



Guía básica para la rehabilitación sostenible de edificios públicos

Guía básica para la rehabilitación sostenible de edificios públicos

Autor: Grupo Tragsa

Edita: Empresa de Transformación Agraria, S.A., S.M.E., M.P. (Tragsa)
Sede social: Maldonado, 58 - 28006 Madrid

Coordinador:

Luis Antonio GALÁN BENZAL. Ingeniero industrial, Subdirección de Innovación y Desarrollo de Servicios del Grupo Tragsa

Colaboradores:

Ignacio PRIETO LEACHE. Arquitecto, Subdirección de Ingeniería y Edificación de Tragsatec
María FERNÁNDEZ BONETA. Ingeniera industrial, Centro Nacional de Energías Renovables (CENER)
Florencio MANTECA GONZÁLEZ. Director del Departamento de Energía Edificatoria del CENER
Raquel GARCÍA RODRÍGUEZ. Arquitecta y consultora experta en Sostenibilidad
Helena FERNÁNDEZ REVILLA. Arquitecta, Subdirección de Ingeniería y Edificación de Tragsatec
Lourdes GARCÍA SÁNCHEZ-CERVERA. Arquitecta, Gerencia de Zona de Madrid, Tragsa
Beltran GIL ZARZA. Arquitecto, Gerencia de Zona de Madrid, Tragsa
José Luis QUINTANILLA BLANCO. Técnico, Gerencia de Zona de Madrid, Tragsa
María ANDERÉZ VALDAVIDA. Arquitecta, Subdirección de Ingeniería y Edificación de Tragsatec
Alba NUÑEZ COLLADO. Ingeniera industrial, Subdirección de Ingeniería y Edificación de Tragsatec

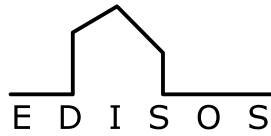
Contacto:

Subdirección de Innovación y Desarrollo de Servicios del Grupo Tragsa
imasd@tragsa.es

Diseño y maquetación: Alberto AZPEITIA MUÑOZ, Subdirección de Coordinación y Comunicación del Grupo Tragsa

Depósito legal:

Impresión:



Guía básica para la rehabilitación sostenible de edificios públicos



Actuación de mejora de la iluminación de la Sala Nova del Palau de Generalitat Valenciana.

Índice

Prólogo.....	5
1. El papel de la rehabilitación de edificios en el desarrollo sostenible.....	7
1.1. El sector de la edificación en España	8
1.2. El parque inmobiliario de la Administración General del Estado	9
1.3. El incentivo de los nuevos Fondos Estructurales y de Inversión Europeos.....	10
1.4. El futuro del sector de la Construcción	11
1.5. El Grupo Tragsa y la eficiencia energética en la edificación	12
2. Metodología de rehabilitación sostenible para edificios públicos	15
2.1. Selección del edificio	16
2.2. Definición de los objetivos.....	18
2.3. Caracterización del edificio	27
2.4. Definición de las medidas de mejora.....	35
2.5. Actuación	42
2.6. Seguimiento y control	47
3. Conclusiones.....	51
4. Casos de estudio.....	53
4.1. Caso de estudio n.º 1	53
4.2. Caso de estudio n.º 2	62
5. Bibliografía.....	69
Paso 1. Criterios de decisión	69
Paso 2. Definición de objetivos energéticos y medioambientales	69
Paso 3. Caracterización energética y medioambiental del edificio	69
Paso 4. Definición de las medidas de mejora: proyecto de rehabilitación energética y medioambiental	70
Paso 5. Actuación	71
Paso 6. Seguimiento y control	71



Centro Oceanográfico de Canarias, Santa Cruz de Tenerife.

Prólogo

El Acuerdo de París de 2015 y la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible adoptada por la Organización de las Naciones Unidas en septiembre de 2015, han marcado las directrices que permitirán a los gobiernos transformar el modelo económico hacia un escenario de prosperidad que respete los límites del planeta y no comprometa el desarrollo de la generaciones futuras.

Entre los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) incluidos en la Agenda 2030 se encuentra el propósito de garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos (ODS 7) que sin duda pasa por la racionalización del consumo de energía en todos los sectores y en concreto, en la edificación.

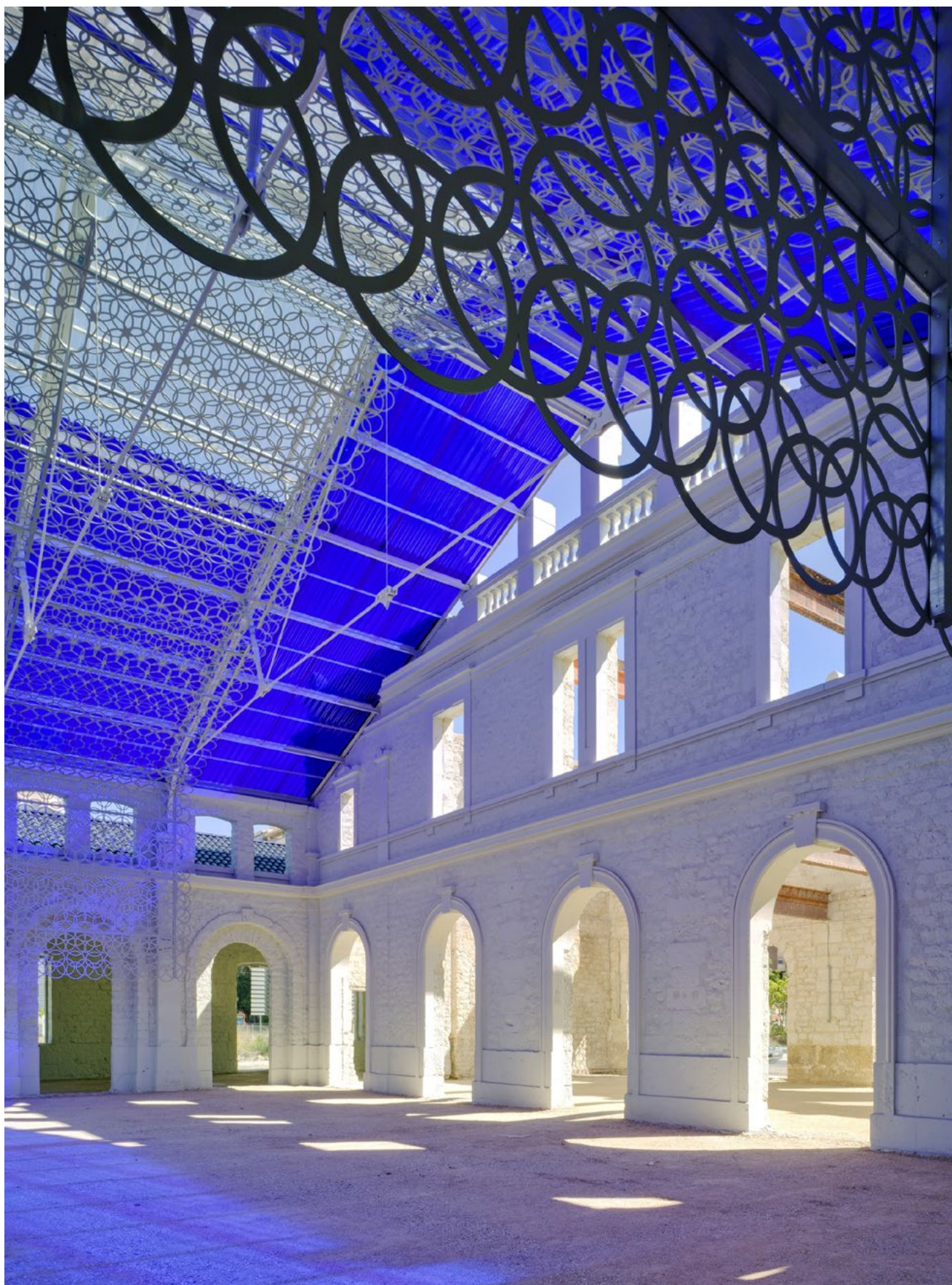
A lo anterior se deben añadir las diferentes directivas europeas de eficiencia energética que han convertido a los edificios públicos en un elemento ejemplarizante en la reducción del consumo de energía lo que ha supuesto, entre otras, la obligación de mejorar anualmente la eficiencia energética de los mismos y de construir o rehabilitar nuevos inmuebles con criterios de consumo de energía casi nula.

Por todo lo anterior, el Grupo Tragsa apuesta por la sostenibilidad en la rehabilitación del patrimonio histórico español en el medio rural, incorporando a sus actuaciones criterios de reducción del consumo de energético, minimización del impacto medioambiental del edificio en su entorno y aumento del bienestar de los usuarios.

Convencidos de la creciente importancia de la rehabilitación sostenible del patrimonio cultural, confiamos en que esta guía colabore en la consecución de los objetivos en materia de sostenibilidad que la sociedad demanda.

Jesús Casas Grande
Presidente del Grupo Tragsa





Rehabilitación integral del edificio Estación de Benalua, como sede del consorcio público Casas Mediterráneo, Alicante.

1. El papel de la rehabilitación de edificios en el desarrollo sostenible

La Unión Europea ha proporcionado a los Estados miembros la *Hoja de ruta hacia una economía hipocarbónica competitiva en 2050*¹, donde fija un objetivo de reducir las emisiones de los gases de efecto invernadero en un 80 % respecto a valores de 1990. Para ello otorga especial protagonismo a la innovación tecnológica en cada una de las estrategias sectoriales: energía, movilidad, construcción, industria y agricultura. Para este propósito, la Unión Europea acordó también el objetivo vinculante de alcanzar, al menos, un 40 % de reducción de dichas emisiones para el año 2030.

Posteriormente, la *Cumbre del Clima*², celebrada en París en diciembre 2015, cierra un acuerdo histórico entre 196 países y reactiva de forma clara el proceso de reducción de emisiones, realizando una primera valoración de la situación en 2019 y una primera revisión en 2020. Para ello se han previsto instrumentos de financiación que promuevan el desarrollo sostenible.

En este marco de reducción de emisiones, la Unión Europea pone de manifiesto en el estudio *Energy, transport and environment indicators*³ la importancia de los edificios en la política energética, cuyo consumo representa el 40 % de la energía final (combinando los hogares con el sector servicios).

En esta misma línea, la Comisión Europea insiste, mediante las Recomendaciones (UE) 2016/1318⁴, en el objetivo específico de consumo de energía casi nulo (EECN o nZEB) y fija como plazo el 31 de diciembre de 2018, para todos los edificios de nueva construcción de la Administración sean EECC, y que la cantidad de energía que requieran proceda, en “proporción muy significativa”, de fuentes de energía renovables, especialmente *in situ*.

En este marco de reducción de emisiones, la Unión Europea insiste mediante las Recomendaciones (UE) 2016/13183 y la posterior Directiva (UE) 2018/844 del Parlamento europeo y del consejo de 30 de mayo de 2018 por la que se modifica la Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios y la Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética en la necesidad y el compromiso de establecer un sistema energético sostenible y competitivo y descarbonizado para el 2050.

Los Estados miembros actuarán sobre el parque inmobiliario, que es el responsable de aproximadamente el 36 % de las emisiones de CO₂ de la Unión Europea, y deberán establecer una estrategia de renovación, incluyendo políticas y actuaciones destinadas a todos los edificios públicos.

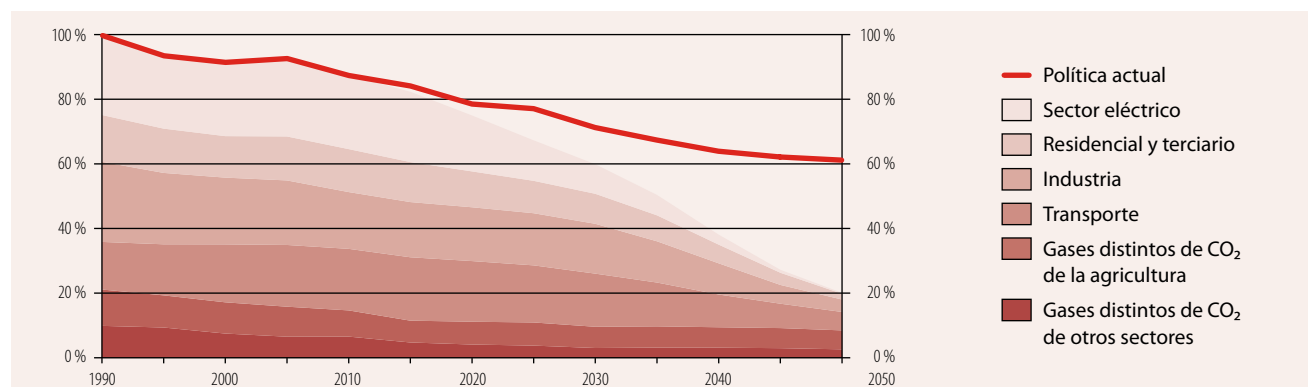


Figura 1. Porcentaje de reducción de emisiones de GEI de la UE (100 % = 1990). Fuente: Comisión Europea.

¹ Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social europeo y al Comité de las regiones, Bruselas, 8.3.2011. Hoja de ruta hacia una economía hipocarbónica competitiva en 2050. https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_es#tab-0-0

² La vigésimo primera sesión de la Conferencia de las Partes de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP21) reconoce la existencia de un cambio climático debido a la actividad humana y atribuye a los países industrializados la responsabilidad principal para luchar contra este fenómeno, estableciendo que “deberán cooperar en la adopción de las medidas que correspondan para mejorar la educación, la formación, la sensibilización y participación del público y el acceso público a la información sobre el cambio climático. Tiene como objetivo fundamental evitar que el incremento de la temperatura media global supere los 2 °C respecto a los niveles preindustriales. <http://www.cop21.gouv.fr/en/>

³ El informe estadístico “Indicadores de energía, transporte y medio ambiente” comprende un amplio conjunto de datos recogidos por Eurostat. Presenta los principales indicadores de la Unión Europea en materia de energía, transporte y medio ambiente, con especial énfasis en el desarrollo sostenible y el cambio climático.

⁴ Recomendación (UE) 2016/1318 de la Comisión de 29 de julio de 2016 sobre las directrices para promover los edificios de consumo de energía casi nulo y las mejores prácticas para garantizar que antes de que finalice 2020 todos los edificios nuevos sean edificios de consumo de energía casi nulo. <https://www.boe.es/doue/2016/208/L00046-00057.pdf>

1.1. El sector de la edificación en España

En España existen 4.155.000.000 m² de inmuebles asociados a consumos significativos de energía, según datos del Catastro⁵. El 79 % corresponde al sector residencial, y el restante 21 % al sector servicios.

La *Estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética en el sector de la edificación (ERESEE 2014)*⁶, presentada por el Ministerio de Fomento de acuerdo con el artículo 4 de la Directiva 2012/27/UE⁷, y su actualización (ERESEE 2017), describe el panorama del parque inmobiliario nacional, define las políticas de estímulo e inversión necesarias, analiza la evolución del consumo de energía en el sector de la edificación y comprueba el impacto de las medidas de impulso aplicadas.

De entre las principales conclusiones del informe ERESEE 2017 conviene resaltar que el sector de la edificación representa un 30 % del consumo de energía final, y que es el de mayor penetración de las energías renovables.

En cuanto a la evolución del consumo, se observa que a partir de 2015 el consumo de energía final aumenta en el

sector de la edificación, probablemente debido a la recuperación del sector terciario tras la crisis.

Respecto al potencial de ahorro energético del sector, existen estudios donde se analiza la oportunidad, como el Informe del Grupo de Trabajo sobre Rehabilitación⁸ donde concluyen que en España, y a través de la rehabilitación de edificios, se pueden alcanzar reducciones del 50 % del consumo energético en el sector no residencial.

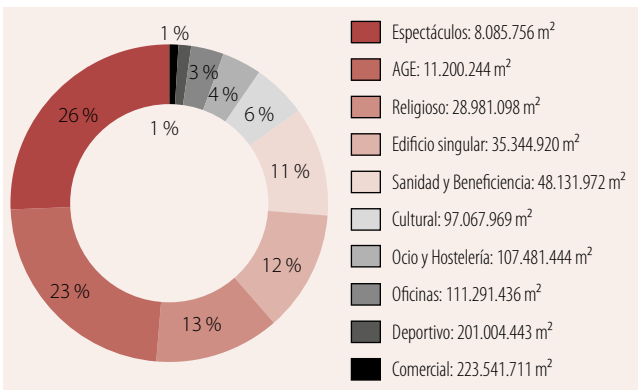


Figura 2. Porcentaje de inmuebles según usos respecto del total de edificios terciarios. Fuente: ERESEE 2014.

(Ktpe)	Total Carbón	GLP	Gasóleo	Total Productos Petrolíferos	Total Gases	Solar térmica	Geotermia	Biomasa	Total Energías Renovables	Total Energía Eléctrica	Total
Total España	1.515	1.457	27.101	40.323	13.218	277	19	3.925	5.290	19.955	80.303
Edificación Residencial	89	1.045	1.941	3.001	3.017	221	11	2.489	2.749	6.025	14.881
Edificación Terciario	—	181	842	1.052	2.640	52	4	80	153	6.192	10.039
Total Edificación	89	1.226	2.783	4.053	5.657	273	15	2.569	2.902	12.217	24.920
% Total Edificación	5,87	84,15	10,27	10,05	42,80	98,56	78,95	65,45	54,86	61,22	31,03

Tabla 1. Peso del sector de la Edificación en el Consumo de energía final. Fuente: ERESEE 2017.

(Ktpe)	Total Sectores	Edificación Residencial	Edificación Terciario	Total Edificación
2010-2011	-2.503	-1.293	405	-888
2011-2012	-3.490	-102	-162	-264
2012-2013	-2.546	-643	-426	-1.069
2013-2014	-1.418	-173	-770	-943
Acum. 2010-2014	-9.957	-2.211	-953	-3.164
2014-2015	1.253	168	1.191	1.359
Acum. 2010-2015	-8.704	-2.043	238	-1.805

Tabla 2. Variación absoluta interanual del Consumo de Energía Final (Ktpe). Fuente: ERESEE 2017.

⁵ Datos referidos al septiembre de 2013, ofrecidos por la Dirección General del Catastro del Ministerio de Hacienda y Administraciones Públicas (Dirección General del Catastro), en territorio nacional excepto País Vasco y Navarra.

⁶ En cumplimiento del artículo 4 de la Directiva 2012/27/UE sobre Eficiencia Energética, el Ministerio de Fomento publicó la "Estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética en el sector de la edificación en España" (ERESEE 2014), actualizada en 2017 (ERESEE 2017). https://www.fomento.gob.es/mfom/lang_castellano/planes/elpreseesp.

⁷ El Parlamento Europeo del Consejo ha aprobado a fecha de 17 de abril de 2018 la propuesta de Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo por la que se modifica la Directiva 2010/31/UE, relativa a la eficiencia energética de los edificios y la Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética.

⁸ El Grupo de Trabajo sobre Rehabilitación (GTR) tiene como objetivo promover la transformación del actual sector de la edificación. <http://www.gbce.es/es/pagina/gtr-2014>.

1.2. El parque inmobiliario de la Administración General del Estado

Las administraciones públicas cuentan con un elevado número de edificios incluidos dentro del parque inmobiliario estatal, con gran variedad de usos y un elevado potencial de ahorro energético. Por este motivo, la Unión Europea propone a las administraciones, por medio de la Directiva 2012/27/UE⁹, ejercer una labor ejemplarizante en materia rehabilitación energética, estableciendo la obligatoriedad de la renovación del 3 % anual de la superficie total de los edificios de su propiedad.

De igual manera, los Estados miembros han elaborado y hecho público el inventario de los edificios en propiedad ocupados por la administración central, indicando los datos de superficie y consumo energético de cada edificio, que están afectados por la obligación de renovación anual.

Desde el año 2013 el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) realiza el inventario energético utilizando la plataforma Sistema Informático de Gestión Energética de Edificios de la Administración General del Estado (SIGEE-AGE).

La selección de los edificios y los datos energéticos y patrimoniales que contiene han sido aportados por los Ministerios y se han identificado un total de 2.142 edificios (diciembre de 2016) con una superficie útil de 10,8 millones de m² y un consumo asociado total de 1 TWh.

En el caso de España, los edificios incluidos en el inventario y afectados por la tasa de renovación anual del 3 %, deberán rehabilitarse de manera que cumplan con los requisitos mínimos de eficiencia energética fijados por el Código Técnico de la Edificación (CTE), a través de su Documento Básico de ahorro de energía.

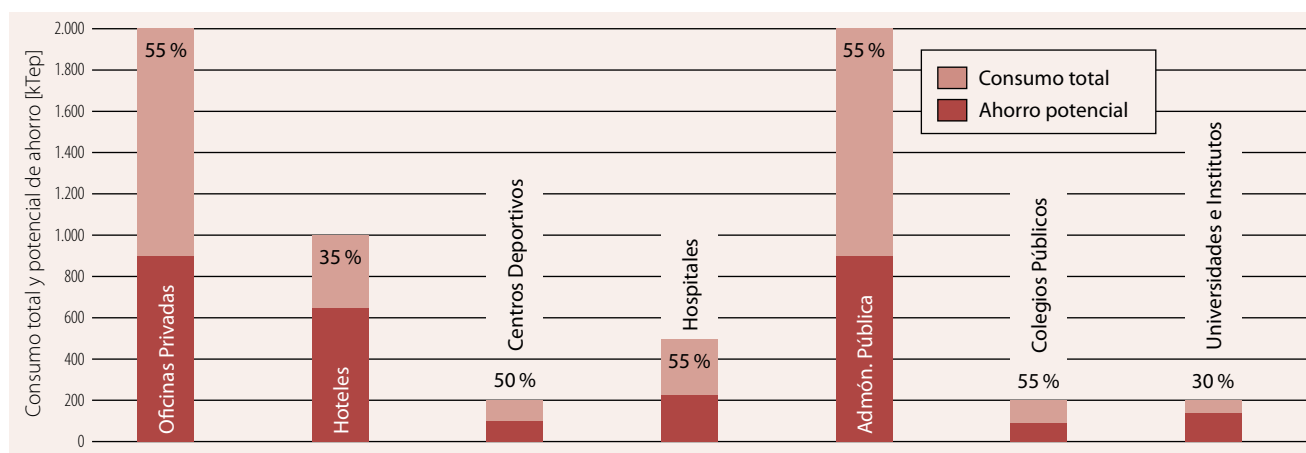


Figura 3. Potencial de ahorro energético de los edificios del sector público. Fuente: Informe GTR 2014.

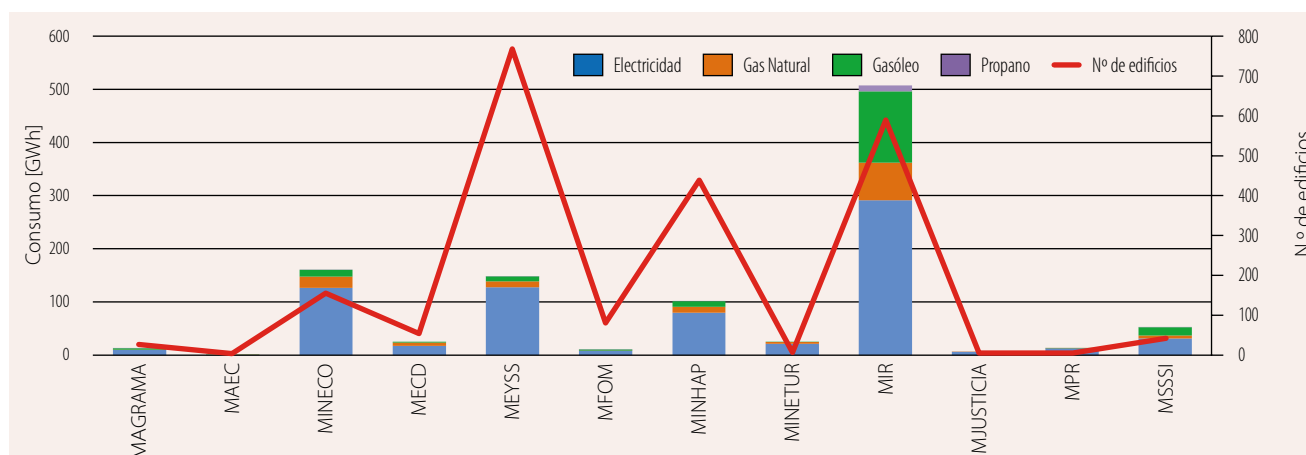


Figura 4. Inventario energético de edificios de la Administración General del Estado. Fuente: MINETUR/IDAE.

⁹ El artículo 5 de la Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo remarca la función ejemplarizante de los edificios de los organismos públicos: "A partir del 1 de enero de 2014, el 3 % de la superficie total de los edificios con calefacción/refrigeración que tenga en propiedad y ocupe la Administración Central se renovará cada año..." El artículo 5 también establece que los Estados miembros deben animar a los organismos públicos, a escala regional y local, a que adopten un plan de eficiencia energética, implanten un sistema de gestión energética y recurran a empresas de servicios energéticos y a contratos de rendimiento energético.

1.3. El incentivo de los nuevos Fondos Estructurales y de Inversión Europeos

El 30 de octubre de 2014 se firmó el Acuerdo de Asociación entre la Comisión Europea y España para el uso de los Fondos Estructurales y de Inversión Europeos (Fondos EIE) para el período 2014-2020¹⁰.

La finalidad de los fondos es incrementar la productividad y la competitividad y promover el empleo en un marco de consolidación fiscal y de restricción del crédito.

En este contexto, emergen como prioridades generales, entre otras:

- El desarrollo de las capacidades del capital humano.
- Facilitar el acceso a la financiación por parte de las pyme.
- Crear un entorno empresarial favorable a la innovación.

Los Fondos EIE, que contemplan una asignación de 38.035 millones de euros para España en el período 2014-2020, incluyen el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER), el Fondo Social Europeo (FSE), el Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (FEADER) y el Fondo Europeo Marítimo y de Pesca (FEMP).

La gestión de los mismos se realiza de manera centralizada para el caso de los Fondos FEDER, y a través de las comunidades autónomas para el caso de los fondos FSE, FEADER y FEMP. La asignación financiera para el período 2014-2020 se distribuye para España de acuerdo con cada objetivo temático y tipo de fondo, según la tabla 3.

El Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) es el organismo responsable de articular la gestión de los fondos FEDER para el Objetivo Temático 4 (OT4: Economía baja en carbono) a través del Programa Operativo de Crecimiento Sostenible.

La programación española FEDER 2014-2020 ha incrementado extraordinariamente la asignación al OT4, multiplicándola por diez con respecto a la del período 2007-2013.

Las prioridades de inversión, según el Acuerdo de Asociación, son:

1. Fomento de la producción y distribución de energías renovables.
2. Fomento de la eficiencia energética y el uso de energías renovables por las empresas.
3. Apoyo de la eficiencia energética y del uso de energías renovables en las infraestructuras públicas, incluidos los edificios públicos y en las viviendas.
4. Desarrollo y aplicación de sistemas de distribución inteligentes en las redes que operen con baja y media tensión.
5. Fomento de estrategias de reducción del carbono para todo tipo de territorio, especialmente las zonas urbanas, incluido el fomento de la movilidad urbana multimodal sostenible y las medidas de adaptación con efecto de mitigación.
6. Fomento de la investigación y la innovación en tecnologías con bajas emisiones de carbono, y la adopción de las mismas.
7. Fomento de la utilización de cogeneración de calor y energía de alta eficiencia, basada en la demanda de calor útil.
8. Promover el uso eficiente de recursos y el cambio hacia una economía baja en carbono y resistente al cambio climático en los sectores agrícola, alimentario y forestal.

En este contexto IDAE promueve y gestiona distintos programas de ayudas para la rehabilitación energética de edificios existentes.

Para coordinar e integrar las actuaciones en proyectos EBC (Economía Baja en Carbono) se ha creado la Red REBECA (Red de Economía Baja en Carbono)¹¹.

¹⁰ Según se define en el Reglamento (UE) N° 1303/2013 del Parlamento y el Consejo, por el que se establecen las disposiciones comunes relativas al FEDER, FSE, Fondo de Cohesión, FEADER y FEMP para el período 2014-2020, el acuerdo de asociación es el documento elaborado por el Estado miembro, con participación de socios y una gobernanza multinivel, en el que se expone la estrategia de ese Estado miembro, sus prioridades y las disposiciones para utilizar los Fondos Estructurales y de Inversión Europeos de una manera efectiva y eficiente para perseguir la estrategia de la Unión para un crecimiento inteligente, sostenible e integrador. La Comisión debe aprobar dicho documento tras ser evaluado y negociado con el Estado miembro. <http://www.dgfc.sepg.minhafp.gob.es/sitios/dgfc/es-ES/ipr/fcp1420/p/pa/Paginas/inicio.aspx>

¹¹ REBECA es la Red de Economía Baja en Carbono para el período 2014-2020. Esta red se configura como un mecanismo de coordinación, impulso y apoyo a la gestión y evaluación de actuaciones en materia de Economía baja en Carbono cofinanciadas por Fondos Estructurales, además de un instrumento necesario para compartir buenas prácticas y difundir los resultados de los proyectos en eficiencia energética, renovables y redes de energía que reciben financiación europea. <http://www.idae.es/ayudas-y-financiacion/fondo-europeo-de-desarrollo-regional-feder/rebeca-red-de-economia-baja-en-carbono>

Objetivo Temático	FEDER	FSE	FEADER	FEMP	Total
01. Potenciar la investigación, el desarrollo tecnológico y la innovación	4.424.158.787	0,00	229.583.212	0,00	4.653.741.999
02. Mejorar el uso y la calidad de las TIC y el acceso a las mismas	1.997.222.953	0,00	53.057.211	0,00	2.050.280.164
03. Mejorar la competitividad de las PYME, del sector agrícola (en el caso del FEADER) y del sector de la pesca y la acuicultura (en el caso del FEMP)	2.820.973.785	0,00	2.564.573.328	603.000.000	5.988.547.113
04. Favorecer el paso a una economía baja en carbono en todos los sectores	3.377.282.406	0,00	845.604.861	19.000.000	4.241.887.267
05. Promover la adaptación al cambio climático y la prevención y gestión de riesgos	224.079.133	0,00	1.601.748.355	0,00	1.825.827.488
06. Proteger el medio ambiente y promover la eficiencia de los recursos	2.404.090.617	0,00	1.664.484.243	329.620.889	4.398.195.749
07. Promover el transporte sostenible y eliminar los estrangulamientos en las infraestructuras de redes fundamentales	2.465.539.406	0,00	0,00	0,00	2.465.539.406
08. Promover el empleo y favorecer la movilidad laboral	50.521.584	3.595.172.476	409.014.081	141.000.000	4.195.708.141
09. Promover la inclusión social y luchar contra la pobreza	561.285.451	1.944.742.719	767.285.066	0,00	3.273.313.236
10. Invertir en la educación, el desarrollo de las capacidades y el aprendizaje permanente	409.881.120	1.879.757.967	55.177.688	0,00	2.344.816.775
11. Mejorar la capacidad institucional y la eficiencia de la administración pública	484.139.101	0,00	0,00	0,00	484.139.101
Asistencia Técnica	189.709.435	169.895.975	100.300.776	69.000.000	528.906.186
TOTAL	19.408.883.778	7.589.569.137	8.290.828.821	1.161.620.889	36.450.902.625

Tabla 3. Asignación financiera de los Fondos Estructurales y de Inversión Europeos durante 2014-2020 en España. Fuente: Acuerdo de Asociación de España 2014-2020.

1.4. El futuro del sector de la Construcción

En este marco normativo y socio-económico, la rehabilitación sostenible representa una oportunidad para el sector de la construcción, además de una ocasión para reducir el gasto asociado al consumo energético en los edificios, disminuir los efectos del uso de energías no renovables y paliar los problemas motivados por el cambio climático.

La Administración General del Estado y las administraciones autonómicas y locales –además de los organismos públicos de ellos dependientes– pueden y deben liderar dichas estrategias de rehabilitación sostenible como labor ejemplarizante. El parque inmobiliario del dominio público deberá ser eficiente en el consumo energético y de recursos, con reducido impacto ambiental en su entorno y un elevado nivel de bienestar en sus usuarios.



Figura 5. Cubierta vegetal del Parque Balear de Innovación Tecnológica, Palma de Mallorca.

1.5. El Grupo Tragsa y la eficiencia energética en la edificación

La contribución del Grupo Tragsa al sector de la edificación es integral, abarcando la realización de proyectos arquitectónicos y de ingeniería, la ejecución de obras de rehabilitación y de obra nueva, la adecuación de edificios, y el asesoramiento en labores de adquisición y enajenación de patrimonio. Colabora también con diferentes administraciones en el mantenimiento, conservación y restauración del patrimonio histórico-artístico en más de 900 municipios de toda la geografía española.

La experiencia en el sector de la edificación del Grupo Tragsa queda avalada con más de 25 años de ejercicio, 1.200 empleados relacionados con el sector, 3.500 actuaciones de edificación en los últimos quince años en ámbito nacional e internacional, y proyectos específicos de innovación e I+D.

En el contexto actual, el Grupo Tragsa quiere aportar valor añadido a sus actuaciones de rehabilitación y edificación, incluyendo objetivos de sostenibilidad que den respuesta a la demanda social actual.

A modo de propuesta metodológica, esta publicación ha sido elaborada en el marco del proyecto de Investigación,

Desarrollo e Innovación (I+D+i) “Eficiencia Energética en Edificación: EDISOS”, que tienen por objeto alinear las acciones del Grupo Tragsa en materia de eficiencia energética y sostenibilidad en la edificación, integrando y desarrollando tecnologías innovadoras al objeto de reforzar sus actuaciones y definir nuevos modelos futuros.

El proyecto se desarrolla en colaboración con el Centro Nacional de Energías Renovables (CENER), centro tecnológico especializado en la investigación aplicada y en el desarrollo y fomento de las energías renovables. La Fundación CENER-CIEMAT inició su actividad en el año 2002, y su patronato está formado por Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades, Ciemat, el Ministerio para la Transición Ecológica y el Gobierno de Navarra. Cuenta con una alta cualificación y un reconocido prestigio nacional e internacional.

En la actualidad, el CENER presta servicios y realiza trabajos de investigación en seis áreas: Eólica, Solar Térmica y Solar Fotovoltaica, Biomasa, Energética Edificatoria e Integración en Red de las Energías Renovables.

La colaboración Tragsa-CENER refuerza el carácter innovador de este trabajo y busca generar herramientas que faciliten la mejora de los edificios públicos existentes, el conocimiento de su comportamiento y su gestión energética eficiente.

