5
386	VB	A Coruña	A Coruña	1997	60	0,57	3,08	E	39,4	92,9	186
388	VB	A Coruña	Santiago	1989	90	0,65	2,84	G	139	116,7	526,8
389	VB	A Coruña	Rianxo	2005	96,17	0,72	2,96	C	12,1	13,5	71,6
390	VB	A Coruña	A Coruña	1970	71,5	0,5	3,78	C	12,5	16,4	59,4
391	VB	A Coruña	A Coruña	1971	62	1,8	5,7	G	82,9	226,4	426,7
392	VB	A Coruña	A Coruña	1940	173	0,81	3,13	F	50,3	69,8	237,4
393	VB	A Coruña	A Coruña	1975	100	0,87	5,7	E	30,15	57,22	119,93
394	VB	A Coruña	Rianxo	2004	107,76	0,58	2,94	E	27,2	61,5	160,5

ID	Tipo	Provincia	Ayuntamiento	Año const.	Superficie (m <sup>2</sup> )	U –Opaco (W/m <sup>2</sup> .K)	U Hueco (W/m <sup>2</sup> .K)	Calificación Efic. Energ.	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Cons. energ. Prim. (kW.h/m <sup>2</sup> .año)
395	VB	León	Toral de los Vados	1991	88,62	0,69	3,78	F	96,1	120,3	244,9
396	VB	A Coruña	A Coruña	1967	73,23	0,53	3,9	E	36,6	66,2	202,6
397	VB	A Coruña	Arteixo	2003	141,3	0,4	3,78	E	45,6	86,5	215,2
399	VB	A Coruña	A Coruña	1987	109	1,8	5,36	E	44,6	150,5	214,6
400	VB	Pontevedra	Pontevedra	2000	67	0,42	2,15	E	33,7	98,3	159,3
401	VB	A Coruña	Ordenes	2007	99,65	0,53	3,44	E	45,9	97,9	216,6
402	VB	Asturias	Siero	1991	84	0,92	3,08	E	42,2	62,9	199,5
405	VB	A Coruña	A Coruña	1944	68,5	1,07	3,78	G	114,6	254	542,7
406	VB	A Coruña	Negreira	1991	137	0,76	2,22	G	73,1	119,6	277,2
407	VB	León	Ponferrada	1989	97	0,7	2,81	E	74,2	235,4	350,6
408	VB	A Coruña	Betanzos	2005	88,2	0,69	3,44	F	50	119,3	236,2
410	VB	A Coruña	A Coruña	2008	41,06	1,47	3,3	E	34,8	80,8	202
413	VB	A Coruña	Carballo	1975	110	1,13	5,7	F	48,8	122,2	287,9
414	VB	A Coruña	Santiago	1993	89	0,97	3,78	E	41,2	122,8	194,5
415	VB	A Coruña	A Coruña	1988	97	1,69	2,22	G	95,8	205,3	452,5
416	VB	A Coruña	A Coruña	1965	82,27	0,63	2,12	E	36,8	83,8	217,1
418	VB	A Coruña	A Coruña	1985	104,4	0,82	1,97	E	38,9	116,7	183,7
419	VB	A Coruña	Boiro	1994	92,5	0,41	5,7	F	46	125,5	217,4
427	VB	A Coruña	A Coruña	1974	103	1,8	5,27	E	35,4	55,8	209,1
					<b>28.178,89</b>	<b>1,22</b>	<b>3,66</b>		<b>62,22</b>	<b>113,86</b>	<b>270,80</b>
					<b>Suma</b>	<b>Valores promedio para Viviendas en bloque</b>					

A1.1.1.3.- Bloque residencial completo

ID	Tipo	Provincia	Ayuntamiento	Año const.	Superficie (m <sup>2</sup> )	U –Opaco (W/m <sup>2</sup> .K)	U Hueco (W/m <sup>2</sup> .K)	Calificación Efic. Energ.	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Cons. energ. Prim. (kW.h/m <sup>2</sup> .año)
121	BC	A Coruña	Sada	2001	3.670,00	0,54	3,3	E	28,23	28,72	117,72
147	BC	Ourense	Ourense	1974	3.288,00	1,6	5,7	F	45,35	52,83	186,63
193	BC	A Coruña	A Coruña	1990	1.968,00	1,8	3,3	D	20,5	44,05	101,51
426	BC	A Coruña	A Coruña	1980	10.848,00	0,75	5,7	E	25,67	58,45	127,11
					<b>19.774,00</b>	<b>1,17</b>	<b>4,50</b>		<b>29,94</b>	<b>46,01</b>	<b>133,24</b>
					<b>Suma</b>	<b>Valores promedio para Bloque residencial completo</b>					

A1.1.1.4.- Datos utilizados para el entrenamiento de la RNA

A1.1.1.4.1.- Vivienda unifamiliar RNA

ID	Tipo	Provincia	Ayuntamiento	Año const.	Superficie (m <sup>2</sup> )	U –Opaco (W/m <sup>2</sup> .K)	U Hueco (W/m <sup>2</sup> .K)	Calificación Efic. Energ.	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Cons. energ. Prim. (kW.h/m <sup>2</sup> .año)
6	VU	A Coruña	A Coruña	1994	324	0,73	3,3	E	42,1	60,38	159,1
23	VU	A Coruña	Miño	1979	78,54	0,69	3,3	G	109,19	130,73	444,34
25	VU	A Coruña	Mugardos	1964	82	2	2,81	G	80,75	182,11	303,89
26	VU	Lugo	Foz	1985	99	0,77	5,7	G	107,3	218,73	457,22
27	VU	A Coruña	Cee	2002	138,72	0,68	3,3	F	65,89	163,68	325,54
32	VU	A Coruña	Bergondo	2003	241,04	0,55	2,6	G	99,17	139,39	393,57
36	VU	Lugo	Lugo	2006	144	1,6	3,3	F	84,88	195,05	319,39
37	VU	Pontevedra	Gondomar	1993	135	0,79	3,15	G	151,04	228,46	606,4
42	VU	Asturias	Coaña	2008	129,52	0,51	3,3	E	48,08	131,78	180,94
47	VU	A Coruña	Teo	1990	327	0,83	2,81	F	54,24	193,81	268,53
54	VU	Pontevedra	Vigo	1960	147	0,8	5,6	E	60,12	141,42	230,23
56	VU	Pontevedra	Vigo	1992	104	0,36	3,3	E	59,82	193,93	296,15
70	VU	Pontevedra	Moaña	1995	115	1,8	2,07	G	181,73	218,77	730,84
76	VU	A Coruña	Ares	1996	254	0,63	3,3	D	23,07	63,87	114,21
79	VU	Pontevedra	Tui	1980	225	2	5,7	F	74,72	162,96	281,16
91	VU	A Coruña	San Sadurniño	1994	123	0,6	3,3	E	52,44	99,87	204,02
93	VU	Ourense	Barbadas	2010	142,2	0,75	3,3	G	61,56	74,49	247,57
94	VU	Ourense	Barbadas	2005	57,85	0,57	3	G	87,37	92,56	351,36
97	VU	A Coruña	Vimianzo	1970	210	0,37	2,7	E	55,46	77,5	209,38
100	VU	Pontevedra	Vigo	1968	154	2,65	3,3	G	134,1	247,63	504,64
104	VU	A Coruña	Culleredo	2005	255	0,76	3,3	C	19,18	50,12	94,98
105	VU	A Coruña	Zas	2005	463	0,57	3,3	E	47,91	95,05	180,84
108	VU	Pontevedra	Mos	2001	300	1	3,3	G	63,95	79,09	257,16



ID	Tipo	Provincia	Ayuntamiento	Año const.	Superficie (m <sup>2</sup> )	U –Opaco (W/m <sup>2</sup> .K)	U Hueco (W/m <sup>2</sup> .K)	Calificación Efic. Energ.	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Cons. energ. Prim. (kW.h/m <sup>2</sup> .año)
111	VU	Pontevedra	Lalín	1998	466	0,66	3,3	E	66,98	121,29	252,37
115	VU	A Coruña	Carballo	1985	106,8	1,03	5,7	G	158,3	295,51	595,69
118	VU	Lugo	Monforte	2001	172,75	0,49	5,7	E	57,85	154,87	284,99
119	VU	A Coruña	Negreira	1983	186	1,69	3,3	G	83,92	184,94	316,38
120	VU	Lugo	Barreiros	1993	101	1,69	3,3	G	107,88	236,64	405,95
122	VU	Lugo	Lugo	2006	144	0,66	3,3	E	60,41	99,95	227,48
123	VU	Pontevedra	Mos	1992	103,74	0,62	5,7	G	110,57	193,95	416,25
132	VU	A Coruña	Trazo	1976	275	0,93	2,81	E	54,3	87,96	204,81
133	VU	Pontevedra	Vila de Cruces	2000	301	0,69	3,3	E	47,48	93,97	179,38
145	VU	A Coruña	Teo	2004	100	1,8	5,7	E	43,43	140,1	214,98
146	VU	A Coruña	Boiro	1970	129,18	1,69	5,7	G	83,17	211,06	410,87
148	VU	A Coruña	Oleiros	1981	144	0,36	2,07	G	79,59	156,68	305,04
149	VU	Pontevedra	Mondariz - Balneario	2007	185	2,6	3,3	C	17,87	130,69	300,37
150	VU	A Coruña	Arteixo	1950	324,18	0,7	3,3	E	38,84	73,9	146,49
152	VU	Lugo	Lugo	1990	101,05	0,99	2,07	D	35,98	78,55	174,85
156	VU	Lugo	Monterroso	2000	129,18	1,69	5,7	G	119,13	313,7	576,6
159	VU	A Coruña	Ponteceso	1984	352	0,58	3,3	E	40,48	84,06	152,33
160	VU	Ourense	Ourense	2007	359	3,15	3,3	D	25,79	30,52	98,17
165	VU	A Coruña	A Coruña	1940	121,25	0,81	3,3	F	68,68	163,78	262,42
166	VU	A Coruña	A Coruña	1980	85	1,69	5,7	E	29,97	73,52	139,34
168	VU	A Coruña	Val do Dubra	1935	94	2,94	3,3	G	137,51	111,21	553,03
169	VU	Pontevedra	A Estrada	2000	180	0,73	2,7	E	39,44	72,83	148,43
170	VU	A Coruña	A Coruña	1964	71	1,32	5,7	G	101,55	101,3	408,4
172	VU	Pontevedra	Pontevedra	1909	654	0,75	3,3	E	43,82	66,26	165,24
176	VU	Lugo	Lourenza	1990	139	0,62	3,3	D	30,76	60,16	120,1

ID	Tipo	Provincia	Ayuntamiento	Año const.	Superficie (m <sup>2</sup> )	U –Opaco (W/m <sup>2</sup> .K)	U Hueco (W/m <sup>2</sup> .K)	Calificación Efic. Energ.	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Cons. energ. Prim. (kW.h/m <sup>2</sup> .año)
177	VU	Pontevedra	Baiona	2000	203	0,69	3,3	G	80,33	141,2	302,27
179	VU	Pontevedra	Bueu	1950	120	1,8	2,07	G	97,6	180,53	374,86
181	VU	A Coruña	Carballo	1987	153,4	1,61	5,7	G	105,84	186,103	468,49
187	VU	A Coruña	Santiago	1987	312,12	0,85	2,07	E	59,63	129,09	282,9
191	VU	Lugo	Lugo	2006	165	1,6	2,07	F	78,9	180,19	296,91
192	VU	Lugo	A Pastoriza	1998	112,32	1,4	3,3	G	92,19	163,45	346,93
195	VU	A Coruña	Ferrol	1989	180	1,51	2,81	F	70,88	193,99	313,72
197	VU	A Coruña	Carral	1998	195	1,8	5,7	F	75,95	173,3	285,81
198	VU	A Coruña	Malpica	1995	164,8	0,39	3,3	F	68,75	133,61	258,69
200	VU	Asturias	Llanes	2008	129,61	0,58	3,3	E	38,28	80,3	144,55
202	VU	Ourense	Ourense	1988	274	0,69	3,3	G	65,53	103,92	291,57
206	VU	Lugo	Villalba	1998	232	0,6	2,08	E	50,16	123,99	247,65
207	VU	Pontevedra	Vigo	1991	177	1,8	2,81	G	71,53	128,42	273,58
209	VU	A Coruña	Sada	2005	160	0,73	3,3	F	48,27	101,16	232,25
217	VU	A Coruña	Oleiros	1993	152,6	2	2,07	G	79,78	163,18	300,21
220	VU	A Coruña	Fisterra	1979	194	1,69	3,3	F	64,69	141,53	454,45
224	VU	Pontevedra	Bueu	1950	144	0,69	2,07	E	50,76	115,07	196,99
227	VU	A Coruña	Ézaro	2000	284	0,71	3,3	E	41,46	59,13	159,53
229	VU	A Coruña	Melide	1991	220	1,8	5,7	G	92,2	161,22	346,95
233	VU	Asturias	Cudillero	1999	130	0,59	5,7	G	59,04	137,78	227,84
235	VU	A Coruña	Santiago	2000	250	0,72	3,3	E	40,36	84,12	152,21
236	VU	Pontevedra	Poio	1985	321	0,82	2,07	D	29,99	42,22	118,12
239	VU	A Coruña	Cerceda	1993	128	1,69	5,7	G	119,22	147,56	479,47
241	VU	Asturias	Boal	1930	70,5	2,94	3,3	G	129,91	313,79	488,87
242	VU	Pontevedra	Salvaterra do Miño	2004	262	0,67	3,3	D	25,25	64,87	123,26

ID	Tipo	Provincia	Ayuntamiento	Año const.	Superficie (m <sup>2</sup> )	U –Opaco (W/m <sup>2</sup> .K)	U Hueco (W/m <sup>2</sup> .K)	Calificación Efic. Energ.	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Cons. energ. Prim. (kW.h/m <sup>2</sup> .año)
248	VU	León	Albarés de la Rivera	2014	101	0,6	3,3	E	87,75	210,59	334,51
249	VU	A Coruña	Teo	1992	123	1,37	3,3	G	94,64	189,43	376,24
250	VU	A Coruña	Mesía	1963	116,09	0,63	5,7	G	169,61	220,16	682,11
251	VU	Pontevedra	Cangas	2000	229	0,64	3,3	E	40,72	85,16	157,77
255	VU	Pontevedra	Barro	1999	200	0,65	3,3	E	34,31	84,2	163,2
261	VU	A Coruña	Oleiros	2000	312	0,63	2,07	G	155,46	275,07	623,93
266	VU	A Coruña	Ferrol	1940	115	0,51	5,7	F	65,57	143,18	255,43
267	VU	Lugo	Friol	1993	128,74	0,81	3,3	G	96,85	226,95	364,64
272	VU	A Coruña	Camariñas	1980	121	0,98	3,3	C	14,62	43,88	62,83
273	VU	A Coruña	Cee	2002	138,72	0,71	3,3	G	102,87	266,96	508,76
274	VU	A Coruña	Betanzos	1975	89,12	2,05	3,3	E	42,38	192,79	422,86
278	VU	Pontevedra	Cangas	1992	414,76	1,41	5,7	E	57,85	98,97	217,71
283	VU	A Coruña	Ferrol	1960	220	1,46	3,3	F	62,75	147,31	243,73
286	VU	Pontevedra	Barro	1999	200	0,65	3,3	E	34,31	84,2	163,52
291	VU	A Coruña	Cambre	2004	207	0,39	3,3	F	69,11	125,79	260,08
292	VU	Pontevedra	Vigo	2000	236,94	0,68	3,3	G	102,99	236,13	471,75
294	VU	Pontevedra	Redondela	1984	156	0,85	2,07	E	35,38	57,14	133,12
297	VU	A Coruña	Carballo	1972	124,76	1,4	3,3	G	197,45	163,68	976,95
298	VU	Lugo	Lourenza	1993	96	0,7	3,3	E	38,55	90,17	168,33
299	VU	A Coruña	Oleiros	1990	200	0,59	2,8	E	43,17	132,83	213,15
303	VU	Pontevedra	Cotobade	2004	130	0,86	3,78	E	45,9	270,1	136,7
307	VU	Pontevedra	Vigo	1950	257,91	0,63	3,3	E	55,34	75,58	209,52
					<b>17.924,39</b>	<b>1,08</b>	<b>3,58</b>		<b>71,91</b>	<b>141,57</b>	<b>300,38</b>
					<b>Suma</b>	<b>Valores promedio para Vivienda Unifamiliar (RNA)</b>					

A1.1.1.4.2.- Vivienda en bloque RNA

ID	Tipo	Provincia	Ayuntamiento	Año const.	Superficie (m <sup>2</sup> )	U –Opaco (W/m <sup>2</sup> .K)	U Hueco (W/m <sup>2</sup> .K)	Calificación Efic. Energ.	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Cons. energ. Prim. (kW.h/m <sup>2</sup> .año)
1	VB	A Coruña	A Coruña	1984	43	1,8	5,7	D	18,39	36,56	91,04
2	VB	A Coruña	A Coruña	1983	118	2,07	4,6	F	50,21	194,5	242,78
3	VB	A Coruña	Ribeira	2003	95	0,98	3,3	G	170,7	208,54	686,48
4	VB	A Coruña	A Coruña	1974	98	3	3,3	E	44,27	86,19	215,48
5	VB	A Coruña	Ferrol	1972	91,3	1,68	5,7	D	18,47	51,81	91,47
7	VB	Pontevedra	Ponteareas	1960	300	1,68	3,3	E	42,76	99,57	203,42
8	VB	León	Ponferrada	1983	81,66	0,57	2,81	E	71,25	238,4	352,76
9	VB	Pontevedra	Bueu	1984	112	1,8	5,7	F	48,13	92,86	211,95
10	VB	A Coruña	A Coruña	2000	92,7	0,54	2,07	D	21,39	54,32	103,72
11	VB	A Coruña	Ferrol	1984	113,7	0,83	2,07	E	26,03	72,42	127,06
12	VB	Pontevedra	Bueu	1987	87,47	1,8	5,7	G	58,4	95,62	257,02
13	VB	A Coruña	Vimianzo	2003	48	0,88	3,3	G	86,07	141,13	332,17
14	VB	A Coruña	A Coruña	1980	125	0,72	2,07	G	86,06	224,81	426,06
15	VB	A Coruña	A Coruña	1984	46	1,8	2,07	G	141,14	279,56	698,76
16	VB	A Coruña	A Coruña	2002	65,1	0,69	3,3	G	71,82	16,09	288,83
17	VB	A Coruña	A Coruña	2007	154	0,63	3,3	D	21,23	41,32	103,53
18	VB	Pontevedra	Tuy	2003	71,21	1,8	3,3	E	30,22	84,66	147,2
19	VB	A Coruña	Sada	1989	54	0,73	3,3	E	26,78	39,99	107,78
20	VB	A Coruña	A Coruña	2001	84,8	1,8	3,3	D	15,66	42,37	77,51
21	VB	A Coruña	Carballo	1985	80,5	1,4	3,3	E	51,91	137,46	257,02
22	VB	A Coruña	Culleredo	2000	155	1,8	2,81	D	17,28	30,4	69,92
24	VB	A Coruña	A Coruña	1960	95	1,4	3,3	F	55,08	130,45	212,01
28	VB	A Coruña	A Coruña	1964	74	1,8	3,3	E	39,68	123,52	195,24
29	VB	A Coruña	A Coruña	2007	105	0,53	2,07	G	117,54	287,66	573,05

ID	Tipo	Provincia	Ayuntamiento	Año const.	Superficie (m <sup>2</sup> )	U –Opaco (W/m <sup>2</sup> .K)	U Hueco (W/m <sup>2</sup> .K)	Calificación Efic. Energ.	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Cons. energ. Prim. (kW.h/m <sup>2</sup> .año)
30	VB	A Coruña	A Coruña	1983	88	0,6	2,07	D	16,87	31,48	68,16
31	VB	A Coruña	A Coruña	1997	70	1,8	2,07	E	30,32	65,56	148,17
33	VB	A Coruña	A Coruña	2004	90	1,69	3,3	E	36,41	79,06	175,04
34	VB	Lugo	Sarria	1970	91	1,69	2,81	G	250,27	375,19	1107,75
35	VB	A Coruña	Ames	2005	88,1	0,55	3,3	E	26,64	71,49	129,34
38	VB	A Coruña	A Coruña	1974	93	3	5,7	F	52,89	134,24	261,88
39	VB	A Coruña	As Pontes	1982	105	0,62	2,81	G	161,02	159,17	647,56
40	VB	A Coruña	A Coruña	1971	84	0,63	3,3	E	40,11	125,39	197,64
41	VB	Lugo	Barreiros	1986	105	0,61	2,07	D	30,26	69,08	118,43
43	VB	A Coruña	Ares	1997	90	0,74	3,3	G	127,91	70,93	516,52
44	VB	A Coruña	A Coruña	1972	83	2,38	5,7	E	30,06	63,91	116,82
45	VB	A Coruña	Corcubión	1990	87	0,98	3,3	C	14,47	42,81	62,24
46	VB	A Coruña	A Coruña	1998	86,22	0,81	3,3	D	16,59	47,56	80,6
48	VB	A Coruña	Cariño	2001	275	1,8	3,3	G	196,75	147,22	795,58
49	VB	A Coruña	A Coruña	1985	80	1,69	5,7	E	40,87	91,12	154,72
50	VB	Lugo	Mondoñedo	2007	162,48	0,55	2,6	E	62,81	124,32	237
51	VB	Pontevedra	Pontevedra	2005	123	0,63	2,07	C	22,69	39,64	110,41
52	VB	A Coruña	A Coruña	1964	72	1,25	3,3	G	212,39	191,18	856,14
53	VB	A Coruña	A Coruña	1975	122	1,69	5,7	G	101,65	251,01	386,24
55	VB	A Coruña	A Coruña	2002	85	0,73	2,07	D	17,42	32,78	84,29
57	VB	A Coruña	A Coruña	1969	150	3	3,3	G	70,79	71,08	284,67
58	VB	Ourense	Ourense	1991	98	0,56	3,3	G	48,67	80,31	183,6
59	VB	A Coruña	A Coruña	1994	77	1,8	3,3	G	70,91	119,07	273,39
60	VB	A Coruña	A Coruña	1966	78	3	3,3	G	70,35	101,57	284,7
61	VB	A Coruña	A Coruña	2007	87,75	0,85	3,3	D	15,57	39,09	76,31

ID	Tipo	Provincia	Ayuntamiento	Año const.	Superficie (m <sup>2</sup> )	U –Opaco (W/m <sup>2</sup> .K)	U Hueco (W/m <sup>2</sup> .K)	Calificación Efic. Energ.	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Cons. energ. Prim. (kW.h/m <sup>2</sup> .año)
62	VB	A Coruña	A Coruña	1981	108	1,8	2,74	D	12,67	37,72	62,72
63	VB	Lugo	Lugo	1997	119,71	0,87	3,3	G	96,27	190,91	362,47
64	VB	A Coruña	A Coruña	1963	60	2,07	5,7	G	136,08	218,39	522,76
65	VB	Lugo	Viveiro	1994	105,16	0,81	3,3	E	45,01	56,29	183,38
66	VB	A Coruña	A Coruña	1971	88	3	5,7	E	40,38	98,86	191,77
67	VB	A Coruña	A Coruña	1975	112	0,4	2,11	D	18,97	47,83	92,26
68	VB	A Coruña	A Coruña	1973	112	3	3,3	E	26,1	68,08	126,26
69	VB	León	León	1973	88,12	1,61	5,7	E	42,51	129,69	208,63
71	VB	A Coruña	A Coruña	1984	96,6	0,7	2,81	G	77,84	69,6	313,04
72	VB	A Coruña	A Coruña	2003	52	1,8	3,3	G	141,6	114,13	569,47
73	VB	A Coruña	Ferrol	1971	65	1,46	3,3	G	77,96	189,8	299,7
74	VB	A Coruña	A Coruña	1998	118	0,6	3,3	F	50,16	112,45	188,75
75	VB	A Coruña	Noia	1992	152,69	0,52	2,82	G	80,6	75,76	324,14
77	VB	León	Ponferrada	1984	90	1,69	5,7	F	86,65	185,02	429,02
78	VB	A Coruña	A Coruña	1970	55	0,73	3,3	G	89,61	206,78	341,21
80	VB	A Coruña	A Coruña	1981	235	1,8	3,3	E	26,94	58,78	132,31
81	VB	A Coruña	A Coruña	1968	60	1,69	3,3	E	24,45	48,15	97,92
82	VB	A Coruña	A Coruña	1974	106	0,54	2,81	D	17,72	18,84	74,71
83	VB	A Coruña	Carballo	2008	95	2,59	3,6	G	108,71	108,33	437,17
84	VB	A Coruña	A Coruña	1975	81,2	0,81	2,87	E	34,23	58,82	131,84
85	VB	A Coruña	A Coruña	1978	179	3	3,3	G	99,66	115,22	400,77
86	VB	A Coruña	A Coruña	1970	91	1,69	5,7	G	71,47	165,6	275,41
87	VB	Pontevedra	Lalín	2010	106	1,03	3,3	E	52,1	85,05	209,51
88	VB	A Coruña	Oroso	1999	81	0,74	2,07	D	18,53	47,34	90,37
89	VB	A Coruña	Padrón	1999	98	0,32	3,3	G	92,74	102,47	369

ID	Tipo	Provincia	Ayuntamiento	Año const.	Superficie (m <sup>2</sup> )	U –Opaco (W/m <sup>2</sup> .K)	U Hueco (W/m <sup>2</sup> .K)	Calificación Efic. Energ.	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Cons. energ. Prim. (kW.h/m <sup>2</sup> .año)
90	VB	Pontevedra	Vilagarcía	1985	104	1,8	5,7	G	75,28	212,08	372,73
92	VB	A Coruña	Camariñas	1976	63	1,69	5,7	G	209,78	265,06	843,66
95	VB	A Coruña	A Coruña	1967	64	3	5,7	E	37,69	115,07	185,23
96	VB	A Coruña	A Coruña	1975	76	3	5,7	F	57,31	137,52	221,21
98	VB	A Coruña	A Coruña	1971	56	0,35	3,3	G	145,55	306,49	560,28
99	VB	A Coruña	Culleredo	2006	58	0,75	3,3	E	36,62	93,9	175,36
101	VB	A Coruña	Oleiros	1989	105	0,8	2,7	E	31,84	81,95	140,64
102	VB	A Coruña	A Coruña	1969	111	1,8	5,7	D	20,45	112,48	101,26
103	VB	A Coruña	A Coruña	1975	89,2	0,6	3,3	D	16,42	61,25	73,3
106	VB	A Coruña	Oleiros	1978	79	3	5,7	G	106,26	220,21	405,53
107	VB	Ourense	Ourense	1999	81,9	0,83	2,04	E	44,8	56,75	169,31
109	VB	A Coruña	A Coruña	1997	150	0,81	3,3	F	56,35	98,08	216,92
110	VB	A Coruña	Pontedeume	1993	102	0,62	2,07	G	65,3	66,29	262,6
112	VB	A Coruña	A Coruña	1949	80	2	3,3	G	70,23	69,52	282,45
113	VB	A Coruña	A Coruña	1980	172,9	0,69	3,3	D	16,52	14,3	65,03
114	VB	Asturias	Candás	1992	90	1,65	5,7	G	108,78	129,92	437,47
116	VB	A Coruña	A Coruña	1950	92	1,16	5,7	F	74,64	90,69	306,12
117	VB	A Coruña	A Coruña	1990	85	1,69	3,3	D	19,91	57,59	97,3
124	VB	A Coruña	A Coruña	1970	75	1,69	2,07	E	45,37	83,86	174,17
125	VB	A Coruña	Carballo	2005	73,26	0,81	3,3	F	57,26	201,96	283,49
126	VB	A Coruña	A Coruña	1973	92	3	3,3	G	60,82	146,7	234,43
127	VB	A Coruña	A Coruña	1990	88	0,62	2,81	G	82,07	195,26	406,33
128	VB	A Coruña	A Coruña	1950	92	1,14	5,7	F	74,64	90,69	306,12
129	VB	A Coruña	A Coruña	1950	92	1,14	5,7	F	74,64	90,69	306,12
130	VB	A Coruña	Culleredo	1991	99	0,5	3,3	G	69,89	63,85	281,05