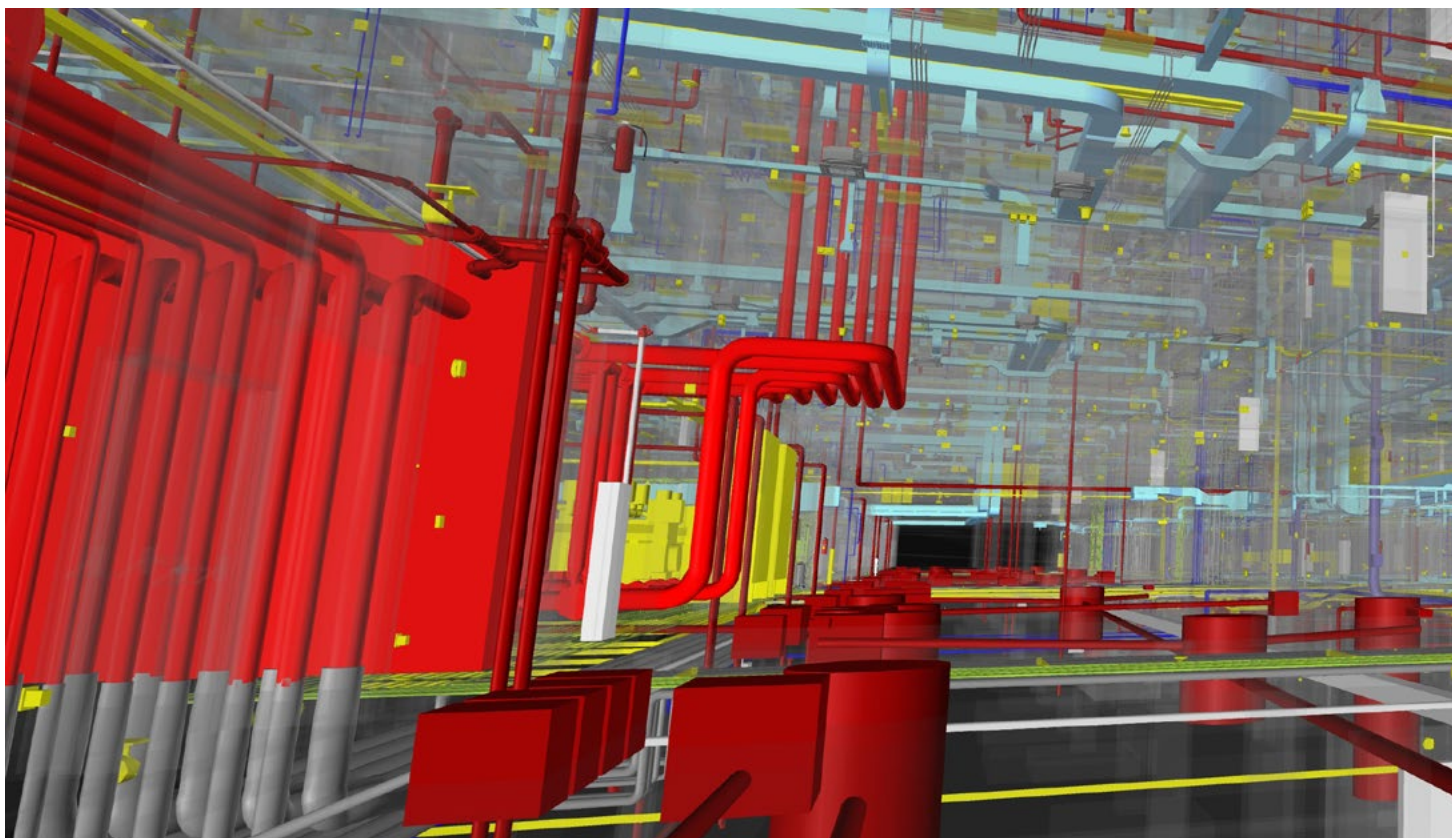
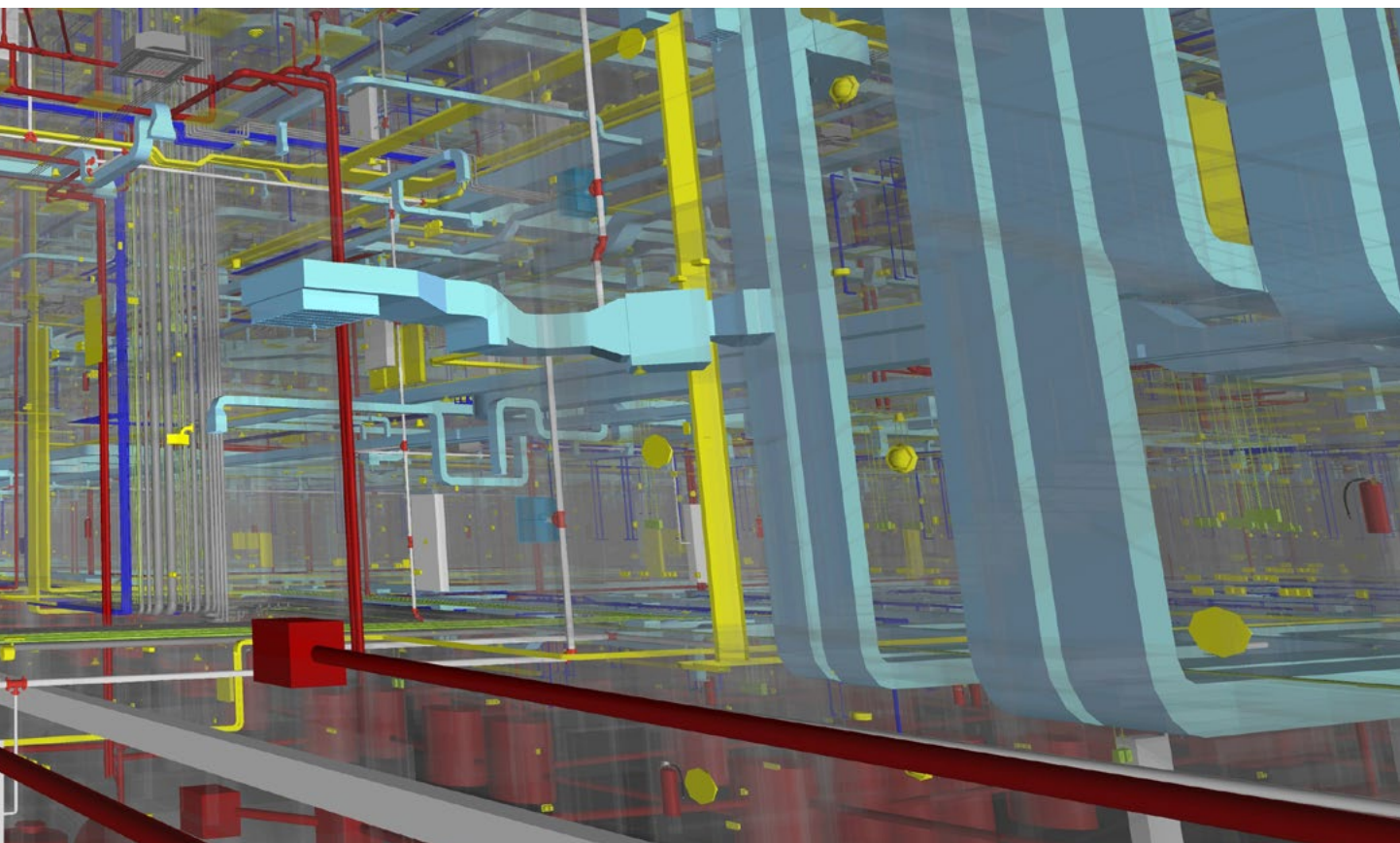


Figura 6. Uso de BIM para el modelado de las instalaciones del edificio en construcción.



Figura 7. Centro de visitantes de Malpartida de Plasencia. Parque Nacional de Monfragüe, Cáceres.





Trabajos de mejora de la iluminación de la Sala Nova del Palau de Generalitat, Valencia.

2. Metodología de rehabilitación sostenible para edificios públicos

La rehabilitación sostenible

Rehabilitar con criterios de sostenibilidad significa actuar sobre un edificio para disminuir su consumo de recursos y su impacto medioambiental, y además mejorar su influencia en su entorno y el bienestar de los usuarios.

¿Cómo se hace?

La metodología de rehabilitación sostenible de edificios públicos, que proponemos, plantea un proceso guiado que facilita a los responsables del parque inmobiliario la toma de decisiones, sin perder de vista los objetivos europeos descritos en materia de eficiencia energética y sostenibilidad, y que complementa el modelo clásico de proyectos y obras.

Los pasos son:

1. Seleccionar el edificio sobre el que actuar de entre el conjunto del parque inmobiliario, en base a criterios objetivos justificados.
2. Definir los objetivos de rehabilitación específicos para el edificio seleccionado.
3. Caracterizar y profundizar en el conocimiento del edificio.
4. Determinar cualitativa y cuantitativamente las mejoras a ejecutar para alcanzar los objetivos específicos.
5. Ejecutar las medidas de mejora definidas.
6. Verificar el cumplimiento de los objetivos, realizando el seguimiento de las medidas aplicadas y corregir o reiniciar el proceso con nuevas mejoras.



Figura 8. Proceso esquemático de la metodología de rehabilitación sostenible.

2.1. Selección del edificio

El parque inmobiliario de la administración pública es amplio en número y tipologías de edificios, por lo que es necesario un proceso de evaluación inicial que detecte los edificios con un consumo de recursos excesivo, un mayor impacto medioambiental, problemas de confort entre los usuarios o con necesidad de modificaciones para adecuarlo a su uso.

2.1.1. El proceso de evaluación comparativa

Para que la selección sea objetiva y equitativa deben calcularse indicadores que permitan comparar la situación de cada edificio con otros de tipología o uso similar, atendiendo a la zona climática y ubicando a cada edificio, en una escala de referencia objetiva.

Para ello resulta indispensable realizar una primera caracterización general de cada edificio del parque inmobiliario, incluyendo datos sobre tipología, antigüedad, uso, horarios, superficie, consumos energéticos, e información sobre criterios básicos de sostenibilidad.

EL Grupo Tragsa ha desarrollado la herramienta de diagnóstico EFESO¹² (Eficiencia Energética de Sostenibilidad en Edificios) que permite calcular los indicadores para la evaluación comparativa, y detectar así los edificios sobre los que convenga actuar en primer lugar puesto que representan una información indispensable para identificar deficiencias y seleccionar medidas de mejora apropiadas.

Los indicadores básicos utilizados que permiten generar las escalas de referencia son:

- Indicador energético: consumo anual de energía primaria no renovable [kWh/m²].
- Indicador de sostenibilidad: índice de sostenibilidad [valor %] calculado según la metodología propuesta en esta guía.

Adicionalmente se pueden evaluar diferentes indicadores parciales, tales como:

- Energéticos: las demandas de calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria (ACS) o el consumo de energía final desagregado por servicios.
- Sostenibles: demanda de agua, accesibilidad al transporte público/servicios, ocupación/espacio climatizado, etc.

2.1.2. El procedimiento de evaluación comparativa del indicador energético. La escala energética

Para posicionar, desde el punto de vista de la eficiencia energética, un determinado edificio respecto a los de su entorno, realizando una evaluación comparativa, se comparará el consumo de energía primaria no renovable y además, se tendrá en cuenta el uso del edificio y la zona climática en la que se ubique.

La escala energética se basará en el análisis estadístico del inventariado de datos de consumos reales del parque de edificios existentes. Según el nivel que alcance el edificio dentro de la escala de referencia, obtendrá una valoración, consiguiendo identificar los edificios menos eficientes energéticamente entre todos los edificios evaluados.

2.1.3. El procedimiento de evaluación comparativa del indicador de sostenibilidad. La escala de sostenibilidad

Para poder evaluar el compromiso con la sostenibilidad de los edificios se establece un indicador de sostenibilidad basado en el grado de cumplimiento de unas condiciones predeterminadas que serán analizadas en función de una serie de preguntas y datos generales del edificio.

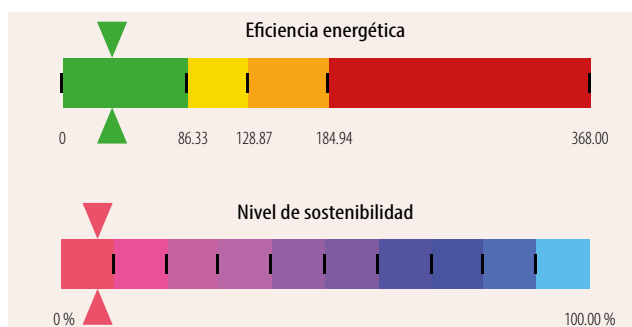


Figura 9. Indicadores energético y de sostenibilidad.

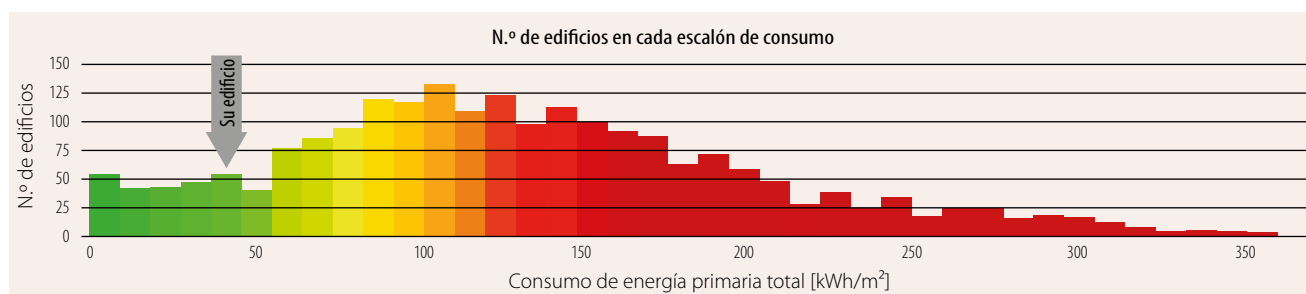


Figura 10. Ejemplo de evaluación comparativa del indicador energético de un edificio [kWh/m²].

¹² El Grupo Tragsa ha desarrollado la herramienta de diagnóstico EFESO (Eficiencia Energética y Sostenibilidad en Edificios) que permite el cálculo de los indicadores y que genera un inventario que facilita la planificación de las medidas de mejora.

El indicador de sostenibilidad analiza la implantación del edificio, el transporte, la gestión del agua, el consumo de energía y la contaminación atmosférica, el bienestar de los usuarios y la gestión del edificio. En la tabla 4, se muestran las puntuaciones asignadas a cada apartado.

2.1.4. Resultados

Las escalas gráficas de eficiencia energética y de sostenibilidad permiten identificar el potencial de mejora del parque inmobiliario evaluado, detectar los edificios con peor comportamiento y priorizar las actuaciones a acometer, filtrar edificios por resultados y obtener el valor agregado de consumos del parque inmobiliario inventariado.

Apartado	Puntuación asociada (%)
Implantación	16
Transporte	17
Agua	16
Energía y atmósfera	21
Bienestar	14
Gestión	16

Tabla 4. Ponderación de los apartados que conforman el indicador de sostenibilidad.

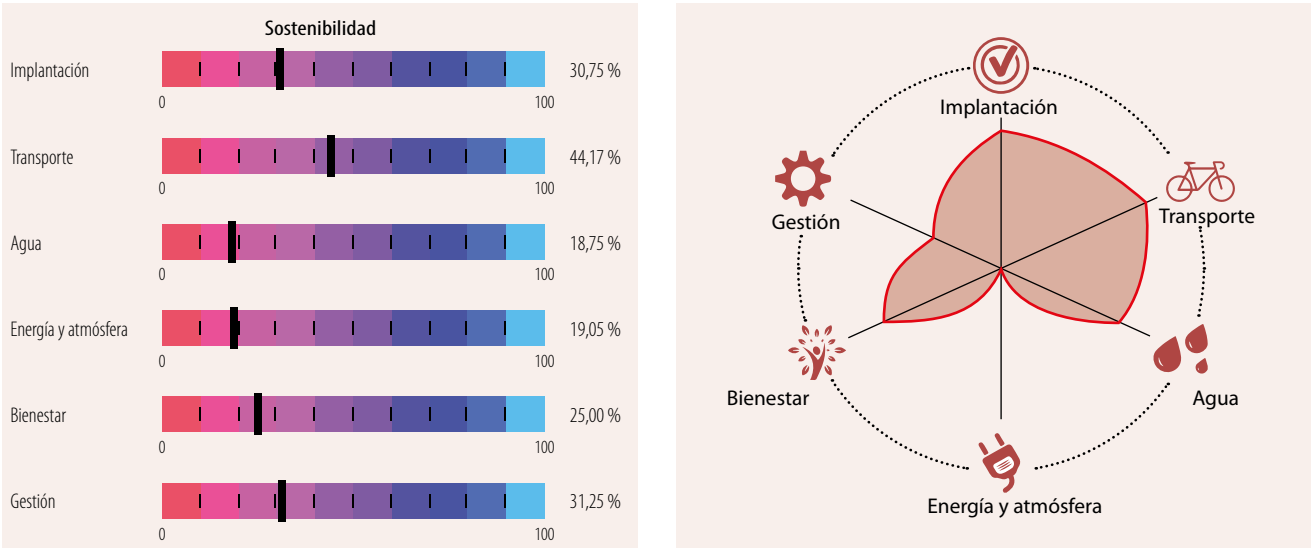


Figura 11. Ejemplo de evaluación comparativa del indicador de sostenibilidad de un edificio.

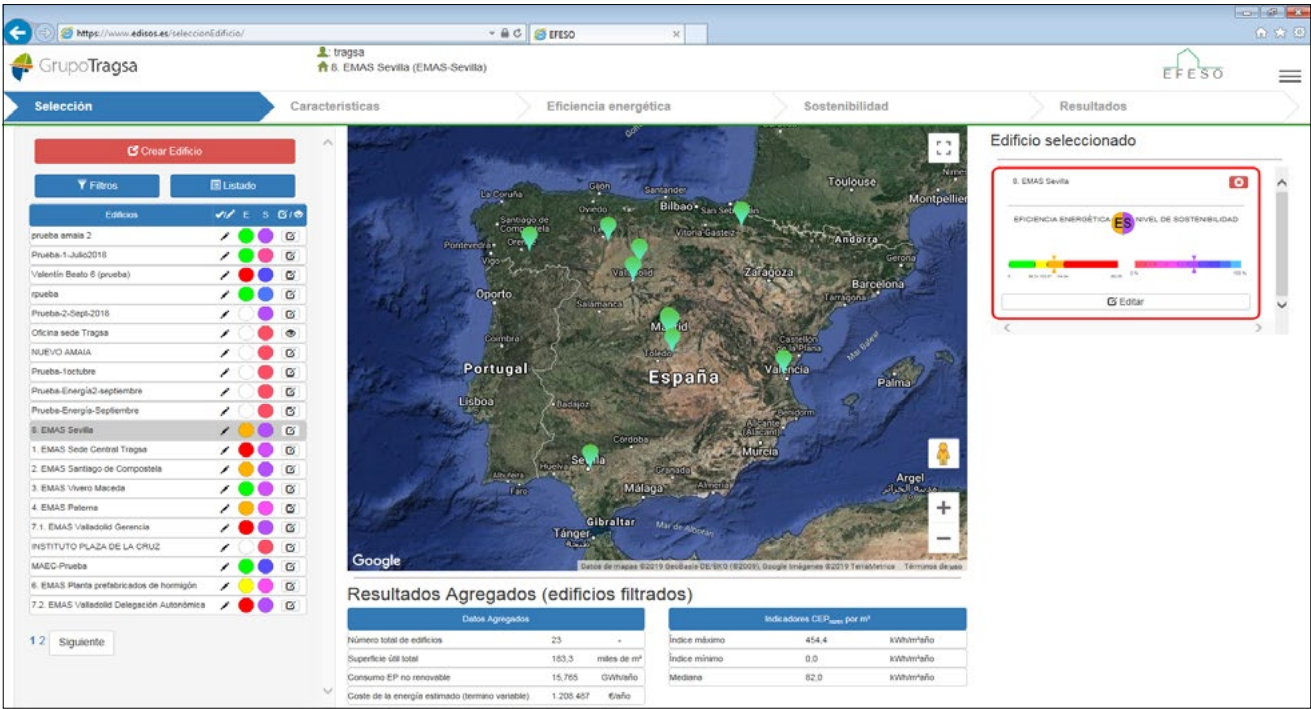


Figura 12. Captura de pantalla de la herramienta de diagnóstico EFESO.

2.2. Definición de los objetivos

La actuación de rehabilitación sostenible en el edificio seleccionado deberá considerar distintos aspectos: el ahorro energético, el ahorro económico, la mejora del bienestar de los usuarios y la reducción del impacto medioambiental.

Además del cumplimiento y adecuación a la normativa vigente, se deberán establecer unos objetivos específicos para el edificio que ayudarán a determinar las acciones a emprender durante el proceso de rehabilitación.

Los objetivos que proponemos tienen que ver con la mejora del indicador energético –reducción del consumo anual de energía primaria no renovable [kWh/m² · año]– o con la mejora del indicador de sostenibilidad:

- Objetivos específicos de mejora del indicador energético:
 - Mejorar de la calificación energética del edificio.
 - Reducir el consumo de energía primaria no renovable mediante la aplicación de medidas de mejora de la eficiencia energética con criterios de rentabilidad óptima.
 - Alcanzar el consumo de energía casi nulo en el edificio (EECN/nZEB).
 - Mejorar el indicador de inteligencia¹³.
- Objetivos específicos para la mejora del indicador de sostenibilidad:
 - Mejorar el nivel de sostenibilidad del edificio.
 - Reducir la huella de carbono (CO₂).

2.2.1. Mejorar la calificación energética del edificio

La calificación es la expresión de la eficiencia energética del edificio y está basada en el consumo de energía que se estima necesaria para satisfacer la demanda energética del edificio en unas condiciones normales de funcionamiento y ocupación. Se determina de acuerdo con la metodología de cálculo recogida en el RD 47/2007, y se expresa con los indicadores energéticos (kWh/m² · año y kgCO₂/m² · año) reflejados en la etiqueta de eficiencia energética.

La metodología de certificación energética permite cuantificar demandas y consumos energéticos teóricos y compararlos con una escala objetiva para obtener una calificación que abarca desde la A (más eficiente) hasta la G (menos eficiente).

La sección HE0 “Limitación del consumo energético” limita el consumo de energía primaria no renovable asociado a un edificio. Los indicadores de verificación del documento básico de ahorro de energía pueden ser evaluados mediante los procedimientos reconocidos y herramientas para la certificación energética de edificios, tanto de nueva construcción como existentes.

En la metodología propuesta, se recomienda alcanzar el objetivo de calificación energética igual o superior a la clase B en todos los proyectos de rehabilitación de edificios públicos, siempre que sea técnica y económicamente viable.



Figura 13. Objetivos específicos de la rehabilitación sostenible.

Consumo de energía primaria no renovable [kWh/m ² año]		Emisiones de dióxido de carbono [kgCO ₂ /m ² año]	
A	< 73,3	A	< 18,8
B	73,3-119,2	B	16,8-27,5
C	119,2-188,3	C	27,6-42,3
D	119,2-188,3	D	42,3-66,0
E	238,3-283,3	E	66,0-67,8
F	283,3-306,8	F	67,7-84,8
G	> 306,8	G	> 84,8

Tabla 5. Indicadores energéticos globales del certificado de eficiencia energética. Fuente: Ce3X.

¹³ La Directiva UE 2018/44 del Parlamento Europeo recoge que la Unión establecerá un régimen común para la clasificación del grado de preparación para aplicaciones inteligentes de los edificios que estará basada en una evaluación de las capacidades del edificio o unidad de adaptarse a las necesidades de sus ocupantes y a la red, y mejorar su eficiencia energética y sus prestaciones globales.

Demanda de calefacción [kWh/m ² año]		Demanda de refrigeración [kWh/m ² año]	
A	< 28,3	A	< 8,6
B	28,3-45,9	B	8,6-14
C	45,9-70,7	C	14,0-21,5
D	70,7-91,9	D	21,5-27,9
E	91,9-113,1	E	27,9-34,4
F	113,1-141,4	F	34,4-43,0
G	> 141,4	G	> 43,0

Tabla 6. Indicadores parciales de demanda energética del certificado de eficiencia energética. Fuente: Ce3X.

La mejora en la calificación energética se puede alcanzar mediante actuaciones en la envolvente térmica, en las instalaciones de calefacción, refrigeración, agua caliente sanitaria (ACS) o iluminación.

Para ello se deberán analizar las características constructivas, el tipo de instalaciones y la zona climática de cada edificio. Algunas de las posibles medidas para la mejora de la calificación energética son:

ENVOLVENTE	
Adición de aislamiento térmico	En fachada por el exterior.
	En fachada por el interior o relleno de cámara de aire.
	En cubierta.
	En suelo.
	Trasdosado interior de pilares.
Mejora de huecos	En cajas de persianas.
	Sustitución de vidrios.
	Mejora del control solar.
	Sustitución de ventanas.
	Mejora de la estanqueidad.
	Incorporación de doble ventana.
	Elementos de protección solar.
INSTALACIONES	
Sustitución del equipo generador de ACS	Sustitución por caldera de combustión de alta eficiencia.
	Sustitución de caldera de combustión por otra de mayor eficiencia y otro tipo de combustible.
	Sustitución por caldera de biomasa.
Sustitución del equipo generador de calor para calefacción	Sustitución por caldera de combustión de alta eficiencia.
	Sustitución de caldera de combustión por otra de mayor eficiencia y otro tipo de combustible.
	Sustitución por caldera de biomasa.
	Sustitución por bomba de calor de alta eficiencia.
Sustitución del equipo generador de frío para refrigeración	Sustitución por bomba de calor de alta eficiencia.
Incorporación de un sistema de recuperación de calor	Incorporación o mejora del equipo de recuperación de calor.
Incorporación de un sistema de energía solar	Incorporación de sistema de energía solar térmica para ACS.
	Incorporación de sistema de energía solar térmica para calefacción.
	Incorporación de un sistema de energía solar térmica para refrigeración.
	Incorporación de un sistemas solar fotovoltaico.
Incorporación de un sistema de micro-cogeneración	Incorporación de un sistema de micro-cogeneración para ACS.
Mejora de la eficiencia de la iluminación	Sustitución del equipo de iluminación.

Tabla 7. Medidas de mejora de la calificación energética. Fuente: CENER.

2.2.2. Reducción del consumo de energía primaria no renovable mediante la aplicación de medidas de mejora de la eficiencia energética con criterios de rentabilidad óptima

La Directiva 2010/31/UE establece que los Estados miembros tomarán las medidas necesarias para garantizar que se establezcan unos requisitos mínimos de eficiencia energética de los edificios con el fin de alcanzar niveles óptimos de rentabilidad, teniendo en cuenta las condiciones climáticas exteriores y las particularidades locales, así como las exigencias ambientales interiores.

En el caso de rehabilitación de edificios, los Estados miembros adoptarán las medidas necesarias para garantizar que cuando se proceda a la sustitución o mejora de los elementos que integren la envolvente del edificio y que repercutan de manera significativa en la eficiencia energética de dicha envolvente, se fijen unos requisitos mínimos de eficiencia energética para ellos, con el fin de alcanzar unos niveles óptimos de rentabilidad.

En este sentido el Reglamento Delegado (UE) Nº 244/2012 establece el marco metodológico para calcular los niveles óptimos de rentabilidad de los requisitos mínimos de eficiencia energética; y las normas que deben aplicarse para comparar las medidas de eficiencia energética, las medidas que integren fuentes de energía renovables y los paquetes y variantes de esas medidas, sobre la base de su eficiencia energética y del coste atribuido a su implementación.

El uso de la metodología de coste óptimo para la mejora del indicador energético del edificio, permite determinar, para actuaciones de rehabilitación, los paquetes de medidas de eficiencia energética que alcancen la máxima

rentabilidad (menor coste global asociado), atendiendo al siguiente proceso:

- La identificación de las medidas de eficiencia energética y de la adecuada combinación de sus variantes, aplicables a cada edificio de referencia.
- El cálculo del consumo de energía primaria resultante de la aplicación de las medidas y la combinación de sus variantes al edificio.
- El cálculo del coste global como valor actual neto, que incluye el coste de operación, energía, mantenimiento y sustitución durante 20-30 años.
- La realización de un análisis de sensibilidad para los datos relativos a los costes, incluidos los precios de la energía.
- La identificación de la combinación de medidas de eficiencia energética a implementar de rentabilidad óptima.

Las variantes de medidas de mejora de la eficiencia energética se definen mediante un conjunto completo que se aplica a un edificio y que puede estar integrado por una combinación de medidas relativas a la envolvente del edificio, técnicas pasivas, medidas relacionadas con los sistemas técnicos y/o medidas basadas en fuentes de energías renovables.

Las medidas de mejora de la eficiencia energética deben valorarse según sus beneficios totales a largo plazo, a través del valor actual neto (VAN), por lo que para su selección deberá considerarse:

- El coste de la inversión y el retorno en ahorro de energía.
- La evolución de los costes de la energía.
- Los plazos de amortización de la inversión.
- El coste de mantenimiento de las instalaciones y del edificio.
- El coste de sustitución de los equipos con el tiempo.

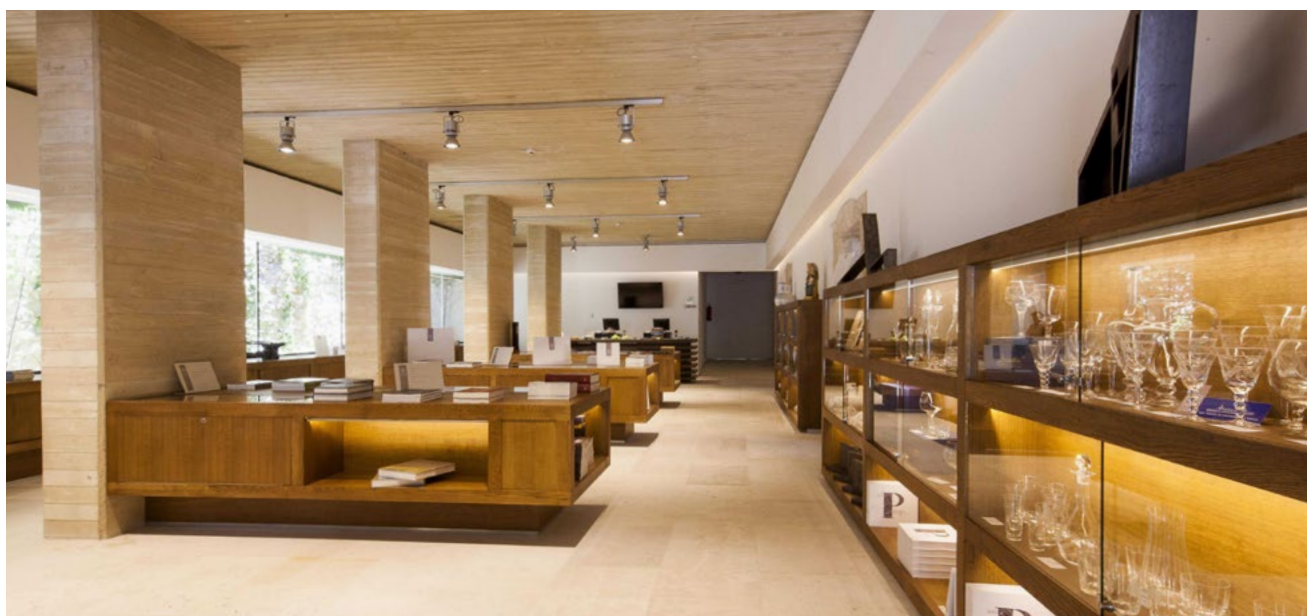


Figura 14. Centro de Recepción de Visitantes del Real Monasterio de Santa María de El Pualar. Rascafría, Madrid.

Con base en los cálculos del consumo de energía primaria y de los costes globales asociados con los distintos paquetes de medidas evaluados, se obtendrá un gráfico por edificio con una curva que describe el consumo de energía primaria [eje de la x: energía primaria en kWh/(m² superficie útil y año)] y los costes globales de las diferentes paquetes de medidas (eje y).

El conjunto de medidas de menor coste global ocupará el punto más bajo de la curva y se corresponde con la identificación de la solución de rentabilidad óptima.

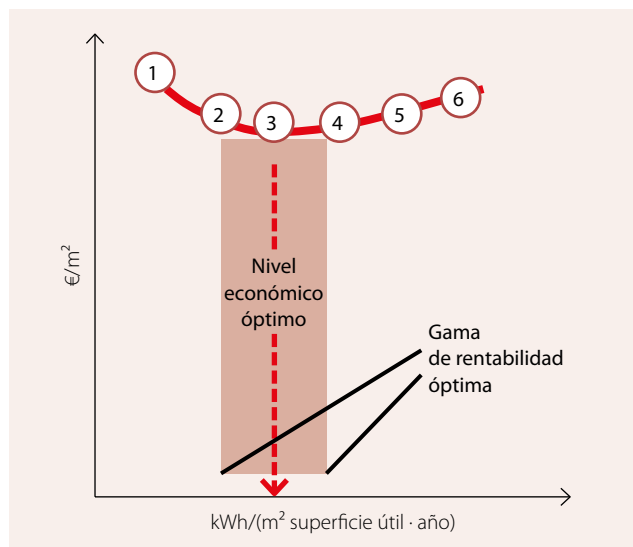


Figura 15. Esquema del gráfico de aplicación de la metodología de coste óptimo. Fuente: *Directrices que acompañan al Reglamento Delegado (UE) nº 244/2012.*

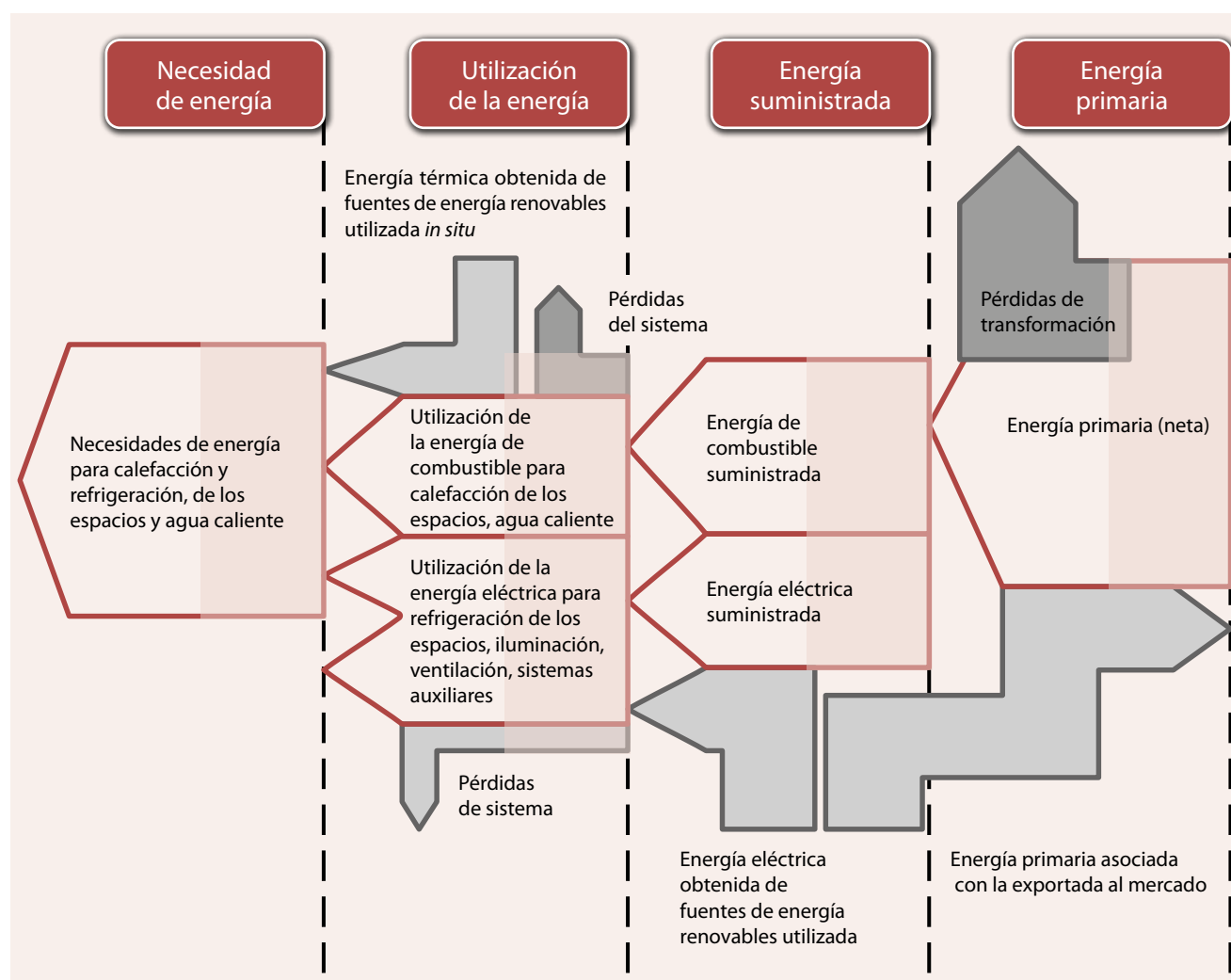


Figura 16. Esquema del flujo de cálculo de la energía primaria no renovable. Fuente: *Directrices que acompañan al Reglamento Delegado (UE) nº244/2012.*

2.2.3. Alcanzar el consumo de energía casi nulo en el edificio (EECN/nZEB)

La mejora del indicador energético también se puede alcanzar mediante la aplicación de medidas de eficiencia energética basadas en criterios de edificio de consumo de energía casi nulo (nZEB/EECN).

En este caso, la Directiva 2010/31/UE establece que todos los edificios públicos nuevos, a partir del 31 de diciembre de 2018, deben ser edificios de consumo de energía casi nulo (nZEB/EECN), además de desarrollar políticas específicas para fomentar que los edificios rehabilitados cumplan esta definición.

La definición de edificio de consumo de energía casi nulo (EECN) en España se introdujo a través de la Orden FOM/588/2017: "Edificio que cumple con las exigencias reglamentarias establecidas para edificios de nueva construcción en las diferentes secciones del Documento Básico de ahorro de energía (DB-HE).

Su definición quedará por tanto siempre alineada con los indicadores energéticos y requerimientos mínimos exigidos por la normativa vigente en cada momento.

El conjunto de indicadores y valores mínimos exigibles para el cumplimiento del estándar nZEB/EECN hará por tanto referencia al consumo de energía primaria no renovable y total, transmitancia de la envolvente, eficiencia de instalaciones térmicas y de iluminación y contribución mínima con fuentes de energía renovables.

El proceso de optimización de un edificio de energía casi nula deberá apoyarse nuevamente en las líneas marcadas por la Directiva 2010/31/EU, referida a la eficiencia energética de los edificios, e inspirarse en los conceptos y marco metodológico de las Directrices del Reglamento Delegado (UE) nº244/2012 (apartado anterior). Además, tal como indican las últimas recomendaciones de la Comisión Europea (UE 2016/1318), es previsible que los costes tecnológicos

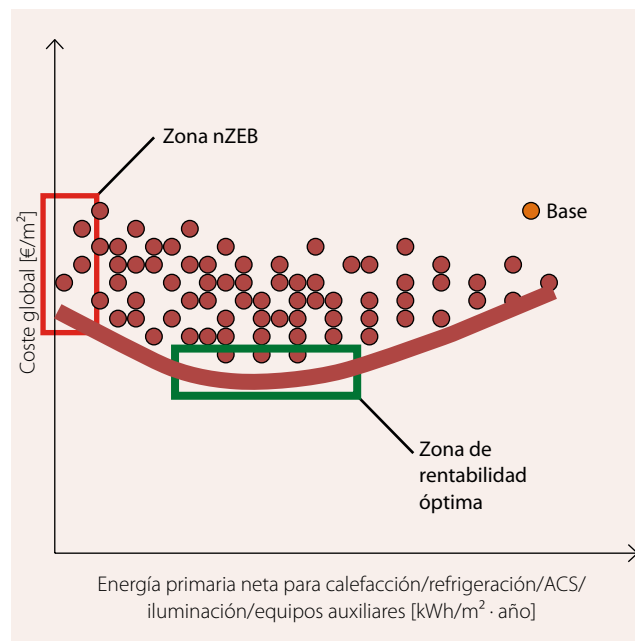


Figura 17. Gráfico esquemático del cálculo del coste óptimo.
Fuente: Centro Nacional de Energías Renovables (CENER).

de instalaciones altamente eficientes se reduzcan como resultado de la madurez de los mercados y de la mayor demanda y los niveles de nZEB / EECN se corresponderán entonces con los de rentabilidad óptima.

La misma recomendación reclama: redoblar esfuerzos para promover edificios de consumo de energía casi nulo, definir los niveles nZEB / EECN con ambición (nunca por debajo de los niveles óptimos de rentabilidad) y utilizar fuentes de energía renovables de forma integrada.

La recomendación recoge también unos valores de referencia aplicables a la eficiencia energética de los edificios nZEB/EECN, en base a la proyección de precios y tecnologías en 2020, según las zonas climáticas de la Unión Europea, y que puede utilizarse como valor de referencia para las actuaciones de rehabilitación sostenible.

Exigencia	Indicador
Uso de energía	Consumo de energía primaria no renovable ($C_{ep,ner}$)
	Consumo de energía de fuentes renovables ($C_{ep,tor}$)
	Aportación mínima de energía procedente de fuentes renovables
	Calentamiento de agua de piscinas cubiertas
	Acondicionamiento de espacios abiertos de forma permanente
Características de la envolvente térmica	Transmitancia térmica global (K)
	Control solar ($Q_{sol,util}/A_{util}$)
	Limitación de descompensaciones en edificios de uso residencial privado (U)
	Limitación de condensaciones en la envolvente térmica
Características de las instalaciones	Instalaciones térmicas
	Instalaciones de iluminación

Tabla 8. Estructura de exigencias e indicadores del CTE DB-HE.

Tipología	Energía primaria kWh/m²/año	Zona climática			
		Mediterránea	Oceánica	Continental	Nórdica
Oficinas	EP neta	20-30	40-55	40-55	55-70
	EP total	80-90	85-100	85-100	85-100
	Cubierto por EERR	60	45	45	30
Vivienda unifamiliar nueva	EP neta	0-15	15-30	20-40	40-65
	EP total	50-65	50-65	50-70	65-90
	Cubierto por EERR	50	35	30	25

Tabla 9. Valores de referencia nZEB/EECN según Recomendación (UE) 2016/1318.

Emprender un proceso de rehabilitación sostenible para alcanzar los valores de EECN es una tarea compleja que obliga a revisar e integrar numerosos aspectos vinculados con la energética edificatoria, como son:

- El diseño bioclimático del edificio: compacidad, orientación, sombreado, huecos, etc.
- La alta calidad de los componentes de la envolvente y refuerzo de sistemas pasivos.
- La incorporación de energías renovables.
- La inclusión de fachadas y cubiertas adaptables a las condiciones climatológicas y energéticas.
- Los equipos y sistemas de alta eficiencia energética.
- Las soluciones integrales de monitorización y control que permitan una gestión eficiente del edificio.

2.2.4. Mejorar el indicador de inteligencia del edificio

A finales del año 2016, la Comisión Europea presentó un paquete de medidas para mantener la competitividad de la Unión Europea y cumplir con sus objetivos de transición hacia un mercado de la energía limpio.

Entre las medidas propuestas se encuentra la actualización de la Directiva de eficiencia energética de edificios (EPBD 2010/31/UE), que se tradujo después de las negociaciones con los Estados miembros en la Directiva (UE) 2018/844.

Uno de los puntos en los que se centra la actualización de la EPBD (2018/844) es en el fomento de la utilización de las TIC y de las tecnologías inteligentes con el fin de garantizar el funcionamiento eficiente de los edificios.

En concreto, introduce sistemas de automatización y control de los edificios como alternativa a las inspecciones físicas, fomenta el despliegue de las infraestructuras necesarias para la movilidad eléctrica y establece un indicador de inteligencia (*smartness readiness indicator*) que evalúa la aptitud tecnológica del edificio para interactuar con sus ocupantes y la red con vistas a una gestión eficiente.

A falta de una definición concreta del “indicador de inteligencia”, se adelanta que éste incluirá elementos de flexibilidad, funcionalidades mejoradas y capacidades derivadas

de dispositivos inteligentes, integrados e interconectados en las instalaciones técnicas convencionales de los edificios (climatización, ventilación, iluminación...).

Esos elementos mejorarán la capacidad de los ocupantes y del propio edificio para responder a necesidades funcionales o de confort, flexibilizando la demanda y contribuyendo a un funcionamiento óptimo, fluido y seguro de los diversos sistemas energéticos e infraestructuras urbanas a los que esté vinculado el edificio.

Fijar un objetivo de rehabilitación sostenible enfocada a un edificio inteligente implica un edificio de muy alta eficiencia, cuya baja demanda energética está cubierta en muy amplia medida por sistemas basados en fuentes de energía renovable, *in situ* o en el entorno (distrito).

Un edificio inteligente establece y promueve una rápida descarbonización del sistema energético a través de almacenamiento y flexibilizando la demanda; da el control a sus usuarios y ocupantes sobre los flujos de energía; reconoce y reacciona a las necesidades de sus usuarios en términos de confort, salubridad, calidad del aire interior y seguridad.

La implementación de un indicador de inteligencia de edificios (*Smart Readiness Indicator - SRI*) en el marco europeo es voluntaria para los Estados miembros como queda recogido en la actualización de la EPBD (2018/844). Sin embargo, se está desarrollando en la actualidad, a petición de la Comisión Europea, una metodología de cálculo armonizada, cuyo uso puede servir de guía o indicador para el proceso de diseño.

La evaluación inicial del edificio objeto bajo el marco metodológico del SRI, basada en su catálogo de servicios y funcionalidades inteligentes, permitirá la cuantificación de la situación original del edificio con un indicador porcentual respecto a la situación de referencia definida por la metodología.

El objetivo de la rehabilitación se fijará en al menos una mejora del 25 % respecto a la situación inicial, basada en el indicador global. La mejora podrá dirigirse a través de los

SRI - CALCULATION METHODOLOGY



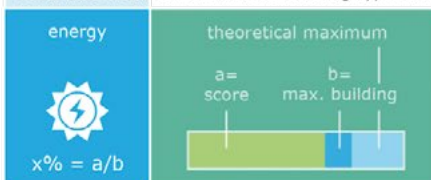
ONE SINGLE SCORE CLASSIFIES
THE BUILDING'S SMART READINESS

7 IMPACT CRITERIA

The total SRI score is based on average of total scores on 7 impact criteria.

energy savings on site	maintenance & fault prediction	comfort	convenience	health & wellbeing	information to occupants	grid flexibility and storage
x%	x%	x%	x%	x%	x%	x%

An impact criterion score is expressed as a % of the maximum score that is achievable for the building type that is evaluated.



9 DOMAINS

One impact criterion score is the weighted average of 9 domain scores.

heating	A domain score is based on the individual scores for each of the services that are relevant for this domain.						domestic hot water				
	domain services	A	B	C	D	E	F				
y%	Impact score (a) =	2	0	2	2	1	1	y%			
	max. building score (b) =	3	3	2	2	1	3				

not every domain is
considered to be
relevant for each
impact criterion

DOMAIN SERVICES

All relevant domain services are scored according to their functionality level.

service A	service B	service C	service D	service E	service F
Functionality 0 0	Functionality 0 0	Functionality 0 0	Functionality 0 0	Functionality 0 0	Functionality 0 0
Functionality 1 1	Functionality 1 1	Functionality 1 0	Functionality 1 1	Functionality 1 1	Functionality 1 1
Functionality 2 2	Functionality 2 2	Functionality 2 1	Functionality 2 2	Functionality 2 2	Functionality 2 2
Functionality 3 3	Functionality 3 3	Functionality 3 2	Functionality 3 2	Functionality 3 3	Functionality 3 3

Depending on the building type
or design some services are not
considered relevant.

Most of the services
will affect also the
other impact
criteria's as shown in
this overview matrix.

service A							
Functionality 0	0	1	0	0	0	0	0
Functionality 1	1	2	1	1	0	1	1
Functionality 2	2	3	2	1	0	2	2
Functionality 3	3	3	3	2	0	3	3

Figura 19. Esquema de la metodología de cálculo. Fuente: *Summary of State of affairs in 2nd Technical Support Study on the Smart Readiness Indicator for Buildings*.

distintos dominios, servicios y funcionalidades definidos en la metodología, priorizando el incremento de inteligencia en aquellas funcionalidades que maximicen la eficiencia energética y el confort de los usuarios, en función de las características del edificio.

2.2.5. Mejorar el nivel de sostenibilidad del edificio

La sostenibilidad de un edificio integra aspectos sociales, económicos y medioambientales. El objetivo de mejora buscará, por tanto:

- Mejorar el confort de los ocupantes y usuarios, teniendo en cuenta el bienestar térmico, acústico y lumínico, la disponibilidad de vistas al exterior, el control individual operativo, la accesibilidad, etc.
- Mejorar el impacto social del entorno inmediato.
- Mejorar el rendimiento económico gracias a unos gastos de operación, gestión y costes de inversión inferiores a los de un edificio convencional.
- Eliminar o minimizar el impacto ambiental que implica el edificio en cualquiera de sus fases: diseño, construcción y operación, obra de rehabilitación o reforma, y desmantelamiento al final de su vida útil.

Para evaluar las mejoras en el edificio se analizará el cumplimiento de parámetros relacionados con la implantación del edificio, el transporte relacionado con la actividad, el uso y aprovechamiento del agua, la eficiencia y origen de la energía, la protección atmosférica y ambiental, el bienestar de usuarios y entorno, y la gestión y mantenimiento del edificio. Todo ello determinará el valor del indicador de sostenibilidad (indicador ponderado según la importancia de cada apartado).

El objetivo a cumplir tras la actuación será la mejora de al menos 20 puntos del indicador de sostenibilidad, respecto a la puntuación inicial, para edificios que hayan obtenido una puntuación inicial en el indicador de sostenibilidad ≥ 15 ; y para los edificios con puntuación inicial < 15 , el objetivo será conseguir un mínimo de 35 puntos del indicador de sostenibilidad.

De esta manera conseguiremos que todos los edificios rehabilitados consigan una puntuación mínima y además, en aquellos edificios que ya tenían muchas medidas de sostenibilidad implantadas, consigan una mejora significativa.

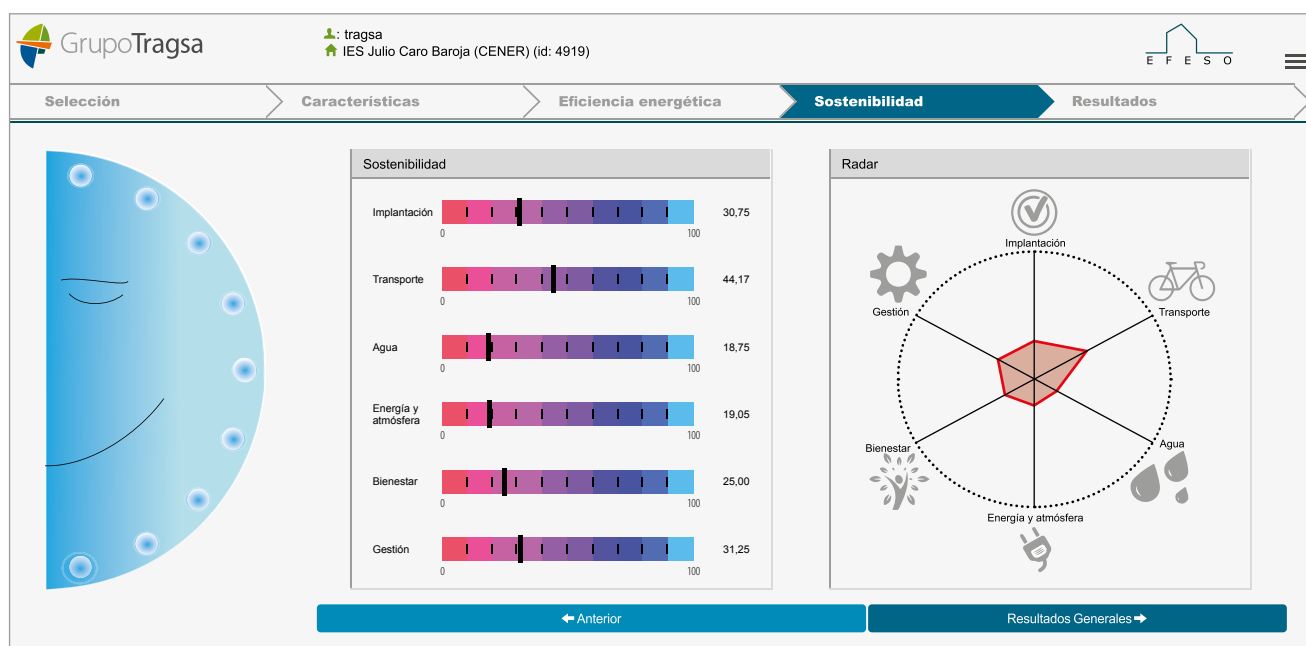


Figura 20. Resultado de la evaluación de la sostenibilidad de un edificio.

2.2.6. Mejora de la huella de carbono del edificio

La cuantificación de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas a una empresa, actividad o al ciclo de vida de un producto o servicio se plasma en la huella de carbono.

Se expresa en toneladas de CO₂ equivalente [tCO_{2eq}], y se calcula multiplicando las emisiones de cada uno de los gases de efecto invernadero (CO₂, CH₄, NOX, CFC, ozono y vapor de agua) por su respectivo potencial de calentamiento global en cien años.

Su cálculo determina la contribución al cambio climático, atendiendo a tres niveles de alcance:

- **Alcance 1:** emisiones directas de gases de efecto invernadero (GEI). Por ejemplo, emisiones provenientes de la combustión en calderas, vehículos, etc., propiedad o controladas por la entidad en cuestión, o emisiones de la flota propia de vehículos.
- **Alcance 2:** emisiones indirectas de GEI asociadas a la generación de electricidad adquirida y consumida por la organización.
- **Alcance 3:** otras emisiones indirectas. Por ejemplo la extracción y producción de materiales que adquiere la

organización, los viajes de trabajo con medios externos, el transporte de materias primas, de combustibles y de productos, o los desplazamientos de los usuarios del edificio *in itinere*.

Para la cuantificación de la huella de carbono existen herramientas de registro oficial que permiten determinar los valores de tCO_{2eq} para cada nivel de la organización.

El valor obtenido para la huella de carbono (tCO_{2eq}) es un indicador que permite comprobar si las actuaciones de reducción de consumo de energía, mejora de la movilidad y optimización de recursos han surtido efecto.

El Ministerio para la Transición Ecológica pone a disposición pública la guía para el cálculo de la huella de carbono y para la elaboración de un plan de mejora, mediante el que se define el compromiso y el valor de reducción de la huella. Facilita además el sello de “Reduzco”, que constata la tendencia descendente durante cuatro años consecutivos.

Desde esta guía, recomendamos la obtención del sello de reducción activado¹⁴ es el objetivo para la mejora de la huella de carbono del edificio y su actividad asociada.

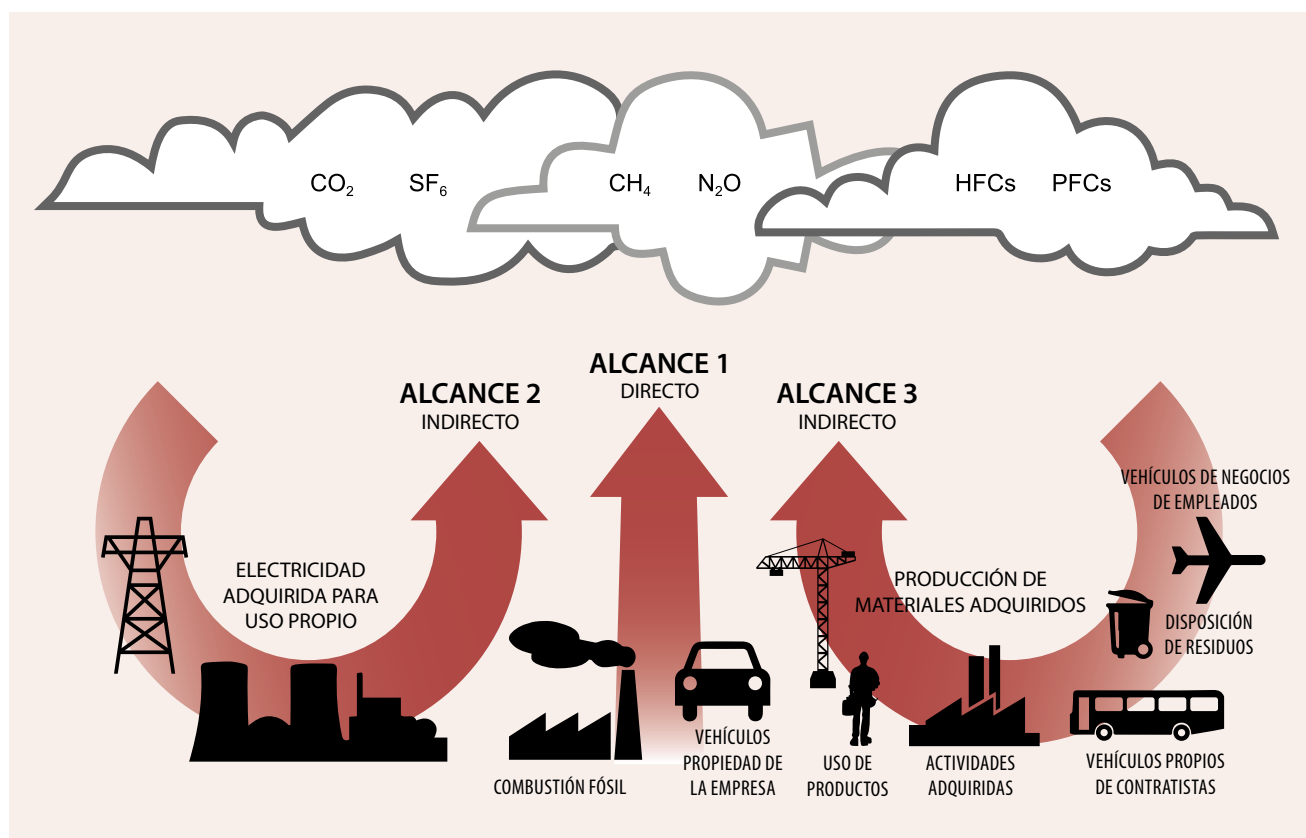


Figura 21. Alcances de la huella de carbono. Fuente: GHC Protocol.

¹⁴ Ministerio para la Transición Ecológica tiene un registro de huella de carbono, compensación y proyectos de absorción de dióxido de carbono. <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/>

2.3. Caracterización del edificio

Una vez definidos los objetivos específicos, es necesario conocer en profundidad el estado actual del edificio y su entorno, tanto en aspectos técnicos y funcionales, como en energéticos y de sostenibilidad, incluyendo:

- La caracterización del entorno.
- La caracterización del edificio.
- La caracterización energética.
- La caracterización del compromiso con la sostenibilidad.
- El uso de la metodología BIM (*Building Information Modeling*) para la caracterización del edificio.

La recopilación de esta información se realiza a partir de un análisis en profundidad del edificio que incluye una auditoría energética y de sostenibilidad.

2.3.1. Caracterización del entorno

El lugar en el que se ubica el edificio y la relación con el mismo determinan en gran medida su diseño, gestión y funcionamiento.

Los aspectos climatológicos que se analizarán son la temperatura exterior a lo largo del año, el viento, las precipitaciones, la humedad relativa y la radiación solar, así como las tendencias y previsiones climáticas a medio plazo. Los climogramas permiten recopilar esta información e indicar pautas generales de diseño adecuado para el edificio.

Por su parte, el entorno urbano del edificio determina tanto el paisaje en el que se implanta como los requisitos legales de diseño. La normativa urbanística debe ser conocida para actuar conforme a ella. Además, el entorno urbano

próximo es el que determina las afecciones por contaminación atmosférica y acústica, que deben ser conocidas y recogidas como condicionantes en la actuación.

Las edificaciones próximas, arbolado, orientación y topografía cercana determinan el soleamiento que el edificio recibe, y debe ser incorporado al diseño de las actuaciones como recurso o afección, mediante un restudio de soleamiento específico.

La vegetación cercana (arbolado, parques y jardines) debe ser igualmente considerada y estudiada para conocer su grado de protección, las especies de flora y fauna presentes, la presencia de especies invasoras, y la conveniencia de su continuidad y posibilidad de incremento de la biodiversidad.

También el entorno social debe ser analizado para conocer las virtudes y carencias del lugar, puesto que pueden ser incorporadas o mejoradas con las actuaciones posteriores.

2.3.2. Caracterización del edificio

La caracterización exhaustiva del edificio ayuda a conocer su estado y permite concretar las futuras acciones. Los aspectos a considerar son el factor de forma, el soleamiento, el comportamiento energético y el estado de conservación.

El factor de forma es el cociente entre la superficie exterior del edificio y el volumen que alberga y se utiliza como valor de referencia para definir estrategias de mejora. Dicha superficie es por donde se produce el intercambio de frío y calor, así como la iluminación natural del mismo. Todo ello debe ser caracterizado, diferenciando huecos y tipologías constructivas.



Figura 21. Caracterización del entorno.

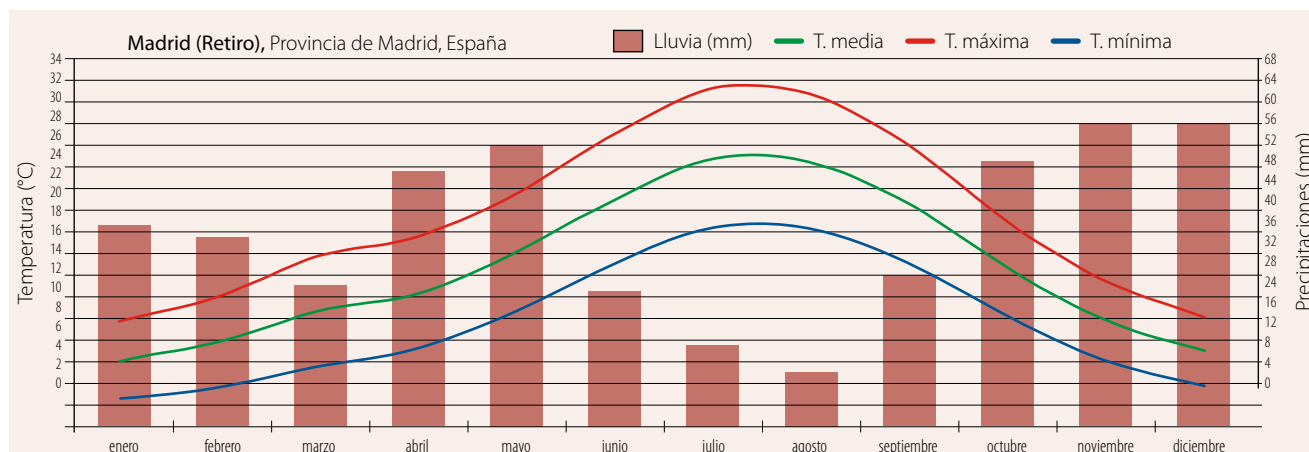


Figura 22. Condicionantes climáticos, termografías y estudio de sombras.



Figura 23. Caracterización del edificio.

Conocidos los huecos y su soleamiento, mediante la herramienta de máscaras de sombra se pueden conocer las protecciones solares más adecuadas para fachada y cubierta. La orientación, forma y superficie disponible del edificio determinan igualmente la capacidad de aprovechamiento de los recursos naturales: iluminación natural, ventilación natural, agua y fuentes de energía renovable (eólica, solar, geotermia, aerotermia, etc.).

La normativa actual obliga además a disponer de la siguiente documentación en función de la tipología y uso del edificio, que aporta información sobre la eficiencia energética y el estado de conservación:

- **Certificado energético.** El Real Decreto 235/2013 establece el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios, de aplicación para edificios de nueva construcción, edificios o partes de edificios existentes que se vendan o alquilen a un nuevo arrendatario, siempre que no dispongan de certificado en vigor, y edificios o partes de edificios en los que una autoridad pública ocupe una superficie útil total superior a 250 m² y sean frecuentados habitualmente por el público.
- **Real Decreto 56/2016.** Establece la obligatoriedad de realizar una auditoría energética o implantar un sistema de gestión energética o ambiental, certificado por un organismo independiente, a aquellas empresas que tengan la consideración de grandes empresas (al menos 250 personas o un volumen de negocio > 50 millones de euros y un balance general > 43 millones de euros); y a los grupos de sociedades que cumplan

los referidos requisitos de gran empresa, incluyendo las empresas públicas.

- **Informe de Evaluación del Edificio (IEE).** El Real Decreto Legislativo 7/2015 establece la obligatoriedad del IEE para edificios residenciales, o para aquel que solicite ayuda pública para obras de conservación, accesibilidad o eficiencia energética. La normativa autonómica o municipal puede exigirlo además para el resto de los edificios en función de la ubicación, antigüedad, tipología o uso predominante. Este informe acredita la situación en la que se encuentran los edificios en relación con su estado de conservación (ITE), el cumplimiento de la normativa vigente sobre accesibilidad universal y su grado de eficiencia energética (Certificado Energético).

2.3.3. Caracterización energética

Mediante la inspección y análisis sistemático del uso y consumo de la energía se detectan los factores más influyentes e identifican las deficiencias y oportunidades de mejora. Este proceso requiere una labor exhaustiva de recopilación de la información a través de la toma de datos, mediciones de campo y análisis de las características operacionales y funcionales.

La recopilación de datos debe incluir, además de la ubicación geográfica del edificio y los datos climáticos de la zona, la información recogida en el proyecto del edificio (datos arquitectónicos y de instalaciones), el libro del edificio (uso y mantenimiento), las facturas tanto energéticas como de suministros y operación, un inventario de las instalaciones y equipos consumidores actualizado, y las características operacionales.

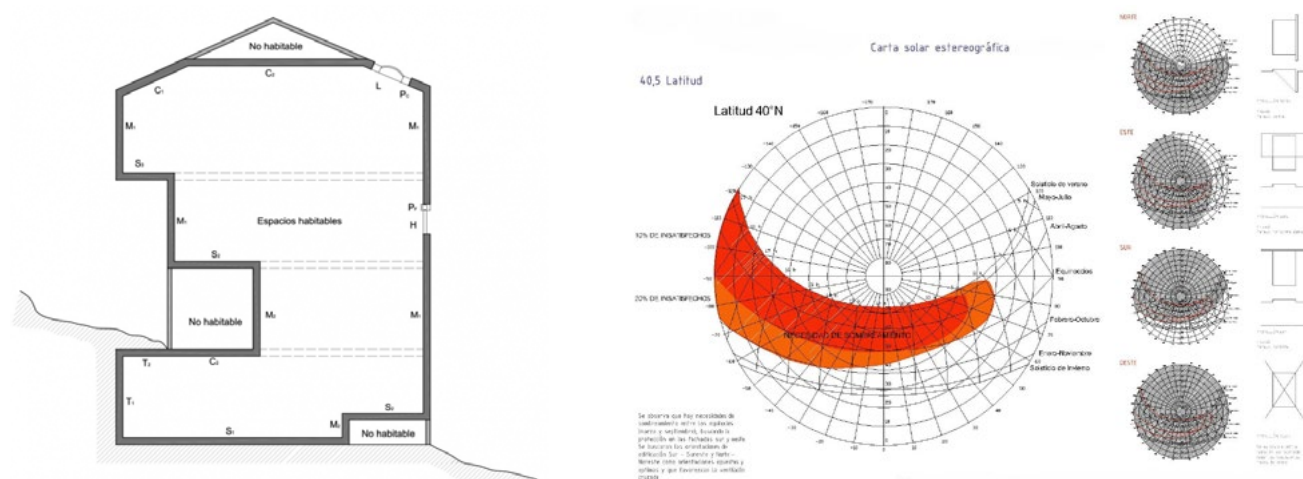


Figura 24. Máscara de sombra, caracterización de envolvente y esquema CTE de envolvente exterior.

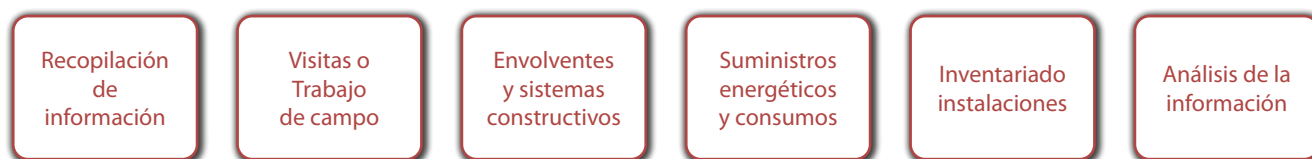


Figura 25. Proceso de caracterización energética.

En edificios existentes es fundamental conocer la tipología de instalaciones, su estado de conservación y operatividad. Para ello se deben localizar e inventariar todas las instalaciones existentes: sistema de climatización y ventilación (frío y calor), elementos consumidores (usos significativos de la energía), sistema de agua (abastecimiento, almacenamiento y depuración), iluminación, y cuantas instalaciones particulares disponga.

Además es necesario disponer de los consumos que se producen, tanto por las instalaciones como por equipos, horarios de uso o calendario de utilización, adecuación de los espacios al uso que se destinan y conocimiento de la

gestión del propio edificio. Mediciones *in situ* y termografías, completan el análisis del desempeño energético del edificio.

Durante las visitas al edificio se debe caracterizar y comprobar el estado de conservación del edificio e instalaciones, realizar mediciones energéticas, fotografías y termografías. También es el momento de comprobar las rutinas y horarios de funcionamiento de equipos, instalaciones y usuarios. Todo ello ayudará a localizar ineficiencias y oportunidades de mejora.