ID	Tipo	Provincia	Ayuntamiento	Año const.	Superficie (m <sup>2</sup> )	U –Opaco (W/m <sup>2</sup> .K)	U Hueco (W/m <sup>2</sup> .K)	Calificación Efic. Energ.	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Cons. energ. Prim. (kW.h/m <sup>2</sup> .año)
131	VB	A Coruña	A Coruña	2008	44	0,53	3,3	E	39,42	17,43	156,8
134	VB	Lugo	Monterroso	1998	127	0,87	3,3	E	41,89	48,54	173
135	VB	Asturias	Gijón	1963	89	0,56	3,3	G	65,78	170,13	325,7
136	VB	A Coruña	Arteixo	2006	89	1,8	3,3	E	40,21	74,24	197,22
137	VB	A Coruña	A Coruña	1990	121	0,8	5,7	E	45,02	84,17	177,06
138	VB	A Coruña	Ferrol	1960	86,25	1,72	5,7	F	50,21	118,98	194,51
139	VB	A Coruña	Ferrol	2005	87	0,81	3,5	E	45,37	138,39	222,21
140	VB	A Coruña	A Coruña	1990	75	0,8	5,7	G	111,04	158,49	448,84
141	VB	A Coruña	A Coruña	1971	79	3	5,7	G	92,28	126,18	373,58
142	VB	Pontevedra	A Estrada	1992	178	0,85	2,07	E	23,3	49,75	114,65
143	VB	A Coruña	Betanzos	1970	78	3	5,7	G	60,98	139,84	235,74
144	VB	A Coruña	A Coruña	1984	84	1,8	3,3	E	34,27	60,1	136,24
151	VB	A Coruña	A Coruña	1981	96	0,72	3,3	D	17,2	42,42	83,72
153	VB	A Coruña	A Coruña	1990	124	2	3,3	G	68,32	174,94	337,52
154	VB	A Coruña	A Coruña	1910	110	0,61	6,8	E	28,34	61	109,7
155	VB	Pontevedra	Villagarcía	2002	103	0,58	3,3	E	42,15	47,12	175,7
157	VB	A Coruña	Carballo	2006	51,92	0,59	2,8	E	44,98	43,05	180,91
158	VB	A Coruña	Carballo	2006	51,92	0,59	2,8	E	44,98	43,05	180,91
161	VB	A Coruña	Pontedeume	1994	137	1,8	2,7	G	107,77	124,79	433,39
162	VB	A Coruña	A Coruña	1966	73,88	1,69	5,7	F	50,01	57,14	195,45
163	VB	A Coruña	A Coruña	1950	60	0,61	3,3	G	57,95	179,86	283,71
164	VB	Pontevedra	Vigo	1981	93	1,8	3,3	E	45,4	74,9	177,16
167	VB	A Coruña	A Coruña	1991	85	1,8	3,3	G	175,37	221,65	705,24
171	VB	A Coruña	A Coruña	1980	170	3	3,3	G	140,7	141,62	565,85
173	VB	A Coruña	Cambre	1983	83,1	1,8	3,3	E	44,29	143,72	219,28



ID	Tipo	Provincia	Ayuntamiento	Año const.	Superficie (m <sup>2</sup> )	U –Opaco (W/m <sup>2</sup> .K)	U Hueco (W/m <sup>2</sup> .K)	Calificación Efic. Energ.	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Cons. energ. Prim. (kW.h/m <sup>2</sup> .año)
174	VB	A Coruña	A Coruña	1949	118	1,8	3,3	E	30,04	86,79	147,01
175	VB	A Coruña	A Coruña	1949	118	1,8	3,3	E	30,04	86,79	147,01
178	VB	A Coruña	A Coruña	1976	112	3	3,3	G	79,92	58,14	321,41
180	VB	A Coruña	A Coruña	1967	68	2,64	5,7	G	75,22	196,41	372,43
182	VB	A Coruña	Narón	2006	100	1,87	5,7	E	32,22	112,25	158,75
183	VB	Asturias	Oviedo	2000	101	0,69	3,3	E	43,7	141,64	216,37
184	VB	A Coruña	A Coruña	1999	70	1,69	5,7	E	27,01	106,11	133,71
185	VB	A Coruña	A Coruña	1984	111	3,13	2,07	E	23,63	44,76	94,64
186	VB	León	Ponferrada	1984	89	1,69	2,7	G	109,4	123,78	439,94
188	VB	Lugo	Burela	1987	129	1,4	5,7	E	53,51	87,67	232,78
189	VB	León	León	1900	150	1,4	3,3	E	58,23	143,09	286,54
190	VB	A Coruña	A Coruña	1968	84	1,69	5,7	G	220,83	160,25	888,07
194	VB	Pontevedra	Lalín	1998	99	0,89	3,3	C	21,78	45,49	95,65
196	VB	Lugo	Viveiro	1994	105,16	0,81	3,3	E	51,06	58,38	209,54
199	VB	A Coruña	A Coruña	2007	95	0,67	3,3	G	129,65	168,86	521,39
201	VB	A Coruña	A Coruña	1996	150	1,03	3,3	G	59,08	157,6	209,63
203	VB	León	Ponferrada	1984	89	0,62	2,7	E	73,48	107,53	287,37
204	VB	A Coruña	Culleredo	1991	89,2	0,75	3,3	G	116,7	129,74	469,32
205	VB	A Coruña	Culleredo	2002	101	0,72	3,3	E	39,31	115,28	191,86
208	VB	A Coruña	A Coruña	1964	81	1,03	3,3	F	55,48	118,6	255,17
210	VB	A Coruña	Carballo	1987	80	1,8	5,7	E	35,72	73,7	138,8
211	VB	A Coruña	A Coruña	1988	99	0,78	3,6	F	56,43	84,31	229,26
212	VB	A Coruña	A Coruña	1982	106	1,8	3,3	E	38,94	51,21	151,54
213	VB	A Coruña	Oleiros	2009	81	0,73	3,3	C	11,81	51,59	56,59
214	VB	A Coruña	Cambre	1993	88,7	0,61	3,3	E	39,59	40,96	159,21

ID	Tipo	Provincia	Ayuntamiento	Año const.	Superficie (m <sup>2</sup> )	U –Opaco (W/m <sup>2</sup> .K)	U Hueco (W/m <sup>2</sup> .K)	Calificación Efic. Energ.	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Cons. energ. Prim. (kW.h/m <sup>2</sup> .año)
215	VB	A Coruña	A Coruña	1982	142,7	1,03	5,7	D	32,4	45,91	160,43
216	VB	A Coruña	A Coruña	1991	80	0,73	3,3	F	51,62	130,68	255,55
218	VB	A Coruña	Cambre	1983	104,5	1,6	2,7	G	120,75	135,47	485,62
219	VB	A Coruña	A Coruña	1940	70	0,84	2,7	G	174,91	259,41	705,51
221	VB	A Coruña	Santiago	1960	127,5	0,74	3	E	28,99	94,08	179,12
222	VB	A Coruña	A Coruña	1969	80	1,69	3,3	G	62,89	75,48	252,92
223	VB	Pontevedra	Marín	1980	93,5	0,83	3,67	F	49	91,97	189,31
225	VB	A Coruña	Oleiros	2007	40	0,74	3,3	F	56,26	36,49	235,95
226	VB	A Coruña	A Coruña	1966	88	3	5,7	G	165,73	229,56	666,49
228	VB	A Coruña	Oleiros	2000	95,31	0,45	3,3	G	80,77	114,61	304,37
230	VB	A Coruña	A Coruña	1975	130	1,27	5,7	F	51,31	129,59	254,05
231	VB	Ourense	Ourense	1990	101	0,73	3,3	D	20,33	18	77,13
232	VB	A Coruña	A Coruña	1982	121,6	1,8	3,3	E	35,51	74	134,41
234	VB	A Coruña	A Coruña	2001	101	0,74	3,3	G	61,61	65,92	247,77
237	VB	Pontevedra	Villagarcía	2002	103	0,58	3,3	E	42,15	47,12	175,7
238	VB	A Coruña	A Coruña	1975	95	0,67	5,7	G	152,55	198,51	613,49
240	VB	A Coruña	A Coruña	1985	80,5	0,75	3,3	G	92,37	240,3	456,03
243	VB	A Coruña	Carballo	1959	62	3,06	5,7	G	67,5	174,7	307,35
244	VB	A Coruña	A Coruña	1984	111	0,91	3,3	E	36,82	117,28	182,3
245	VB	A Coruña	Carballo	2003	90	0,62	3,3	F	33,52	111,84	165,95
246	VB	A Coruña	Arteixo	1989	97,4	0,91	3,3	G	113,16	148,08	457,65
247	VB	Lugo	Lugo	1999	88	0,53	3,3	G	208,59	271,22	838,86
252	VB	A Coruña	A Coruña	1967	79	3	3,3	G	173,05	202,09	695,94
253	VB	A Coruña	A Coruña	1975	89,2	0,6	3,3	D	16,42	61,25	73,3
254	VB	A Coruña	A Coruña	2000	42	1,39	3,3	G	87,49	65,89	351,84

ID	Tipo	Provincia	Ayuntamiento	Año const.	Superficie (m <sup>2</sup> )	U –Opaco (W/m <sup>2</sup> .K)	U Hueco (W/m <sup>2</sup> .K)	Calificación Efic. Energ.	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Cons. energ. Prim. (kW.h/m <sup>2</sup> .año)
256	VB	A Coruña	A Coruña	2008	130	0,73	3,3	E	35,05	23,74	194,04
257	VB	A Coruña	A Coruña	1999	105	0,87	3,3	G	93,08	243,16	459,83
258	VB	A Coruña	A Coruña	1997	95	1,05	2,07	E	47,7	146,03	233,86
259	VB	A Coruña	A Coruña	1979	100,64	0,78	2,07	D	22,53	67,9	110,54
260	VB	A Coruña	A Coruña	2005	32,5	0,58	3,3	D	16,86	37,06	80,94
262	VB	A Coruña	A Coruña	1986	64	1,38	2,7	F	49,9	60,39	200,67
263	VB	León	León	1975	150	0,31	3,3	G	145,45	391,22	720,14
264	VB	A Coruña	Cambre	1999	46,15	0,71	3,3	E	35,23	82,43	171,33
265	VB	A Coruña	A Coruña	1976	112	3	3,3	G	79,92	58,14	321,41
268	VB	Pontevedra	A Estrada	1987	40	0,59	3,3	G	84,17	55,72	338,51
269	VB	Ourense	Verín	1996	97	0,75	2,07	G	148,04	196,39	597,11
270	VB	A Coruña	Santiago	1984	152	1,54	3,3	G	124,44	140,61	500,46
271	VB	Pontevedra	Tui	2003	71,25	1,8	3,3	E	45,47	143,96	224,09
275	VB	A Coruña	A Coruña	1985	110	0,87	5,7	G	78,52	69,57	319,59
276	VB	A Coruña	A Coruña	1969	87,2	1,69	6,9	F	51,74	115,78	198,87
277	VB	Lugo	Foz	1994	120	0,74	3,3	E	58,58	94,6	234,18
279	VB	León	Ponferrada	1985	100	0,56	2,07	G	199,08	540,52	985,63
280	VB	León	Ponferrada	1990	110	1,4	3,3	G	106,53	128,71	425,86
281	VB	A Coruña	Cambre	2005	40,2	0,76	3,3	E	31,55	66,87	138,61
282	VB	A Coruña	A Coruña	1999	96	0,72	3,3	E	46,15	146,04	227,26
284	VB	A Coruña	Ames	2004	91	1,8	3,3	E	45,34	122,53	224,47
285	VB	A Coruña	Oleiros	1977	82,12	1,21	2,81	E	41,23	135,05	200,9
287	VB	A Coruña	Santiago	1965	117	1,69	3,3	E	41,69	123,21	203,44
288	VB	A Coruña	A Coruña	2007	74	0,52	3,3	E	30,27	47,07	136,86
289	VB	A Coruña	A Coruña	1978	89,8	3	2,07	G	144,25	178,38	545,03

ID	Tipo	Provincia	Ayuntamiento	Año const.	Superficie (m <sup>2</sup> )	U –Opaco (W/m <sup>2</sup> .K)	U Hueco (W/m <sup>2</sup> .K)	Calificación Efic. Energ.	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Cons. energ. Prim. (kW.h/m <sup>2</sup> .año)
290	VB	Pontevedra	Pontevedra	2005	91,67	0,63	2,07	D	20,66	50,15	99,24
293	VB	A Coruña	A Coruña	2005	35,65	0,69	3,3	G	98,46	79,98	395,96
295	VB	Zamora	Zamora	1999	95	0,44	5,7	D	30,53	54,75	148,24
296	VB	A Coruña	A Coruña	1982	104	1,8	5,7	F	54,76	150,7	271,1
300	VB	A Coruña	A Coruña	1970	65	0,51	3,3	E	32,69	93,69	157,48
301	VB	Ourense	Celanova	1992	142	0,7	3,3	E	36,73	77,98	175,95
302	VB	A Coruña	Betanzos	1970	65,63	0,91	5,7	G	228,1	301,91	920,23
304	VB	A Coruña	A Coruña	1952	160	0,78	3,49	G	71,3	413,4	153,6
305	VB	Lugo	Lugo	2006	115	1,34	3,3	G	99,16	177,78	373,16
306	VB	A Coruña	A Coruña	1975	117	1,69	2,7	D	15,1	25,4	63,71
309	VB	A Coruña	Santiago	1994	54,9	0,7	3,08	F	70,2	403,2	184,7
310	VB	Ourense	Ourense	1987	75,37	0,53	3,2	E	37,1	63,6	218,8
311	VB	A Coruña	A Coruña	1983	135	1,17	2,96	E	24,2	60,7	114,2
314	VB	A Coruña	A Coruña	1973	115	1,53	2,7	E	38,57	79,41	149,9
316	VB	León	Ponferrada	1971	180	0,9	3,78	E	60	127,9	283,6
317	VB	A Coruña	Betanzos	2005	88,2	0,69	3,3	E	42,53	138,96	210,58
319	VB	A Coruña	Carballo	1975	110	0,31	5,7	G	96,02	126,8	386,15
320	VB	A Coruña	Sada	1986	86,35	1,69	3,97	E	43,4	107,7	250,4
321	VB	Pontevedra	Sanxenxo	1988	86,5	0,58	3,3	G	79,01	114,02	311,43
322	VB	A Coruña	A Coruña	2005	82	1,8	3,3	E	46,15	63,08	210,99
324	VB	A Coruña	Sada	1970	68,6	1,38	2,07	G	100,62	140,57	405,12
325	VB	A Coruña	A Coruña	2004	75	0,56	3,08	E	37	25,8	174,6
326	VB	A Coruña	A Coruña	2007	37	0,76	2,72	E	30,2	50,2	175,2
327	VB	A Coruña	A Coruña	1968	73	0,38	3,08	G	66,2	225,3	312,4
329	VB	Pontevedra	Vigo	1974	81	0,8	3,3	G	85,16	133,51	340,92

ID	Tipo	Provincia	Ayuntamiento	Año const.	Superficie (m <sup>2</sup> )	U –Opaco (W/m <sup>2</sup> .K)	U Hueco (W/m <sup>2</sup> .K)	Calificación Efic. Energ.	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Cons. energ. Prim. (kW.h/m <sup>2</sup> .año)
330	VB	León	Ponferrada	1989	99	0,81	2,07	D	39,05	89,04	191,35
331	VB	A Coruña	A Coruña	1969	81	0,69	3,3	G	59,06	60,35	233,97
332	VB	A Coruña	Arteixo	2006	51,3	0,87	3,3	G	126,21	118,84	507,54
334	VB	A Coruña	A Coruña	1985	84,5	1,57	5,7	E	32,3	28,7	164,6
335	VB	A Coruña	A Coruña	1968	75	0,84	3,44	G	74,1	86,4	434,7
337	VB	A Coruña	A Coruña	1982	100	0,64	3,78	E	39,9	74,4	188,9
339	VB	A Coruña	A Coruña	2008	41,05	1,47	3,3	E	33,2	75,7	192,4
340	VB	A Coruña	A Coruña	2001	77	1,8	3,34	E	35,08	81,22	172,52
341	VB	A Coruña	A Coruña	1990	138	0,31	5,1	G	70,2	201,4	397,2
342	VB	Pontevedra	O Porriño	1994	82	1,83	3,42	G	64,8	162,2	369,5
345	VB	Lugo	Lugo	1978	96	1,67	3,09	F	66	121,6	254,3
346	VB	A Coruña	Ézaro	1970	130	1,69	5,7	G	87,6	232,8	505,7
347	VB	A Coruña	A Coruña	1991	80	0,73	3,3	F	49,7	125,34	246,05
348	VB	Lugo	Chantada	2006	99	1,4	2,07	D	38,73	73,37	186,29
350	VB	A Coruña	A Coruña	1990	52,25	0,88	3,78	E	41,4	78,3	219,2
					<b>22.925,90</b>	<b>1,27</b>	<b>3,64</b>		<b>65,16</b>	<b>115,69</b>	<b>279,51</b>
					<b>Suma</b>	<b>Valores promedio para Viviendas en Bloque (RNA)</b>					

### A1.1.2.- Uso terciario

#### A1.1.2.1.- Edificios Comerciales

ID	Tipo	Provincia	Ayuntamiento	Año const.	Superficie (m <sup>2</sup> )	U –Opaco (W/m <sup>2</sup> .K)	U Hueco (W/m <sup>2</sup> .K)	Calificación Efic. Energ.	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Cons. energ. Prim. (kW.h/m <sup>2</sup> .año)
428	EC	A Coruña	A Coruña	2006	50.593,00	0,64	3,78	C	13,4	21,8	79,1
429	EC	A Coruña	A Coruña	2007	66.634,00	0,57	3,78	F	15,2	17,4	89,6
430	EC	Pontevedra	Vigo	2002	13.466,00	0,57	3,78	D	34,6	121,2	203,8
431	EC	A Coruña	A Coruña	1995	19.129,00	0,81	3,78	D	23,6	65,5	139,2
437	EC	A Coruña	A Coruña	1986	45.047,00	0,69	3,78	C	18,5	27,9	109,3
438	EC	A Coruña	A Coruña	2007	11.548,00	0,62	3,44	C	30,8	79,6	181,8
439	EC	Asturias	Avilés	2002	25.713,00	0,62	2,12	C	20,1	32,3	118,3
440	EC	León	León	2004	46.501,00	0,62	3,78	C	30,5	43,7	180
441	EC	Lugo	Lugo	1993	21.485,00	0,62	3,78	D	25,6	73,6	151
442	EC	A Coruña	Cambre	1970	21.214,00	0,81	3,78	G	74,3	91,4	438,5
					<b>321.330,00</b>	<b>0,66</b>	<b>3,58</b>		<b>28,66</b>	<b>57,44</b>	<b>169,06</b>
					<b>Suma</b>	<b>Valores promedio para Edificios Comerciales</b>					

A1.1.2.2.- Edificios Públicos

ID	Tipo	Provincia	Ayuntamiento	Año const.	Superficie (m <sup>2</sup> )	U –Opaco (W/m <sup>2</sup> .K)	U Hueco (W/m <sup>2</sup> .K)	Calificación Efic. Energ.	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Cons. energ. Prim. (kW.h/m <sup>2</sup> .año)
421	EP	A Coruña	A Coruña	1995	13.819,00	0,62	3,3	C	35,42	47,63	138,5
422	EP	A Coruña	A Coruña	2006	3.905,71	1,8	3,12	C	56,6	104,2	287,8
423	EP	A Coruña	A Coruña	1995	11.403,30	0,68	4,07	D	33,5	38,2	169,2
424	EP	A Coruña	A Coruña	1995	2.149,60	0,54	3,3	C	56,61	42,62	227,65
425	EP	A Coruña	Ferrol	1945	6.896,75	0,76	2,81	C	46,04	76,4	178,94
432	EP	Pontevedra	Pontevedra	1967	4.691,20	1,69	3,78	D	40,3	114,7	236,8
433	EP	Ourense	Ourense	1973	5.494,00	0,91	3,78	D	45,1	110,2	265,2
434	EP	Ourense	Ourense	1945	1.957,00	0,98	3,78	C	26,9	51,8	158,5
435	EP	A Coruña	A Coruña	1918	8.179,00	0,74	3,78	C	14,3	25,2	84,2
436	EP	A Coruña	A Coruña	2011	6.190,00	0,74	3,78	B	15,1	20,4	87,5
451	EP	A Coruña	A Coruña	2003	7.372,79	0,55	3,37	D	87,6	108	418,4
					<b>72.058,35</b>	<b>0,91</b>	<b>3,53</b>		<b>41,59</b>	<b>67,21</b>	<b>204,79</b>
					<b>Suma</b>	<b>Valores promedio para Edificios Públicos</b>					

A1.1.2.3.- Residencial colectivo (hoteles y residencias)

ID	Tipo	Provincia	Ayuntamiento	Año const.	Superficie (m <sup>2</sup> )	U –Opaco (W/m <sup>2</sup> .K)	U Hueco (W/m <sup>2</sup> .K)	Calificación Efic. Energ.	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Cons. energ. Prim. (kW.h/m <sup>2</sup> .año)
443	RC	A Coruña	A Coruña	1967	9.579,00	0,81	3,78	C	33,8	33,4	182
444	RC	A Coruña	Santiago	1999	15.081,00	0,67	3,44	F	62,8	29,6	368,9
445	RC	Pontevedra	Vigo	1970	8.284,00	0,81	3,78	E	35,1	31	204
446	RC	Lugo	Sarria	1993	6.364,00	0,74	3,44	D	25,5	35	115,4
447	RC	Ourense	Ourense	1982	8.196,00	0,74	3,63	D	28,6	32,7	135,4
448	RC	A Coruña	Ferrol	1973	6.035,00	0,81	3,44	D	29,1	13,3	146,1
449	RC	León	Ponferrada	2002	2.314,00	0,74	3,44	D	25	37,4	127,4
450	RC	Pontevedra	Silleda	2002	7.789,00	0,62	3,44	D	26,8	27,9	127,4
453	RC	A Coruña	A Coruña	1948	9.562,00	0,91	3,78	D	40,6	45,6	197,9
					<b>73.204,00</b>	<b>0,76</b>	<b>3,57</b>		<b>34,14</b>	<b>31,77</b>	<b>178,28</b>
					<b>Suma</b>	<b>Valores promedio para Edificios de uso Residencial Colectivo (Hoteles y Residencias)</b>					

A1.1.2.4.- Centros hospitalarios

ID	Tipo	Provincia	Ayuntamiento	Año const.	Superficie (m <sup>2</sup> )	U –Opaco (W/m <sup>2</sup> .K)	U Hueco (W/m <sup>2</sup> .K)	Calificación Efic. Energ.	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Cons. energ. Prim. (kW.h/m <sup>2</sup> .año)
454	CH	A Coruña	A Coruña	1944	17.755,00	0,81	3,78	C	31,6	30,1	173,8
455	CH	A Coruña	A Coruña	1990	11.037,00	0,74	3,78	C	26,5	14	150,1
456	CH	A Coruña	A Coruña	1990	4.818,00	0,91	3,78	D	37,6	35,5	189,5
					<b>33.610,00</b>	<b>0,82</b>	<b>3,78</b>		<b>31,90</b>	<b>26,53</b>	<b>171,13</b>
					<b>Suma</b>	<b>Valores promedio para Centros Hospitalarios</b>					



**A1.2.- Resultados obtenidos en las simulaciones energéticas considerando la implementación de medidas pasivas y activas de ahorro energético comparados con la situación inicial del inmueble evaluado.**

A1.2.1.- Uso residencial

A1.2.1.1.- Vivienda unifamiliar

ID	Tipo	Provincia	Ayto.	Calif. Efic. Eng.	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Consumo EP (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	SIMULACIÓN ENERGÉTICA CONSIDERANDO MEDIDAS DE AHORRO ENERGÉTICO				
								Calif. Efic. Eng. Mejorada	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Consumo EP (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	% Consumo EP Dif. Con inicial
6	VU	A Coruña	A Coruña	E	42,1	60,38	159,1	D	23,45	31,39	59,67	48
23	VU	A Coruña	Miño	G	109,19	130,73	444,34	G	71,41	79,03	229,18	39,6
25	VU	A Coruña	Mugardos	G	80,75	182,11	303,89	E	53,23	112,88	168,85	38
26	VU	Lugo	Foz	G	107,3	218,73	457,22	E	53,65	126,31	134,28	61,8
27	VU	A Coruña	Cee	F	65,89	163,68	325,54	D	24,84	119,45	74,23	74,5
32	VU	A Coruña	Bergondo	G	99,17	139,39	393,57	E	57,98	139,39	193,49	40,17
36	VU	Lugo	Lugo	F	84,88	195,05	319,39	D	39,51	108,33	123,15	57,8
37	VU	Pontevedra	Gondomar	G	151,04	228,46	606,4	D	28	145,53	104,99	81,5
42	VU	Asturias	Coaña	E	48,08	131,78	180,94	D	25,36	68,17	81,35	48,3
47	VU	A Coruña	Teo	F	54,24	193,81	268,53	E	44,49	156,65	203,37	19,2
54	VU	Pontevedra	Vigo	E	60,12	141,42	230,23	C	15,58	101,67	26,14	87,2
56	VU	Pontevedra	Vigo	E	59,82	193,93	296,15	D	32,28	87,47	122,36	54,9
70	VU	Pontevedra	Moaña	G	181,73	218,77	730,84	G	116,35	138,09	400,45	36,9
76	VU	A Coruña	Ares	D	23,07	63,87	114,21	C	16,29	49,83	55,77	37,6
79	VU	Pontevedra	Tui	F	74,72	162,96	281,16	E	57,17	118,83	177,74	27,1
91	VU	A Coruña	San Sadurniño	E	52,44	99,87	204,02	C	23,27	36,36	144,79	58,8
93	VU	Ourense	Barbadas	G	61,56	74,49	247,57	E	27,83	72,53	122,45	84,1
94	VU	Ourense	Barbadas	G	87,37	92,56	351,36	E	49,09	92,2	77,11	61,1
97	VU	A Coruña	Vimianzo	E	55,46	77,5	209,38	C	22,87	53,77	151,07	38,6
100	VU	Pontevedra	Vigo	G	134,1	247,63	504,64	D	29,96	135,73	84,35	82,1