Los parámetros a considerar en las mediciones serán aquellos influyentes en la demanda energética, y especialmen-

Parámetros influyentes en la demanda energética		
USO DEL EDIFICIO	Calidad del aire: ventilación e infiltraciones	Medidor de concentración de CO ₂
	Calidad térmica: consignas interiores	Termohigrómetro, temperatura operativa
	Cargas internas: iluminación	Luxómetro
ENVOLVENTE	Transmitancia de los cerramientos	Sondas de temperatura superficial
	Infiltraciones	Anemómetros de hilo caliente
	Puentes térmicos, defectos en la envoltente	Cámara termográfica
Parámetros para la medida de la eficiencia energética de los equipos		
MEDIDAS DE LA ENERGÍA CONSUMIDA	Consumo de la energía eléctrica	Analizador de redes, pinzas
	Consumo de combustible	Contadores, caudalímetros
MEDIDA DE LA ENERGÍA ÚTIL DE FORMA DIRECTA	Calor útil aportado al aire	Termohigrómetro, anemómetro
	Calor útil aportado a fluidos térmicos	Caudalímetro, sondas de temperatura
MEDIDA DE LA ENERGÍA ÚTIL DE FORMA INDIRECTA	Análisis de ciclos de refrigeración	Manómetros, sondas de temperatura
	Pérdidas de energía en combustión	Analizador de humos

Tabla 10. Parámetros para la medida de eficiencia energética en equipos.

Propósito	Variable a medir	Instrumento	Condiciones de medida
Rendimiento caldera/horno de combustión	Temperatura gases	Analizador de gases	Funcionando en régimen estacionario
	Concentración de O ₂ , CO ₂ y CO		
	Temperatura paredes de la caldera	Termómetro de superficie	
	Identificación pérdidas de calor	Cámara termográfica	
Consumo eléctrico elevada potencia	Potencia demandada y energía consumida	Analizador de redes	Mínimo 24 horas Recomendable 1 semana
Consumo eléctrico pequeña potencia	Potencia demandada y energía consumida	Vatímetro	Medir en modos stand-by, ahorro de energía y activo
Nivel de iluminación	Medida de iluminancia	Luxómetro	
Temperatura estancias	Temperatura	Termómetro	Medición lejos de elementos de distribución calor o frío
Rendimiento equipos eléctricos	Identificación de calentamiento	Cámara termográfica	Medición sin radiación solar y dispositivo funcionando en estado estacionario

Tabla 11. Equipos de medida para la caracterización energética del edificio. Fuente: CIRCE.

te los referidos a la energía consumida y a la energía útil. Estas mediciones se deben realizar con equipos técnicos calibrados que proporcionen información exacta y repetible, manejados por personal técnico cualificado.

El análisis posterior de toda la información recopilada posibilita calcular el consumo habitual del edificio (línea base), y determinar tanto el estado actual del edificio como su comportamiento futuro mediante simulaciones energéticas.

La simulación como herramienta precisa de conocimiento

La capacidad computacional de los equipos personales en la actualidad permite elaborar modelos complejos de los edificios que predigan fielmente su consumo actual y futuro, bajo distintas hipótesis o implementación de medidas de ahorro energético (MAEs).

La labor de caracterización del desempeño energético de un edificio a través de esta vía se descompone principalmente en tres fases:

dinámico detallado hora a hora. Uno de los motores de cálculo con mayor reconocimiento del sector es Energy Plus (desarrollado por el Departamento de la Energía de los EE UU) para el que existen en la actualidad interfaces gráficas tanto de libre difusión (Open Studio) como comerciales (Design Builder). En el contexto español de la certificación energética de edificios existentes se dispone de herramientas oficiales reconocidas que permiten ajustarse a las necesidades de cada proyecto; herramienta general HULC o los procedimientos simplificados (Ce3, Ce3X y CERMA para viviendas).

- Selección del fichero climático más representativo, de acuerdo con la zonificación climática del territorio español y las necesidades del programa de cálculo.
- Identificación del uso representativo del edificio, al que irán asociados principalmente calendarios de ocupación, cargas internas y consignas de confort.
- Zonificación térmica del edificio conforme a orientaciones y usos.
- Definición de los materiales y soluciones constructivas.

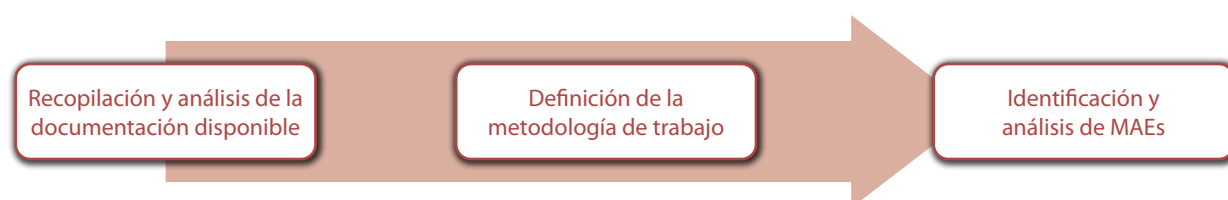


Figura 26. Fases del procedimiento de simulación.

La etapa preliminar en todo trabajo de simulación térmica de edificios, sea cual sea el objetivo final del mismo, es una recopilación exhaustiva de toda la información disponible sobre el proyecto, especialmente desde el punto de vista térmico. Esta documentación deberá permitir recabar o calcular los parámetros clave para la simulación: superficies, transmitancias térmicas, valores de puentes térmicos, zonificación térmica, tasas de ventilación, ocupación, cargas internas, valores de consigna, calendarios y rendimientos de sistemas, entre otros.

En segundo lugar, aunque se cuente con una metodología general, es importante definir una metodología de trabajo específica para cada proyecto, puesto que la complejidad del cálculo involucra algunos niveles de incertidumbre o grados de libertad que podemos acotar de forma más precisa cuando tratamos con un proyecto concreto. En esta fase es importante registrar por escrito las elecciones que se vayan tomando respecto a:

- Identificación del programa de cálculo más adecuado para las necesidades del proyecto, desde un procedimiento simplificado hasta un programa de cálculo

- Definición del modelo geométrico.
- Definición de instalaciones, desde una manera simplificada a través de un rendimiento medio estacional hasta de forma detallada a través de la introducción de las respectivas curvas de comportamiento de cada equipo bajo distintas condiciones operacionales (temperatura, carga parcial...).

Una vez establecida la metodología y el modelo desarrollado bajo la misma, la simulación energética del edificio permite calcular los indicadores energéticos (kWh/m²) y establecer la línea base¹⁵ para la cuantificación de los ahorros futuros. Es decir, se caracteriza la situación de partida y es posible la discriminación de consumos por servicios (calefacción, refrigeración, iluminación, equipamiento ofimático, equipos auxiliares...).

En los edificios en uso, la caracterización que permitirá establecer la línea base para la cuantificación de los ahorros se realiza mediante simulación calibrada por facturas acompañada de mediciones *in situ*. En los edificios en desuso, al no disponer de datos de consumo energético, se realiza mediante una simulación basada en condiciones opera-

¹⁵ Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente tiene un registro de huella de carbono, compensación y proyectos de absorción de dióxido de carbono. http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/documentoapoyo_hc_tcm7-329649.pdf

cionales concretas, además de poder conocer el impacto cruzado de algunas de las medidas de ahorro propuestas, es decir que el ahorro en algún sistema produzca un mayor consumo en otro (por ejemplo un ahorro en la potencia de iluminación reduce la carga interna y puede producir un mayor consumo en climatización).

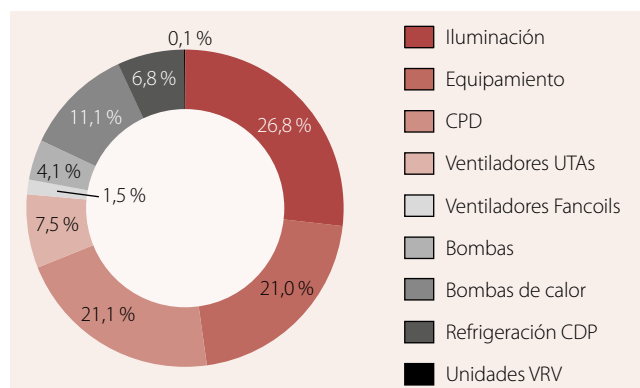


Figura 27. Desglose de consumos por simulación calibrada (edificio de uso administrativo).

El modelo simulado permite identificar el desglose o peso porcentual de consumos por servicios en la línea base o de referencia, lo que permite orientar la propuesta de las medidas de mejora energética hacia los que más demandan energía: por ejemplo protecciones solares en un edificio con alto consumo en refrigeración o sustitución del sistema de iluminación por uno de alta eficiencia en el caso de que éste sea el consumo predominante.

A partir de la línea base el modelo permitirá cuantificar el impacto de las medidas de ahorro energético propuesto con un bajo margen de error bajo unas condiciones operacionales concretas.

La simulación energética detallada (horaria) permite además apoyar a los proyectistas en las condiciones de diseño consideradas, para definir sistemas que optimicen su eficiencia, ajustando la curva de generación a la demanda mediante el correcto diseño de las etapas de potencia.

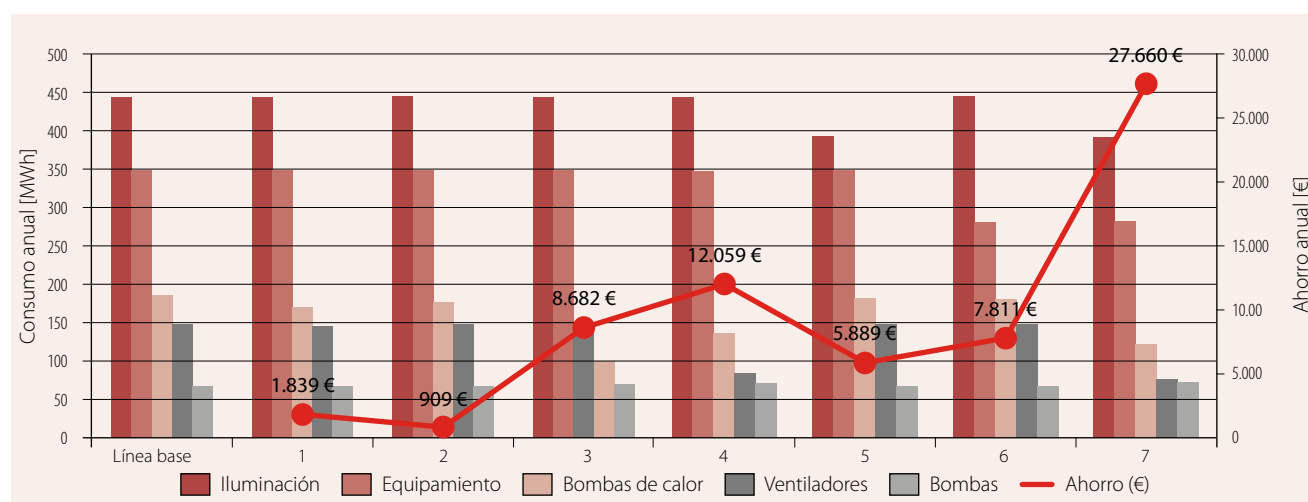


Figura 28. Comparativa de medidas de ahorro respecto a la línea base.

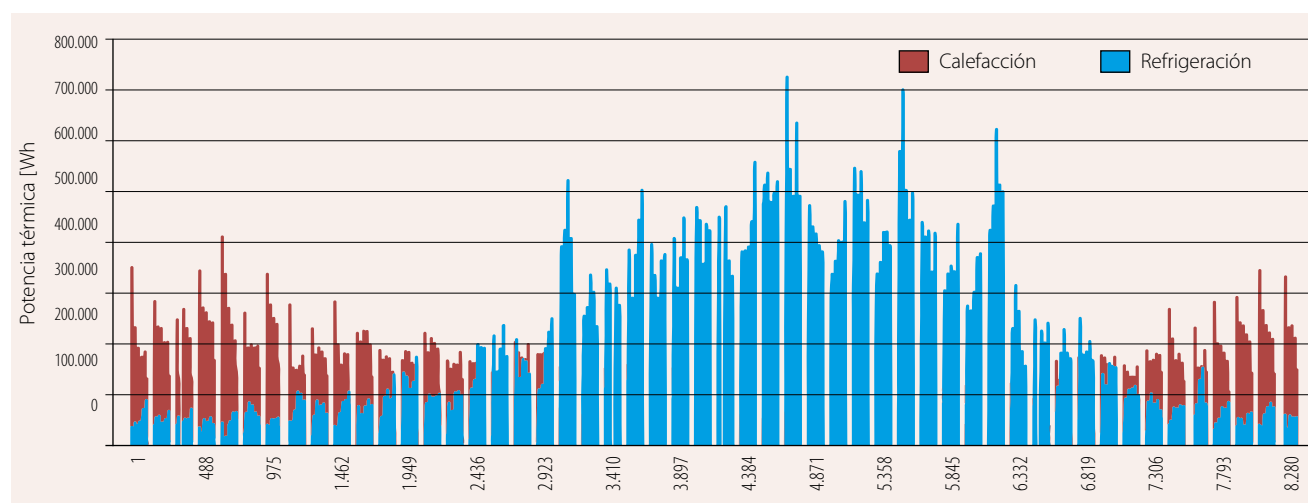


Figura 29. Demandas horarias de calefacción y refrigeración (edificio de uso administrativo).

2.3.4. Caracterización del compromiso actual con la sostenibilidad del edificio

Definir y cuantificar el compromiso con la sostenibilidad de un edificio existente es una labor compleja que requiere el análisis de múltiples aspectos vinculados con los usuarios, el propio edificio, la gestión y su mantenimiento, o las obras realizadas.

Esta metodología plantea el análisis de los siguientes apartados, atendiendo a las características del edificio, la gestión de su funcionamiento y la conducta de sus ocupantes:

▪ Edificio

- **Implantación.** Considera la adecuación del edificio al lugar donde se ubica. Analiza la idoneidad del diseño en cuanto a orientación, orografía, aprovechamiento de recursos locales y el impacto que genera. La existencia de un plan para la protección y restauración del hábitat circundante y el cálculo de la huella de carbono completan el análisis del edificio en el entorno. Analiza también los condicionantes urbanos propios y cercanos que inciden en el efecto “isla de calor”. También analiza la distribución interior de usos y orientaciones de cara al aprovechamiento de recursos (luz natural y ganancias térmicas).
- **Transporte.** Analiza la cercanía a la red de transporte público y servicios locales, la tipología y dimensión de aparcamientos de vehículos privados, y las medidas de apoyo a transportes menos contaminantes, tanto en espacio de reserva como en instalaciones de apoyo.

La existencia de un Plan de Movilidad Sostenible implantado garantiza una gestión de recursos relacionados con el transporte, incluyendo la toma de datos sobre movilidad y la formación y concienciación a los usuarios.

- **Agua.** Todas las cuestiones relacionadas con el aprovechamiento y uso del agua en el edificio y parcela son consideradas en este apartado: respeto de los acuíferos preexistentes bajo el edificio o en el entorno próximo, el aprovechamiento del agua de lluvia para riego o baldeo y su infiltración al terreno, la depuración y reutilización de aguas grises, el control del consumo de agua potable y riego, disponer de aparatos sanitarios de bajo consumo y dispositivos de ahorro de agua, disponer de contadores parciales para usos, o la programación estacional de riego. Además considera la existencia de un plan de reducción del consumo de agua y de formación específica.
- **Energía y atmósfera.** Tanto el uso adecuado de la energía, evitando derroches, como los residuos generados son aspectos clave en el impacto del edificio. Deben comprobarse vertidos y emisiones generadas (sólidos, líquidos y gaseosos), así como las afecciones atmosféricas al entorno.

También deben comprobarse la separación y reciclaje, los gases refrigerantes utilizados y los filtros de climatización.

- **Bienestar.** Los parámetros de bienestar cuantificables deben ser recopilados para conocer el grado de confort en el interior y exterior del edificio: temperatura y humedad de estancias, confort acústico interior y exterior, nivel de iluminación interior e iluminación natural.

Otros aspectos no cuantificables determinan también el bienestar, como son la presencia de vegetación interior y exterior, el confort visual interior, condiciones de trabajo ergonómicamente adecuadas y espacios adecuados al uso que albergan. Finalmente, la posibilidad de maniobra en las consignas por los usuarios (temperatura, humedad, iluminación), la accesibilidad universal, y la influencia socio económica positiva en el entorno cercano cierran los criterios de este apartado.

- **Materiales y recursos naturales.** Estudia los materiales del edificio para determinar las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) en revestimientos y accesorios. También se comprueba la presencia de instalaciones específicas para el depósito de residuos reciclables del edificio.

En cuanto al propio diseño del edificio, se comprobará si se han considerado los residuos que producirá tras su vida útil (demolición) o durante las obras de rehabilitación.

▪ Gestión

- **Implantación.** El compromiso de protección del hábitat de la parcela y el entorno próximo por parte del gestor del edificio debe ser comprobado. Puede incluso contar con un plan de protección de la biodiversidad, con el cálculo de la huella de carbono o con la obtención de un sello en sostenibilidad para el edificio y su entorno inmediato o sellos de calidad medioambiental para procesos.

Se comprobará el control sobre los procesos de reforma y mantenimiento tanto en materiales como durante el proceso, especialmente en las afecciones medioambientales, el origen de los materiales y su ciclo de vida, así como la promoción y disposición de medios materiales y humanos para realizar la separación y clasificación de residuos que facilite su reciclado y revalorización, así como su correcta gestión fuera del edificio, tanto por usos internos como por labores de mantenimiento.

El edificio puede disponer de un plan de mantenimiento con diferente alcance, que aportará el conocimiento sobre las labores que se realizan.

En todo caso conviene constatar el grado de mantenimiento y conocimiento que el equipo encargado

posee en protección ambiental y prevención de la contaminación.

Del mismo modo se deberá comprobar el grado de conocimiento y afecciones motivadas por las labores de limpieza y control de plagas.

- **Transporte.** La promoción de transportes limpios, tanto para acceder al edificio como para el desempeño de su actividad, conforman los puntos a revisar. Todo ello puede estar recogido en un Plan de Movilidad Sostenible, que dará las pautas consideradas en la gestión.
- **Agua.** El control de los consumos de agua, la adopción de medidas planificadas de reducción de gasto y concienciación, la discriminación de consumos por usos diferenciados o la planificación para la progresiva depuración, aprovechamiento y reutilización de aguas grises son algunas de las cuestiones a constatar.
- **Energía y atmósfera.** La gestión energética del edificio y suministros, la eficiencia contrastada de las instalaciones y su adecuación al uso, el seguimiento continuado de los consumos, la correcta distribución interior y adecuación a necesidades, e incluso la existencia de sistemas de gestión energética o auditorías energéticas periódicas son los principales conceptos a comprobar.
- **Bienestar.** Desde la gestión del edificio se pueden promover condiciones saludables en los espacios interiores para los ocupantes y apoyar su partici-

pación y elección de las condiciones interiores de confort. Atestiguar ese compromiso es el objeto de este apartado.

▪ Usuario

- **Implantación.** Las indicaciones y formación que el usuario recibe, así como su comportamiento en el reciclaje de residuos y la optimización del uso de consumibles son las cuestiones a observar.
- **Transporte.** Comprobar el modo de transporte mayoritario de los ocupantes del edificio y detectar las principales demandas de transporte permite conocer el estado de este último apartado.
- **Agua.** Se debe comprobar el conocimiento y concienciación de los usuarios en aspectos relativos al ahorro y utilización del recurso de agua.
- **Energía.** Constata la formación y concienciación de los usuarios en aspectos de eficiencia energética, sostenibilidad y funcionamiento del edificio.
- **Bienestar y confort.** Contempla la facilidad que los usuarios tienen para controlar y modificar las condiciones interiores de su lugar de ocupación, así como la accesibilidad universal en el interior.

Mediante diversas opiniones y observaciones se puede obtener una percepción del grado de satisfacción de los usuarios, independientemente de las mediciones o valores cuantificables.

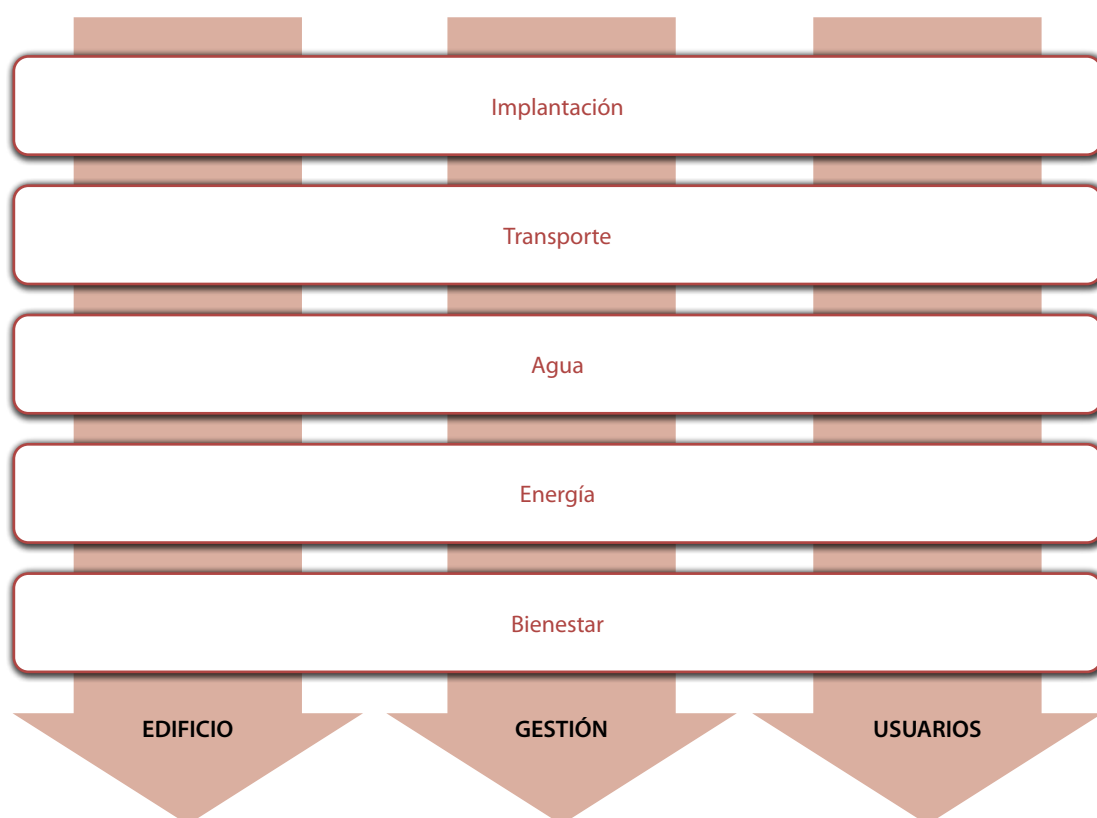


Figura 30. Caracterización de sostenibilidad.

2.3.5. Uso de la metodología BIM para la caracterización del edificio

De acuerdo con la Directiva Europea 2014/24/UE sobre contratación pública es recomendable que la caracterización del edificio se apoye en la metodología BIM (*Building Information Modeling*) para integrar en un modelo 3D del edificio, toda la información del proyecto y obra de rehabilitación sostenible. Según dicha directiva, en España está previsto el uso obligatorio de BIM en licitaciones públicas de edificación a partir de diciembre del 2018 y en licitaciones públicas de infraestructuras a partir de julio de 2019.

La metodología BIM optimiza tiempo y recursos en el diseño y la construcción, ya que enlaza el modelado arquitectónico con el resto de sistemas del proyecto: instalaciones, estructuras, estudios topográficos, mediciones y presupuestos, planificaciones, estudios de eficiencia energética, sostenibilidad, etc. Es decir, permite integrar los procesos descritos en esta guía de rehabilitación sostenible en las metodologías clásicas de rehabilitación.

Esta coordinación entre las diferentes partes del proyecto permite el trabajo colaborativo entre los diferentes técnicos que lo elaboran, puesto que trabajan conjuntamente sobre un modelo único, disponiendo en todo momento de la totalidad de información actualizada.

El “nivel de desarrollo” BIM o LOD (*Level of Development*) especifica la cantidad y la calidad de la información del modelo en las distintas etapas del proceso de diseño y construcción. Los niveles LOD son:

- **LOD 100.** Nivel de desarrollo genérico que se limita a la volumetría exterior básica del proyecto. Propio de fases iniciales como estudios previos o anteproyecto. Permite valorar alternativas formales y espaciales.

- **LOD 200.** Nivel en el que queda definida la volumetría básica exterior e interior del edificio y sus usos. Permite identificar parámetros urbanísticos, superficies útiles y construidas. Se suele adoptar en el proyecto básico. La posición de los objetos arquitectónicos queda definida, pero sus dimensiones son aproximadas.
- **LOD 300.** Nivel en el que la arquitectura del edificio queda completamente definida. Las dimensiones y posición de cada elemento arquitectónico son las definitivas. Pueden extraerse mediciones precisas. Corresponde con la fase previa a la inclusión de las instalaciones, por lo que puede ser usado como modelo base para los calculistas.
- **LOD 400.** Incorpora información adicional de instalaciones, estructuras, materiales, coordinación, etc. Corresponde al proyecto de ejecución. Todo el proyecto queda definido y servirá para obtener ofertas de constructores, así como niveles de detalle, de fabricación de montaje, etc.
- **LOD 500.** Nivel que se obtiene una vez construido el edificio y que recoge todos los cambios y modificaciones que se han ejecutado realmente en obra sobre el nivel LOD 400. Corresponde a los planos *As-Built*. Sirve para gestionar el edificio y documentar operaciones de mantenimiento.

A partir de un modelo con nivel de desarrollo LOD 400 o superior, BIM permite realizar la valoración de la eficiencia energética y la sostenibilidad en la fase de caracterización y analizar posteriormente el impacto de cada medida de mejora incorporada al proyecto.

Durante el modelado con BIM se pueden evaluar diferentes opciones de diseño e instalaciones para mejorar la calidad del aire interior y la iluminación natural, realizar una estimación del impacto de los materiales empleados para la construcción del edificio y gestionar aspectos futuros como el mantenimiento y la demolición.

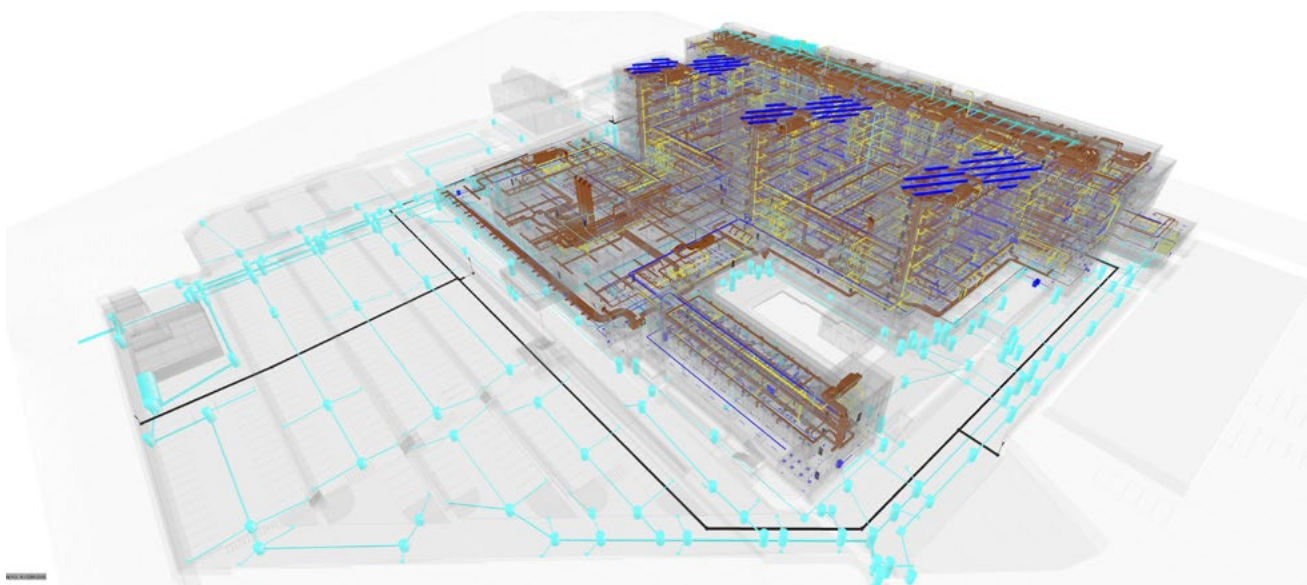


Figura 31. Vista del modelo BIM de las instalaciones del edificio.

2.4. Definición de las medidas de mejora

El conocimiento profundo del edificio y su funcionamiento ha permitido detectar las oportunidades de mejora. Es el momento de concretarlas e integrarlas en el Proyecto de Rehabilitación Sostenible, incluyendo la definición técnica, el análisis económico desglosado y la planificación temporal de los trabajos necesarios. Esta metodología propone además incorporar planes de mejora específicos para fomentar la sostenibilidad y la eficiencia energética del edificio y su actividad, enfocados especialmente hacia la formación y concienciación de los usuarios, la gestión energética, la movilidad sostenible, la gestión de los residuos y la gestión del mantenimiento.

2.4.1. El Proyecto de rehabilitación sostenible

Todas las medidas de mejoras que impliquen obra, tanto energéticas (MAEs) como de sostenibilidad (MMSs), quedarán recogidas en un proyecto de ejecución que deberá incluir toda la información necesaria para su ejecución: memoria constructiva y descriptiva, pliego de prescripciones técnicas, planos, presupuesto y documento de seguridad y salud.

El proceso clásico de redacción incluye estudios previos, anteproyecto, proyecto básico y proyecto de ejecución. En él deberán participar, de manera coordinada, todos los agentes implicados o afectados por la rehabilitación, de tal forma que se alcanzan los objetivos fijados.

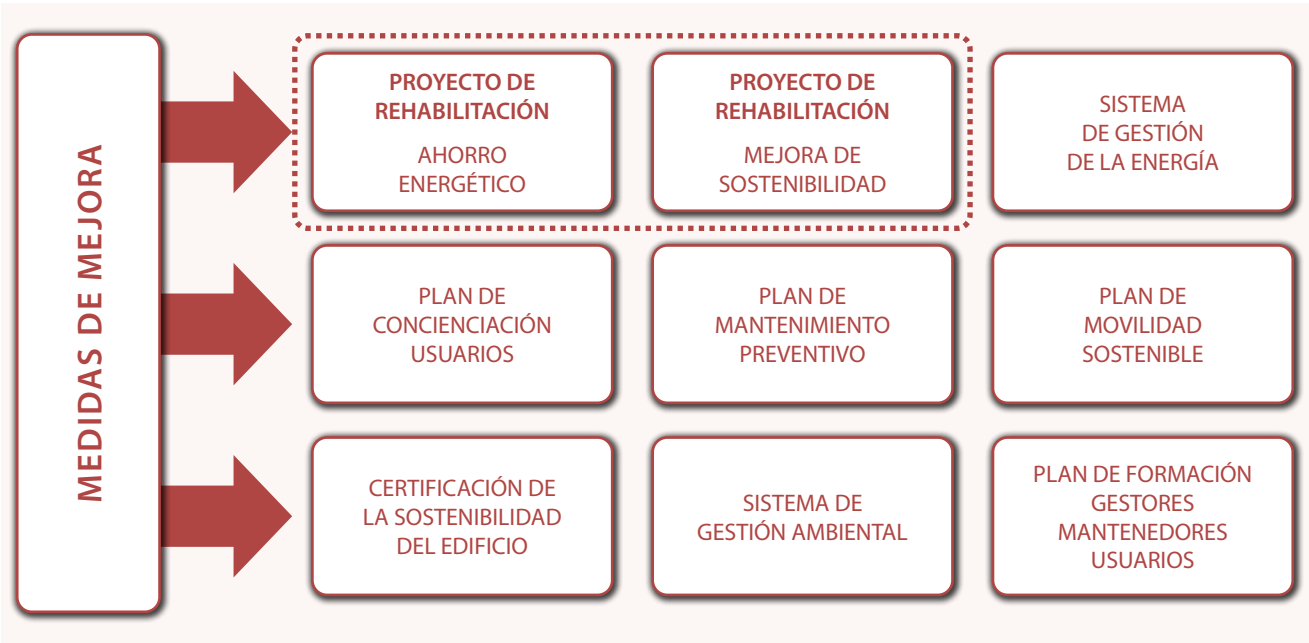


Figura 32. Proyecto de rehabilitación sostenible y planes de mejora.



Figura 33. Fases del proceso clásico de la redacción de proyectos.

Agente	Función durante el proyecto de rehabilitación
Técnicos proyectistas, equipo redactor	Definen y diseñan las medidas de mejora, plasmándolas en el proyecto de rehabilitación, incluyendo arquitectura, instalaciones y estructuras.
Consultor energético	Realiza las simulaciones energéticas y apoya las decisiones de proyecto en instalaciones y envolvente.
Consultor medioambiental	Apoya las decisiones de proyecto conforme a la evaluación de sostenibilidad del edificio.
Gestor del edificio	Supervisa y valida las decisiones, especialmente en presupuesto, actuaciones prioritarias y adecuación a necesidades y edificio.
Usuarios/ trabajadores	Participación activa en demandas y necesidades en fases iniciales de proyecto. Validación de propuestas.
Técnicos de mantenimiento	Indicaciones sobre control de instalaciones y detección de necesidades. Coordinación y viabilidad de suministros e instalaciones durante y tras obra. Validación de propuestas.

Tabla 12. Proceso y agentes implicados en la redacción del proyecto de ejecución.

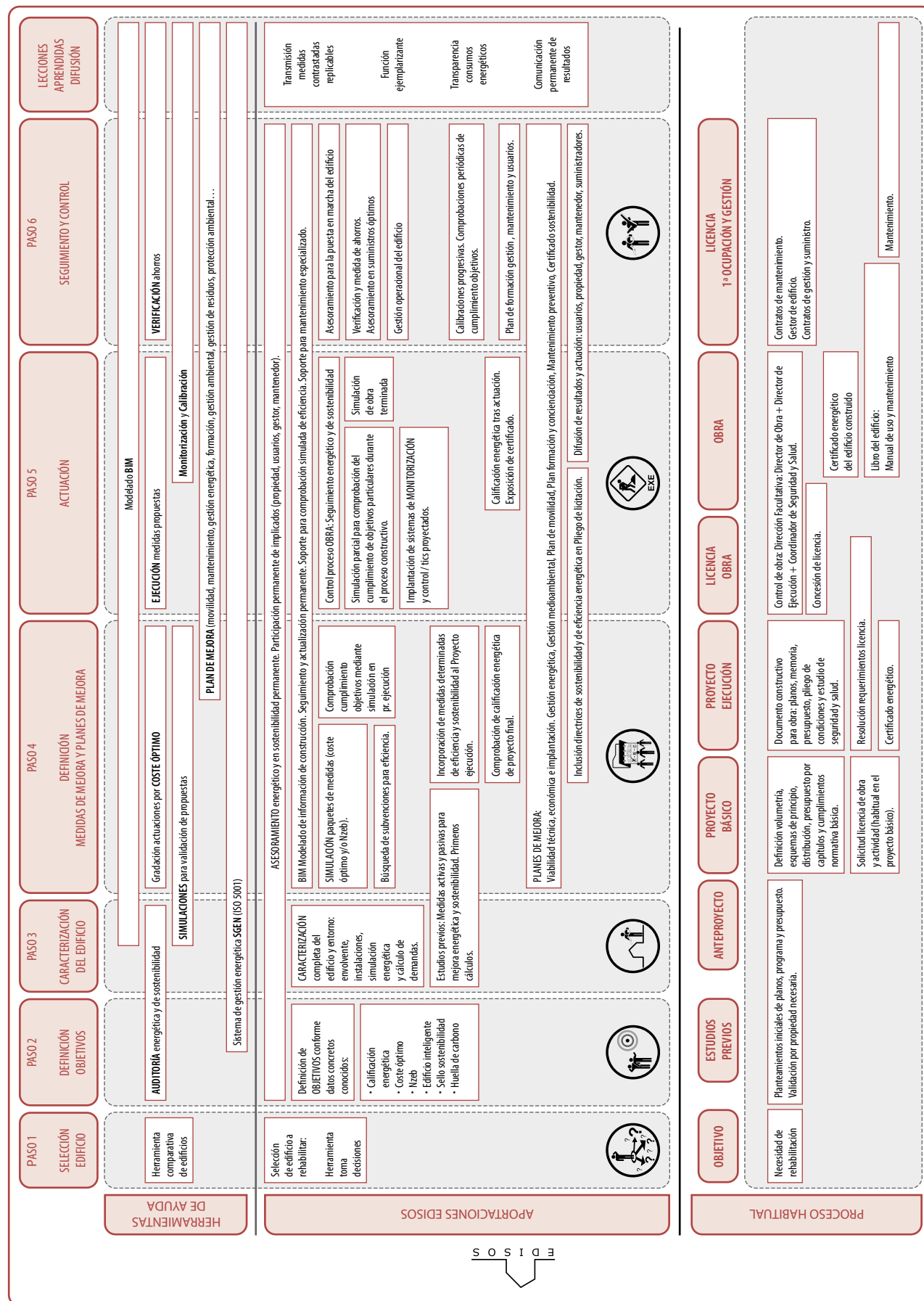


Figura 34. Fases del proyecto según la metodología propuesta para la rehabilitación sostenible de edificios públicos.

El proyecto de rehabilitación sostenible propuesto incorpora al proceso clásico de redacción y ejecución de proyectos de rehabilitación diversos aspectos, recogidos en cada una de las fases descritas, tales como: selección del edificio a rehabilitar conforme a criterios comparativos, auditoría como criterio de decisión de actuaciones en edificios existentes, simulaciones y análisis de coste óptimo para la selección de soluciones constructivas, la incorporación de planes de mejora en el proceso, o el seguimiento durante la obra y tras su finalización.

Es recomendable que el consultor energético y medioambiental deben ser parte del proyecto desde el principio, y durante todo el desarrollo del proyecto, para garantizar que las soluciones decididas para el beneficio energético y sostenible se van adaptando conforme avanza el proyecto y no se pierden prestaciones en este sentido derivadas de otras decisiones como puede ser el presupuesto o plazos de obra.

2.4.2. Definición de las medidas de mejora de la eficiencia energética

Las actuaciones enfocadas a la mejora de la eficiencia energética de un edificio existente se agrupan en:

- Las medidas pasivas están encaminadas a la reducción de la demanda energética. Para ello se interviene en las características físicas del edificio, y especialmente en la envolvente, incluyendo huecos, paramentos verticales y horizontales, cubierta, suelo en contacto con el terreno y espacios con usos y horarios diferenciados. Debe considerarse igualmente la interacción con su entorno en ventilación, orientación, factor de forma y sombreadamiento.
- Las medidas activas buscan la reducción de consumos, interviniendo en la eficiencia, rendimiento, dimensionamiento, y optimización de instalaciones, e incorporando sistemas de monitorización y control.
- Las energías renovables minimizan el consumo de recursos no renovables aprovechando los recursos locales, atendiendo a las posibilidades de las que el edificio



Figura 35. Grupos de medidas de ahorro energético (MAEs).

Medidas de Ahorro Energético (MAEs)	
Medidas pasivas	Envolvente: incremento o incorporación de aislamiento de cubiertas, fachadas, suelos.
	Cubierta vegetal.
	Reducción o eliminación de puentes térmicos.
	Mejora de huecos en fachadas: sustitución de vidrios, sustitución de carpinterías, mejora de persianas, adición de cerramientos.
	Mejora de la estanquidad: sellado de infiltraciones desde el exterior en puertas y ventanas o entre estancias de diferente uso.
	Protecciones solares fijas o móviles en huecos, fachadas y cubiertas.
	Ventilación natural controlable.
Medidas activas	Aprovechamiento de luz natural.
	Sustitución de generadores de frío o calor.
	Mejora de sistemas de emisión y distribución de climatización: ventiladores, bombas de impulsión, filtros, conductos, aislamientos.
	Incorporación de recuperadores de calor y free-cooling en climatización.
	Mejora de la eficiencia, zonificación y regulación en la instalación de iluminación.
	Incorporación o mejora del sistema de monitorización y control.
	Incorporación de programación horaria en instalaciones.
Energías renovables	Incorporación de sistemas de ahorro en agua.
	Renovación/mejora de equipos informáticos y CPD.
	Programación en ascensores.
	Generación térmica: solar, biomasa, geotermia, aerotermia.

Energías renovables	Generación de electricidad: fotovoltaica, mini eólica, mini hidráulica, cogeneración.
	Conexión a redes de distrito renovables.

Tabla 13. Medidas de ahorro energético (MAEs).

dispone: solar térmica, solar fotovoltaica, geotermia, aerotermia, mini eólica, mini hidráulica, biomasa; o mediante la conexión a sistemas de generación renovable y distribución de mayor escala próximos.

Las medidas de mejora energética (MAEs), detectadas durante la fase de caracterización, comienzan a definirse en los estudios previos y anteproyecto. Durante el proyecto básico deberán ser contrastadas con el modelo de simulación energética del edificio para evaluar su efectividad, rentabilidad y viabilidad. En el proyecto de ejecución quedarán completamente definidas técnica y económicamente.

Para conseguir que el edificio cumpla con los objetivos energéticos marcados es necesaria una combinación de medidas pasivas, medidas activas y energías renovables. La selección se debe realizar por tanto de forma global, seleccionando conjuntos de medidas combinadas, y teniendo en cuenta los efectos cruzados derivados de su implantación simultánea.

Desde esta guía se recomienda el uso de la metodología de coste óptimo para la selección de los paquetes de me-

das de mejora de la eficiencia energética del edificio. Si los requerimientos de reducción del consumo energético son muy altos, se recomienda hacer uso de los criterios de diseño para los edificios de consumo de energía casi nulo (EECN/nZEB) donde se prevé la incorporación de energías renovables al edificio.

En cualquier caso, las medidas planteadas e incorporadas al proyecto deberán superar un constante proceso de revisión mediante simulaciones energéticas, adecuación presupuestaria, y viabilidad técnica y normativa.

Para establecer el orden de implantación de las actuaciones planteadas conviene además seguir un plan de inversión progresivo, acometiendo en primer lugar actuaciones con bajo o nulo coste económico, para plantear posteriormente actuaciones con mayor grado de inversión que puedan utilizar los ahorros conseguidos.

En todo caso, las acciones para la mejora de la eficiencia energética deberán estar alineadas con la consecución de los objetivos marcados, ya sea la mejora de la calificación energética, ejecutar actuaciones de coste óptimo, o lograr el edificio EECN/nZEB.

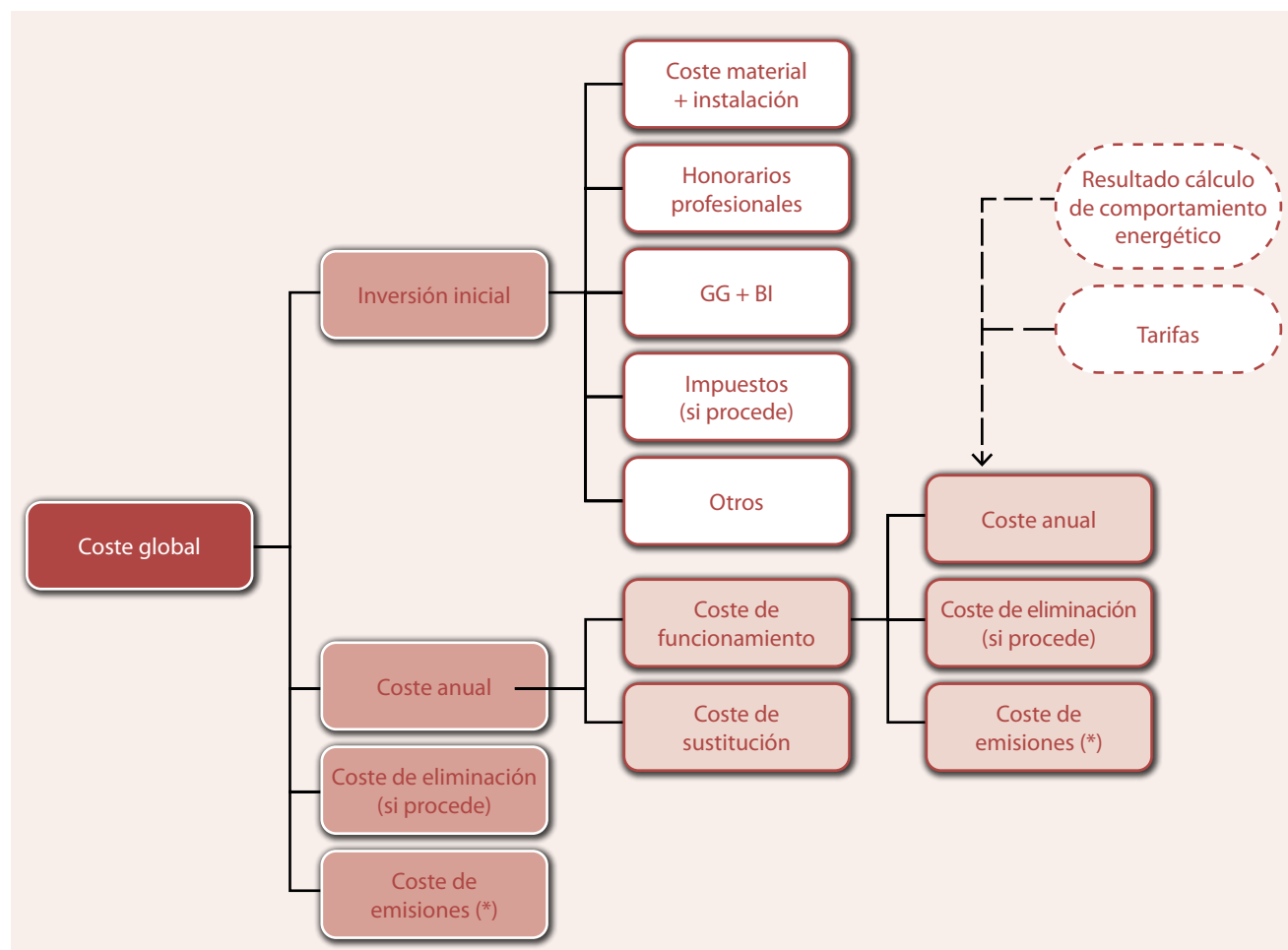


Figura 36. Estructura del coste global, metodología de coste óptimo. Fuente: CENER.

2.4.3. Las medidas de mejora del compromiso con la sostenibilidad del edificio

Las actuaciones enfocadas a la mejora de la sostenibilidad de un edificio tienen un triple enfoque:

- Las mejoras sociales son aquellas encaminadas a minimizar el impacto del edificio en el bienestar de usuarios y entorno, mejorando el confort térmico-acústico-lumínico, la relación usuario-entorno, la participación en el control operativo, y la accesibilidad universal.
- Las mejoras económicas relacionadas con la sostenibilidad incluyen la optimización en el uso de recursos, la eliminación de derroches de suministros o gastos innecesarios, la optimización por gastos de operación y gestión, y la optimización de costes de inversión.
- Las mejoras medioambientales buscan minimizar el impacto del edificio y usuarios en el entorno para preservar y mejorar el ecosistema local.

Para ello se debe reducir o anular cualquier tipo de contaminación (atmosférica, acústica, lumínica, líquida), facilitar el desarrollo de flora y fauna (preferentemente autóctona), considerar el ciclo de vida de cualquier material o recurso utilizado, y controlar cualquier proceso de obra con esas mismas premisas.

Las medidas de mejora de sostenibilidad (MMSs), detectadas durante la fase de caracterización, comienzan a definirse en los estudios previos y anteproyecto. Durante el proyecto básico deberán ser contrastadas con los responsables y usuarios del edificio para evaluar su efectividad, rentabilidad, viabilidad y vigencia.

En el proyecto de ejecución quedarán completamente definidas técnica y económicamente. Las acciones para la mejora de la sostenibilidad deberán estar alineadas con la consecución de los objetivos marcados.



Figura 37. Grupos de medidas de mejora en sostenibilidad (MMSs).

Apartado	Medidas de Mejora en Sostenibilidad (MMSs)	Medidas		
		Sociales	Económicas	Medioambientales
IMPLANTACIÓN	Incluir mejoras paisajísticas en edificio y parcela: cubierta vegetal, arbolado y vegetación			x
	Evitar grandes superficies de fachada o cubierta que produzcan sobrecalentamiento	x		x
	Reducir el efecto isla de calor minimizando las superficies asfaltadas y las cubiertas con material bituminoso o metálico. Dimensionar los aparcamientos imprescindibles con la mínima superficie	x	x	x
	Incorporar sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) en la urbanización	x		x
	Generar espacios colonizables por flora y fauna, especialmente autóctona y potenciar zonas vegetadas en parcela	x		x
	Eliminar especies invasoras			x
	Evitar la impermeabilización del terreno e infiltrar agua de escorrentía si es posible.			x
	Separación adecuada para posibilitar la valorización de los residuos generados dentro del edificio. Estudio de posibilidad de compostaje para residuos orgánicos y reducción de volumen en papel/cartón o envases	x	x	x
TRANSPORTE	Aprovechar y potenciar los recursos locales: servicios y transporte	x	x	x
	Incluir aparcabicicletas e infraestructuras de recarga de vehículos eléctricos	x		x
	Reducción de desplazamientos con fomento de teletrabajo, videoconferencias, vehículo compartido...	x	x	x

Tabla 14. Grupos de medidas de mejora en sostenibilidad (MMSs).

Apartado	Medidas de Mejora en Sostenibilidad (MMSs)	Medidas		
		Sociales	Económicas	Medioambientales
AGUA	Recuperar y utilizar agua de lluvia para riego y baldeo		x	x
	Reducción del agua de riego, con plantas autóctonas y sistemas por goteo		x	x
	Incorporar contadores parciales para agua y riego, y adecuar la programación a las condiciones exteriores		x	x
	Reducción de la demanda de agua en aparatos sanitarios con mecanismos de ahorro, como doble descarga, sensores por infrarrojos, aireadores...		x	x
	Incorporación de arquetas para separadoras de grasas y/o hidrocarburos que eviten esos vertidos a la red de saneamiento			x
	Integración de red separativa de pluviales y fecales			x
ENERGÍA Y ATMÓSFERA	Adecuar los espacios al uso del edificio	x	x	
	Optimizar las facturas energéticas y de suministros		x	
	Reducir las emisiones y contaminación acústica y atmosférica interior y exterior	x		x
	Minimizar las emisiones de GEI (gases efecto invernadero) seleccionando refrigerantes menos contaminantes			x
	Reducir la contaminación lumínica interior y exterior		x	x
	Controlar y gestionar los residuos, especialmente gases fluorados, residuos sólidos y líquidos	x		x
	Favorecer la iluminación natural en el interior	x	x	x
	Favorecer la ventilación natural en el interior		x	x
	Contabilización diferenciada de los consumos para conocer líneas de actuación y reducción		x	x
BIENESTAR	Garantizar la accesibilidad universal en el edificio	x		
	Incorporar mecanismos de control del confort a los usuarios, como temperatura e iluminación	x		
	Evitar productos constructivos o materiales de limpieza que desprendan compuestos volátiles nocivos	x		x
	Incorporar elementos vegetales en el interior de los espacios para mejorar la calidad del aire	x		x
	Evitar grandes superficies de fachada o mejorar el control solar para evitar que se produzcan deslumbramiento	x		x
GESTIÓN	Implantación de sellos, políticas, sistemas de gestión en sostenibilidad certificados por terceros que avalen el compromiso medioambiental adquirido	x	x	x
	Realización de un mantenimiento preventivo y predictivo que garantice el correcto funcionamiento de todos los sistemas	x	x	x

Tabla 14 (continuación). Grupos de medidas de mejora en sostenibilidad (MMSs).

2.4.4. Sistemas de gestión, certificaciones y políticas de mejora

Además del proyecto de rehabilitación sostenible, existen otros caminos para conseguir la mejora energética y de sostenibilidad en el edificio, complementarios a la obra. Se trata de acciones específicas enfocadas especialmente a la modificación de conducta de usuarios, gestores y mantenedores a través de planes de mejora y campañas de concienciación o la implementación de sistemas de gestión.

El Sistema de Gestión Energética (SGEn)

Es un conjunto de acciones establecidas para la mejora sistemática y continuada del desempeño energético en una organización, incluyendo su política energética, los objetivos cuantificables programados y los procedimientos establecidos para su consecución.

La norma UNE-EN ISO 50001:2011C recoge los requisitos del sistema de gestión energética ISO-50001 desarrollada por ISO (Organización Internacional para la Estandariza-

ción). Además, el Real Decreto 56/2016 establece la obligatoriedad para las empresas¹⁶ de realizar una auditoría energética o implantar un sistema de gestión energética certificado por un organismo independiente.

La implantación de un sistema de gestión energética garantiza el control operacional, la contención de gasto energético, el establecimiento de la línea base de los usos significativos de la energía, la aplicación continuada y planificada de medidas de mejora, la adecuación de la tendencia real al modelo energético previsto y la comunicación y conocimiento de todos los implicados en el gasto económico-energético.

El SGEN mejorará la eficiencia energética del edificio y, en consecuencia, el valor de su indicador energético.

El Sistema de Gestión Medioambiental (SGMA)

Comprende un conjunto de políticas desarrolladas para mejorar la gestión de recursos y residuos, reducir los impactos ambientales negativos derivados de la actividad de una organización y los riesgos asociados a situaciones accidentales. En base a esas políticas se establecen una serie de acciones, objetivos y un seguimiento de los mismos.

Los SGMA pueden estar auditados y certificados por terceros. Dentro de estos los más reconocidos son:

- La Norma ISO 14001 es la que sistematiza los aspectos ambientales que se generan para promover la protección ambiental y prevenir la contaminación, en equilibrio con los aspectos socioeconómicos.
- El sello EMAS (Eco-Management and Audit Scheme) es una normativa voluntaria de la Unión Europea que reconoce a aquellas organizaciones que han implantado un SGMA y adquirido un compromiso de mejora continua, verificado mediante auditorías independientes.

La implantación de un Sistema de Gestión Ambiental –según la norma ISO 14001– o la obtención del sello EMAS permitirán mejorar el indicador de sostenibilidad del edificio.

El Plan de Movilidad Sostenible (PMS)

Todos los desplazamientos vinculados al edificio, usuarios y la actividad desempeñada forman parte de una de las principales afecciones al medio ambiente. Los distintos modos de transporte se recogen en el Plan de Movilidad Sostenible, donde se detectan, analizan, cuantifican y planifican las acciones de mejora del transporte y las emisiones asociadas en todos los niveles:

- Desplazamientos para acceder al edificio.
- Desplazamientos vinculados con la actividad desarrollada en el edificio.
- Desplazamientos de terceros (suministros, proveedores).

La implantación del plan de movilidad sostenible garantiza la reducción de emisiones asociadas a los vehículos vinculados con la actividad del edificio: optimiza desplazamientos, favorece los desplazamientos activos (caminar y bicicleta) y el transporte público, promueve el vehículo compartido y promueve alternativas a los desplazamientos que implican emisiones.

El Certificado de Sostenibilidad

El proceso de certificación en sostenibilidad puedes estar aplicado al edificio y su entorno inmediato. Se puede incorporar en cualquiera de las tipologías de un edificio, y en cualquier momento del ciclo de vida, tanto para el diseño y construcción, como para la fase de uso e incluso sobre los que no se va a actuar mediante obra. La obtención de un sello de sostenibilidad garantiza el análisis del estado actual y la propuesta de medidas concretas de mejora específicas.

En determinadas ocasiones esta evaluación puede apoyarse en sellos externos. En España los sistemas de evaluación de la sostenibilidad habituales son BREEAM, LEED y VERDE. Cada uno de ellos dispone de procedimientos para distintas tipologías de actuación y edificación.

Del mismo modo, a nivel de organización o empresa, la consecución del sello EMAS, o el cálculo de la huella de carbono (al menos durante cuatro años) aseguran la detección e implantación de mejoras en el edificio con resultados constatables de mejora.

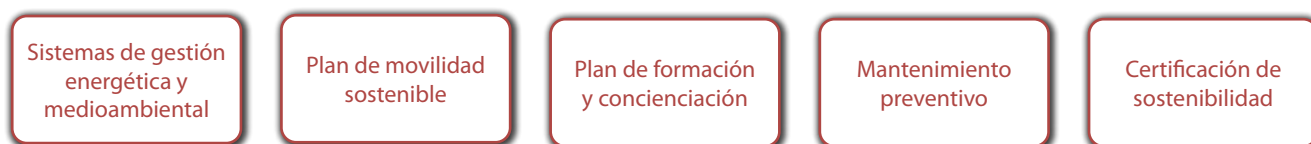


Figura 38. Grupos de planes mejora.

¹⁶ Real Decreto 56/2016. Artículo 2. Ámbito de aplicación. "1. Este capítulo será de aplicación a aquellas empresas que tengan la consideración de grandes empresas, entendiendo por tales tanto las que ocupen al menos a 250 personas como las que, aun sin cumplir dicho requisito, tengan un volumen de negocio que exceda de 50 millones de euros y, a la par, un balance general que exceda de 43 millones de euros."

2.5. Actuación

Una vez definidos los objetivos específicos, caracterizado el edificio y analizadas y seleccionadas las medidas de mejora, es el momento de su implantación. La puesta en marcha de las medidas de mejora responderá a una planificación económica y temporal específica, con el asesoramiento adecuado y la participación de los agentes necesarios, controlando en todo caso los resultados obtenidos.

Por su parte, la obra para la ejecución del proyecto de rehabilitación debe realizarse atendiendo a la normativa vigente y con el asesoramiento adecuado, estableciendo incluso mecanismos de supervisión y control complementarios a los de la Dirección Facultativa (DF) si fuera necesario. La obra deberá enmarcarse en un entorno de control presupuestario, energético y medioambiental, asegurando una ejecución que garantice la calidad del proyecto, y cumpliendo con los plazos establecidos.

La Ley 38/1999 de Ordenación de la Edificación y el Real Decreto 1627/1997 (seguridad y salud) establecen las obligaciones y responsabilidades de los agentes que intervienen en el proceso constructivo:

- **El director de obra.** Dirige el desarrollo de la obra en los aspectos técnicos, estéticos, urbanísticos y medioambien-

tales, de conformidad con el proyecto que la define, la licencia de edificación y demás autorizaciones preceptivas y las condiciones del contrato.

- **El director de la ejecución.** Dirige la ejecución material de la obra y controla cualitativa y cuantitativamente la construcción y la calidad de lo edificado.
- **El coordinador de seguridad y salud.** Coordina la aplicación de los principios generales de prevención y de seguridad en las actividades de la obra.

Todos ellos velan por la correcta ejecución de la obra, dentro de los parámetros marcados por el proyecto en los aspectos económicos y siempre en un entorno de seguridad y calidad de la obra.

Pero además del cumplimiento de los parámetros habituales, el propio proceso de obra también deberá asegurar un adecuado desarrollo energético y medioambiental, prestando especial atención al cumplimiento de los plazos, los consumos energéticos en los procesos de la obra, la protección medioambiental en el entorno y la optimización de los recursos consumidos.

La finalización de la obra culminará con la comprobación del resultado obtenido, acorde con el proyecto e indicaciones de la dirección facultativa y con su posterior puesta en servicio.



Figura 39. Obras de reparación y consolidación del monasterio de Santa María de Bonaval en Retiendas, Guadalajara.

2.5.1. Control energético y de sostenibilidad durante la obra

El proceso constructivo conlleva un elevado uso de recursos y maquinaria, en el que deben considerarse también la eficiencia energética y la sostenibilidad. Conviene para ello disponer de la figura de **coordinador energético y de sostenibilidad** que realice el seguimiento y control de la obra en esos aspectos y complemente las labores de la dirección facultativa.

- **Cumplimiento de plazos.** La planificación de la obra y el orden de ejecución de cada tajo aparecen reflejados en el plan de obra del proyecto. Las desviaciones acarrearán perjuicios diversos: mayor duración de las afecciones ambientales y consumos energéticos, descoordinación de trabajos correlativos, incremento y deterioro de los recursos utilizados, retraso en la puesta en marcha del edificio, y mayor gasto económico.
- **Gestión energética en obra.** No sólo el edificio en su vida útil debe ser eficiente. También la obra debe estar sujeta al control energético. La elección de instalaciones y maquinaria, la gestión y control de los consumos, e incluso la concienciación y formación al personal de obra son aspectos a controlar, cuantificar y minimizar.
- **Protección del medio ambiente.** Los condicionantes detectados durante la caracterización de la parcela y edificio son especialmente sensibles en la fase de construcción. Por un lado debe respetarse el arbolado, la vegetación y los hábitats existentes, así como los periodos de desarrollo de la flora y fauna. Por otro lado, se minimizarán las principales afecciones ambientales: ruido, polvo, vertidos, escombros y desechos de obra.
- **Recursos.** Optimizar los recursos que se utilizan durante la obra significa minimizar el consumo de agua utilizada en la construcción, controlar la idoneidad de la cantidad de cada material y su origen, reducir y reutilizar los desperdicios, y poner en valor los residuos generados.



Figura 40. Control durante la obra.



Figura 41. Ejecución del centro de visitantes del Parque Nacional de Monfragüe. Malpartida de Plasencia, Cáceres.

Cumplimiento de plazos	
Tramitaciones	Licencia de obra, licencia de actividad, permisos específicos.
	Consecución de suministros y acometidas para edificio (electricidad, gas,...).
	Permisos para la gestión de residuos y transporte.
	Accesos a obra e interferencias en entorno no previstas.
Toma de decisiones	Consenso y agilidad en resolución de incidencias por agentes implicados.
	Tiempos acordes a magnitud de modificaciones en plazo de obra.
Equipo de obra	Agilidad en las variaciones de equipos: dirección facultativa, propiedad o constructora.
Materiales en obra	Disponibilidad de materiales y suministradores.
	Posibilidad de acopio y viabilidad de la planificación prevista.
Gestión energética en obra	
Eficiencia energética	Elección de equipos e instalaciones de obra eficientes.
	Seguimiento y control del consumo energético asociado a obra.
	Formación a operarios.
	Transparencia y conocimiento de consumos por agentes implicados.
Maquinaria y equipos	Adecuado mantenimiento y manejo de maquinaria.
	Funcionamiento en horario de respeto a entorno.
	Tecnologías poco/nada contaminantes.
	Conducción eficiente en y hacia la obra.
Reducción de consumos y afecciones	
Almacenaje y uso de materiales	Minimizar residuos por materiales de obra.
	Respetar indicaciones de etiquetado de productos y materiales.
	Reutilizar materiales dentro de la propia obra.
	Materiales fabricados en las proximidades de la obra.
Gestión residuos	Separación de residuos.
Control de la contaminación	Plan de movilidad específico para obra: operarios, suministros y trabajadores.
	Evitar contaminación acústica y lumínica, e incluir medidas preventivas.
	Control de residuos peligrosos.
Control de la erosión	Proteger ante la erosión el suelo transitado durante la obra.
	Proteger aguas freáticas ante vertidos, y minimizar superficies impermeables.
Consumo de agua	Disponer contadores de agua y dispositivos de ahorro.
	Instalar superficies para recuperar y utilizar el agua de lluvia.
	Depurar <i>in situ</i> el agua de limpieza para su reutilización.
	Utilizar aguas recicladas o de lluvia para la fabricación de hormigón y para riego.
	Restringir el agua potable para usos donde sea imprescindible.
Protección del medio ambiente	
Respeto de flora y fauna	Proteger vegetación y fauna con perímetros de seguridad, sin maquinaria.
	Planificar actuaciones conforme periodos sensibles de flora y fauna.
	Trasplantar especies vegetales atendiendo a su supervivencia.
Hábitats provisionales	Incorporar zonas de protección para especies trasladadas por obra.
	Promover hábitats artificiales en zonas alejadas de la afección por obra.

Tabla 15. Buenas prácticas ambientales durante la obra. Fuente: "Guía de buenas prácticas ambientales en el diseño, construcción, uso y demolición de edificios e instalaciones", Ayuntamiento de Madrid.

2.5.2. Comprobación del resultado final de las obras

La recepción de la obra, tal como aparece definida en la ley de Ordenación de la Edificación, es el acto por el cual el constructor hace entrega de la obra al promotor y es aceptada por éste. Debe incluir el coste final, las garantías que se exijan al constructor y el certificado final de obra suscrito por la dirección facultativa. Para ello se han debido realizar previamente los ensayos preceptivos de estanqueidad en instalaciones hidráulicas, cerramientos y cubiertas, resistencia mecánica de materiales, hormigón y acero, y cuantas pruebas haya establecido la Dirección Facultativa de las obras como necesarias.

Adicionalmente conviene realizar ensayos que permitan demostrar cómo los parámetros de comportamiento energético previstos para el edificio se mantienen en las tasas fijadas. Son especialmente críticas la continuidad y calidad de ejecución del aislamiento térmico de la envolvente, el aislamiento de las instalaciones térmicas y la estanqueidad en huecos.

Los métodos para realizar estas comprobaciones vinculadas a la eficiencia energética son:

- **Verificación termográfica.** Mediante cámaras que miden la radiación infrarroja irradiada desde el cuerpo observado se puede comprobar, siempre que el sistema de climatización esté funcionando, la continuidad del aislamiento térmico de la envolvente, el correcto aislamiento de las instalaciones térmicas y las infiltraciones de aire. La toma de termografías en el ámbito de la edificación se rige por la norma EN 13187:1998. Es necesario que las instalaciones estén en funcionamiento para que haya contraste térmico con el exterior y poder realizar la prueba con garantías.
- **Ensayo de infiltraciones con puerta-ventilador (*Blower door test*).** Evalúa el caudal de infiltración que se produce en el edificio a través de carpinterías y cerramientos, bajo determinadas condiciones. El ensayo se realiza mediante un panel flexible e impermeable que se encaja en el

marco de una puerta, con un ventilador de velocidad variable, sondas de presión para medir las diferencias de presión entre el interior y el exterior, y un caudalímetro para medir el aire extraído. La norma UNE-EN 13829 define el ensayo. Se puede realizar durante la obra y permite corregir fallos antes de seguir avanzando con el proceso constructivo.

Por otro lado, si el seguimiento de la obra se ha realizado con un modelo BIM, la actualización hasta el nivel LOD 500 permitirá contrastar el resultado real de funcionamiento frente al comportamiento simulado.

La comprobación del resultado final de las obras en aspectos vinculados con la sostenibilidad pasa por comprobar el estado de cada uno de los apartados predeterminados, tales como:

- Cumplimiento de plazos. Control periódico de la planificación y detección de desviaciones. Se deberán tener en cuenta dentro de la programación aquellos aspectos de la ejecución que afecten a flora y/o fauna para intentar minimizar el impacto dentro de la obra.
- Eficiencia energética en la obra:
 - Se fijarán unos objetivos globales de consumo energético y de agua.
 - Se realizará un seguimiento de los consumos de energía y agua mediante lectura de contadores en obra.
- Cuidado del medio ambiente:
 - Control de contaminantes o vertidos al suelo con chequeos periódicos en obra.
 - Control de contaminantes o vertidos al aire.
 - Ausencia de erosiones en suelo de parcela y entorno.
 - Inventario de flora y fauna antes de la intervención. Se deberá realizar un seguimiento periódico durante toda la duración de las obras. Restauración de las zonas alteradas paisajísticamente cuando proceda.
 - Seguimiento adecuado de residuos donde se refleje la cantidad/volumen de residuos generados identifi-

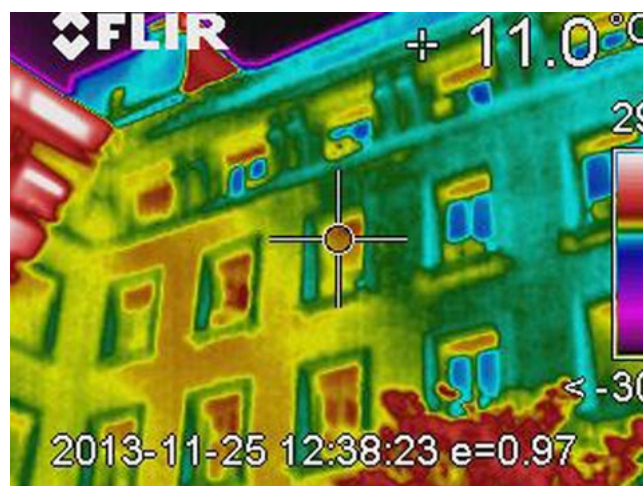
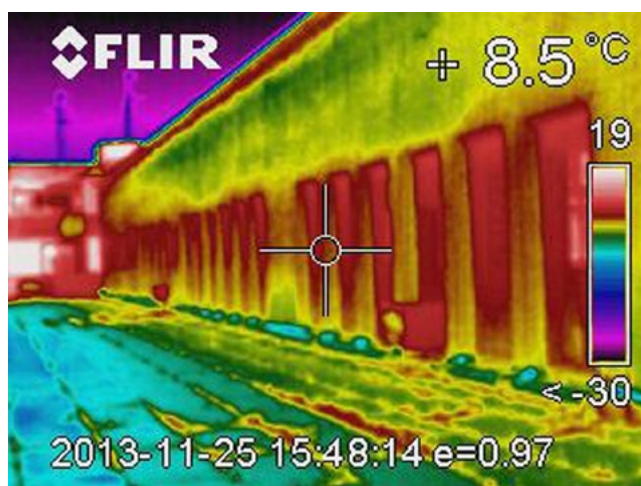


Figura 42. Termografías con cámara de radiación infrarroja.

cados por su código LER (Lista Europea de Residuos), gestor autorizado para su tratamiento y porcentaje de aprovechamiento (valorización) de los mismos.