ID	Tipo	Provincia	Ayto.	Calif. Efic. Eng.	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Consumo EP (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	SIMULACIÓN ENERGÉTICA CONSIDERANDO MEDIDAS DE AHORRO ENERGÉTICO				
								Calif. Efic. Eng. Mejorada	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Consumo EP (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	% Consumo EP Dif. Con inicial
104	VU	A Coruña	Culleredo	C	19,18	50,12	94,98	B	14,06	37,32	52,2	25,5
105	VU	A Coruña	Zas	E	47,91	95,05	180,84	C	18,07	78,8	112,28	21
108	VU	Pontevedra	Mos	G	63,95	79,09	257,16	D	21,8	77,75	48,32	77,8
111	VU	Pontevedra	Lalín	E	66,98	121,29	252,37	C	26,2	81,55	86,7	59,6
115	VU	A Coruña	Carballo	G	158,3	295,51	595,69	E	50,55	269,03	167,19	70,2
118	VU	Lugo	Monforte	E	57,85	154,87	284,99	C	32,13	80,43	129,36	48,1
119	VU	A Coruña	Negreira	G	83,92	184,94	316,38	E	56,02	113,05	169,1	38,9
120	VU	Lugo	Barreiros	G	107,88	236,64	405,95	F	80,74	168,38	251,87	28,8
122	VU	Lugo	Lugo	E	60,41	99,95	227,48	C	24,62	63,04	71,66	62,3
123	VU	Pontevedra	Mos	G	110,57	193,95	416,25	F	76,51	185,03	237,9	33,4
132	VU	A Coruña	Trazo	E	54,3	87,96	204,81	D	28,69	73,53	78,18	49,8
133	VU	Pontevedra	Vila de Cruces	E	47,48	93,97	179,38	D	19,4	51,5	54,75	61,1
146	VU	A Coruña	Boiro	G	83,17	211,06	410,87	E	56,4	139,25	247,6	34
148	VU	A Coruña	Oleiros	G	79,59	156,68	305,04	C	20,99	151,74	189,68	13,5
149	VU	Pontevedra	Mondariz - Balneario	C	17,87	130,69	300,37	A	0	65,63	114,74	49,8
150	VU	A Coruña	Arteixo	E	38,84	73,9	146,49	B	13,78	57,39	35,56	71
152	VU	Lugo	Lugo	D	35,98	78,55	174,85	A	8,14	72,52	90,65	30,3
156	VU	Lugo	Monterroso	G	119,13	313,7	576,6	E	67,09	204,51	304,66	41,3
159	VU	A Coruña	Ponteceso	E	40,48	84,06	152,33	D	30,37	82,74	94,06	25,2
160	VU	Ourense	Ourense	D	25,79	30,52	98,17	C	18,37	30,52	18,97	58,5
165	VU	A Coruña	A Coruña	F	68,68	163,78	262,42	D	23,05	110,31	68,55	70,9
166	VU	A Coruña	A Coruña	E	29,97	73,52	139,34	C	13,47	21,2	24,56	71,2
169	VU	Pontevedra	A Estrada	E	39,44	72,83	148,43	B	10,49	54,25	67,81	37,8
170	VU	A Coruña	A Coruña	G	101,55	101,3	408,4	D	30,28	38,61	48,26	82,7

ID	Tipo	Provincia	Ayto.	Calif. Efic. Eng.	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Consumo EP (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	SIMULACIÓN ENERGÉTICA CONSIDERANDO MEDIDAS DE AHORRO ENERGÉTICO				
								Calif. Efic. Eng. Mejorada	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Consumo EP (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	% Consumo EP Dif. Con inicial
172	VU	Pontevedra	Pontevedra	E	43,82	66,26	165,24	C	17,59	40,45	45,98	63,5
176	VU	Lugo	Lourenza	D	30,76	60,16	120,1	D	25,33	51,47	74,11	14,5
177	VU	Pontevedra	Baiona	G	80,33	141,2	302,27	F	69,88	120,52	229,15	14,6
179	VU	Pontevedra	Bueu	G	97,6	180,53	374,86	F	67,56	126,14	239,85	30,1
181	VU	A Coruña	Carballo	G	105,84	186,103	468,49	C	14,84	72,71	90,89	77,4
187	VU	A Coruña	Santiago	E	59,63	129,09	282,9	D	25,64	80,04	49,74	78,3
191	VU	Lugo	Lugo	F	78,9	180,19	296,91	D	47,17	137,66	156,5	41,9
192	VU	Lugo	A Pastoriza	G	92,19	163,45	346,93	A	7,06	164,45	204,32	36,2
195	VU	A Coruña	Ferrol	F	70,88	193,99	313,72	D	28,26	144,37	89,71	68,8
197	VU	A Coruña	Carral	F	75,95	173,3	285,81	D	31,48	157,97	98,17	62,1
198	VU	A Coruña	Malpica	F	68,75	133,61	258,69	D	28,72	133,61	83,03	63,6
200	VU	Asturias	Llanes	E	38,28	80,3	144,55	C	21,08	35,89	46,47	55,3
202	VU	Ourense	Ourense	G	65,53	103,92	291,57	F	64,46	101,91	208,76	1,9
206	VU	Lugo	Villalba	E	50,16	123,99	247,65	D	32,26	123,99	131,82	40,2
207	VU	Pontevedra	Vigo	G	71,53	128,42	273,58	B	6,64	75,49	94,36	61,4
209	VU	A Coruña	Sada	F	48,27	101,16	232,25	C	12,4	91,89	114,87	36,1
217	VU	A Coruña	Oleiros	G	79,78	163,18	300,21	E	54,38	162,24	184,85	31,9
220	VU	A Coruña	Fisterra	F	64,69	141,53	454,45	D	31,67	60,89	184,02	57
224	VU	Pontevedra	Bueu	E	50,76	115,07	196,99	A	7,11	68,79	85,99	50
227	VU	A Coruña	Ézaro	E	41,46	59,13	159,53	C	13,64	34,03	42,54	59,4
229	VU	A Coruña	Melide	G	92,2	161,22	346,95	E	51,07	78,54	147	51,3
233	VU	Asturias	Cudillero	G	59,04	137,78	227,84	E	33,44	75,81	109,16	45
235	VU	A Coruña	Santiago	E	40,36	84,12	152,21	D	16,13	67,72	42,08	66,6
236	VU	Pontevedra	Poio	D	29,99	42,22	118,12	C	18,45	43,96	46,74	40,3
239	VU	A Coruña	Cerceda	G	119,22	147,56	479,47	B	12,82	119,97	149,97	65

ID	Tipo	Provincia	Ayto.	Calif. Efic. Eng.	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Consumo EP (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	SIMULACIÓN ENERGÉTICA CONSIDERANDO MEDIDAS DE AHORRO ENERGÉTICO				
								Calif. Efic. Eng. Mejorada	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Consumo EP (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	% Consumo EP Dif. Con inicial
241	VU	Asturias	Boal	G	129,91	313,79	488,87	E	25,06	69,91	79,47	83,1
242	VU	Pontevedra	Salvaterra do Miño	D	25,25	64,87	123,26	C	16,99	42,26	59,12	34,8
248	VU	León	Albarés de la Rivera	E	87,75	210,59	334,51	B	17,57	60,09	37,34	87,7
249	VU	A Coruña	Teo	G	94,64	189,43	376,24	D	24,54	68,35	70,98	79,2
250	VU	A Coruña	Mesía	G	169,61	220,16	682,11	C	19,21	91,87	114,83	81
251	VU	Pontevedra	Cangas	E	40,72	85,16	157,77	C	22,03	73,17	73,91	39,7
255	VU	Pontevedra	Barro	E	34,31	84,2	163,2	A	3,68	35,25	44,06	62,6
261	VU	A Coruña	Oleiros	G	155,46	275,07	623,93	E	37,94	213,57	133,72	78,1
266	VU	A Coruña	Ferrol	F	65,57	143,18	255,43	D	33,8	70,69	101,8	50,7
267	VU	Lugo	Friol	G	96,85	226,95	364,64	A	13,33	162,43	203,04	37,9
273	VU	A Coruña	Cee	G	102,87	266,96	508,76	E	43,87	238,3	148,09	68,8
274	VU	A Coruña	Betanzos	E	42,38	192,79	422,86	A	6,12	108,44	135,55	64,67
278	VU	Pontevedra	Cangas	E	57,85	98,97	217,71	B	11,29	98,97	123,71	29,4
283	VU	A Coruña	Ferrol	F	62,75	147,31	243,73	D	33,19	70,05	100,86	52,5
286	VU	Pontevedra	Barro	E	34,31	84,2	163,52	A	3,68	35,25	44,06	62,6
291	VU	A Coruña	Cambre	F	69,11	125,79	260,08	B	9,93	74,27	92,84	58,8
292	VU	Pontevedra	Vigo	G	102,99	236,13	471,75	A	3,75	236,12	303,5	27,3
294	VU	Pontevedra	Redondela	E	35,38	57,14	133,12	E	27,08	37,73	68,83	34
297	VU	A Coruña	Carballo	G	197,45	163,68	976,95	D	28,73	80,05	111,98	85,2
298	VU	Lugo	Lourenza	E	38,55	90,17	168,33	C	21,82	47,93	71,58	46,8
299	VU	A Coruña	Oleiros	E	43,17	132,83	213,15	D	25,74	71,16	99,54	46,4
303	VU	Pontevedra	Cotobade	E	45,9	270,1	136,7	D	24,6	72,4	144,5	53,5
307	VU	Pontevedra	Vigo	E	55,34	75,58	209,52	D	32	65,85	70,01	51,3
308	VU	A Coruña	A Coruña	F	73,31	113,02	277,88	D	32,22	83,33	51,78	74,1

ID	Tipo	Provincia	Ayto.	Calif. Efic. Eng.	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Consumo EP (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	SIMULACIÓN ENERGÉTICA CONSIDERANDO MEDIDAS DE AHORRO ENERGÉTICO				
								Calif. Efic. Eng. Mejorada	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Consumo EP (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	% Consumo EP Dif. Con inicial
312	VU	A Coruña	Cerceda	F	67,9	239,5	390,6	C	19,4	220,2	94,5	75,8
313	VU	A Coruña	Oleiros	G	113,4	175,06	452,29	F	77,79	119,89	284,28	37,1
315	VU	A Coruña	A Coruña	D	31,18	110,92	125,04	D	25,84	89,5	86,85	30,5
318	VU	A Coruña	Culleredo	G	86,1	233,5	494,6	D	19,7	125,9	93,1	81,2
323	VU	Pontevedra	Marín	E	32,8	148,3	183,1	D	19,8	183,1	110,7	39,5
328	VU	A Coruña	Boimorto	G	112,09	294,32	554,96	G	89,4	231,13	411	25,9
333	VU	A Coruña	Outes	E	50,26	108,66	189,13	E	37,23	75,88	113,5	40,0
336	VU	A Coruña	Oleiros	E	40,3	114	231,7	D	30,9	114	141,7	38,8
338	VU	A Coruña	Pontedeume	E	26,3	64,5	133,3	E	23	53,4	116,2	12,8
343	VU	León	Villaturiel	G	134,15	381,44	504,8	E	71,13	379,35	235,74	53,3
344	VU	Pontevedra	Poio	E	54,8	96,2	213,6	D	30,9	49	123,1	42,4
349	VU	Lugo	Viveiro	E	51,7	174,4	244,8	C	20,1	60,6	95	61,2
351	VU	Pontevedra	Bueu	E	56,33	102,37	216,53	E	48,04	86,39	152,95	29,4
352	VU	A Coruña	Mañón	G	85,16	172,21	328,88	E	53,93	107,39	178,44	45,7
412	VU	A Coruña	Santiago	D	31,7	124	119,2	A	4,7	119,2	13,8	88,4
					<b>71,15</b>	<b>146,35</b>	<b>299,68</b>		<b>36,03</b>	<b>99,73</b>	<b>128,17</b>	<b>50,46</b>
<b>Valores promedio Eficiencia energética inicial</b>								<b>Valores promedio Eficiencia energética simulada</b>				

A1.2.1.2.- Vivienda en bloque

ID	Tipo	Provincia	Ayto.	Calif. Efic. Eng.	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Consumo EP (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	SIMULACIÓN ENERGÉTICA CONSIDERANDO MEDIDAS DE AHORRO ENERGÉTICO				
								Calif. Efic. Eng. Mejorada	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Consumo EP (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	% Consumo EP Dif. Con inicial
1	VB	A Coruña	A Coruña	D	18,39	36,56	91,04	A	4,37	0,3	21,63	76,24
2	VB	A Coruña	A Coruña	F	50,21	194,5	242,78	E	26,98	46,52	82,73	57,5
3	VB	A Coruña	Ribeira	G	170,7	208,54	686,48	D	20,32	177,05	221,31	63,4
4	VB	A Coruña	A Coruña	E	44,27	86,19	215,48	D	16,04	21,52	38,26	78,3
7	VB	Pontevedra	Ponteareas	E	42,76	99,57	203,42	D	23,08	41,69	70,18	58,1
8	VB	León	Ponferrada	E	71,25	238,4	352,76	C	26,06	85,29	119,32	64,2
9	VB	Pontevedra	Bueu	F	48,13	92,86	211,95	E	34,69	62,8	119,18	32,5
10	VB	A Coruña	A Coruña	D	21,39	54,32	103,72	C	12,59	46,42	39,53	14,5
11	VB	A Coruña	Ferrol	E	26,03	72,42	127,06	D	22,81	61,25	85,68	15,2
12	VB	Pontevedra	Bueu	G	58,4	95,62	257,02	D	22,97	83,82	52,09	75,8
13	VB	A Coruña	Vimianzo	G	86,07	141,13	332,17	F	53,77	140,48	87,3	57
14	VB	A Coruña	A Coruña	G	86,06	224,81	426,06	E	30,19	160,98	100,4	75
15	VB	A Coruña	A Coruña	G	141,14	279,56	698,76	G	102,88	173,04	307,69	38,1
16	VB	A Coruña	A Coruña	G	71,82	16,09	288,83	E	30,04	16,09	20,12	88
17	VB	A Coruña	A Coruña	D	21,23	41,32	103,53	B	9,23	13,8	24,55	66,6
18	VB	Pontevedra	Tuy	E	30,22	84,66	147,2	B	9,38	67,94	84,92	28,3
19	VB	A Coruña	Sada	E	26,78	39,99	107,78	C	10,75	11,99	44,8	77,9
20	VB	A Coruña	A Coruña	D	15,66	42,37	77,51	C	11,57	27,91	39,04	34,31
21	VB	A Coruña	Carballo	E	51,91	137,46	257,02	D	27,59	64,72	120,4	52,9
22	VB	A Coruña	Culleredo	D	17,28	30,4	69,92	B	8,82	9,99	14,39	67,1
24	VB	A Coruña	A Coruña	F	55,08	130,45	212,01	E	43,71	92,73	133,54	28,9
28	VB	A Coruña	A Coruña	E	39,68	123,52	195,24	B	8,64	26,37	16,39	90,5
29	VB	A Coruña	A Coruña	G	117,54	287,66	573,05	F	50,26	131,46	233,76	54,3

ID	Tipo	Provincia	Ayto.	Calif. Efic. Eng.	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Consumo EP (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	SIMULACIÓN ENERGÉTICA CONSIDERANDO MEDIDAS DE AHORRO ENERGÉTICO				
								Calif. Efic. Eng. Mejorada	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Consumo EP (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	% Consumo EP Dif. Con inicial
30	VB	A Coruña	A Coruña	D	16,87	31,48	68,16	C	9,69	31,48	19,56	56,8
31	VB	A Coruña	A Coruña	E	30,32	65,56	148,17	D	20,85	62,56	69,7	40,2
33	VB	A Coruña	A Coruña	E	36,41	79,06	175,04	D	20,45	34,71	57,47	56,1
34	VB	Lugo	Sarria	G	250,27	375,19	1107,75	E	44,26	192,57	204,74	80,9
35	VB	A Coruña	Ames	E	26,64	71,49	129,34	D	20,91	71,49	76	24
38	VB	A Coruña	A Coruña	F	52,89	134,24	261,88	E	33,79	81,08	144,17	39,6
39	VB	A Coruña	As Pontes	G	161,02	159,17	647,56	C	13,45	159,17	198,96	66,5
40	VB	A Coruña	A Coruña	E	40,11	125,39	197,64	C	14,36	39,7	42,2	75,9
43	VB	A Coruña	Ares	G	127,91	70,93	516,52	D	22,79	68,43	42,52	90,8
44	VB	A Coruña	A Coruña	E	30,06	63,91	116,82	C	14,19	19,68	28,34	69,2
45	VB	A Coruña	Corcubión	C	14,47	42,81	62,24	B	9,15	20,48	17,64	52,2
46	VB	A Coruña	A Coruña	D	16,59	47,56	80,6	B	9,74	26,51	32,33	44,3
49	VB	A Coruña	A Coruña	E	40,87	91,12	154,72	E	37,54	79,92	107,75	12,3
50	VB	Lugo	Mondoñedo	E	62,81	124,32	237	B	21,39	110,22	28,34	84,5
51	VB	Pontevedra	Pontevedra	C	22,69	39,64	110,41	B	14,4	39,64	42,14	40,2
52	VB	A Coruña	A Coruña	G	212,39	191,18	856,14	E	35,05	190,59	118,44	85,8
53	VB	A Coruña	A Coruña	G	101,65	251,01	386,24	F	49,58	114,92	165,49	54,2
55	VB	A Coruña	A Coruña	D	17,42	32,78	84,29	B	9,22	10,2	16,88	68,9
57	VB	A Coruña	A Coruña	G	70,79	71,08	284,67	E	23,78	26,82	28,52	86,2
58	VB	Ourense	Ourense	G	48,67	80,31	183,6	D	17,52	44,8	62,67	59
59	VB	A Coruña	A Coruña	G	70,91	119,07	273,39	E	42,7	96,29	138,66	19,1
60	VB	A Coruña	A Coruña	G	70,35	101,57	284,7	C	12,96	44,15	46,79	82,3
61	VB	A Coruña	A Coruña	D	15,57	39,09	76,31	C	14,04	36,66	51,29	6,2
63	VB	Lugo	Lugo	G	96,27	190,91	362,47	E	48,03	190,91	202,96	39,6

ID	Tipo	Provincia	Ayto.	Calif. Efic. Eng.	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Consumo EP (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	SIMULACIÓN ENERGÉTICA CONSIDERANDO MEDIDAS DE AHORRO ENERGÉTICO				
								Calif. Efic. Eng. Mejorada	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Consumo EP (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	% Consumo EP Dif. Con inicial
64	VB	A Coruña	A Coruña	G	136,08	218,39	522,76	E	39,62	114,25	129,88	72,2
65	VB	Lugo	Viveiro	E	45,01	56,29	183,38	C	20,57	56,29	59,84	59,3
66	VB	A Coruña	A Coruña	E	40,38	98,86	191,77	C	13,34	13,04	18,23	86,8
67	VB	A Coruña	A Coruña	D	18,97	47,83	92,26	B	9,32	19,94	27,89	58,3
68	VB	A Coruña	A Coruña	E	26,1	68,08	126,26	C	11,32	16,37	22,9	76
69	VB	León	León	E	42,51	129,69	208,63	D	28,19	110,06	117,01	35,5
71	VB	A Coruña	A Coruña	G	77,84	69,6	313,04	G	69,23	58,55	178,72	15,9
72	VB	A Coruña	A Coruña	G	141,6	114,13	569,47	E	36,56	21,5	21,71	93,4
73	VB	A Coruña	Ferrol	G	77,96	189,8	299,7	E	25,76	50,79	73,13	73,2
74	VB	A Coruña	A Coruña	F	50,16	112,45	188,75	E	35	112,45	158,18	6,5
75	VB	A Coruña	Noia	G	80,6	75,76	324,14	F	48,14	75,76	80,54	59,3
77	VB	León	Ponferrada	F	86,65	185,02	429,02	C	22,93	87,22	92,73	76,8
78	VB	A Coruña	A Coruña	G	89,61	206,78	341,21	E	28,59	49,78	71,68	75,9
80	VB	A Coruña	A Coruña	E	26,94	58,78	132,31	D	22,32	57,4	81,66	21,9
81	VB	A Coruña	A Coruña	E	24,45	48,15	97,92	C	13,95	22,41	32,27	53,4
83	VB	A Coruña	Carballo	G	108,71	108,33	437,17	E	47,28	61,12	20,3	59,3
84	VB	A Coruña	A Coruña	E	34,23	58,82	131,84	D	19,54	24,5	167,91	52
85	VB	A Coruña	A Coruña	G	99,66	115,22	400,77	E	38,5	30,42	35,29	58,3
86	VB	A Coruña	A Coruña	G	71,47	165,6	275,41	E	35,71	130,84	88,23	73,6
87	VB	Pontevedra	Lalín	E	52,1	85,05	209,51	C	18,8	51,38	139,1	41,7
88	VB	A Coruña	Oroso	D	18,53	47,34	90,37	C	15,08	47,09	43,7	39,6
89	VB	A Coruña	Padrón	G	92,74	102,47	369	E	46,45	67,54	50,06	24,4
90	VB	Pontevedra	Villagarcía	G	75,28	212,08	372,73	A	4,36	115,83	170,52	34,1
92	VB	A Coruña	Camariñas	G	209,78	265,06	843,66	E	37,73	85,03	52,36	63,6
95	VB	A Coruña	A Coruña	E	37,69	115,07	185,23	D	22,1	59,51	133,48	47,5



ID	Tipo	Provincia	Ayto.	Calif. Efic. Eng.	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Consumo EP (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	SIMULACIÓN ENERGÉTICA CONSIDERANDO MEDIDAS DE AHORRO ENERGÉTICO				
								Calif. Efic. Eng. Mejorada	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Consumo EP (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	% Consumo EP Dif. Con inicial
96	VB	A Coruña	A Coruña	F	57,31	137,52	221,21	D	20,1	40,3	83,25	48,3
98	VB	A Coruña	A Coruña	G	145,55	306,49	560,28	E	38,06	127,43	33,41	77,3
101	VB	A Coruña	Oleiros	E	31,84	81,95	140,64	E	24,85	51,99	75,37	36,6
102	VB	A Coruña	A Coruña	D	20,45	112,48	101,26	D	17,07	86,29	69,61	23,3
103	VB	A Coruña	A Coruña	D	16,42	61,25	73,3	A	5,72	52,73	65,92	13,9
106	VB	A Coruña	Oleiros	G	106,26	220,21	405,53	E	45,56	58,45	50,5	84,1
107	VB	Ourense	Ourense	E	44,8	56,75	169,31	D	19,7	56,75	79,39	6,5
109	VB	A Coruña	A Coruña	F	56,35	98,08	216,92	D	20,61	96,82	60,17	57,4
110	VB	A Coruña	Pontevedra	G	65,3	66,29	262,6	E	38,45	66,73	41,47	76
112	VB	A Coruña	A Coruña	G	70,23	69,52	282,45	E	31,46	40,25	57,97	42,1
114	VB	Asturias	Candás	G	108,78	129,92	437,47	F	50,41	44,68	122,75	65,6
116	VB	A Coruña	A Coruña	F	74,64	90,69	306,12	A	6,98	54,78	68,48	74
124	VB	A Coruña	A Coruña	E	45,37	83,86	174,17	E	24,34	33,59	48,36	59,9
125	VB	A Coruña	Carballo	F	57,26	201,96	283,49	D	22,39	125,19	77,8	71
126	VB	A Coruña	A Coruña	G	60,82	146,7	234,43	D	15,25	49,2	52,31	75,2
127	VB	A Coruña	A Coruña	G	82,07	195,26	406,33	E	27,57	92,05	57,2	83,5
128	VB	A Coruña	A Coruña	F	74,64	90,69	306,12	A	6,98	54,78	68,48	74
129	VB	A Coruña	A Coruña	F	74,64	90,69	306,12	A	6,98	54,78	68,48	74
130	VB	A Coruña	Culleredo	G	69,89	63,85	281,05	E	46,31	33,91	98,33	46,9
131	VB	A Coruña	A Coruña	E	39,42	17,43	156,8	C	10,87	17,43	25,1	88,88
134	VB	Lugo	Monterroso	E	41,89	48,54	173	A	6,89	48,54	80,1	56,9
135	VB	Asturias	Gijón	G	65,78	170,13	325,7	C	14,11	43,41	46,15	84,7
136	VB	A Coruña	Arteixo	E	40,21	74,24	197,22	C	13,89	15,83	34,32	78,7
137	VB	A Coruña	A Coruña	E	45,02	84,17	177,06	D	21,81	39,64	57,08	52,09
138	VB	A Coruña	Ferrol	F	50,21	118,98	194,51	E	26,5	101,58	108	37

ID	Tipo	Provincia	Ayto.	Calif. Efic. Eng.	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Consumo EP (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	SIMULACIÓN ENERGÉTICA CONSIDERANDO MEDIDAS DE AHORRO ENERGÉTICO				
								Calif. Efic. Eng. Mejorada	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Consumo EP (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	% Consumo EP Dif. Con inicial
139	VB	A Coruña	Ferrol	E	45,37	138,39	222,21	E	45,23	138,7	194,03	0,2
140	VB	A Coruña	A Coruña	G	111,04	158,49	448,84	B	8,31	40,28	50,34	87,8
141	VB	A Coruña	A Coruña	G	92,28	126,18	373,58	G	88,07	120,01	329,71	4,9
142	VB	Pontevedra	A Estrada	E	23,3	49,75	114,65	B	8,47	15,78	60,4	68,3
143	VB	A Coruña	Betanzos	G	60,98	139,84	235,74	E	44,24	93	133,92	33,5
151	VB	A Coruña	A Coruña	D	17,2	42,42	83,72	C	13,63	39,42	55,15	7,1
154	VB	A Coruña	A Coruña	E	28,34	61	109,7	D	21,7	47,34	68,17	22,4
155	VB	Pontevedra	Vilagarcía	E	42,15	47,12	175,7	C	14,21	47,12	49,16	64
157	VB	A Coruña	Carballo	E	44,98	43,05	180,91	D	20,09	43,05	55,89	50,3
158	VB	A Coruña	Carballo	E	44,98	43,05	180,91	D	20,09	43,05	55,89	50,3
161	VB	A Coruña	Pontedeume	G	107,77	124,79	433,39	F	50,27	67,36	195,36	46
162	VB	A Coruña	A Coruña	F	50,01	57,14	195,45	E	43,73	41,15	59,26	28
163	VB	A Coruña	A Coruña	G	57,95	179,86	283,71	E	57,07	179,86	251,61	11,31
164	VB	Pontevedra	Vigo	E	45,4	74,9	177,16	C	13,56	34,33	36,5	74,4
167	VB	A Coruña	A Coruña	G	175,37	221,65	705,24	E	43,54	53,84	157,7	75,75
171	VB	A Coruña	A Coruña	G	140,7	141,62	565,85	E	38,11	133,68	142,12	73,1
173	VB	A Coruña	Cambre	E	44,29	143,72	219,28	D	18,37	51,05	71,42	64,5
174	VB	A Coruña	A Coruña	E	30,04	86,79	147,01	B	8,24	21,14	13,14	89,2
175	VB	A Coruña	A Coruña	E	30,04	86,79	147,01	B	8,24	21,14	13,14	89,2
178	VB	A Coruña	A Coruña	G	79,92	58,14	321,41	E	25,79	11,34	14,18	93,5
180	VB	A Coruña	A Coruña	G	75,22	196,41	372,43	E	35,33	78	138,7	60,3
182	VB	A Coruña	Narón	E	32,22	112,25	158,75	E	25,09	77,65	87,4	30,8
183	VB	Asturias	Oviedo	E	43,7	141,64	216,37	D	16,7	55,96	59,49	70
184	VB	A Coruña	A Coruña	E	27,01	106,11	133,71	B	9,18	20,66	23,18	80,5
185	VB	A Coruña	A Coruña	E	23,63	44,76	94,64	C	11,58	24,3	15,1	76,6