- Control de emisión periódica de ruidos generados en obra, sobre todo en entornos con mucha población.
- Control de recursos.
 - Inventario y procedimiento de conservación de los materiales a recuperar/conservar.
 - Registro de certificaciones exigidas a materiales que avalen el compromiso medioambiental, como: DAP (Declaración Ambiental de Producto), emisión de compuestos orgánicos volátiles, certificado de cadena de custodia para el caso de la madera...
 - Registro de distancias de suministro y fabricación de materiales hasta la obra.

2.5.3. Puesta en servicio del edificio

Finalizadas las obras del edificio y comprobada su correcta ejecución, es momento de su puesta en servicio atendiendo a los criterios de diseño y garantizando su fiabilidad y eficiencia a corto, medio y largo plazo.

La correcta calibración inicial de las instalaciones, y especialmente la climatización, evitará excesos de consumo o incumplimiento de las condiciones previstas para los usuarios.

En determinadas ocasiones puede resultar conveniente apoyarse en un gestor de puesta en servicio del edificio (*commissioning*), especialmente en edificios complejos, o si el periodo entre la recepción de la obra y su puesta en funcionamiento ha sido prolongado.

La directriz 0-2013 de ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*), define la puesta en servicio del edificio (*commissioning*) como el proceso planificado que tiene como objeto verificar y documentar que las instalaciones del edificio están proyectadas, ejecutadas, probadas, operadas y mantenidas satisfaciendo los requerimiento de la propiedad, los criterios de diseño y cumpliendo las condiciones exigidas por la normativa para su utilización.

La puesta en servicio del edificio finaliza una vez validada la capacitación del personal de explotación y mantenimiento, y con la calibración de los parámetros operativos adecuados a las necesidades reales de los usuarios del edificio.

Puesta en servicio
Mejora de la seguridad, confort y condiciones de los usuarios del edificio.
Garantizar las condiciones ambientales higiénicas y sanitarias.
Reducir los consumos energéticos y costes de explotación.
Reducir los costes de mantenimiento.
Optimizar el funcionamiento de equipos y sistemas.
Prolongar la vida útil de las instalaciones.
Detallar y ordenar la información sobre las instalaciones.
Aportar puntuación en certificaciones de sostenibilidad.

Tabla 16. Fases de la puesta en servicio.

Según el Departamento de Energía de EEUU, el coste del proceso de puesta en servicio es entre un 0,4 y un 1,4 % del coste total de las instalaciones del edificio. En edificios existentes el periodo de retorno se considera menor a un año.



Figura 43. Niveles ASHRAE de Commissioning. Fuente: ASHRAE



Figura 44. Nuevas instalaciones en la rehabilitación de la sede central del Ministerio de Economía y Competitividad.

2.6. Seguimiento y control

Observar y analizar los resultados obtenidos durante el funcionamiento del edificio para compararlos con los previstos (por ejemplo con la línea base en el caso del consumo energético o con indicadores de sostenibilidad) permiten confirmar el éxito de las medidas adoptadas, o calibrarlas adecuadamente en el caso de desviaciones.

El edificio rehabilitado debe ser mantenido y explotado de forma adecuada para lograr los objetivos de ahorro energético y de sostenibilidad previstos. Son aspectos clave la formación y conducta del gestor, el mantenedor y los usuarios.

El análisis de datos y funcionamiento se puede apoyar en diferentes sistemas:

- Eficiencia energética: sistemas de gestión de la energía, sistemas de monitorización y control, y protocolos de medida y verificación de los ahorros energéticos.
- Sostenibilidad: sistemas de gestión ambiental, certificaciones de sostenibilidad para edificios en uso.

2.6.1. El sistema de gestión de la energía

Para llevar un adecuado seguimiento y control del consumo energético se recomienda la implantación de un Sistema de Gestión de la Energía de acuerdo a la norma la norma UNE-EN ISO 50001:2011C.

Un sistema de gestión de la energía garantiza la mejora de la eficiencia energética mediante un proceso continuo de medida, control, planificación y optimización del desempeño energético.

Esta norma establece los requisitos para poder realizar mejoras continuas y sistemáticas del rendimiento energético, basado en un ciclo de mejora continua conforme al siguiente esquema:

Sistema de Gestión Energética		
P	PLANIFICAR	Definir objetivos, metas y planes de acción energética.
D	DESARROLLAR	Implantar los planes de acción energética.
C	CONTROLAR	Seguimiento y medición de los procesos, y control de las características operacionales clave del desempeño energético.
A	ACTUAR	Ejecución de acciones para la mejora continuada del comportamiento energético y del sistema de gestión de la energía, según las desviaciones detectadas en los objetivos.

Tabla 17. Fases de un sistema de gestión energética.

En el desarrollo y la mejora continua del sistema de gestión se debe involucrar al personal, consiguiendo que conozcan cómo sus actuaciones pueden influir en el desempeño energético. Para asegurar la toma de conciencia de las personas, es necesario realizar una labor de sensibilización. Mediante un plan de formación de gestores, usuarios y mantenedores se pueden apoyar las labores encaminadas al correcto funcionamiento del edificio rehabilitado.

En caso de certificar el Sistema de Gestión Energética, la supervisión por una organización independiente de certificación asegurará la reducción de disfunciones relacionadas con las instalaciones técnicas y los usuarios durante el proceso de gestión de la energía.

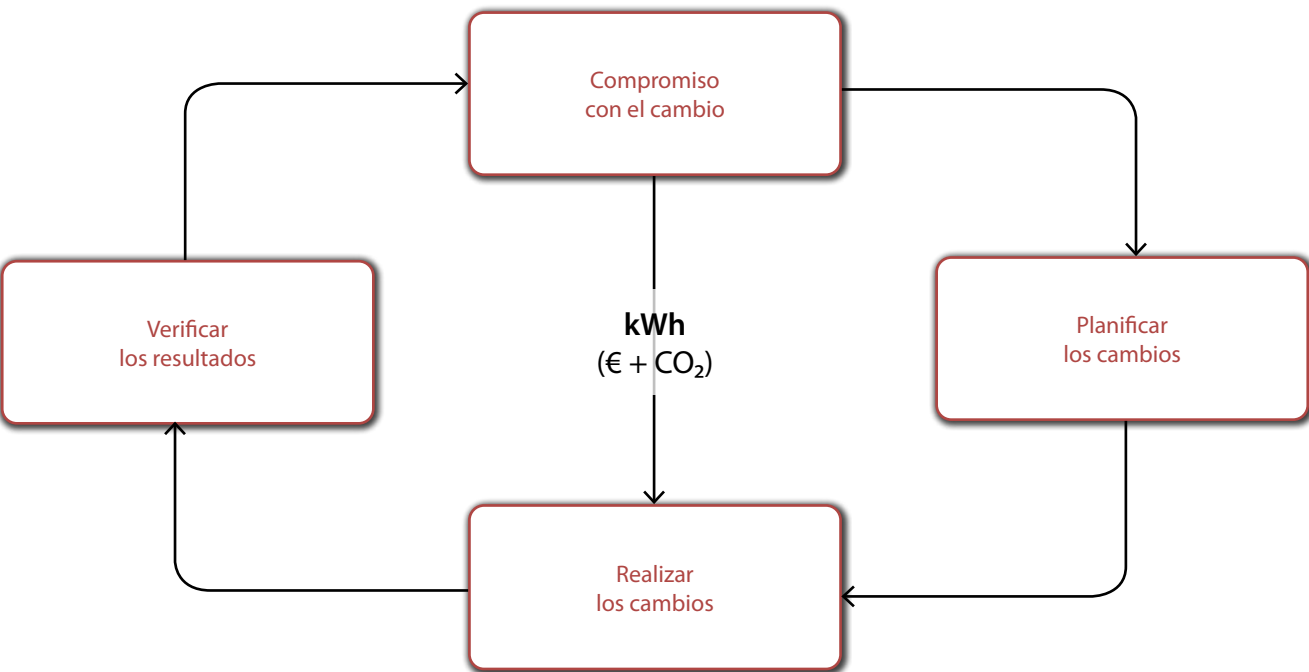


Figura 45. Modelo de Sistema de Gestión de la Energía. Fuente: Gen Europe S.L.

2.6.2. El sistema de monitorización y control

Para medir y verificar el resultado alcanzado y controlar el funcionamiento del edificio se recomienda el uso de sistemas de monitorización y control, que deberán haber sido proyectados y ejecutados en las fases anteriores.

Los sistemas de monitorización y control (*BMS Building Management System*) posibilitan realizar una gestión energética eficiente y ayudan a modificar hábitos energéticos para reducir el consumo energético. Permiten visualizar y analizar en tiempo real variables físicas, consumos energéticos y los principales parámetros de mantenimiento de los equipos.

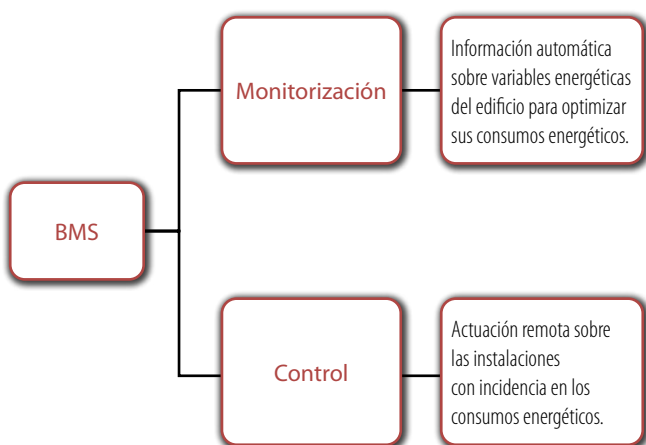


Figura 46. Funciones del sistema de monitorización y control.

Estos sistemas son útiles para:

- Confirmar que el edificio y los sistemas se comportan tal como fueron diseñados.
- Monitorizar el rendimiento y la eficiencia energética de

los sistemas y equipos para comprobar que son estables durante el tiempo de vida del edificio.

- Lograr un mayor ahorro de energía combinando y optimizando el funcionamiento de las distintas instalaciones del edificio.
- Proporcionar información para cambiar el comportamiento de los usuarios, instalar nuevas tecnologías de eficiencia energética o calibrar el funcionamiento de las existentes.
- Aumentar el confort de los usuarios.
- Detectar comportamientos anómalos, fallos y averías.

2.6.3. La medida y verificación del ahorro energético

Para medir los ahorros generados, habrá que comparar el consumo energético anterior y posterior de la ejecución del proyecto de rehabilitación. Para ello se deberán tener en cuenta las variaciones de los condicionantes que afectan al consumo energético del edificio: la temperatura exterior, la ocupación, los cambios de uso, etc.

$$\text{Ahorro Energético} = \frac{\text{Energía consumida en periodo de referencia} - \text{Energía consumida tras implantación de medidas de mejora en periodo similar} \pm \text{Ajustes necesarios}}{\text{Energía consumida en periodo de referencia}}$$

Para cuantificar con precisión los ahorros asociados a las diferentes medidas de mejora se recomienda el uso de un **Plan de Medida y Verificación de los ahorros** que establezca, de forma fiable y conforme a un protocolo homologado, el ahorro real generado en una instalación.

El protocolo de medida y verificación es una metodología estandarizada, homologada y objetiva que determina los ahorros energéticos bajo unas condiciones fijadas. Los planes de medida y verificación son especialmente

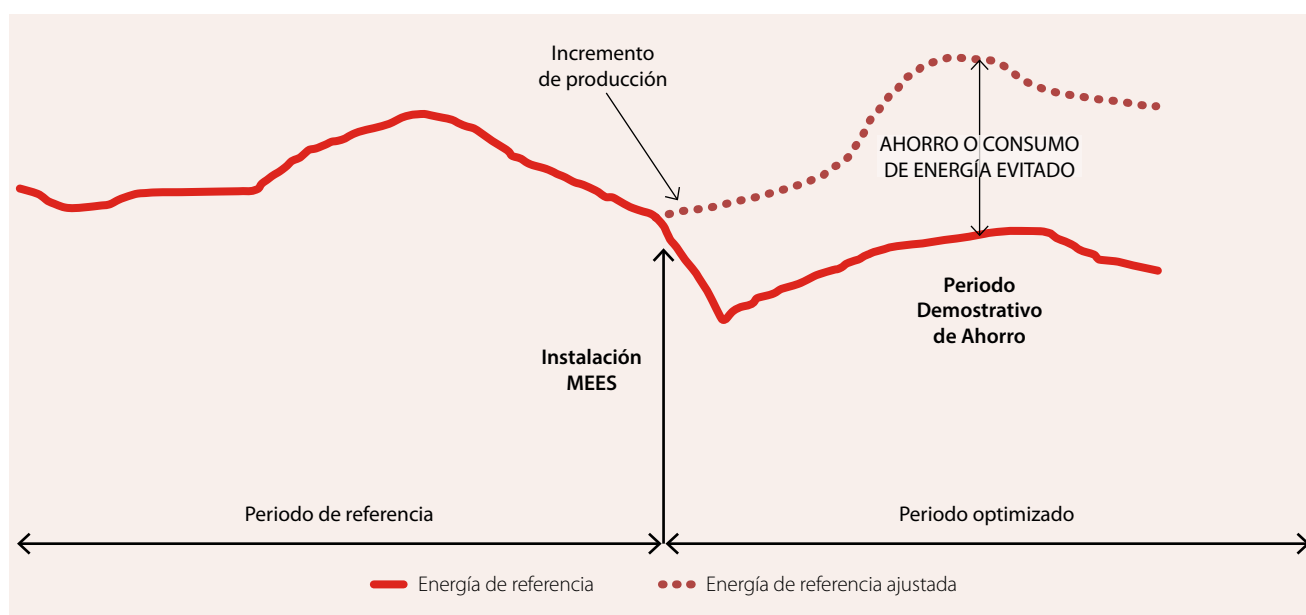


Figura 47. Ejemplo de histórico de energía. Fuente: IPMVP.

recomendados en los contratos de servicios energéticos, donde es necesario que las dos partes intervinientes estén de acuerdo en la forma en la que se medirá el ahorro energético generado.

El protocolo utilizado habitualmente es el IPMVP (*International Performance Measurement and Verification Protocol*), desarrollado por EVO (*Efficiency Valuation Organization*), cuya implantación se recomienda que se realice por profesionales certificados como CMVP (*Certified Measurement & Verification Professional*).

El protocolo IPMVP tiene por objetivos incrementar los ahorros de energía, pronosticar los consumos energéticos de las instalaciones, educar a los usuarios de las instalaciones sobre su impacto en el consumo de energía y mejorar la calificación en sistemas de certificación de sostenibilidad.

2.6.4. Sistema de gestión ambiental

Para llevar un adecuado seguimiento y control de objetivos medioambientales se recomienda la implantación de un Sistema de Gestión Ambiental de acuerdo a la norma UNE-EN ISO 14001:2015.

La implantación de la normativa implica el establecimiento de unos indicadores de desempeño medioambiental, que son resultados cuantificables sobre aspectos medioambientales. De esta manera se determina qué y cómo es necesario para seguir y medir los indicadores, así como el análisis y evaluación de los mismos.

Se deben establecer las siguientes acciones para el edificio y su gestión:

- Realizar un seguimiento y medir la relación que guarda con las operaciones que pueden generar un impacto ambiental significativo, las obligaciones de cumplimiento, los controles operacionales, el progreso con relación a los objetivos ambientales marcados.
- Los métodos de seguimiento, medición, análisis y evaluación, asegurándose de que sean válidos.
- Los criterios del desempeño ambiental, seleccionando de forma adecuada los indicadores apropiados.

- El momento en el que se realiza el seguimiento y la medición.
- El momento en el que se tienen que analizar y evaluar los distintos resultados de seguimiento y medición.

La Normativa UNE-EN ISO 14031:2013 Gestión ambiental, proporciona las directrices sobre la evaluación del desempeño ambiental, proporcionando un método basado en “planificar-hacer-verificar-actuar” que permite recoger información sobre el desempeño ambiental.

Los indicadores de desempeño ambiental nos permiten recopilar y agrupar datos ambientales en información comparable. Estos indicadores tienen, entre otras, las siguientes funciones:

- Ilustran mejoras ambientales.
- Detectan potenciales de optimización y reducción.
- Obtienen y persiguen metas ambientales.
- Identifican oportunidades de mercado.
- Permiten una comparación directa con otras empresas/edificios.
- Proporcionan datos para la elaboración de informes.
- Proporcionan datos de motivación.

Algunos ejemplos de estos indicadores pueden ser:

- Coste o presupuesto para medidas ambientales (€/año).
- Porcentaje de objetivos ambientales alcanzados (%).
- Desechos peligrosos por empleado (kg/persona).

2.6.5. Certificación sostenible para edificio en uso

Para el seguimiento y control de los objetivos de sostenibilidad, se recomienda una certificación que evalúe cómo se está realizando la gestión del edificio, con el fin de adaptar las políticas y procesos del edificio rehabilitado.

Este tipo de certificación se realiza con una periodicidad de 2 a 5 años y permite al gestor del edificio el desarrollo de un proceso de mejora continua para poder mantener la acreditación. Ejemplos de esquemas que evalúan al edificio en su fase de operación son BREEAM ES con su esquema “En Uso” o LEED O+M (*Building Operations and Maintenance*).



Figura 48. Sistemas ISO 14001, sello EMAS y certificaciones de sostenibilidad, Leed y Breeam.



Reforma y rehabilitación del castillo de Arévalo, Ávila.

3. Conclusiones

La rehabilitación energética y sostenible de los edificios públicos es un proceso complejo, prolongado en el tiempo en el que intervienen múltiples agentes.

Esta guía básica recopila, de manera simplificada, todas las actuaciones posibles para la mejora de la eficiencia energética y la sostenibilidad de edificios públicos existentes desde múltiples enfoques compatibles entre sí.

Como conclusiones finales cabe destacar:

- El momento actual es idóneo para afrontar la rehabilitación de edificios públicos puesto que permitirá:
 - Cumplir con las obligaciones marcadas por las directivas europeas y la normativa española.
 - A la Administración ejercer su labor ejemplarizante.
 - Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero siguiendo las directrices marcadas por acuerdos internacionales, como el Protocolo de Kioto o la reciente Cumbre del Clima celebrada en París en diciembre de 2015.
 - Optar a ayudas económicas que desde la Unión Europea se otorgan a estrategias de mejora energética y reducciones de emisiones.
- La coordinación de todas las personas involucradas activamente en el proceso de rehabilitación es fundamental para alcanzar los objetivos determinados.
- El camino a seguir para alcanzar una rehabilitación energética y sostenible pasa por las siguientes etapas:
 - Selección del edificio.
 - Definición de objetivos energéticos y de sostenibilidad.
 - Caracterización del edificio.
 - Definición de las medidas de mejora: Proyecto de rehabilitación sostenible.
 - Actuación.
 - Seguimiento y control.
- La rehabilitación energética y sostenible abarca múltiples aspectos que pueden formar parte de una actuación global de mejora, o convertirse en actuaciones parciales independientes.
- Los pasos descritos en esta metodología incluyen y complementan al proceso habitual de la rehabilitación.
- Conviene incorporar la metodología de coste óptimo o de EECC al proyecto de rehabilitación en alguna de sus fases iniciales, para así adoptar soluciones técnica y económicamente viables.
- La simulación energética es una herramienta fundamental para el diseño, evaluación y verificación de las medidas de mejora de la eficiencia energética planteadas.



Figura 49. Diseño y ejecución de sistemas interpretativos en el Centro de visitantes del Portillo y Museo Juan Évora.



Estación de Benalua antes de su rehabilitación como sede del consorcio público Casa Mediterráneo, Alicante.

4. Casos de estudio

A continuación se exponen dos casos de estudio donde se ha aplicado la metodología de coste óptimo. Las conclusiones teóricas obtenidas en cada estudio fueron tenidas en cuenta a la hora de seleccionar las medidas de eficiencia energética incluidas en el proyecto.

4.1. Caso de estudio n.º 1

El presente análisis tiene como objetivo servir de guía para la optimización energética en el proyecto de adecuación de la antigua sede de la Dirección provincial de la TGSS de Castellón, situada en la Plaza del Juez Borrul n.º 14 de Castellón. Se trata de un local a rehabilitar para uso administrativo, situado bajo un edificio de uso residencial, de aproximadamente 4.500 m² útiles, distribuidos en cuatro plantas: sótano, baja, entreplanta y primera.

A partir del análisis del proyecto básico, se han identificado las principales medidas de eficiencia energética para ser evaluadas, de forma que los resultados del cálculo y su interpretación conduzcan a la recomendación de los conjuntos de medidas que conlleven la rehabilitación óptima desde el punto de vista económico-energético.

El grueso de la metodología de cálculo ha sido llevado a cabo mediante herramientas dinámicas de cálculo térmico de edificios (Energy Plus), de amplio reconocimiento en el sector.

4.1.1. La metodología de coste óptimo

La metodología de trabajo llevada a cabo se ha basado en la guía que acompaña al reglamento n.º 244/2012 de la Comisión Europea, que describe la forma de aplicar la metodología de coste (o rentabilidad) óptimo, con el fin de que los Estados miembros definan sus requisitos mínimos de eficiencia energética. Aunque el Artículo 5 de

la Directiva 2010/31/EU únicamente obliga a la realización de este estudio para edificios de referencia con el fin de establecer niveles genéricos de eficiencia exigibles en los distintos Estados miembros, su aplicación a casos concretos como este, permite extraer conclusiones más precisas y válidas.

Mediante la correcta aplicación de la metodología de coste óptimo es posible determinar los conjuntos o paquetes de medidas de mejora que implican la máxima rentabilidad, así como marcar la dirección en la que el edificio se acercará al estándar de edificio de consumo de energía casi nulo, con el mínimo coste asociado.

El cálculo se descompone principalmente en dos vías:

- Consumo anual en términos de energía primaria, incluyendo el consumo de calefacción, refrigeración, ventilación y ACS. Para lo que es necesaria la simulación térmica del edificio, durante un año tipo, bajo las distintas hipótesis de partida.
- El cálculo del coste global, que incluye la inversión inicial, la suma del coste de operación anual para cada año y el coste de sustitución (si procede), todo referido al año inicial.

Todo ello con el fin de representar todos los conjuntos de medidas de eficiencia energética considerados de la forma que se muestra a continuación, permitiendo identificar las medidas que involucren un coste óptimo y las medidas con un mínimo consumo de energía primaria.

El coste global contendrá no únicamente el coste de inversión inicial, sino también el coste operacional, incluyendo el uso de la energía, durante un periodo de cálculo de 30 años, calculado de acuerdo con los resultados de la simulación térmica.



Figura 50. Proyecto de adecuación de la antigua sede de la Dirección Provincial de la TGSS de Castellón.

4.1.2. La climatología

La climatología de la localidad es el fundamento de las sollicitaciones exteriores de cálculo que se imponen al edificio objeto de estudio, marcando los valores horarios típicos de temperatura exterior, humedad, radiación, dirección y velocidad del viento.

De acuerdo a la clasificación climática que hace el CTE en su Documento Básico de Ahorro de energía HE1, a Castellón le corresponde una zona climática B3.

Esto implica una severidad climática de invierno moderada y una alta severidad climática de verano, en el contexto de la clasificación oficial de zonas climáticas definido en Código Técnico de la Edificación en su apartado HE1-2013.

Como fichero climático de referencia para el cálculo energético mediante E+, se ha tomado el fichero epw de la localidad de Castellón de la base de datos de datos climáticos de EnergyPlus.

Analizando los índices de severidad climática del archivo en base al modelo definido por el CTE-HE, se obtiene unos valores de 0,49 y 1,05 para las severidades climáticas de invierno y verano, respectivamente. Dado que la referencia de escala está situada en Madrid (D3) con valores de 1 y 1, respectivamente, esto se traduce en que la demanda de refrigeración sensible será similar a un edificio situado en Madrid, mientras que es esperable que la demanda de calefacción se sitúe en valores de entorno de la mitad.

Todo ello indica a priori que las medidas a aplicar en la actuación debieran ir mayormente encaminadas a reducir la demanda de refrigeración; como protecciones solares y reducción de las cargas internas.

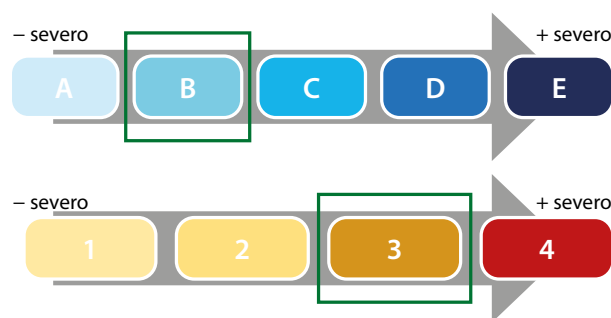


Figura 51. Clasificación de las severidades climáticas. Fuente: CENER.

4.1.3. La caracterización del edificio

Para realizar el cálculo de consumo de energía primaria asociado a cada conjunto de medidas seleccionadas, es necesaria la caracterización del edificio para evaluar su comportamiento térmico bajo la implementación de los distintos conjuntos de medidas de eficiencia seleccionados, permitiendo tener en cuenta los efectos cruzados de las distintas medidas aisladas.

4.1.3.1. El modelo térmico

Se ha modelado el edificio con 49 zonas térmicas según orientaciones y usos principales, de las cuales 30, que corresponden a unos 3.000 m², corresponden a los usos principales del local y por tanto deberán ser acondicionadas adecuadamente para cumplir con unos determinados criterios de confort térmico y lumínico. El resto de zonas corresponderán a zonas no acondicionadas o incluso no habitables. Algunas imágenes del modelo así descrito se muestran a continuación.

El modelo y posterior cálculo ha sido desarrollado con el motor de cálculo EnergyPlus v8.6.0 para simulación dinámica de edificios, desarrollado por el Departamento de la Energía de EEUU (DOE).

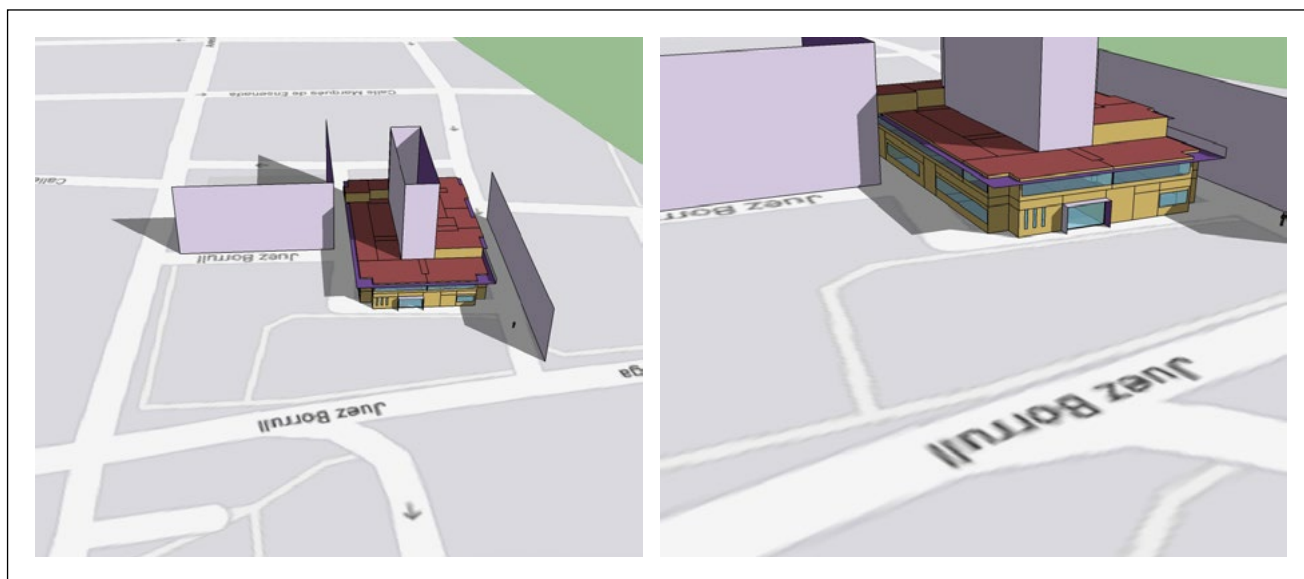


Figura 52. Modelo térmico del local de la TGSS en Plaza del Juez Borrull, Castellón. Fuente: CENER.

4.1.3.1. Condiciones de cálculo

El cálculo dinámico incluye tanto las solicitaciones exteriores como las solicitaciones interiores de las cuales las más importantes se recogen a continuación.

Solicitaciones exteriores:

- Climatología de Castellón, representada por el fichero de la zona climática B3 del CTE HE 2013 para verificación del cumplimiento de código técnico.
- Condiciones de contorno, definidas por cerramientos exteriores, adiabáticos y en contacto con zonas no acondicionadas.
- Elementos de sombra fijos: los propios del edificio y edificios colindantes.

Solicitaciones interiores:

- Cargas internas de ocupación, iluminación y equipos estimadas en base al uso y calendario de utilización, tal y como se muestra en los siguientes gráficos. La potencia instalada en iluminación (W/m^2) se ha estimado en base un valor de VEEI de 2.0.
- Consignas de temperatura de confort fijadas en: 21° y 25°C . El sistema de climatización funcionará con doble consigna con banda muerta de 4°C . El control de consigna se realizará por temperatura operativa como recomienda la metodología, con el fin de tener en cuenta el efecto positivo de la mejora de la envolvente térmica sobre la percepción en el confort de los usuarios.
- Ventilación RITE: se ha considerado el caudal de ventilación por salubridad calculado conforme al Método B del RITE (caudal de aire percibido). Se ha estimado 7,58 l/s por persona considerando 279 ocupantes, lo que implica $7.62 \text{ m}^3/\text{h}$ de aire exterior (0,87 ren/h).

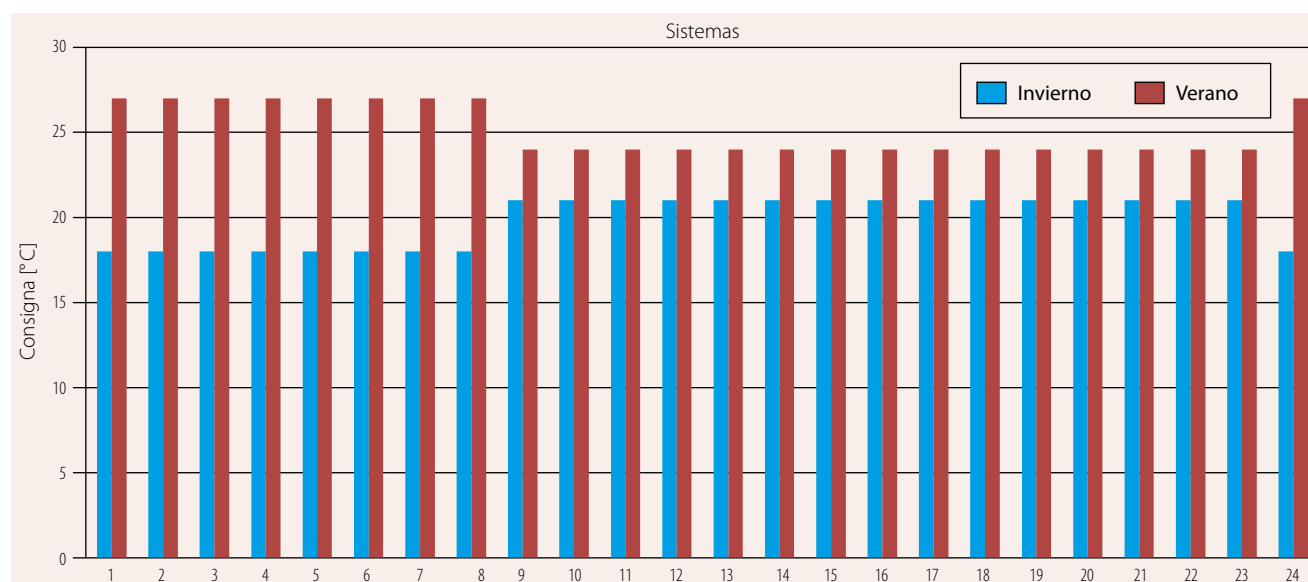


Figura 53. Perfil horario diario de consignas. Fuente: CENER.

4.1.4. Las medidas de eficiencia energética

Tras el análisis del proyecto, las medidas de eficiencia energética consideradas viables para su evaluación dentro de la metodología de coste óptimo son las que se muestran en las siguientes tablas, clasificadas en función de su objetivo.

Los costes han sido extraídos de distintas fuentes dependiendo de su naturaleza o accesibilidad; proyecto, constructora y/o bases de datos propias.

De acuerdo con la metodología de coste-óptimo se omiten del cálculo (y de la tabla) aquellos costes que serán iguales en todos los conjuntos de medidas aplicadas, ya que no aportan valor a la comparativa (por ejemplo: los

costes asociados a los sistemas de distribución, regulación y control de las instalaciones térmicas).

4.1.4.1. Medidas para la mejora de la envolvente térmica

Las medidas para la mejora de la envolvente térmica se han agrupado en tres grupos; aislamiento de opacos (incluyendo fachadas, cubiertas y suelos), huecos orientación al sur y al oeste y huecos orientación al norte.

4.1.4.2. Medidas para la mejora de la eficiencia energética de los sistemas

Las medidas para la mejora de la eficiencia energética de las instalaciones se han agrupado en dos grupos; sistema de iluminación e instalación térmica.

PAQUETE	VARIANTE	ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD	Ciclo de vida	COSTE DE INVERSIÓN (material+ejecución +GG+BI+IVA)	m2	COSTE DE MANTENIMIENTO ANUAL (Incluido IVA)
								Total en €	3140	Total en €
FACHADAS	0	Fachadas	Adición de aislamiento térmico por el interior de los cerramientos de fachada exteriores y con las zonas no acondicionadas para cumplimiento del CTE (valores de parámetros característicos de acuerdo a la definición del edificio de referencia según zona climática B3)	espesor aislante con $k = 0,035$ W/m2K	3	cm	30	€ 37.284,00	€ 78,00	€ 0,00
	1	Fachadas	Adición de aislamiento térmico por el interior de los cerramientos de fachada exteriores y con las zonas no acondicionadas		6	cm	30	€ 41.108,00	€ 86,00	€ 0,00
	2	Fachadas	Adición de aislamiento térmico por el interior de los cerramientos de fachada exteriores y con las zonas no acondicionadas		8	cm	30	€ 42.542,00	€ 89,00	
	3	Fachadas	Adición de aislamiento térmico por el exterior de los cerramientos de fachada exteriores y con las zonas no acondicionadas para cumplimiento del CTE (valores de parámetros característicos de acuerdo a la definición del edificio de referencia según zona climática B3)		3	cm	30	€ 55.448,00	€ 116,00	
	4	Fachadas	Adición de aislamiento térmico por el exterior de los cerramientos de fachada exteriores y con las zonas no acondicionadas		6	cm	30	€ 60.706,00	€ 127,00	
	5	Fachadas	Adición de aislamiento térmico por el exterior de los cerramientos de fachada exteriores y con las zonas no acondicionadas		8	cm	30	€ 65.008,00	€ 136,00	€ 0,00
CUBIERTAS	0	Cubierta	Adición de aislamiento térmico por el interior en los elementos de cubierta para cumplimiento del CTE (valores de parámetros característicos de acuerdo a la definición del edificio de referencia según zona climática B3)	espesor aislante con $k = 0,035$ W/m2K	7	cm	30	€ 20.680,00	€ 94,00	€ 0,00
	1	Cubierta	Adición de aislamiento térmico por el interior en los elementos de cubierta		10	cm	30	€ 25.300,00	€ 115,00	
	2	Cubierta	Adición de aislamiento térmico por el interior en los elementos de cubierta		15	cm	30	€ 29.700,00	€ 135,00	
	3	Cubierta	igual 0		7	cm	30	€ 0,00	€ 156,00	€ 0,00
	4	Cubierta	igual 1		10	cm	30			
	5	Cubierta	igual 2		15	cm	30	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00
SUELO	0	Forjado PB	Adición de aislamiento térmico en suelos en contacto con zonas no acondicionadas (garaje, archivos...) dónde sea posible (a definir en plano)	espesor aislante con $k = 0,035$ W/m2K	5	cm	30	€ 89,00	€ 118.815,00	€ 0,00
	1	Forjado PB			8	cm	30	€ 90,00	€ 120.150,00	€ 0,00
	2	Forjado PB			10	cm	30	€ 93,00	€ 124.155,00	€ 1,00
	3	Forjado PB			5	cm	30	€ 0,00	€ 0,00	€ 2,00
	4	Forjado PB			8	cm	30	€ 0,00	€ 0,00	€ 3,00
	5	Forjado PB			10	cm	30	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00

Tabla 18. Definición de medidas de aislamiento de opacos. Fuente: CENER.

PAQUETE	VARIANTE	ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD	Ciclo de vida	COSTE DE INVERSIÓN (material+ejecución +GG+BI+IVA)	m2	COSTE DE MANTENIMIENTO ANUAL (Incluido IVA)
								Total en €	3140 €/m2	Total en €
HUECOS SUR Y OESTE	0	Ventanas Fachadas Sur y Oeste	Vidrio doble claro con cámara aire de 12mm Marco con rotura de puente térmico >12mm Por ejemplo: SGG PLANILUX 6mm + Aire 12mm + SGG PLANILUX 8mm	Uvidrio	2,8	W/m²K	30	€ 177.552,00	€ 432,00	€ 0,00
				g vidrio	0,747	-				
				Trans vis vidrio	0,802	-				
				Umarco	3,3	W/m²K				
	1	Ventanas Fachadas Sur y Oeste	Vidrio doble bajo emisivo y cámara de aire de 14mm Marco PVC de dos cámaras Por ejemplo: SGG PLANITHERM MAX 6mm + Aire 12mm + SGG PLANILUX 8mm	Uvidrio	1,49	W/m²K	30	€ 177.552,00	€ 432,00	€ 0,00
				g vidrio	0,6	-				
				Trans vis vidrio	0,772	-				
				Umarco	2,2	W/m²K				
	2	Ventanas Fachadas Sur y Oeste	Vidrio doble bajo emisivo y cámara de argón de 16mm Marco PVC de 5 cámaras Vidrio flotado incoloro SGG PLANICLEAR de 6 mm con capa magnetronica de baja emisividad SGG PLANITHERM XN en cara 2, hoja exterior. Cámara de gas argón al 90% de 16 mm. de espesor Vidrio laminar SGG STADIP PROTECT 44.2, formado por dos láminas de vidrio flotado incoloro SGG PLANICLEAR de 4 mm, unidos mediante 2 PVB (0.76 mm de espesor), hoja interior.	Uvidrio	1,1	W/m²K	30	€ 187.416,00	€ 456,00	€ 0,00
				g vidrio	0,61	-				
				Trans vis vidrio	80	-				
				Umarco	1,5	W/m²K				
	3	Ventanas Fachadas Sur y Oeste	Vidrio doble bajo emisivo con control solar y cámara de argón de 16mm Marco PVC de 5 cámaras Vidrio flotado incoloro SGG PLANICLEAR de 6 mm con capa magnetronica de alta selectividad de baja emisividad y control solar SGG COOL-LITE SKN 174 en cara 2, hoja exterior. Cámara de gas argón al 90% de 16 mm. de espesor Vidrio laminar SGG STADIP PROTECT 44.2, formado por dos láminas de vidrio flotado incoloro SGG PLANICLEAR de 4 mm, unidos mediante 2 PVB (0.76 mm de espesor) en hoja interior.	Uvidrio	1,1	W/m²K	30	€ 226.872,00	€ 552,00	€ 0,00
				g vidrio	0,41	-				
				Trans vis vidrio	68	-				
				Umarco	1,5	W/m²K				
	4	Ventanas Fachadas Sur y Oeste	Vidrio triple bajo emisivo y cámaras de argón de 16mm Marco PVC de 6 cámaras Vidrio flotado incoloro SGG PLANICLEAR de 6 mm con capa magnetronica de baja emisividad SGG PLANITHERM XN en cara 2, hoja exterior. Cámara de gas argón al 90% de 16 mm. de espesor Vidrio flotado incoloro SGG PLANICLEAR de 4 mm en hoja intermedia Cámara de gas argón al 90% de 16 mm. de espesor Vidrio laminar SGG STADIP PROTECT 44.2, formado por dos láminas de vidrio flotado incoloro SGG PLANICLEAR de 4 mm, unidos mediante 2 PVB (0.76 mm de espesor), hoja interior.	Uvidrio	0,9	W/m²K	30	€ 242.079,00	€ 589,00	€ 0,00
				g vidrio	0,56	-				
				Trans vis vidrio	73	-				
				Umarco	1,1	W/m²K				
	5	Ventanas Fachadas Sur y Oeste	Vidrio triple bajo emisivo con control solar y cámaras de argón de 16mm Marco PVC de 6 cámaras Vidrio templado SGG SECURIT de 6 mm con capa magnetronica de alta selectividad de baja emisividad y control solar SGG COOL-LITE XTREME 60/28 II en cara 2, hoja exterior. Cámara de gas argón al 90% de 16 mm. de espesor Vidrio flotado incoloro SGG PLANICLEAR de 4 mm en hoja intermedia Cámara de gas argón al 90% de 16 mm. de espesor Vidrio laminar SGG STADIP PROTECT 44.2, formado por dos láminas de vidrio flotado incoloro SGG PLANICLEAR de 4 mm, unidos mediante 2 PVB (0.76 mm de espesor), hoja interior.	Uvidrio	0,8	W/m²K	30	€ 251.532,00	€ 612,00	€ 0,00
				g vidrio	0,26	-				
				Trans vis vidrio	55	-				
				Umarco	1,1	W/m²K				

Tabla 19. Definición de medidas de huecos fachadas sur y oeste. Fuente: CENER.

PAQUETE	VARIANTE	ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD	Ciclo de vida	COSTE DE INVERSIÓN (material+ejecución +GG+BI+IVA)	m2	COSTE DE MANTENIMIENTO ANUAL (Incluido IVA)
								Total en €	3140 €/m2	Total en €
HUECOS NORTE	0	Ventanas Fachadas Norte	Vidrio doble claro con cámara aire de 12mm Marco con rotura de puente térmico >12mm Por ejemplo: SGG PLANILUX 6mm + Aire 12mm + SGG PLANILUX 8mm	Uvidrio	2,8	W/m²K	30	€ 177.552,00	€ 432,00	€ 0,00
				g vidrio	0,747	-				
				Trans vis vidrio	0,802	-				
				Umarco	3,3	W/m²K				
	1	Ventanas Fachadas Norte	Vidrio doble bajo emisivo y cámara de aire de 14mm Marco PVC de dos cámaras Por ejemplo: SGG PLANITHERM MAX 6mm + Aire 12mm + SGG PLANILUX 8mm	Uvidrio	1,49	W/m²K	30	€ 177.552,00	€ 432,00	€ 0,00
				g vidrio	0,6	-				
				Trans vis vidrio	0,772	-				
				Umarco	2,2	W/m²K				
	2	Ventanas Fachadas Norte	Vidrio doble bajo emisivo y cámara de argón de 16mm Marco PVC de 5 cámaras Vidrio flotado incoloro SGG PLANICLEAR de 6 mm con capa magnetronica de baja emisividad SGG PLANITHERM XN en cara 2, hoja exterior. Cámara de gas argón al 90% de 16 mm. de espesor Vidrio laminar SGG STADIP PROTECT 44.2, formado por dos láminas de vidrio flotado incoloro SGG PLANICLEAR de 4 mm, unidos mediante 2 PVB (0.76 mm de espesor), hoja interior.	Uvidrio	1,1	W/m²K	30	€ 187.416,00	€ 456,00	€ 0,00
				g vidrio	0,61	-				
				Trans vis vidrio	80	-				
				Umarco	1,5	W/m²K				

Tabla 20. Definición de medidas de huecos fachada norte. Fuente: CENER.

PAQUETE	VARIANTE	ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD	Ciclo de vida	COSTE DE INVERSIÓN (material+ejecución +GG+BI+IVA) Total en €
SISTEMA ILUMINACIÓN	0	iluminación	Renovación de la instalación de iluminación para cumplimiento estricto del CTE HE-3 2012 (administrativo en general) => luminarias fluorescentes	VEEI	2.5 - 3.0	-	20	
				Regulación	Sí	-		
	1	iluminación	Instalación de iluminación de alta eficiencia, más allá del mero cumplimiento del HE-3 => luminarias LED	VEEI	2.0	-	20	€ 366.212,00
				Regulación	Sí	-		
	2	iluminación	Instalación de iluminación de alta eficiencia, más allá del mero cumplimiento del HE-3 => luminarias LED	VEEI	1.5	-	20	€ 366.212,00
				Regulación	Sí	-		
INSTALACIONES TÉRMICAS	0	Generación calefacción y ACS	Bomba de calor aire-agua HITSA modelo BCEA-120-2A	rend. Estacional				€ 330.484,00
		Distribución CAL	Climatizadores - difusores de aire	rend. Estacional	0,96			€ 111.650,00
		Control CAL	Control climático y termostático	rend. Estacional	0,96			€ 66.990,00
		Generación frío	Bomba de calor aire-agua HITSA modelo BCEA-120-2A	rend. Estacional				
		Distribución REF	Climatizadores - difusores de aire	rend. Estacional	0,97			
		Control REF	Control climático y termostático	rend. Estacional	0,98			
	1	Generación calefacción	Sistema VRF rendimiento medio (COP nominal = 3.7) Por ejemplo: VRF de Mitsubishi Heavy Industries (KXZ)	SCOP	a calcular		20	€ 544.852,00
		Distribución CAL	Splits	rend. Estacional	0,98			
		Control CAL	Control climático y termostático	rend. Estacional	0,96			
		Generación frío	Sistema VRF rendimiento medio (EER nominal = 3.4) Por ejemplo: VRF de Mitsubishi Heavy Industries (KXZ)	SEER	a calcular			
		Distribución REF	Splits	rend. Estacional	0,97			
		Control REF	Control climático y termostático	rend. Estacional	0,98			
	2	Generación calefacción	Sistema VRF rendimiento medio (COP nominal = 4.6) Por ejemplo: VRF de Mitsubishi Heavy Industries (KXZ)	SCOP	a calcular		20	€ 620.774,00
		Distribución CAL	Splits	rend. Estacional	0,98			
		Control CAL	Control climático y termostático	rend. Estacional	0,96			
		Generación frío	Sistema VRF rendimiento medio (EER nominal = 4) Por ejemplo: VRF de Mitsubishi Heavy Industries (KXZ)	SEER	a calcular			
		Distribución REF	Splits	rend. Estacional	0,97			
		Control REF	Control climático y termostático	rend. Estacional	0,98			

Tabla 21. Definición de medidas instalaciones. Fuente: CENER.

4.1.4.3. Variantes

Las medidas listadas en los apartados anteriores han sido convenientemente combinadas para dar lugar a paquetes de medidas para ser evaluadas conjuntamente, ya que tal y como explica el Reglamento n.º 244 de la Comisión, esta forma de análisis puede dar lugar a efectos de sinergia que permitan alcanzar una mayor eficiencia que si se analizaran las medidas de forma aislada. Las variantes analizadas contemplan:

- 6 niveles distintos de aislamiento de la envolvente opaca.
- 6 clases de características de huecos para las ventanas de fachadas sur y oeste.
- 4 clases de características de huecos para las ventanas de fachadas norte.
- 4 tipos de protecciones solares.
- 2 niveles de eficiencia de la instalación de iluminación.

Las combinaciones adecuadas de estas variantes dan como resultado el análisis de 624 casos o conjuntos de medidas, analizadas desde el punto de vista energético y económico.

En la tabla 22 se muestra una parte de los 624 paquetes de medidas evaluadas para reducir la demanda de calefacción y/o refrigeración del edificio. Una vez evaluadas éstas, se han aplicado a su vez los dos conjuntos de generación y distribución térmica listados en la tabla del apartado 4.1.4.2.

- VRF1. Instalación de refrigeración con rendimiento medio.
- VRF2. Instalación de refrigeración con alto rendimiento.

Así, las variantes analizadas son: $624 \times 2 = 1.248$ variantes en total.

AISLAM. OPACOS	HUECOS SUR Y OESTE	HUECOS NORTE	PROTEC. SOLAR	VENTILACIÓN	ILUMINACIÓN	Nombre archivo *.idf de E+
0	0	0	0	1	1	1_TGSS_Castellon_0_0_0_0_1_1.idf
0	0	0	0	1	2	2_TGSS_Castellon_0_0_0_0_1_2.idf
0	0	0	1	1	1	5_TGSS_Castellon_0_0_0_1_1_1.idf
0	0	0	1	1	2	6_TGSS_Castellon_0_0_0_1_1_2.idf
0	0	0	2	1	1	9_TGSS_Castellon_0_0_0_2_1_1.idf
0	0	0	2	1	2	10_TGSS_Castellon_0_0_0_2_1_2.idf
0	0	0	3	1	1	13_TGSS_Castellon_0_0_0_3_1_1.idf
0	0	0	3	1	2	14_TGSS_Castellon_0_0_0_3_1_2.idf
0	0	1	0	1	1	17_TGSS_Castellon_0_0_1_0_1_1.idf
0	0	1	0	1	2	18_TGSS_Castellon_0_0_1_0_1_2.idf
0	0	1	1	1	1	21_TGSS_Castellon_0_0_1_1_1_1.idf
0	0	1	1	1	2	22_TGSS_Castellon_0_0_1_1_1_2.idf
0	0	1	2	1	1	25_TGSS_Castellon_0_0_1_2_1_1.idf
0	0	1	2	1	2	26_TGSS_Castellon_0_0_1_2_1_2.idf

Tabla 22. Muestra de 624 combinaciones de medidas de la demanda. Fuente: CENER.

4.1.5. Resultados

Para cada una de las variantes o paquetes de medidas analizadas se han obtenido los siguientes resultados:

- Demanda de calefacción y refrigeración.
- Consumo de energía final de calefacción, refrigeración e iluminación.
- Consumo de energía primaria no renovable asociada a los servicios de calefacción, refrigeración, ventilación e iluminación.
- Costes de la energía a 30 años asociado a cada vector energético.
- Coste de inversión.
- Coste global a 30 años.

4.1.5.1. Hipótesis

Para alcanzar estos resultados se han fijado ciertas premisas de partida en el cálculo:

- Precio medio de la electricidad 0,1425 €/kWh.
- Tasa de incremento del precio de la energía 4,0 %.
- Tasa de actualización (en términos reales) 2,3 %.

4.1.5.2. Cálculo del coste óptimo

El cálculo basado en la metodología de coste óptimo y su representación gráfica permite identificar los conjuntos de medidas que sitúan el comportamiento del edificio en la zona de rentabilidad óptima.

Aunque inicialmente con el cálculo energético basado en *Energy Plus+* se había tenido en cuenta una variante del sistema de aire primario con incorporación de recuperador de calor, ante la falta de viabilidad de su instalación y la ausencia de datos de costes de inversión, se ha optado por eliminarla del análisis.

En la figura 54 se muestra de forma gráfica el resultado final de la aplicación de la metodología, aplicada a las 1.248 variantes descritas en el apartado 4.1.4.3.

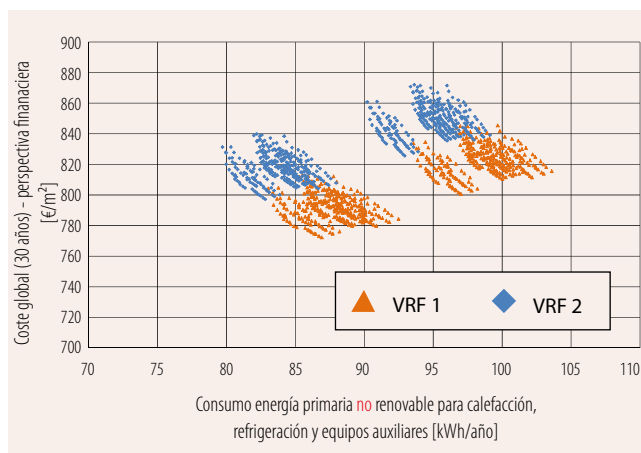


Figura 54. Resultado coste óptimo incluyendo los casos de sistema con recuperador de calor. Fuente: CENER.

En el gráfico se han señalado cuatro zonas claramente diferenciadas en el cálculo, las correspondientes a las dos eficiencias de los sistemas de iluminación y climatización.

En la figura 55 se han señalado las regiones de rentabilidad óptima y de mínimo consumo. Entre los casos sujetos a análisis se encuentran un rango de coste global de entre 761 €/m² y 872 €/m², así como un rango de consumo de energía primaria no renovable entre 77 y 104 kWh/m².

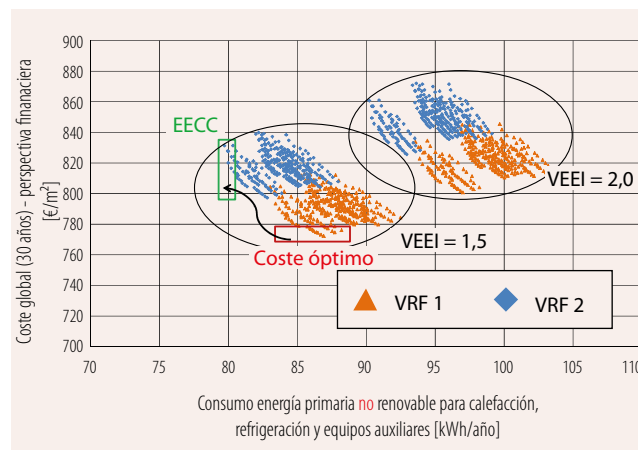


Figura 55. Resultado coste óptimo excluyendo los casos de sistema con recuperador de calor. Fuente: CENER.

Hay varios conjuntos de medidas de comportamiento global similar, que podrían dar como resultado la rentabilidad óptima. En la tabla 23 se observa que si centramos la atención en el conjunto de menor coste global, se obtiene un consumo de 86,91 kWh/m² (un 16,4% menor que el mayor valor obtenido) y 772,39 €/m² (un 11,4% menor que el mayor valor obtenido). Este conjunto de medidas implica las siguientes variantes evaluadas:

1. Aislamiento opacos (0): aislamiento por el interior para cumplir con el mínimo normativo en la zona climática B3 de referencia (3 cm y 7 cm, en fachada y cubiertas respectivamente).
2. Clase de huecos SUR, OESTE Y NORTE (1): vidrio doble bajo emisivo con cámara de aire de 14 mm y marco PVC de dos cámaras.
3. Protecciones solares (1): protección exterior de metal deployé.
4. Sistema de iluminación (2): sistema de iluminación de alta eficiencia para diseñado para obtener un VEEI de 1,5.
5. Sistema de instalaciones térmicas (1): sistema VRF de eficiencia media (COPn = 3,7 y EERn = 3,4).

Si no es posible obtener el nivel de eficiencia de VEEI = 1,5 para la instalación de iluminación y permanece en torno al valor de 2 (variante 1), el conjunto de menor coste global se situaría en un consumo de 97,01 kWh/m² (un 7% menor que el mayor valor obtenido) y 800,73 €/m² de coste global (un 8% menor que el mayor valor obtenido).

1	2	3	4	5	6	7	DEMANDA	DEMANDA REF Sensible	DEMANDA REF Latente	Consumo Iluminación	ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE	COSTE GLOBAL
AISLAM. OPACOS	HUECOS SUR Y OESTE	HUECOS NORTE	PROTEC. SOLAR	VENTILACIÓN	ILUMINACIÓN	IT	[kWh/m2a]	[kWh/m2a]	[kWh/m2a]	kWh/m2año	kWh/m2a	€/m2 30años
3	2	2	1	1	2	1	7,04	15,12	10,88	15,04	84,66	780,79
3	1	2	1	1	2	1	7,36	15,04	10,85	15,04	84,91	779,69
3	1	1	1	1	2	1	7,61	14,98	10,84	15,04	85,10	778,88
2	2	2	1	1	2	1	7,62	15,83	10,98	15,04	85,71	778,39
3	0	2	1	1	2	1	7,79	15,74	10,98	15,02	85,77	782,11
2	1	2	1	1	2	1	7,91	15,75	10,95	15,04	85,92	777,18
3	0	1	1	1	2	1	8,03	15,68	10,95	15,02	85,96	781,29
1	2	2	1	1	2	1	7,96	15,74	10,96	15,04	85,97	776,81
2	1	1	1	1	2	1	8,15	15,69	10,94	15,04	86,11	776,37
1	1	2	1	1	2	1	8,25	15,66	10,93	15,04	86,19	775,62
1	1	1	1	1	2	1	8,49	15,61	10,92	15,04	86,38	774,82
3	0	0	1	1	2	1	8,50	15,83	10,97	14,99	86,45	782,68
0	2	2	1	1	2	1	8,60	15,61	10,92	15,04	86,49	774,35
0	1	2	1	1	2	1	8,89	15,53	10,90	15,04	86,72	773,18
2	0	2	1	1	2	1	8,33	16,44	11,06	15,02	86,77	779,56
0	1	1	1	1	2	1	9,13	15,48	10,88	15,04	86,91	772,39
2	0	1	1	1	2	1	8,57	16,38	11,04	15,02	86,96	778,74
1	0	2	1	1	2	1	8,67	16,35	11,04	15,02	87,03	777,97
1	0	1	1	1	2	1	8,91	16,30	11,02	15,02	87,22	777,16
2	0	0	1	1	2	1	9,03	16,52	11,06	14,99	87,44	780,09
0	0	2	1	1	2	1	9,30	16,21	11,00	15,02	87,53	775,48
1	0	0	1	1	2	1	9,37	16,44	11,03	14,99	87,70	778,51
0	0	1	1	1	2	1	9,54	16,16	10,98	15,02	87,72	774,67

Tabla 23. Selección variantes de menor coste global. Fuente: CENER.

4.1.5.3. Cálculo del consumo mínimo

Des mismo modo que en la zona de rentabilidad óptima, hay varias soluciones que se pueden considerar de mejor comportamiento energético, con un valor menor de consumo de energía primaria no renovable. En la tabla 24 se ha señalado una solución de la región de menor consumo que se considera razonable, tanto por las medidas que contiene, como porque presenta un consumo energético que se diferencia en menos de un 0,01 % del valor menor de la tabla y presenta un coste global un 0.02 % menor.

El conjunto seleccionado se sitúa en un consumo de 80,61 kWh/m² (un 22,5 % menor que el mayor valor obtenido) y 810,50 €/m² de coste global (un 7 % menor que el

mayor valor obtenido). Este conjunto de medidas implica las siguientes variantes evaluadas:

1. Aislamiento opacos (4): aislamiento por el exterior (6 cm y 10 cm, en fachada y cubiertas respectivamente).
2. Clase de huecos SUR, OESTE Y NORTE (2): vidrio doble bajo emisivo con cámara de argón de 16 mm y marco PVC de cinco cámaras.
3. Protecciones solares (1): protección exterior de metal deployé.
4. Sistema de iluminación (2): sistema de iluminación de alta eficiencia para diseñado para obtener un VEEI de 1,5.
5. Sistema de instalaciones térmicas (2): sistema VRF de alta eficiencia (COPn = 4,6 y EERn = 4).

1	2	3	4	5	6	7	DEMANDA	DEMANDA REF Sensible	DEMANDA REF Latente	Consumo Iluminación	ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE	COSTE GLOBAL
AISLAM. OPACOS	HUECOS SUR Y OESTE	HUECOS NORTE	PROTEC. SOLAR	VENTILACIÓN	ILUMINACIÓN	IT	[kWh/m2a]	[kWh/m2a]	[kWh/m2a]	kWh/m2año	kWh/m2a	€/m2 30años
5	5	3	1	1	2	2	6,54	12,86	10,39	15,30	79,71	831,25
4	5	3	1	1	2	2	6,89	12,79	10,37	15,30	79,94	827,76
5	3	2	1	1	2	2	6,51	13,91	10,63	15,11	79,98	820,09
5	3	3	1	1	2	2	6,39	13,86	10,63	15,19	80,00	827,57
4	3	2	1	1	2	2	6,86	13,83	10,61	15,11	80,21	816,57
4	3	3	1	1	2	2	6,73	13,78	10,60	15,19	80,22	824,04
5	4	3	1	1	2	2	5,88	15,08	10,88	15,18	80,33	831,27
5	2	2	1	1	2	2	6,06	15,39	10,94	15,04	80,41	814,09
3	5	3	1	1	2	2	7,56	12,71	10,35	15,30	80,41	824,26
5	2	3	1	1	2	2	5,95	15,34	10,93	15,12	80,43	821,57
4	4	3	1	1	2	2	6,24	14,98	10,85	15,18	80,55	827,75
5	1	2	1	1	2	2	6,35	15,28	10,91	15,04	80,57	812,73
4	2	2	1	1	2	2	6,40	15,28	10,92	15,04	80,61	810,50
5	1	3	1	1	2	2	6,26	15,23	10,90	15,12	80,61	820,27
3	3	2	1	1	2	2	7,51	13,72	10,59	15,11	80,64	812,98
4	2	3	1	1	2	2	6,31	15,23	10,91	15,12	80,65	818,04
3	3	3	1	1	2	2	7,39	13,67	10,58	15,19	80,66	820,46

Tabla 24. Selección de variantes de menor consumo. Fuente: CENER.

4.1.5.4. Distribución de los consumos

A modo informativo e ilustrativo del comportamiento energético futuro del edificio tras la rehabilitación, se muestra a continuación la distribución de consumos para un caso medio estudiado.

La instalación de un sistema de gestión energética en el edificio, permitiría el control y optimización del consumo energético del mismo, incidiendo especialmente sobre el control de las cargas internas (iluminación y equipamiento) en horario de no utilización del edificio, ya que como se observa en las figuras siguientes, tras una optimización energética del edificio, suponen más del 50 % del consumo total.

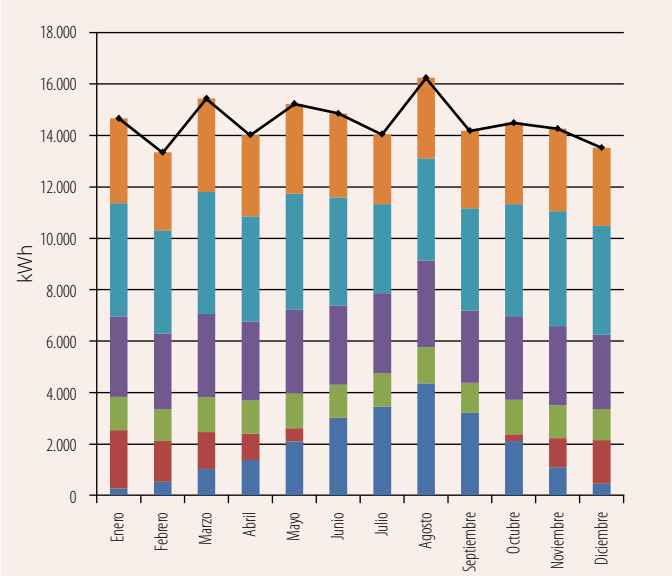


Figura 56. Distribución manual de consumos por servicios (kWh eléctricos). Fuente: CENER.

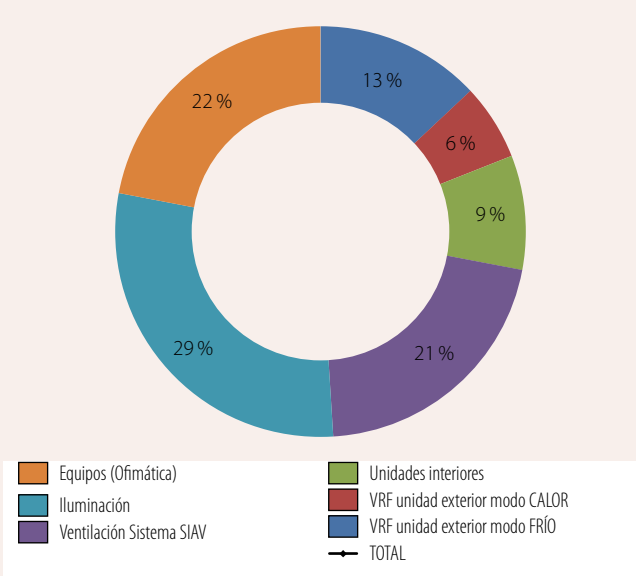


Figura 57. Distribución porcentual de los consumos por servicios. Fuente: CENER.

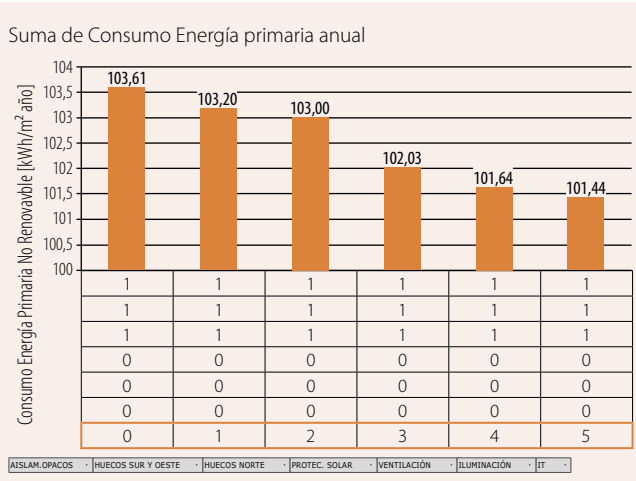


Figura 58. Comparativa aislamiento opacos (EPnoren). Fuente: CENER.

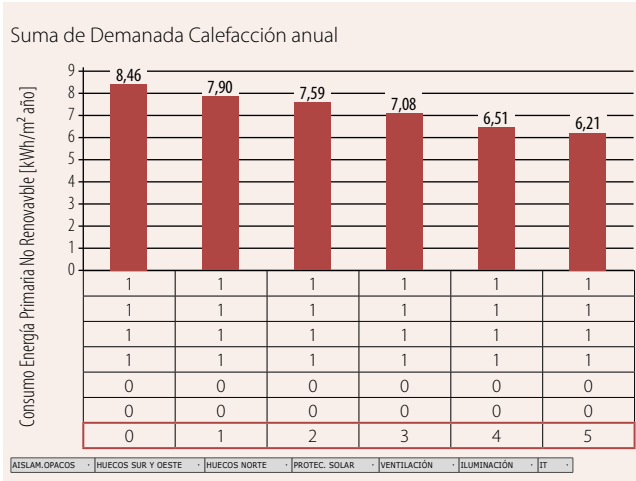


Figura 59. Comparativa aislamiento opacos (demanda de calefacción). Fuente: CENER.

4.2. Caso de estudio n.º 2

En este estudio se presenta un análisis teórico de la metodología de rehabilitación sostenible adaptada a un caso concreto. Dentro del proyecto de rehabilitación de las antiguas oficinas de la Seguridad Social, se ha desarrollado la simulación energética del edificio y el cálculo del coste óptimo de la actuación de rehabilitación para alcanzar un mayor rendimiento energético en el edificio existente con objeto de servir a ayuda en la toma de decisiones sobre las tecnologías o equipos más eficientes a incorporar en el proyecto real.

El proyecto consiste en la rehabilitación de unas oficinas situadas en la planta baja, primera y segunda de un edificio de nueve plantas de altura ubicado en el centro de Madrid, en la calle Jacometrezo. Esta actuación está enmarcada dentro del Plan de racionalización y optimización del uso de inmuebles del patrimonio del Estado.

En este caso, no ha sido posible aplicar los resultados teóricos obtenidos ya que por motivos de protección de la fachada no ha sido posible implementar los resultados obtenidos en el análisis de coste óptimo por lo que en este caso, el estudio es teórico y no se podrán comprobar los resultados prácticos.

4.2.1. Cálculo del coste óptimo de la actuación

Durante la redacción del proyecto básico, se analizan variantes de diseño en vidrios, huecos, protecciones solares, ventilación e instalaciones térmicas, para determinar aquellas con mejor resultado de inversión-mantenimiento-consumo.

Gracias al proceso colaborativo continuado entre CENER y Tragsa se determinan las opciones de materiales e instalaciones mediante simulaciones dinámicas (EnergyPlus) que, dentro del margen presupuestario, influyen en el comportamiento energético, mantenimiento y durabilidad del edificio en un periodo de treinta años.

Una vez detectadas, se incorporan al proyecto de ejecución para formar parte del documento constructivo y presupuesto final.

Todas las variantes identificadas como posibles medidas de mejorarse han combinado entre sí, descartando las incompatibles o no relevantes, simulando finalmente los efectos cruzados de 434 casos.

- Opciones de aislamiento (3 variantes): caso base (sin aislamiento) + 2 niveles de aislamiento.
- Huecos (7 variantes): caso base (actual) + 6 clases de huecos.
- Protección solar (3 variantes): nada + solución de proyecto básico + protección con las lamas exteriores.
- Protección solar fija (2 variantes): nada + voladizo 0,5 m sobre muro cortina de planta 1ª.
- Ventilación (aire primario) (3 variantes): RITE convencional + sistema aire limpio SIAV + SIAV con recuperación de calor.
- Instalaciones térmicas (2 variantes): VRF con dos niveles de SCOP y SEER (VRF1 y VRF2).



Figura 60. Emplazamiento del edificio de la Tesorería de la Seguridad Social en la calle Jacometrezo.

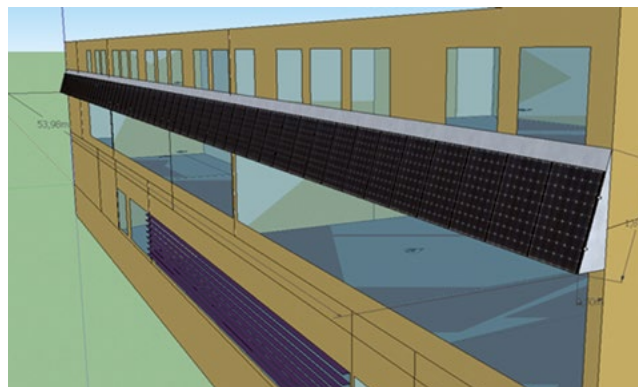
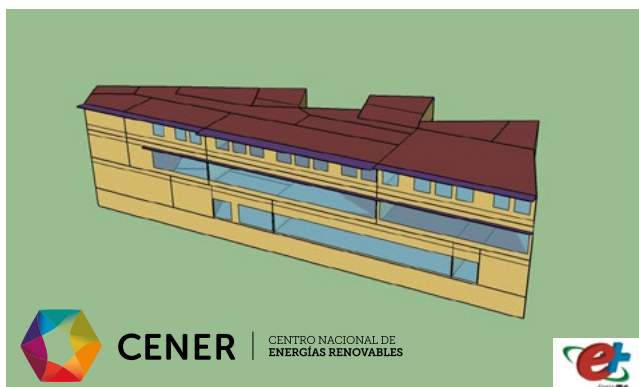


Figura 61. Modelo de la simulación energética.