ID	Tipo	Provincia	Ayto.	Calif. Efic. Eng.	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Consumo EP (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	SIMULACIÓN ENERGÉTICA CONSIDERANDO MEDIDAS DE AHORRO ENERGÉTICO				
								Calif. Efic. Eng. Mejorada	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Consumo EP (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	% Consumo EP Dif. Con inicial
186	VB	León	Ponferrada	G	109,4	123,78	439,94	E	69,98	72,7	210,83	41,3
188	VB	Lugo	Burela	E	53,51	87,67	232,78	B	10,18	43,35	54,19	67,5
189	VB	León	León	E	58,23	143,09	286,54	A	5,73	50,74	63,42	75,1
190	VB	A Coruña	A Coruña	G	220,83	160,25	888,07	D	22,8	44,12	46,9	94,4
194	VB	Pontevedra	Lalín	C	21,78	45,49	95,65	A	6,4	45,49	56,86	16,4
196	VB	Lugo	Viveiro	E	51,06	58,38	209,54	C	21,2	58,38	62,07	59,3
199	VB	A Coruña	A Coruña	G	129,65	168,86	521,39	C	14,29	167,89	209,87	54,8
201	VB	A Coruña	A Coruña	G	59,08	157,6	209,63	B	6,37	157,6	197	24,5
203	VB	León	Ponferrada	E	73,48	107,53	287,37	E	50,6	70,03	124,96	34,9
204	VB	A Coruña	Culleredo	G	116,7	129,74	469,32	E	44,85	37,09	107,56	71,4
205	VB	A Coruña	Culleredo	E	39,31	115,28	191,86	E	39,71	111,24	156,05	3,5
208	VB	A Coruña	A Coruña	F	55,48	118,6	255,17	F	52,5	110,47	143,23	6,9
210	VB	A Coruña	Carballo	E	35,72	73,7	138,8	D	20,21	57,86	61,51	42
211	VB	A Coruña	A Coruña	F	56,43	84,31	229,26	F	48,59	77,81	137,75	7,7
212	VB	A Coruña	A Coruña	E	38,94	51,21	151,54	C	10,59	20,36	29,32	60,2
213	VB	A Coruña	Oleiros	C	11,81	51,59	56,59	B	7,42	31,11	25,1	39,7
214	VB	A Coruña	Cambre	E	39,59	40,96	159,21	D	22,8	18,66	54,13	54,4
215	VB	A Coruña	A Coruña	D	32,4	45,91	160,43	B	10,73	36,16	45,2	59,6
216	VB	A Coruña	A Coruña	F	51,62	130,68	255,55	C	14,91	25,11	44,65	80,8
218	VB	A Coruña	Cambre	G	120,75	135,47	485,62	E	41,88	135,47	175,87	52,7
219	VB	A Coruña	A Coruña	G	174,91	259,41	705,51	E	45,24	245,9	152,81	77,4
221	VB	A Coruña	Santiago	E	28,99	94,08	179,12	D	22,8	94,08	123,07	17,2
222	VB	A Coruña	A Coruña	G	62,89	75,48	252,92	E	44,98	48,34	140,18	36
223	VB	Pontevedra	Marín	F	49	91,97	189,31	A	4,36	77,41	96,76	40,6
225	VB	A Coruña	Oleiros	F	56,26	36,49	235,95	D	16,72	36,49	51,05	0

ID	Tipo	Provincia	Ayto.	Calif. Efic. Eng.	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Consumo EP (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	SIMULACIÓN ENERGÉTICA CONSIDERANDO MEDIDAS DE AHORRO ENERGÉTICO				
								Calif. Efic. Eng. Mejorada	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Consumo EP (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	% Consumo EP Dif. Con inicial
226	VB	A Coruña	A Coruña	G	165,73	229,56	666,49	E	43,27	222,42	138,22	78,1
228	VB	A Coruña	Oleiros	G	80,77	114,61	304,37	E	45,48	114,61	148,78	24,28
230	VB	A Coruña	A Coruña	F	51,31	129,59	254,05	E	37,12	90,12	160,54	30,05
231	VB	Ourense	Ourense	D	20,33	18	77,13	B	7,71	18	22,5	42,9
234	VB	A Coruña	A Coruña	G	61,61	65,92	247,77	E	41,77	42,56	123,41	35,4
237	VB	Pontevedra	Vilagarcía	E	42,15	47,12	175,7	C	14,21	47,12	49,16	64
238	VB	A Coruña	A Coruña	G	152,55	198,51	613,49	E	46,68	164,29	174,66	69,7
240	VB	A Coruña	A Coruña	G	92,37	240,3	456,03	F	51,3	129,6	230,8	46
243	VB	A Coruña	Carballo	G	67,5	174,7	307,35	E	47,41	126,89	203,68	27,4
244	VB	A Coruña	A Coruña	E	36,82	117,28	182,3	E	28,87	117,28	124,69	24
245	VB	A Coruña	Carballo	F	33,52	111,84	165,95	E	25,04	80,25	106,65	28,2
246	VB	A Coruña	Arteixo	G	113,16	148,08	457,65	G	58,81	148,08	263,32	38,7
247	VB	Lugo	Lugo	G	208,59	271,22	838,86	B	13,01	271,22	339,02	56,9
252	VB	A Coruña	A Coruña	G	173,05	202,09	695,94	E	37,16	38	40,4	93,1
253	VB	A Coruña	A Coruña	D	16,42	61,25	73,3	A	5,72	52,73	65,92	106,3
254	VB	A Coruña	A Coruña	G	87,49	65,89	351,84	G	61,5	41,13	119,28	37,6
256	VB	A Coruña	A Coruña	E	35,05	23,74	194,04	C	10,8	10,05	27,62	57,7
257	VB	A Coruña	A Coruña	G	93,08	243,16	459,83	A	4,68	131,89	164,86	61,9
258	VB	A Coruña	A Coruña	E	47,7	146,03	233,86	B	6,53	144,58	180,73	11,5
259	VB	A Coruña	A Coruña	D	22,53	67,9	110,54	C	14,83	42,7	55,72	37,1
260	VB	A Coruña	A Coruña	D	16,86	37,06	80,94	B	6,38	37,06	37,06	10,6
262	VB	A Coruña	A Coruña	F	49,9	60,39	200,67	C	14,28	23,58	25,06	84,1
263	VB	León	León	G	145,45	391,22	720,14	A	4,95	391,22	489,02	29,7
264	VB	A Coruña	Cambre	E	35,23	82,43	171,33	A	3,3	82,43	114,17	16,3
265	VB	A Coruña	A Coruña	G	79,92	58,14	321,41	E	25,79	11,34	14,18	93,5

ID	Tipo	Provincia	Ayto.	Calif. Efic. Eng.	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Consumo EP (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	SIMULACIÓN ENERGÉTICA CONSIDERANDO MEDIDAS DE AHORRO ENERGÉTICO				
								Calif. Efic. Eng. Mejorada	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Consumo EP (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	% Consumo EP Dif. Con inicial
268	VB	Pontevedra	A Estrada	G	84,17	55,72	338,51	E	41,38	58,85	66,04	59,1
269	VB	Ourense	Verín	G	148,04	196,39	597,11	B	5,5	148,9	186,12	67,3
270	VB	A Coruña	Santiago	G	124,44	140,61	500,46	E	38,25	132,85	127,47	57,2
271	VB	Pontevedra	Tui	E	45,47	143,96	224,09	B	6,3	129,68	162,09	19,5
275	VB	A Coruña	A Coruña	G	78,52	69,57	319,59	D	20,65	66,61	70,81	75,4
276	VB	A Coruña	A Coruña	F	51,74	115,78	198,87	E	24,57	70,37	91,35	45,2
277	VB	Lugo	Foz	E	58,58	94,6	234,18	D	30,48	44,92	90,92	52,5
279	VB	León	Ponferrada	G	199,08	540,52	985,63	G	116,95	311,84	554,51	42,3
280	VB	León	Ponferrada	G	106,53	128,71	425,86	E	42,31	128,71	79,98	76,2
281	VB	A Coruña	Cambre	E	31,55	66,87	138,61	D	19,69	66,87	71,09	33,8
282	VB	A Coruña	A Coruña	E	46,15	146,04	227,26	D	17,64	42,25	55,97	72,6
284	VB	A Coruña	Ames	E	45,34	122,53	224,47	E	29,11	122,53	130,27	35,8
285	VB	A Coruña	Oleiros	E	41,23	135,05	200,9	C	14,83	30,79	38,87	77,2
287	VB	A Coruña	Santiago	E	41,69	123,21	203,44	B	7,88	123,21	205,34	19,01
288	VB	A Coruña	A Coruña	E	30,27	47,07	136,86	E	23,68	41,74	59,49	11,3
289	VB	A Coruña	A Coruña	G	144,25	178,38	545,03	B	8,9	178,38	222,97	56,4
290	VB	Pontevedra	Pontevedra	D	20,66	50,15	99,24	B	6,78	50,15	69,51	1
293	VB	A Coruña	A Coruña	G	98,46	79,98	395,96	E	40,78	79,98	119,55	48,5
295	VB	Zamora	Zamora	D	30,53	54,75	148,24	D	26,25	43,71	87,08	20,2
296	VB	A Coruña	A Coruña	F	54,76	150,7	271,1	E	33,4	150,7	152,2	39
300	VB	A Coruña	A Coruña	E	32,69	93,69	157,48	E	28,54	77,92	101,16	16,8
301	VB	Ourense	Celanova	E	36,73	77,98	175,95	E	21,85	74,43	79,45	42,7
302	VB	A Coruña	Betanzos	G	228,1	301,91	920,23	C	10,43	301,91	377,16	56,9
304	VB	A Coruña	A Coruña	G	71,3	413,4	153,6	D	14,6	72,4	153,6	37,2
305	VB	Lugo	Lugo	G	99,16	177,78	373,16	D	43,14	147,81	180,9	101,8

ID	Tipo	Provincia	Ayto.	Calif. Efic. Eng.	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Consumo EP (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	SIMULACIÓN ENERGÉTICA CONSIDERANDO MEDIDAS DE AHORRO ENERGÉTICO				
								Calif. Efic. Eng. Mejorada	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Consumo EP (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	% Consumo EP Dif. Con inicial
306	VB	A Coruña	A Coruña	D	15,1	25,4	63,71	C	11,73	20,91	24,08	46,2
309	VB	A Coruña	Santiago	F	70,2	403,2	184,7	D	25,6	184,7	151,1	18,19
310	VB	Ourense	Ourense	E	37,1	63,6	218,8	E	34	54,3	200,7	8,3
311	VB	A Coruña	A Coruña	E	24,2	60,7	114,2	C	11,9	19	56,1	50,9
314	VB	A Coruña	A Coruña	E	38,57	79,41	149,9	D	19,3	33,37	48,05	67,9
316	VB	León	Ponferrada	E	60	127,9	283,6	C	18	127,9	96,8	65,9
317	VB	A Coruña	Betanzos	E	42,53	138,96	210,58	A	3,65	134,81	168,52	20,0
319	VB	A Coruña	Carballo	G	96,02	126,8	386,15	E	36,63	126,8	134,8	65,1
320	VB	A Coruña	Sada	E	43,4	107,7	250,4	D	15,1	84	89,4	64,3
321	VB	Pontevedra	Sanxenxo	G	79,01	114,02	311,43	E	33,02	96,34	102,43	67,1
322	VB	A Coruña	A Coruña	E	46,15	63,08	210,99	E	35,04	53,85	57,25	72,9
324	VB	A Coruña	Sada	G	100,62	140,57	405,12	E	25,32	74,91	79,64	80,3
325	VB	A Coruña	A Coruña	E	37	25,8	174,6	C	11,2	25,8	53,1	69,6
326	VB	A Coruña	A Coruña	E	30,2	50,2	175,2	E	29	46	166,4	5,0
327	VB	A Coruña	A Coruña	G	66,2	225,3	312,4	E	40,6	131,9	191,5	38,7
329	VB	Pontevedra	Vigo	G	85,16	133,51	340,92	E	41,21	59,75	141,49	58,5
330	VB	León	Ponferrada	D	39,05	89,04	191,35	C	25,33	85,07	90,44	52,7
331	VB	A Coruña	A Coruña	G	59,06	60,35	233,97	E	29,07	48,58	98,95	57,7
332	VB	A Coruña	Arteixo	G	126,21	118,84	507,54	F	53,44	25,6	80,21	84,2
334	VB	A Coruña	A Coruña	E	32,3	28,7	164,6	D	18,7	28,7	100,1	39,2
335	VB	A Coruña	A Coruña	G	74,1	86,4	434,7	E	30,3	86,3	151,7	65,1
337	VB	A Coruña	A Coruña	E	39,9	74,4	188,9	E	37	68,5	175	7,4
339	VB	A Coruña	A Coruña	E	33,2	75,7	192,4	E	23,3	44,8	136,7	28,95
340	VB	A Coruña	A Coruña	E	35,08	81,22	172,52	E	31,86	73,25	130,26	24,5
341	VB	A Coruña	A Coruña	G	70,2	201,4	397,2	D	19,7	41,1	112,9	71,6

ID	Tipo	Provincia	Ayto.	Calif. Efic. Eng.	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Consumo EP (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	SIMULACIÓN ENERGÉTICA CONSIDERANDO MEDIDAS DE AHORRO ENERGÉTICO				
								Calif. Efic. Eng. Mejorada	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Consumo EP (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	% Consumo EP Dif. Con inicial
342	VB	Pontevedra	O Porriño	G	64,8	162,2	369,5	E	39,7	107,7	187,5	49,3
345	VB	Lugo	Lugo	F	66	121,6	254,3	D	24,5	22	93,7	63,2
346	VB	A Coruña	Ézaro	G	87,6	232,8	505,7	A	3,9	124,2	18,7	96,3
347	VB	A Coruña	A Coruña	F	49,7	125,34	246,05	D	16,45	29,34	52,18	78,8
348	VB	Lugo	Chantada	D	38,73	73,37	186,29	C	22,69	60,28	64,09	65,6
350	VB	A Coruña	A Coruña	E	41,4	78,3	219,2	E	35,5	78,3	184,1	16,01
353	VB	Ourense	Ourense	E	23,9	60,8	114,9	C	12,1	60,8	64,5	43,9
354	VB	Pontevedra	Lalín	G	72,9	146,7	276,3	E	31,3	58,3	118,5	57,1
355	VB	A Coruña	A Coruña	G	57,3	168,9	270,5	E	21,9	39,7	103,4	61,8
356	VB	A Coruña	A Coruña	E	24,3	67,6	114,9	D	16,6	39,3	78,2	31,9
357	VB	Pontevedra	Pontevedra	E	35,3	72,5	166,8	D	14,1	17	66,6	60,1
376	VB	A Coruña	Órdenes	E	39	58,7	230,2	D	20	41,4	112	51,3
377	VB	A Coruña	A Coruña	G	173,9	331,8	665,8	E	41,3	68,3	163	75,5
380	VB	A Coruña	Oleiros	E	21,4	38,2	126,5	D	20,2	34,9	119,3	5,7
381	VB	A Coruña	Noia	E	23,4	65,8	110,6	E	21,9	60,3	103,6	6,3
382	VB	A Coruña	Ames	E	27,98	49,34	132,83	D	19,5	49,3	92,6	30,3
383	VB	A Coruña	A Coruña	E	41,4	78,3	219,2	E	34,4	74,7	178,6	18,5
388	VB	A Coruña	Santiago	G	139	116,7	526,8	B	12,3	36,6	58,2	89,0
392	VB	A Coruña	A Coruña	F	50,3	69,8	237,4	E	21,7	19,8	102,3	56,9
402	VB	Asturias	Siero	E	42,2	62,9	199,5	D	21,1	52,2	99,5	50,1
405	VB	A Coruña	A Coruña	G	114,6	254	542,7	E	22,9	164,8	123,5	77,2
407	VB	León	Ponferrada	E	74,2	235,4	350,6	A	6,9	191,3	20,4	94,2
410	VB	A Coruña	A Coruña	E	34,8	80,8	202	E	22,4	49,4	119,5	40,8
					<b>65,64</b>	<b>117,59</b>	<b>282,46</b>		<b>25,63</b>	<b>74,65</b>	<b>100,96</b>	<b>52,11</b>
					<b>Valores promedio Eficiencia energética inicial</b>			<b>Valores promedio Eficiencia energética simulada</b>				

A1.2.1.3.- Bloque residencial completo

ID	Tipo	Provincia	Ayto.	Calif. Efic. Eng.	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Consumo EP (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	SIMULACIÓN ENERGÉTICA CONSIDERANDO MEDIDAS DE AHORRO ENERGÉTICO				
								Calif. Efic. Eng. Mejorada	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Consumo EP (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	% Consumo EP Dif. Con inicial
121	BC	A Coruña	Sada	E	28,23	28,72	117,72	C	10,86	28,72	17,85	79,6
147	BC	Ourense	Ourense	F	45,35	52,83	186,63	D	18,76	17,28	50,1	67,3
193	BC	A Coruña	A Coruña	D	20,5	44,05	101,51	B	9,71	14	24,89	68,2
426	BC	A Coruña	A Coruña	E	25,67	58,45	127,11	C	13,38	29,72	52,84	58,43
					<b>29,94</b>	<b>46,01</b>	<b>133,24</b>		<b>13,18</b>	<b>22,43</b>	<b>36,42</b>	<b>68,38</b>
<b>Valores promedio Eficiencia energética inicial</b>								<b>Valores promedio Eficiencia energética simulada</b>				



A1.2.2.- Uso terciario

A1.2.2.1.- Edificio Comercial

ID	Tipo	Provincia	Ayto.	Calif. Efic. Eng.	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Consumo EP (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	SIMULACIÓN ENERGÉTICA CONSIDERANDO MEDIDAS DE AHORRO ENERGÉTICO				
								Calif. Efic. Eng. Mejorada	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Consumo EP (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	% Consumo EP Dif. Con inicial
428	EC	A Coruña	A Coruña	C	13,4	21,8	79,1	B	10,7	20,4	62,8	20,61
429	EC	A Coruña	A Coruña	F	15,2	17,4	89,6	E	12,4	13,6	73,4	18,08
430	EC	Pontevedra	Vigo	D	34,6	121,2	203,8	B	16	111,8	94,1	53,83
431	EC	A Coruña	A Coruña	D	23,6	65,5	139,2	B	12,6	64,8	74,4	46,55
437	EC	A Coruña	A Coruña	C	18,5	27,9	109,3	B	17	27,9	100	8,51
438	EC	A Coruña	A Coruña	C	30,8	79,6	181,8	B	18	79,6	106,1	41,64
439	EC	Asturias	Avilés	C	20,1	32,3	118,3	B	14,1	32,3	82,9	29,92
440	EC	León	León	C	30,5	43,7	180	B	19,4	43,7	114,2	36,56
441	EC	Lugo	Lugo	D	25,6	73,6	151	B	14,7	60,6	86,4	42,78
442	EC	A Coruña	Cambre	G	74,3	91,4	438,5	D	34,7	65,9	204,9	53,27
					<b>28,66</b>	<b>57,44</b>	<b>169,06</b>		<b>16,96</b>	<b>52,06</b>	<b>99,92</b>	<b>35,17</b>
<b>Valores promedio Eficiencia energética inicial</b>								<b>Valores promedio Eficiencia energética simulada</b>				

A1.2.2.2.- Edificio Público

ID	Tipo	Provincia	Ayto.	Calif. Efic. Eng.	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Consumo EP (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	SIMULACIÓN ENERGÉTICA CONSIDERANDO MEDIDAS DE AHORRO ENERGÉTICO				
								Calif. Efic. Eng. Mejorada	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Consumo EP (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	% Consumo EP Dif. Con inicial
421	EP	A Coruña	A Coruña	C	35,42	47,63	138,5	B	18,51	47,63	55,46	60,0
422	EP	A Coruña	A Coruña	C	56,6	104,2	287,8	B	31,6	84,1	186,5	35,2
423	EP	A Coruña	A Coruña	D	33,5	38,2	169,2	C	21,3	27,3	125,7	25,7
424	EP	A Coruña	A Coruña	C	56,61	42,62	227,65	B	36,29	42,62	69,1	69,6
425	EP	A Coruña	Ferrol	C	46,04	76,4	178,94	B	22,06	76,4	84,11	53,00
432	EP	Pontevedra	Pontevedra	D	40,3	114,7	236,8	B	18	112,9	104,7	55,79
433	EP	Ourense	Ourense	D	45,1	110,2	265,2	B	18,7	105,6	109,2	58,82
434	EP	Ourense	Ourense	C	26,9	51,8	158,5	B	14	48,1	82,7	47,82
435	EP	A Coruña	A Coruña	C	14,3	25,2	84,2	B	9,6	21,3	56	33,49
436	EP	A Coruña	A Coruña	B	15,1	20,4	87,5	B	11,4	20,4	65,9	24,69
451	EP	A Coruña	A Coruña	D	87,6	108	418,4	B	48,2	107,4	284,7	31,96
					<b>41,59</b>	<b>67,21</b>	<b>204,79</b>		<b>22,70</b>	<b>63,07</b>	<b>111,28</b>	<b>45,10</b>
<b>Valores promedio Eficiencia energética inicial</b>								<b>Valores promedio Eficiencia energética simulada</b>				

A1.2.2.3.- Residencial colectivo (hoteles y residencias)

ID	Tipo	Provincia	Ayto.	Calif. Efic. Eng.	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Consumo EP (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	SIMULACIÓN ENERGÉTICA CONSIDERANDO MEDIDAS DE AHORRO ENERGÉTICO				
								Calif. Efic. Eng. Mejorada	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Consumo EP (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	% Consumo EP Dif. Con inicial
443	RC	A Coruña	A Coruña	C	33,8	33,4	182	C	23,2	28,4	134	26,37
444	RC	A Coruña	Santiago	F	62,8	29,6	368,9	D	43,3	19,8	253,9	31,17
445	RC	Pontevedra	Vigo	E	35,1	31	204	B	15,6	26,4	89,1	56,32
446	RC	Lugo	Sarria	D	25,5	35	115,4	B	12,6	35	72,5	37,18
447	RC	Ourense	Ourense	D	28,6	32,7	135,4	C	16,2	28,5	93,2	31,17
448	RC	A Coruña	Ferrol	D	29,1	13,3	146,1	C	18,1	13,3	96,3	34,09
449	RC	León	Ponferrada	D	25	37,4	127,4	B	14,2	33,4	79,7	37,44
450	RC	Pontevedra	Silleda	D	26,8	27,9	127,4	B	16,6	20,5	92,3	27,55
453	RC	A Coruña	A Coruña	D	40,6	45,6	197,9	C	26,5	32,4	153,9	22,23
					<b>34,14</b>	<b>31,77</b>	<b>178,28</b>		<b>20,70</b>	<b>26,41</b>	<b>118,32</b>	<b>33,72</b>
<b>Valores promedio Eficiencia energética inicial</b>								<b>Valores promedio Eficiencia energética simulada</b>				

A1.2.2.4.- Centros hospitalarios

ID	Tipo	Provincia	Ayto.	Calif. Efic. Eng.	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Consumo EP (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	SIMULACIÓN ENERGÉTICA CONSIDERANDO MEDIDAS DE AHORRO ENERGÉTICO				
								Calif. Efic. Eng. Mejorada	Emisividad (kCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año)	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Consumo EP (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	% Consumo EP Dif. Con inicial
454	CH	A Coruña	A Coruña	C	31,6	30,1	173,8	B	20,1	18,9	117,6	32,34
455	CH	A Coruña	A Coruña	C	26,5	14	150,1	B	19,5	12,5	109	27,38
456	CH	A Coruña	A Coruña	D	37,6	35,5	189,5	C	24,6	28,2	144,1	23,96
					<b>31,90</b>	<b>26,53</b>	<b>171,13</b>		<b>21,40</b>	<b>19,87</b>	<b>123,57</b>	<b>27,89</b>
Valores promedio Eficiencia energética inicial								Valores promedio Eficiencia energética simulada				

ANEXO 2  
CALIDAD DE AIRE INTERIOR EN LOS EDIFICIOS EVALUADOS

---

A2.- Datos relativos a la medición de parámetros de calidad de aire interior en los edificios evaluados

Tipo	Provincia	Año Const.	(m <sup>2</sup> ) Superficie	Zona de control 1 (Admisión)			Zona de Control 2 (Extracción)			CALIDAD DE AIRE INTERIOR (valores promedio)			EFICIENCIA ENERGÉTICA	
				(°C) TEMP.	(%) Humedad	(p.p.m.) CO <sub>2</sub>	(°C) TEMP.	(%) Humedad	(p.p.m.) CO <sub>2</sub>	(°C) TEMP.	(%) Humedad	(p.p.m.) CO <sub>2</sub>	Demanda calor (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Consumo EP (kW.h/m <sup>2</sup> .año)
EC	A Coruña	2007	66.634,00	19,50	74,30	756,32	19,70	68,50	866,58	19,60	71,40	811,45	89,6	15,20
EC	A Coruña	1995	19.129,00	18,30	70,20	825,96	18,70	69,40	1.001,08	18,50	69,80	913,52	139,2	23,60
EC	A Coruña	1986	45.047,00	20,20	70,60	936,50	20,40	69,80	1.239,42	20,30	70,20	1.087,96	109,3	18,50
EC	A Coruña	2007	11.548,00	19,50	65,90	854,30	19,30	64,90	897,92	19,40	65,40	876,11	181,8	30,80
EP	A Coruña	1995	13.819,00	22,20	54,20	925,40	23,00	52,60	1.367,22	22,60	53,40	1.146,31	138,5	35,42
EP	A Coruña	2006	3.905,71	18,40	63,80	754,25	18,20	61,80	782,19	18,30	62,80	768,22	287,8	56,60
EP	A Coruña	1995	11.403,30	21,50	57,40	904,30	25,30	57,80	1.190,62	23,40	57,60	1.047,46	169,2	33,50
EP	A Coruña	1995	2.149,60	18,70	64,90	764,23	17,90	63,50	806,25	18,30	64,20	785,24	227,65	56,61
EP	A Coruña	2003	7.372,79	21,10	62,30	756,82	21,30	60,10	917,70	21,20	61,20	837,26	418,4	87,60
RC	A Coruña	1967	9.579,00	22,50	53,37	907,36	24,30	53,23	1.377,68	23,40	53,30	1.142,52	182	33,80
RC	A Coruña	1948	9.562,00	21,40	57,80	925,14	21,60	55,00	1.145,28	21,50	56,40	1.035,21	197,9	40,60
CH	A Coruña	1990	11.037,00	23,00	54,30	1.106,32	25,20	50,50	1.578,18	24,10	52,40	1.342,25	150,1	26,50
CH	A Coruña	1990	4.818,00	22,70	59,50	1.076,85	24,50	49,70	1.480,41	23,60	54,60	1.278,63	189,5	37,60
BC	A Coruña	2001	3.670,00	20,50	60,80	759,26	20,28	60,74	892,92	20,39	60,77	826,09	117,72	28,23
BC	Ourense	1974	3.288,00	19,50	65,90	712,32	18,52	61,90	739,68	19,01	63,90	726,00	186,63	45,35
BC	A Coruña	1990	1.968,00	21,30	64,50	628,47	21,40	59,00	682,57	21,35	61,75	655,52	101,51	20,50
BC	A Coruña	1980	10.848,00	20,60	62,30	113,02	20,80	58,90	2.328,98	20,70	60,60	1.221,00	127,11	25,67
				<b>20,64</b>	<b>62,47</b>	<b>806,28</b>	<b>21,20</b>	<b>59,85</b>	<b>1.134,98</b>	<b>20,92</b>	<b>61,16</b>	<b>970,63</b>		
				Valores promedio admisión			Valores promedio extracción			Valores promedio de la muestra				

ANEXO 3  
MODELOS DE INFORMES DE EVALUACIÓN Y  
CERTIFICACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE  
EDIFICIOS EXISTENTES UTILIZANDO DOCUMENTO  
RECONOCIDO (CE3X)

---

---

**TÉRMINOS RELACIONADOS CON LA EFICIENCIA ENERGÉTICA**

**ACS.** Sigla de agua caliente sanitaria.

**Acumulador de calor.** Tipo de calefacción eléctrica que almacena en bloques cerámicos aislados el calor producido por unas resistencias eléctricas.

**Ahorro de Energía.** El ahorro de energía en el hogar se puede conseguir, tanto por el uso de equipos más eficientes energéticamente, como por la aplicación de prácticas más responsables con los equipos que la consumen.

**Aislamiento térmico.** Los aislantes térmicos que se colocan en techos, tabiques y muros tienen la propiedad de impedir el paso del calor en ambos sentidos; por eso evitan que en invierno se escape el calor al exterior y que en verano entre el calor en la vivienda. Los materiales aislantes pueden ser de origen vegetal (corcho, fibra de madera, etc.) sintético (espuma de poliuretano, poliestireno, espumas fenólicas, etc.). Se pueden colocar sobre la cara interna o externa de los paramentos, o incluso en el interior de los mismos, si existiera cámara de aire y se pudieran inyectar en ésta.

**Baja Tensión.** Suministro eléctrico con tensión inferior a 1.000 V.

**Balance energético.** Aplicación del principio de conservación de la energía a un sistema determinado mediante lo que se determinan todos los aportes y pérdidas de energía, experimentalmente o mediante cálculo. Este tipo de sistema es útil para la determinación de un sistema y para identificar las etapas en las que mejorar el proceso.

**Biomasa.** Conjunto de materia orgánica de origen vegetal, animal o resultado de la transformación natural o artificial de la misma, que se puede emplear como fuente directa o indirecta de energía.

**Bombas de calor.** Es un equipo que permite refrigerar en verano y calentar en invierno, simplemente invirtiendo el ciclo de funcionamiento. Se basa en el principio según el cual se puede transferir calor de un medio que está a menor temperatura a otro que está a temperatura superior, aportando para ello un trabajo mecánico que es el bombeo de calor. La diferencia fundamental con un equipo de refrigeración es que, mediante la incorporación de una válvula inversora de flujo, se puede intercambiar la función del evaporado con la del condensador. Energéticamente es un sistema muy eficiente, pues la energía térmica producida es varias veces la potencia eléctrica absorbida.

**Caldera.** Aparato que utiliza la energía para calentar un fluido, agua o aire que circula por ella.

**Calor (Q).** Se define calor como la forma de energía en tránsito que se manifiesta debido a una diferencia de temperaturas. Su notación es la letra Q y sus unidades son el Julio (J): en el sistema internacional (SI) y la caloría (cal) en el sistema cegesimal (CSG).

**Carga total de un edificio.** Total resultante de sumar las cargas eléctricas correspondientes a las viviendas, a los servicios generales del edificio y de los locales comerciales.

**Carga total de los servicios generales.** Total resultante de sumar las cargas correspondientes a los ascensores, alumbrado de la escalera y a los servicios comunes de un edificio.

**Caldera de condensación.** Caldera diseñada para utilizar el calor latente liberado por la condensación del vapor de agua contenido en los productos de combustión. Es necesario que la caldera permita la salida de los condensados del intercambiador de calor en forma líquida por medio del drenaje de la condensación. (Esta definición es la que aparece en la norma UNE 15378:2007 "Sistemas de calefacción de los edificios. Inspección de calderas y sistemas de calefacción")

**Capacidad frigorífica.** Medida de la potencia del sistema de refrigeración que indica la cantidad de calor que es capaz de absorber (expresada en frigorías) por hora de funcionamiento. Se expresa en frigorías / hora.

**Cogeneración.** Es la producción y explotación de dos fuentes de energía eléctrica (o mecánica) y térmica, a partir de un sistema que utiliza el mismo combustible. Se aplica en las industrias y los edificios donde hay una demanda simultánea de electricidad y calor. Se obtiene un importante ahorro de energía primaria.

**Componentes del edificio.** Se entienden por componentes del edificio los que aparecen en su envolvente edificatoria: cerramientos, huecos y puentes térmicos.

**Conducción.** Es la transmisión de energía calorífica, de molécula a molécula, a través de un material, ya sea sólido, líquido o gaseoso. Para que el calor se transmita por conducción, deberá existir contacto físico entre partículas y cierta diferencia de temperatura. Así, la conductividad térmica es la medida de la velocidad a la que el flujo de calor pasa de una partícula a otra. La tasa de flujo de calor a través de un material específico estará determinada por la diferencia de temperatura y la conductividad térmica del material.

**Consumo.** Número de kilovatios/hora utilizados por un aparato eléctrico durante un tiempo. Depende de la potencia del aparato y del tiempo que esté funcionando.



**Consumo (estimación de).** Cálculo realizado en función del consumo del mismo periodo del año anterior, cuando no se conoce el consumo real para su facturación.

**Convección.** Es la transmisión de calor debida al movimiento de un fluido (aire, gas o líquido) calentado que es transportado de un lugar a otro, llevando consigo el calor que contiene. La tasa de flujo de calor varía en función de la temperatura del gas o líquido en movimiento y de su caudal. Puede ser natural o forzada.

**CO<sub>2</sub>.** Dióxido de carbono, es el principal de los gases de efecto invernadero, que en cantidades excesivas contribuye al calentamiento global del planeta. (cambio climático).

**Demanda energética.** Es la energía necesaria para mantener en el interior del edificio unas condiciones de confort definidas reglamentariamente en función del uso del edificio y de la zona climática en la que se ubique. Se compone de la demanda energética de calefacción, correspondientes a los meses de la temporada de calefacción y de refrigeración respectivamente.

**Desarrollo Sostenible.** Aprovechamiento de los recursos que satisface las necesidades actuales protegiendo el medio ambiente sin poner en peligro la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer las suyas.

**Directivas Europeas.** Son documentos legales elaborados por el Consejo de la Comisión Europea, que dirigen la forma de legislar en cada Estado Miembro para que resulta uniforme en toda la Unión Europea. En sí mismas, no entrañan obligación de cumplimiento de su contenido, pero sí obligan a su transposición dentro del sistema legislativo de cada uno de los Estados Miembros, con un plazo máximo de 2 años.

**EER.** Coeficiente de Eficiencia Energética de una máquina frigorífica movida por motores eléctricos, en régimen de refrigeración. Es igual a la relación entre la potencia frigorífica entregada por la máquina al fluido portador y la potencia útil absorbida. Es adimensional.

**Edificio de referencia.** Edificio obtenido a partir del edificio objeto, cuya demanda energética debe ser mayor, tanto en régimen de calefacción como de refrigeración, que la del edificio objeto. Se obtiene a partir del edificio objeto sustituyendo los cerramientos por otros que cumplen los requisitos de la opción simplificada.

**Edificio objeto.** Edificio del que se quiere verificar el cumplimiento de la reglamentación española.

**Eficacia luminosa.** Relación entre el flujo luminoso emitido por una fuente y su potencia eléctrica absorbida. Se expresa en Lúmenes/vatio (lm/W).

**Eficiencia Energética.** Conjunto de programas y estrategias para reducir la energía que emplean determinados dispositivos y sistemas sin que se vea afectada la calidad de los servicios suministrados.

**Energía.** La energía es la capacidad de un cuerpo o un conjunto de éstos para efectuar un trabajo. Al pasar de un estado a otro, produce fenómenos físicos que manifiestan la transformación de la energía. La energía eléctrica se mide en kilowatt-hora (kWh).

**Energía primaria.** Se encuentran directamente en la naturaleza y no han sufrido ninguna transformación. Se pueden dividir entre aquellas que necesitan de procesos para su consumo (uranio, petróleo, gas natural, carbón) y las que no lo necesitan (madera, agua en embalses, sol, viento).

**Energía final.** Modo en que se usa la energía en los puntos de consumo (calor, electricidad).

**Envolvente edificatoria.** Se compone de todos los cerramientos del edificio.

**Energía renovable.** Las fuentes de energía renovable son aquellas que se obtienen de productos que no terminan, como el sol, el viento, la hidráulica y la biomasa.

**Energía solar.** Energía que proviene del sol y se transforma en electricidad mediante el efecto del calor del sol en una placa solar, produciendo la fusión de los núcleos atómicos de hidrógeno. Se usa principalmente mediante una batería que se carga durante el día, en instalaciones domésticas o iluminación exterior.

**Envolvente térmica.** Se compone de los cerramientos del edificio que separan los recintos habitables del ambiente exterior y las particiones interiores que separan los recintos habitables de los no habitables que a su vez estén en contacto con el ambiente exterior.

**Espacio habitable.** Espacio formado por uno o varios recintos habitables contiguos con el mismo uso y condiciones térmicas equivalentes agrupados a efectos de cálculo de demanda energética.

**Etiqueta energética.** Informa sobre la eficiencia energética de un producto en relación al consumo medio de otros productos de la misma naturaleza.

**Flujo luminoso.** Magnitud que mide la potencia de la radiación luminosa. Se expresa en Lúmenes (lm).

**Florescentes (Tubos).** El fenómeno de la fluorescencia se emplea para generar luz. El principio es la activación de partículas de flúor dentro de un tubo mediante la radiación ultravioleta que se produce al hacer pasar una corriente eléctrica sobre átomos de mercurio a baja presión.

**Fotovoltaica.** Relativo a la generación de electricidad por la acción de la radiación solar.

**Frigoría.** Unidad de medida de absorción del calor, empleada en la técnica de la refrigeración; corresponde a la absorción de una kilocaloría.

**Frigoría/hora.** Unidad de potencia que expresa la capacidad frigorífica de un equipo.

**Gas canalizado.** Todo aquel que se transporta y distribuye a presión por tuberías. El gas natural y el gas ciudad son gases canalizados: sólo el segundo se extrae a partir del petróleo.

**Generación de Energía.** Producción de energía eléctrica a través de la transformación de otro tipo de energía (mecánica, eólica, etc). En grandes cantidades lo realizan las denominadas centrales eléctricas (termoeléctricas, hidroeléctricas, eólicas, nucleares, etc.)

**Gestión electrónica.** Los electrodomésticos que incorporan sistemas electrónicos para la gestión del proceso que desarrollan, tienen mayor eficiencia energética.

**Halógenos (Lámparas).** Los gases halógenos son: F, Cl, Br, I y At, siendo los más empleados para este tipo de lámparas el bromo y el yodo. En las lámparas halógenas, que son del tipo de incandescencia, se emplea un gas halógeno de relleno de la bombilla, siendo ésta de cuarzo en lugar de vidrio (debido a la elevada temperatura que debe soportar, entre 250 °C y 350 °C).

**Humedad relativa.** Es la fracción de la presión de saturación que representa la presión parcial del vapor de agua en el espacio o ambiente exterior en estudio. Se tiene en cuenta en el cálculo de las condensaciones, superficiales e intersticiales en los cerramientos.

**Impacto ambiental.** Cambio, temporal o espacial, provocado en el medio ambiente por la actividad humana.

**Incandescentes (Lámparas).** La incandescencia es un proceso que genera luz basado en el principio de termorresistencia de un filamento conductor al paso de la intensidad eléctrica. El inconveniente es que la gran temperatura que se alcanza en la bombilla no tiene aprovechamiento térmico. Su ventaja es que tiene una muy buena reproducción del color.

**IVA .** IVA significa Impuesto sobre el Valor Añadido. Es la tasa que establece un gobierno sobre las ventas. Los consumidores deberán hacerse cargo del IVA de los comercializadores y distribuidores de red 18%.

**Kilovatio.** (kW) Es un múltiplo de la unidad de medida de potencia eléctrica. 1 kilovatio son 1000 vatios.

**Kilovatios hora.** (Kw.h) Es la potencia media consumida durante una hora. Sirve como unidad de registro de consumo de energía. Es la unidad de energía eléctrica en el Sistema Internacional de Unidades, equivalente a 3,6 millones de Julios y que expresa la energía que desarrolla un equipo generador, de 1000 Watios de potencia durante una hora, o consume un equipo consumidor de la misma potencia durante el mismo tiempo.

**Lámparas Electrónicas.** Son un tipo de lámparas de bajo consumo que cuentan, para su encendido, con una reactancia electrónica en lugar de electromagnética, característica que las hace más eficientes energéticamente.

**LED.** Diodo emisor de luz, también conocido como LED (acrónimo del inglés de Light-Emitting Diode), es un dispositivo semiconductor (diodo) que emite luz incoherente de espectro reducido cuando se polariza de forma directa la unión PN del mismo y circula por él una corriente eléctrica. Las lámparas con diodos LED permiten reducir el consumo eléctrico y duran más.

**Luminaria.** Aparato que reparte, filtra o transforma la luz de las lámparas, y que incluye todas las piezas necesarias para fijar y proteger las lámparas y conectarlas al circuito de alimentación.

**Microclima.** Condiciones climáticas existentes en un espacio determinado y diferenciadas de la climatología del espacio circundante.

**Medioambiente.** Conjunto de materiales y organismos vivos que integran la biosfera. Comprende el conjunto de valores naturales, sociales y culturales existentes en un lugar y un momento determinado, que influyen en la vida del hombre y en las generaciones venideras. Es decir, no se trata sólo del espacio en el que se desarrolla la vida sino que también abarca seres vivos, objetos, agua, suelo, aire y las relaciones entre ellos, así como elementos tan intangibles como la cultura. El Día Mundial del Medioambiente se celebra el 5 de junio.

**Megavatio.** (MW) Un millón de vatios. Unidad de medida habitual de la capacidad o potencia instalada de las instalaciones de producción de energía eléctrica.

**Megavatio hora (MWh).** Mil kilovatios hora. Unidad de medida para la producción de energía eléctrica.

**Muro parietodinámico.** Cerramiento que aprovecha la energía solar para el precalentamiento del aire exterior de ventilación. Generalmente está formado por una hoja interior de fábrica, una cámara de aire y una hoja exterior acristalada o metálica que absorbe la radiación solar. La circulación del aire puede ser natural (termosifón) o forzada.

**Muro trombe.** Cerramiento que aprovecha la energía solar para el calentamiento por recirculación del aire interior del edificio. Generalmente está formado por una hoja interior de fábrica, una cámara de aire y un acristalamiento exterior. La circulación del aire puede ser natural (termosifón) o forzada. También se denomina muro solar ventilado.

**Panel fotovoltaico.** Conjunto de módulos eléctricamente interconectados para conseguir una intensidad de corriente y una tensión en circuito abierto determinado.

**Partición interior.** Elemento constructivo del edificio que divide su interior en recintos independientes. Pueden ser verticales u horizontales (suelos y techos).

**Permeabilidad al aire.** Es la propiedad de una ventana o puerta de dejar pasar el aire cuando se encuentra sometida a una presión diferencial. La permeabilidad al aire se caracteriza por la capacidad de paso del aire, expresada en m<sup>3</sup>/h, en función de la diferencia de presiones.

**Poder calorífico.** Valor máximo de calor que se puede obtener quemando un combustible en una combustión ideal (máximo rendimiento).

**Potencia.** Capacidad de un aparato para dar servicio en la unidad de tiempo. Es el trabajo o transferencia de energía realizada en la unidad de tiempo. Se mide en Watio (W) o kilovatio (kW).

**Porcentaje de huecos.** Fracción del área total de la fachada ocupada por los huecos de la misma, expresada en porcentaje.

**Protocolo de Kioto.** Acuerdo internacional de 1997 para reducir, en el periodo 2008 a 2012, un 5,2 por ciento de media la emisión combinada de gases con efecto de invernadero respecto a los niveles de 1990.

**Puente térmico.** Se consideran puentes térmicos las zonas de la envolvente del edificio en las que se evidencia una variación de la uniformidad de la construcción, debido, entre otras causas, a un cambio del espesor del cerramiento, de los materiales empleados, por penetración de elementos constructivos con diferente conductividad, por ausencia de material aislante en la cámara de aire. Implica una minoración de la resistencia térmica respecto al resto de los cerramientos. Los puentes térmicos son partes sensibles de los edificios donde aumenta la posibilidad de producción de condensaciones superficiales, en la situación de invierno o épocas frías.

**Radiación.** Transmisión de calor entre dos cuerpos los cuales, en un instante dado, tienen temperaturas distintas, sin que entre ellos exista contacto ni conexión por otro sólido conductor. Es una forma de emisión de ondas electromagnéticas (asociaciones de campos eléctricos y magnéticos que se propagan a la velocidad de la luz) que emana todo cuerpo que esté a mayor temperatura que el cero absoluto.

**Reciclado.** Recuperación de recursos que consiste en la recogida y el tratamiento de un producto usado para emplearlo como materia prima en la fabricación del mismo producto o de otro similar. La estrategia de residuos de la Unión Europea distingue entre reutilización, que es la recuperación del producto sin modificación estructural alguna, reciclado, que es la utilización del material con algunos cambios estructurales, y recuperación que se refiere exclusivamente al componente energético.

**Recirculación.** El procedimiento de recirculación del agua por el sistema de calentamiento, hace que éste sea más eficiente y, por tanto, supone un ahorro de energía.

**Regulador de Intensidad.** Se emplean en las lámparas que más consumen, especialmente las halógenas.

**Regulador-programador.** Dispositivo de accionamiento y control que permite la puesta en marcha a una hora prefijada, de un aparato o una instalación, asegurando además su funcionamiento adaptado a un valor constante de un determinado parámetro (por ejemplo, la temperatura).

**Sensor de Humedad.** Las secadoras más avanzadas técnicamente cuentan con un sistema que controla electrónicamente el secado mediante sensores de humedad, deteniéndose el proceso sin necesidad de que la ropa se seque completamente.

**Sensores de presencia.** Son unos dispositivos que accionan un mecanismo cuando detectan la presencia de algún movimiento.

**Severidad climática.** La severidad climática de una localidad es el cociente entre la demanda energética de un edificio cualquiera en dicha localidad y la correspondiente al mismo edificio en una localidad de referencia. En la reglamentación española se ha tomado Madrid como localidad de referencia, siendo, por tanto, su severidad climática la unidad. Se define una severidad climática para verano y una para invierno.

**Sistema de Etiquetado Energético de los Electrodomésticos.** Impulsado por la Directiva Europea 92/75/CEE, de 22 de septiembre de 1992, se estableció un sistema de información uniforme para todos los estados miembros, sobre el comportamiento energético de un electrodoméstico comparado con todos los de su mismo tipo y prestaciones. El objetivo es ampliar la información del usuario sobre las características del equipo que va a utilizar.

**Sistema de control y regulación.** Conjunto de dispositivos, cableado y componentes destinados a controlar de forma automática o manual el encendido y apagado o el flujo luminoso de una instalación de iluminación. Se distinguen 4 tipos fundamentales:

- Regulación y control bajo demanda del usuario, por interruptor manual, pulsador, potenciómetro o mando a distancia;
- Regulación de iluminación artificial según aporte de luz natural por ventanas, cristaleras, lucernarios o claraboyas;
- Control del encendido y apagado según presencia en la zona;
- Regulación y control por sistema centralizado de gestión.

**Sonda de Agua.** Sistema de detección inteligente en el interior de una lavadora, que minimiza el consumo de agua consiguiendo ahorrar recursos.

**Split o sistema partido.** Sistema de aire acondicionado con una unidad externa y una unidad interna. En el caso en el que para una unidad externa haya varias internas se denomina multi-split, y en este caso cada unidad interna puede ser regulable por separado.

**Termia.** Unidad de energía equivalente a mil kilocalorías.

**Termostato.** Es el más elemental de los equipos de regulación y control. Es un aparato que se conecta a una fuente de calor o frío para impedir que la temperatura suba o baje de la prefijada, conectando o desconectando automáticamente dicha fuente. Los que tienen además la posibilidad de programación horaria se llaman termostatos programadores.

**Toneladas equivalentes de petróleo (tep).** Es la energía liberada por la combustión de una tonelada de petróleo, que por definición de la Agencia Internacional de la Energía, equivale a  $10^7$  Kcal. La conversión de unidades habituales a tep se hace en base a los poderes caloríficos inferiores de cada uno de los combustibles considerados.

**Trabajo.** Forma útil de la energía. Se mide en J (Julios).

**Transmitancia térmica.** Es el flujo de calor, en régimen estacionario, dividido por el área y por la diferencia de temperaturas de los medios situados a cada lado del elemento que se considera.

**Valor de eficiencia energética de la instalación (VEEI).** Valor que mide la eficiencia energética de una instalación de iluminación de una zona de actividad diferenciada, cuya unidad de medida es (W/m<sup>2</sup>) por cada 100 lux

**Válvula termostática.** Válvula cuyo principio de funcionamiento se basa en la dilatación de un líquido o gas, por medio de la temperatura, de tal modo que acciona un mecanismo de corte del agua que circula por el radiador.

**Vida Útil (de una lámpara).** Horas de funcionamiento de la fuente de luz durante las cuales mantiene sus características cromáticas de la luz emitida.

**Vidrios absorbentes.** Son aquellos que están diseñados para absorber la mayor cantidad de calor de la radiación del sol.

**Vidrios reflectantes.** Son los que presentan una película en su interior, normalmente compuesta por algún metal, que refleja una gran parte del espectro solar.

**Voltio.** Unidad de fuerza que impulsa a las cargas eléctricas a moverse a través de un conductor. Su nombre, voltio, se debe al físico italiano, Alejandro Volta quien descubrió que las reacciones químicas originadas en dos placas de zinc y cobre sumergidas en ácido sulfúrico originaban una fuerza suficiente para producir cargas eléctricas.

**W (Vatio).** Símbolo del Vatio. Es la unidad que expresa la potencia en el Sistema Internacional de Unidades y equivale, en el caso de la energía eléctrica, a 1 Ohmio multiplicado por Amperio al cuadrado.

## TÉRMINOS RELACIONADOS CON LA CIENCIA DE LA INFORMACIÓN, INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y REDES NEURONALES ARTIFICIALES

**Abstracción.** Es el proceso refinado de generalización de propiedades y características de un sistema y constituye la separación de conceptos de los detalles no esenciales del sistema; fundamental para la representación de conocimiento y solución de problemas.

**Acceso.** Posibilidad de ingreso en el escenario de un sistema.

**Acoplamiento.** Grado en el que se unen componentes de software separado.

**Adaptación.** Característica de un organismo para su supervivencia en un nuevo ambiente.

**Administrador.** Persona o sistema que controla y distribuye los recursos de acuerdo a un plan para obtener de un proceso un producto correcto.

**Administrar.** Buscar la colaboración voluntaria de los recursos humanos para llevar a feliz término unos planes o políticas.

**Algoritmo.** Representación simbólica de instrucciones consistentes y lógicas que buscan dar solución a un problema. //2. Conjunto de pasos lógicos para solucionar un problema

**Análisis.** Estudio de los requerimientos dados por el usuario, de la información, de los procesos que tienen como fin desarrollar un software.

**Análisis funcional.** Una técnica del análisis que utiliza diagramas de flujo para determinar la estructura de la función principal del sistema.

**Aprendizaje.** Adquisición de conocimiento por medio de estudio o experiencias. //2. Cambio adaptativo que permite, al repetir una tarea sobre la misma población, realizarla más efectivamente. //3. Proceso de las RNA de modificar los pesos entre elementos de procesamiento, según el error. //4 Proceso (en seres humanos) de adquirir conocimiento y utilizarlo para solucionar problemas.

**Aptitud.** Valor asignado a un organismo (objeto) que indica la capacidad de adaptación a un ambiente.

**Asociación.** Enlace o relación entre elementos con datos que provee o aumenta el contenido de información y supuestamente disminuye la entropía. 2// Un proceso del cerebro que enlaza la entrada perceptual con el conocimiento almacenado.

**Atributo.** Una característica de un concepto, objeto o elemento.

**Backpropagation.** Ver propagación inversa.

**Base de conocimiento.** Conjunto interconectado de observaciones, hipótesis y afirmaciones codificadas en patrones llamados reglas, las cuales le posibilitan al sistema tomar decisiones efectivas, apoyándolas con explicaciones y justificaciones.

**Biblioteca.** Lugar con alguna organización donde se tiene un considerable número de textos para extraer información.

**Bifurcación (branch).** Transferencia de control a otra instrucción no consecutiva en un programa; si se evalúa una condición se dice que es bifurcación condicional.

**Capa o nivel.** Conjunto de neuronas cuyas entradas provienen de la misma fuente y cuyas salidas son dirigidas a otras neuronas.

**Cibernética.** Ciencia de los mecanismos de comunicación, unión, coordinación y control.

**Clase.** Descripción abstracta de los datos y del comportamiento de una colección de objetos similares.

**Cognición.** Procesamiento intelectual de la información, maduración de la información para encontrarle significado. Pensar. Considerar. Procesamiento cerebral de datos. Los procesos cognitivos incluyen tareas realizadas por algunos invertebrados y todos los vertebrados, tales como la percepción, así como tareas aparentemente reservadas a los humanos como el razonamiento.

**Confiabilidad.** Es la confianza que brinda una aplicación al hacer los procesos efectiva y eficazmente.

**Conexión.** Elemento que une dos neuronas en una red neuronal; permite el paso de la salida de la neurona origen a la neurona destino.

**Conexiones autorecurrentes.** Conexiones de salida de una neurona artificial para conectarse a ella misma de entrada.

**Conexión feedforward (hacia adelante).** Señales de entrada en las RNA recibidas de una capa anterior y enviadas a una capa posterior. 2// Tipo de red neuronal que no tiene ciclos.

**Conexión feedforward/feedback (hacia adelante y hacia atrás).** RNA en las cuales hay señales que son enviadas tanto a una capa anterior, como a una posterior.

**Conexiones laterales.** Salida de una neurona artificial, conectada a la entrada de otras neuronas artificiales de la misma capa

**Conexionismo.** Teoría sobre la estructura de enlaces caóticos del cerebro y su modelización usando redes neuronales artificiales. El conexionismo involucra un esquema masivamente paralelo en el cual el aspecto saliente es la estructura de enlaces con sus pesos (niveles de flujo eléctrico admisible por el enlace).

**Correlación.** En estadística, relación entre dos consecuencias o variables dependientes de una causa o variable independiente única no necesariamente considerada en el procesamiento de datos. //2. Una función realizada por las células neuronales que no involucra directamente entrada o salida y que soporta al procesamiento cognitivo solamente en forma indirecta. Por ejemplo, las células horizontales de la corteza proveen rutas de tránsito para las entradas que se conectan con sus destinos buscados cuando la fibra de entrada se halla alejada de su objetivo.

**Criterio.** Característica que permite reconocer la veracidad material o formal de una proposición.

**Dato.** Es lo fundamental u objeto indivisible en una aplicación de computador.

**Deducción.** Acción del ser humano de sacar conclusiones a partir de observaciones (premisas). //2. Proceso discursivo que consiste en inferir lo particular de lo general.

**Diagnóstico.** Resultado de pruebas para determinar por medio de reglas los errores, funcionamiento, datos, información, rutinas, etcétera.