El mínimo consumo de energía primaria entre las variantes estudiadas se localiza en:

- Máximo nivel de aislamiento (10 cm).
- Huecos con vidrio doble / cámara 16 mm con argón.
- Vidrio con control solar y alta transmitancia visible.
- Control solar mediante voladizo en planta primera.
- Sistema de ventilación planteado en proyecto (SIAV) y el sistema VRF de mayor rendimiento.

Algunas de las combinaciones muestran un comportamiento energético global similar, siendo la recomendación escoger de entre ellas la que presente un coste menor.

4.2.2. Medidas incorporadas al proyecto

El mínimo coste global queda asociado al máximo nivel de aislamiento y a los vidrios sin protección solar por ser las soluciones más económicas.

En el caso de las instalaciones, la solución coste óptimo incluye el sistema planteado en proyecto para ventilación y el sistema VRF de menor COP/EER, más económico.

El proyecto finalizado entregado a la propiedad incluye estas medidas, que garantizan una inversión adecuada para obtener un menor consumo energético y costes de mantenimiento durante la vida útil del edificio.

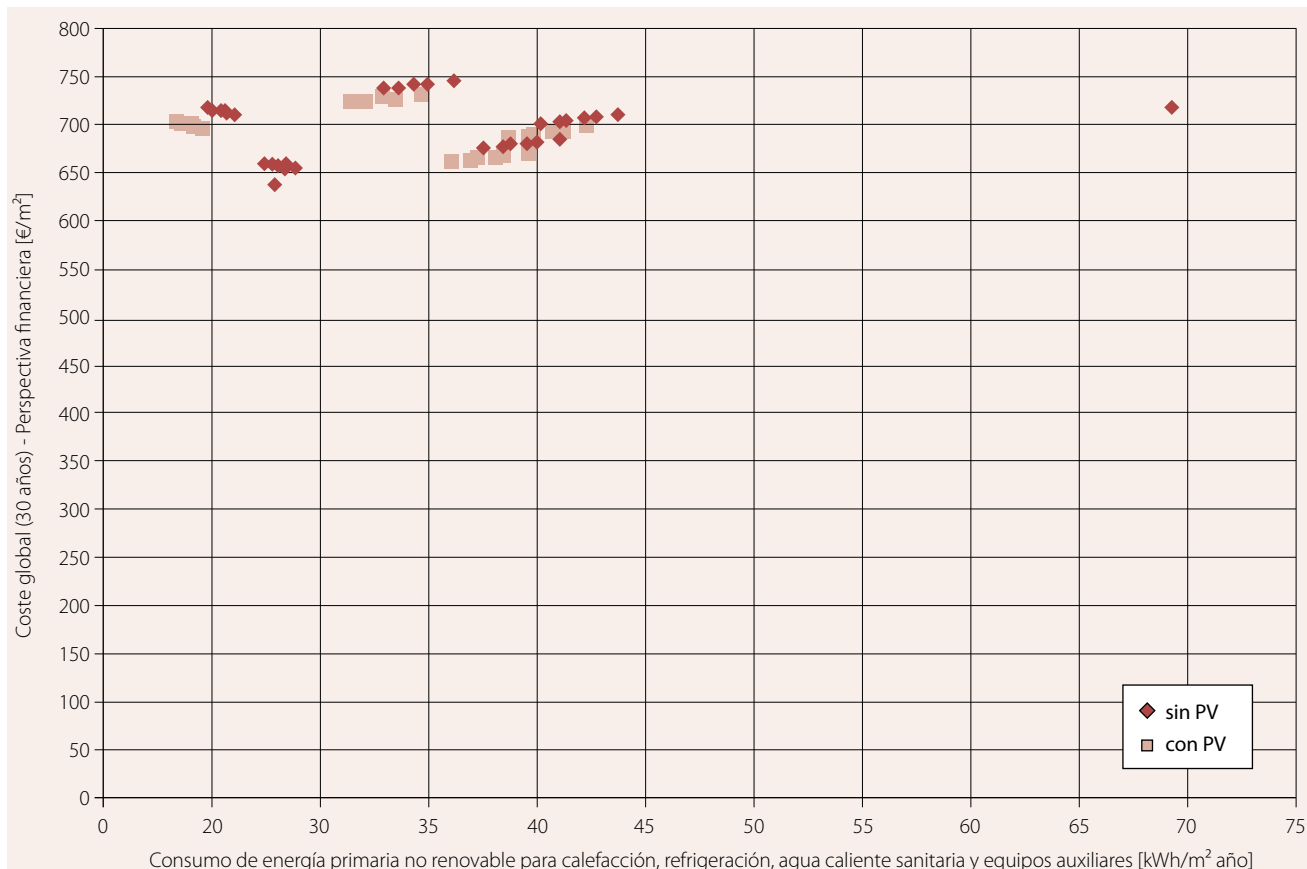


Figura 62. Gráfico de variantes.

Nº	PAQUETE	VARIANTE	ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD	Ciclo de vida	COSTE DE INVERSIÓN (material+ejecución+GG+BI+IVA) Total en €	1875 €/m2	COSTE DE MANTENIMIENTO ANUAL (Incluido IVA) Total en €
1	FACHADAS	0	Fachadas	Reparación por motivos funcional y estéticos (la reparación del componente no afecta al comportamiento térmico del mismo)	espesor aislante con k = 0,035 W/m2K	0	cm	30	€ 228.932,00	€ 122,10	€ 0,00
		1	Fachadas	Adición de aislamiento térmico por el exterior de los cerramientos de fachada exteriores y con las zonas no acondicionadas (escaleras/ascensor)		5	cm	30	€ 231.751,00	€ 123,60	€ 0,00
		2	Fachadas	Adición de aislamiento térmico por el exterior de los cerramientos de fachada exteriores y con las zonas no acondicionadas (escaleras/ascensor)		10	cm	30	€ 233.412,00	€ 124,49	€ 0,00
	CUBIERTAS	0	Cubierta	Reparación por motivos funcional y estéticos (la reparación del componente no afecta al comportamiento térmico del mismo)	espesor aislante con k = 0,023 W/m2K (PIR)	0	cm	30	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00
		1	Cubierta	Adición de aislamiento térmico por el interior en los elementos de cubierta		10	cm	30	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00
		2	Cubierta	Adición de aislamiento térmico por el interior en los elementos de cubierta		15	cm	30	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00
	SUELO	0	Forjado PB	No se añade aislamiento extra en el suelo porque se supone que la discoteca existente en el Sótano 1 tendrá aislamiento.	espesor aislante con k = 0,035 W/m2K	0	cm	30	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00
		1	Forjado PB			0	cm	30	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00
		2	Forjado PB			0	cm	30	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00
2	HUECOS	0	VIDRIOS	vidrio doble con control solar con cámara de 10 cm (SITUACIÓN ACTUAL) Marco de aluminio sin RPT	Uvidrio		W/m²K	30	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00
					g vidrio		-				
					Trans vis vidrio		-				
					Umarco	5,7	W/m²K				
		1	VIDRIOS	Vidrio flotado incoloro SGG PLANICLEAR de 6 mm con capa magnetronica de baja emisividad SGG PLANITHERM XN en cara 2, hoja exterior. Cámara de gas argón al 90% de 16 mm. de espesor Vidrio laminar SGG STADIP PROTECT 44.2, formado por dos láminas de vidrio flotado incoloro SGG PLANICLEAR de 4 mm, unidos mediante 2 PVB (0.76 mm de espesor), hoja interior.	U	1,1	W/m²K	30	€ 24.996,63	€ 13,3	€ 0,00
					g	0,61	adim				
					TI	80	%				
					Rle	11	%				
					Umarco	3,2	W/m²K				
		2	VIDRIOS	Vidrio templado SGG SECURIT de 6 mm con capa magnetronica de alta selectividad de baja emisividad y control solar SGG COOL-LITE XTREME 60/28 II en cara 2, hoja exterior. Cámara de gas argón al 90% de 16 mm. de espesor Vidrio laminar SGG STADIP PROTECT 44.2, formado por dos láminas de vidrio flotado incoloro SGG PLANICLEAR de 4 mm, unidos mediante 2 PVB (0.76 mm de espesor) en hoja interior.	U	1	W/m²K	30	€ 50.844,57	€ 27,1	
					g	0,28	adim				
					TI	60	%				
					Rle	14	%				
					Umarco	3,2	W/m²K				
		3	VIDRIOS	Vidrio flotado incoloro SGG PLANICLEAR de 6 mm con capa magnetronica de alta selectividad de baja emisividad y control solar SGG COOL-LITE SKN 174 en cara 2, hoja exterior. Cámara de gas argón al 90% de 16 mm. de espesor Vidrio laminar SGG STADIP PROTECT 44.2, formado por dos láminas de vidrio flotado incoloro SGG PLANICLEAR de 4 mm, unidos mediante 2 PVB (0.76 mm de espesor) en hoja interior.	U	1,1	W/m²K	30	€ 36.603,37	€ 19,5	
					g	0,41	adim				
					TI	68	%				
					Rle	11	%				
					Umarco	3,2	W/m²K				
		4	VIDRIOS	Vidrio flotado incoloro SGG PLANICLEAR de 6 mm con capa magnetronica de baja emisividad SGG PLANITHERM XN en cara 2, hoja exterior. Cámara de gas argón al 90% de 16 mm. de espesor Vidrio flotado incoloro SGG PLANICLEAR de 4 mm en hoja intermedia Cámara de gas argón al 90% de 16 mm. de espesor Vidrio laminar SGG STADIP PROTECT 44.2, formado por dos láminas de vidrio flotado incoloro SGG PLANICLEAR de 4 mm, unidos mediante 2 PVB (0.76 mm de espesor), hoja interior.	U	0,9	W/m²K	30	€ 29.854,70	€ 15,9	
					g	0,56	adim				
					TI	73	%				
					Rle	17	%				
					Umarco	1,8	W/m²K				
		5	VIDRIOS	Vidrio templado SGG SECURIT de 6 mm con capa magnetronica de alta selectividad de baja emisividad y control solar SGG COOL-LITE XTREME 60/28 II en cara 2, hoja exterior. Cámara de gas argón al 90% de 16 mm. de espesor Vidrio flotado incoloro SGG PLANICLEAR de 4 mm en hoja intermedia Cámara de gas argón al 90% de 16 mm. de espesor Vidrio laminar SGG STADIP PROTECT 44.2, formado por dos láminas de vidrio flotado incoloro SGG PLANICLEAR de 4 mm, unidos mediante 2 PVB (0.76 mm de espesor) en hoja interior.	U	0,8	W/m²K	30	€ 56.239,74	€ 30,0	
					g	0,26	adim				
					TI	55	%				
					Rle	18	%				
					Umarco	1,8	W/m²K				
		6	VIDRIOS	Vidrio flotado incoloro SGG PLANICLEAR de 6 mm con capa magnetronica de alta selectividad de baja emisividad y control solar SGG COOL-LITE SKN 174 en cara 2, hoja exterior. Cámara de gas argón al 90% de 16 mm. de espesor Vidrio flotado incoloro SGG PLANICLEAR de 4 mm en hoja intermedia Cámara de gas argón al 90% de 16 mm. de espesor Vidrio laminar SGG STADIP PROTECT 44.2, formado por dos láminas de vidrio flotado incoloro SGG PLANICLEAR de 4 mm, unidos mediante 2 PVB (0.76 mm de espesor) en hoja interior.	U	0,9	W/m²K	30	€ 41.998,53	€ 22,4	
					g	0,38	adim				
					TI	62	%				
					Rle	15	%				
					Umarco	1,8	W/m²K				

Tabla 25. Listado de variantes adoptadas. Fuente: CENER.

3	PROTECCIÓN SOLAR MÓVIL	0	Dispositivos de protección solar	NADA	-	-	30	€ 0,00	€ 0,00		
		1	Dispositivos de protección solar	Solución de Proyecto: Estor Screen interior + lamas anchas en PB	-	-	30	€ 41.312,00	€ 22,03		
		2	Dispositivos de protección solar	LAMAS (Blinds) EXTERIORES	-	-	30	€ 37.440,00	€ 19,97		
4	PROTECCIÓN SOLAR FIJA	0	Voladizo Planta 1ª	Nada	Profundidad	m	30	€ 0,00	€ 0,00		
		1	Voladizo Planta 1ª	Se añade un voladizo de 0.5m de profundidad sobre el muro cortina de planta 1ª	Profundidad	0,5	m	30	€ 9.190,00	€ 4,90	
5	RITE - IT 1.1.4.2.3. Caudal mínimo del aire exterior de ventilación	0	renovación de aire	Caudal del aire de renovación según Método A (caudal de aire por persona): 12,5 l/s por persona	renovación de aire exterior	4,19	ren/h	15	€ 170.153,52	€ 90,75	
		1	renovación de aire	Sistema SIAV de Aire Limpio siguiendo el Método B (calidad del aire percibido): 4.37 l/s por persona	renovación de aire exterior	1,47	ren/h	15	€ 130.500,69	€ 69,60	
		2	renovación de aire	Se añade un sistema de recuperación de calor al sistema SIAV de Aire Limpio	renovaciones REND. Sen RC	1,47 65%	ren/h %	15	€ 183.319,43	€ 97,77	
6	INSTALACIONES TÉRMICAS	0	Generación calefacción y ACS	Caldera eléctrica	rend. Estacional	0,99		15	€ 223.405,24	€ 119,15	
			Distribución CAL	Fancoils	rend. Estacional	0,96		15	€ 0,00		
			Control CAL	Control climático y termostático	rend. Estacional	0,96		15	€ 0,00		
			Generación frío	Enfriadoras Aire-Agua	rend. Estacional	1,57		15			
			Distribución REF	Fancoils	rend. Estacional	0,97		15			
			Control REF	Control climático y termostático	rend. Estacional	0,98		15			
		1	Generación calefacción	VRF de Mitsubishi Heavy Industries (KXZ) COP = 3,7	SCOP	2,35		15	€ 223.405,24	€ 219,03	
			Distribución CAL	Splits	rend. Estacional	0,98		15	€ 179.839,05		
			Control CAL	Control climático y termostático	rend. Estacional	0,96		15	€ 7.430,94		
			Generación frío	VRF de Mitsubishi Heavy Industries (KXZ) EER = 3,4	SEER	3,46		15			
			Distribución REF	Splits	rend. Estacional	0,97		15			
			Control REF	Control climático y termostático	rend. Estacional	0,98		15			
		2	Generación calefacción	VRF de Mitsubishi Heavy Industries (KXZ) HIGH COP COP = 4,6	SCOP	2,92		15	€ 269.860,66	€ 243,80	
			Distribución CAL	Splits	rend. Estacional	0,98		15	€ 179.839,05		
			Control CAL	Control climático y termostático	rend. Estacional	0,96		15	€ 7.430,94		
			Generación frío	VRF de Mitsubishi Heavy Industries (KXZ) HIGH COP EER = 4,0	SEER	4,09		15			
			Distribución REF	Splits	rend. Estacional	0,97		15			
			Control REF	Control climático y termostático	rend. Estacional	0,98		15			
7	APOYO CON EERR	0	ELECTRICIDAD	NADA	Potencia pico	0	kWp	20	€ 0,00	€ 0,00	
				NADA	Energía generada	0	kWh				
		1	ELECTRICIDAD	Integración de fotovoltaica en fachada: material amorfo (91m2) => 10 x 5 = 50 módulos	Potencia pico	5,83	kWp	20	€ 12.826,00	€ 6,84	
					Energía generada	4254,4	kWh				
		2	ELECTRICIDAD	Integración de fotovoltaica en fachada: material policristalino (83m2) => 6 x 9 = 54 módulos	Potencia pico	11,51	kWp	20	€ 25.322,00	€ 13,51	
					Energía generada	7675,2	kWh				

Tabla 25 (continuación). Listado de variantes adoptadas. Fuente: CENER.

		1	2	3	4	5	6	DEMANDA	DEMANDA REF	Consumo Iluminación	ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE	COSTE GLOBAL
Nº	Nº E+	AISLAMIENTO OPACOS	HUECOS	PROTECCIÓN SOLAR móvil	PROTECCIÓN SOLAR fija	VENTILACIÓN	INSTALACIONES	[kWh/m2a]	[kWh/m2a]	[kWh/m2a]	[kWh/m2a]	[€/m2, 30 años]
112	272	2	1	0	0	1	1	16,6	35,80	15,1	119,58	1050,74
4	146	1	1	0	0	1	1	18,1	35,80	15,1	120,66	1052,89
166	326	2	4	0	0	1	1	16,4	35,20	15,3	119,42	1052,9
115	275	2	1	0	1	1	1	16,8	34,00	15,2	118,78	1053,39
148	308	2	3	0	0	1	1	17,6	31,60	15,3	118,35	1053,49
58	200	1	4	0	0	1	1	17,9	34,90	15,3	120,51	1065,07
7	149	1	1	0	1	1	1	18,30	33,80	15,2	119,88	1055,62
169	329	2	4	0	1	1	1	16,6	33,60	15,3	118,71	1055,8
40	182	1	3	0	0	1	1	19,1	31,50	15,3	119,51	1055,87

Tabla 26. Opción determinada como coste óptimo. Fuente: CENER.

Las mayores posibilidades de mejora se localizan en el cerramiento exterior (aislamiento, carpinterías y vidrio), puesto que las instalaciones están restringidas a la cubierta, con muy poca disposición de espacio ni opciones de diseño.

Los condicionantes volumétricos, la protección del inmueble y la estructura preexistente exigen la búsqueda de espacios diáfanos en el interior, que permitan una fácil comprensión de las oficinas, especialmente en las zonas de atención pública.

El aprovechamiento de la iluminación natural es otra de las premisas planteadas, potenciando acabados que prolonguen el alcance de la luz hacia el interior de la oficina.

En fachada se prioriza el respeto de la estética general preexistente (protección urbanística), pero compaginado con un importante incremento del aislamiento térmico y control solar, especialmente en la fachada principal, sur (calle Jacometrezo).



Figura 63. Planta baja y primera del proyecto.

4.2.3. Lecciones aprendidas

Problema encontrado	Lección aprendida	Recomendación
Selección de las variantes a simular	Interlocución técnica necesaria	Para poder seleccionar las opciones a simular y determinar su validez es necesario que éstas sean planteadas por el equipo redactor del proyecto (arquitecto/aparejador), asesorado por quien realiza la simulación. De este modo se seleccionan opciones apropiadas a cada caso particular, tanto en aspectos energéticos como económicos y de mantenimiento.
Normativa	Considerar interferencias normativas	La protección urbanística y patrimonial, la normativa de accesibilidad, los requerimientos de seguridad frente al riesgo de impacto, atrapamiento o incendios, entre otros (Código técnico de la edificación), son límites que deben considerarse en las simulaciones desde el inicio, puesto que pueden afectar a la viabilidad de las propuestas que se plantean.
Elevado volumen de casos de simulación	Incorporación de medidas de coste 0 o bajo en base a la experiencia	No es factible incorporar al proceso de simulación para evaluación del coste óptimo todas las variantes y combinaciones de las medidas de eficiencia energética posibles, ya que el volumen de casos excedería el razonable y dispararía el coste computacional. Se deben incorporar prioritariamente aquellas que se desean evaluar por ser menos intuitivo su alcance en cuanto al resultado comparativo esperado. El equipo redactor puede incorporar medidas no incorporadas a la metodología de simulación por conocerse su eficacia de forma probada en otros proyectos, como son: colores claros en paramentos interiores para mejorar la reflexión de la luz natural, espacios diáfanos para unificar climatización y mejorar el aporte de luz natural, y flexibilidad de distribución con instalaciones modulares, que permiten mejorar el mantenimiento y vida útil de la actuación.

Tabla 27. Recomendaciones.



Reconstrucción del Recinto Ferial de Santa Quiteria, Lorca. Ejecución de caja escénica para el auditorio.

5. Bibliografía

Paso 1. Criterios de decisión

CUCHÍ, Albert y SWEATMAN, Peter. *Informe GTR 2012: Una visión-país para el sector de la edificación en España*. 2012.

CUCHÍ, Albert y SWEATMAN, Peter. *Informe GTR 2014: Estrategia para la rehabilitación. Claves para transformar el sector de la edificación en España*. 2014.

Fundación La Casa que Ahorra. *Recomendaciones sobre incentivos a la rehabilitación con criterios de eficiencia energética desde una perspectiva municipal*. 2015.

Ministerio de Fomento. *Estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética en el sector de la edificación en España, en desarrollo del Artículo 4 de la Directiva 2012/27/UE*. 2014.

Ministerio de Industria, Energía y Turismo. *Informe anual 2015 de seguimiento de los avances hacia los objetivos nacionales de eficiencia energética para 2020*. 2015.

Secretaría de Estado de Energía. *Inventario energético de los edificios de la Administración General del Estado (trasposición del artículo 5 de la directiva 2012/27/UE)*. Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2015.

VV.AA. *Eficiencia energética en dependencias municipales*. Red Española de Ciudades por el clima; FEMP, 2011.

Paso 2. Definición de objetivos energéticos y medioambientales

ÁLVAREZ DOMÍNGUEZ, Servando y SAMERÓN LISSÉN, Rafael. *Eficiencia Energética de Edificios*. Arquitectura Ecoeficiente. 2012.

Buildings Performance Institute Europe (BPIE). *Renovation in practice: Best practice examples of voluntary and mandatory initiatives across Europe*. 2015.

Centro Nacional de Energías Renovables (CENER). *Estudio T-NZEB. Transformación de edificios existentes hacia edificios de consumo casi nulo*. 2014.

Dodge Data & Analytics. *World Green Building Trends 2016: Developing Markets Accelerate. Global Green Growth*. 2016.

Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (FENERCOM). *Guía del estándar Passivhaus. Edificios de consumo energético casi nulo*. 2011.

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). *Estado de la certificación energética de los edificios*. Datos CCAA. 2015.

IHOBE, Sociedad Pública de Gestión Ambiental. *Green Building Rating Systems: ¿Cómo evaluar la sostenibilidad en la edificación?* Gobierno Vasco, 2010.

Passivhaus Institute. *Criterios para los Estándares Casa Pasiva, EnerPHit y PHI Edificio de baja demanda energética*. 2015.

Proyecto ENTRANZE. *Instrumentos financieros que favorecen la transición a nZEBs*. 2013.

RICS. *Going for Green. Sustainable Building Certification Statistics Europe*. 2015.

SANTOS, José. *Análisis del Mercado actual de los Edificios de Consumo de Energía Casi Nulo: Proyecto ZEBRA2020*. Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería (CIMNE), 2015.

Stijn VERBEKE, Dorien AERTS, Glenn RYNDERS, Yixiao MA (VITO) y Paul WAIDE (Waide Strategic Efficiency Europe): Summary of State of affairs in 2nd Technical Support Study on the Smart Readiness Indicator for Buildings. VITO & Waide Strategic Efficiency Europe, 2019.

ZABALZA, Ignacio, DÍAZ, Sergio y ARANDA, Alfonso. *Metodologías de Análisis para la Calificación Energética de Edificios*. Prensas Universitarias de Zaragoza, 2010. ISBN: 978-84-15031-79-6.

Paso 3. Caracterización energética y medioambiental del edificio

ARANDA USÓN, Alfonso, BARRIO MORENO, Francisco y ZABALZA BRIBIÁN, Ignacio. *Técnicas para la elaboración de auditorías energéticas en el sector industrial*. Prensas Universitarias de Zaragoza, 2010. ISBN-13: 978-8492521128.

Asociación de Empresas de Eficiencia Energética (A3e). *Alcance de las Auditorías Energéticas: Alcance de Diagnósticos, Auditorías y Auditorías Energéticas ESE*. Jornadas de trabajo equivalentes.

Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR). *Procedimientos y aspectos de la simulación de instalaciones térmicas en edificios*. IDAE, 2008.

Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR). *Manual de Auditorías Energéticas*. 2010.

Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR). *Guía básica de instrumentación de medida de instalaciones en los edificios*. FENERCOM, 2011.

Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos (CIRCE). *Manual explicativo del Análisis del Ciclo de Vida aplicado al sector de la edificación*. Proyecto Ener-BuiLCA, 2012.

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. *Guía para el cálculo de la Huella de Carbono y para la elaboración de un plan de mejora de una organización*, 2014.

Paso 4. Definición de las medidas de mejora: proyecto de rehabilitación energética y medioambiental

Asociación Nacional de Fabricantes de Materiales Aislantes. (ANDIMAT). *Guía Sistemas de Aislamiento Térmico Exterior (SATE) para la Rehabilitación de la Envolvente Térmica de los Edificios*. IDAE, 2012.

Asociación de Empresas de Eficiencia Energética (A3e). *Consumos, medidas y potenciales ahorros en edificios*.

Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR). *Guía técnica. Ahorro y recuperación de energía en instalaciones de climatización*. IDAE, 2012.

Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR). *Ahorro de energía mediante enfriamiento gratuito y recuperadores de calor con humectador adiabático en la extracción*. IDAE, 2014.

BREEAM ES. *BREEAM ES Nueva Construcción 2015*. Edificios no residenciales. Manual técnico. 2015.

CABETAS, Alejandro. *Relación entre el edificio y el sistema de climatización*. ATECYR, 2001. ISBN: 84-95010-10-0.

CAPDEVILLA, Iván, LINARES, Elisa y FOLCH, Ramón. *Eficiencia energética en la rehabilitación de edificios*. Fundación Gas Natural Fenosa, 2012. ISBN: 978-84-616-1379-3.

Comité Español de Iluminación (CEI); Consejo Superior de Colegios de Arquitectos de España (CSCAE). *Guía técnica: aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios*. IDAE, 2005.

COFAIGH, Eoin O., et al. *Un Vitrubio ecológico: principios y prácticas del proyecto arquitectónico sostenible*. Gustavo Gili, 2012. ISBN: 978-84-252-2155-2.

DAHLBOM, Bo, et al. *Cambiando los hábitos de consumo energético. Directrices para programas dirigidos al cambio de comportamiento*. IDAE, 2009.

Escan. *Guía técnica. Instalaciones de biomasa térmica en edificios*. IDAE, 2009.

APPLUS NORCONTROL; Universidad de Sevilla; Instituto Eduardo Torroja; Universidad de Cadiz; Repsol y otros. *Guía de recomendaciones de eficiencia energética; certificación de edificios existentes CE3*. IDAE, 2012.

IHOBE. *Guía de edificación y rehabilitación ambientalmente sostenible: Edificios administrativos o de oficinas*. IHOBE, 2011.

MIYABI; CENER. *Guía de recomendaciones de eficiencia energética; certificación de edificios existentes CE3X*. IDAE, 2012.

Creara Consultores y WWF. *Guía de ahorro y eficiencia energética en oficinas*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2008.

ZABALZA BRIBIÁN, Ignacio. *Análisis del impacto del ciclo de vida de la rehabilitación energética de un edificio*. Universidad de Zaragoza.

ZABALZA BRIBIÁN, Ignacio y ARANDA USÓN, Alfonso. *Ecodiseño en la edificación*. Prensas Universitarias de Zaragoza, 2011. ISBN: 978-84-15274-16-2.

ARANDA USÓN, Alfonso, et al. *Eficiencia energética en instalaciones y equipamientos de edificios*. Prensas Universitarias de Zaragoza, 2010. ISBN: 978-84-92774-96-8.

ARANSÁ USÓN, Alfonso y ORTEGO BIELSA, Abel. *Integración de energías renovables en edificios*. Prensas Universitarias de Zaragoza, 2011. ISBN: 978-84-15274-06-3.

TURÉGANO ROMERO, José Antonio, VELASCO CALLAU, María Carmen y MARTÍNEZ GRACIA, Amaya. *Arquitectura bioclimática y urbanismo sostenible*. Prensas Universitarias de Zaragoza, 2009. ISBN: 978-84-92774-68-5.

NEILA GONZÁLEZ, F. Javier. *Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible*. Munillalera, 2004. ISBN: 9788489150645.

Paso 5. Actuación

ALONSO MONTERDE, María *et al.* *Guía de Proyecto del Perfil de Calidad específico de Ahorro de energía y Sostenibilidad.* Instituto Valenciano de la Edificación.

Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR). *Puesta en marcha de instalaciones según RITE.* IDAE, 2014.

Foro pro clima. *Guía de buenas prácticas ambientales en el diseño, construcción, uso, conservación y demolición de edificios e instalaciones.* Ayuntamiento de Madrid.

SEPÚLVEDA, Andrés. *Los cinco niveles de Commissioning en apoyo a la explotación eficiente y efectiva de edificios.* ASHRAE Spain Chapter.

Paso 6. Seguimiento y control

ARANDA USÓN, Alfonso *et al.* *Sistemas de gestión de la energía ISO 50001.* Prensas Universitarias de Zaragoza, 2014.

Asociación de Agencias Españolas de Gestión de la Energía (ENERAGEN). *Estudio sobre las licitaciones de servicios energéticos (EPC) en el sector público.* 2016.

Asociación de Empresas de Eficiencia Energética (A3e). *Sistemas de Monitorización y Telecontrol como herramienta para la mejora de la eficiencia energética.*

Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR). *Guía técnica de contabilización de consumos.* IDAE, 2007.

Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR); AMICYF. *Guía técnica: mantenimiento de instalaciones térmicas.* IDAE, 2007.

Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR). *Regulación y control de instalaciones de climatización.* ATECYR. ISBN: 978-84-95919-36-0.

Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos (CIRCE). SMART 2013/0073: *Reducing energy consumption in buildings with ICT, Analysis of data from EU pilot projects.* 2014.

Congreso Nacional del Medio Ambiente (CONAMA). *Las Empresas de Servicios Energéticos y el Plan de Eficiencia para los edificios de las Administraciones Públicas.* 2010.

Eclareon. *Guía práctica de contratación de servicios energéticos con garantía de ahorro.* 2013.

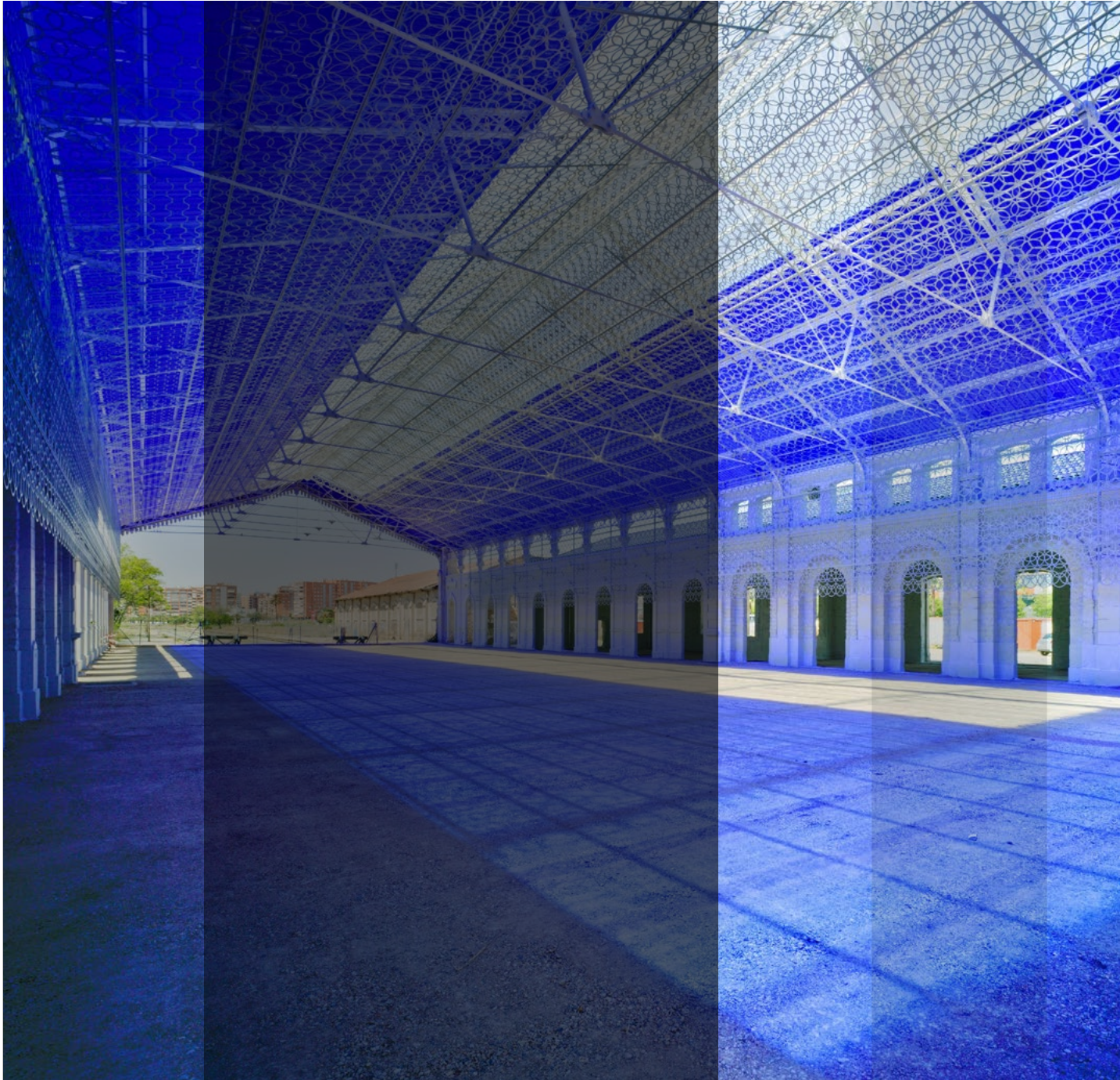
Efficiency Valuation Organization (EVO). *Protocolo Internacional de Medida y Verificación. Conceptos y Opciones para Determinar el Ahorro de Energía y Agua. Volumen 1.* 2010.

EoEnergia. *Guía de evaluación y seguimiento de ahorros en contratos de Servicios Energéticos.* FENERCOM, 2011.

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). *Propuesta de modelo de contrato de servicios energéticos y mantenimiento de edificios de las Administraciones Públicas.* IDAE, 2007.

NZ NOVA. *Guía de gestión energética municipal en base a la norma ISO 50001.* EnerAgen.

VV.AA. *Guía sobre gestión de la demanda energética del edificio.* Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (FENERCOM), 2014.



Maldonado, 58
28006 Madrid
España
Tel.: 91 396 34 00

informacion@tragsa.es
www.tragsa.es