**Documentación.** Descripción metodológica, sistemática, narrativa y gráfica sobre sistemas, programas, procedimientos.

**Dominio.** Área particular del conocimiento, información o datos sobre la cual se basa una aplicación.

**Efectividad.** Grado de lograr objetivos, metas o resultados esperados.

**Enlace.** Proceso por el cual un objeto se asocia con un atributo, tal como una variable y el tipo de valor que puede llevar la variable.

**Entradas.** Elemento (estímulo) que requiere una neurona para emitir una respuesta después de realizar un proceso.

**Estándar.** Normas y/o procedimientos que proporcionan un marco de trabajo para parametrizar actividades, diseñar e implementar una aplicación (software) para el logro de objetivos específicos.

**Estrategia.** Técnica usada para controlar cual regla va a ser seleccionada y procesada.

**Evaluación.** Proceso de verificación y validación del software.

**Evento.** Situación o estado que ocurre de un sistema.

**Exactitud.** Grado de acercamiento de la solución hallada a un problema con la realidad.

**Experiencia.** Conocimiento que se adquiere con la práctica y el tiempo.

**Experto.** Persona que soluciona problemas con suficiente conocimiento, hace diagnósticos correctos y conoce cuándo un problema no puede ser confidencialmente solucionado usando el conocimiento disponible.

**Frecuencia.** Número de oscilaciones o variaciones producido durante cada unidad de tiempo.

**Hecho.** Expresión considerada como válida.

**Hardware.** Componente físico de un sistema de computación (pantalla, teclado, discos. UCP, etcetera).

**Heurística.** Conjunto de herramientas y reglas generales, principalmente producto de la experiencia, que contribuyen a la solución de problemas.

**Hipótesis.** Proposición para probar que se cree es la solución a un problema.

**Inducción.** Proceso que le permite a un usuario inferir una regla de casación general por observación o análisis de momentos particulares.

**Inferencia.** Proceso mental por el cual se hacen conclusiones a partir de premisas más o menos explícitas, proceso resultante ya sea del sentido común, ya sea de silogismos informales y formales, o bien por aplicación de las reglas muy detallistas o de cálculos sofisticados.

**Información.** Del latín **informare**: "formar en". Es la organización metódica y sistemática de conocimiento expresado por símbolos o caracteres perfectamente cuantificables y transmisibles. //2. Colección de símbolos o signos que poseen un significado.

**Informática.** Ciencia del tratamiento racional de la información entendida como base del conocimiento humano, principalmente a través de máquinas automáticas.

**Ingeniería.** Arte de aplicar conocimientos científicos a la invención, perfeccionamiento o utilización de técnicas o métodos.

**Ingeniero.** Persona que posee ingenio, espíritu de invención, tiene la capacidad para discurrir o crear con prontitud solución a problemas de aplicabilidad. //2. Persona que profesa la ingeniería.

**Inteligencia.** Facultad de comprender y/o conocer. //2. Capacidad de comprensión, aplicación, aprendizaje, interpretación y establecimiento de relaciones y conexiones que tengan sentido en el ambiente en que se halla involucrado.

**Inteligencia artificial.** Rama de las ciencias de la computación que busca con métodos heurísticos de procesamiento de información, diseñar y construir máquinas que exhiban características asociadas con la inteligencia humana. //2. Es una técnica o disciplina que combina la computación, fisiología, sicología, lingüística y sicología para crear máquinas o programas que simulen la inteligencia humana.

**Interacción.** Acción que se ejercen recíprocamente dos objetos.

**Interfaz.** Componente que facilita la comunicación entre el sistema y el usuario.

**Memoria asociativa.** Capacidad que tienen algunas RNA para almacenar información en su memoria, con el objetivo de asociar las entradas dadas, a la información ya almacenada, hasta encontrar algún prototipo que coincida con la entrada dada.

**Memoria.** Conservación por parte de un sujeto de los resultados obtenidos de una interacción con el mundo, de modo que ello permita reproducir y utilizar tales resultados, reelaborarlos y unirlos en sistemas.

**Modelado y modelado cognitivo.** Cambio de escala de elementos buscando representar un sistema. En el modelado cognitivo, en lugar de neuronas y de interacciones electroquímicas caóticas, los modelos utilizan dispositivos electrónicos; se trata de armar un diagrama o mapa, basado en análisis presumiblemente científico, que relacione las diferentes estructuras y funciones cerebrales entre sí, de manera que permita mostrar los enlaces más importantes de los subsistemas relevantes en el sistema complejo cerebral.

**Modelo.** Representación esquemática y simplificada de la realidad.

**Motor de inferencia.** Componente del sistema experto para controlar el orden como las reglas del conocimiento básico se ejecutan.

**Mutación.** Proceso mediante el cual un solo nucleótido (elemento básico del ADN) se modifica del padre al hijo.

**Neurona.** Célula nerviosa especializada en conducir impulsos electroquímicos.

**Neurona artificial.** Modelo matemático de una neurona biológica.

**Percepción.** Acumulación de información usando los cinco sentidos fisiológicos. //2 Procesos cognitivos independientes de los sentidos (como sería la percepción extrasensorial), pero en general se refiere a actividades sensoriales. El conocimiento sensorial viene de la percepción de propiedades del objeto.

**Población.** Grupo de individuos que interactúan juntos.

**Predicción.** Conjetura o estimación que se hace acerca del comportamiento de un objeto. Inferir probables consecuencias de situaciones dadas

**Probabilidad.** Un rango numérico entre 0 y 1 que indica cuánto es probable que un evento específico ocurra, o una regla específica sea correcta.

**Propagación inversa.** Algoritmo de entrenamiento de redes neuronales artificiales que se basa en la técnica de optimización conocida como gradiente descendente

**Protocolo.** Un protocolo es la descripción en lenguaje (generalmente escrito) del comportamiento observado en un proceso cognitivo.

**Prototipo.** Modelo que permite la participación del usuario en el análisis, diseño y desarrollo de un sistema.

**Razonamiento.** Deducción de conocimiento soportado por relaciones a partir de conocimiento y explicaciones. //2. Operación discursiva en cuyo transcurso, de uno o varios juicios, denominados premisas de razonamiento, se infiere un nuevo juicio, denominado conclusión. //3. Es el proceso de trabajar con conocimiento y estrategias de resolución de problemas para obtener conclusiones.

**Realimentación o retroalimentación.** En fisiología, señales hacia el cerebro, provenientes de órganos y sentidos fisiológicos. En psicología, señales o pistas que ayudan en la confirmación de la interpretación que hacemos de un input. En redes neuronales, retropropagación de señales de error que ayuda a la corrección y ajuste de los pesos en el proceso de aprendizaje.

**Red neuronal artificial.** Red de neuronas artificiales compuesta de un gran número interconectado de elementos de procesamiento que trabajan en cooperación para resolver problemas específicos

**Selección.** Proceso mediante el cual se escoge un objeto, organismo, ambiente, ... , típicamente en base a una aptitud.

**Sistema experto.** Programas de IA que constan de conocimiento básico, inferencia e interfase con el usuario, diseñados para emular el proceso de razonamiento de expertos humanos en un área particular.

**Sistema inteligente.** Sistema que al plantearse problemas encuentra la solución, requiriendo cada vez menor esfuerzo, tiempo y conocimiento, debido a la experiencia que almacena.

**Software.** Componente lógico de un sistema de información (programas, sistema operacional, datos, documentación).

**Tipo de dato abstracto (TDA).** Es aquel definido por el programador y puede manipularse de una manera similar a los definidos por el sistema.

**Tutorial.** Sistema computacional que específicamente se diseña para ser instructor en un dominio dado. //2. Ayuda que facilita a los sistemas en computador que un usuario adquiera mayor conocimiento.

**Validez.** Calidad de una prueba o hipótesis que consigue el fin propuesto.

**Veracidad.** Es el grado en que la información o conocimiento refleja un hecho real.

## ANEXO 5 FUENTES DE INFORMACIÓN

---

### ÍNDICE ANEXO 5.- FUENTES DE INFORMACIÓN

5.1.- Referencias bibliográficas consultadas relacionadas con la eficiencia energética y la calidad de aire interior

5.2.- Referencias bibliográficas consultadas relacionadas con las Redes de Neuronas Artificiales y su aplicabilidad a la Ingeniería Civil y Edificación.

5.3.- Referencias bibliográficas consultadas relacionadas con la Programación Genética

5.4.- Cibergrafía

En este anexo se exponen las distintas fuentes de información consultadas para la redacción de la presente memoria de investigación:

## 5.- Fuentes de información

### 5.1.- Referencias bibliográficas consultadas relacionadas con la eficiencia energética y la calidad de aire interior

[TEXT]	FUENTE DE INFORMACIÓN
[AECC 16]	Asociación Española de Centros Comerciales: <i>Directorio de Centros y Parques Comerciales de España 2015</i> . Editado por AECC. Madrid. 2016
[BARI 78]	Barcelo Rico-Avello G: <i>La energía en la Edificación: Política energética y ahorro de energía</i> . (2ª Edición). Madrid: Editorial Index, 1.978.
[BASA 01]	Bartual Sánchez, J.; Berenguer Subils, M.J.: NTP 607: <i>Guías de calidad de aire interior: Contaminantes químicos</i> . Publicado por el INSHT. Madrid, 2001. Recuperado de <a href="http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/601a700/ntp_607.pdf">http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/601a700/ntp_607.pdf</a>
[BEMA 89]	Berenguer Subils, M.J.; Martí Solé, M.C.: NTP 243: <i>Ambientes cerrados: calidad del aire</i> . Publicado por el INSHT. Madrid 1989. Recuperado de <a href="http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/201a300/ntp_243.pdf">http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/201a300/ntp_243.pdf</a>
[BERE 00]	Berenguer Subils, M.J.; Bernal Domínguez, F.: NTP 549: <i>El dióxido de carbono en la evaluación de la calidad del aire interior</i> . Publicado por el INSHT. Madrid, 2000. Recuperado de <a href="http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/501a600/ntp_549.pdf">http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/501a600/ntp_549.pdf</a>
[BERE 91]	Berenguer Subils, M.J.: NTP 289: <i>Síndrome del edificio enfermo: factores de riesgo</i> . Publicado por el INSHT. Madrid, 1991. Recuperado de <a href="http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/201a300/ntp_289.pdf">http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/201a300/ntp_289.pdf</a>
[BERE 94]	Berenguer Subils, M.J.: NTP 431: <i>Caracterización de la calidad del aire en ambientes interiores</i> . Publicado por el INSHT. Madrid, 1994. Recuperado de <a href="http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/401a500/ntp_431.pdf">http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/401a500/ntp_431.pdf</a>
[BERE 99]	Berenguer Subils, M.J.: NTP 521: <i>Calidad de aire interior: emisiones de materiales utilizados en la construcción</i> . Publicado por el INSHT. Madrid, 1999. Recuperado de <a href="http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/501a600/ntp_521.pdf">http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/501a600/ntp_521.pdf</a>
[BPST 16]	BP Distribution Services: BP Statistical Review of World Energy. Editado por BP p.l.c. Londres. 2016. Recuperado de <a href="https://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical-review-2016/bp-statistical-review-of-world-energy-2016-full-report.pdf">https://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical-review-2016/bp-statistical-review-of-world-energy-2016-full-report.pdf</a>
[CARE 05]	Casares Ripoll, J. y Rebollo Arévalo, A.: <i>Distribución Comercial</i> . Editado por CIVITAS EDICIONES. Madrid. 2005.
[CCAP 16]	Gobierno de España - Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad: <i>Catálogo de Centros de Atención Primaria del SNS</i> . Editado por la Secretaría General Técnica. Madrid. 2016.
[CENS 05]	Centro de Estudios de la Energía Solar (CENSOLAR): Aplicación web CenSOL5. <a href="http://www.censolar.es/censol50.htm">http://www.censolar.es/censol50.htm</a>
[CODU 11]	Costa Duran S.: <i>Arquitectura y eficiencia energética</i> . Barcelona: Editorial FKG Loft Publications (2011).
[CTE 09]	Gobierno de España – Ministerio de Vivienda: <i>Orden VIV/984/2009, de 15 de abril, por la que se modifican determinados documentos básicos del Código Técnico de la Edificación aprobados por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, y el Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre</i> . Publicada en el BOE núm. 99 del 23 de abril de 2009. Recuperada de <a href="http://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/dispLegislativas/Orden9842009.pdf">http://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/dispLegislativas/Orden9842009.pdf</a>



[CTHS09]	Gobierno de España – Ministerio de Vivienda: <i>Orden VIV/984/2009 de 15 de abril, por la que se modifican determinados documentos básicos del Código Técnico de la Edificación aprobados por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, y el Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre.</i> (BOE 23-abril-2009).Madrid, 2009. Recuperado de <a href="http://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/dispLegislativas/Orden9842009.pdf">http://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/dispLegislativas/Orden9842009.pdf</a>
[DBHE 09]	Gobierno de España – Ministerio de Fomento: <i>Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE "Ahorro de Energía", del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo.</i> Publicada en el BOE núm. 97, de 23/04/1997
[DBHE 13]	Gobierno de España – Ministerio de Fomento: <i>Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE "Ahorro de Energía", del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo.</i> Publicado en BOE núm. 219. Madrid, 2013. Recuperado de <a href="https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2013-9511">https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2013-9511</a>
[DBKH 16]	DBK consultores: Estudio sectorial de establecimientos hoteleros. Editado por INFORMA D&B, S.A.. Madrid. 2016
[DECO 93]	Comisión Europea: <i>Directiva 93/76/CEE del Consejo, de 13 de septiembre de 1993, relativa a la limitación de las emisiones de dióxido de carbono mediante la mejora de la eficacia energética (SAVE).</i> Publicada en el DOUE núm. 237, de 22 de septiembre de 1993
[DEEE 02]	Parlamento Europeo: <i>Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2002, relativa a la eficiencia energética de los edificios.</i> Publicado en el DOUE núm. 1, de 4 de enero de 2003.
[DEEE 10]	Parlamento Europeo: <i>Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios.</i> Publicada en el DOUE núm. 153, de 18 de junio de 2010.
[DEEE 12]	Parlamento Europeo: <i>Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética,</i> por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE. Publicada en el DOUE núm. 315, de 14 de noviembre de 2012
[DGOB 15]	Gobierno de España - Ministerio de Fomento - Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo: <i>Observatorio de vivienda y suelo. Boletín anual año 2015.</i> Editado por Secretaría General Técnica (M. Fomento). Madrid. 2016
[DPE 12]	Ministère de l'Environnement, de la Energie et de la Mer: Diagnostic de Performance Énergétique (DPE). Paris, 2012. Recuperado de <a href="http://www.developpement-durable.gouv.fr/diagnostic-performance-energetique-dpe">http://www.developpement-durable.gouv.fr/diagnostic-performance-energetique-dpe</a>
[DORE 17]	Gobierno de España – Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital: <i>Registro de documentos reconocidos para la certificación de la eficiencia energética en edificios.</i> Madrid, 2017. Recuperado de <a href="http://www.minetad.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/Paginas/documentosreconocidos.aspx">http://www.minetad.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/Paginas/documentosreconocidos.aspx</a>
[DRCO 14]	Ministerio de Industria, Turismo y Comercio - IDAE: <i>Propuesta de documento reconocido – Factores de emisión de CO2 y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector edificios en España. Versión 03/03/2014.</i> Publicado por Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Madrid, 2014
[EAES 15]	EAE Business School: <i>El sector hotelero en España 2015: Macrocifras y evolución.</i> Editado EAE. Barcelona. 2015.
[ECOF 07]	Ecofys: <i>Ecofys VII – U-Valores para un mejor rendimiento energético de los edificios (U-VALUES for better energy performance of buildings).</i> Editado por EURIMA. Bruselas. 2007
[ENEV 02]	Agencia Alemana de Energía (DENA): <i>Energieeinsparverordnung – EnEV. Berlín, 2002.</i> (Ordenanza de ahorro de energía EnEV 2002). Recuperada de <a href="https://www.zukunft-haus.info/gesetze-studien-verordnungen/enev-enev-historie/enev-historie/enev-2002-und-2004.html">https://www.zukunft-haus.info/gesetze-studien-verordnungen/enev-enev-historie/enev-historie/enev-2002-und-2004.html</a>
[ENEV 04]	Agencia Alemana de Energía (DENA): <i>Energieeinsparverordnung – EnEV. Berlín, 2004.</i> (Ordenanza de ahorro de energía EnEV 2004). Recuperada de <a href="https://www.zukunft-haus.info/gesetze-studien-verordnungen/enev-enev-historie/enev-historie/enev-2002-und-2004.html">https://www.zukunft-haus.info/gesetze-studien-verordnungen/enev-enev-historie/enev-historie/enev-2002-und-2004.html</a>

[ENEV 07]	Agencia Alemana de Energía (DENA): <i>Energieeinsparverordnung – EnEV. Berlin, 2007. (Ordenanza de ahorro de energía EnEV 2007)</i> . Recuperada de <a href="https://www.zukunft-haus.info/gesetze-studien-verordnungen/enev-enev-historie/enev-historie/enev-2007.html">https://www.zukunft-haus.info/gesetze-studien-verordnungen/enev-enev-historie/enev-historie/enev-2007.html</a>
[ENEV 09]	Agencia Alemana de Energía (DENA): <i>Energieeinsparverordnung – EnEV. Berlin, 2009. (Ordenanza de ahorro de energía EnEV 2009)</i> . Recuperada de <a href="https://www.zukunft-haus.info/gesetze-studien-verordnungen/enev-enev-historie/enev-historie/enev-2009.html">https://www.zukunft-haus.info/gesetze-studien-verordnungen/enev-enev-historie/enev-historie/enev-2009.html</a>
[ENEV 14]	Agencia Alemana de Energía (DENA): <i>Energieeinsparverordnung – EnEV. Berlin, 2014. (Ordenanza de ahorro de energía EnEV 2014)</i> . Recuperada de <a href="https://www.zukunft-haus.info/gesetze-studien-verordnungen/enev-enev-historie/enev-historie/enev-2014.html">https://www.zukunft-haus.info/gesetze-studien-verordnungen/enev-enev-historie/enev-historie/enev-2014.html</a>
[ENEG 15]	Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital – Secretaría de Estado para la Energía: <i>La Energía en España 2015</i> . Publicado por Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Madrid, 2016. Recuperado de <a href="http://www.minetad.gob.es/energia/balances/Balances/Paginas/Balances.aspx">http://www.minetad.gob.es/energia/balances/Balances/Paginas/Balances.aspx</a>
[EUST 17]	Comisión Europea – Eurostat: <i>Producción e importaciones de energía en la UE</i> . Publicado en web por Eurostat. Bruselas. 2017. Recuperado de <a href="http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy_production_and_imports/es#M.C3.A1s_informaci.C3.B3n_de_Eurostat">http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy_production_and_imports/es#M.C3.A1s_informaci.C3.B3n_de_Eurostat</a>
[FESA 11]	Fernández Salgado J.: <i>Eficiencia energética en los edificios</i> . Madrid: Editorial Madrid Vicente ediciones (2011).
[FOPE 13]	Gobierno de España – Ministerio de Fomento: <i>Real Decreto 233/2013, de 5 de abril, por el que se regula el Plan Estatal de fomento del alquiler de viviendas, la rehabilitación edificatoria, y la regeneración y renovación urbanas, 2013-2016</i> . Publicado en BOE núm. 86. Madrid, 2013. Recuperado de <a href="https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2013-3780">https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2013-3780</a>
[FREI 93]	Freixa Blanxart, A.: <i>NTP 315: Calidad del aire: gases presentes a bajas concentraciones en ambientes cerrados</i> . Publicado por el INSHT. Madrid, 1993. Recuperado de <a href="http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/301a400/ntp_315.pdf">http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/301a400/ntp_315.pdf</a>
[FRRT 00]	Ministère de l'Environnement, de la Energie et de la Mer: <i>Réglementation thermique</i> . Paris, 2000. Recuperado en <a href="http://www.developpement-durable.gouv.fr/exigences-reglementaires-construction-des-batiments">http://www.developpement-durable.gouv.fr/exigences-reglementaires-construction-des-batiments</a>
[FRRT 05]	Ministère de l'Environnement, de la Energie et de la Mer: <i>Réglementation thermique</i> . Paris, 2005. Recuperado en <a href="http://www.developpement-durable.gouv.fr/exigences-reglementaires-construction-des-batiments">http://www.developpement-durable.gouv.fr/exigences-reglementaires-construction-des-batiments</a>
[FRRT 12]	Ministère de l'Environnement, de la Energie et de la Mer: <i>Réglementation thermique</i> . Paris, 2012. Recuperado en <a href="http://www.developpement-durable.gouv.fr/exigences-reglementaires-construction-des-batiments">http://www.developpement-durable.gouv.fr/exigences-reglementaires-construction-des-batiments</a>
[FRRT 88]	Ministère de l'Environnement, de la Energie et de la Mer: <i>Réglementation thermique</i> . Paris, 1988. Recuperado en <a href="http://www.developpement-durable.gouv.fr/exigences-reglementaires-construction-des-batiments">http://www.developpement-durable.gouv.fr/exigences-reglementaires-construction-des-batiments</a>
[FRTE 74]	Ministère de l'Environnement, de la Energie et de la Mer: <i>Réglementation thermique</i> . Paris, 1974. (Reglamento Térmico de los edificios 1974). Recuperado en <a href="http://www.developpement-durable.gouv.fr/exigences-reglementaires-construction-des-batiments">http://www.developpement-durable.gouv.fr/exigences-reglementaires-construction-des-batiments</a>
[GANE 13]	García-Hooghuis, A. y Neila, F. J.: <i>Modelos de trasposicion de las Directivas 2002/91/CE y 2010/31/UE "Energy Performance Building Directive" en los Estados miembros de la UE. Consecuencias e implicaciones</i> . Informes de la Construcción Vol. 65, 531, 289-300, julio-septiembre 2013.
[GAPI 13]	Gallego Piñol, E.; Roca Mussons, X.: <i>NTP 972: Calidad de aire interior: compuestos orgánicos volátiles, olores y confort</i> . Publicado por el INSHT. Madrid, 2013. Recuperado de <a href="http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/NTP/NTP/Ficheros/961a972/972w.pdf">http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/NTP/NTP/Ficheros/961a972/972w.pdf</a>
[GICA 08]	Ministerio de Industria, Turismo y Comercio - IDAE: <i>Guía práctica sobre instalaciones centralizadas de calefacción y agua caliente sanitaria (ACS) en edificios de viviendas</i> . Publicado por Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Madrid, 2008

[GUEL 14]	Das Gupta, M., Engelman, R., Levy, J. (UNFPA): <i>El estado de la población mundial 2014</i> . Editado por United Nations Population Fund. New York, 2014
[HECA 13]	Hernández Calleja, A.: <i>NTP 501 Ambiente térmico: inconfort térmico local</i> . Publicado por el INSHT. Madrid, 1998. <a href="http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/501a600/ntp_501.pdf">http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/501a600/ntp_501.pdf</a>
[HECA 92]	Hernández Calleja, A.: <i>NTP 343: Nuevos criterios para futuros estándares de ventilación de interiores</i> . Publicado por el INSHT. Madrid, 1992. Recuperado de <a href="http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/301a400/ntp_343.pdf">http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/301a400/ntp_343.pdf</a>
[HECH 02]	Hernández Chávez, V.: <i>La habitabilidad energética en los edificios de oficinas</i> (Tesis Doctoral). Departament d'Construccions Arquitectòniques. Universitat Politècnica de Catalunya. 2002
[HELI 97]	Hernández Calleja, A.; Adán Liébana, E.; Guash Farrás, J.: <i>Control ambiental en interiores</i> . Publicado por Insituti Nacional de la Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). Madrid, 1997. Recuperado en <a href="http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo2/45.pdf">http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo2/45.pdf</a>
[HESA 12]	Hernández Sánchez, J. M.: <i>Consumo energético y emisiones asociadas del sector residencial</i> . Departament de Projectes d'Enginyeria. Universitat Politècnica de Catalunya. 2012.
[HULC 16]	Ministerio de Industria, Turismo y Comercio – IDAE: <i>Registro de documentos reconocidos – Programa Herramienta unificada Lider-Calener</i> . Madrid, 2016. Recuperado de <a href="http://www.minetad.gob.es/ENERGIA/DESARROLLO/EFICIENCIAENERGETICA/CERTIFICACIONENERGETICA/DOCUMENTOSRECONOCIDOS/Paginas/procedimientos-certificacion-proyecto-terminados.aspx">http://www.minetad.gob.es/ENERGIA/DESARROLLO/EFICIENCIAENERGETICA/CERTIFICACIONENERGETICA/DOCUMENTOSRECONOCIDOS/Paginas/procedimientos-certificacion-proyecto-terminados.aspx</a>
[ICAL 13]	Ministerio de Industria, Turismo y Comercio – IDAE: <i>Manual de usuario Calener VYP Viviendas y edificios terciarios pequeños y medianos. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía</i> . Madrid, 2013. Recuperado de <a href="http://www.minetad.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/Paginas/documentosreconocidos.aspx">http://www.minetad.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/Paginas/documentosreconocidos.aspx</a>
[IDAU 07]	Ministerio de Industria, Turismo y Comercio – IDAE: <i>Guía técnica sobre procedimientos para la determinación del rendimiento energético de plantas enfriadoras de agua y equipos autónomos de tratamiento de aire</i> . Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Madrid, 2007.
[IDCE 13]	Ministerio de Industria, Turismo y Comercio – IDAE: <i>Manual de usuario de calificación energética de edificios existentes CE3x</i> . Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Madrid, 2013.
[IDCE 16]	Ministerio de Industria, Turismo y Comercio – IDAE: <i>Registro de documentos reconocidos – Programa CE3x – versión 2.3</i> . Madrid, 2016. Recuperado de <a href="http://www.minetad.gob.es/ENERGIA/DESARROLLO/EFICIENCIAENERGETICA/CERTIFICACIONENERGETICA/DOCUMENTOSRECONOCIDOS/Paginas/procedimientos-certificacion-proyecto-terminados.aspx">http://www.minetad.gob.es/ENERGIA/DESARROLLO/EFICIENCIAENERGETICA/CERTIFICACIONENERGETICA/DOCUMENTOSRECONOCIDOS/Paginas/procedimientos-certificacion-proyecto-terminados.aspx</a>
[IDCR 16]	Ministerio de Industria, Turismo y Comercio – IDAE: <i>Registro de documentos reconocidos – Programa CERMA – versión 4.2.4</i> . Madrid, 2016. Recuperado de <a href="http://www.minetad.gob.es/ENERGIA/DESARROLLO/EFICIENCIAENERGETICA/CERTIFICACIONENERGETICA/DOCUMENTOSRECONOCIDOS/Paginas/procedimientos-certificacion-proyecto-terminados.aspx">http://www.minetad.gob.es/ENERGIA/DESARROLLO/EFICIENCIAENERGETICA/CERTIFICACIONENERGETICA/DOCUMENTOSRECONOCIDOS/Paginas/procedimientos-certificacion-proyecto-terminados.aspx</a>
[IDRH 12]	Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital – IDAE: <i>Guía Técnica para la Rehabilitación de la Envoltante Térmica de los Edificios con Sistemas Compuestos de Aislamiento Térmico por el Exterior (SATE)</i> . Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Madrid, 2012.
[IEAG 16]	Gobierno de España - Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital (Secretaría de Estado de Energía): <i>Inventario energético de los edificios de la Administración General del Estado – Trasposición del artículo 5 de la D.E. 2012/27/UE</i> . Editado por Secretaría General Técnica. Madrid. 2016
[LEED 13]	U.S. Green Building Council: <i>LEED v4 for Building Design and Construction (version 4)</i> . 2013. Recuperado de <a href="http://www.usgbc.org/resources/leed-v4-building-design-and-construction-current-version">http://www.usgbc.org/resources/leed-v4-building-design-and-construction-current-version</a>
[LIAL 11]	Linares Alemparte, M.P.: <i>La ventilación y el CTE</i> (ponencia en jornadas “La ventilación en los edificios y sus consecuencias en la demanda de energía, la acústica y la calidad del aire”). Editado por Laboratorio de control de calidad en la edificación del Gobierno Vasco. Vitoria-Gasteiz. 2011
[LOE 99]	Gobierno de España – Jefatura de Estado: <i>Ley 38/1999, de 05 de noviembre, de ordenación de la edificación</i> (LOE). BOE núm. 266, de 06/11/1999. Recuperado de <a href="https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1999-21567">https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1999-21567</a>

[NBCT 79]	Gobierno de España – Presidencia del Gobierno: <i>Real Decreto 2429/1979, de 6 de julio, por el que se aprueba la norma básica de edificación NBE-CT-79, sobre condiciones térmicas en los edificios</i> . Publicado en el BOE núm. 253, de 22 de octubre de 1979. Recuperado de <a href="https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1979-24866">https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1979-24866</a>
[NFOC 16]	Ministerio de Fomento - Secretaría de Estado para la Energía: <i>Nota informativa sobre el procedimiento para la certificación de la eficiencia energética de edificios vigente desde el 14 de enero de 2016</i> . Ministerio de Fomento. Madrid, 2016. Recuperado de <a href="http://www.minetad.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/Documents/2016-08-04_NOTA%20INFORMATIVA.pdf">http://www.minetad.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/Documents/2016-08-04_NOTA%20INFORMATIVA.pdf</a>
[NTE 73]	Gobierno de España -Ministerio de la Vivienda: <i>Decreto 3565/1972, de 23 de diciembre, por el que se establecen las normas tecnológicas de la edificación, NTE</i> . Publicado en el BOE núm. 13, de 15 de enero de 1973.
[PBCE 13]	Gobierno de España - Ministerio de la Presidencia: <i>Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios</i> . Publicado en el BOE núm. 89, de 13/04/2013.
[PBCE 07]	Gobierno de España – Ministerio de la Presidencia: <i>Real Decreto 47/2007, de 19 de enero, por el que se aprueba el Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción</i> (Derogado). Publicado en el BOE núm. 27, de 31 de enero de 2007. Recuperado en <a href="https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2007-2007">https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2007-2007</a>
[PECO 13]	Pérez Cobos, S.: <i>Certificación energética en edificios existentes: Criterios para la identificación de la envolvente térmica</i> . Editorial Marcombo. Barcelona. 2013.
[RDPE 17]	Gobierno de Francia – ADEME: <i>Registro de aplicaciones informáticas validadas para el cálculo del DPE (2017)</i> : <a href="http://www.rt-batiment.fr/batiments-existants/dpe/evaluation-des-logiciels.html">http://www.rt-batiment.fr/batiments-existants/dpe/evaluation-des-logiciels.html</a>
[RDSS 97]	Gobierno de España - Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales: <i>Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo</i> . Publicado en el BOE núm. 97, de 23/04/1997. Recuperado de <a href="http://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1997-8669">http://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1997-8669</a>
[REVE 06]	Rey Martínez F. y Velasco Gómez E.: <i>Eficiencia energética en edificios: Certificación y auditorías energéticas</i> . Madrid: Editorial Paraninfo (2006).
[RITE 07]	Gobierno de España - Ministerio de la Presidencia: <i>Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios</i> . Publicado en el BOE núm. 207, de 29 de agosto de 2007. Recuperado de <a href="https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2007-15820">https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2007-15820</a>
[RSAP 15]	Gobierno del Reino Unido: <i>Reduced data Standard Assessment Procedure (Procedimiento de Evaluación Estándar de datos Reducido)</i> (RdSAP). Versión 9.92. Londres, 2015. Recuperado de <a href="http://www.elmhurstenergy.co.uk/software/rdsap-software-for-android-and-online">http://www.elmhurstenergy.co.uk/software/rdsap-software-for-android-and-online</a>
[RULO 12]	Ruá, M. J. y López-Mesa, B.: <i>Certificación energética de edificios en España y sus implicaciones económicas</i> . Informes de la Construcción Vol. 64, 527, 307-318, julio-septiembre 2012.
[SAEA 15]	Sansó, M: <i>El sector hotelero en España 2015: Macrocifras y evolución</i> . Editado por EAE Business School. Barcelona, 2015.
[SAP 17]	Gobierno del Reino Unido: <i>Standard Assessment Procedure (SAP)</i> . Londres, 2017. Recuperado de <a href="https://www.gov.uk/guidance/standard-assessment-procedure">https://www.gov.uk/guidance/standard-assessment-procedure</a>
[SOGO 94]	Solé Gómez, M.D.; Pérez Nicolás, J.: <i>NTP 380: El síndrome del edificio enfermo: cuestionario simplificado</i> . Publicado por el INSHT. Madrid, 1994. Recuperado de <a href="http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/301a400/ntp_380.pdf">http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/301a400/ntp_380.pdf</a>
[SOLE 89]	Solé Gómez, M.D.; Pérez Nicolás, J.: <i>NTP 290: El síndrome del edificio enfermo: cuestionario para su detección</i> . Publicado por el INSHT. Madrid, 1989. Recuperado de <a href="http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/201a300/ntp_290.pdf">http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/201a300/ntp_290.pdf</a>
[TER 10]	Gobierno del Reino Unido: <i>Target Emission Rate (Tasa de Emisión Obetivo) TER</i> . 2017. Londres, 2010. Recuperado de <a href="https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Target_emission_rate_TER">https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Target_emission_rate_TER</a>

[UEEE 06]	(COM(2006)0545) Comisión Europea (UE): <i>Plan de acción para la eficiencia energética: realizar el potencial</i> (Communication from the Commission - Action plan for Energy Efficiency: Realising the Potential). 2006
[UEPC 17]	Gobierno del Reino Unido: <i>Energy Performance Certificate (Certificado de Eficiencia Energética) EPC</i> . Londres, 2017. Recuperado de <a href="https://www.gov.uk/energy-performance-certificate-commercial-property">https://www.gov.uk/energy-performance-certificate-commercial-property</a>
[UESV 02]	AENOR: <i>Norma UNE-EN 13829:2002 Aislamiento térmico. Determinación de la estanquidad al aire en edificios. Método de presurización por medio de ventilador</i> . Publicado por Asociación Española de Normalización y Certificación. Madrid, 2002.
[UKBR 15]	Gobierno del Reino Unido: Gobierno del Reino Unido: <i>Building Regulations (Reglamentos de Construcción)</i> . Londres, 2015. Recuperado de <a href="https://www.gov.uk/government/publications/2010-to-2015-government-policy-building-regulation/2010-to-2015-government-policy-building-regulation">https://www.gov.uk/government/publications/2010-to-2015-government-policy-building-regulation/2010-to-2015-government-policy-building-regulation</a>
[UNEA 00]	AENOR: <i>Norma UNE-EN 1027:2000. Ventanas y puertas. Estanquidad al agua. Método de ensayo</i> . Publicado por Asociación Española de Normalización y Certificación. Madrid, 2000.
[UNCT 95]	AENOR: <i>Norma UNE 100000:1995. Climatización. Terminología. Publicado por Asociación Española de Normalización y Certificación</i> . Madrid, 1995.
[UNCV 00]	AENOR: <i>Norma UNE-EN 12211:2000. Puertas y ventanas. Resistencia a la carga de viento. Método de ensayo</i> . Publicado por Asociación Española de Normalización y Certificación. Madrid, 2000.
[UNME 00]	AENOR: <i>Norma UNE-EN 1026:2000. Ventanas y puertas. Permeabilidad al aire. Método de ensayo</i> . Publicado por Asociación Española de Normalización y Certificación. Madrid, 2000.
[UNRV 00]	AENOR: <i>Norma UNE-EN 12210:2000. Ventanas y puertas. Resistencia al viento. Clasificación</i> . Publicado por Asociación Española de Normalización y Certificación. Madrid, 2000.
[UPEE 11]	(COM(2011)0109) Comisión Europea (UE): <i>Plan de Eficiencia Energética 2011</i> (Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions Energy Efficiency Plan). 2011
[UNSQ 00]	AENOR: <i>Norma UNE-EN 12208:2000. Ventanas y puertas. Estanquidad al agua. Clasificación</i> . Publicado por Asociación Española de Normalización y Certificación. Madrid, 2000.
[UNVC 00]	AENOR: <i>Norma UNE-EN 12207:2000. Ventanas y puertas. Permeabilidad al aire. Clasificación</i> . Publicado por Asociación Española de Normalización y Certificación. Madrid, 2000.
[ZADA 10]	Zabalza, I.; Díaz, S.; Aranda, A.: <i>Metodologías de Análisis Para la Calificación Energética de Edificios (Serie Eficiencia Energética)</i> . Editado por Publicaciones de la Universidad de Zaragoza. Zaragoza, 2010

5.2.- Referencias bibliográficas consultadas relacionadas con las Redes de Neuronas Artificiales y su aplicabilidad a la Ingeniería Civil y Edificación.

[TEXT]	FUENTE DE INFORMACIÓN
<i>Referencias bibliográficas primarias</i>	
[AHMA 14]	Ahmad, A.; Hassan M.; Abdullah, M.; Rahman, H.; Hussin, F.; Abdullah, H.: <i>A review on applications of ANN and SVM for building electrical energy consumption forecasting</i> , <i>Renew. Sustain. Energy Rev.</i> 33 (2014) 102–109.
[ALPA 10]	Alpaydin, E.: <i>Introduction to Machine Learning</i> , 2nd edition, MIT Press, Cambridge, Mass, 2010.
[AMFR 90]	Marenn, A.; Jones, D.; Franklin, S.: <i>Configuring and Optimizing the Back-Propagation Network: Handbook of Neural Computing Applications</i> , Academic Press, 1990.
[ANKR 93]	Ansett, M. Kreider, J.F.: <i>Application of neural networking models to predict energy use</i> , <i>ASHRAE Transactions: Research</i> 99 (1) (1993) 505–517.
[AYDI 02]	Aydinalp, M.; Ugursal, V.I.; Fung, A.S.: <i>Modeling of the appliance, lighting, and space-cooling energy consumptions in the residential sector using neural networks</i> , <i>Appl. Energ.</i> 71 (2002) 87–110.
[AYDI 08]	Aydinalp-Koksal, M.; Ugursal, V.I.: <i>Comparison of neural network, conditional demand analysis, and engineering approaches for modeling end-use energy consumption in the residential sector</i> , <i>Appl. Energ.</i> 85 (2008) 271–296.
[AZAD 07]	Azadeh, A.; Ghaderi, S.; Tarverdian, S.; Saberi, S.: <i>Integration of artificial neural networks and genetic algorithm to predict electrical energy consumption</i> , <i>Appl. Math. Comput.</i> 186 (2007) 1731–1741.
[BREK 00]	Breekweg, M.R.B.; Gruber, P.; Ahmed O.: <i>Development of generalized neural network model to detect faults in building energy performance—part I, part II</i> , <i>ASHRAE Transactions: Research</i> 4372 (2000) 61–93.
[CAST 14]	Castro, A.; Carballo, R.; Iglesias, G.; Rabuñal, J.R.: <i>Performance of artificial neural networks in nearshore wave power prediction</i> . <i>Applied Soft Computing</i> , 23 (2014) 194-201
[CHEN 12]	Chen, D.; Gao, C.: <i>Soft computing methods applied to train station parking in urban rail transit</i> , <i>Applied Soft Computing</i> 12 (2012) 759-67.
[CHNM 96]	Chonan, Y.; Nishida, K.; Matsumoto T.: <i>Great energy predictor shootout II: a Bayesian nonlinear regression with multiple hyper-parameters</i> , in: <i>ASHRAE Transactions: Symposia SA-96-3-1</i> , 1996, pp. 405–411.
[COKR 95]	Cohen, D.A.; Krarti, A.: <i>Neural network modelling approach applied to energy conservation retrofits</i> . <i>Proceedings of Fourth International Conference on Building Simulation</i> , Madison, WI, 1995, pp. 423–430.
[CUKR 93]	Curtiss, P.S.; Kreider, J.F.; Brandemuehl M.J.: <i>Energy management in central HVAC plants using neural networks</i> , <i>ASHRAE Transactions: Research</i> 99 (1) (1993) 476–493.
[CURT 96]	Curtiss, P.S.: <i>Examples of neural networks used for building system control and energy management</i> , in: <i>ASHRAE Transactions: Symposia BN 97-16-1</i> , 1996, pp. 909–913.
[EKIC 09]	Ekici, B.B.; Aksoy, U.T.: <i>Prediction of building energy consumption by using artificial neural networks</i> , <i>Adv. Eng. Software</i> 40 (2009) 356–362.
[DRCO 07]	Drucker, R.: <i>400 pequeñas dosis de ciencia</i> . Editado por Coordinación de la Investigación Científica de la UNAM. México, 2007.
[FERL 15]	Ferlito, S.; Atrigna, M.; Graditi, G.; De Vito, S.; Salvato, M.; Buonanno, A.: <i>Predictive models for building's energy consumption: An Artificial Neural Network (ANN) approach</i> , in <i>AISEM Annual Conference, 2015 XVIII</i> , 2015, pp.1–4.
[FREE 91]	Freeman J. A.; Skapura. D.M.: <i>Neural networks: algorithms, applications, and programming techniques</i> . Addison-Wesley. 1991.
[GONZA 14]	González, P.A. Zamarreño, J.M.: <i>Prediction of hourly energy consumption in buildings based on a feedback artificial neural network</i> , <i>Energy Build.</i> 37(2005) 595–601.

[HAGA 96]	Hagan, M.T.; Demuth, H.B.; Beale, M.H.: <i>Neural Network Design</i> , PWS Publishing, Boston, 1996.
[HAYK 99]	Haykin, S.: <i>Neural Networks</i> (2nd ed.), Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall (1999)
[HONG 14]	Hong, S.M.; Paterson, G.; Mumovic, D. Steadman, P.: <i>Improved benchmarking comparability for energy consumption in schools</i> , Build. Res. Inf. 42 (2014)47–61.
[HOU 06]	Hou, Z.; Lian, Z.; Yao, Y.; Yuan, X.: <i>Cooling-load prediction by the combination of rough set theory and an artificial neural-network based on data-fusion technique</i> , Appl. Energ. 83 (2006) 1033–1046.
[JOHA 91]	Johansson, E.M. Dowla, F.U. Goodman, D.M.: <i>Backpropagation learning for multi-layer feed-forward neural networks using the conjugate gradient method</i> , International Journal of Neural Systems 2 (1991) 291-301.
[JABN 96]	Jang, K.-J.; Bartlett, E.B.; Nelson, R.M.: <i>Measuring retrofit energy savings using auto associative networks</i> , in: ASHRAE Transactions: Symposia SA-96-3-1, 1996, pp. 412–418.
[JOVA 15]	Jovanović, R.Ž.; Sretenović, A.A.; Živković, B.D.: <i>Ensemble of various neural networks for prediction of heating energy consumption</i> , Energy Build. 94(2015) 189–199.
[KARA 12]	Karadurmus, E.; Cesmecı, M.; Yuceer, M.; Berber, R.: <i>An artificial neural network model for the effects of chicken manure on ground water</i> , Applied Soft Computing 12 (2012) 494-7.
[KHAY 16]	Khayatian, F.; Sarto. L.: <i>Application of neural networks for evaluating energy performance certificates of residential buildings</i> . Energy and Buildings 125 (2016): 45-54.
[LI 09]	Li, Q.; Meng, Q.; Cai, J.; Yoshino, H.; Mochida, A.: <i>Predicting hourly cooling load in the building: a comparison of support vector machine and different artificial neural networks</i> , Energy Convers. Manage. 50 (2009) 90–96.
[LI 15]	Li, K.; Hu, C.; Liu, G.; Xue, W.: <i>Building's electricity consumption prediction using optimized artificial neural networks and principal component analysis</i> , Energy Build. (2015).
[LIPP 87]	Lippman, R.P.: <i>An Introduction to Computing with Neural Nets</i> , IEEE, 1987.
[MARE 90]	Marenn, A. Jones, D. Franklin, S.: <i>Configuring and Optimizing the Back-Propagation Network: Handbook of Neural Computing Applications</i> , Academic Press, 1990.
[NEFL 08]	Neto, A.H.; Floreth, F.A.S.: <i>Comparison between detailed model simulation and artificial neural network for forecasting building energy consumption</i> , Energy and Buildings 40 (12) (2008) 2169–2176.
[NIU 12]	Niu, D. Shi, H. Wu, D.: <i>Short-term load forecasting using bayesian neural networks learned by Hybrid Monte Carlo algorithm</i> , Applied Soft Computing 12 (2012) 1822-7.
[PAND 12]	Pandey, S. Hindoliya, D.A. Mod, R.: <i>Artificial neural networks for predicting indoor temperature using roof passive cooling techniques in buildings in different climatic conditions</i> , Applied Soft Computing 12 (2012) 1214-26.
[PLAT 15]	Platon, R. Dehkordi, V.R. Martel, J.: <i>Hourly prediction of a building's electricity consumption using case-based reasoning, artificial neural networks and principal component analysis</i> , Energy Build. 92 (2015) 10–18.
[RABU 05]	Rabuñal, J.R., Dorado J.: <i>Artificial Neural Networks in Real-Life Applications</i> , Idea Group Inc (2005)
[RABU 07]	Rabuñal Dopico, J.R.: <i>Uso de técnicas de Inteligencia Artificial en Ingeniería Civil</i> (Tesis Doctoral). Departamento de Métodos Matemáticos y de Representación. Universidade da Coruña. 2007
[RICE 07]	Rivero Cebrián, D.: <i>Desarrollo y simplificación de Redes N A mediante el uso de técnicas de computación evolutiva</i> (Tesis Doctoral – Universidade da Coruña). A Coruña, 2007
[YALC 06]	Yalcintas, M.: <i>An energy benchmarking model based on artificial neural network method with a case example for tropical climates</i> , Int. J. Energy Res.30 (2006) 1158–1174.
[YAAK 05]	Yalcintas, M.; Akkurt, S.: <i>Artificial neural networks applications in building energy predictions and a case study for tropical climates</i> , International Journal of Energy Research 29 (2005) 891–901.
[YALC 07]	Yalcintas, M. Aytun Ozturk, U.: <i>An energy benchmarking model based on artificial neural network method utilizing us commercial buildings energy consumption survey (CBECS) database</i> , Int. J. Energy Res. 31 (2007) 412–421.

[YULL 07]	Yu, W. Li, B. Lei, Y. Liu, M.: Analysis of a residential building energy consumption demand model, <i>Energies</i> 4 (2011) 475–487.
[ZHAO 12]	Zhao, H.-x. Magoulès, F.: <i>A review on the prediction of building energy consumption</i> , <i>Renew. Sustain. Energy Rev.</i> 16 (2012) 3586–3592.
<i>Referencias bibliográficas secundarias</i>	
[AGUI 98]	Aguiar H.C., Maciel R.: <i>Modeling and optimization of pulp and paper process using neural networks</i> , <i>Comp.Chem.Eng.</i> , vol. 22, pág. 981-984 1998.
[AGUI 99]	Aguirre H.E., Tanaka K., Sugimura T.: <i>Cooperative crossover and mutation operators in genetic algorithms</i> , Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference, GECCO-99, Morgan Kaufmann, pág. 772, Orlando, Florida, 1999.
[ALTI 98]	Altissimi R.: <i>Optimal operation of a separation plant using artificial neural networks</i> , <i>Comp.Chem.Eng.</i> , vol. 22, pág. 939-942, 1998.
[ANDR 95]	Andrews R.; Diederich J.; Tickle A.: <i>A Survey and Critique of Techniques For Extracting Rules From Trained Artificial Neural Networks</i> . <i>Knowledge Based Systems</i> 8, páginas 373-389, 1995.
[ANGE 96]	Angeline P.J.: <i>Two self-adaptive Crossover Operators for Genetic Programming</i> , <i>Advances in Genetic Programming</i> 2, MIT Press, pág. 89-110. Cambridge, MA, USA, 1996.
[ATII 99]	Atiya A., El-Shoura S., Shaheen S., El-Sherif M.: <i>A comparison between neural-network forecasting techniques</i> . Case study: River flow forecasting. <i>IEEE Transactions on Neural Networks</i> , vol. 10, pág. 402-409, 1999.
[BÄCK 00]	Bäck T., Fogel D.B., Michalewicz Z.: <i>Evolutionary Computation</i> , Institute of Physics Publishers, 2000.
[BAKE 87]	Baker J.E.: <i>Reducing Bias and Inefficiency in the Selection Algorithm</i> . <i>Genetic Algorithms and their Applications</i> , Proceedings of the Second International Conference on Genetic Algorithms, Lawrence Erlbaum Associates, pág. 14-22, Hillsdale, New Jersey, 1987.
[BLOC 97]	Bloch G.: <i>Neural intelligent control for a steel plant</i> , <i>IEEE Trans. Neural Networks</i> , vol. 8(4), pág. 910-917, 1997.
[BOOK 82]	Booker L.B.: <i>Intelligent Behavior as an Adaptation to the Task of Environment</i> , Tesis Doctoral, Universidad de Michigan, 1982.
[BOWD 03]	Bowden G.J., Dandy G.C., Maier H.R.: <i>Data transformation for neural network models in water resources applications</i> . <i>Journal of Hydroinformatics</i> . 5(4), pág. 245-258. 2003.
[BRIN 81]	Brindle A.: <i>Genetic Algorithms for Function Optimization</i> , Tesis Doctoral, Universidad de Alberta, 1981.
[BURK 60]	Burks A. W.: <i>Computation, behavior and structure in fixed and growing automata</i> , Yovits M.C., Cameron S. editors, <i>Self-Organizing Systems</i> , Pergamon Press, pag. 282-309, New York, 1960.
[CAGI 98]	Cagiao, J.; Díaz-Fierros, T.; Suárez, J.; Puertas, J.: <i>A numerical and experimental model of an urban catchment in the north of Spain: parameter fitting and an analysis of its behaviour</i> . <i>Urban Drainage Modelling Conference (UDM)'98</i> , Londres. 1998.
[CANC 02]	Cancelliere A.; Giuliano G.; Ancarani A.; Rossi G.: <i>A neural networks approach for deriving irrigation reservoir operating rules</i> . <i>Water Resources Management</i> . Vol. 16, pág. 71 – 88. 2002.
[CHAM 52]	Chamberlin, S. J.: <i>Spacing of Spliced Bars in Tension Pull-Out Specimens</i> . <i>ACI-Journal</i> , pág. 261-274, Detroit, 1952.
[CHEL 97]	Chellapilla K.: <i>Evolutionary programming with tree mutations: Evolving computer programs without crossover</i> , <i>Genetic Programming 1997: Proceedings of the Second Annual Conference</i> , Morgan Kaufmann, pág. 431-438, Stanford University, CA, USA, 1997.
[CRAM 85]	Cramer N.L.: <i>A Representation for the Adaptive Generation of Simple Sequential Programs</i> , Grefenstette J.J. editor, <i>Proceedings of the First International Conference on Genetic Algorithms and Their Applications</i> , Lawrence Erlbaum Associates, pág. 183-187, Hillsdale, New Jersey, 1985.



[CVET 99]	Cvetkovic, D., Parmee, I.C.: <i>Genetic algorithms based systems for conceptual engineering design</i> . Proceedings of the 12th International Conference on Engineering Design ICED'99, volume 2, 1035-1038, München, Germany, 1999.
[DARW 59]	Darwin C.: <i>On the origin of species by means of natural selection or the preservation of favoured races in the struggle for life</i> . Cambridge University Press, Cambridge, UK, sixth edition, 1864, originally published in 1859.
[DARW 95]	Darwin C.: <i>Teoría de la evolución</i> . Ed. Barcelona Península, 2ª edición, 1995.
[DARW 96]	Darwin, D.; Zuo Z.; Tholen M.L., Idun E.K.: <i>Development length criteria for conventional and high relative rib-area reinforcing bars</i> . ACI Structural Journal, 93(3), pág. 347-359. 1996.
[DEJO 75]	De Jong A.K.: <i>An Analysis of the Behavior of a Class of Genetic Adaptive Systems</i> . Tesis Doctoral, Universidad de Michigan, 1975.
[DEMU 94]	Demuth, H., Beale M.: <i>Neural network toolbox. User's guide</i> . The MathWorks Inc., 1994.
[DEVR 91]	DeVries R.A., Moehle J.P., Hester W.: <i>Lap Splice Strength of Plain and Epoxy-Coated Reinforcement</i> . Report No. UCB/SEMM-91/02, University of California, Berkeley, California, 1991.
[DORA 02]	Dorado, J., Rabuñal, J. R., Puertas, J., Santos, A., Rivero, D.: <i>Prediction and Modelling of the Flow of a Typical Urban Basin Through Genetic Programming. Applications of Evolutionary Computing</i> . Proceedings of EvoWorshops 2002: EvoCOP, AvolASP, EvoSTIM/EvoPLAN. 2002.
[FARA 98]	Faraway J., Chatfield, C.: <i>Time series forecasting with neural networks: a comparative study using the airline data</i> . Journal of Applied Statistics. Vol. 47, pág. 231-250. 1998.
[FERG 69]	Ferguson P. M., Briceno E. A.: <i>Tensile lap splices - Part 1: Retaining wall type, varying moment zone</i> . Research Report 113-2, Center for Highway Research, University of Texas, Austin, 1969.
[FERN 98]	Fernando, D.A.K., Jayawardena A. W.: <i>Runoff Forecasting Using RBF Networks with OLS Algorithm</i> . Journal of Hydrologic Engineering, 3(3) pág. 203-209. 1998.
[FLOO 01]	Flood I.: <i>Neural Networks in Civil Engineering</i> . Civil and structural engineering computing, pág. 185 – 209. 2001.
[FOGE 64]	Fogel L.J.: <i>On the organization of Intellect</i> . Tesis Doctoral, Universidad de California, Los Angeles, California, 1964.
[FREE 93]	Freeman J.A.; Skapura David M.: <i>Neural Networks</i> . Ed. Addison-Wesley, 1993.
[FREN 92]	French M., Krajewski W., Cuykendall R.: <i>Rainfall forecasting in space and time using a neural network</i> . Journal of Hydrology. Vol. 137, pág. 1 – 31. 1992.
[FRIE 59]	Friedberg R.M., Dunham B., North J.H.: <i>A Learning Machine: Part II</i> , IBM Journal of Research and Development, vol. 3, pág. 282-287, 1959.
[FUCH 98]	Fuchs M.: <i>Crossover Versus Mutation: An Empirical and Theoretical Case Study</i> . 3rd Annual Conference on Genetic Programming, Morgan-Kaufman, 1998.
[FUJI 86]	Fujiki C.: <i>An Evaluation of Holland's Genetic Operators Applied to a Program Generator</i> , Tesis Doctoral, Universidad de Idaho, Moscow, Idaho, 1986.
[GARR 03]	Garrote L., Molina M., Blasco G.: <i>Application of bayesian networks to Real-Time flood risk estimation</i> . Geophysical Research Abstracts, Vol 5, pág. 13171, 2003.
[GOLD 89]	Goldberg D.E.: <i>Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning</i> . Addison-Wesley Reading, MA. 1989.
[GONZ 98]	González-García R., Rico-Martínez R., Kevrekidis G.: <i>Identificación of distribuid parameter systems: A neural net based approach</i> . Comp.Chem.Eng, vol. 22, pág. 965-968, 1998.
[HERN 93]	Hernández P.J.: <i>Redes neuronales en la industria química</i> , Ing. Quim., vol. 8, pág. 37-41, 1993.
[HICK 86]	Hicklin J.F.: <i>Application of the Genetic Algorithm to Automatic Program Generation</i> . Tesis Doctoral, Universidad de Idaho, Idaho, 1986.
[HILE 95]	Hilera J.R., Martínez V.J.: <i>Redes neuronales artificiales. Fundamentos, modelos y aplicaciones</i> , Addison-Wesley Iberoamericana S.A., España, 1995.

[HJEL 96]	Hjelmfelt, A. T., M. Wang.: <i>Predicting Runoff Using Artificial Neural Networks</i> . Surface Water Hydrology. pág. 233-244. 1996.
[HOLL 75]	Holland J. H.: <i>Adaptation in Natural and Artificial Systems</i> . Ann Arbor: The University of Michigan Press, 1975.
[HOLL 92]	Holland J. H.: <i>Algoritmos Genéticos</i> , revista Investigación y Ciencia, pág. 38-45. 1992.
[HOLL 95]	Holland J. H.: <i>Redes de Neuronas Artificiales y Algoritmos Genéticos</i> . Curso impartido en la Facultad de Informática da Universidade da Coruña, 25 Abril-11 Mayo 1995.
[HSIE 99]	Hsieh, B., Bartos, C., Zhang, B.: <i>Use of Artificial Neural Networks in a streamflow prediction system</i> . Proceedings of Artificial Neural Networks in Engineering ANNIE'99. St. Louis, Missouri. 1999.
[HSU 95]	Hsu K, Gupta H. V., Sorooshian S.: <i>Artificial neural network modeling of the rainfall – runoff process</i> . ASCE Water Resources. Vol. 31, pág. 2517 – 2530. 1995.
[HSU 98]	Hsu K, Gupta H. V., Sorooshian S.: <i>Streamflow Forecasting Using Artificial Neural Networks</i> . ASCE Water Resources Engineering Conference '98, pág. 967-972. 1998.
[HSU 99]	Hsu K, Gupta H. V., Gao X., Sorooshian S.: <i>Estimation of physical variables from multichannel remotely sensed imagery using a neural network: application to rainfall estimation</i> . Water Resources. Vol. 35, pág. 1605 – 1618. 1999.
[HUBE 92]	Huber W.C.; Dickinson R.E.: <i>Storm Water Management Model, user's manual</i> , version 4. U.S Envir.Protection Agency, Athens, Ga, 1992.
[JOYA 98]	Joyanes, L., Zahonero I.: <i>Estructura de Datos. Algoritmos, abstracción y objetos</i> . Editorial McGraw-Hill. 1ª Edición, 1998.
[KAO 96]	Kao J. J.: <i>Neural net for determining DEM based model drainage pattern</i> . Journal Irrigation and Drainage Engineering. Vol. 122, pág. 112 – 121. 1996.
[KOHO 88]	Kohonen, T.: <i>Self-Organization and Associative Memory</i> . Springer-Verlag, New York, second edition, 1988.
[KOZA 89]	Koza J.: <i>Hierarchical Genetic Algorithms operating on Populations of computer programs</i> . Proceedings of the 11th International Joint Conference on Artificial Intelligence, páginas 768-774. Morgan Kaufmann, San Mateo, California, 1989.
[KOZA 90]	Koza J.R.: <i>Genetic Programming: A Paradigm for Genetically Breeding Populations of Computer Programs to Solve Problems</i> , Technical Report No. STAN-CS-90-314, Computer Sciences Department, Stanford University, 1990.
[KOZA 92]	Koza J.: <i>Genetic Programming. On the Programming of Computers by means of Natural Selection</i> . The Mit Press, Cambridge, Massachusetts, 1992.
[KOZA 94]	Koza J.: <i>Genetic Programming II: Automatic Discovery of Reusable Programs</i> . The Mit Press, Cambridge, Massachusetts, 1994.
[KOZA 96]	Koza John R.: <i>Genetic Programming</i> , proceedings of the first annual conference, University of Stanford, California, USA, 28-31 July, 1996.
[KOZA 97]	Koza John R.: <i>Genetic Programming</i> , proceedings of the second annual conference, University of Stanford, California, USA, 13-16 July, 1997.
[KOZA 99]	Koza, J.; Forrest H.; Bennett III, A., Keane, A.: <i>Genetic Programming III: Darwinian Invention and Problem Solving</i> . Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco, California, 1999.
[LEVI 93]	Levin A.U., Narendra K.S.: <i>Control of nonlinear dynamical systems using neural networks: Controllability and Stabilization</i> . IEEE Trans. Neural Networks, vol. 4(2), pág. 192-206, 1993.
[LIBE 01]	Liberali, V.; Rossi, R.: <i>Artificially Evolved Design of Digital Filters</i> . Workshop on Advanced Mixed-Signal Tools. Munich, 2001.
[LOKE 97]	Loke, E., Warnaar, E.A., Jacobsen, P., Nelen, F., do Ceu Almeida, M.: <i>Artificial Neural Networks as a Tool in Urban Storm Drainage</i> . Water Science and Technology, vol. 36, no. 8-9, pág. 101-109. 1997.

[LOON 97]	Looney C.G.: <i>Pattern Recognition using Neural Networks: Theory and Algorithms for Engineers and Scientists</i> . Oxford University Press, Oxford.
[LUKE 98]	Luke, S., Spector, L.: <i>A Revised Comparison of Crossover and Mutation in Genetic Programming</i> . 3rd Annual Conference on Genetic Programming. Morgan-Kaufman. 1998.
[LUKE 00]	Luke S.: <i>Two Fast Tree-Creation Algorithms for Genetic Programming</i> . IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2000.
[MAIE 99]	Maier H. R., Dandy G.: <i>Empirical comparison of various methods for training feedforward neural networks for salinity forecasting</i> . Water Resources. Vol. 35, pág. 2591 – 2596. 1999.
[MASO 96]	Mason J. C., Price R., Tem A.: <i>A neural network model of rainfall runoff using radial basis functions</i> . Journal of Hydrology. Vol. 34, pág. 537 – 548. 1996.
[MATH 61]	Mathey R.G., Watstein D.: <i>Investigation of Bond in Beam and Pullout Specimens with High-Yield-Strength Deformed Bars</i> . ACI Journal Proceedings V. 57(9), pág. 1071-1090, 1961.
[MCCL 43]	McCulloch, W. S., Pitts, W.: <i>A Logical Calculus of Ideas Immanent in Nervous Activity</i> . Bulletin of Mathematical Biophysics. Vol. 5, pág. 115-133. 1943.
[MEER 98]	Meert K., Rijckaert M.: <i>Intelligent modelling in the chemical process industry with neural networks: A case study</i> . Comp.Chem.Eng., vol. 22, pág. 587-593, 1998.
[MINN 98]	Minns, A.W.: <i>Artificial Neural Networks as Subsymbolic Process Descriptors</i> . PhD thesis, Balkema, Rotterdam. 1998.
[MONT 95]	Montana D.J.: <i>Strongly Typed Genetic Programming</i> . Evolutionary Computation, The MIT Press, pág. 199-200, Cambridge, MA, 1995.
[MORS 98]	Morshed J., Kaluarachchi J.: <i>Parameter estimation using artificial neural network and genetic algorithm for free product migration and recovery</i> . Water Resour. Resources. Vol. 34, pág. 1101 – 1113. 1998.
[OLLE 98]	Oller C.A., Guidici R.: <i>Neural Network based approach for optimisation applied to an industrial nylon-6, 6 polymerisation process</i> . Comp.Chem.Eng., vol. 22, pág. 595-600, 1998.
[ORAG 77]	Orangun C. O., Jirsa J. O., Breen J. A.: <i>Re-evaluation of Test Data and Development Length and Splices</i> . Journal of American Concrete Institute Nº 3, Vol. 74, pág. 114-122, 1977.
[ÖZTAŞ 06]	Öztaş, A. Pala, M. Özbay E. Kanca E. Çağlar N. & Bhatti M.A.: <i>Predicting the compressive strength and slump of high strength concrete using neural network</i> . Construction and Building Materials. Vol. 20, pág. 769–775. 2006.
[PALA 04]	Palazón J., García A.: <i>Modelado de series climatológicas mediante una red neuronal artificial</i> . Ingeniería del Agua. Vol. 11, nº 1, pág. 41-52. 2004.
[PAZO 96]	Pazos Sierra Alejandro: <i>Redes de Neuronas Artificiales y Algoritmos Genéticos</i> . Ed. Tórculo, La Coruña, 1996.
[PEAR 90]	Pearlmutter B. A.: <i>Dynamic Recurrent Neural Networks</i> . Technical Report CMU-CS pag. 88-191, School of Computer Science, Carnegie Mellon Univ., 1990.
[PERE 99]	Pereira F.B., Machado P., Costa E., Cardoso A.: <i>Graph based crossover-A case study with the busy beaver problem</i> . Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference, GECCO-99, Morgan Kaufmann, pág. 1149-1155, Orlando, Florida, USA, 1999.
[POLI 98]	Poli R., Langdon W.B.: <i>On the ability to search the space of programs of standard, one-point and uniform crossover in genetic programming</i> . Technical Report CSRP-98-7, Universidad de Birmingham, 1998.
[QUAG 98]	Quagliarella D.: <i>Genetic algorithms and evolution strategy in engineering and computer science</i> . Ed. Chichester John Wiley and Sons, 1998.
[QUIN 93]	Quinlan, J.R.: <i>C4.5: Programs for Machine Learning</i> . Morgan Kaufmann Publishers, 1993.
[RABU 02a]	Rabuñal J.R., Dorado J., Puertas J., Santos A., Rivero D.: <i>Prediction and Modelling of the Flow of a Typical Urban Basin through Genetic Programming</i> . Proceedings of 4th European Workshop on Evolutionary Computation in Image Analysis and Signal Processing, EVOIASP 2002, Irlanda, 2002.

[RABU 02b]	Rabuñal J.R.: <i>Metodología para el desarrollo de sistemas de extracción de conocimiento en RNA</i> . Tesis doctoral. Universidade da Coruña. 2002.
[RABU 03]	Rabuñal J.R., Dorado J., Puertas J., Pazos A., Santos A., Rivero D.: <i>Prediction and Modelling of the Rainfall-Runoff Transformation of a Typical Urban Basin using ANN and GP</i> . Applied Artificial Intelligence, 2003.
[RABU 04]	Rabuñal J.R., Dorado J., Pazos A., Pereira J., Rivero D.: <i>A New Approach to the Extraction of ANN Rules and to Their Generalization Capacity Through GP</i> . Neural Computation, (16) 7, pág. 1483-1523, 2004.
[RABU 06]	Rabuñal J.R., Puertas J., Suárez J., Rivero D.: <i>Determination of the unit hydrograph of a typical urban basin using genetic programming and artificial neural networks</i> . Hydrological Processes, vol. 21. pág. 476-486. 2006.
[RAND 94]	Randall M.C., Thorne C.E., Wild C.: <i>A Standard Comparison of Adaptive Controllers to Solve the Cart Pole Problem</i> . Proceedings of the Second IEEE Australian and New Zealand Conference on Intelligent Information Systems, pág. 61-65, 1994.
[REZA 91]	Rezansoff T., Konkankar U.S., Fu Y.C.: <i>Confinement Limits for Tension Lap Splices under Static Loading</i> . Report, University of Saskatchewan, Saskatoon, Sask., 1991.
[REZA 93]	Rezansoff T., Akanni A., Sparling B.: <i>Tensile Lap Splices under Static Loading: A Review of the Proposed ACI 318 Code Provisions</i> . ACI Structural Journal, V. 90(4), pág. 374-384, 1993.
[RODR 01]	Rodriguez-Vazquez, K.: <i>Genetic Programming in Time Series Modelling: an Application to Meteorological Data</i> . Proceedings of the 2001 Congress on Evolutionary Computation CEC2001. IEEE Press. Pág. 261-266. 2001.
[SCHU 00]	Schulze F., Bouma N.: <i>Use of Artificial Neural Networks in Integrated Water Management</i> . Proceedings MTM-III - Artificial Neural Networks in Water Management, pág. 333-342, 2000.
[SELF 58]	Selfridge O.G.: <i>Pandemonium: A Paradigm for learning</i> . Proceedings of the Symposium on Mechanization of Thought Processes, pág. 511-529, Teddington, England, 1958.
[SHI 00]	Shi, J.: <i>Reducing prediction error by transforming input data for neural networks</i> . ASCE Journal of Computing in Civil Engineering, 14(2). Pág. 109-116. 2000.
[SINA 98]	Sinak, P, Bundzel, M, Soka ,M, Sztruhar, D., Marsalek, J.: <i>Urban runoff prediction by neural networks</i> . Proceedings of Hydroinformatics'98 conference, Babovic, V & Larsen, L.C ed., Balkema, Rotterdam, pág. 791-796, 1998.
[SOUL 97]	Soule, T. and Foster, J. A.: <i>Code Size and Depth Flows in Genetic Programming</i> . Genetic Programming 1997: Proceedings of the Second Annual Conference. Morgan Kauffmann. San Francisco, CA. pp 313-320. 1997.
[SOUL 98]	Soule T.: <i>Code Growth in Genetic Programming</i> . Tesis Doctoral, Universidad de Idaho, 1998
[SRIN 05]	Lingireddy, S.; Brion G. : <i>Artificial Neural Networks in Water Supply Engineering</i> . Libro. Editorial American Society of Civil Engineers. 2005.
[THOM 75]	Thompson, M. A.; Jirsa, J. O.; Breen J. E.; D. F. Meinheit: <i>The Behavior of Multiple Lap Splices in Wide Sections</i> . Research Report No. 154-1, Center for Highway Research, The University of Texas at Austin, 1975.
[TURI 37]	Turing A.: <i>On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem</i> . Proc. London Math. Soc. (2), 42, 230-265. 1937.
[TURI 50]	Turing, A.: <i>Computing Machinery and Intelligence</i> . Mind Journal. Vol. 49. Pág. 433-460. 1950
[VAN 88]	Van der Meer, J.: <i>Rock Slopes and Gravel Beaches under Wave Attack</i> . MS thesis. Delft Hydraulics. Holanda. 1998.
[WANG 98]	Wang H., Oh Y., Yoon E.S.: <i>Strategies for modeling and control of nonlinear chemical process using neural networks</i> . Comp.Chem.Eng., vol. 22, pág. 823-826, 1998.
[WASS 89]	Wasserman Philip D.: <i>Neural Computing</i> . Ed. Van Nostrand Reinhold, New York, 1989.
[WETZ 83]	Wetzel A.: <i>Evaluation of the Effectiveness of Genetic Algorithms in Combinational Optimization</i> , Tesis Doctoral, Universidad de Pittsburg, 1983.

[WHIT 99]	Whitley R., Hromadka T.: <i>Approximate confidence intervals for design floods for a single site using a neural network</i> . Water Resources. Vol. 35, pág. 203 – 209. 1999.
[WILL 89]	Williams R.J., Zipser D.: <i>A Learning Algorithm for Continually Running Fully Recurrent Neural Networks</i> . Neural Computation, vol. 1, pág. 270-280, 1989.
[WITT 00]	Witten I.H., Frank E.: <i>Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques with Java Implementations</i> . Morgan Kaufmann Publishers, 2000.
[WU 05]	Wu Jy S., Han J, Annambhotla S, Bryant S.: <i>Artificial Neural Networks for Forecasting Watershed Runoff and Stream Flows</i> . J. Hydrologic Engineering, Volume 10, Nº 3, Junio, pág. 216-222. 2005.

### 5.3.- Referencias bibliográficas consultadas relacionadas con la Programación Genética

[TEXT]	FUENTE DE INFORMACIÓN
[AGPU 14]	Aguar Pulido, V.: <i>Resolución de problemas de optimización combinatoria utilizando técnicas de computación evolutiva. Una aplicación a la biomedicina</i> (Tesis Doctoral – Universidade da Coruña – Dpto. Tecnologías de la Comunicación las Comunicaciones). A Coruña, 2014.
[CAST 15]	Castro, A., Pérez, J. L., Rabuñal, J. R., & Iglesias, G. (2015). Genetic programming and floating boom performance. <i>Ocean Engineering</i> , 104, 310-318.
[FERR 06]	Ferreira, C. (2006). <i>Gene expression programming: mathematical modeling by an artificial intelligence</i> (Vol. 21). Springer.
[FERR 01]	Ferreira, C. (2001). Gene Expression Programming: A New Adaptive Algorithm for Solving Problems. <i>Complex Systems</i> , Vol. 13, issue 2: 87–129.
[PERE 13]	Pérez, J. L., Vieito, I., Rabuñal, J., & Martínez-Abella, F. (2013, June). Genetic Programming to Improvement FIB Model. In <i>International Work-Conference on Artificial Neural Networks</i> (pp. 463-470). Springer Berlin Heidelberg.
[PERE 12]	Pérez, J. L., Cladera, A., Rabuñal, J. R., & Martínez-Abella, F. (2012). Optimization of existing equations using a new Genetic Programming algorithm: Application to the shear strength of reinforced concrete beams. <i>Advances in Engineering Software</i> , 50, 82-96.
[PERE 10]	Pérez, J. L., Cladera, A., Rabuñal, J. R., & Abella, F. M. (2010). Optimal adjustment of EC-2 shear formulation for concrete elements without web reinforcement using Genetic Programming. <i>Engineering Structures</i> , 32(11), 3452-3466.
[RABU 11]	Rabuñal, J. R., Puertas, J., Rivero, D., Fraga, I., Cea, L., & Garrido, M. (2011, May). Genetic programming for prediction of water flow and transport of solids in a basin. In <i>International Work-Conference on the Interplay Between Natural and Artificial Computation</i> (pp. 223-232). Springer Berlin Heidelberg.
[RABU 07]	Rabuñal, J. R., Puertas, J., Suarez, J., & Rivero, D. (2007). Determination of the unit hydrograph of a typical urban basin using genetic programming and artificial neural networks. <i>Hydrological processes</i> , 21(4), 476-485.

5.4.- Cibergrafía consultada para la elaboración de la tesis.

[TEXT]	REFERENCIA CIBERGRÁFICA
[ADE 17]	ADEME: <i>Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie</i> (Agencia de Medio Ambiente y Gestión de la Energía). <a href="http://www.ademe.fr">http://www.ademe.fr</a>
[AIRT 16]	AirTécnicos – Calidad de Aire Interior: <a href="http://www.ritecalidadaire.com/1/calidad-del-aire">http://www.ritecalidadaire.com/1/calidad-del-aire</a> . Barcelona, 2016
[AMJV 09]	Amorós Martínez, J.: <a href="https://es.scribd.com/document/53372152/Arquitectura-en-La-Obra-de-Julio-Verne">https://es.scribd.com/document/53372152/Arquitectura-en-La-Obra-de-Julio-Verne</a> . Cartagena, 2009.
[AQIT 15]	AEPFC (Asociación de arquitectos expertos periciales, forenses y mediadores): <a href="http://www.arquitectosexperts.com/ite-castella/como-dice-la-normativa-que-el-tecnico-debe-hacer-la-ite392015">http://www.arquitectosexperts.com/ite-castella/como-dice-la-normativa-que-el-tecnico-debe-hacer-la-ite392015</a> . Barcelona, 2015.
[AQTX 14]	ArquiNtexturas (COAM): <a href="http://mixty.blogspot.com.es/2008/03/usos-segn-db-si-del-cte.html">http://mixty.blogspot.com.es/2008/03/usos-segn-db-si-del-cte.html</a> . Madrid, 2014.
[ATEC 08]	ATECOS: Instalaciones térmicas. <a href="http://www.miliarium.com/ATECOS/HTML/soluciones/Fichas/Instalaciones_termicas.pdf">http://www.miliarium.com/ATECOS/HTML/soluciones/Fichas/Instalaciones_termicas.pdf</a> . Madrid, 2008.
[BRCD 16]	BricsCAD (Linux) actualización ver. 16.2.18: <a href="https://www.bricsys.com/rss/html.jsp?channel=b4l&amp;site=51">https://www.bricsys.com/rss/html.jsp?channel=b4l&amp;site=51</a> . 2016.
[CAOR 05]	Curso de Análisis Orientado a Objetos: El proceso unificado de Desarrollo de Software (RUP) <a href="http://yaqui.mx/uabc.mx/~molguin/as/RUP.htm">http://yaqui.mx/uabc.mx/~molguin/as/RUP.htm</a> 2005.
[CEDF 15]	Certificación energética (Documentos oficiales de Eficiencia Energética – Ministerio de Industria, Energía y Turismo): Metodología de cálculo de eficiencia energética. <a href="http://certificacioneenergetica.blogspot.com.es/2013/08/metodologia-de-calculo-de-eficiencia.html">http://certificacioneenergetica.blogspot.com.es/2013/08/metodologia-de-calculo-de-eficiencia.html</a> . 2015.
[CEPA 13]	Certificados energéticos.com: Cómo se mide la escala de calificación energética. <a href="http://www.certificadosenergeticos.com/como-calcula-escala-calificacion-energetica">http://www.certificadosenergeticos.com/como-calcula-escala-calificacion-energetica</a> . Valencia, 2013.
[CEPA 14]	Certificados energéticos.com: Permeabilidad al aire de puertas y ventanas en la certificación energética, <a href="http://www.certificadosenergeticos.com/permeabilidad-al-aire-de-puertas-y-ventanas-en-la-certificacion-energetica">http://www.certificadosenergeticos.com/permeabilidad-al-aire-de-puertas-y-ventanas-en-la-certificacion-energetica</a> . Valencia, 2014.
[CHUS 13]	Course Hero – Sistemas (Universidad de San Francisco de Quito): <a href="https://www.coursehero.com/file/p2tsns/Los-alelos-pueden-representar-valores-de-las-variables-de-decisi%C3%B3n-que-se/">https://www.coursehero.com/file/p2tsns/Los-alelos-pueden-representar-valores-de-las-variables-de-decisi%C3%B3n-que-se/</a> . 2013
[DIDE 15]	Revista Diálogos Educativos N°29: <a href="https://issuu.com/umce/docs/revista_29">https://issuu.com/umce/docs/revista_29</a> . 2015.
[EEDE 14]	En Sostenible: <a href="http://www.ensostenible.com/la-dependencia-energetica-de-la-ue/">http://www.ensostenible.com/la-dependencia-energetica-de-la-ue/</a> Oviedo, 2014.
[EFUS 16]	EfENERGÍA: Normativa sobre eficiencia energética en USA. <a href="http://www.efenergia.com/legislacion-eficiencia-energetica/norteamerica/usa/">http://www.efenergia.com/legislacion-eficiencia-energetica/norteamerica/usa/</a> . Madrid, 2016.
[ENSE 14]	ENDESA Educa: <a href="http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/el-sector-electrico/consumo-energia-mundo">http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/el-sector-electrico/consumo-energia-mundo</a> . Madrid, 2014.
[EPEC 13]	El periódico de la energía: <a href="http://elperiodicodelaenergia.com/el-consumo-energetico-de-la-ue-cayo-en-2013-a-niveles-de-los-anos-90/">http://elperiodicodelaenergia.com/el-consumo-energetico-de-la-ue-cayo-en-2013-a-niveles-de-los-anos-90/</a> Madrid, 2015.
[ERUC 12]	Meléndez, C.: <a href="https://es.scribd.com/document/327394740/Estrategias-Para-La-Participacion-Social-y-Productiva-en-Renovacion-Urbana-de-Centros-Historicos">https://es.scribd.com/document/327394740/Estrategias-Para-La-Participacion-Social-y-Productiva-en-Renovacion-Urbana-de-Centros-Historicos</a> . Lima, 2012.
[EXEN 15]	Expansión.com: <a href="http://www.expansion.com/2015/02/09/empresas/energia/1423480780.html">www.expansion.com/2015/02/09/empresas/energia/1423480780.html</a> . Bruselas, 2015
[FLCD 17]	Fundación laboral de la construcción: Diccionario de la construcción (Términos técnicos del sector de la construcción), <a href="http://www.diccionariodelaconstruccion.com/instalaciones-cerramientos-y-acabados/fontaneria-y-calefaccion/energia-final">http://www.diccionariodelaconstruccion.com/instalaciones-cerramientos-y-acabados/fontaneria-y-calefaccion/energia-final</a> . Madrid, 2017.
[FTAA 11]	Fundación Tecnológica Antonio de Arévalo (TECNAR): <a href="http://anaydisistem.blogspot.com.es/2011/04/metodologia-rup.html">http://anaydisistem.blogspot.com.es/2011/04/metodologia-rup.html</a> . 2011
[GESTA 09]	Gestal Pose, M.: Introducción a las Redes de Neuronas Artificiales. <a href="http://sabia.tic.udc.es/mgestal/cv/RNAtutorial/node3.html">http://sabia.tic.udc.es/mgestal/cv/RNAtutorial/node3.html</a> . 2009
[HEC 07]	Página Web del desarrollador del software HEC-HMS: "http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/". Último acceso en septiembre de 2007.
[RATD 08]	Rabuñal Dopico, J.R.: <i>Uso de técnicas de inteligencia artificial en ingeniería civil</i> . Tesis Doctoral (Universidade da Coruña). <a href="https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=21174">https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=21174</a> . A Coruña, 2008.
[KRHT 10]	KnorRight.com: Cómo crear un gráfico de la mano de obra en proyectos de Microsoft. <a href="http://www.knorrigt.com/como-crear-un-grafico-de-la-mano-de-obra-en-proyectos-de-microsoft/">http://www.knorrigt.com/como-crear-un-grafico-de-la-mano-de-obra-en-proyectos-de-microsoft/</a> 2010.

[OVCE 12]	Certificado energético y la eficiencia (OVACEN): <a href="https://calificacion-energetica.com/2012/10/30/rite-reglamento-instalaciones/">https://calificacion-energetica.com/2012/10/30/rite-reglamento-instalaciones/</a> . Valencia, 2012.
[ROBE 13]	Rojo Vegas, D. (El Diario.es): <a href="http://www.eldiario.es/economia/Fraude-ineficiencia-certificado-energetico-viviendas_0_191431539.html">http://www.eldiario.es/economia/Fraude-ineficiencia-certificado-energetico-viviendas_0_191431539.html</a> . 2013.
[SEST 17]	Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital – Secretaría de Energía: energía y desarrollo sostenible <a href="http://www.minetad.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Paginas/InstalacionesTermicas.aspx">http://www.minetad.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Paginas/InstalacionesTermicas.aspx</a> . Madrid, 2017.
[USGB 17]	Website del U.S. Green Building Council. 2017. Recuperado de <a href="http://www.usgbc.org/leed">http://www.usgbc.org/leed</a>
[UTEM 12]	Universidad Tecnológica Metropolitana (UTEM): Inteligencia Artificial. <a href="http://intartutem.blogspot.com.es/">http://intartutem.blogspot.com.es/</a> . Santiago de Chile 2012.
[WKAB 15]	Noticias jurídicas (Wolters Kluwer España): <a href="http://noticias.juridicas.com/base_datos/Admin/516101-correccion-de-errores-om-fom-1635-2013-de-10-sep-actualiza-el-documento-basico.html">http://noticias.juridicas.com/base_datos/Admin/516101-correccion-de-errores-om-fom-1635-2013-de-10-sep-actualiza-el-documento-basico.html</a> . Madrid, 2015.